

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Energiatekniikan koulutusohjelma

Niko Luomalahti

Tekniset vaatimukset huonekohtaisen ilmanpuhdistimen valitsemiseksi sisäilmaongelmaisessa kohteessa

Diplomityö

2013

81 sivua, 22 kuvaa, 9 taulukkoa ja 2 liitettä

Tarkastajat: Professori, TkT Esa Vakkilainen
Professori, TkT Risto Soukka

Hakusanat: sisäilman epäpuhtaudet, ilmanpuhdistin, suodatustekniikka

Tässä työssä tarkastellaan rakennusten sisäilman laatua heikentäviä epäpuhtauksia sekä niiden suodattamiseen huonekohtaisissa ilmanpuhdistimissa käytettäviä suodatustekniikoita. Tavoitteena oli selvittää ilmanpuhdistimien soveltuvuus sisäilmaongelmista kärsiviin kohteisiin. Ilmanpuhdistimia testattiin laboratoriossa ja testitulosten perusteella arvioitiin niiden teknisiä ominaisuuksia. Lisäksi laadittiin valintakriteerit huonekohtaisen ilmanpuhdistimen valitsemiseksi sisäilmaongelmaisessa kohteessa.

Diplomityö tehtiin Helsingin kaupungin kiinteistöviraston Tilakeskuksessa vastaamaan tarpeeseen selvittää ilmanpuhdistimien teknisiä ominaisuuksia. Laboratoriotesteissä laitteista löydettiin eroavaisuuksia, ja tulosten perusteella laitteet asetettiin paremmuusjärjestykseen. Työssä suoritettun tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että nykyisin markkinoilla olevat huonekohtaiset ilmanpuhdistimet soveltuvat pääosin melko heikosti sisäilmaongelmien ratkaisemiseen. Tähän syynä on erityisesti laitteiden aiheuttama suuri melupäästö.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Master's Degree Programme in Energy Technology

Niko Luomalahti

Technical requirements for selecting a room-specific air purifier in a building suffering from indoor air pollutants

Master's thesis

2013

81 pages, 22 figures, 9 tables and 2 appendices

Examiners: Professor, D.Sc. (Tech.) Esa Vakkilainen
Professor, D.Sc. (Tech.) Risto Soukka

Keywords: indoor air pollutants, air purifier, filtration technique

This Master's thesis examines the typical indoor air pollutants and the different techniques used for their filtration in room-specific air purifiers. The aim of this study was to examine the suitability of the air purifiers in the buildings suffering from indoor air pollutants. Some air purifiers were tested in the laboratory and on the basis of the test results their technical features were evaluated. In addition, the criteria for selecting the room-specific air purifier in a building suffering from indoor air pollution were drawn up.

The thesis was carried out in the Premises Centre of the Real Estate Department of the City of Helsinki to meet the need for clarifying the air purifiers' technical features. Some differences between the air purifiers were found in the laboratory tests and using the results the devices were ranked. On the basis of the study, it can be concluded that the room-specific air purifiers at present on the market are mainly quite unsuitable for solving the indoor air quality problems. This is especially due to the large noise emission caused by the air purifiers.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Helsingin kaupungin kiinteistöviraston Tilakeskuksessa Helsingin Sörnäisissä, ja aluksi haluan osoittaa kiitoksen Tilakeskukselle mielenkiintoisesta diplomityön aiheesta. Kiitokset työn ohjauksesta projekti johtaja Jari Perelle sekä kiitos kaikille muille Tilakeskuksen työntekijöille, jotka ovat minua tukeneet diplomityöni tekemisen aikana.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston Professoreille Risto Soukalle ja Esa Vakkilaiselle sekä tutkijaopettaja Mika Luoraselle kiitos työni tarkastamisesta ja ohjauksesta. Lisäksi kiitos laboratorioinsinööri Simo Hammolle. Haluan kiittää myös VTT:n erikoistutkija Seppo Enbomia yhteistyöstä ja diplomityöhöni kuuluneiden laboratoriotestausten toteuttamisesta.

Opiskeluaika Lappeenrannassa oli unohtumaton. Tästä suuri kiitos kuuluu kaikille ystäville ja opiskelukavereille. Yhdessä koimme monia mieleenpainuvia hetkiä etenkin opiskelun vastapainona.

Lopuksi haluan kiittää vanhempiani saamastani tuesta opintojen aikana ja kannustuksesta opiskeluun.

Helsingissä 31.7.2013

Niko Luomalahti

SISÄLLYS

LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO.....	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Työn tausta.....	8
1.2 Työn tavoitteet ja rajaus.....	9
1.3 Työn rakenne.....	9
2 SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET.....	11
2.1 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet.....	12
2.2 Kaasumaiset epäpuhtaudet.....	15
2.3 Mikrobit.....	17
3 ILMANPUHDISTIMIEN SUODATUSTEKNIIKAT.....	19
3.1 Mekaaninen suodatus.....	19
3.2 Elektrostaattinen suodatus.....	22
3.3 Kemiallinen suodatus.....	24
3.4 UV-säteilytys.....	26
3.5 Fotokatalyyttinen oksidaatio.....	27
3.6 Ionisointi.....	28
4 ILMANPUHDISTIMIEN LABORATORIOKOKKEET.....	29
4.1 Laboratoriokokeisiin valitut laitteet.....	29
4.1.1 Genano 450.....	30
4.1.2 IQAir GCX-VOC.....	31
4.1.3 Plymovent VisionAir ¹	32
4.1.4 Cair DEP 900 Q2.....	34
4.1.5 Lifa 3G EX 300 UV.....	35
4.2 Testaussuureiden valinta ja testausmenetelmien kuvaus.....	36
4.2.1 Tehollinen ilmavirta hiukkasilla.....	36
4.2.2 Tehollinen ilmavirta kaasulla.....	39
4.2.3 Melupäästö.....	40
4.2.4 Sähkötehon tarve.....	41
4.2.5 Otsonin tuotto.....	41
4.2.6 Puhallusilman heittopituus.....	41

5 TULOKSET	43
5.1 Tehollinen ilmavirta hiukkasilla	43
5.2 Tehollinen ilmavirta kaasulla.....	46
5.3 Melupäästö.....	48
5.4 Sähkötehon tarve.....	50
5.5 Otsonin tuotto	51
5.6 Puhallusilman heittopituus.....	52
6 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN VALINTAKRITEERIEN LUOMISESSA	57
6.1 Melupäästö valintaan vaikuttavana tekijänä	57
6.2 Lämmöntuoton merkitys	61
6.3 Otsonin tuoton merkittävyys.....	62
6.4 Vetoriskin arviointi	63
6.5 Laitteiden pisteytys	66
6.6 Valintakriteerit sisäilmaongelmaiseen kohteeseen	69
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	73
8 YHTEENVETO	76
LÄHTEET	78

LIITTEET

LIITE I: Laskenta

LIITE II: Ilmanpuhdistimien laboratoriotestausten tulokset

LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO

Lyhenteet

VOC	Volatile Organic Compound, haihtuva orgaaninen yhdiste
SVOC	Semi-Volatile Organic Compound, puolihaihtuva orgaaninen yhdiste
TVOC	Total Volatile Organic Compounds, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä
EPA	Efficient Particulate Air filter, EPA-suodatin
HEPA	High Efficiency Particulate Air filter, HEPA-suodatin
ULPA	Ultra Low Penetration Air filter, ULPA-suodatin
PCO	Photocatalytic Oxidation, fotokatalyyttinen oksidaatio
DEP	Disposable Electrostatic Precipitator, kertakäyttöinen staattisella sähköllä toimiva suodatin
MPPS	Most Penetrating Particle Size, tunkeutuvien partikkelikoko
DEHS	Diethylhexyl sebacate, dietyyliheksyyli-sebakaatti

Symbolit

L_{WA}	A-äänitehotaso	[dB(A)]
L_{PA}	A-äänitaso	[dB(A)]
$L_{A,eq,T}$	keskiäänitaso	[dB(A)]
$L_{A,max}$	enimmäisäänitaso	[dB(A)]
L_p	äänenpainetaso	[dB]
L_w	äänitehotaso	[dB]
A	absorptioala	[m ²]
T	jälkikaiunta-aika	[s]
V	tilavuus	[m ³]

1 JOHDANTO

Rakennusten sisäilman laatuun liittyviä ongelmia alkoi esiintyä Suomessa laajemmin 1970-luvulla. Samaan aikaan rakentamisessa alettiin painottaa rakennusten mahdollisimman korkeaa energiansäästöä, minkä seurauksena rakennusvaipasta pyrittiin tekemään erityisen tiivis. Tämä puolestaan johti siihen, että ilmanvaihtuvuus rakennuksessa jäi usein puutteelliseksi. (Järnström 2005, 13)

Nykypäivänä rakennusten sisäilmaongelmat herättävät eri medioissa laajaa keskustelua, ja moni on huolissaan ympäröivästä sisäilmanlaadusta sekä mahdollisesti siitä aiheutuvista terveysvaikutuksista. Pahimmillaan ihminen voi sairastua vakavasti ja rakennus voidaan asettaa käyttökieltoon huonon sisäilman laadun takia. Syyt huonoon sisäilmaan voivat olla moninaiset.

Eräs yleisesti käytetty keino pitää rakennus tai jokin sen osa käyttökelpoisena on asentaa ilmanpuhdistin puhdistamaan huonoksi havaittua sisäilmaa. Ilmanpuhdistin ei korjaa varsinaista ongelman aiheuttajaa, mutta se tarjoaa mahdollisuuden käyttää tilaa siihen asti, kunnes syy huonoon sisäilmaan on saatu selville ja tarvittavat toimenpiteet tehtyä. Markkinoilla on tarjolla monia eri suodatustekniikkaan perustuvia laitteita usealta eri valmistajalta niin Suomesta kuin ulkomailtakin.

1.1 Työn tausta

Diplomityön taustalla on työn teettäjän Helsingin kaupungin kiinteistöviraston Tilakeskuksen tarve selvittää ilmanpuhdistimien todellinen kyky ratkaista sisäilmaongelmia sekä tuoda esiin mahdolliset erot eri tekniikkaan perustuvien ilmanpuhdistimien välillä. Tilakeskus vastaa Helsingin kaupungin omistamista palvelu- ja toimitiloista. Tutkimushankkeessa ovat mukana myös Espoon ja Vantaan kaupunkien Tilakeskukset sekä Senaatti-kiinteistöt.

Ilmanpuhdistimien hankinta- ja ylläpitokulut aiheuttavat yksistään Helsingin kaupungille nykyisellään vuosittain suuren menoerän. Tällä hetkellä ilmanpuhdistimia on käytössä kaupungin tiloissa useita satoja, joista suurin osa on sijoitettuna kouluihin.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Diplomityön tavoitteena on selvittää huonekohtaisten ilmanpuhdistimien soveltuvuus sisäilmaongelmista kärsiviin kohteisiin. Työssä laaditaan valintakriteerit ilmanpuhdistimen käyttökohteeseen valintaa varten. Tavoitteena on myös selvittää paras ilmanpuhdistimissa epäpuhtauksien suodattamiseen käytetty tekninen menetelmä.

Laitteita, ja niissä käytettyjä suodatusmenetelmiä vertaillaan laboratoriotestein. Vertailussa otetaan varsinaisen epäpuhtauksien suodatustehokkuuden lisäksi huomioon myös muut laitteiden käytön kannalta olennaiset ominaisuudet. Vertailun perustana on ilmanpuhdistimien testaaminen laboratorio-olosuhteissa sekä testeistä saatujen tulosten analysointi.

Työssä tarkasteltavat ilmanpuhdistimet rajattiin irrallisiin ja itsenäisesti toimiviin koululuokassa käytettäviksi soveltuviin malleihin. Laitteiden tuli olla sellaisia, että ne voidaan sijoittaa lattialle.

1.3 Työn rakenne

Aluksi luvussa 2 esitellään sisäilmassa esiintyviä tyypillisimpiä epäpuhtauksia ja niiden mahdollisia terveysvaikutuksia ihmisiin. Luvussa 3 käsitellään sisäilman epäpuhtauksien suodattamiseen huonekohtaisissa ilmanpuhdistimissa käytettäviä tekniikoita. Luku 4 pitää sisällään ilmanpuhdistimien laboratorioskokeisiin valittujen laitteiden esittelyn sekä kuvaukset laboratorioskokeiden testausmenetelmistä. Lisäksi esitetään perusteet laboratorioskokeiden testaussuureiden valinnalle.

Luvussa 5 käydään läpi ilmanpuhdistimien laboratoriotestauksista saadut tulokset ja luvussa 6 tuloksia hyödynnetään ilmanpuhdistimien valintakriteerien luomisessa sekä arvostellaan testatut laitteet pisteytyksin. Luvut 7 ja 8 käsittävät johtopäätökset ja yhteenvedon.

2 SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET

Ilmanpuhdistimien tarkoituksena on poistaa rakennusten sisäilmasta mahdollisesti terveyshaittaa aiheuttavia kemiallisia epäpuhtauksia. Nämä epäpuhtaudet voivat olla joko hiukkasmaisia tai kaasumaisia aineita, jotka voidaan edelleen jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Sisäilman epäpuhtaudet voivat olla peräisin monesta eri päästölähteestä, kuten rakennus- ja sisustusmateriaaleista, kosteuden vaurioittamista rakenteista, ihmisten toiminnoista tai rakennuksen ulkopuolelta esimerkiksi teollisuuden ja liikenteen päästöistä sekä maaperästä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 56)

Huonekohtaisten ilmanpuhdistimien synnyttämän puhdistusvaikutuksen tulisi olla merkittävästi suurempi kuin puhdistusvaikutuksen, joka syntyy ilmanvaihdon ja luonnollisen poistuman, kuten esimerkiksi hiukkasten laskeutumisen vaikutuksesta. Ilmanpuhdistimen aikaansaamasta riittävästä sisäilman epäpuhtauksien pitoisuustason alenemasta ei ole olemassa selkeitä määräyksiä tai ohjeita, mutta erään amerikkalaisen suosituksen (Association of Home Appliance Manufacturers) mukaan ilmanpuhdistimen tulisi aikaansaada huonetilassa 80 %:n pitoisuuden aleneminen. Epäpuhtauksien pitoisuuden tulisi siis laskea yhteen viidesosaan verrattuna tilanteeseen, jossa ilmanpuhdistin ei ole käytössä. (Mero & Tikkanen 2011, 30-31)

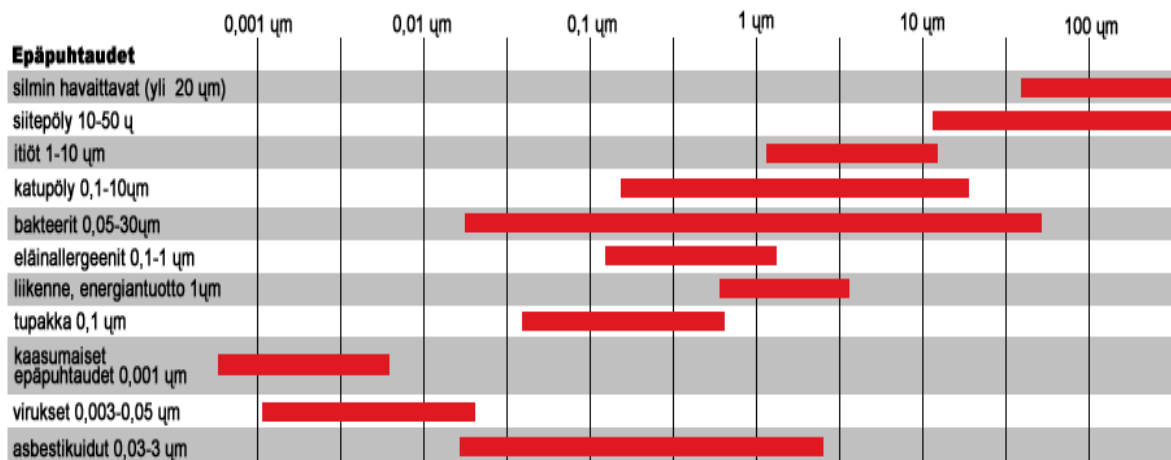
Ihmisten kokemat terveyshaitat, kuten päänsärky ja väsymys sekä hajuhaitat liittyvät todennäköisesti sisäilman kaasumaisiin orgaanisiin yhdisteisiin. Ilmassa samanaikaisesti esiintyvät useat eri yhdisteet voivat vahvistaa toistensa ominaisuuksia. Kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuudet sisäilmassa voivat olla ympäristöolosuhteista, kuten säätilasta, huoneilman lämpötilasta ja kosteudesta sekä ilmanvaihdosta riippuvaisia. Myös rakennuksen sisällä ja ulkopuolella tapahtuvien toimintojen muutos voi vaikuttaa sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 56)

2.1 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Suurin sisäilman hiukkaspitoisuuteen vaikuttava tekijä on ihmisten läsnäolo. Hiukkaspitoisuus ilmassa nousee välittömästi sen jälkeen, kun ensimmäiset ihmiset astuvat tilaan sisään. Sisäsyntyisiä pienhiukkaslähteitä voivat olla myös esimerkiksi ruoanvalmistus, puun poltto tulisijoissa sekä kynttilät. Sisäilmassa esiintyvistä pienhiukkasista osa on peräisin rakennuksen ulkopuolisista lähteistä, joista merkittävin lähde on liikenne. (Mero & Tikkanen 2011, 14)

Sisäilmassa esiintyvät hiukkaset voidaan jakaa kokonsa perusteella eri luokkiin. Kaikkia aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 10 µm kokoisia hiukkasia nimitetään hengitettäviksi hiukkasiksi. Suurimpia hengitettäviä hiukkasia, jotka ovat halkaisijaltaan 2,5 – 10 µm kutsutaan karkeiksi hiukkasiksi, ja halkaisijaltaan alle 2,5 µm hiukkaset ovat pienhiukkasia. Kaikkein pienimmistä eli halkaisijaltaan alle 0,1 µm hiukkasista käytetään nimitystä ultrapienet hiukkaset. (Tekes 2006, 5)

Kuvassa 1 on esitetty tyypillisimpien ilman epäpuhtauksien jakautuminen eri hiukkaskokoihin. Huomionarvoisinta on se, että bakteereilla on laajin hiukkaskokojakauma sen ollessa 0,05 – 30 µm sekä virusten sijoittuminen ultrapieniin hiukkasiin koossa 0,003 – 0,05 µm.



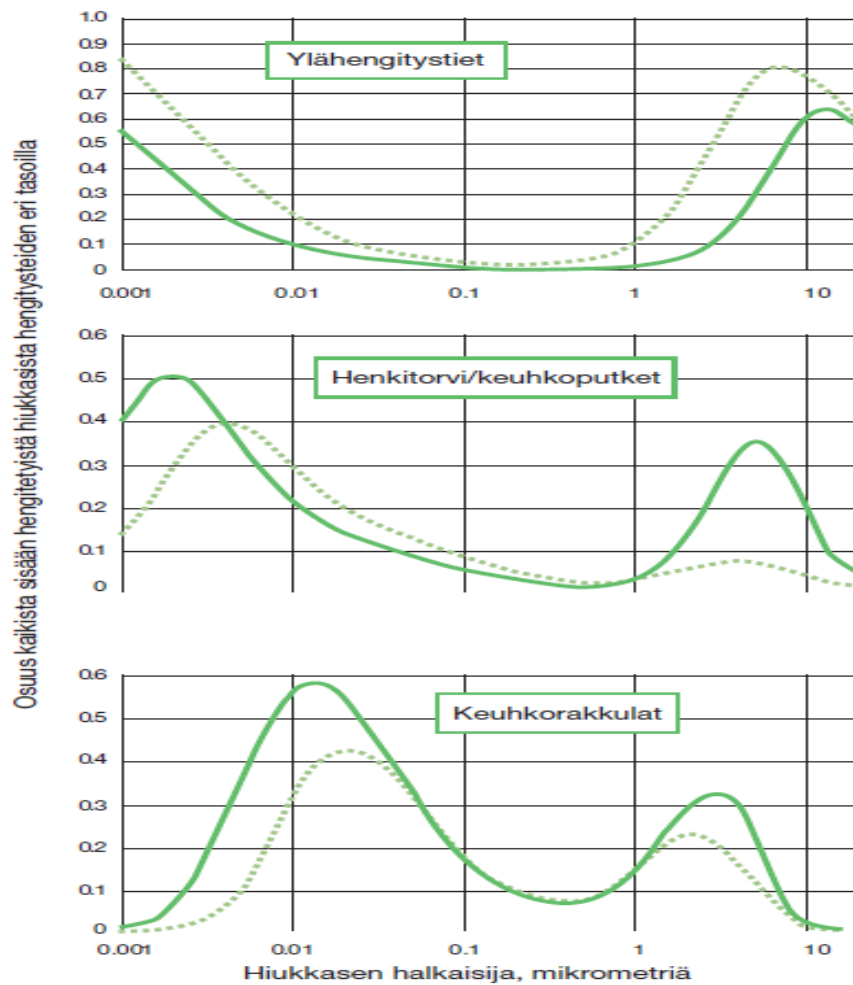
Kuva 1. Ilman epäpuhtauksien hiukkaskokojakauma (Hengityслиitto 2013).

Ulkoilmassa esiintyvät pienhiukkaset ja ultrapienet hiukkaset kulkeutuvat hyvin rakennusten ilmanvaihdon mukana sisäilmaan sellaisissa rakennuksissa, joissa on painovoimainen ilmanvaihto tai riittämätön suodatus koneellisen tuloilmanvaihdon yhteydessä. Karkeat hengitettävät hiukkaset sen sijaan eivät kulkeudu helposti ilmanvaihdon mukana rakennusten sisäilmaan. (Tekes 2006, 12)

Sisäilmassa esiintyvien hiukkasten laskeutuminen riippuu suuresti hiukkaskoosta, siten että huonetasojen pinnoille ja lattioille laskeutuu vain osa suurimmista hiukkasista. Nämä hiukkaset voidaan poistaa huonetilasta siivouksella. Pienhiukkaset eivät sen sijaan käytännössä koskaan laskeudu, joten niitä on mahdotonta poistaa huonetilasta siivouksen keinoin. Pienhiukkaset tuleekin poistaa joko ilmanvaihdon, ikkunatuuletuksen tai ilmanpuhdistimien avulla. Ilmanvaihtoa tehostamalla on mahdollista vähentää tilan sisäsyntyisten hiukkasten pitoisuutta sisäilmassa, mutta tehostamisen käänköpuolena voi olla ulkoilmasta peräisin olevien epäpuhtauksien määrän lisääntyminen huonetilassa. (Mero & Tikkanen 2011, 15)

Hiukkasten koko vaikuttaa merkittävästi siihen, mihin ihmisen sisään hengittämät hiukkaset kulkeutuvat hengitysteissä. Kuvasta 2 nähdään kaikkien sisään hengitettyjen hiukkasten osuus hengitysteiden eri tasoilla. Nenän kautta tapahtuva lepo hengitys on merkitty katkoviiivalla ja suuhengitys yhtenäisellä viivalla.

Kuten kuvasta 2 havaitaan, ylähengitysteihin jää suurin osa kaikkein pienimmistä ultrapienistä hiukkasista, jotka ovat kokoluokkaa 0,001 – 0,01 μm . Tätä suuremmista ultrapienistä hiukkasista aina 0,1 μm kokoon asti noin puolet kulkeutuu alahengitysteihin eli keuhkoputkiin ja keuhkorakkuloihin asti. Keuhkorakkuloista hiukkaset pääsevät osittain verenkiertoon. (Tekes 2006, 12)



Kuva 2. Sisäänhengitetyn ilman hiukkasten jakautuminen koon mukaan hengitysteiden eri tasoille (Tekes 2006, 13).

0,1 – 1 μm kokoisista pienhiukkasista valtaosa ei ennätä laskeutua hengitystien pinnalle ennen uloshengitystä. Tätä suuremmista pienhiukkasista noin 30 % jää lepo hengityksessä keuhkoputkiin ja keuhkorakkuloihin kuukausien tai jopa vuosien ajaksi. Noin 70 % 2,5 – 10 μm kokoisista hiukkasista eli karkeista hengitettävistä hiukkasista jää ylähengitysteihin, josta ne poistuvat tuntien tai vuorokausien kuluessa. (Tekes 2006, 12)

Taulukossa 1 on esitetty hengitettävien hiukkasten eri kokoluokkiin liitettyjä haittoja eroteltuna lyhyt- ja pitkäaikaiseen altistumiseen, joskin tutkimustiedot ovat osin puutteellisia. Kaikki hengitettävät hiukkaset pahentavat astmaa lyhytaikaisessa altistumisessa riippumatta hiukkaskoosta. Niin ikään lyhytaikaisessa altistumisessa sepelvaltimotaudin on havaittu pahentuvan pienhiukkasten ja ultrapienten hiukkasten

vaikutuksesta. Pitkäaikaisessa altistumisessa pienhiukkaset vaikuttavat eliniän lyhentymiseen, keuhkohtaumatautiin ja verisuonten kalkkeutumiseen. (Tekes 2006, 15)

Taulukko 1. Hengitettävien hiukkasten kokoluokkiin liitettyjä terveydellisiä haittoja (Tekes 2006, 15).

Hiukkaskokoluokka	Lyhytaikainen altistuminen	Pitkäaikainen altistuminen
Karkeat hiukkaset (2,5-10 µm)	Astma ja keuhkohtaumatauti pahentuvat Hengitystieinfektiot	Keuhkohtaumatauti?
Pienhiukkaset (< 2,5 µm)	Astma ja keuhkohtaumatauti pahentuvat Hengitystieinfektiot Sepelvaltimotauti ja aivoverenkierrosairaudet pahentuvat	Elinikä lyhenee Keuhkohtaumatauti Verisuonten kalkkeutuminen voimistuu Astma? Allergia?
Ultrapienet hiukkaset (< 0,1 µm)	Astma pahentuu Sepelvaltimotauti pahentuu	Ei tutkimustietoja

2.2 Kaasumaiset epäpuhtaudet

Rakennusten sisäilmassa esiintyvillä kaasumaisilla epäpuhtauksilla tarkoitetaan yleensä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä eli VOC-päästöjä (Volatile organic compound). VOC-yhdisteet sisäilmassa voivat olla peräisin monesta eri lähteestä, kuten rakennusmateriaalien liuotinpäästöistä, tuloilman kautta ulkoa kulkeutuvista liikenteen päästöistä, ilmanvaihtojärjestelmästä tai sisätilassa tapahtuvasta toiminnasta. Tupakointi, puhdistusaineiden käyttö, kopiokoneet ja tulostimet, sekä mikrobit ja sisäilmassa tapahtuvat kemialliset reaktiot voivat toimia VOC-yhdisteiden sisäsyntyisinä päästölähteinä. Sisäilman laatua voivat heikentää myös niin sanotut puolihaihtuvat orgaaniset SVOC-yhdisteet (Semi-volatile organic compound). Nämä voivat olla peräisin pehmittimistä, palonsuoja-aineista tai lahonestoaineista, ja ne esiintyvät pääasiassa sisäilman hiukkasiin sitoutuneina tai pinnoilla. Rakenteista peräisin olevien terveydelle haitallisten yhdisteiden kerääntyminen sisäilmaan on seurausta riittämättömästä ilmanvaihdosta. (Järnström 2005, 13-14)

Materiaaliemissiolla tarkoitetaan jonkin materiaalin pinnasta tapahtuvaa kemiallisten yhdisteiden haihtumisilmiötä. VOC-emissiot materiaalista lisääntyvät rakenteen kosteuspitoisuuden ollessa korkea, joka on tyypillistä erityisesti lattiarakenteissa. Tästä

esimerkkinä voidaan käyttää muovimatoissa pehmittimenä käytettyjen ftalaattien hajotessa syntyvää 2-etyyliheksanolia. Hajoamisreaktio on seurausta alkalisesta kosteudesta. Kosteuden vaikutuksesta voi sisäilmaan syntyä myös ammoniakkaa, kun esimerkiksi 1970 -1980 -luvulla käytetyn tasoitteen sisältämä kaseiini hajoaa synnyttäen emissiota. Myös rakennusmateriaali itsessään voi olla niin huonolaatuinen, että siitä muodostuu sisäilmaan VOC-päästöjä. (Järnström 2005, 17)

Sisäilmassa esiintyvät kemialliset yhdisteet voivat aiheuttaa ihmisille moninaisia terveysvaikutuksia. Koettuihin oireisiin vaikuttavat sekä yhdiste että sen pitoisuus sisäilmassa. Kemiallisten sisäilmassa esiintyvien haihtuvien yhdisteiden kokonaismäärästä käytetään termiä TVOC (Total volatile organic compounds). Kemiallisten aineiden määrän katsotaan olevan sisäilmassa epätavallisen suuri, jos mitattu TVOC-pitoisuus on yli 600 g/m^3 . Tällöin lisäselvitykset yksittäisten yhdisteiden tutkimiseksi ovat perusteltuja. Kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuudet ovat yleensä korkeimmat uudisrakennuksissa ja korjatuissa rakennuksissa. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 56)

Formaldehydistä aiheutuvat oireet ovat tavallisesti silmien ja limakalvojen ärsytys, päänsärky ja väsymys. Lisäksi formaldehydi luokitellaan ihmisissä syöpää aiheuttavaksi yhdisteeksi. Ammoniakki ei sisäilmassa havaittuina pitoisuuksina itsessään aiheuta terveyshaittaa, mutta sen kohonnut pitoisuus voi kertoa muista rakenteissa olevista ongelmista, jotka voivat aiheuttaa terveysvaikutuksia. Muita sisäilmassa mahdollisesti esiintyviä epäorgaanisia epäpuhtauksia ovat polttoprosesseista peräisin olevat typpi- ja rikkidioksidit sekä hiilimonoksidi. Nämä yhdisteet aiheuttavat yleensä erilaisia hengitystieoireita. Samanlaisia oireita voi aiheuttaa myös esimerkiksi tulostuslaitteiden tuottama tai ulkoilmasta ilmastoinnin kautta rakennuksen sisäilmaan kulkeutuva otsoni. (Järnström 2005, 27-28)

Otsoni on kolmesta happiatomista koostuva voimakkaasti reaktiivinen molekyyli, jolle altistuminen voi vahingoittaa hengityselimistöä. Oireina voivat olla hengitysteiden ärsyyntymisen lisäksi esimerkiksi vaikeutunut hengitys sekä astman pahentuminen astmaa sairastavilla henkilöillä. Pahimmillaan pidempiaikainen altistuminen voi johtaa pysyviin keuhkovaurioihin ja jopa ennenaikaiseen kuolemaan. (Jakober et al. 2008, 3)

2.3 Mikrobit

Mikrobeihin lasketaan kuuluviksi mm. virukset, bakteerit, sienet, levät ja alkueläimet (Sisäilmayhdistys 2008a). Suomessa ilman mikrobipitoisuus vaihtelee selvästi eri vuodenaikojen mukaan. Talvella, kun maa on lumen peitossa, ulkoilmassa on hyvin vähän mikrobeja. Muina vuodenaikoina ulkoilman pääasiallisina mikrobilähteinä toimivat mm. maaperä, kasvit ja vesi. Rakennusten sisäilmassa esiintyvään mikrobistoon vaikuttavat ulkoilman mikrobien lisäksi erilaiset mikrobien sisälähteet, kuten rakenteiden mikrobikasvustot, elintarvikkeet, huonekasvit, huonepöly, kotieläimet ja ihminen itse. (Sisäilmayhdistys 2008b)

Mikrobi-itiöt voivat päätyä rakennuksen sisäilmaan ulkopuolelta rakenteiden läpi esimerkiksi rakennuksen alustan maaperästä tai seinien eristetiloista, jos rakenteiden tiiviydessä on puutteita, ja sisätilat ovat liian alipaineiset (Mero & Tikkanen 2011, 16). Tuloilmakanava ei siten ole tällaisissa kohteissa ainoa tie mikrobien pääsulle rakennukseen sen ulkopuolelta, joten kaikkien ulkosyntyisten mikrobien kulkeutumista rakennukseen ei olisi edes teoriassa mahdollista estää tuloilmakanavaan asetettavilla suodattimilla. Sama pätee myös muihin ilman epäpuhtauksiin.

