

**TIMO TIKKANEN
JUKKA MERO**

*Sterimat ilmanpuhdistimen UV-C
säteilykammion vaikutus mikrobien
tuhoamiseen huoneilmasta*

Aducate Reports and Books
12/2011

Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate
Itä-Suomen yliopisto
Kuopio
2011

Aihealue:
Rakennusten terveellisyys

Kopijyvä Oy

Kuopio, 2011

Sarjan vastaava toimittaja: Johtaja Esko Paakkola

Toimituskunta: Esko Paakkola (johtaja, KT), Jyri Manninen (prof., KT),

Lea Tuomainen (suunnittelija, proviisori), Tiina Juurela (suunnittelija,

TL) ja Helmi Kokotti (suunnittelija, RI/FT)

Myynnin yhteystiedot:

Itä-Suomen yliopisto, Koulutus- ja kehittämispalvelu Aducate

aducate-julkaisut@uef.fi

<http://www.aducate.fi>

ISSN 1798-9116

ISBN 978-952-61-0335-8 (painettu)

ISBN 978-952-61-0336-5 (.pdf)

TIIVISTELMÄ:

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Sterimat ilmanpuhdistimen mikrobien erotuskykyä laboratorio- ja kenttätutkimuksilla. Laboratoriokokeessa syötettiin tuulitunnelissa puhdasviljelmästä tuotettua mikrobiaerosolia UV-C kammioon Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitoksella. Ilmanpuhdistin pienensi tehokkaasti mikrobipitoisuuksia laboratorio-olosuhteissa. Kenttätutkimuksessa oli mukana kolme kohdetta, joista yhdessä seurattiin myös terveysvaikutusten muutosta oirepäiväkirjan avulla. Henkilöiden oireet lieventyivät Sterimat ilmanpuhdistinta käytettäessä.

AVAINSANAT:

ilmanpuhdistin, UV-C valo, mikrobien elinkyky, bakteerit, homesienet, kosteusvaurio, oireet

ABSTRACT:

Aim of the study was to determine the resolution of microbes by laboratory- and field tests of the Sterimat- air cleaner. The laboratory tests were conducted in University of the Eastern Finland on Department of Environmental Science. The test aerosol of cultivated microbes was lead from the wind tunnel to the UV-C chamber. The air cleaner was found to decrease microbe concentration effectively. The field studies were made in three buildings. The symptoms were reported by the daily diary in one of the buildings where the use of air cleaner decreased the symptoms.

KEYWORDS:

Air cleaner, UV-C light, microbe viability, bacterial, moulds, moisture damage, symptoms

Esipuhe

Päättötyömme tavoitteena oli selvittää UV-C-valoon perustuvan ilmanpuhdistimen todellinen vaikutus huoneilmassa esiintyville mikrobeille. Selvitys tapahtui laboratoriossa ja kentällä toteutetuilla testeillä. Laboratoriokokeissa puhdasviljelmästä kasvatetusta itiöllisen bakteerin ja homeitiösuspensiosta tuotettua aerosolia syötettiin puhdistimen läpi ja mitattiin mikrobien pitoisuus ennen puhdistinta ja sen jälkeen. Kenttäkokeet toteutettiin kolmessa kohteessa, joissa yhdessä kohteessa oli kolme laitetta ja kahdessa kohteessa oli yksi laite. Yhdessä kenttäkokeekohteessa suoritettiin myös oirepäiväkirjatutkimus joka analysoitiin Kuopion THL:n toimesta. Saatuja tuloksia voidaan käyttää hyväksi laitteen jatkokehittelyssä ja samalla saatiin lisävahvistusta tähän saakka olleille kokemuksille laitteen tehosta huoneilmassa esiintyvien epäpuhtauksien poistamisessa.

Kiitokset tutkimukseen osallistuneille tahoille, Itä-Suomen yliopisto, Kuopion TTL, Kuopion THL, Senaattikiinteistöt, Control Team, tutkimuksen rahoittajalle TSR, opinto-ohjaajallemme Vesa Asikaiselle, Helmille sekä kotiväellemme.

Sisällysluettelo

1. Johdanto	9
2. Kirjallisuuskatsaus	10
2.1 KOSTEUS- JA MIKROBIVAURIOT.....	10
2.2 KOSTEUSVAURION TUTKIMINEN	14
2.3 HIUKKASET.....	14
2.4 MIKROBIT.....	16
2.5 KAASUMAISET YHDISTEET.....	17
2.5.1 <i>Orgaaniset yhdisteet</i>	<i>17</i>
2.5.2 <i>Epäorgaaniset yhdisteet.....</i>	<i>19</i>
2.6 MUUT SISÄILMATEKIJÄT	20
2.7 SUODATTIMET JA ILMANPUHDISTIMET	21
2