Rakennuksen rakenteissa tai materiaaleissa esiintyvä liiallinen kosteus voi käynnistää mikrobikasvun, mikä puolestaan voi johtaa rakennuksessa sisäilmaongelmiin. Tällöin puhutaan kosteusvaurion aiheuttamasta sisäilmaongelmasta. Sisäilmanlaatu heikkenee mikrobien myrkyllisten aineenvaihduntatuotteiden eli toksiinien tai mikrobikasvusta aiheutuvien hiukkaspäästöjen sisäilmaan pääsyn seurauksena. (Sisäilmayhdistys 2008a)

Toksiinit voidaan jakaa endo- ja mykotoksiineihin. Endotoksiinit ovat gramnegatiivisten bakteerien tuottamia soluihin sidottuja toksineita ja mykotoksiinit eli homeyrkyt ovat sienten aineenvaihduntatuotteita. Gramnegatiivisella bakteerilla tarkoitetaan gramvärjäyksessä vaaleanpunaiseksi värjäytyvää bakteeria (Duodecim 2013). Endotoksiineita voi vapautua sisäilmaan, jos rakenteiden materiaaleissa on toksineja tuottavia bakteerilajeja. Mykotoksiinit puolestaan vapautuvat rakennusmateriaalin homehtumisen yhteydessä. (Sisäilmayhdistys 2008a)

Rakennuksen kosteusvaurion ollessa uusi, toksiineja tuottavia mikrobeja ei esiinny. Bakteeri- ja sienikasvustot alkavat tuottaa toksiineja ajan kuluessa, kun kosteusvaurio saa rauhassa muhia välillä kuivuen ja välillä uudelleen kastuen. Tämä voi ajanjaksona tarkoittaa vuosia. Hometalon ilman toksisuus riippuu siis siitä, kuinka kauan kosteusvaurio on ehtinyt vaikuttaa. (Salkinoja-Salonen 2008, 7)

Ihmisten terveydellisen näkökulman kannalta sisäilmassa keskeisessä asemassa ovat mikrobien tuottamat toksiinit ja niille altistuminen, eivätkä vain harvojen mikrobien mahdollisesti aiheuttamat infektiot. Kosteista rakennuksista on löydetty vain kolme mikrobia, jotka tiedetään ihmistä infektoiviksi. Toksiinit sen sijaan heikentävät immuunipuolustusta tai ohjaavat sitä väärään suuntaan aiheuttaen allergiaa, astmaa, atopiaa tai muita häiriöitä. Rasvaliukoiset toksiinit imeytyvät ympäristöstä ihmisen elimistöön ihon, hengityselimien tai silmien kautta. (Salkinoja-Salonen 2009, 3-4)

3 ILMANPUHDISTIMIEN SUODATUSTEKNIIKAT

Tässä luvussa esitetään nykyisin markkinoilla olevissa ilmanpuhdistimissa yleisimmin käytetyt epäpuhtauksien suodatustekniikat. Tekniikat on jaoteltuna mekaaniseen suodatukseen, elektrostaattiseen suodatukseen, kemialliseen suodatukseen, UV-säteilytykseen, fotokatalyyttiseen oksidaatioon ja ionisointiin.

3.1 Mekaaninen suodatus

Mekaanisissa ilmanpuhdistimissa sisäilma johdetaan suodattimien läpi puhallinmoottorin avulla. Mekaanista suodatustekniikkaa käyttävät ilmanpuhdistimet sisältävät yleensä karkeamman pölyn poistavan esisuodattimen ja varsinaisen pääsuodattimen. Pääsuodattimen tyyppi vaikuttaa ratkaisevasti siihen, minkä kokoisia hiukkasia ilmanpuhdistin voi sisäilmasta poistaa.

Ilmansuodattimien luokittelussa on yleisesti käytössä eurooppalainen standardi EN779:2012, jossa ilmansuodattimet jaetaan suodatuskyvyn mukaan kolmeen eri suodatusryhmään. Suodatusryhmiä ovat karkea-, keski- ja hienosuodattimet. Karkeasuodattimiin kuuluvat suodatinluokat G1-G4, keskisuodattimiin suodatinluokat M5-M6 ja hienosuodattimiin luokat F7-F9 (Eurovent 2012, 3). Taulukossa 2 on esitetty suodatinluokittain karkeasuodattimien keskimääräiset suodatuskyvyt synteettisellä pölyllä sekä keski- ja hienosuodattimien keskimääräiset suodatustehokkuudet hiukkaskoolla 0,4 µm.

Taulukko 2. Ilmansuodattimien luokitus standardin EN779:2012 mukaan (Eurovent 2012, 3).

Suodatinryhmä	Suodatinluokka	Keskimääräinen suodatuskky (Ks) synteettisellä pölyllä [%]	Keskimääräinen suodatustehokkuus (Kt) hiukkaskoolla 0,4 µm [%]
Karkeasuodatin	G1	$50 \leq Ks < 65$	
	G2	$65 \leq Ks < 80$	
	G3	$80 \leq Ks < 90$	
	G4	$90 \leq Ks$	
Keskisuodatin	M5		$40 \leq Kt < 60$
	M6		$60 \leq Kt < 80$
Hienosuodatin	F7		$80 \leq Kt < 90$
	F8		$90 \leq Kt < 95$
	F9		$95 \leq Kt$

Hienosuodattimien eli luokkiin F7-F9 kuuluvien suodattimien tulee standardin EN779:2012 mukaan täyttää keskimääräisen suodatustehokkuuden lisäksi myös tietyt vaatimukset minimierotusasteen osalta. Tällä tarkoitetaan alinta suodatustehokkuutta 0,4 µm kokoisilla hiukkasilla. Alin suodatustehokkuus tulee saavuttaa ilman mahdollista suodatinelementtiin asetettua sähköstaattista varausta, mikä takaa sen, että suodatustehokkuus pysyy riittävällä tasolla vaikka suodattimen varaus katoaisikin käytön myötä. F7-luokan suodattimelle alin suodatintehokkuus on 35 %, F8-luokkaan kuuluvalla suodattimelle 55 % ja F9-luokan suodattimelle 70 %. (Eurovent 2012, 3)

Standardissa EN1822:2009 on määritelty korkeamman luokan suodattimet, joihin kuuluvat EPA-suodattimet (Efficient Particulate Air filter) E10-E12, HEPA-suodattimet (High Efficiency Particulate Air filter) H13-H14 ja ULPA-suodattimet (Ultra Low Penetration Air filter) U15-U17 (Trox Technik 2010, 2). Taulukossa 3 on esitetty EPA-, HEPA-, ja ULPA-suodattimien hiukkasten kokonaissuodatustehokkuudet ja kokonaisläpäisy suodatinluokittain. Luokkien H13-U17 suodattimien osalta luvut koskevat kaikkein läpäisevintä hiukkaskokoa. (Camfil Farr 2012, 13)

Taulukko 3. Ilmansuodattimien luokitus standardin EN1822:2009 mukaan (Trox Technik 2010, 2).

Suodatinryhmä	Suodatinluokka	Kokonaissuodatus- tehokkuus [%]	Kokonaisläpäisy [%]
EPA-suodatin	E10	85	15
	E11	95	5
	E12	99,5	0,5
HEPA-suodatin	H13	99,95	0,05
	H14	99,995	0,005
ULPA-suodatin	U15	99,9995	0,0005
	U16	99,99995	0,00005
	U17	99,999995	0,000005

Mekaanisissa suodattimissa hiukkasten kiinnittyminen suodattimeen voi tapahtua eri mekanismeilla. Yleinen harhaluulo on, että ilmansuodattimen suodatuskyky perustuu vain siihen, että suodattuvat hiukkaset ovat kooltaan suurempia kuin suodatinmateriaalin kuitujen välinen tila. Tällainen siivilöinti ei ole kuitenkaan päämekanismi, johon ilmansuodatus perustuu. (Spengler et al. 2000, luku 9.4)

Normaalissa ilmanpaineessa ilmavirtauksen mukana kulkevilla noin alle 0,2 µm kokoisilla hiukkasilla on merkittäviä poikkeamia virtauksen virtaviivasta, jolloin ne voivat osua suodatinmateriaalin kuituihin ja tarttua niihin kiinni. Tästä mekanismista käytetään nimitystä diffuusio. Poikkeamat aiheutuvat molekyyllisestä vuorovaikutuksesta kaasumolekyylien törmätessä hiukkasiin. Diffuusion tapahtuminen on riippuvainen virtausnopeudesta, siten että hitaalla virtausnopeudella hiukkasilla on enemmän aikaa poiketa virtauksesta ja siten tulla kerätyksi. (Spengler et al. 2000, luku 9.4)

Hiukkaset voivat joutua kosketuksiin suodattimen kuitujen kanssa ja tarttua niihin kiinni myös tilanteissa, joissa hiukkaset seuraavat tarkasti virtauksen suuntaa. Tähän vaikuttaa hiukkasten koko siten, että kiinnittyminen on tehokkainta yli 0,5 µm kokoisilla hiukkasilla. Virtausnopeudella on vain vähäinen vaikutus tähän mekanismiin. (Spengler et al. 2000, luku 9.4)

Tyypillisesti yli 0,5 µm hiukkasilla on vaikeuksia seurata virtauksen suunnanmuutoksia kulkiessaan suodattimen kuitujen välissä suuren inertiansa seurauksena. Inertia on suuri

hiukkasilla, jotka ovat joko massaltaan tai nopeudeltaan suuria. Tällaiset hiukkaset suodattuvat törmäämällä suodatinmateriaalin kuituihin poiketessaan virtauslinjasta. Suodatusmekanismin tehokkuus on riippuvainen ilman virtausnopeudesta ja kuitukoosta. (Spengler et al. 2000, luku 9.4)

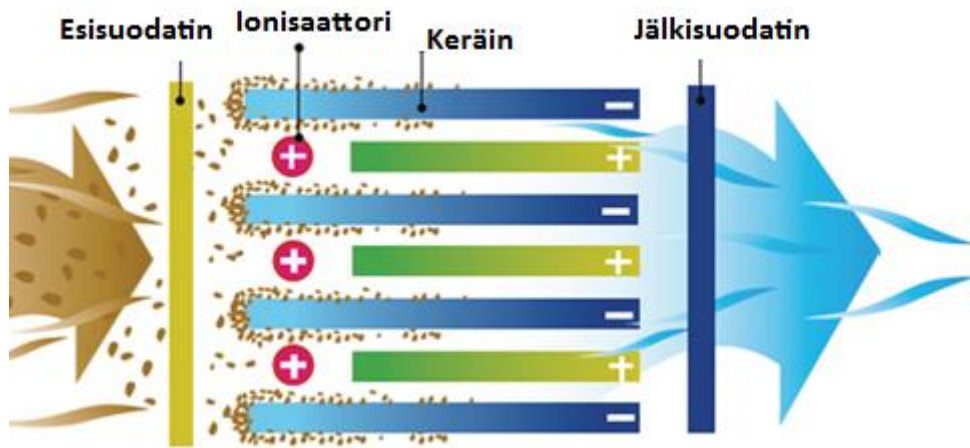
Kuten edellä mainitusta huomataan, hiukkaskoolla on ratkaiseva merkitys siihen, millä mekanismeilla hiukkaset tulevat mekaaniseen suodattimeen keräytyksi. Kun diffuusiolla saadaan kerättyä vain pienimmät hiukkaset, ja muut mekanismit toimivat tehokkaasti vain yli 0,5 μm hiukkasilla, on seurauksena se, että suodattimien suodatustehokkuus on heikoin näiden alueiden välissä hiukkaskoolla 0.1 - 0.4 μm . Tarkka läpäisevin hiukkaskoko määräytyy suodatinmateriaalin kuitujen halkaisijan ja ilman virtausnopeuden perusteella. Huomionarvoista suodatuksessa on myös se, että hiukkasen osuminen kuituun ei välttämättä takaa hiukkasen kiinnittymistä. Massaltaan ja nopeudeltaan suuri hiukkanen saattaa ponnahtaa kuituun osuessaan takaisin virtaukseen. Ponnahtamiseen vaikuttavat massan ja nopeuden lisäksi hiukkasen liikesuunta suhteessa kuituun sekä kuidun koko. Hiukkasten ponnahtamista voidaan merkittävästi laskea käsittelemällä suodatin tietyllä nesteellä tai sideaineella. (Spengler et al. 2000, luku 9.5)

Mekaanisten suodattimien heikkoutena on suodattimesta aiheutuva painehäviö, minkä seurauksena ilmanpuhdistimen puhaltimelta vaaditaan riittävän korkeaa paineentuottokykyä ja energiaa kuluttavaa tehoa. Suodattimien huonona puolena on myös kaiken eloperäisen, kuten bakteerien kerääntyminen suodattimeen, jolloin suodatin toimii bakteerien kasvualustana. Suodatuksen toimivuuden ehdoton edellytys on suodattimen kiinnityksen tiiveys, jotta ilmavirran ohivirtausta ei tapahdu.

3.2 Elektrostaattinen suodatus

Elektrostaattiseen tekniikkaan perustuvia ilmanpuhdistimia on markkinoilla monia eri malleja, mutta kaikkien niiden suodatuskyky perustuu samaan pääperiaatteeseen. Elektrostaattisella tekniikalla toimivasta ilmanpuhdistimesta käytetään yleisesti myös nimitystä sähkösuodatin.

Kuvassa 3 on esitetty elektrostaattisella menetelmällä toimivan ilmanpuhdistimen toimintaperiaate. Laitteessa on yhdensuuntaisten levyjen väliin asetettu tasaisin välein johtimia, jotka toimivat korkeajännite elektroneina. Puhdistettava ilmavirtaus kulkee elektroneiden välisen tilan lävitse, jolloin koronapurkauksella tuotetut ionit varaavat virtauksessa olevat hiukkaset. Suodattimen korkeajännitteinen keräilypinta tai maadoitettu pinta vetävät sähkökentän ansiosta varattuja hiukkasia puoleensa, jolloin hiukkaset kulkeutuvat pinnalle ja tarttuvat siihen kiinni. (Spengler et al. 2000, luku 9.8)



Kuva 3. Elektrostaattisen ilmanpuhdistimen toimintaperiaate (RydAir 2013).

Elektrostaattiset laitteet tulee huoltaa ja puhdistaa säännöllisesti, jotta laitteen suorituskyky säilyy. Keräinlevyjen pölyntyessä käytön myötä ilmanpuhdistimen tehokkuus voi alentua merkittävästi, mikä tarkoittaa sitä, ettei uuden laitteen puhdistuskyky anna koko kuvaa laitteen suorituskyvystä. Osa markkinoilla olevista elektrostaattisista ilmanpuhdistimista pesee itse keräinlevynsä automaattisesti eikä käsin pesua tarvita, mutta tällöinkin laitteen pesuvesi tulee vaihtaa säännöllisesti. Elektrostaattisissa ilmanpuhdistimissa suurin osa energiankulutuksesta menee ilman ionisoimiseen tarvittavaan sähköenergiaan eikä painehäviöön ilmavirran kulkiessa laitteen läpi, kuten esimerkiksi mekaanisissa ilmanpuhdistimissa. (Spengler et al. 2000, luku 9.8)

Sähkösuodattimet voivat tuottaa käytön aikana otsonia ja typpioksideja, jotka saastuttavat sisäilmaa ja siten heikentävät sisäilman laatua. Oikein suunniteltuna, asennettuna ja huollettuna sähkösuodattimet tuottavat suhteellisen matalia otsonitasoja verrattuna

ihmiselle hyväksytyyn otsonaaltistuksen tasoon. Monet ihmiset voivat kuitenkin havaita tämän ilmanpuhdistimen käytöstä syntyneen otsonin. Väärin toimiva huoltamaton laite voi aiheuttaa kasvaneen otsonin tuoton. (Spengler et al. 2000, luku 9.7)

Aiemmin tehdyn tutkimuksen mukaan elektrostaattiseen suodatustekniikkaan perustuvan ilmanpuhdistimen otsonintuotto voi yli viisinkertaistua viikon mittaisen käyttöjakson aikana. Tämän todettiin olevan seurausta pääasiassa laitteen keräinlevyjen likaantumisesta. (Jakober 2008, 25)

3.3 Kemiallinen suodatus

Kemiallisella suodatuksella tarkoitetaan kaasumaisten epäpuhtauksien suodattamista. Ilmanpuhdistimissa yleisin käytetty kemiallinen suodatinmateriaali on aktiivihiili, jota käytetään kaasupitoisuuksien, hajujen ja höyryjen poistoon sisäilmasta. Aktiivihiilisuodatin sitoo kaasumaisia aineita, kuten VOC-yhdisteitä itseensä adsorption avulla. Adsorptiolla tarkoitetaan kaasumolekyylin kiinnittymistä suodatinmateriaalin pintaan (Railio 2007, 1).

Aktiivihiilisuodattimen tehokkuus kemiallisessa suodatuksessa perustuu aktiivihiilirakeiden suureen pinta-alaan ja huokoiseen rakenteeseen. Puhtaan aktiivihiilen epäpuhtauksia adsorboivat ominaisuudet johtuvat fyysisestä vetovoimasta, jossa Van der Waalsin voimat vetävät molekyyliä aktiivihiilen pinnalle (Hannola 2007, 15). Kemiallisen suodattimen tehokkuuden edellytyksenä on suodattimen riittävän suuri koko, jotta kaasumaiset epäpuhtaudet ehtivät imeytyä suodatinmateriaaliin, kun puhdistettava ilmavirta kulkee ilmanpuhdistimen läpi. Ilmavirran kulkuajasta suodattimen läpi käytetään nimitystä viipymä, joka saadaan jakamalla suodatusaineen tilavuus ilmavirralla (Railio 2007, 1).

Mikään yksittäinen suodatin ei pysty suodattamaan kaikkia kaasumaisia yhdisteitä. Molekyylipainoltaan alhaiset yhdisteet kuten ammoniakki, rikkivety ja formaldehydi adsorptoituvat heikosti tavalliseen aktiivihiileen (Spengler et al. 2000, luku 10.2). Tällöin tarvitaan aktiivihiilen impregnointia. Impregnoinnilla tarkoitetaan adsorptiomateriaalin

kyllästämistä aineella, joka reagoi suodatettavan kaasun kanssa sitoen sen suodatinmateriaaliin kemisorptiolla (Railio 2007, 1). Tällaisia yleisesti käytettyjä aineita eli impregnaatteja ovat mm. metallien suolat, hapot ja jalometallit (Hannola 2007, 15).

Kemisorptiolla tarkoitetaan tapahtumaa, jossa epäpuhtaudet kiinnittyvät suodatinmateriaaliin kemiallisessa reaktiossa (Railio 2007, 1). Aktiivihiili toimii kemisorptiossa impregnointikemikaalien kantoaineena tarjoten suuren pinta-alan kemiallisen reaktion tapahtumiselle. Puhdistettavan ilmavirran viipymä tulee olla riittävän suuri erityisesti impregnoituilla suodattimilla, jotta kemiallinen reaktio ehtii tapahtua. Kemisorption vaatima aika voi vaihdella suuresti olosuhteista riippuen esimerkiksi välillä 0.01 – 0.4 s. Lisääntynyt suhteellinen kosteus ja kohonnut lämpötila voivat nopeuttaa kemisorption tapahtumista. (Spengler et al. 2000, luku 10.3)

Kemisorptiolla voidaan poistaa ilmasta kaasumaisia epäpuhtauksia myös käyttämällä kaliumpermanganaatilla impregnoitua alumiinioksidia aktiivihiilen sijaan. Tämän käyttö on perusteltua kaikkein reaktiivisimpien yhdisteiden poistamisessa ilmasta. Kaliumpermanganaatilla impregnoitu alumiinioksidi poistaa impregnoimatonta aktiivihiiltä tehokkaammin ilmasta esimerkiksi typpioksidia, rikkidioksidia, formaldehydiä ja rikkivetyä. Sen sijaan aktiivihiili poistaa tehokkaammin esimerkiksi typpidioksidia ja tolueenia. Kaliumpermanganaatti on voimakas hapetin, mutta koska typpidioksidi on sellaisenaan korkeasti hapetetussa tilassa, sitä ei voida hapettaa enempää. Myös orgaaninen yhdiste tolueeni on vastustuskykyinen hapetukselle. Rikkivety on vastaavasti helposti hapetettava yhdiste, minkä seurauksena kaliumpermanganaatilla impregnoitu alumiinioksidi toimii aktiivihiiltä paremmin suodatettaessa sitä ilmasta. Ilmanpuhdistimissa voidaan käyttää kaasumaisten epäpuhtauksien poistamiseen suodatinta, joka on sekoitus esimerkiksi tilavuussuhteessa 50/50 aktiivihiiltä ja kaliumpermanganaatilla impregnoitua alumiinioksidia, jotta saadaan laaja-alainen suodatuskyky erilaisille kaasumaisille epäpuhtauksille. (Spengler et al. 2000, luku 10.3)

Kemialliset suodattimet tulee vaihtaa uusiin ilmanpuhdistimen valmistajan ohjeiden mukaisesti. Aktiivihiilisuodattimen käyttöikä voidaan pitää verraten lyhyenä, mutta on kuitenkin havaittu, että se on pidempi kuin suodattimen joka on valmistettu

kaliumpermanganaatilla impregnoidusta alumiinioksidista (Spengler et al. 2000, luku 10.3). Normaaleissa olosuhteissa aktiivihiilisuodattimen suodatustehokkuus heikkenee merkittävästi vuodessa, mutta jos ilmassa on runsaasti epäpuhtauksia, tulisi suodatin vaihtaa uuteen jopa kuukauden välein (Hengitysliitto 2013). Kemiallisten suodattimien käyttöikään voi vaikuttaa esimerkiksi se, otetaanko rakennuksen tuloilma huonetilaan korkealta vai katutasosta, koska tällä voi olla vaikutusta tuloilman sisältämien kaasumaisten epäpuhtauksien määrään (Spengler et al. 2000, luku 10.3).

3.4 UV-säteilytys

Ilmanpuhdistimissa voidaan käyttää ultraviolettisäteilyä yhtenä menetelmänä sisäilman puhdistamisessa. Laite voidaan varustaa UV-valolla, jonka tuottama ultraviolettisäteily vaikuttaa ilmavirran mukana laitteeseen kulkeutuvien mikrobin DNA:han estämällä niiden kasvua ja lisääntymistä (Hengitysliitto 2013, 8). Huoneilmanpuhdistimissa käytettävä ultraviolettisäteilyn muoto on suurienerginen UVC-säteily, jonka aallonpituus on 100 – 280 nm. Tämä sisältää tehokkaimman mikrobeja tuhoavan aallonpituusalueen 260 – 265 nm, joka on myös DNA:n maksimiabsorptioaallonpituusalue. Säteilyn lähteenä voidaan käyttää esimerkiksi UVC-elohopealoistelamppuja, sillä niiden säteilyenergiasta yli 90 prosenttia emittoituu hyvin desinfiointiin soveltuvalla 254 nm aallonpituudelle. (Mero & Tikkanen 2011, 29-30)

Ultraviolettilamput voivat tuottaa haitallista otsonia, kun lampun emittoima UVC-säteily muodostaa happiradikaaleja, jotka yhtyvät kaksiatomiseen happimolekyylisiin. Tämän tuloksena syntyy reaktiivinen otsoni, joka myös osallistuu laitteessa bakteerien tuhoamiseen. Laitteen ulkopuolelle päästessään otsoni voi aiheuttaa liian suurina pitoisuuksina oireita ihmisille. Käytettävä ultraviolettisäteily itsessään on myös terveydelle vaarallista, joten säteilyä puhdistusmenetelmänä käytettävä ilmanpuhdistin tulee suunnitella ja asentaa siten, että säteilyä ei pääse laitteesta sen ulkopuolelle. Suojaamattomalle UVC-lampulle altistuminen alle 50 cm päästä ylittää asetetut terveydelle vaaralliset altistumisrajat erittäin lyhyessä ajassa, jolloin puhutaan ajanjaksosta, joka on muutamasta sekunnista korkeintaan minuuttiin. (Mero & Tikkanen 2011, 30)

UV-säteilytys ei voi olla ilmanpuhdistimessa ainoa epäpuhtauksien puhdistusmenetelmä, vaan laitteessa on aina oltava suodatin, joka poistaa hiukkaset ja mikrobit laitteen läpi kulkevasta ilmavirrasta. Mikrobit voidaan tappaa ilmavirrasta UV-säteilytyksellä joko ennen keräävää suodatinta tai siinä vaiheessa, kun ne ovat kerääntyneet suodattimeen. Suodattimeen kerääntyneet elävät mikrobit voivat tuottaa sisäilmaan haitallisia aineenvaihduntatuotteita, ja suodattimen voidaan tällöin ajatella toimivan mikrobien kasvualustana.

UV-lampun vaihtoväli on noin yksi vuosi. Lampun teho heikkenee käytössä ikääntymisen ja likaantumisen myötä. Käyttöympäristön olosuhteet vaikuttavat myös omalta osaltaan säteilyn tehoamiseen, esimerkiksi suuri ilmankosteus voi huonontaa ultraviolettisäteilyn vaikutusta. Jotkin epäpuhtauslajit sietävät säteilyä paremmin kuin toiset. (Hengitysliitto 2013, 8)

3.5 Fotokatalyyttinen oksidaatio

Fotokatalyyysillä tarkoitetaan valon imeytyessä fotokatalyyttiin sen pinnalla tai läheisyydessä tapahtuvaa spontaania kemiallista reaktiota. Tunnetuin fotokatalyyttinen materiaali on titaanidioksidi (TiO_2). Katalyytillä tarkoitetaan ainetta, joka edesauttaa ja nopeuttaa kemiallisen reaktion tapahtumista. Katalyyttia ei kulu reaktiossa. Fotokatalyyysissä hydroksyyli-ryhmä (OH), vesi (H_2O) ja happi (O_2) muodostavat voimakkaita hapettimia, jotka reagoivat kaasumaisten epäpuhtauksien kanssa. (Hengitysliitto 2013, 10)

Markkinoilla on ilmanpuhdistimia, joissa puhdistusmenetelmänä käytetään fotokatalyyttistä oksidaatiota eli PCO:ta (Photocatalytic oxidation). PCO:lla huoneilman epäpuhtauksia ei kerätä, vaan ne hajotetaan vaarattomiksi. Pilkkoutumisen lopputuotteina syntyy hiilidioksidia ja vettä, mutta myös haitallisia tuotteita kuten formaldehydiä ja otsonia on todettu muodostuvan väli- tai sivutuotteina. Menetelmää käyttävissä laitteissa PCO-tekniikka esiintyy yhtenä osana koko suodatusjärjestelmää, ja epäpuhtaudet kerätään usein esimerkiksi mekaanisilla suodattimilla. Laite voi käyttää fotokatalyyysiin joko

luonnonvaloa tai laitteeseen asennettua UV-lamppua. Fotokatalyyttistä oksidaatiota käyttävät laitteet pitää huoltaa pesemällä ja puhdistamalla ne laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti. (Hengitysliitto 2013, 10)

3.6 Ionisointi

Ionisointimenetelmä on eräs ilmanpuhdistimissa käytettävä puhdistusmenetelmä. Ionisoivien laitteiden toimintaperiaatteena on se, että ne kierrättävät huoneilmaa lävitseen ja varaavat ilmassa olevat epäpuhtaudet negatiivisesti. Varautuneet hiukkaset kerääntyvät huonetilan pinnoille kuten seiniin, lattialle ja tekstiileihin. Nämä hiukkaset tulisi siivota pinnoilta nopeasti pois, sillä kiinnittyminen varauksen avulla ei ole pysyvää. Ionisointi ei siis itsessään poista epäpuhtauksia, vaan edesauttaa niiden keräämistä siirtämällä ne ilmasta puhdistettaville pinnoille. Joissain ionisointia käyttävissä ilmanpuhdistimissa on positiivisesti varattu hiukkaskokooja keräämässä negatiivisesti varautuneet hiukkaset, jolloin hiukkaset eivät enää kulkeudu ilmavirran mukana laitteesta takaisin huoneilmaan. (Hengitysliitto 2013, 10)

Ionisointimenetelmällä ei ole mahdollista poistaa sisäilmasta kaasumaisia epäpuhtauksia tai hajuja. Menetelmä ei myöskään kykene poistamaan ultrapieniä hiukkasia, koska ne eivät laskeudu ionisoinnin vaikutuksesta. Suurempienkin hiukkasten poistamisen edellytyksenä on se, että huonetilan pintamateriaalit olisivat positiivisesti varautuneita. Pinnat ovat yleensä kuitenkin pääosin neutraaleja. Ionisoinnissa varauksen muodostuminen voi edesauttaa hiukkaskoon suurenemista, mikä nopeuttaa hiukkasten laskeutumista huonetilassa. (Hengitysliitto 2013, 11)

Ionisointimenetelmään perustuvat laitteet ovat periaatteessa huoltovapaita, elleivät ne sisällä hiukkaskokoojaa. Kokooja vaatii huuhtomista silloin tällöin. Ionisoivien laitteiden käytössä on havaittu tapahtuvan niin sanottua black wall –ilmiötä, jolla tarkoitetaan että laitteen välittömässä läheisyydessä oleville pinnoille kertyy mustaa vaikeasti puhdistettavaa jäämää. (Hengitysliitto 2013, 11)

4 ILMANPUHDISTIMIEN LABORATORIOKOKEET

Ilmanpuhdistimien teknisiä ominaisuuksia ja suorituskykyä testattiin laboratoriotesteissä Tampereen VTT:llä ja VTT Expert Servicen toimesta Espoossa. Tässä luvussa esitellään laboratoriodokeisiin valitut laitteet sekä kuvataan niiden testaamiseen käytetyt testausmenetelmät. Lisäksi esitetään perusteet testaussuureiden valinnalle.

4.1 Laboratoriodokeisiin valitut laitteet

Laboratoriodokeissa testattaviksi tarjottiin 13 eri ilmanpuhdistinta kymmeneltä eri valmistajalta. Tarjotut laitteet olivat valmistajien tavalliseen koululuokkaan soveltuvaksi ehdottamia ilmanpuhdistimia. Testattaviksi valittiin tästä joukosta viisi laitetta. Valinnassa painotettiin erilaista suodatustekniikkaa käyttävien laitteiden mukaan ottamista teknistä vertailua varten. Kaikki valitut ilmanpuhdistimet ovat irrallisia ja itsenäisesti toimivia laitteita, ja ne voidaan sijoittaa lattialle.

Taulukossa 4 on esitetty testattaviksi valitut laitteet sisältäen laitevalmistajien ilmoittamat ilmamäärät ja suositellun käyttötilan pinta-alan. Testattavat laitteet sisältävät eri puhdistustekniikoita monipuolisesti, ja kokonaisuuden muodostavat tyypillisesti laitteissa useat rinnakkain toimivat erilaiset tekniikat. Kaikki valitut laitteet on varustettu aktiivihiihliisuodattimella, koska niiden tulee kyetä poistamaan sisäilmasta kaasumaisia epäpuhtauksia.

Taulukko 4. Testattavaksi valitut ilmanpuhdistimet.

	Valmistaja	Malli	Ilmamäärä [m ³ /h]	Pinta-ala [m ²]
1.	Genano Oy	450	200-450	alle 200
2.	IQAir	GCX-VOC	60-540	75
3.	Lifa Air Oy	3G EX 300 UV	max. 432	40-50
4.	Cair Oy	DEP 900 Q2	600-930	30-100
5.	Plymovent	Visionair ¹	215-1000	alle 90

4.1.1 Genano 450

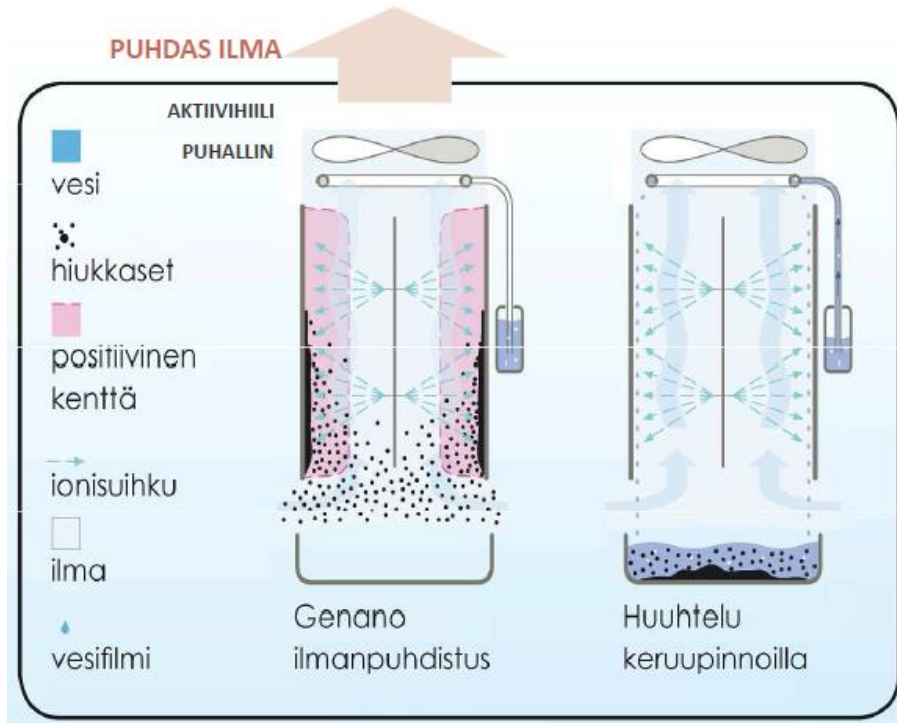
Genano Oy on suomalainen elektrostaattiseen suodatusmenetelmään perustuvia sisäilmanpuhdistimia valmistava yritys. Genano Oy:ltä saatiin laboratoriotesteihin testattavaksi uusi ilmanpuhdistinmalli Genano 450, joka on nähtävissä kuvassa 4.



Kuva 4. Genano 450 –ilmanpuhdistin (Genano Oy, 2013).

Genano 450 –mallissa on puhaltimelle kolme eri käyttökytkimen asentoa, joilla säädetään laitteen läpi kulkevan ilman määrää. Laitteessa puhdistettava sisäilma kulkee vapaasti keräilylevyjen välistä, jolloin ilmassa oleviin hiukkasiin kohdistetaan voimakas ionisuihku. Tämän seurauksena hiukkaset varautuvat negatiivisiksi ja työntyvät kohti vastakkaisesti varattuja keruupintoja. Sen jälkeen hiukkaset tarttuvat keruupintoihin, josta ne kerätään pois automaattisella pesutoiminnolla, joka huuhtoo hiukkaset vesipesuaineliuksella laitteen pohjalla olevaan astiaan tai viemäriverkostoon. Vesi haihtuu astiasta aikanaan pois ja jäljelle jää vain puhdistimella kerätty lika. Astiaan kerääntyneet eloperäiset epäpuhtaudet, kuten mikrobit ovat sähkökäsittelyn jäljiltä kuolleita. Laitteessa on myös

aktiivihiilisuodatin kaasumaisten epäpuhtauksien poistoa varten. Kuvassa 5 on havainnollistettu Genano 450 – ilmanpuhdistimen toimintaperiaate.



Kuva 5. Genano 450 – ilmanpuhdistimen toimintaperiaate (Genano Oy, 2013).

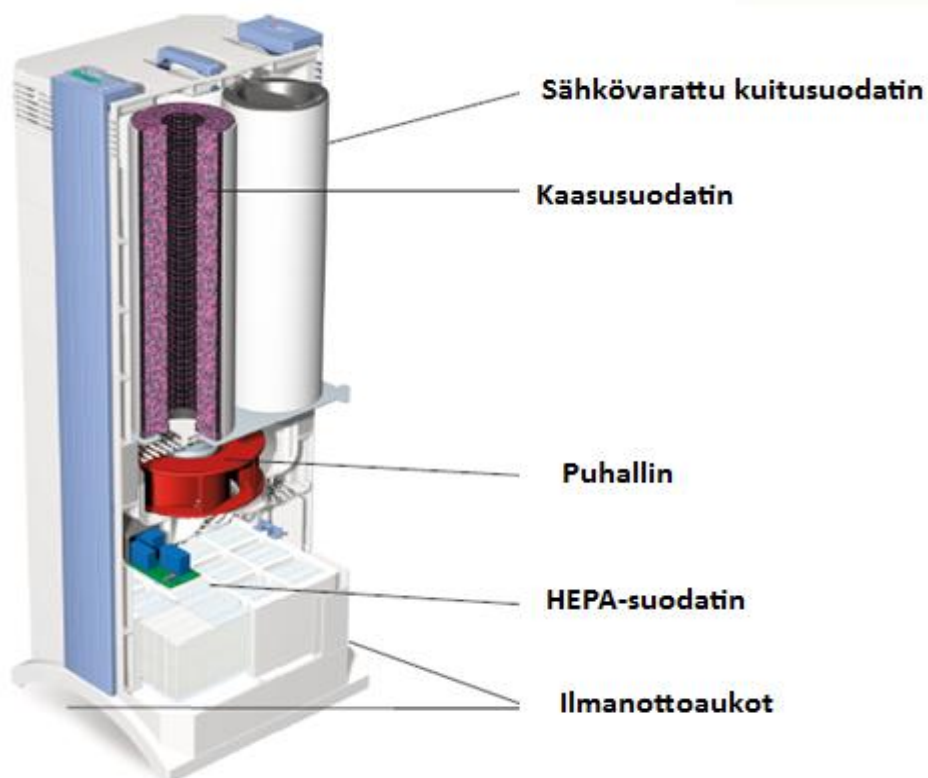
4.1.2 IQAir GCX-VOC

IQAir on sveitsiläinen ilmanpuhdistimia valmistava yritys, jonka edustajana Suomessa toimii Sandbox Oy. Testattavaksi tarjottu laite on erityisesti kaasumaisten epäpuhtauksien poistoon suunniteltu malli IQAir GCX-VOC.

Laitteen puhaltimelle on olemassa kuusi eri käyttökytkimen asentoa. Ilmanpuhdistin sisältää H11-luokan HEPA-suodattimen, jonka suodatinpinta-ala on 7,5 m². Tämä on sijoitettuna ensimmäiseksi suodattimeksi heti laitteen imuilman aukkojen jälkeen. GCX-VOC -malliin on saatavilla kaasujen suodatuksen viisi erilaista suodatinvaihtoehtoa, joista laitteeseen asennettava suodatin valitaan sen mukaan, millaisia kaasumaisia epäpuhtauksia halutaan sisäilmasta suodattaa. Nämä suodatinvaihtoehdot ovat nimeltään MultiGas, VOC, ChemiSorber, AM ja AcidPro. MultiGas-suodatin on kehitetty toimimaan laaja-alaisesti monille eri kaasuille sekä hajuille. VOC-suodatin on asennettuna laboratoriossa

testattavassa laitteessa, ja se sisältää 7,8 kg aktiivihiiltä. ChemiSorber, AM ja AcidPro ovat kukin erikoistuneet poistamaan sisäilmasta tiettyjä harvemmin esiintyviä kaasumaisia epäpuhtauksia.

Kaasusuodattimen jälkeen laitteessa on viimeisenä suodattimena pinta-alaltaan 0,9 m² suuruinen elektrostaattisesti varattu kaulusmainen kuitusuodatin pienhiukkasten ja ultrapienien hiukkasten suodattamiseen. Kuvassa 6 on nähtävissä IQAir GCX-VOC –laitteen rakenne.



Kuva 6. IQAir GCX-VOC –ilmanpuhdistimen rakenne (IQAir 2012, 2).

4.1.3 Plymovent VisionAir¹

Plymovent on alankomaalainen ilmanpuhdistimia valmistava yritys, jonka tuote VisionAir¹ on mekaaniseen suodatustekniikkaan perustuva ilmanpuhdistin. Laite sisältää mekaanisen esisuodattimen, HEPA-suodattimen ja aktiivihiilisuodattimen. Lisäksi laitteeseen on

mahdollista saada lisävarusteena UV-valo ja hiukkastunnistin. VisionAir¹ -laitteessa on vakiovarusteena ilmanraikastesäiliö.

Laitteen on ilmoitettu soveltuvan kooltaan 225 m³ tiloihin asti. Ilmanpuhdistimen puhaltimelle on neljä käyttökytkimen asentoa, joita voidaan käyttää laitteen mukana tulevalla kaukosäätimellä. Kuvassa 7 on jalustalla oleva lattialle asennettava VisionAir¹-malli. Laite voidaan asentaa myös kattoon tai seinään.



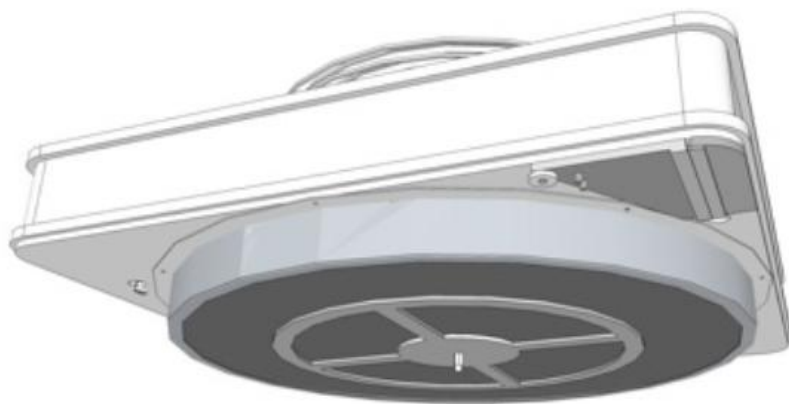
Kuva 7. Lattialle asennettava Plymovent VisionAir¹ –ilmanpuhdistin (Sonesta Oy, 2013).

4.1.4 Cair DEP 900 Q2

Cair AB on ruotsalainen ilmanpuhdistimia valmistava yritys, jonka valmistamien ilmanpuhdistimien toiminta perustuu patentoituun DEP-suodatintekniikkaan (Disposable Electrostatic Precipitator). Tällä tarkoitetaan kertakäyttöistä staattisella sähköllä toimivaa suodatinta. DEP 900 Q2 on kattoon tai lattialle asennettavaksi tarkoitettu laitemalli. (Cair AB, 2013)

DEP-tekniikan suodatustehokkuus perustuu pohjimmiltaan perinteiseen kaksivaiheiseen sähkösuodatintekniikkaan. Sisäilmasta puhdistettavat hiukkaset varataan sähköisesti hiilikuituharjalla, minkä jälkeen ne kulkeutuvat ilmavirran mukana ja jäävät kiinni paperisuodattimen pinnoille. Laitteessa on suureen jännitteeseen kytketyn hiilikuituharjan lisäksi alumiinirengas, ja jännitteen ansiosta laitteeseen muodostuu ionipilvi, jossa ionit liikkuvat nopeasti kohti alumiinirengasta. Samalla ilmavirrassa olevat hiukkaset saavat sähköisen varauksen. Laite on mahdollista varustaa myös aktiivihiilisuodattimella, jos halutaan hiukkasten lisäksi kaasumaisten epäpuhtauksien suodatusta. (Cair AB, 2013)

Kuvassa 8 ilmanpuhdistin on asennossa, jossa se on asennettu kattoon. Jos laite asennetaan lattialle, tulee se tukea paikoilleen erillisellä tuella. Laitteessa on käyttökytkimillä valittavissa kaksi eri puhallinnopeutta.



Kuva 8. Cair DEP 900 –ilmanpuhdistin (Cair AB, 2013).

4.1.5 Lifa 3G EX 300 UV

Lifa Air Oy Ltd on suomalainen sisäilmanpuhdistimia valmistava yritys, jonka mallistosta testattavaksi valikoitui 3G EX 300 UV –laitemalli. Tämä ilmanpuhdistin on tarkoitettu sijoitettavaksi lattialle, ja siinä on puhaltimelle portaaton kymmenasteikkoinen nopeudensäätö. Laitteen sisäilman epäpuhtauksien puhdistuskyky perustuu moneen eri suodatustekniikkaan.

Laitteessa on hiukkaset ilmavirrasta varaava sähkösuodatin sekä esivarattu hiukkassuodatin, joka on yhdistettynä aktiivihiiisuodattimeen. Sama varaaja, joka varaa hiukkaset ilmavirrasta osallistuu myös esivaratun hiukkassuodattimen varauksen ylläpitämiseen. Lisäksi laitteessa on UV-valo, jonka tehtävänä on tappaa suodatinmateriaaliin kiinnittyneet epäpuhtaudet kuten mikrobit, bakteerit ja virukset. UV-valo on kytketty ajastimella olemaan päällä kaksi kertaa 20 minuuttia vuorokaudessa. Kuvassa 9 on 3G EX 300 UV -ilmanpuhdistin sijoitettuna lattialle. (Lifa Air Oy Ltd 2006, 3)



Kuva 9. Lifa 3G EX 300 UV –ilmanpuhdistin.

4.2 Testaussuureiden valinta ja testausmenetelmien kuvaus

Ilmanpuhdistimien laboratoriokokeet suoritettiin VTT:n testauslaboratoriossa Tampereella sekä VTT Expert Servicen testauslaboratoriossa Espoossa. Laboratoriotestauksissa ilmanpuhdistimista testattiin tehollinen ilmavirta hiukkasilla ja testikaasulla, laitteen aiheuttama melupäästö, laitteen tuottaman otsonin määrä, laitteen sähkötehon tarve eli lämmöntuotto sekä laitteen puhallusilman heittopituus.

Testattavien suureiden valinnassa pohdittiin seikkoja, jotka ovat kokonaisuutena merkittävimpiä ilmanpuhdistimien käytön kannalta. Varsinaisen puhdistustehokkuuden lisäksi laitteen tulee olla myös muilta ominaisuuksiltaan soveltuva käytettäväksi sisäilmaongelmaisessa kohteessa.

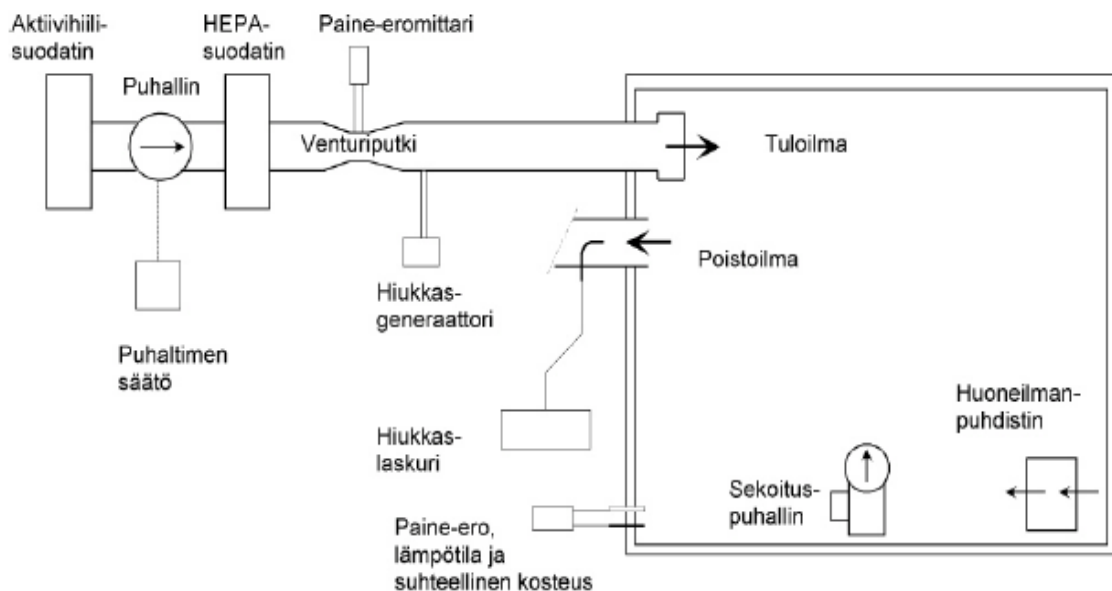
4.2.1 Tehollinen ilmavirta hiukkasilla

Ilmanpuhdistimien hiukkassuodatuskykyä on perusteltua testata hiukkasten ollessa merkittävä sisäilman laatuun, ja sen myötä ihmisten kärsimiin oireisiin ja sairastuvuuteen vaikuttava tekijä. Laboratoriotestauksissa ilmanpuhdistimien puhdistustehokkuutta tarkastellaan hiukkaskokoalueella 0,13-5 µm. Tällä alueella saavutettava puhdistustehokkuus kertoo kyvystä poistaa sisäilmasta terveyden kannalta merkittävimpiä hiukkasmuodossa esiintyviä epäpuhtauksia. Ultrapienet eli alle 0,1 µm kokoiset hiukkaset jäävät testauksen ulkopuolelle testausmenetelmän ja käytettävien mittalaitteiden asettamien käytännön rajoitteiden vuoksi.

Yksinomaan ultrapienien hiukkasten kokoluokassa esiintyvät tunnetuista epäpuhtauksista ainoastaan virukset. Lisäksi mekaanisten suodattimien suodatinluokkien määrittelyssä käytetyissä testauksissa on havaittu, että standardin EN1822:2009 vaatimukset täyttävillä EPA-, HEPA-, ja ULPA – luokkien suodattimilla alle 0,1 µm kokoisten ultrapienien hiukkasten suodattimen läpäisykyky on pienempi kuin hieman yli kyseistä kokoluokkaa olevilla hiukkasilla (Trox Technik 2010, 3). Näin ollen laboratoriotesteissä käytetty

hiukkaskokoalue pitää sisällään mekaanisten suodattimien osalta MPPS:n (Most penetrating particle size) eli tunkeutuvimman partikkelikoon.

Ilmanpuhdistimien hiukkasten suodatustehokkuus hiukkaskokoluokittain määritettiin tehollisena ilmavirtana. Tehollinen ilmavirta on tietyn kokoluokan hiukkasten erotusasteen ja laitteen ulos puhaltaman ilmavirran tulo. Tehollisen ilmavirran määrittämisessä käytettiin niin sanottua alenemamenetelmää. Koejärjestelyt on havainnollistettu kuvassa 10.



Kuva 10. Ilmanpuhdistimien tehollisen ilmavirran mittausten koejärjestelyt (VTT 2013, 4).

Mittaukset tehtiin tiiviissä koehuoneessa, jonka tilavuus on 233 m^3 . Testihuone ylipaineistettiin kaasu- ja HEPA-suodatetulla ilmalla, jonka tilavuusvirta on $32.4 \text{ dm}^3/\text{s}$, mikä vastaa koehuoneen ilmanvaihtuvuutta 0.5 1/h . Koehuoneeseen asetettiin sekoituspuhallin varmistamaan huonetilan ilman täydellinen sekoittuminen. Ennen huoneilmanpuhdistimen testausta mitattiin mittaushuoneen hiukkasten poistuman eli alenemäkäyrän riippuvuus hiukkaskoosta. Tämä tehtiin sekoittamalla ensin mittaushuoneen tuloilmaan DEHS-testihiukkasia (Diethylhexyl sebacate) ja seuraamalla testihuoneen poistoilman hiukaspitoisuutta. Käytettävät mittalaitteet olivat hiukkaslaskurit LAS-X II ja MetOne 3313. Kun koehuoneen hiukaspitoisuus oli noussut

mittalaitteelle sopivalle tasolle, testihiukkasten syöttö lopetettiin. Mittausta jatkettiin, kunnes koehuoneen hiukkaspitoisuus oli alentunut riittävästi eli noin kaksi kertaluokkaa. Tämän jälkeen hiukkaspitoisuuden alenemäkäyrän logaritmisesta osasta määritettiin erikokoisten hiukkasten poistumaa vastaava koehuoneen ilmanvaihtuvuus. Käytetyt hiukkaskoot olivat 0.13 ja 0.29 μm laskurilla LAS-X II ja hiukkaskokovälit 0.5 – 1.0, 1.0 – 3.0 ja 3.0 – 5.0 μm MetOne 3313 –laitteella.

Tyhjän koehuoneen mittauksen jälkeen mittaus toistettiin niin, että koehuoneeseen oli sijoitettu ilmanpuhdistin. Ilmanpuhdistimen käyttötilanteen aikaisen ja tyhjän koehuoneen ilmanvaihtuvuusmittausten erotuksen perusteella saatiin selville ilmanpuhdistimen tehollisen ilmavirran riippuvuus hiukkaskoosta. Mittaukset suoritettiin kaikille laitteille kolmella eri ilmanpuhdistimien käyttöteholla, jotka olivat kullakin laitteella säädön mukaisesti pienin, 50 %:n ja suurin mahdollinen teho. Kuvassa 11 on IQAir GCX-VOC-ilmanpuhdistin testattavana koehuoneessa.

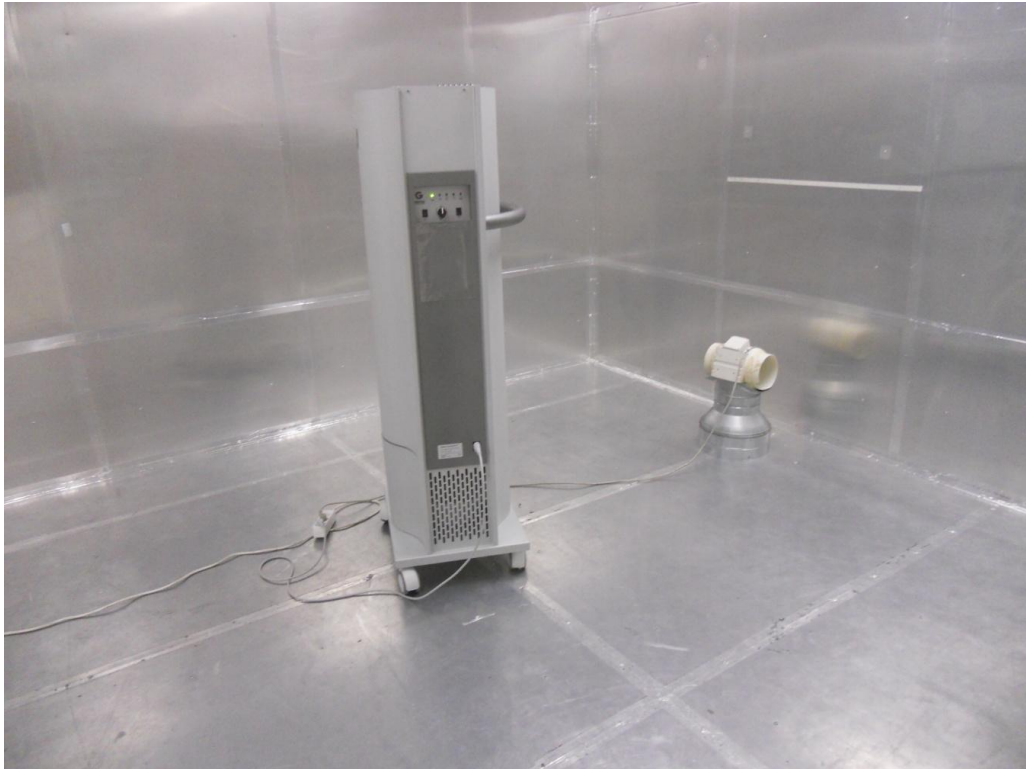


Kuva 11. IQAir GCX-VOC-ilmanpuhdistin koehuoneessa.

4.2.2 Tehollinen ilmavirta kaasulla

Valituilla ilmanpuhdistimilla testattiin kaasumaisten epäpuhtauksien suodatuskykyä, sillä erityisesti VOC-päästöjä rakennuksissa pidetään yhtenä merkittävimpänä sisäilman laatua heikentävänä tekijänä. Laitteiden tulee kyetä puhdistamaan sisäilman epäpuhtauksia monipuolisesti, mikä käsittää riittävän hiukkas- ja kaasusuodatuksen.

Ilmanpuhdistimien kaasusuodatuksen tehokkuus mitattiin niin kutsutulla tasapainomenetelmällä tilavuudeltaan 33.4 m³ koehuoneessa, joka ylipaineistettiin kaasuja HEPA-suodatetulla tuloilmalla. Koehuoneen tuloilmavirta oli 13.9 dm³/s ilmanvaihtuvuudella 1.5 l/h. Koehuoneen tuloilmaan sekoitettiin vakioteholla testiaineena käytettävää aromaattista hiilivetyä, tolueenia. Kun testiaineen pitoisuus koehuoneen poistoilmassa oli saavuttanut tasapainopitoisuuden eli PPB Mini-Rae –mittalaitteella mitattuna noin pitoisuuden 0,9 ppm, käynnistettiin koehuoneeseen sijoitettu ilmanpuhdistin pienimmällä käyttökytkimen asennolla. Testausta jatkettiin kunnes testiaineen pitoisuus koehuoneen poistoilmassa oli saavuttanut uuden tasapainopitoisuuden, jolloin ilmanpuhdistin käynnistettiin keskimmaisella käyttökytkimen asennolla. Kun testiaineen pitoisuus oli jälleen saavuttanut tasapainotilan, käynnistettiin ilmanpuhdistin suurimmalla teholla. Ilmanpuhdistimen tehollinen ilmavirta määritettiin edellä mainittujen testiainepitoisuuksien ja koehuoneen ilmanvaihtuvuuden perusteella. Mittaukset suoritettiin vastaavalla tavalla kaikille ilmanpuhdistimille. Kuvassa 12 on meneillään Genano 450 – ilmanpuhdistimen testaus koehuoneessa.



Kuva 12. Genano 450 – ilmanpuhdistimen testaus koehuoneessa.

4.2.3 Melupäästö

Itsenäisesti toimivat ja irralliset ilmanpuhdistimet sijoitetaan tilassa tavallisesti hyvinkin lähelle ihmisiä eli niin sanotulle oleskeluvyöhykkeelle. Tällöin on tärkeää, ettei laitteesta aiheudu ympäristöönsä liian suurta melupäästöä, jotta työskentely esimerkiksi koululuokassa ei häiriintyisi. Melupäästö valittiin testattavaksi suureeksi, koska se on yksi tärkeimmistä suoranaisen käyttömukavuuden vaikuttavista tekijöistä.

Ilmanpuhdistimien aiheuttama melupäästö mitattiin tarkoitukseen soveltuvassa kaiuntahuoneessa standardin ISO 3741:2010 mukaisesti. Mittaukset tehtiin kullekin laitteelle vähintään kolmella eri ilmanpuhdistimen käyttöteholla (pienin, keskimäinen, suurin).

4.2.4 Sähkötehon tarve

Laitteiden sähkötehon tarve on perusteltua määrittää paitsi sähkönkulutuksen myös käytönaikana tuotettavan lämpöenergian takia. Laitteen tilaan synnyttämä lämpökuorma voi aiheuttaa ongelmia erityisesti lämpimään vuodenaikaan. Tällöin ilmanpuhdistimen käytöstä voi seurata esimerkiksi tarve tilan jäähtymisen lisäämiseksi, jotta miellyttävä oleskeluympäristö rakennuksessa säilyy.

Ilmanpuhdistimien sähkötehon tarve mitattiin kolmella eri käyttöteholla (pienin, keskimäinen, suurin) käyttäen tehomittaria Yokogawa WT230. Sähkötehon tarpeen voidaan ajatella olevan suoraan verrannollinen laitteen lämmöntuottoon.

4.2.5 Otsonin tuotto

Sähkösuodatukseen ja ultraviolettisäteilyyn perustuvat ilmanpuhdistimet saattavat tuottaa käytön aikana sisäilman laatua heikentävää otsonia. Otsonin tuoton merkittävyysvertailua varten mitattiin huoneilmanpuhdistimien aiheuttama otsonin tuotto tilavuudeltaan 33.4 m³ koehuoneessa.

Mittaustilanteessa koehuoneen ilmanvaihtuvuus oli 1.5 1/h. Mittaus aloitettiin määrittämällä koehuoneen otsonipitoisuus tilanteessa, jossa ilmanpuhdistin ei ole käytössä. Koehuoneen otsonipitoisuus oli tällöin alle 1 ppb. Seuraavassa vaiheessa määritettiin kunkin laitteen osalta eri käyttötehoilla niin sanottu tasapainotilan pitoisuus. Saatujen mittaustulosten perusteella pääteltiin tuottaako ilmanpuhdistin merkittävästi otsonia vai ei. Käytettävä mittalaite oli otsonianalysaattori Teledyne 400 T. Testaukset suoritettiin kolmella eri ilmanpuhdistimien käyttöteholla (pienin, keskimäinen, suurin).

4.2.6 Puhallusilman heittopituus

Ilmanpuhdistimien ulos puhaltaman ilman heittopituus on perusteltua testata, koska sillä on vaikutusta huonetilan käyttömukavuuteen ja laitteen sijoitteluun esimerkiksi luokkatilassa.

Heittopituus on olennainen tekijä myös tarkasteltaessa puhdistetun ilman sekoittumista huonetilassa, minkä suhteen on tärkeää, että puhdistettu ilma kulkeutuu tehokkaasti ihmisten oleskeluvyöhykkeelle. Täten ilmanpuhdistimien heittopituudella voidaan ajatella olevan välittömiä vaikutuksia hengitettävän ilman puhtauteen. Testauksissa saatujen tulosten perusteella arvioidaan ennen kaikkea puhalluksen ilmavirrasta mahdollisesti aiheutuvaa vectoriskiä, joka voi aiheuttaa tilassa oleskeleville henkilöille epämukavuutta laitteiden käytön aikana.

Laboratoriossa määritettiin ilmanpuhdistimien ulospuhallusilman hajotuskuvio, joka käsittää ulospuhallusilmavirran suunnan lisäksi laitteen tuottaman ilmavirran virtausnopeuden 0,2 m/s rajapinnan ja ilmanpuhdistimen välisen etäisyyden eli heittopituuden määrittämisen. Rajapinta mitattiin oleskeluvyöhykkeelle suuntautuvassa laitteen puhallusilmavirran päävirtaussuunnassa. Testaus suoritettiin niille ilmanpuhdistimille, joiden ulospuhallusilma suuntautuu oleskeluvyöhykkeelle. Genano 450 ilmanpuhdistimen puhallussuunta on suoraan ylöspäin, joten siitä ei mitata hajotuskuviota. Ylöspäin suuntautuva ilmavirta ei kulkeudu suoraan ihmisten oleskeluvyöhykkeelle. Hajotuskuviot määritettiin soveltaen Nordtest-menetelmää NT CONS 009 laitteiden kolmella eri käyttökytkimen asennolla (penin, keskimäinen ja suurin).

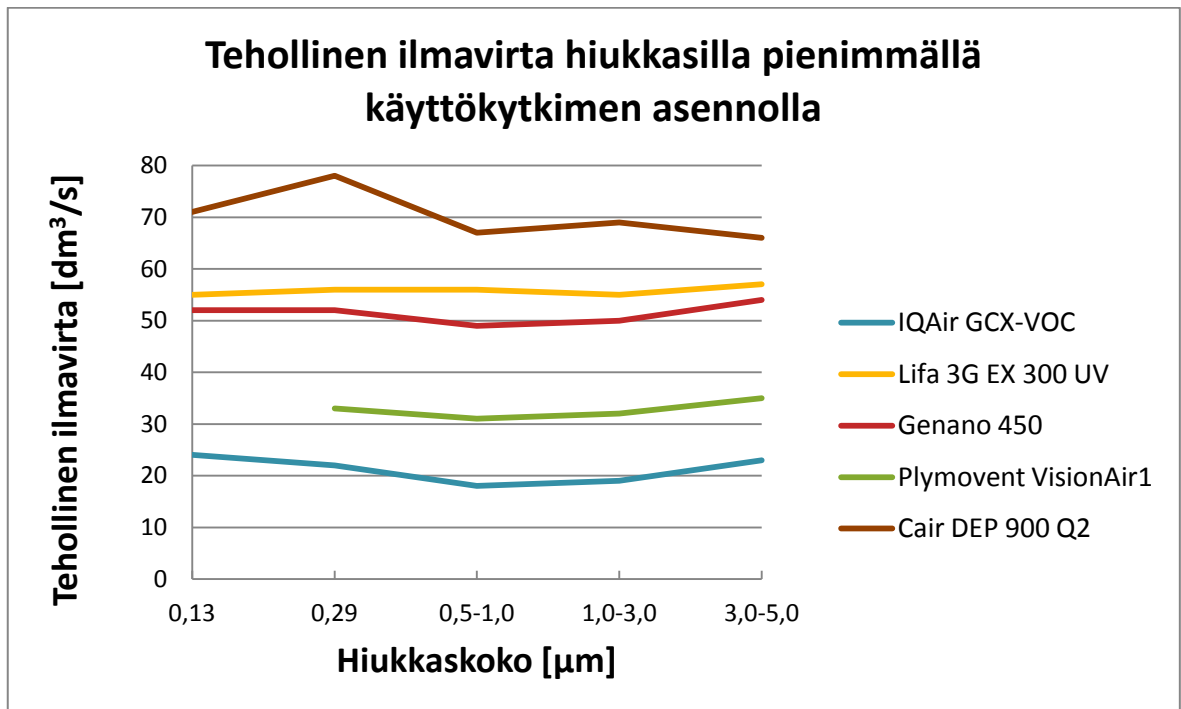
5 TULOKSET

Tässä luvussa esitetään laboratoriotesteistä saadut tulokset. Testauksissa saatiin määritettyä ilmanpuhdistimista tehollinen ilmavirta hiukkas- ja kaasusuodatuksessa, melupäästö, sähkötehon tarve, otsonin tuotto ja puhallusilman heittopituus.

5.1 Tehollinen ilmavirta hiukkasilla

Kuvassa 13 on esitetty laboratoriomittauksissa saadut ilmanpuhdistimien teholliset ilmavirrat hiukkassuodatuksessa laitteiden pienimmällä käyttökytkimen asennolla. Teholliset ilmavirrat on esitetty hiukkaskoon funktiona. Plymovent VisionAir¹ -laitteen tehollinen ilmavirta hiukkaskoolla 0,13 µm puuttuu mittauksissa ilmenneiden teknisten ongelmien vuoksi.

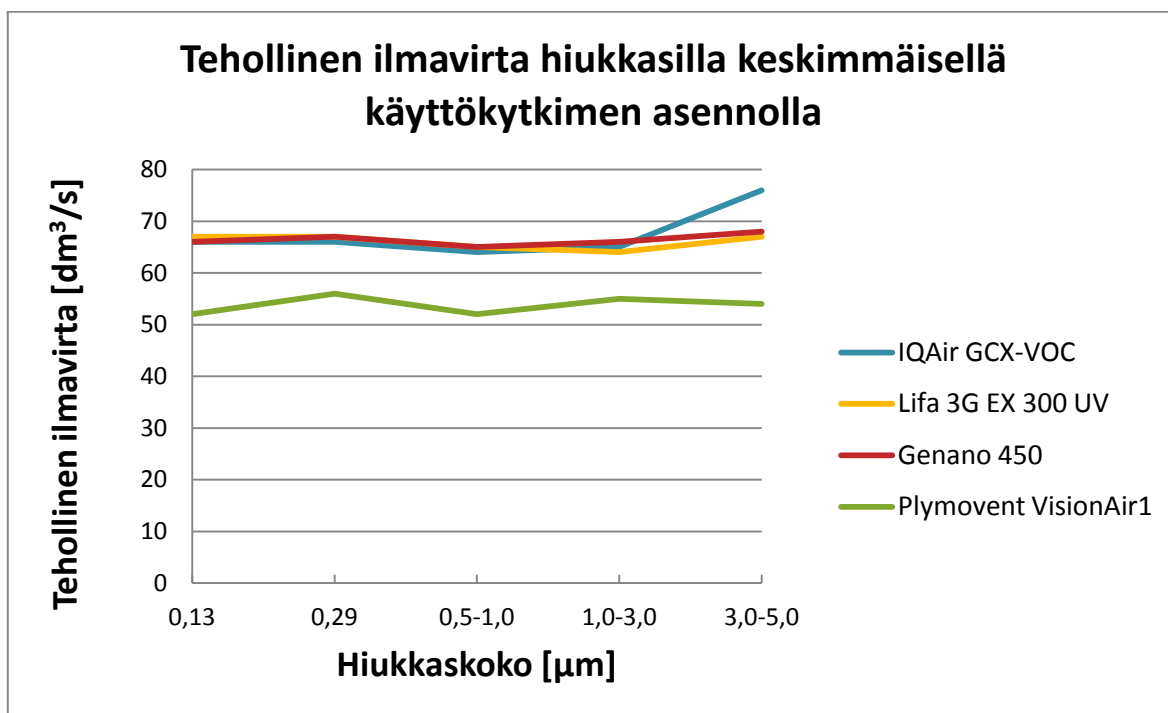
Kuten kuvasta 13 nähdään, hiukkaskoon vaikutus teholliseen ilmavirtaan eri ilmanpuhdistimilla on melko vähäinen. Huomionarvoisinta hiukkaskoon suhteen on se, että Cair DEP 900 Q2 -ilmanpuhdistimen suurin tehollinen ilmavirta 78 dm³/s saavutetaan hiukkaskoolla 0,29 µm. Tämä on poikkeuksellista verrattuna muihin testattuihin laitteisiin. Pienimmällä käyttökytkimen asennolla suurimman tehollisen ilmavirran saavutti Cair DEP 900 Q2, jonka jälkeen laitteet puhdistusteholtaan suurimmasta pienimpään ovat Lifa 3G EX 300 UV, Genano 450, Plymovent VisionAir¹ ja IQAir GCX-VOC. Laitteiden teholliset ilmavirrat vaihtelivat pienimmällä käyttökytkimen asennolla välillä 18 – 78 dm³/s riippuen laitteesta ja hiukkaskokoluokasta.



Kuva 13. Ilmanpuhdistimien tehollinen ilmavirta hiukkaskoon funktiona pienimmällä käyttökytkimen asennolla.

Kuvassa 14 on esitetty laboratoriomittauksissa saadut ilmanpuhdistimien teholliset ilmavirrat hiukkassuodatuksessa hiukkaskoon funktiona laitteiden keskimmaisella käyttökytkimen asennolla. Kuvasta puuttuu arvot Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistimelle, koska laitteessa on vain kaksi käyttökytkimen asentoa. Näin ollen kyseistä laitetta käsitellään tuloksissa ainoastaan silloin, kun on kyse mittauksista laitteiden pienimmällä tai suurimmalla teholla.

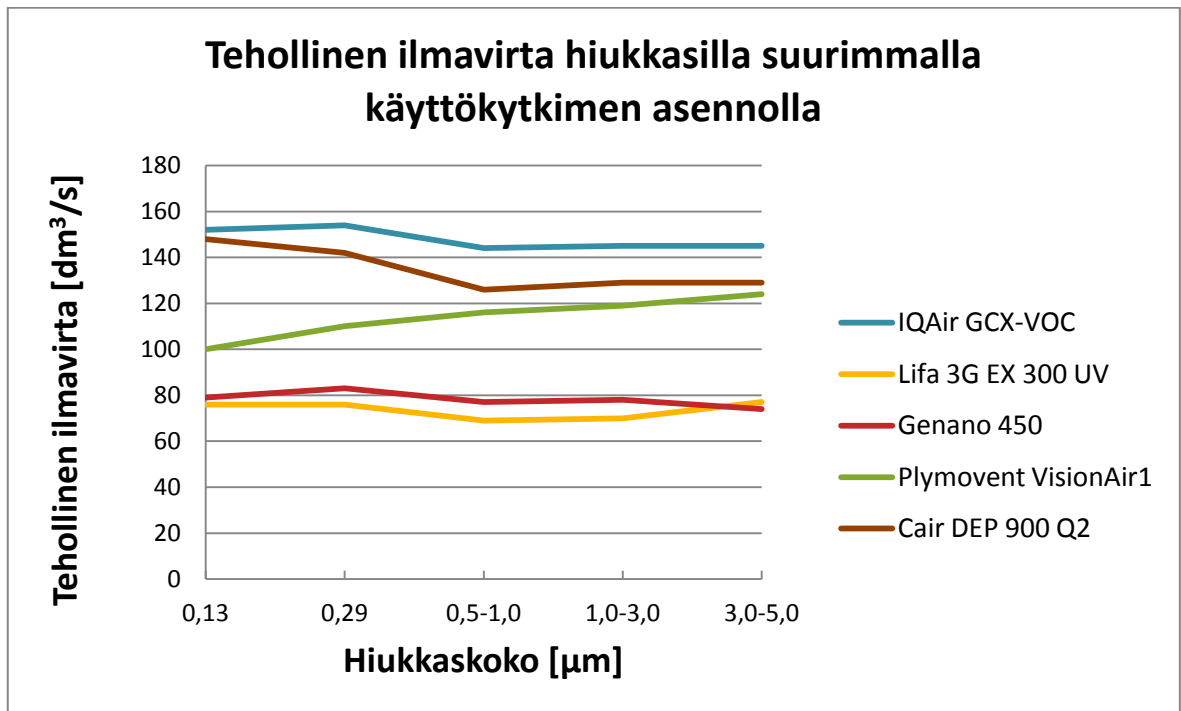
Kuvasta 14 nähdään, että hiukkaskoon vaikutus laitteiden teholliseen ilmavirtaan on myös keskimmaisella käyttökytkimen asennolla verrattain vähäinen. Ainoastaan IQAir GCX-VOC –ilmanpuhdistimella on selkeästi suurin tehollinen ilmavirta suurimmalla hiukkaskoolla 3,0 – 5,0 µm. Muilla hiukkaskokoalueilla kyseisen laitteen sekä Genanon ja Lifan laitteiden välillä ei tehollisissa ilmavirroissa mitattu juuri lainkaan eroja. Plymovent VisionAir¹ –ilmanpuhdistimen tehollinen ilmavirta jäi muita laitteita jonkin verran alhaisemmaksi hiukkaskoosta riippumatta. Laitteiden teholliset ilmavirrat vaihtelivat keskimmaisella käyttökytkimen asennolla välillä 52 – 76 dm³/s riippuen laitteesta ja hiukkaskokoluokasta.



Kuva 14. Ilmanpuhdistimien tehollinen ilmavirta hiukkaskoon funktiona keskimmaisella käyttökytkimen asennolla.

Kuvalla 15 havainnollistetaan mittauksissa saatuja tehollisia ilmavirtoja hiukkassuodatuksessa laitteiden suurimmalla käyttökytkimen asennolla. Teholliset ilmavirrat on esitetty hiukkaskokoalueittain kuten edellä.

Kuten kuvasta nähdään, hiukkaskoon vaikutus ilmanpuhdistimien teholliseen ilmavirtaan on myös laitteiden suurimmalla puhallinnopeudella pääasiassa melko vähäinen. Cair DEP 900 Q2 ja IQAir GCX-VOC –ilmanpuhdistimien tehollinen ilmavirta on jonkin verran suurempi kahdella pienimmällä hiukkaskokoluokalla kuin suuremmilla hiukkasilla. Plymovent VisionAir¹ –ilmanpuhdistimen tehollinen ilmavirta sen sijaan nousee hieman aina hiukkaskoon kasvaessa. IQAir ja Cair synnyttivät suurimman tehollisen ilmavirran riippumatta hiukkaskoosta suurimmalla käyttökytkimen asennolla. Plymovent-ilmanpuhdistin tuotti selvästi suuremman tehollisen ilmavirran kuin Genanon ja Lifan –ilmanpuhdistimet, jotka saivat mittauksissa pienimmät arvot. Kaiken kaikkiaan laitteiden teholliset ilmavirrat vaihtelivat suurimmalla käyttökytkimen asennolla välillä 69 – 154 dm^3/s riippuen laitteesta ja hiukkaskokoluokasta.



Kuva 15. Ilmanpuhdistimien tehollinen ilmavirta hiukkaskoon funktiona suurimmalla käyttökytkimen asennolla.

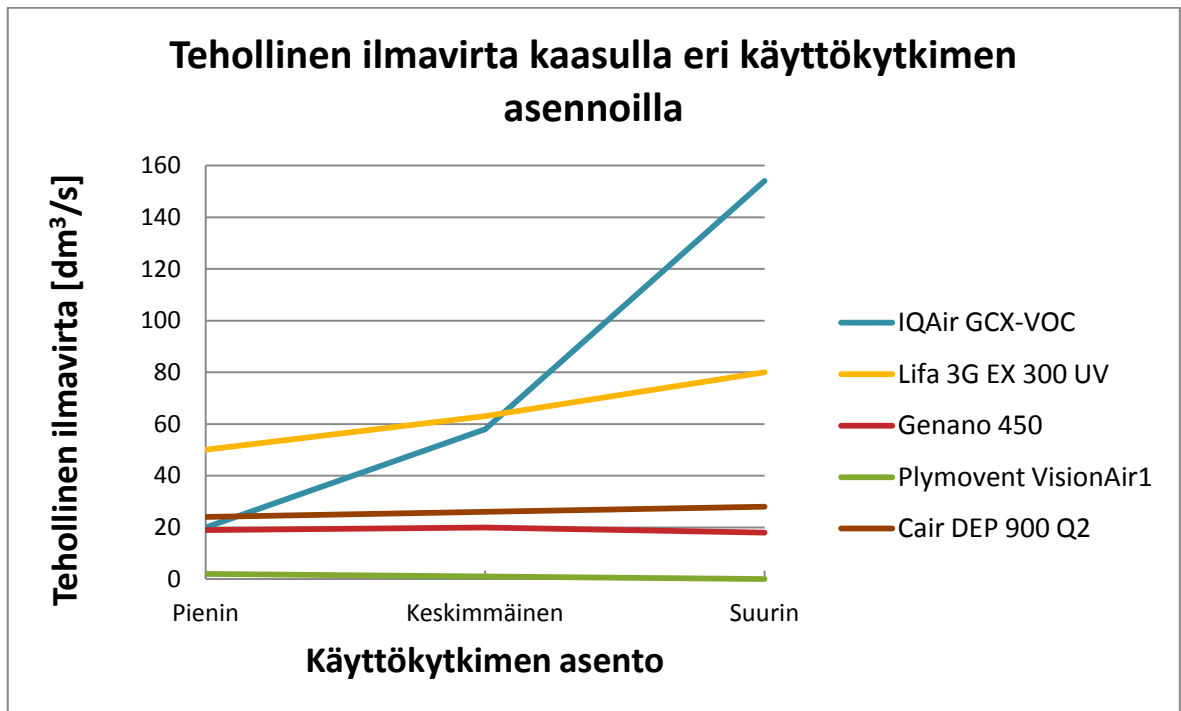
5.2 Tehollinen ilmavirta kaasulla

Kuvassa 16 esitetään laboratoriomittauksissa saadut teholliset ilmavirrat kaasusuodatuksessa laitteiden pienimmällä, keskimmaisella ja suurimmalla käyttökytkimen asennolla. Koska Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistimessa on vain kaksi käyttökytkimen asentoa, voidaan kuvassa olevan käyrän ajatella kuvaavan keskimmäisen käyttökytkimen asennon kohdalla tämän laitteen oletettua tehollista ilmavirtaa kahden olemassa olevan puhallinnopeuden välissä.

Kuten kuvasta nähdään, käyttökytkimen asennolla ei ollut juurikaan vaikutusta Genano 450, Plymovent VisionAir¹ ja Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistimien teholliseen ilmavirtaan kaasusuodatuksessa. Huomionarvoista on, että Genano ja Plymovent –laitteiden tehollinen ilmavirta oli kaikkein pienin käyttökytkimen suurimmalla asennolla. Tämä johtuu todennäköisesti kyseisten laitteiden kaasusuodatusosan alhaisesta suodatuskapasiteetista, minkä seurauksena laitteet menettivät suodatuskykyä mittausten

aiheuttaman kuormituksen seurauksena. Alhaisesta suodatuskapasiteetista johtuen on myös mahdollista, että puhallinnopeuden lisääntyessä suuremmilla käyttötehoilla, laitteen läpi kulkevan ilmavirran viipymä aktiivihielessä jää liian lyhytkestoiseksi, jolloin kaasu ei ehdi suodattua ilmavirrasta kokonaan. Plymovent VisionAir¹ –ilmanpuhdistimen kohdalla on tosin todettava, että laitteen kaasusuodatuskyky huoneilmasta oli lähes olematon kaikilla puhallinnopeuksilla, suurimmalla käyttökytkimen asennolla sitä ei ollut enää lainkaan.

Lifa 3G EX 300 UV –ilmanpuhdistimen tehollinen ilmavirta kasvoi tasaisesti puhallinnopeuden kasvun myötä. Laitteen tehollinen ilmavirta oli pienimmällä käyttökytkimen asennolla selvästi suurin verrattuna muihin laitteisiin. Myös keskimmaisella asennolla Lifan tehollinen ilmavirta oli suurin. Suurimmalla käyttökytkimen asennolla IQAir GCX-VOC –ilmanpuhdistimen tehollinen ilmavirta kaasusuodatuksessa oli 154 dm³/s, mikä on enemmän kuin kaikkien muiden laitteiden yhteenlaskettu tehollinen ilmavirta suurimmalla käyttökytkimen asennolla. Tämä kertoo IQAir GCX-VOC –laitteen suuresta kaasusuodatuskapasiteetista, joka pystyy vastaamaan ongelmitta laitteen läpi kulkevan ilmavirtauksen merkittävään kasvuun. Kuten edellä on mainittu, laitteiden teholliset ilmavirrat kaasusuodatuksessa vaihtelivat käyttökytkimen asennosta ja laitteesta riippuen välillä 0 – 154 dm³/s.



Kuva 16. Ilmanpuhdistimien tehollinen ilmavirta kaasusuodatuksessa eri käyttökytkimen asennoilla.

5.3 Melupäästö

Ilmanpuhdistimien melupäästöä mitattaessa saatiin selville laitteiden A-painotetut äänitehotasot L_{WA} eri käyttökytkimien asennoilla. Äänitehotaso kuvaa laitteen ympäristöönsä säteilemää akustista tehoa eli käytännössä sen synnyttämän melupäästön suuruutta riippumatta mittausetäisyydestä, äänen suuntaavuudesta tai asennuspaikasta. Äänitehotaso on yksinomaan laitteen ominaisuus. A-painotuksella otetaan huomioon ihmisen kuulon kannalta tärkeät äänitaajuudet.

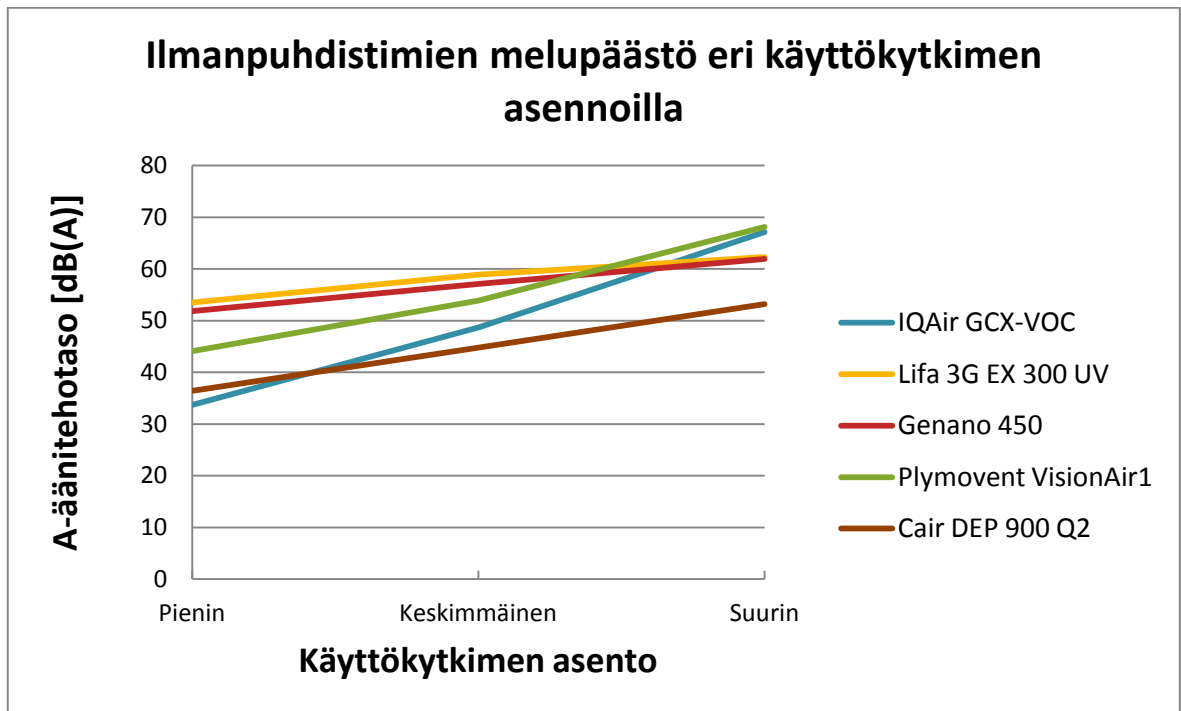
Ihmisen aistima äänenpainetaso riippuu äänilähteenä toimivan ilmanpuhdistimen äänitehotasosta ja ilmanpuhdistimen käyttöpaikan melunvaimennusominaisuuksista. Äänenpainetason (L_{PA}) desibeliarvo on käytännössä alhaisempi kuin äänitehotason (L_{WA}) desibeliarvo, koska siinä on otettu äänen vaimeneminen huomioon (VTT 2013, 9).

Kuvassa 17 esitetään ilmanpuhdistimien mitatut A-äänitehotasot käyttökytkimen eri asennoilla. Kuvan suhteen on huomioitava, että muista laitteista poiketen Cair DEP 900 Q2

–laitteen vain kahden olemassa olevan käyttökytkimen asennon vuoksi laitetta on käytännössä mahdoton käyttää kuvassa näkyvällä keskimmaisella käyttökytkimen asennolla.

Ilmanpuhdistimien A-äänitehotasot vaihtelivat mittauksissa välillä 33,7 – 68,1 dB(A) riippuen laitteesta ja käyttökytkimen asennosta. Pienimmällä käyttökytkimen asennolla Lifan ja Genanon ilmanpuhdistimet olivat selvästi äänekkäimmät A-äänitehotason ollessa molemmilla yli 50 dB(A). IQAir ja Cair olivat pienimmällä käyttökytkimen asennolla selvästi hiljaisimmat reilusti alle 40 dB(A) arvoillaan. IQAir GCX-VOC –laitteella oli matalin A-äänitehotaso myös keskimmaisella käyttökytkimen asennolla, kun Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistin jätetään tässä kohtaa huomioimatta. Lifa 3G EX 300 UV ja Genano 450 olivat äänekkäimmät myös keskimmaisella käyttökytkimen asennolla.

Suurimmalla käyttökytkimen asennolla Plymovent ja IQAir synnyttivät korkeimman A-äänitehotason arvoilla 68,1 ja 67,1 dB(A). Seuraavaksi äänekkäimpiä olivat Genano ja Lifa, jotka synnyttivät myös yli 60 dB(A) äänitehotason. Selvästi matalimman A-äänitehotason suurimmalla käyttökytkimen asennolla tuotti Cair, jolle mitattiin arvoksi 53,2 dB(A). Huomionarvoista on se, että Cair DEP 900 Q2 -ilmanpuhdistin synnytti täydelläkin puhallinnopeudella matalamman A-äänitehotason kuin Lifa 3G EX 300 UV pienimmällä puhallinnopeudella. Keskimmaisella käyttökytkimen asennolla Lifan lisäksi Genano ja Plymovent olivat äänekkäimpiä kuin Cair suurimmalla käyttökytkimen asennolla.



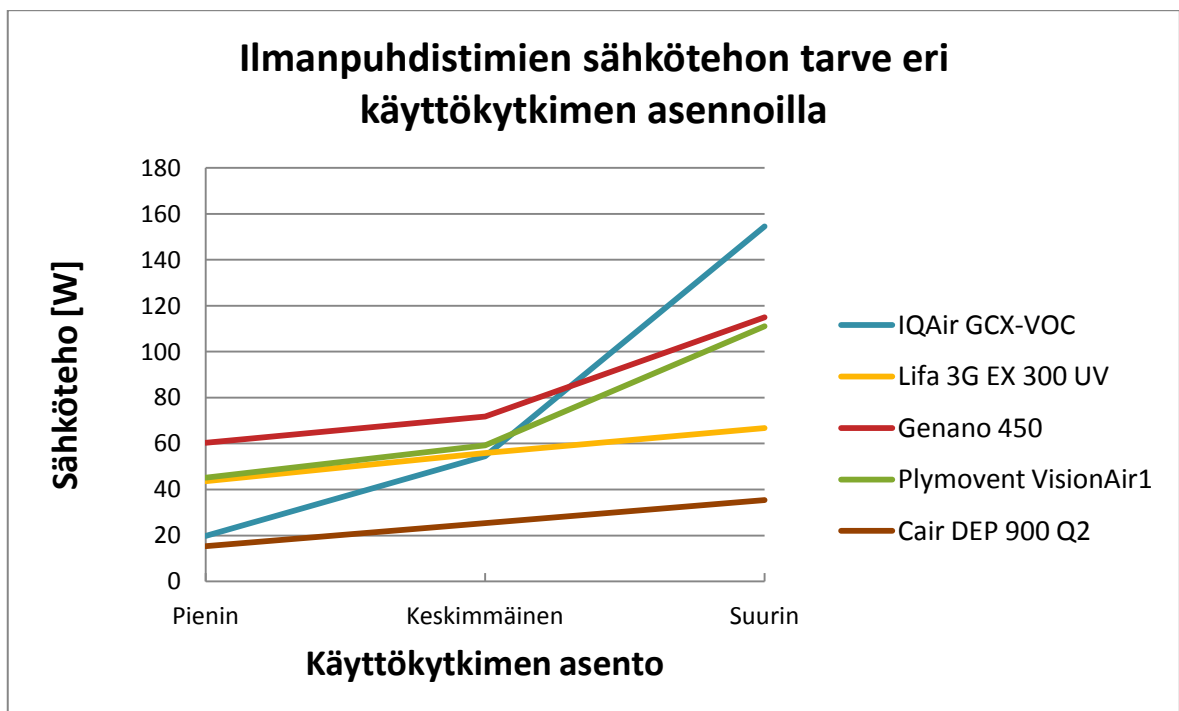
Kuva 17. Ilmanpuhdistimien aiheuttama melupäästö eri käyttökytkimen asennoilla.

5.4 Sähkötehon tarve

Kuvassa 18 on esitetty ilmanpuhdistimien mitatut sähkötehon tarpeet eri käyttökytkimen asennoilla. Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistimen osalta tulee huomioida kuvan arvot vain pienimmällä ja suurimmalla käyttökytkimen asennolla laitteen kaksipuolaisesta säätömahdollisuudesta johtuen.

Pienimmällä käyttökytkimen asennolla Genano 450 –laitteen sähköteho oli selvästi suurin, hieman yli 60 W. Samalla käyttökytkimen asennolla pienin sähköteho oli Cair DEP 900 Q2 –laitteella, jolle mitattiin arvoksi vain hieman yli 15 W. Keskimmaisella käyttökytkimen asennolla kolmelle laitteelle mitattiin hyvin samansuuruinen sähköteho, kun Plymovent, Lifa ja IQAir –ilmanpuhdistimien sähkötehot osuivat välille 54,5 – 59,2 W. Genanon ilmanpuhdistimelle mitattiin yli 70 W:n sähköteho keskimmaisella käyttökytkimen asennolla.

Suurimmalla käyttökytkimen asennolla selvästi pienin sähköteho, vain noin 35 W, mitattiin Cairin ilmanpuhdistimelle. Tämä arvo on myös merkittävästi vähemmän kuin minkään muun laitteen sähköteho keskimmaisella käyttökytkimen asennolla. Lifa 3G EX 300 UV -laitteen sähköteho oli selvästi pienempi kuin kolmen suurimman arvon saaneen ilmanpuhdistimen suurimmalla käyttökytkimen asennolla. IQAir GCX-VOC –laitteelle mitattiin joukon suurin sähkötehon tarve 154,5 W täydellä puhallinnopeudella.



Kuva 18. Ilmanpuhdistimien sähkötehon tarve eri käyttökytkimen asennoilla.

5.5 Otsonin tuotto

Laboratoriomittauksissa todettiin, että vain Genano 450 –ilmanpuhdistin tuotti otsonia mitattavissa olevin määrin. Taulukossa 5 on esitetty kyseisen laitteen koehuoneeseen aikaansaama otsonipitoisuus eri käyttökytkimen asennoilla. Otsonipitoisuus ilmoitetaan yksikkönä ppb eli tilavuuden miljardisosana. Laitteen mittauksien aikana otsonipitoisuus vaihteli koehuoneessa välillä 3,4 – 4,5 ppb riippuen käyttökytkimen säätöasennosta.

Taulukko 5. Genano 450 –ilmanpuhdistimen synnyttämä otsonipitoisuus koehuoneeseen.

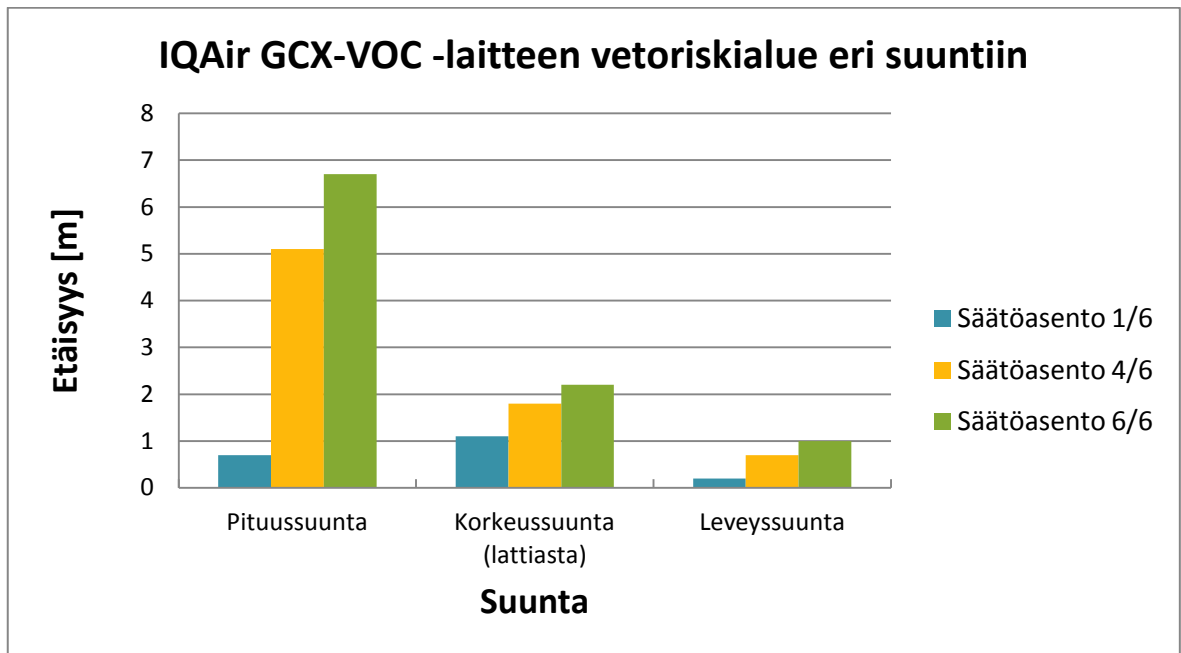
Käyttökytkimen asento	Otsonipitoisuus [ppb]
Säätöasento 1	3,4 – 3,6
Säätöasento 2	4,3
Säätöasento 3	3,9 – 4,5

5.6 Puhallusilman heittopituus

Ilmanpuhdistimien testauksissa määritettiin laitteiden puhallusilman hajotuskuvio ja mitattiin ilmavirran nopeuden 0,2 m/s rajapinnan etäisyys eli heittopituus oleskeluvyöhykkeelle suuntautuvassa puhallusilmavirran päävirtaussuunnassa kolmella eri käyttökytkimen asennolla. Nopeuden 0,2 m/s voidaan ajatella olevan raja-arvo vetoriskin olemassa ololle. Genano 450 -ilmanpuhdistimen ainoa puhallussuunta on ylöspäin eikä suoraan oleskeluvyöhykkeelle, joten mittauksia ei ollut tarpeen suorittaa kyseiselle laitteelle.

Kuvassa 19 on esitetty IQAir GCX-VOC –laitteen aikaansaama ilmavirran nopeuden 0,2 m/s rajapinnan etäisyys eri suunnissa kolmella eri käyttökytkimen säätöasennolla. Pituus- ja leveysuuntaiset etäisyydet on ilmoitettu suhteessa laitteeseen ja korkeussuuntainen etäisyys suhteessa lattiatasoon. Arvot ovat puhallusilman hajotuskuvioista poimittuja maksimiarvoja, joten ne kertovat etäisyyden mille rajapinta korkeintaan ulottuu laitteen aikaansaaman puhallusilmavirtauksen yhdessä päävirtaussuunnassa.

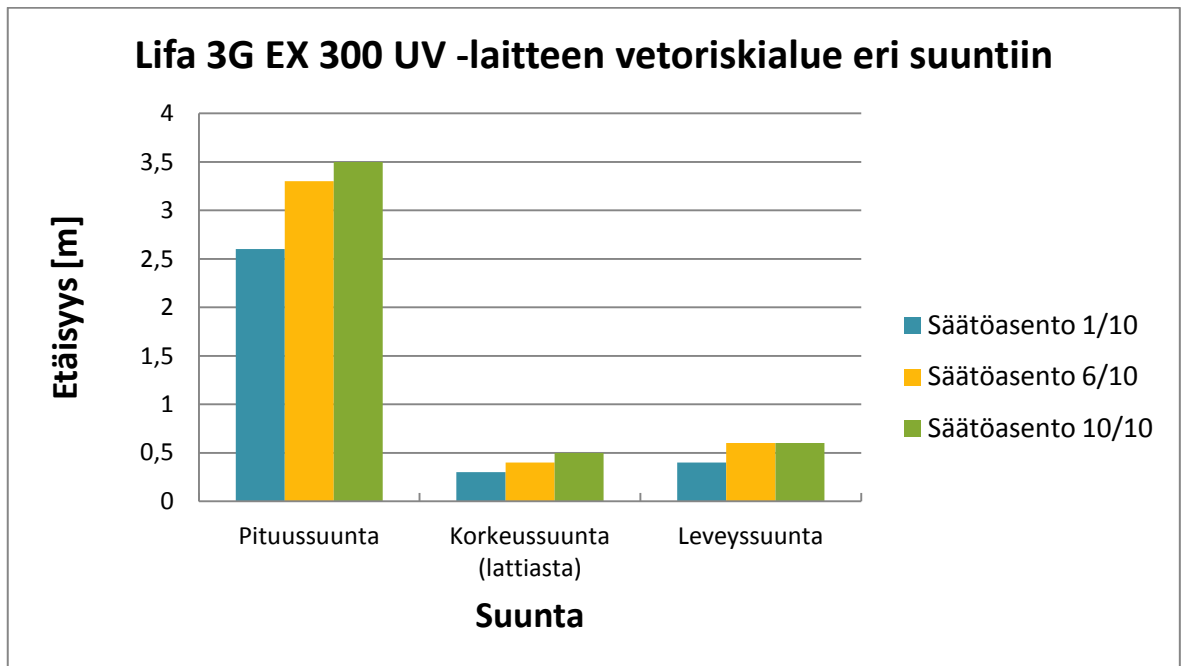
IQAir-ilmanpuhdistimessa imuilma otetaan alhaalta, ja puhallusilma syötetään huonetilaan laitteen yläosasta kahteen vastakkaiseen päävirtaussuuntaan. Kuten kuvasta nähdään, käyttökytkimen säätöasennolla 1/6 puhallusilman heittopituus eli vetoriskialueen ulottuminen pituussuuntaan on alle metrin, säätöasennolla 4/6 noin 5 metriä ja täydellä puhallusnopeudella hieman alle 7 metriä. Korkeussuunnassa vetoriskialue ulottuu noin metrin ja kahden metrin välille puhaltimen säätöasennosta riippuen. Leveysuunnassa vetoriskialue ulottuu korkeintaan metrin leveydelle laitteen puhallusaukosta katsottuna täydellä puhallinnopeudella.



Kuva 19. IQAir GCX-VOC –ilmanpuhdistimen synnyttämä vetoriskialue eri suuntiin kolmella eri puhallinnopeuden säätöasennolla.

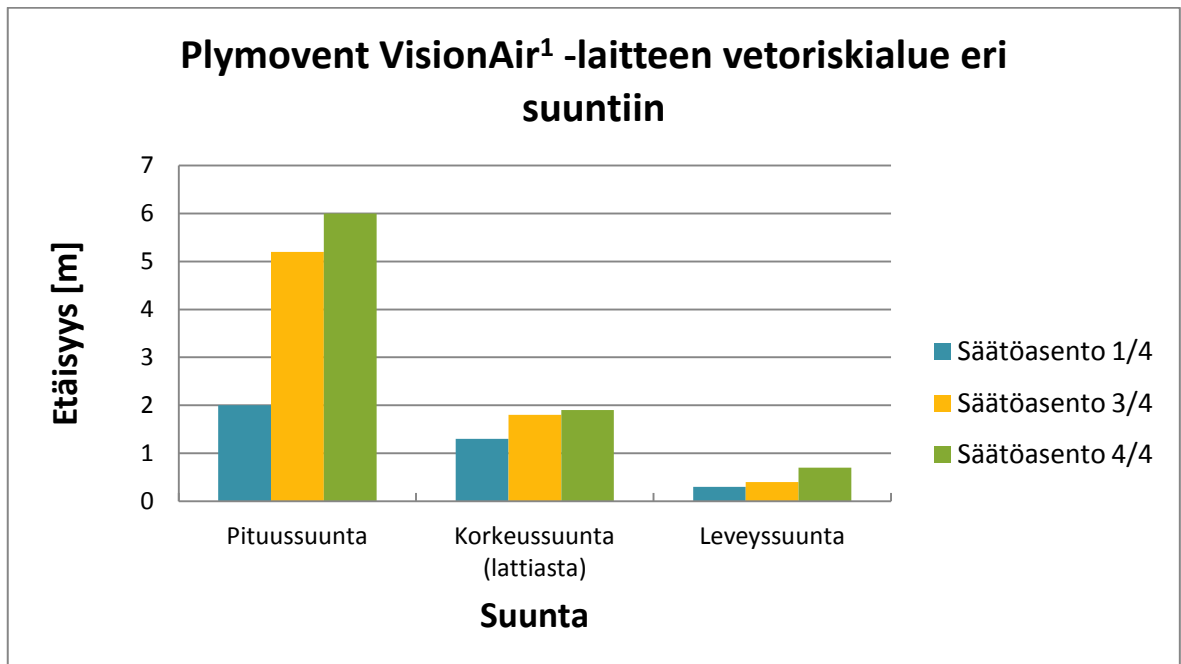
Kuvasta 20 nähdään vetoriskialue eri suuntiin Lifa 3G EX 300 UV –ilmanpuhdistimelle käyttökytkimen eri säätöasennolla. Laite ottaa imuilman yläosasta ja tuottaa puhallusilmavirran alhaalta kolmeen eri päävirtaussuuntaan.

Laitteen heittopituus kasvaa noin metrin verran siirryttäessä pienimmästä puhallinnopeudesta suurimpaan ollen korkeimmalla säätöasennolla noin 3,5 m. Korkeus- ja leveysuunnassa heittopituus ei juuri muutu, ja se on noin 0,5 m riippumatta säätöasennosta. Laitteen puhallusilma puhalletaan huonetilaan laitteen alaosaan, mikä osaltaan selittää alhaisen korkeussuuntaisen arvon.



Kuva 20. Lifa 3G EX 300 UV –ilmanpuhdistimen synnyttämä vetoriskialue eri suuntiin kolmella eri puhallinnopeuden säätöasennolla.

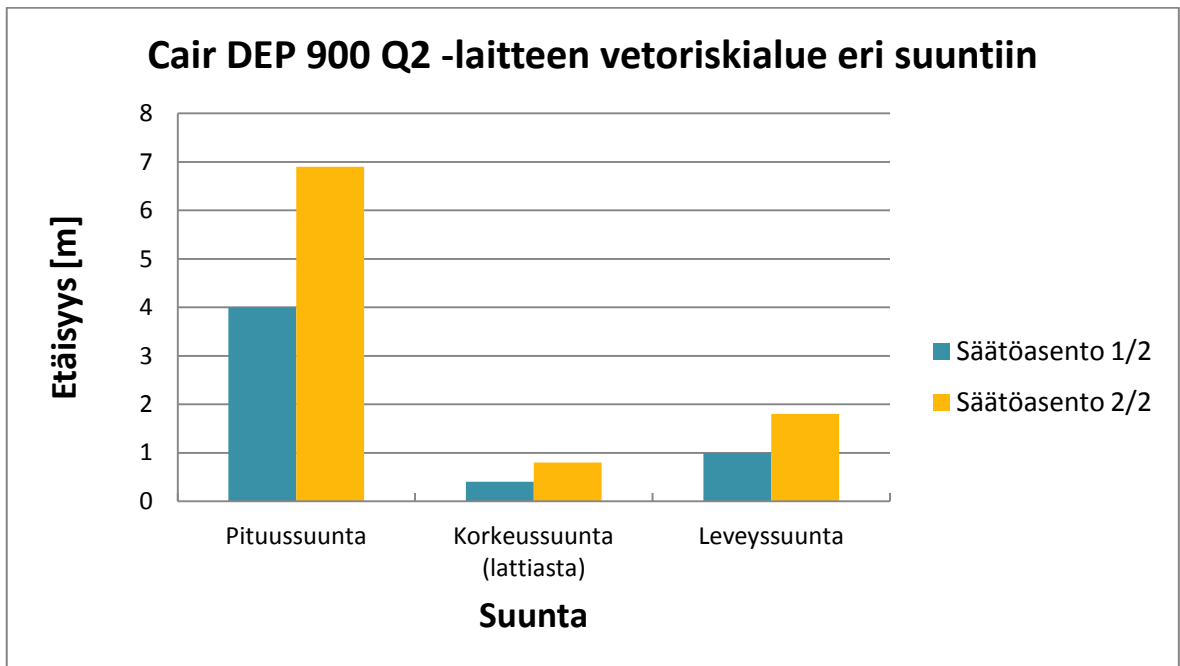
Plymovent VisionAir¹ –ilmanpuhdistimen vetoriskialue esitetään kuvassa 21. Kyseinen laite ottaa imuilman edestä ja suuntaa puhallusilman yhteensä kolmeen eri päävirtaussuuntaan, molemmille sivuille ja ylös. Laitteen heittopituus vaihtelee välillä 2-6 m riippuen puhaltimen säätöasennosta. Korkeussuunnassa laitteen tuottaman puhallusilmavirran nopeuden rajapinta 0,2 m/s ulottuu noin 1,3 – 1,9 m korkeudelle lattiatasosta. Vektoriskialueeseen leveyssuunnassa säätöasennolla ei ole juurikaan vaikutusta, sillä virtausnopeuden rajapinta pysyy leveyssuunnassa noin 0,5 m etäisyydellä puhallusaukosta riippumatta käytetystä puhallinnopeudesta.



Kuva 21. Plymovent VisionAir¹ –ilmanpuhdistimen synnyttämä vetoriskialue eri suuntiin kolmella eri puhallinnopeuden säätöasennolla.

Kuvassa 22 on esitetty Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistimen vetoriskialueen ulottuminen laitteen molemmilla käyttökytkimen asennoilla. Mittauksien aikana laite oli asetettu tuella varustettuna lattialle, mutta se voitaisiin asentaa myös kattoon. Tällöin on kuitenkin huomioitava, että laitteen tuottaman puhallusilman hajotuskuvio on merkittävästi erilainen kuin tilanteessa, jossa laite on sijoitettuna lattialle. Cair ottaa imuilman takaa ja puhaltaa ilman edestä yhteen päävirtaussuuntaan.

Säätöasennolla 1 eli pienemmällä puhallinnopeudella DEP 900 Q2 –laitteen heittopituus oli 4 m ja suuremmalla puhallinnopeudella säätöasennolla 2 noin 7 m. Korkeussuunnassa laitteen synnyttämä vetoriskialue ulottui suurimmillaan 0,4 – 0,8 m korkeudelle lattiatasosta riippuen säätöasennosta. Leveysuunnassa vaihtelu säätöasentojen kesken oli välillä 1 – 1,8 m suhteessa puhallusaukkoon.



Kuva 22. Cair DEP 900 Q2 -ilmanpuhdistimen synnyttämä vetoriskialue eri suuntiin kahdella eri puhallinnopeuden säätöasennolla.

6 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN VALINTAKRITEERIEN LUOMISESSA

Ilmanpuhdistimien laboratoriomittauksissa saatiin tuloksia, joita voidaan hyödyntää harkittaessa ilmanpuhdistimien valitsemista sisäilmaongelmaiseen kohteeseen. Tässä luvussa luodaan tulosten perusteella yleiset valintakriteerit. Tuloksista kävi ilmi, että valintakriteereissä on syytä painottaa käyttömukavuuteen liittyviä ilmanpuhdistimien ominaisuuksia.

6.1 Melupäästö valintaan vaikuttavana tekijänä

Ilmanpuhdistimien huonetilaan aiheuttama melupäästö asettaa omat rajoitteensa laitteiden käytölle. Kuten ilmanpuhdistimien testituloksista nähdään, melupäästö on käytön aikana vahvasti riippuvainen laitteen käyttökytkimen asennosta. Suuremmilla käyttökytkimen asennoilla melupäästö kasvaa puhallinnopeuden kasvaessa. Tämä asettaakin käytännössä rajoitukset sille, millä käyttökytkimen asennoilla kutakin ilmanpuhdistinta voidaan huonetilassa käyttää. Melupäästö ei saa muodostua liian häiritseväksi esimerkiksi koululuokassa, jossa mahdollisimman häiriötön oppimisympäristö on tärkeässä asemassa. Todellisessa käyttötilanteessa laitteiden tuottama melupäästö määrittää osaltaan myös laitteiden puhdistuskyvyn, sillä kaikkien laitteiden täyttä puhdistustehokkuutta eli suurinta tehollista ilmavirtaa ei ole käytännössä mahdollista hyödyntää suuren äänitehotason vuoksi.

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa C1 on asetettu ohjeelliset enimmäisarvot rakennuksen LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttamalle äänitasolle. Ilmanpuhdistimien voidaan ajatella kuuluvan edellä mainittuihin rinnasteisiin laitteisiin. Luokahuoneissa suurin ohjeellinen keskiäänitaso $L_{A,eq,T} = 33$ dB(A) ja enimmäisäänitaso $L_{A,max} = 38$ dB(A) (Ympäristöministeriö 1998, 7). Keskiäänitasolla eli ekvivalenttitasolla tarkoitetaan huonetilassa vallitsevaa jatkuvaa vakioäänitasoa ja enimmäisäänitaso on tarkasteluajanjaksona esiintynyt voimakkuudeltaan korkein äänitaso määritellyllä aikapainotuksella (Ympäristöministeriö 1998, 2).

Ilmanpuhdistimen luokahuoneeseen synnyttämään äänenpainetasoon vaikuttavat laitteen äänitehotason lisäksi huoneen akustiset ominaisuudet sekä laitteen sijoittelu. Käytännön laskelmissa päästään riittävään tarkkuuteen, kun luokahuoneeseen ajatellaan syntyvän diffuusi äänikenttä. Diffuusilla äänikentällä tarkoitetaan sitä, että äänilähteen synnyttämä äänenpainetaso on riippumaton tarkastelupisteestä sekä äänen suuntaa ei voida arvioida. (Hongisto 2012, 21)

Diffuusissa äänikentässä tilaan syntyvä äänenpainetaso riippuu ainoastaan huoneen absorptioalasta ja äänitehotasosta määräytyen yhtälöstä

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\frac{4}{A} \right), \quad (1)$$

missä L_p on äänenpainetaso [dB], L_w on äänilähteen äänitehotaso [dB] ja A huoneen absorptioala [m^2]. (Hongisto 2012, 25)

Huoneen kokonaisabsorptioala voidaan diffuusissa äänikentässä määrittää jälkikaiunta-ajan avulla yhtälöllä

$$T = 0,16 \frac{V}{A}, \quad (2)$$

missä T on jälkikaiunta-aika [s], V on huoneen tilavuus [m^3] ja A kokonaisabsorptioala [m^2]. (Hongisto 2012, 21)

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa C1 on asetettu luokahuoneen jälkikaiunta-ajan ohjeelliseksi enimmäisarvoksi 0,6 – 0,9 s (Ympäristöministeriö 1998, 6). Taulukossa 6 esitetään kaavojen 1 ja 2 avulla määritetyt ilmanpuhdistimien synnyttämät A-äänitasot tavalliseen luokahuoneeseen, jonka mitat ovat (6 m x 10 m x 3 m) ja jälkikaiunta-aika 0,75 s.

Kuten aiemmin todettiin, Suomen rakentamismääräyskokoelman C1 mukaan LVIS-laitteiden ja niihin rinnastettavien laitteiden luokkahuoneisiin aiheuttama suurin ohjeellinen keskiäänitaso $L_{A,eq,T} = 33$ dB(A). Tällä tarkoitetaan kaikkien laitteiden yhteisvaikutuksesta huonetilaan syntynyttä keskimääräistä A-äänitasa tietyllä ajanjaksolla. Keskiäänitason vaatimuksen täyttyminen on mahdollista vain silloin, jos ilmanpuhdistimen yksinään luokkahuoneeseen synnyttämä A-äänitaso on matalampi kuin keskiäänitaso 33 dB(A). Taulukosta 6 nähdään, että käytännössä ohjeellinen keskiäänitaso on mahdollista saavuttaa ainoastaan kahdella testatulla laitteella, jotka ovat IQAir GCX-VOC ja Cair DEP 900 Q2. Näidenkin laitteiden tuottama A-äänitaso on alle 33 dB(A) vain pienimmällä käyttökytkimen asennolla, kun IQAir saa arvon 23,9 dB(A) ja Cair 26,6 dB(A). Lifa, Genano ja Plymovent ylittävät ohjeellisen arvon pienimmälläkin laitteiden mahdollistamalla puhallinnopeudella. Ohjeellisen arvon ylittävät A-äänitasot on korostettu taulukkoon 6 punaisella värillä.

Taulukko 6. Ilmanpuhdistimien luokkahuoneeseen synnyttämä A-äänitaso eri käyttökytkimen asennoilla.

Ilmanpuhdistin	A-äänitaso L_{pA} [dB(A)]		
	Käyttökytkimen asento		
	Pienin	Keskimmäinen	Suurin
IQAir GCX-VOC	23,9	38,9	57,3
Lifa 3G EX 300 UV	43,7	49,1	52,5
Genano 450	42,0	47,3	52,1
Plymovent VisionAir ¹	34,3	44,1	58,3
Cair DEP 900 Q2	26,6		43,4

Todellisessa laitteiden käyttökohteessa tilaan syntyvä A-äänitaso mahdollisesti poikkeaa taulukossa 6 esitetyistä arvoista jonkin verran riippuen huoneen koosta ja akustiikasta. On huomioitava myös, että tilassa olevat ihmiset itsessään laskevat tilaan syntyvää äänenpainetasoa, sillä yksi ihminen vastaa suuruudeltaan $0,5 \text{ m}^2$ absorptioalaa (Hongisto 2012, 20). Ihmismäärän vaikutus A-äänitasoon esimerkiksi tavallisessa koululuokassa on kuitenkin desibeleissä mitattuna vähäinen. Tilaan syntyvää äänenpainetasoa saadaan käytännössä laskettua esimerkiksi lisäämällä sisäkattoon akustiikkalevyjä, jotka

kasvattavat absorptiopinta-alaa ja sitä kautta lyhentävät jälkikaiunta-aikaa. Monille testatuille ilmanpuhdistimille mitattiin kuitenkin niin korkeat A-äänitehotasot etenkin suurimmalla puhallinnopeudella, että LVIS-laitteille asetettu ohjeellinen keskiäänitaso luokkahuoneessa on lähes mahdotonta saavuttaa, kun otetaan huomioon vielä tavallisesta ilmanvaihdosta aiheutuva keskiäänitasoa kasvattava vaikutus.

Ilmanpuhdistimien melupäästöllä ei ole merkitystä tilanteissa, joissa käyttötilassa ei oleskele henkilöitä eikä siten kukaan altistu melulle. Toisaalta voidaan ajatella, että tällöin ei ole merkitystä myöskään tilassa olevilla epäpuhtauksilla, sillä kukaan ei niille sillä hetkellä altistu. Tyhjän huonetilan puhdistaminen on kuitenkin perusteltua, kun halutaan taata mahdollisimman hyvä sisäilman laatu heti siitä hetkestä, jolloin huonetilaan saapuu ihmisiä. Esimerkiksi välituntien aikana, kun luokkahuoneessa ei oleskele ihmisiä, voidaan ilmanpuhdistin kytkeä täydelle teholle ja saada täten puhdistustehokkuutta suurennettua laitteen tehollisen ilmavirran kasvaessa. Suurin tarve ilmanpuhdistimelle on kuitenkin silloin, kun huonetilassa oleskelee tilan sisäsyntyisinä päästölähteinä toimivia ihmisiä. Valitettavasti tällöin ei pääsääntöisesti ilmanpuhdistimien täyttä puhdistuskykyä voida hyödyntää liian suuren melupäästön vuoksi.

Kuvitteellisen tavallisen luokkahuoneen tapauksessa ohjeellisen keskiäänitason saavuttamisen pienimmällä käyttökytkimen asennolla mahdollistavat IQAir GCX-VOC ja Cair DEP 900 Q2 eroavat laitteiden minimiteholla toisistaan merkittävästi puhdistustehokkuuden osalta. Cair tuottaa hiukkassuodatuksessa hiukkaskoosta riippumatta noin kolme kertaa suuremman ja kaasusuodatuksessa 20 % suuremman tehollisen ilmavirran kuin IQAir.

Jos luokkahuoneen sisäilmassa on erityisen suuri hiukkaspitoisuus ja halutaan mahdollisimman tehokasta hiukkassuodatusta, voi ohjeellisen keskiäänitason puitteissa olla mahdollista käyttää samanaikaisesti pienimmällä käyttöteholla kahta Cair DEP 900 Q2 – ilmanpuhdistinta riippuen varsinaisten LVIS-laitteiden äänitasosta. Kahden identtisen äänilähteen yhteisvaikutus lisää äänitasoa tilassa 3 dB (Paroc Oy, 2013). Täten kahden Cair ilmanpuhdistimen synnyttämä A-äänitaso koululuokkaan olisi suuruudeltaan noin 29,6 dB(A). Tämä äänitaso mahdollistaa vielä lisäksi samansuuruisen äänitason ilmastoinnista,

jolloin tilan A-äänitaso olisi noin 32,6 dB(A), mikä on niukasti ohjeellisen keskiäänitason rajoissa. Kahta ilmanpuhdistinta samassa tilassa samanaikaisesti käytettäessä tulee kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota laitteiden sijoitteluun, jotta ei pääse syntymään esimerkiksi tilannetta, jossa toinen laite puhaltaa suodatetun puhtaan ilmvirran suoraan toisen laitteen imupuolelle.

6.2 Lämmöntuoton merkitys

Ilmanpuhdistimet ovat sähkölaitteita, ja niiden sähkönkulutuksen voidaan ajatella tulevan kokonaisuudessaan rakennukseen lämpökuormaksi (Ympäristöministeriö 2013, 30). Tämä lämpökuorma voidaan rakennuksessa hyödyntää vain silloin, kun samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta, ja säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa ilmanpuhdistimen tuottamaa lämpökuormaa vastaavalla määrällä (Ympäristöministeriö 2013, 34).

Rakennuksilla esiintyy Suomessa jonkinasteista lämmitystarvetta lähes ympäri vuoden riippuen rakennuksen sijainnista ja vuodenajoille tyypillisistä ulkolämpötiloista. Ainoa ajankohta, jolloin lämmitystarvetta ei yleensä välttämättä ole, on aivan keskikesällä. Jos ajatellaan ilmanpuhdistimen käyttötilana koululuokkaa, esiintyy tilan lämmitystarvetta pääsääntöisesti aina kun luokassa oleskelee henkilöitä ja ilmanpuhdistinta käytetään. Tämä perustuu siihen olettamukseen, että koululuokka ei ole opetuskäytössä kesällä lämpimimpään vuodenaikaan. Näin ollen ilmanpuhdistimen tuottama lämpökuorma on teoriassa mahdollista hyödyntää rakennuksen lämmityksessä lähes aina, eikä syntynyttä lämpökuormaa voida täten ajatella negatiiviseksi seikaksi.

Ilmanpuhdistimien mitatut sähkötehot vaihtelivat noin välillä 15 – 155 W riippuen laitteesta ja käyttökytkimen asennosta. Vertailukohtana todettakoon, että yhden henkilön luovuttama keskimääräinen kuiva lämpöteho on 85 W (Ympäristöministeriö 2013, 34). Käytännössä yhden ilmanpuhdistimen käytönaikainen sähköteho aiheuttaa huonetilaan pienemmän lämpökuorman kuin yksi henkilö, sillä laitteita ei pääsääntöisesti ole mahdollista käyttää kovin suurella teholla niiden synnyttämästä melupäästä johtuen, ainakaan silloin kun tilassa oleskelee melulle altistuvia ihmisiä. Laitteiden mitattujen

sähkötehojen perusteella ei sähkötehoa voida pitää merkittävänä ilmanpuhdistimen valintakriteerinä, sillä arvot ovat niin alhaisia, ettei niillä juuri ole rakennuksen lämmityksen tai mahdollisen jäähdytystehon tarpeen kannalta merkitystä. Esimerkiksi Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistimen sähköteho pienimmällä käyttökytkimen asennolla on vain 15,4 W.

6.3 Otsonin tuoton merkittävyys

Työperäisessä altistumisessa kahdeksan tunnin altistumisjaksoa kohti ilmoitetaan Suomessa haitalliseksi otsonipitoisuudeksi 0,05 ppm (Työterveyslaitos 2010). Yksikään testattu ilmanpuhdistin ei nostanut koehuoneen otsonipitoisuutta lähellekään tätä pitoisuustasoa. Mittaustuloksista ei kuitenkaan voida päätellä, lisääntykö laitteiden otsonin tuotto pitkäaikaisessa käytössä.

Sähkösuodatustekniikkaan perustuva Genano 450 –ilmanpuhdistin oli ainoa testatuista laitteista, jonka havaittiin käytön aikana nostavan koehuoneen otsonipitoisuutta, mutta laitteen otsonin tuotto oli niin vähäinen ettei sillä ole käytännön merkitystä sisäilman laatuun ja sitä kautta ihmisten terveyteen. Jotta voidaan varmistua, ettei kyseinen laite, niin kuin muutkaan sähkösuodatukseen perustuvat laitteet ala tuottamaan pitkäaikaisessa käytössä otsonia lisääntyvissä määrin, tulee laitteiden asianmukaisesta huollosta huolehtia. Sähkösuodatukseen perustuvien laitteiden kohdalla on siten tärkeää, että laitteet pidetään mahdollisimman uudenveroisessa käyttökunnossa koko käyttöiän ajan, sillä mahdollisuus otsonin tuottoon on kuitenkin olemassa.

Otsonin tuottoa mittaavissa testauksissa ei noussut testattujen laitteiden kohdalla esiin tekijöitä, jotka vaikuttavat ilmanpuhdistimien valintaan sisäilmaongelmaisessa kohteessa. Lähtökohdana laitteiden käytössä tulee olla, että ne huolletaan riittävän usein ja valmistajan ilmoittamalla tavalla. Näin voidaan olettaa, ettei esimerkiksi Genano 450 –ilmanpuhdistin ala käytön edetessä tuottaa huonetilaan haitallisia määriä otsonia.

6.4 Vektoriskin arviointi

Ihmisen huonetilassa mahdollisesti kokema vedon tunne aiheutuu ihon paikallisesta jäähtymisestä. Merkittävin tekijä vedon tunteen syntymisessä on ilmavirtaus, jolle määritelty ohjeellinen enimmäisnopeus oleskelualueella riippuu sen hetkisestä sisäilman lämpötilasta. Taulukossa 7 esitetään sisäympäristöluokituksen laatuluokkien S1, S2 ja S3 mukaiset ilman virtausnopeuksien ohjeelliset enimmäisarvot eri ilman lämpötiloilla. (Työterveyslaitos 2013)

Kuten taulukosta nähdään, mitä korkeampi ilman lämpötila on, sitä suurempi virtausnopeus ilmalle sallitaan. Vektoriski on siten suurempi, kun lämpötila huonetilassa on alhainen. Tällöin tulee kiinnittää erityistä huomiota ilman virtausnopeuteen. Taulukon 7 perusteella voidaan sallittuna ilmavirran enimmäisnopeutena pitää keskimäärin arvoa 0,20 m/s (laatuluokka S2, ilman lämpötila 23 °C). Ilmanpuhdistimien laboratoriotestauksissa määritettiin laitteiden synnyttämän puhallusilmavirran nopeuden 0,2 m/s rajapinnan etäisyys laitteesta eli taulukkoon 7 viitaten laatuluokan S2 mukainen vektoriskialue lämpötilassa 23 °C.

Taulukko 7. Sisäilmastoluokituksen ohjearvot ilman virtausnopeudelle yksikössä m/s (Työterveyslaitos 2013).

	S1 yksilöllinen	S2 hyvä	S3 tydyttävä
Lämpötila			
21 °C	< 0,14	< 0,17	< 0,2 (talvi)
23 °C	< 0,16	< 0,20	
25 °C	< 0,18	< 0,25	< 0,3 (kesä)

Ilmanpuhdistimien käytöstä mahdollisesti syntyvää vedon tunnetta tulee arvioida ihmisten oleskeluvyöhykkeellä. Tällä tarkoitetaan sitä huonetilan osaa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakenteista (Ympäristöministeriö 2008, 11). Testattujen ilmanpuhdistimien tuottamien puhallusilmavirtojen päävirtaussuunnat suuntautuvat huonetilassa lähes poikkeuksetta suoraan oleskeluvyöhykkeelle, ja laitteiden käytön

seurauksena on siten todennäköistä, että huonetilassa oleskelevat henkilöt joutuvat kokemaan vedon tunnetta ainakin jossain määrin. Laitteen sijoituspaikka ja asento määrittävät osaltaan puhallusilmavirran suuntautumisen ja siten myös vetoriskialueen suunnan huonetilassa.

Genano 450 –ilmanpuhdistin on ainoa tarkastelluista laitteista, jonka ei voida olettaa synnyttävän vetoriskiä oleskeluvyöhykkeelle. Laitteen puhallusilmavirta suuntautuu ainoastaan ylöspäin, eikä siten suoraan oleskeluvyöhykkeelle. Näin ollen ilmanpuhdistimen sijoitteluun esimerkiksi luokkahuoneessa ei tarvitse vetoriskin kannalta kiinnittää huomiota.

IQAir GCX-VOC –ilmanpuhdistimen puhallusilmavirrat johdetaan puhallusaukosta laitteen yläosasta noin metrin korkeudelta vaakasuuntaan kahteen vastakkaiseen päävirtaussuuntaan. Pienimmällä puhallinnopeuden säätöasennolla syntynyt vetoriskialue ulottuu ainoastaan laitteen välittömään läheisyyteen alle metrin etäisyydelle puhallusaukosta. Säätöasennolla 4/6 suoraan päävirtaussuunnassa puhallusilmavirran virtausnopeus laskee arvoon 0,2 m/s vasta 5 metrin etäisyydellä puhallusaukosta. Täydellä puhallinnopeudella säätöasennolla 6/6 tämä etäisyys on yli 6,5 metriä. Huomionarvoista on se, että IQAir:n puhallusilmavirta leviää pituussuuntaisen etäisyyden kasvaessa enemmän ylä- kuin alaviistoon, ja vetoriskialue täydellä puhallinnopeudella ulottuu 6 metrin etäisyydellä puhallusaukosta peräti 2,2 metrin korkeuteen lattiatasosta. Kyseinen korkeus ylittää oleskeluvyöhykkeelle määritetyn korkeusrajan, joten tämä osa laitteen tuottamasta nopeudeltaan vähintään 0,2 m/s suuruudesta ilmavirtauksesta ei varsinaisesti aiheuta vetoriskiä. Hieman yläviistoon suuntautuva ilmavirtaus on vedon tunteen välttämisen kannalta eduksi esimerkiksi luokkahuoneessa, jossa pääsääntöisesti oleskellaan istuma-asennossa suhteellisen matalalla korkeudella lattiatasosta. IQAir GCX-VOC –ilmanpuhdistin ei todennäköisesti aiheuta vedon tunnetta tilassa oleskelevien henkilöiden jalkoihin, sillä esimerkiksi säätöasennolla 4/6 puhallusilmavirran päävirtaussuunnassa vetoriskialue ei ulotu alle 0,8 metrin korkeudelle lattiatasosta millään etäisyydellä puhallusaukosta.

Lifa 3G EX 300 UV –ilmanpuhdistimen puhallusilmavirta suuntautuu laitteen alaosaan kolmeen eri virtaussuuntaan. Tämä ratkaisu mahdollistaa laitteen sijoittamisen seinää vasten ilman että yksikään puhallusaukoista peittyi. Laitteen synnyttämän vetoriskialueen erityispiirre on se, että millään puhallinnopeudella vetoriskiä ei esiinny noin 0,5 metrin korkeudesta ylöspäin lattiatasosta. Lisäksi on huomattava, että pisimmilläänkin heittopituus puhallusilman päävirtaussuuntiin on vain 3,5 metrin luokkaa, mikä on ainoastaan noin puolet siitä mitä muilla laitteilla, joiden vetoriskialue kohdistuu oleskeluvyöhykkeelle. Lyhyen heittopituuden ansiosta laite voi olla mahdollista sijoittaa esimerkiksi koululuokassa niin, ettei kovinkaan moni henkilö joudu kokemaan laitteesta aiheutunutta vedon tunnetta.

Plymovent VisionAir¹ –ilmanpuhdistimen puhallusilmavirratt suuntautuvat laitteen sivuille ja ylös. Ylöspäin suuntautuvaa ilmavirtaa ei ole tarpeen tarkastella vetoriskin kannalta, sillä se ei suuntaudu suoraan oleskeluvyöhykkeelle. Laitteen puhallusilmavirran hajotuskuvio, ja siten vetoriskialue päävirtaussuunnissa on hyvin samankaltainen kuin IQAir GCX-VOC –ilmanpuhdistimella. Suurimpana erona on Plymoventin yli kaksinkertainen heittopituus pienimmällä puhaltimen säätöasennolla verrattuna IQAir:iin. Ilman virtaus puhallusaukoista suuntautuu hieman yläviistoon ja aivan huonetilan alaosaan jää vetoriskiton alue riippumatta puhaltimen säätöasennosta. Suoraan laitteen etupuolella ei ole olemassa vetoriskiä, sillä tähän suuntaan ei suuntaudu puhallusilmavirtaa. Laite tulisikin mahdollisuuksien mukaan sijoittaa siten, että etupaneeli on suoraan huonetilassa oleskelevia henkilöitä vastaan. Tämä on perusteltua myös laitteen etupuolelta otettavan imuilman kannalta, sillä optimaalisinta on, että huoneen sisäisinä päästölähteinä toimivat ihmiset ovat suoraan imupuolella. Plymovent VisionAir¹ –ilmanpuhdistin on mahdollista sijoittaa myös kattoon tai seinälle, jolloin puhallusilmavirtaukset eivät todennäköisesti suuntaudu suoraan oleskeluvyöhykkeelle ja vetoriski vähenee merkittävästi.

Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistimen yhteydessä on huomioitava, että vetoriskialue huonetilassa on täysin riippuvainen siitä, asennetaanko laite lattialle vai kattoon. Laitteen puhallusilmavirta suuntautuu yhteen päävirtaussuuntaan, ja täydellä teholla heittopituus lähes 7 metriä on kaikkein suurin testatuista laitteista. Lattialle asennettuna vetoriskialue syntyy lattianrajaan ja siitä korkeintaan 0,8 metrin korkeudelle täydellä puhallinteholla.

Laite on mahdollista asentaa ketjuilla roikkumaan irti katosta siten, että puhallusilmavirta suuntautuu ylöspäin. Tällöin on epätodennäköistä, että laite aiheuttaisi oleskelualueelle juurikaan vetoriskiä, koska laitteen tuottaman ilmavirran nopeus on merkittävästi heikentynyt sen heijastuessa kattopinnoista sekä mahdollisesti seinäpinnoista varsinaiselle oleskelualueelle. Vektoriskin minimoimiseksi Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistin tulisivin asentaa kattoon.

Suoraan oleskeluvyöhykkeelle suuntautuvan puhallusilmavirran etuna on se, että ilmanpuhdistimen tuottama puhdas ilma tulee välittömästi henkilöiden hyödynnettäväksi. Suuri heittopituus edistää ilman sekoittumista huonetilassa, mutta samalla kasvattaa vektoriskialuetta. Laitteiden puhallusilman lämpötila on hieman korkeampi kuin laitetta ympäröivän muun ilman lämpötila, mikä hivenen estää vedon tunteen syntymistä. Kokonaisuutena pienimmän vektoriskin mahdollisuuden huonetilaan aiheuttavat Genano 450 sekä Cair DEP 900 Q2 ja Plymovent VisionAir¹ –ilmanpuhdistimet, mikäli ne ovat asennettuna muualle kuin lattialle.

6.5 Laitteiden pisteytys

Laboratoriotestauksiin osallistuneet viisi ilmanpuhdistinta arvosteltiin pisteyttämällä ne eri osa-alueittain. Eri osa-alueet ovat puhdistustehokkuus hiukkasilla, puhdistustehokkuus kaasulla, melupäästö, vektoriski, sähköteho ja otsonin tuotto. Puhdistustehokkuudet pisteytettiin eri käyttökytkimien asennoilla. Jokaiselle laitteelle annettiin pisteet asteikolla 0-5 siten, että kullakin osa-alueella parhaiten suoriutunut laite sai viisi pistettä, ja tätä tasoa käytettiin vertailukohtana annettaessa pisteitä muille laitteille. Pisteet siis suhteutettiin parhaaseen tasoon, joka testien perusteella kullakin osa-alueella oli yleisesti mahdollista saavuttaa. Arvostelussa osa-alueita painotettiin eri tavoin sen mukaan kuinka merkittävänä kutakin osa-aluetta pidetään kokonaisuuden kannalta.

Puhdistustehokkuuksien hiukkasilla ja kaasulla katsottiin kummankin muodostavan 30 % kokonaisarvosanasta. Sisäilman puhdistuskyvyille kokonaisuudessaan asetettiin näin 60 %:n painoarvo. Hiukkasmaisten ja kaasumaisten epäpuhtauksien sisäilmasta suodattamisen

tärkeyden välille ei tehty painotuksella eroa, sillä todellisessa tilanteessa puhdistettavan epäpuhtauslajin merkittävyyden määrittää kussakin sisäilmaongelmaisessa kohteessa vallitseva sen hetkinen tilanne. Täten on mahdotonta sanoa yleisellä tasolla, onko hiukkasmaisten vai kaasumaisten epäpuhtauksien puhdistaminen huonetilasta tärkeämpää. Tässä arvostelussa laitteiden monipuolisuudella suodattaa erilaisia epäpuhtauksia on siten eniten vaikutusta kokonaisarvosanaan. Puhdistustehokkuutta eri käyttökytkimien asennoilla painotettiin siten, että pienimmän säätöasennon tuloksen painoarvo on sekä hiukkasilla että kaasulla 15 %, keskimmäisen säätöasennon 10 % ja suurimman säätöasennon 5 % kokonaisarvosanasta. Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistimessa on vain kaksi säätöasentoa, joten kyseisen laitteen tuloksille pienemmällä säätöasennolla annettiin 20 %:n ja suuremmalla säätöasennolla 10 %:n painoarvo. Käyttökytkimien asentojen painotuksen perustana on laitteiden käyttömukavuus, jonka katsotaan olennaisesti heikkenevän käytettäessä suurempia säätöasentoja. Käyttömukavuuden heikkenemiseen vaikuttavat etenkin melutason kasvaminen, mutta myös kasvanut vetoriskin todennäköisyys ja lisääntynyt sähkötehon tarve. Näin ollen käytännön käyttötilanteessa on enemmän merkitystä sillä, mikä laitteen puhdistustehokkuus on matalammalla kuin korkeammalla käyttöteholla laitteiden todellisen käyttöalueen painottaessa pienimpiin käyttökytkimen asentoihin. Hiukkasten suodatuskyvyn osalta laboratoriotesteissä saatuja tuloksia ei painotettu hiukkaskoon suhteen, sillä testeissä havaittiin, että hiukkaskoon vaikutus laitteiden teholliseen ilmavirtaan oli verraten vähäinen.

Ilmanpuhdistimien aiheuttamalle melupäästölle asetettiin 20 %:n ja vetoriskille 10 %:n painoarvo kokonaisarvosanasta. Melupäästöllä on vetoriskiä suurempi painoarvo osaltaan siksi, että käyttökohteessa henkilö voi itse vaikuttaa vähemmän altistumiseensa melulle kuin vedon tunteelle. Vedon tunnetta voidaan tietyn edellytyksin ehkäistä esimerkiksi vaatetuksella tai sijoittamalla ilmanpuhdistin eri paikkaan, mutta melun suhteen yksittäisen henkilön toimenpitein ei ole niin paljoa tehtävissä. Kuulosuojaimien käyttäminen huonetilassa ei liene käyttömukavuuden kannalta mielekästä. Sähköteho ja otsonin tuotto arvioitiin molemmat painoarvoltaan 5 %:n suuruisiksi. Vähäisen painoarvon syynä on se, ettei suoriutumisella kummallakaan osa-alueella katsota laboratoriotestauksissa saatujen tulosten perusteella olevan suurta vaikutusta käyttömukavuuteen. Suurella otsonin tuotolla

olisi toki suuri vaikutus käyttömukavuuteen, mutta koska mikään laite ei tuottanut otsonia merkittävässä määrin, ei osa-aluetta siten haluta turhaan painottaa.

Taulukossa 8 on esitetty ilmanpuhdistimien pisteytys eri osa-alueittain sekä niiden perusteella laitteille saadut kokonaisarvosanat. Parhaimman kokonaisarvosanan 3,70 sai Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistin. Toiseksi parhaaksi pisteytettiin Lifa 3G EX 300 UV ja kolmanneksi parhaaksi IQAir GCX-VOC. Kyseisten laitteiden kokonaisarvosanat olivat 3,45 ja 3,35. Genano 450 oli arvostelussa toiseksi huonoin kokonaisarvosanalla 2,70. Kaikista testatuista laitteista selvästi heikoimmin suoriutui Plymovent VisionAir¹ –ilmanpuhdistin, jolle saatiin kokonaisarvosanaksi 2,05.

Laitteiden pisteyttäminen suhteessa toisiinsa oli laboratoriotesteissä saatujen tulosten perusteella pääasiassa melko yksinkertaista. Joidenkin pisteytysten kohdalla arvostelua on kuitenkin syytä perustella tarkemmin tiettyjen testauksista saatujen tulosten erityispiirteiden vuoksi. Keskimmaisella käyttökytkimen asennolla puhdistustehokkuudessa hiukkasilla IQAir:n ilmanpuhdistin pisteytettiin parhaaksi arvosanalla viisi, koska se erottui kaikkein suurimmassa 3,0 – 5,0 µm:n hiukkaskokoluokassa Genanon ja Lifan ilmanpuhdistimista noin 12 - 13 % suuremmalla tehollisella ilmavirralla. Melupäästön osa-alueella Genano ja Lifa –ilmanpuhdistimet saivat pisteytyksessä erityisen matalan arvosanan yksi, koska laboratoriotesteissä kyseisistä laitteista mitattujen A-äänitehotasojen perusteella on huonetilassa laitteiden käytön aikana todella vaikeaa ellei lähes mahdotonta saavuttaa ohjeelliselle keskiäänitasolle asetettua enimmäisarvoa. Molempien laitteiden aiheuttamat melupäästöt ovat erittäin suuria jo pienimmällä käyttökytkimen asennolla.

Vetoriskin osa-alueella Cair-ilmanpuhdistimen arvosanaa nosti laitteen kattoon asentamisen mahdollisuus, jolloin huonetilaan syntynyt vetoriski pienenee oleellisesti siitä mitä se on tilanteessa, jossa laite on asetettu lattialle. Laboratoriossa puhallusilmavirran hajotuskuviota määritettäessä laite oli asetettu lattialle, kuten muutkin testatut laitteet. Laitteen valmistajalta saadun tiedon mukaan kattoasennusta tulisikin suosia lattialle sijoittamisen sijaan. Myös Plymovent-ilmanpuhdistimen arvosanaa vetoriskin osa-alueella nosti laitteen kattoon tai seinään asentamisen mahdollisuus. Sähkötehon osa-alueella

pienempi sähköteho johti parempaan arvosanaan, etenkin kun laitteen rakennukseen synnyttämän lämpökuorman hyödyntämistä ei voida taata. Suurempi sähkötehon tarve aiheuttaa myös enemmän kustannuksia sähkönkulutuksen muodossa.

Taulukko 8. Ilmanpuhdistimien pisteytys eri osa-alueilla ja kokonaisarvosanat.

PISTEYTYS (0-5)	Painoarvo (%)	IQAir	Lifa	Genano	Plymovent	Cair
Puhdistustehokkuus hiukkasilla						
*Pienin käyttökytkimen asento	15 (20)	1	4	4	2	5
*Keskimmäinen käyttökytkimen asento	10	5	4	4	3	
*Suurin käyttökytkimen asento	5 (10)	5	2	2	3	4
Puhdistustehokkuus kaasulla						
*Pienin käyttökytkimen asento	15 (20)	2	5	2	0	2
*Keskimmäinen käyttökytkimen asento	10	5	5	2	0	
*Suurin käyttökytkimen asento	5 (10)	5	3	1	0	1
Melupäästö	20	4	1	1	3	5
Vetoriski	10	2	3	5	3	3
Sähköteho	5	3	4	3	3	5
Otsonin tuotto	5	5	5	4	5	5
KOKONAISARVOSANA	100	3,35	3,45	2,70	2,05	3,70
SIJOITUS		3.	2.	4.	5.	1.
Painoarvo Cair:lle suluissa, laitteessa vain kaksi säätöasentoa.						

6.6 Valintakriteerit sisäilmaongelmaiseen kohteeseen

Ilmanpuhdistimen valinnan lähtökohtana on selvittää sisäilmaongelmaisessa kohteessa sisäilman laatua heikentävä ja mahdollisesti oireita aiheuttava epäpuhtauslaji eli se, mitä sisäilmasta tarkalleen halutaan ilmanpuhdistimella suodattaa. Sisäilmaongelmaa rakennuksessa voidaan kartoittaa erilaisin mittauksin sekä huonetiloista otettujen sisäilmanäytteiden avulla. Ainoastaan henkilöiden kokemien oireiden perusteella epäpuhtauslajia on yleensä lähes mahdoton määrittää, sillä oireet voivat olla eri epäpuhtauksille altistumisessa keskenään hyvin samankaltaiset.

Sopivaa ilmanpuhdistinta valittaessa riittää suodatusominaisuuksien osalta pääosin tieto siitä, onko sisäilman laadun heikkenemisen syynä hiukkasmaisissa vai kaasumaisissa

muodoissa esiintyvät epäpuhtaudet. Esimerkiksi puhdistettavalla hiukkaskokoluokalla ei ole ilmanpuhdistimen valinnan kannalta juurikaan merkitystä, sillä vaikka laitteet käyttävätkin eri suodatustekniikoita, ei laitteiden suodatustehokkuus riipu lähes lainkaan hiukkaskokoluokasta. Markkinoilla oleville ilmanpuhdistimille on saatujen testitulosten perusteella tyypillistä, että ne suodattavat kaiken kokoisia hiukkasia noin välillä 0,1 – 5,0 µm lähes samalla erotusasteella tuottaen siten suunnilleen samansuuruisen tehollisen ilmavirran jokaisella hiukkaskoolla.

Tilanteessa, jossa sisäilmaongelman aiheuttaja ei ole tarkasti selvillä, tulee huonetilaan valita suodatuskyvyltään mahdollisimman monipuolinen ilmanpuhdistin. Käytännössä tämä tarkoittaa riittävien hiukkassuodatusominaisuuksien lisäksi kaasunsuodatuskyvyltään tarpeeksi hyvää aktiivihiilisuodatinta. Suurin osa markkinoilla olevista ilmanpuhdistimista sisältääkin hiukkassuodattimen lisäksi aktiivihiilisuodattimen, joten ainakin teoriassa ne pystyvät poistamaan ilmasta epäpuhtauksia monipuolisesti.

Taulukossa 9 esitetään ilmanpuhdistimien yleiset valintakriteerit sisäilmaongelmaiseen kohteeseen, mikäli oireita aiheuttava epäpuhtauslaji ei ole tarkasti selvillä tai sisäilman laatua heikentävät huonetilassa sekä hiukkasmaiset että kaasumaiset epäpuhtaudet. Jos sisäilmatutkimuksilla on saatu varmistettua, ettei tilassa esiinny sisäilmanlaatua heikentäviä kaasumaisia epäpuhtauksia, ei ilmanpuhdistimen tarvitse taulukon 9 tiedoista poiketen sisältää aktiivihiilisuodatinta. Sen sijaan jos tilasta on mitattu selkeästi korkeita pitoisuuksia kaasumaisille epäpuhtauksille, ja niitä pidetään yksinomaan oireiden aiheuttajana, ei ilmanpuhdistimen tarvitse sisältää periaatteessa lainkaan hiukkassuodatustekniikkaa. Käytännössä tällaisia laitteita ei kuitenkaan tällä hetkellä markkinoilla juuri ole. Ilman aktiivihiilisuodattimia olevia laitteita on sen sijaan jonkin verran. Taulukossa 9 ilmanpuhdistimilta vaadittavat ominaisuudet on jaoteltuna sen mukaan, onko niillä vaikutusta puhdistustehokkuuteen vai käyttömukavuuteen.

Puhdistustehokkuuden osalta tulisi ilmanpuhdistinta valittaessa yleisesti selvittää, että laitteen läpi kulkeutuva ilmavirta on riittävän suuri suhteessa puhdistettavan tilan kokoon. Parhaastakaan suodattimen erotuskyvystä ei ole käytännön hyötyä, jos tarpeeksi suurta määrää ilmaa ei saada kulkemaan suodattimen läpi. Laitteen tuottaman puhtaan ilman

määrä on siten avainasemassa. Vertailukohtana voidaan pitää ilmanpuhdistimille allergiatunnuksen saamisen edellytyksenä olevaa 50 m³/h puhtaan ilman tuottoastetta pinta-alaltaan 10 m² suuruudessa huoneessa (Allergia- ja Astmaliitto 2013). Suodatustekniikan osalta tulisi varmistaa, että ilmanpuhdistin kerää hiukkaset vähintään HEPA-luokan suodattimella tai jollakin hiukkasten sähköiseen varaamiseen perustuvalla suodatustekniikalla. Mekaaniseen suodatustekniikkaan perustuvat ilmanpuhdistimet tulisi olla varustettu UV-valolla, joka tappaa suodattimeen kerätyt mikrobit. Tällä estetään suodattimen toimiminen mikrobien kasvualustana. Sähköiseen suodatuksen perustuvilla laitteilla tulee olla automaattinen keräinpintojen pesutoiminto puhdistustehokkuuden ylläpidon kannalta. Aktiivihiilisuodattimen tulee olla kapasiteetiltaan riittävän suuri, koska aktiivihiilen kyky sitoa kaasumaisia epäpuhtauksia heikkenee ajan myötä suhteellisen nopeasti varsinkin suuremmilla epäpuhtauspitoisuuksilla.

Käyttömukavuuden kannalta laitetta hankittaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota laitteen synnyttämään melupäästöön. Ilmanpuhdistin on käytännössä kokonaan käyttökelvoton, jos sen tilaan aiheuttama äänenpainetaso ei ole siedettävällä tasolla pienimmälläkään laitteen käyttökytkimen asennolla. Lisäksi ilmanpuhdistimen toiminnan perusedellytys on, ettei laite tuota ympäristöönsä sisäilman laatua heikentävää otsonia haitallisia määriä. Käyttömukavuutta voi huonontaa myös huonetilaan laitteen käytöstä mahdollisesti syntyvä vedon tunne. Vektoriski voidaan minimoida valitsemalla ilmanpuhdistin, jonka puhallusilmavirta ei suuntaudu suoraan oleskeluvyöhykkeelle. Käytännössä tämä tarkoittaa laitetta, joka puhaltaa ilman suoraan tai lähes suoraan ylöspäin. Jotkin laitteet on mahdollista asentaa kattoon, mikä on vektoriskin kannalta todennäköisesti lattia-asennusta parempi ratkaisu. Ilmanpuhdistimen sähkötehon tulee olla siedettävä, varsinkin jos laitetta käytetään kuumina kesäkuukausina, jolloin laite voi asettaa paineita rakennuksen jäähdystystehon kasvattamiselle. Riittävät puhallinnopeuden säätömahdollisuudet ovat myös käyttömukavuuden kriteerinä, sillä laitteen puhallinnopeutta säätämällä voidaan yleensä merkittävästi vaikuttaa esimerkiksi syntyneeseen melutasoon tai vedon tunteeseen huonetilassa.

Taulukko 9. Ilmanpuhdistimilta yleisesti vaadittavat ominaisuudet eli valintakriteerit puhdistustehokkuuden ja käyttömukavuuden osa-alueilla.

PUHDISTUSTEHOKKUUS	KÄYTTÖMUKAVUUS
<ul style="list-style-type: none"> • Riittävä laitteen läpi kulkeva ilmavirta suhteessa tilan kokoon • Hiukkasten kerääminen HEPA-luokan suodattimella tai sähkösuodatustekniikan avulla • Kerättyjen mikrobien tappaminen mekaanisista suodattimista UV-valolla • Keräinpintojen automaattinen pesutoiminto sähkösuodattimilla • Aktiivihiihisiuodatin riittävällä kapasiteetilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Alhainen melupäästö • Ei merkittävää otsonin tuottoa • Ylöspäin suuntautuva puhallusilmavirta tai mahdollisuus sijoittaa laite siten, ettei huonetilaan synny merkittävää vectoriskiä • Riittävän alhainen sähköteho lämmöntuoton kannalta • Puhallinnopeuden säätömahdollisuudet eri tilanteita varten

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmanpuhdistimien laboratoriotestauksista saatujen tulosten ja niiden analysoinnin perusteella on todettava, että nykyään markkinoilla olevat itsenäiset ja irralliset huonekohtaiset ilmanpuhdistimet soveltuvat pääosin melko heikosti sisäilmaongelmien ratkaisemiseen ongelmakohteessa. Ratkaisevaksi soveltumattomuuden kannalta ei muodostu varsinaisesti laitteiden puhdistustehokkuus vaan käyttömukavuutta heikentävä melupäästö. Yhdenkään testatun laitteen täyttä puhdistustehokkuutta ei voida melupäästön vuoksi käytännössä hyödyntää samanaikaisesti, kun tilassa oleskelee ihmisiä. Yleisesti käytössä olevilla mekaanisilla suodattimilla varustetuilla ilmanpuhdistimilla ei saatujen tulosten perusteella pystytä kierrättämään riittävää ilmamäärää laitteen läpi melupäästön sallimissa rajoissa. Myöskään perinteisen sähkösuodatustekniikan käyttäminen ilmanpuhdistimessa ei aina takaa alhaista melutasoa.

Laboratoriotestauksista saatujen tulosten perusteella Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistin on testatuista laitteista ainoa, jolla voidaan riittävän alhaisella melupäästöllä saavuttaa hiukkassuodatuksessa huonetilan puhdistumisen kannalta tarpeeksi korkea tehollinen ilmavirta riippumatta hiukkaskoosta. Tämän mahdollistaa todennäköisesti Cair-ilmanpuhdistimen alhainen ilmanvastus, joka mahdollistaa suurten ilmamäärien käsittelyn matalalla äänitehotasolla. Laitteessa käytetään hiukkasten sähköiseen varaamiseen perustuvaa patentoitua niin sanottua DEP-tekniikkaa. Sähkösuodatustekniikka ei itsessään takaa laitteelle matalaa äänitehotasoa, sillä esimerkiksi testattavana olleelle täysin sähkösuodatukseen perustuvalla Genano 450 –ilmanpuhdistimelle mitattiin korkea melupäästö. Cair-ilmanpuhdistin osoittautui testeissä sähkötehonsa perusteella kaikkein energiatehokkaimmaksi, ja kun huomioidaan laitteen kattoon asentamisen mahdollisuus sekä sen vetoriskiä pienentävä vaikutus, on Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistin selvästi paras valinta hiukkasmaisista epäpuhtauksista kärsivään sisäilmaongelmaiseen kohteeseen. Näin ollen voidaan myös todeta, että DEP-tekniikka on testien perusteella paras testatuissa ilmanpuhdistimissa käytetty hiukkassuodatusmenetelmä.

Testattujen ilmanpuhdistimien joukosta ei löytynyt laitetta, jolla voitaisiin erityisen hyvällä tehokkuudella puhdistaa huonetilaa kaasumaisista epäpuhtauksista ja säilyttää samalla

henkilöiden oleskelumukavuus. Laitteiden tilaan synnyttämä korkea äänenpainetaso tekee kaasunsuodatuskyvyn hyödyntämisen käytännössä mahdottomaksi esimerkiksi koululuokassa. IQAir GCX-VOC ja Lifa 3G EX 300 UV –ilmanpuhdistimet soveltuvat hyvin käytettäväksi kaasumaisten epäpuhtauksien suodatuksen tiloissa silloin, kun niissä ei oleskele ihmisiä, jolloin aiheutuneesta melupäästöstä ei tarvitse välittää. Lähtökohtaisesti ilmanpuhdistimia tulisi kuitenkin pystyä käyttämään samanaikaisesti, kun tilassa oleskelee ihmisiä, jotta laitteiden puhdistuskyky ja oireita lievittävä vaikutus saadaan hyödynnettyä parhaalla mahdollisella tavalla. Ainoastaan kaasumaisista epäpuhtauksista kärsivään ongelmakohteeseen käytettäväksi soveltuu testatuista laitteista parhaiten IQAir GCX-VOC, jota voidaan todennäköisesti käyttää pienimmällä käyttökytkimen asennolla ilman häiriöitä käyttömukavuudessa. Laitteella on kyky saavuttaa korkea puhdistustehokkuus suuremmilla puhallinnopeuksilla, mikä on hyödynnettävissä esimerkiksi koulun luokahuoneessa välituntien aikaan. Myös aktiivihiilisuodattimella varustettua Cair DEP 900 Q2 –ilmanpuhdistinta voidaan käyttää kohteessa kaasumaisten epäpuhtauksien poistoon, mutta kyseisen laitteen kaasunsuodatuskyky on melko rajallinen eikä se juuri nouse puhallinnopeutta kasvattamalla.

Yleisellä tasolla voidaan todeta, että mikäli rakennuksen sisäilmaongelman aiheuttaja ei ole tarkasti tiedossa tai se on sekä hiukkasmaisten että kaasumaisten epäpuhtautekijöiden summa, on varmin ratkaisu hankkia huonetilaan kattoon asennettuna energiatehokasta DEP-tekniikkaa käyttävä Cair-ilmanpuhdistin aktiivihiilisuodattimella lisävarustettuna. Näin taataan tehokas hiukkasmaisten epäpuhtauksien poisto ja kohtalainen kaasumaisten epäpuhtauksien poisto huonetilasta säilyttämällä tilan käyttömukavuus. Äänenpainelaskelmien perusteella Cair-ilmanpuhdistimia voi todennäköisesti asentaa esimerkiksi luokahuoneeseen kaksikin kappaletta käytettäväksi samanaikaisesti pienemmällä säätöasennolla ilman että keskiäänitason ohjeellinen arvo ylittyy.

Ilmanpuhdistimien valmistajien tulisi tulevaisuudessa suunnata käytettävissä olevia resurssejaan erityisesti tuotekehitystyöhön, jolla pyritään laitteiden äänitehotason laskemiseen. Laitteiden käyttömukavuuteen yleisestikin tulee suunnittelussa kiinnittää

runsaasti huomiota. Ei ole mielekästä poistaa sisäilmaongelmaa ilmanpuhdistimella, joka samalla luo tilalle uuden ongelman melun tai vedon tunteen muodossa.

Viime kädessä ilmanpuhdistimen synnyttämän meluhaitan, kuten muidenkin käyttömukavuutta heikentävien tekijöiden, vakavuus tulee arvioida tapauskohtaisesti esimerkiksi käyttäjäkyselyin ja erityisesti suhteuttaa se kohteessa vallitsevan sisäilmaongelman vakavuuteen. Ilmanpuhdistimen soveltuvuus sekä kokonaisvaltainen hyödyllisyys tulee siten arvioida jokaisen käyttökohteen tilanteen mukaan pohtimalla esimerkiksi sitä, onko melusta aiheutuva haitta suurempi kuin huonetilan sisäilman epäpuhtauksista tilassa oleskeleville henkilöille aiheutuva haitta. Jos sisäilmaongelma kohteessa on erityisen vakava eikä tilan käyttöä voida välttää, voi olla perusteltua, että käyttäjät yrittävät sietää ilmanpuhdistimesta aiheutuvaa häiritsevää melua jossain määrin. Ideaalitulanteessa kompromisseja käyttömukavuuden suhteen ei kuitenkaan jouduta tekemään, vaan tavoitteeksi tulee asettaa, että huonetilassa vallitsee miellyttävä ja häiriötön oleskeluympäristö ilmanpuhdistimen asentamisen jälkeen.

8 YHTEENVETO

Diplomityössä selvitettiin yleisimpiä rakennusten sisäilmassa esiintyviä epäpuhtauksia ja nykyisin markkinoilla olevissa irrallisissa ja itsenäisesti toimivissa huonekohtaisissa ilmanpuhdistimissa käytettäviä suodatustekniikoita. Diplomityöhön kuului ilmanpuhdistimien laboratoriotestauksia varten sopivien testaussuureiden ja -menetelmien määrittäminen sekä testaushankkeen suunnittelu ja aikatauluttaminen yhteistyössä testausten varsinaisen toteuttajan kanssa. Lisäksi kartoitettiin markkinoilla olevat ilmanpuhdistimet mahdollisimman laajasti ja tiedusteltiin laitevalmistajilta sekä maahantuojilta kiinnostusta luovuttaa laite testattavaksi diplomityön puitteissa.

Markkinoilta valittiin viisi eri ilmanpuhdistinta, joiden ominaisuuksia testattiin monipuolisesti VTT:n laboratoriossa Tampereella sekä VTT Expert Services Oy:n laboratoriossa Espoossa. Valittujen ilmanpuhdistimien tärkeimmät ominaisuudet esiteltiin. Työssä kuvailtiin myös laboratoriotesteissä käytetyt testausmenetelmät ja -laitteistot. Laboratoriotesteistä saatuja tuloksia tarkasteltiin ja tulosten perusteella testatut laitteet arvosteltiin pisteyttämällä ne eri osa-alueittain. Lopuksi tarkasteltiin testeissä havaittujen ilmanpuhdistimien ominaisuuksien merkitystä laitteiden käyttömukavuuden kannalta sekä luotiin valintakriteerit ilmanpuhdistimien sisäilmaongelmaiseen kohteeseen valintaa varten.

Diplomityö tehtiin Helsingin kaupungin kiinteistöviraston Tilakeskuksessa vastaamaan tarpeeseen selvittää ilmanpuhdistimien kykyä ratkaista sisäilmaongelmia erityisesti kouluympäristössä. Laboratoriotesteistä saatujen tulosten perusteella nykyisenlaiset huonekohtaiset ilmanpuhdistimet soveltuvat yleisesti ottaen melko heikosti sisäilmaongelmien ratkaisemiseen. Tähän syynä on pääosin laitteiden lähes poikkeuksetta synnyttämä suuri melupäästö. Laitetestauksissa havaittiin myös, että monella ilmanpuhdistimella on taipumus synnyttää huonetilan oleskelualueelle vectoriskin mahdollisuus.

Diplomityössä tultiin siihen lopputulokseen, että ruotsalainen ilmanpuhdistinvalmistaja Cair AB on onnistunut kehittämään laitteen, jolla on mahdollista suodattaa huonetilan

ilmasta hiukkasia tehokkaasti ja säilyttää samalla käyttöympäristön olosuhteet ihmisille viihtyisinä. Laite käyttää hiukkasten sähköiseen varaamiseen perustuvaa patentoitua DEP-tekniikkaa, jolla on eroavaisuuksia verrattuna muihin markkinoilla käytettyihin sähkösuodatustekniikoihin.

LÄHTEET

Allergia- ja Astmaliitto. 2013. Allergiatunnusten kriteerit. [verkkajulkaisu]. [viitattu 20.7.2013]. Saatavissa: <http://www.allergia.fi/allergiatunnus/kriteerit/>

Cair AB. 2013. Käyttö- ja asennusohje – Cair ilmanpuhdistin DEP 900 Q1.

Camfil Farr. 2012. Clean room design standards & energy optimization. [verkkajulkaisu]. [viitattu 10.3.2013]. Saatavissa: <http://www.camfil.co.uk/Global/Documents/US/Literature%20Library/CREO.pdf>

Duodecim. 2013. Terveyskirjasto – Luotettavaa tietoa terveydestä. [verkkajulkaisu]. [viitattu 21.5.2013]. Saatavissa: http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=ltt00996

Eurovent. 2012. Recommendation concerning classification of air filters. [verkkajulkaisu]. [viitattu 3.4.2013]. Saatavissa: <http://www.dinair.se/wp-content/uploads/2012/05/2012-05-REC20-Classification-of-Air-Filters.pdf>

Genano Oy. 2013. Genano kilpailukyky –kalvosarja. [Ei julkinen]

Hannola Tero. 2007. Aktiivihiilessä etenevän adsorptiorintaman etenemisen mittaaminen puolijohdekaasuantureiden avulla. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Sähkötekniikan osasto. Lappeenranta. 65 s.

Hengitysliitto. 2013. Selvitys kotitalouksiin suunnitelluista sisäilmaa parantavista laitteista. [verkkajulkaisu]. [viitattu 14.2.2013]. Saatavissa: http://www.hengitysliitto.fi/content/Julkaisut_materiaalit/Sisailma_ja_korjausoppaat/sisailmaan_vaikuttavat_laitteet.pdf

Hongisto Valtteri. 2012. Meluntorjunta. Oppikirja kurssille S89.3471 Meluntorjunta. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu, Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos. 221 s.

IQAir. 2012. GCX Series. Tuote-esite. [Ei julkinen].

Jakober, C., Phillips, M.S. & Research Division. 2008. Evaluation of Ozone Emissions From Portable Indoor Air Cleaners: Electrostatic Precipitators and Ionizers. Staff Technical Report. California Environmental Protection Agency.

Järnström Helena. 2005. Muovimattopinnoitteen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa. VTT publications 571. VTT rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Helsinki. Valopaino Oy. 76 s. ISBN 951-38-6651-3.

Lifa Air Oy Ltd. 2006. 3G Solutions for Superior Filtration. [Ei julkinen].

Mero Jukka, Tikkanen Timo. 2011. Sterimat ilmanpuhdistimen UV-C säteilykammion vaikutus mikrobien tuhoamiseen huoneilmasta. Itä-Suomen yliopisto, koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate. Kuopio. Kopijyvä Oy. ISBN 978-952-61-0336-5. [verkkodokumentti]. [viitattu 16.5.2013]. Saatavissa: http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0336-5/urn_isbn_978-952-61-0336-5.pdf

Paroc Oy. 2013. Yleistä äänestä. [verkkojulkaisu]. [viitattu 12.7.2013]. Saatavissa: <http://www.paroc.fi/knowhow/aani/yleista-aanesta>

Railio Jorma. 2007. Kemiällisen suodattimen valinta. [verkkojulkaisu]. [viitattu 11.5.2013]. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/ilmastointi/teollisuusilmastointi/hyvät_kaytannot/Documents/kemiällisen_suodattimen_valinta.pdf

RydAir. 2013. [verkkojulkaisu]. [viitattu 7.3.2013]. Saatavissa: <http://www.rydair.com/industrial-electrostatic-air-cleaner.html>

Salkinoja-Salonen Mirja. 2008. Hometaloissa hengitetään myrkyllistä ilmaa. Kemia-Kemilehti. [verkkojulkaisu]. [viitattu 6.4.2013]. Saatavissa: http://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2013/03/kem608_home.pdf

Salkinoja-Salonen Mirja. 2009. Mikrobitoksiinit sisätiloissa. Sisäilmastoseminaari 18.3.2009 Dipoli, Espoo. Helsingin yliopisto. [verkkojulkaisu]. [viitattu 7.4.2013]. Saatavissa:

http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/sem2009/mikrobitoksiinit_sisatiloissa.pdf

Sisäilmayhdistys. 2008a. Katsaus mikrobeihin. [verkkojulkaisu]. [viitattu 10.4.2013]. Saatavissa:

http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/mikrobit/katsaus_mikrobeihin/

Sisäilmayhdistys 2008b. Mikrobikasvun edellytykset. [verkkojulkaisu]. [viitattu 27.4.2013]. Saatavissa:

http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/mikrobit/mikrobikasvun_edellytykset/

Sonesta Oy. 2013. Plymovent Visionair 1-ilmanpuhdistin. [verkkojulkaisu]. [viitattu 6.3.2013]. Saatavissa: <http://www.sonesta.fi/plymovent-visionair-1-ilmanpuhdistin/>

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. Helsinki. AT-Julkaisutoimisto Oy. 88 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 8.6.2013]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf

Spengler, J., Samet, J. & McCarthy, J. 2000. Indoor Air Quality Handbook. New York. McGraw-Hill. ISBN 0-07-445549-4.

Tekes. 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Tuloksia ja päätelmiä teknologiaohjelmasta FINE Pienhiukkaset – Teknologia, ympäristö ja terveys. Helsinki. Libris Oy. 34 s. ISBN 952-457-250-8. [verkkojulkaisu]. [viitattu 11.3.2013]

Saatavissa: www.tekes.fi/fi/document/43111/fine_pienhiukkaset_pdf

Trox Technik. 2010. Air filter test method for testing high efficiency particulate filters. [verkkajulkaisu]. [viitattu 9.3.2013]. Saatavissa: http://www.trox.nl/xpool/download/en/technical_documents/filters/leaflets/p_2_1_en1822.pdf

Työterveyslaitos. 2010. [verkkajulkaisu]. [viitattu 9.6.2013]. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhtaudet/otsoni/Sivut/default.aspx

Työterveyslaitos. 2013. [verkkajulkaisu]. [viitattu 16.6.2013]. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/lampoolot/lampoviihtyisat_olot/sivut/default.aspx

VTT. 2013. Ilmanpuhdistimien ominaisuuksien mittaukset. Asiakasraportti. [Ei julkinen].

Ympäristöministeriö. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma C1. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Asunto- ja rakennusosasto. [verkkajulkaisu]. [viitattu 18.7.2013]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1917-c1.pdf>

Ympäristöministeriö. 2008. Ilmanvaihdon ulkoilmaventtiilien tyyppihyväksyntä. Ohjeet 2008. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 13 s. [verkkajulkaisu]. [viitattu 25.7.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BCD760302-CCA6-4EEA-81BA-DDA6829E9D8B%7D/56720>

Ympäristöministeriö. 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 74 s.

Liite I

Laskenta

Ilmanpuhdistimien tilaan synnyttämän äänenpainetason laskemiseen käytetään yhtälöä

$$L_p = L_W + 10 \lg \left(\frac{4}{A} \right), \quad (1)$$

missä L_p on äänenpainetaso [dB], L_W on äänilähteen äänitehotaso [dB] ja A huoneen absorptioala [m^2]. Laskuissa otetaan huomioon A-painotus käyttämällä laitteiden A-äänitehotasojen arvoja L_{WA} [dB(A)], joten tuloksena saadaan tilaan syntynyt A-painotettu äänenpainetaso eli A-äänitaso.

Huoneen jälkikaiunta-aika määritetään yhtälöllä

$$T = 0,16 \frac{V}{A}, \quad (2)$$

missä T on jälkikaiunta-aika [s], V on huoneen tilavuus [m^3] ja A kokonaisabsorptioala [m^2].

Määritetään kaavan 2 avulla tavallisen luokkahuoneen (6 m x 10 m x 3 m) kokonaisabsorptioala jälkikaiunta-ajalla 0,75 s

$$V = (6 \text{ m} * 10 \text{ m} * 3 \text{ m}) = 180 \text{ m}^3$$

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \Rightarrow A = \frac{0,16V}{T} = \frac{0,16 * 180 \text{ m}^3}{0,75 \text{ s}} = 38,4 \text{ m}^2$$

Kun A-painotus otetaan huomioon, on esimerkiksi IQAir GCX-VOC –ilmanpuhdistimen pienimmällä käyttökytkimen asennolla luokkahuoneeseen synnyttämä A-äänitaso

$$L_{pA} = L_{WA} + 10 \lg \left(\frac{4}{A} \right) = 33,7 \text{ dB}(A) + 10 \lg \left(\frac{4}{38,4 \text{ m}^2} \right) \approx 23,9 \text{ dB}(A)$$

Muilla käyttökytkimien asennoilla ja laitteilla A-äänitasot lasketaan samoin. Luokkahuoneen vaikutus testeissä saatuihin A-äänitehotasoihin L_{WA} on siten kaavan 1 mukaisesti

$$10 \lg \left(\frac{4}{A} \right) = 10 \lg \left(\frac{4}{38,4 \text{ m}^2} \right) \approx -9,8 \text{ dB} \quad (3)$$

Kahden Cair DEP 900 Q2 -ilmanpuhdistimen yhteisvaikutuksesta pienimmällä käyttökytkimen asennolla syntyvä A-äänitaso koululuokkaan on suuruudeltaan

$$L_{pA,tot} = 26,6 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 29,6 \text{ dB}(A)$$

Lisätynä äänitasoltaan samansuuruisella ilmastoinnilla olisi yhteisvaikutuksesta tilaan syntynyt A-äänitaso suuruudeltaan

$$L_{pA,tot} + 3 \text{ dB} = 29,6 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 32,6 \text{ dB}(A)$$

Liite II

ILMANPUHDISTIMIEN LABORATORIOTESTAUSTEN TULOKSET

Ilmanpuhdistimien teholliset ilmavirrat hiukkassuodatuksessa

Malli, säätöasento	Hiukkaskoko, μm				
	0.13	0.29	0.5 – 1.0	1.0 – 3.0	3.0 – 5.0
IQAir GCX VOC, asento 1	24	22	18	19	23
asento 3	66	66	64	65	76
asento 6	152	154	144	145	145
Lifa 3 GEX 300 UV, asento 1	55	56	56	55	57
asento 5	67	67	65	64	67
asento 10	76	76	69	70	77
Genano 450, asento 1	52	52	49	50	54
asento 2	66	67	65	66	68
asento 3	79	83	77	78	74
Plymovent VisionAir ¹ , asento 1	Puuttuu	33 (0.3 - 0.5 μm)	31	32	35
asento 2	52	56	52	55	54
asento 4	100	110	116	119	124
Cair DEP900 Q2, asento 1	71	78	67	69	66
asento 2	148	142	126	129	129

Ilmanpuhdistimien teholliset ilmavirrat kaasusuodatuksessa

Malli, säätöasento	Tehollinen ilmavirta, dm ³ /s
IQAir GCX VOC, asento 1	20
asento 3	58
asento 6	154
Lifa 3 GEX 300 UV, asento 1	50
asento 5	63
asento 10	80
Genano 450, asento 1	19
asento 2	20
asento 3	18
Plymovent VisionAir ¹ , asento 1	2
asento 2	1
asento 4	0
Cair DEP900 Q2, asento 1	24
asento 2	28

Ilmanpuhdistimien sähkötehot

Malli, säätöasento	Sähköteho, W
IQAir GCX VOC, asento 1	19.8
asento 3	54.5
asento 4	74.8
asento 6	154.5
Lifa 3 GEX 300 UV, asento 1	43.6
asento 5	55.9
asento 6	59.5
asento 10	66.7
Genano 450, asento 1	60.4
asento 2	71.8
asento 3	115
Plymovent VisionAir ¹ , asento 1	45.2
asento 2	59.2
asento 3	75.7
asento 4	111
Cair DEP900 Q2, asento 1	15.4
asento 2	35.4

Ilmanpuhdistimien melupäästöt

Genano 450

Äänitekniset ominaisuudet ISO 3741:2010

Suure	Yksikkö	Säätöasento		
		3/3	2/3	1/3
L _{W50}	dB	46,2	44,0	40,8
L _{W63}	dB	50,1	48,0	46,8
L _{W80}	dB	59,9	58,9	53,4
L _{W100}	dB	65,5	63,3	56,7
L _{W125}	dB	60,3	55,2	50,0
L _{W160}	dB	55,3	49,9	46,0
L _{W200}	dB	59,4	54,2	48,4
L _{W250}	dB	62,6	56,9	51,2
L _{W315}	dB	60,3	55,6	50,6
L _{W400}	dB	57,2	52,7	47,7
L _{W500}	dB	54,6	50,3	45,4
L _{W630}	dB	52,8	48,3	43,4
L _{W800}	dB	49,7	45,4	42,2
L _{W1000}	dB	49,2	44,7	38,8
L _{W1250}	dB	48,0	43,1	36,7
L _{W1600}	dB	47,6	42,6	36,2
L _{W2000}	dB	46,9	41,3	34,4
L _{W2500}	dB	45,3	39,5	32,0
L _{W3150}	dB	43,5	37,5	29,3
L _{W4000}	dB	40,6	34,1	25,1
L _{W5000}	dB	37,1	29,9	*20,9
L _{W6300}	dB	33,2	25,2	*18,8
L _{W8000}	dB	28,4	*21,1	*18,2
L _{W10000}	dB	*22,8	*19,6	*18,9
L _W	dB	70,5	67,0	61,3
L _{WA}	dB(A)	61,9	57,1	51,8

*) Standardin ISO 3741:2010 mukainen taustameluvaatimus ei täyty. Tulos edustaa ylärajaa testattavan äänilähteen äänitehotasolle.

Suureet ja yksiköt

L _{W50...10000}	Laitteen terssiäänitehotaso, dB
L _W	Laitteen äänitehotaso, dB
L _{WA}	Laitteen A-äänitehotaso, dB(A)

Äänitekniset ominaisuudet ISO 3741:2010

Suure	Yksikkö	Säätöasento		
		3/3	2/3	1/3
L _{W63}	dB	60,5	59,3	54,5
L _{W125}	dB	67,0	64,1	57,8
L _{W250}	dB	65,7	60,5	55,0
L _{W500}	dB	60,0	55,6	50,6
L _{W1000}	dB	53,8	49,3	44,6
L _{W2000}	dB	51,5	46,1	39,3
L _{W4000}	dB	45,9	39,7	31,1
L _{W8000}	dB	34,7	*27,4	*23,4
L _W	dB	70,5	67,0	61,3
L _{WA}	dB(A)	61,9	57,1	51,8

*) Standardin ISO 3741:2010 mukainen taustameluvaatimus ei täyty. Tulos edustaa ylärajaa testattavan äänilähteen äänitehotasolle.

Suureet ja yksiköt

L _{W63...8000}	Laitteen oktaaviäänitehotaso, dB
L _W	Laitteen äänitehotaso, dB
L _{WA}	Laitteen A-äänitehotaso, dB(A)

IQAir GCX-VOC

Äänitekniset ominaisuudet ISO 3741:2010

		Säätöasento			
Suure	Yksikkö	6/6	4/6	3/6	1/6
L _{W50}	dB	40,7	33,7	*31,0	*27,2
L _{W63}	dB	50,2	44,2	36,1	26,7
L _{W80}	dB	53,2	45,7	40,7	35,3
L _{W100}	dB	61,3	50,5	50,8	40,4
L _{W125}	dB	64,9	55,4	48,8	35,5
L _{W160}	dB	64,2	53,5	48,6	35,3
L _{W200}	dB	63,2	53,7	47,9	35,0
L _{W250}	dB	61,4	50,8	45,6	32,5
L _{W315}	dB	62,9	50,7	46,0	32,3
L _{W400}	dB	58,9	47,1	42,1	26,1
L _{W500}	dB	56,4	44,6	40,6	26,9
L _{W630}	dB	58,3	46,7	42,3	25,5
L _{W800}	dB	55,5	45,1	39,3	23,3
L _{W1000}	dB	56,1	47,8	39,8	16,3
L _{W1250}	dB	57,3	45,2	37,2	*16
L _{W1600}	dB	59,8	42,0	34,1	*13,1
L _{W2000}	dB	54,7	37,0	29,0	*9,0
L _{W2500}	dB	51,3	33,9	25,3	*9,8
L _{W3150}	dB	45,9	28,3	*19,4	*10,9
L _{W4000}	dB	43,5	25,4	*17,2	*12,4
L _{W5000}	dB	38,5	*19,8	*15,3	*14,0
L _{W6300}	dB	34,0	*17,1	*15,9	*15,7
L _{W8000}	dB	28,9	*16,9	*16,6	*16,6
L _{W10000}	dB	*21,6	*17,8	*17,7	*17,7
L _W	dB	72,4	61,8	57,0	44,9
L _{WA}	dB(A)	67,1	54,8	48,7	*33,7

*) Standardin ISO 3741:2010 mukainen taustameluvaatimus ei täyty. Tulos edustaa ylärajaa testattavan äänilähteen äänitehotasolle.

Suureet ja yksiköt

L _{W50...10000}	Laitteen terssiäänitehotaso, dB
L _W	Laitteen äänitehotaso, dB
L _{WA}	Laitteen A-äänitehotaso, dB(A)

Äänitekniset ominaisuudet ISO 3741:2010

		Säätöasento			
Suure	Yksikkö	6/6	4/6	3/6	1/6
L _{W63}	dB	55,1	48,2	42,3	*36,4
L _{W125}	dB	68,5	58,3	54,3	42,5
L _{W250}	dB	67,3	56,7	51,4	38,2
L _{W500}	dB	62,8	51,0	46,5	31,0
L _{W1000}	dB	61,1	51,0	43,7	*24,8
L _{W2000}	dB	61,4	43,7	35,7	*15,8
L _{W4000}	dB	48,3	30,5	*22,4	*17,4
L _{W8000}	dB	35,3	*22,0	*21,6	*21,5
L _W	dB	72,4	61,8	57,0	44,9
L _{WA}	dB(A)	67,1	54,8	48,7	*33,7

*) Standardin ISO 3741:2010 mukainen taustameluvaatimus ei täyty.

Tulos edustaa ylärajaa testattavan äänilähteen äänitehotasolle.

Suureet ja yksiköt

L _{W63...8000}	Laitteen oktaaviäänitehotaso, dB
L _W	Laitteen äänitehotaso, dB
L _{WA}	Laitteen A-äänitehotaso, dB(A)

Lifa 3G EX 300 UV

Äänitekniset ominaisuudet ISO 3741:2010

Suure	Yksikkö	Säätöasento			
		10/10	6/10	5/10	1/10
L _{W50}	dB	48,0	47,4	46,2	42,9
L _{W63}	dB	56,8	55,2	55,8	49,8
L _{W80}	dB	60,5	58,5	57,9	54,3
L _{W100}	dB	60,1	60,6	61,4	59,4
L _{W125}	dB	61,6	62,3	63,7	56,4
L _{W160}	dB	70,3	67,2	63,1	56,4
L _{W200}	dB	62,6	61,7	61,0	60,6
L _{W250}	dB	66,3	66,7	64,4	53,3
L _{W315}	dB	61,3	56,0	54,2	51,9
L _{W400}	dB	50,8	48,3	47,3	44,0
L _{W500}	dB	46,4	44,7	42,5	36,0
L _{W630}	dB	44,8	42,4	41,2	36,7
L _{W800}	dB	43,1	41,2	40,1	35,7
L _{W1000}	dB	42,9	40,9	39,6	34,4
L _{W1250}	dB	40,9	38,6	37,4	32,6
L _{W1600}	dB	34,3	32,4	31,2	26,7
L _{W2000}	dB	31,9	30,2	29,3	24,2
L _{W2500}	dB	32,3	30,4	29,1	21,7
L _{W3150}	dB	24,7	21,9	*20,3	*14,8
L _{W4000}	dB	*18,9	*16,7	*15,7	*13,6
L _{W5000}	dB	*16,9	*15,8	*15,4	*14,8
L _{W6300}	dB	*17,9	*17,6	*17,6	*17,3
L _{W8000}	dB	*17,1	*17,0	*17,0	*16,9
L _{W10000}	dB	*18,8	*18,8	*18,8	*18,7
L _W	dB	73,5	72,0	70,5	65,7
L _{WA}	dB(A)	62,3	60,9	58,9	53,5

*) Standardin ISO 3741:2010 mukainen taustameluvaatimus ei täyty.
Tulos edustaa ylärajaa testattavan äänilähteen äänitehotasolle.

Suureet ja yksiköt

L _{W50...10000}	Laitteen terssiäänitehotaso, dB
L _W	Laitteen äänitehotaso, dB
L _{WA}	Laitteen A-äänitehotaso, dB(A)

Äänitekniset ominaisuudet ISO 3741:2010

Suure	Yksikkö	Säätöasento			
		10/10	6/10	5/10	1/10
L _{W63}	dB	62,2	60,4	60,1	55,9
L _{W125}	dB	71,2	69,1	67,6	62,4
L _{W250}	dB	68,7	68,2	66,3	61,8
L _{W500}	dB	52,9	50,6	49,3	45,3
L _{W1000}	dB	47,2	45,1	44,0	39,2
L _{W2000}	dB	37,7	35,9	34,7	29,5
L _{W4000}	dB	*26,3	*23,8	*22,5	*19,2
L _{W8000}	dB	*22,8	*22,6	*22,6	*22,5
L _W	dB	73,5	72,0	70,5	65,7
L _{WA}	dB(A)	62,3	60,9	58,9	53,5

*) Standardin ISO 3741:2010 mukainen taustameluvaatimus ei täyty.
Tulos edustaa ylärajaa testattavan äänilähteen äänitehotasolle.

Suureet ja yksiköt

L _{W63...8000}	Laitteen oktaaviäänitehotaso, dB
L _W	Laitteen äänitehotaso, dB
L _{WA}	Laitteen A-äänitehotaso, dB(A)

Plymovent VisionAir¹

Äänitekniset ominaisuudet ISO 3741:2010

Säätöasento					
Suure	Yksikkö	4/4	3/4	2/4	1/4
L _{W50}	dB	47,4	44,4	37,0	34,3
L _{W63}	dB	42,8	39,8	35,4	33,7
L _{W80}	dB	45,8	42,4	37,7	33,0
L _{W100}	dB	50,2	45,6	41,7	30,7
L _{W125}	dB	53,6	51,0	42,8	30,9
L _{W160}	dB	58,2	53,5	41,6	33,3
L _{W200}	dB	63,0	56,4	47,3	40,6
L _{W250}	dB	61,8	55,9	48,5	42,1
L _{W315}	dB	63,0	59,0	51,1	41,9
L _{W400}	dB	64,7	60,6	52,4	42,5
L _{W500}	dB	61,8	57,7	49,1	37,9
L _{W630}	dB	60,4	56,1	47,0	36,7
L _{W800}	dB	60,7	56,2	46,7	38,4
L _{W1000}	dB	58,9	54,0	42,3	27,6
L _{W1250}	dB	56,8	51,5	38,9	24,3
L _{W1600}	dB	55,2	49,8	36,2	19,5
L _{W2000}	dB	53,3	47,1	32,7	*16,0
L _{W2500}	dB	49,8	43,2	29,3	*14,4
L _{W3150}	dB	46,0	39,4	24,9	*12,5
L _{W4000}	dB	42,4	35,7	*20,8	*13,1
L _{W5000}	dB	38,4	31,4	*17,8	*14,7
L _{W6300}	dB	33,6	26,0	*17,2	*16,5
L _{W8000}	dB	28,3	*21,3	*17,3	*17,1
L _{W10000}	dB	*24,2	*20,1	*18,4	*18,4
L _W	dB	71,9	67,2	58,5	49,6
L _{WA}	dB(A)	68,1	63,4	53,9	44,1

*) Standardin ISO 3741:2010 mukainen taustameluvaatimus ei täyty. Tulos edustaa ylärajaa testattavan äänilähteen äänitehotasolle.

Suureet ja yksiköt

L _{W50...10000}	Laitteen terssiäänitehotaso, dB
L _W	Laitteen äänitehotaso, dB
L _{WA}	Laitteen A-äänitehotaso, dB(A)

Äänitekniset ominaisuudet ISO 3741:2010

Säätöasento					
Suure	Yksikkö	4/4	3/4	2/4	1/4
L _{W63}	dB	50,5	47,3	41,6	38,5
L _{W125}	dB	60,0	55,9	46,9	36,6
L _{W250}	dB	67,4	62,1	54,0	46,3
L _{W500}	dB	67,5	63,3	54,9	44,6
L _{W1000}	dB	63,9	59,1	48,5	38,9
L _{W2000}	dB	58,0	52,3	38,4	*21,9
L _{W4000}	dB	48,0	41,4	*26,9	*18,3
L _{W8000}	dB	35,1	*28,0	*22,4	*22,2
L _W	dB	71,9	67,2	58,5	49,6
L _{WA}	dB(A)	68,1	63,4	53,9	44,1

*) Standardin ISO 3741:2010 mukainen taustameluvaatimus ei täyty. Tulos edustaa ylärajaa testattavan äänilähteen äänitehotasolle.

Suureet ja yksiköt

L _{W63...8000}	Laitteen oktaaviäänitehotaso, dB
L _W	Laitteen äänitehotaso, dB
L _{WA}	Laitteen A-äänitehotaso, dB(A)

Cair DEP 900 Q2

Äänitekniset ominaisuudet ISO 3741:2010

Säätöasento			
Suure	Yksikkö	2	1
L _{W50}	dB	46,5	34,0
L _{W63}	dB	47,6	31,5
L _{W80}	dB	46,8	35,1
L _{W100}	dB	45,5	35,6
L _{W125}	dB	46,7	36,8
L _{W160}	dB	44,0	31,7
L _{W200}	dB	47,1	31,0
L _{W250}	dB	46,8	33,8
L _{W315}	dB	47,9	33,2
L _{W400}	dB	47,6	33,9
L _{W500}	dB	46,4	32,2
L _{W630}	dB	44,3	28,8
L _{W800}	dB	45,2	27,2
L _{W1000}	dB	44,9	23,5
L _{W1250}	dB	43,2	18,1
L _{W1600}	dB	41,2	*15,7
L _{W2000}	dB	39,3	*16,5
L _{W2500}	dB	36,6	*14,1
L _{W3150}	dB	34,3	*13,9
L _{W4000}	dB	31,6	*14,7
L _{W5000}	dB	27,8	*15,7
L _{W6300}	dB	24,6	*17,2
L _{W8000}	dB	*21,3	*17,8
L _{W10000}	dB	*20,9	*18,6
L _W	dB	58,2	44,6
L _{WA}	dB(A)	53,2	36,4

*) Standardin ISO 3741:2010 mukainen taustameluvaatimus ei täyty.
Tulos edustaa ylärajaa testattavan äänilähteen äänitehotasolle.

Suureet ja yksiköt

L _{W50...10000}	Laitteen terssiäänitehotaso, dB
L _W	Laitteen äänitehotaso, dB
L _{WA}	Laitteen A-äänitehotaso, dB(A)

Äänitekniset ominaisuudet ISO 3741:2010

Säätöasento			
Suure	Yksikkö	2	1
L _{W63}	dB	51,8	38,6
L _{W125}	dB	50,3	40,0
L _{W250}	dB	52,1	37,6
L _{W500}	dB	51,1	36,9
L _{W1000}	dB	49,3	29,1
L _{W2000}	dB	44,2	*20,3
L _{W4000}	dB	36,7	*19,6
L _{W8000}	dB	*27,3	*22,7
L _W	dB	58,2	44,6
L _{WA}	dB(A)	53,2	36,4

*) Standardin ISO 3741:2010 mukainen taustameluvaatimus ei täyty.
Tulos edustaa ylärajaa testattavan äänilähteen äänitehotasolle.

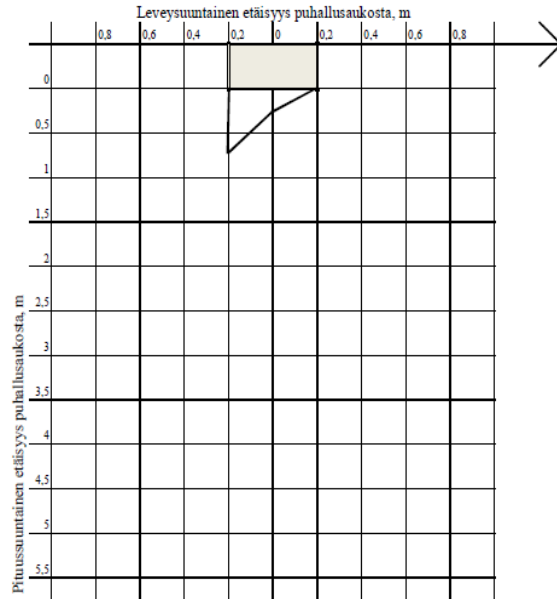
Suureet ja yksiköt

L _{W63...8000}	Laitteen oktaaviäänitehotaso, dB
L _W	Laitteen äänitehotaso, dB
L _{WA}	Laitteen A-äänitehotaso, dB(A)

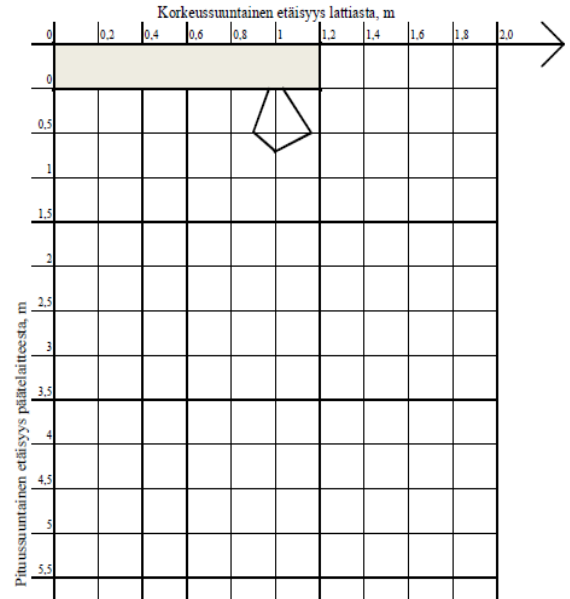
Ilmanpuhdistimien puhallusilman hajotuskuviot

IQAir GCX-VOC

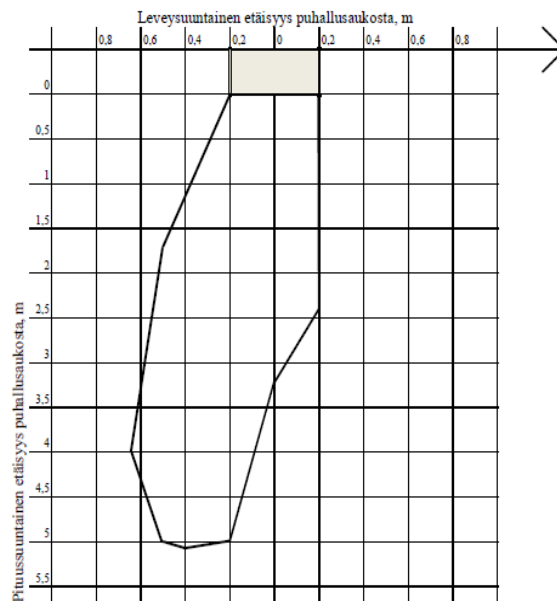
Hajotuskuvio 0,2 m/s vaakatasossa yhteen päävirtaussuuntaan
NI CONS 009
Säätöasento: 1/6
Puhallusilman lämpötila 21,4 °C
Ympäristön ilman lämpötila 20,6 °C



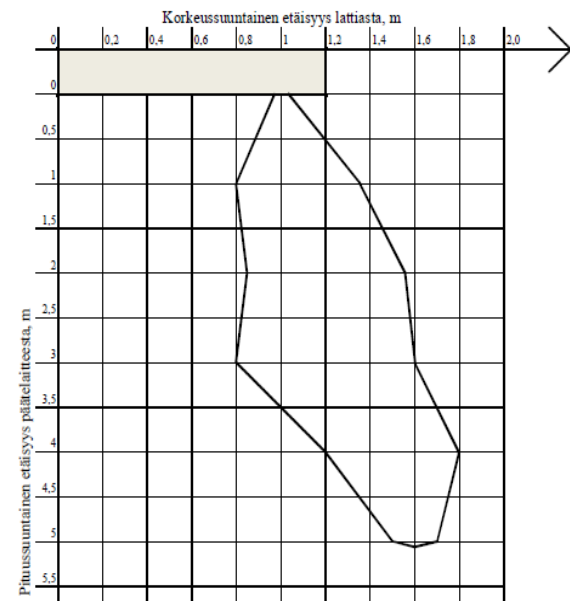
Hajotuskuvio 0,2 m/s pystytasossa yhteen päävirtaussuuntaan
NI CONS 009
Säätöasento: 1/6
Puhallusilman lämpötila 21,4 °C
Ympäristön ilman lämpötila 20,6 °C



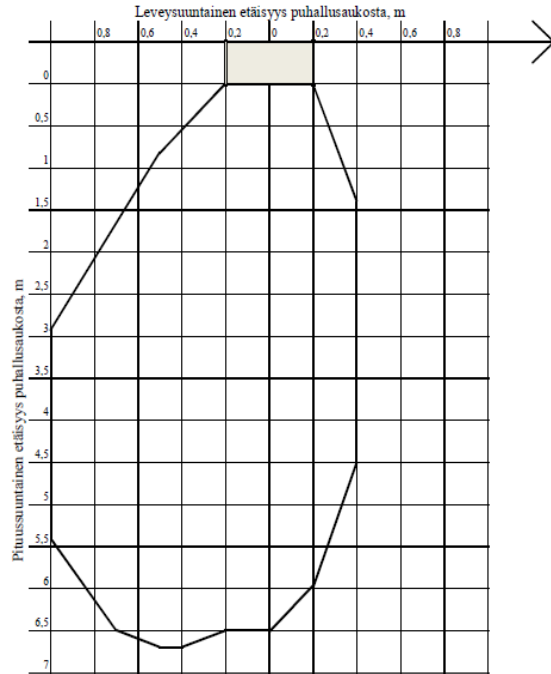
Hajotuskuvio 0,2 m/s vaakatasossa yhteen päävirtaussuuntaan
NI CONS 009
Säätöasento: 4/6
Puhallusilman lämpötila 21,5 °C
Ympäristön ilman lämpötila 20,8 °C



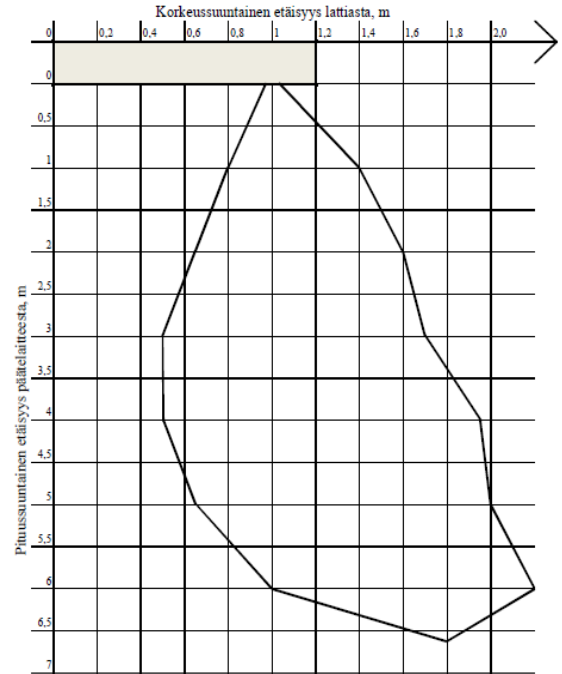
Hajotuskuvio 0,2 m/s pystytasossa yhteen päävirtaussuuntaan
NI CONS 009
Säätöasento: 4/6
Puhallusilman lämpötila 21,5 °C
Ympäristön ilman lämpötila 20,8 °C



Hajotuskuvio 0,2 m/s vaakatasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 6/6
 Puhallusilman lämpötila 21,5 °C
 Ympäroivän ilman lämpötila 20,9 °C

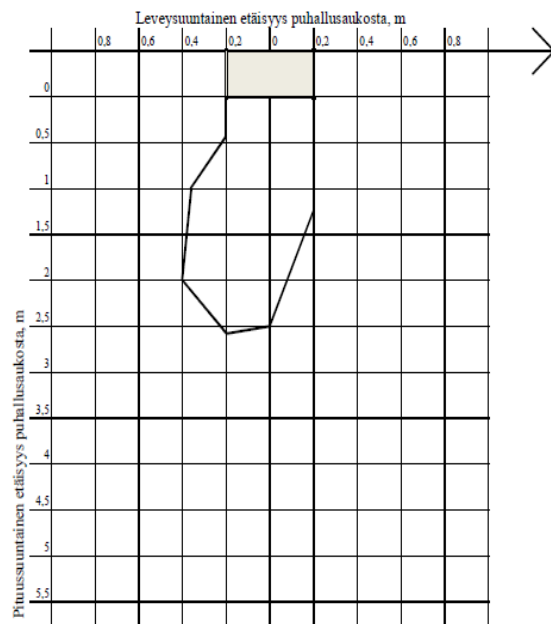


Hajotuskuvio 0,2 m/s pystytasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 6/6
 Puhallusilman lämpötila 21,5 °C
 Ympäroivän ilman lämpötila 20,9 °C

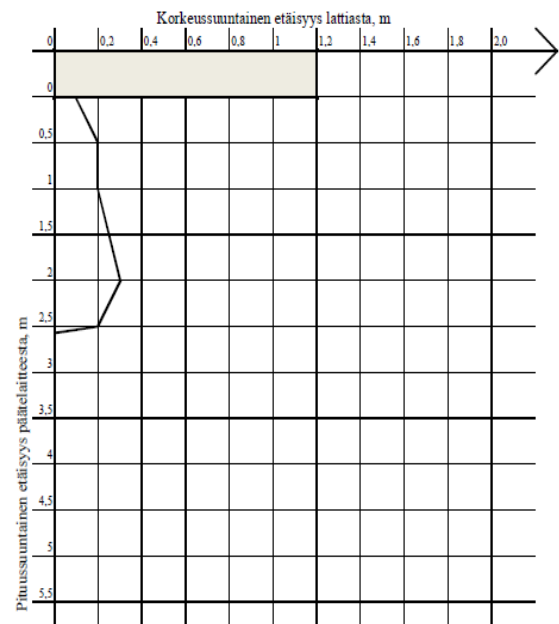


Lifa 3G EX 300 UV

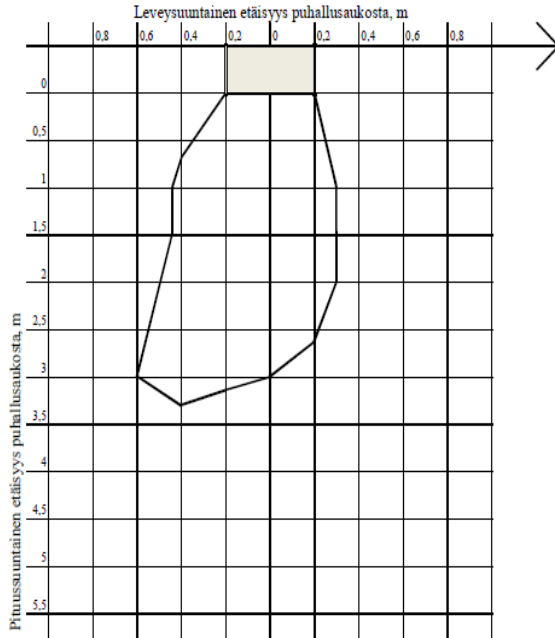
Hajotuskuvio 0,2 m/s vaakatasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 1/10
 Puhallusilman lämpötila 21,4 °C
 Ympäroivän ilman lämpötila 20,7 °C



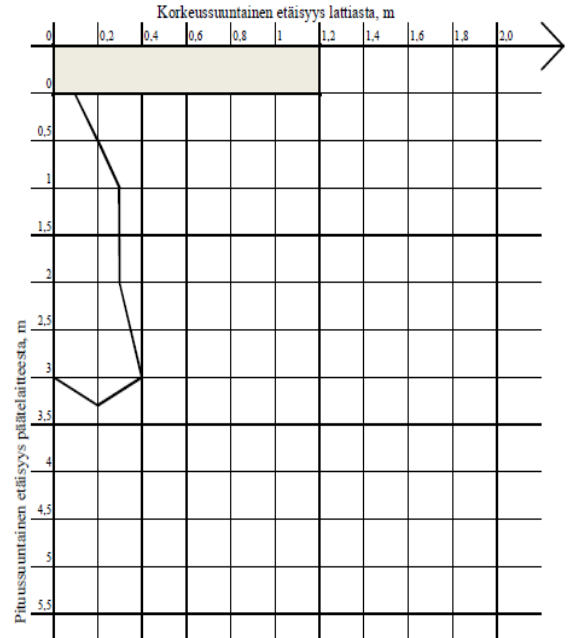
Hajotuskuvio 0,2 m/s pystytasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 1/10
 Puhallusilman lämpötila 21,4 °C
 Ympäroivän ilman lämpötila 20,7 °C



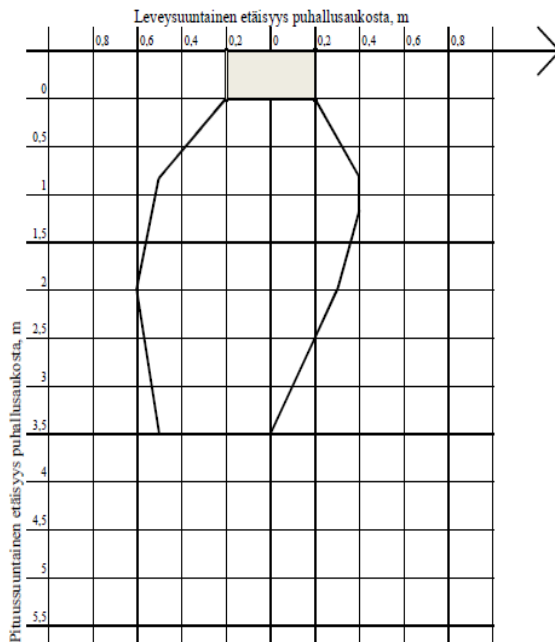
Hajotuskuvio 0,2 m/s vaakatasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 6/10
 Puhallusilman lämpötila 21,4 °C
 Ympäristön ilman lämpötila 20,7 °C



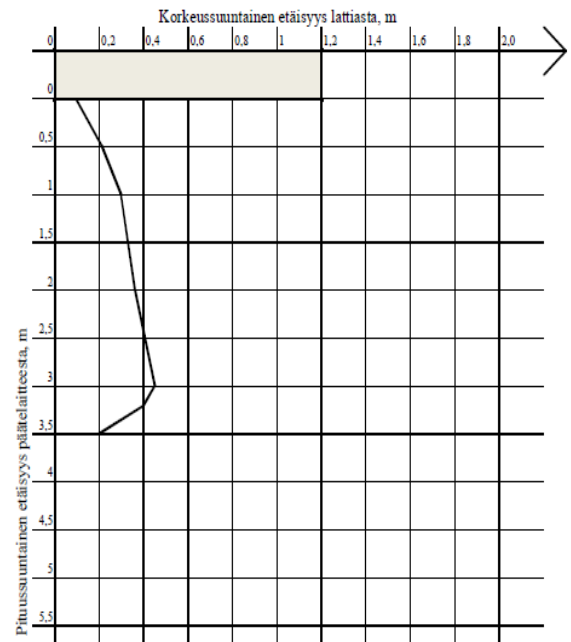
Hajotuskuvio 0,2 m/s pystytasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 6/10
 Puhallusilman lämpötila 21,4 °C
 Ympäristön ilman lämpötila 20,7 °C



Hajotuskuvio 0,2 m/s vaakatasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 10/10
 Puhallusilman lämpötila 21,4 °C
 Ympäristön ilman lämpötila 20,7 °C

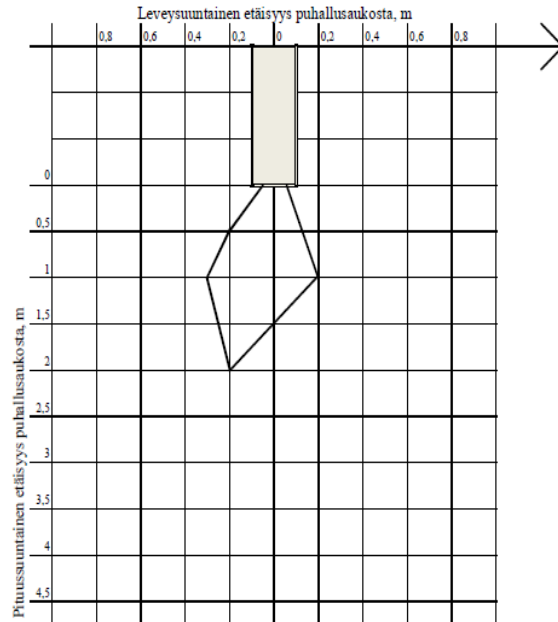


Hajotuskuvio 0,2 m/s pystytasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 10/10
 Puhallusilman lämpötila 21,4 °C
 Ympäristön ilman lämpötila 20,7 °C

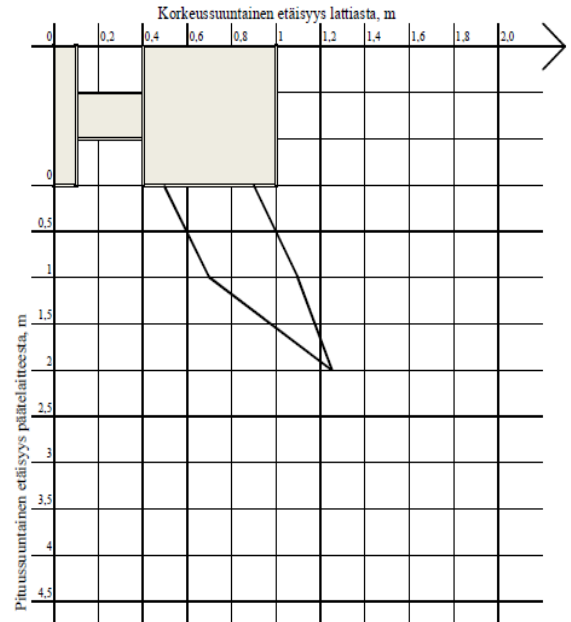


Plymovent VisionAir¹

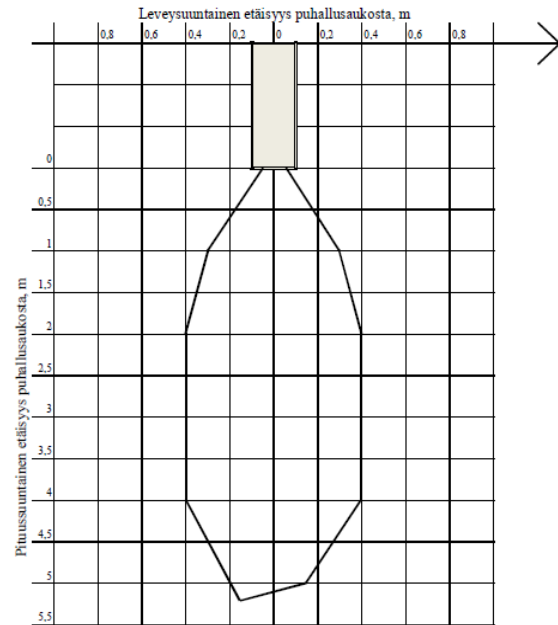
Hajotuskuvio 0,2 m/s vaakatasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 1/4
 Puhallusilman lämpötila 21,3 °C
 Ympäroivän ilman lämpötila 20,7 °C



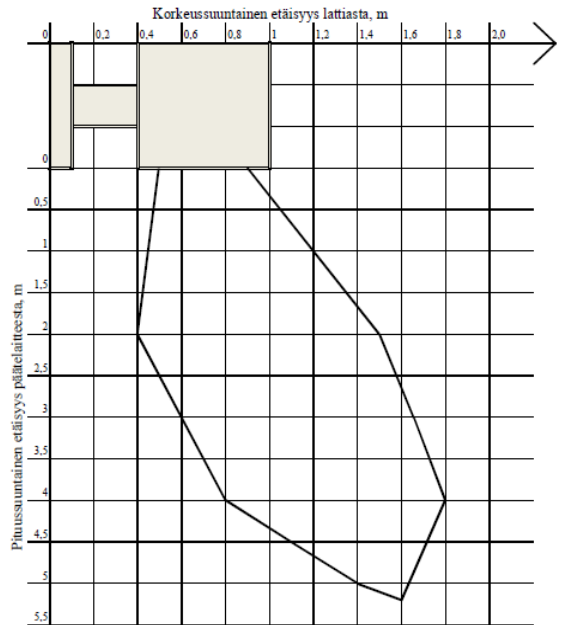
Hajotuskuvio 0,2 m/s pystytasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 1/4
 Puhallusilman lämpötila 21,3 °C
 Ympäroivän ilman lämpötila 20,7 °C



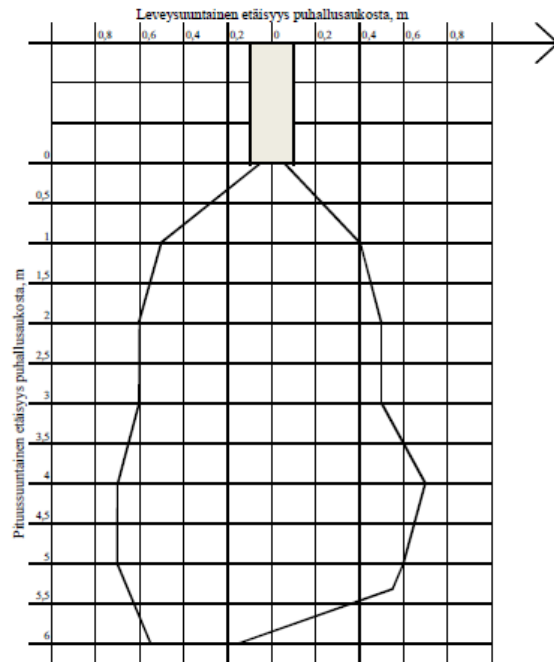
Hajotuskuvio 0,2 m/s vaakatasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 3/4
 Puhallusilman lämpötila 21,2 °C
 Ympäroivän ilman lämpötila 20,7 °C



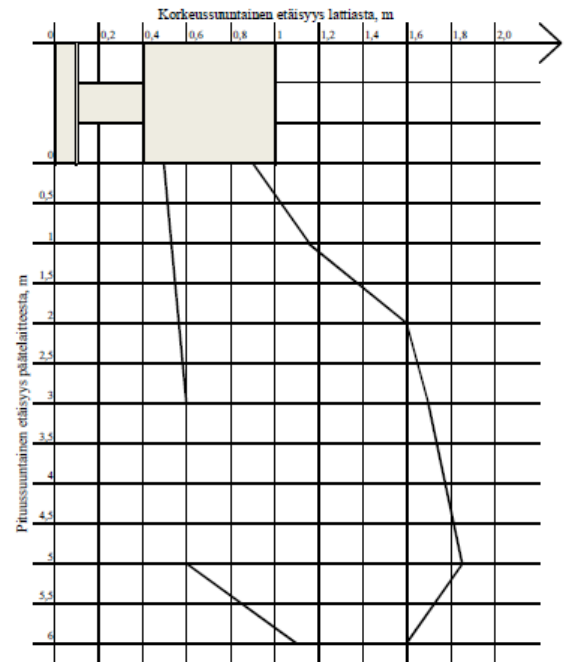
Hajotuskuvio 0,2 m/s pystytasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NI CONS 009
 Säätöasento: 3/4
 Puhallusilman lämpötila 21,2 °C
 Ympäroivän ilman lämpötila 20,7 °C



Hajotuskuvio 0,2 m/s vaakatasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NT CONS 009
 Säätöasento: 4/4
 Puhallusilman lämpötila 21,2 °C
 Ympäristön ilman lämpötila 20,7 °C

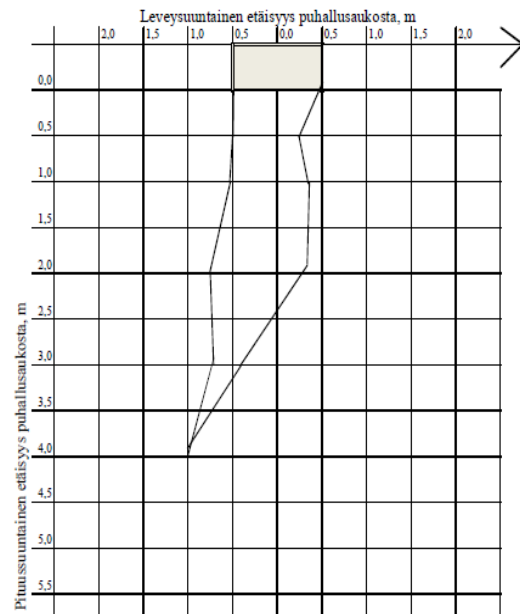


Hajotuskuvio 0,2 m/s pystytasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NT CONS 009
 Säätöasento: 4/4
 Puhallusilman lämpötila 21,2 °C
 Ympäristön ilman lämpötila 20,7 °C



Cair DEP 900 Q2

Hajotuskuvio 0,2 m/s vaakatasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NT CONS 009
 Säätöasento: 1
 Puhallusilman lämpötila 20,8 °C
 Ympäristön ilman lämpötila 20,7 °C



Hajotuskuvio 0,2 m/s pystytasossa yhteen päävirtaussuuntaan
 NT CONS 009
 Säätöasento: 1
 Puhallusilman lämpötila 20,8 °C
 Ympäristön ilman lämpötila 20,7 °C

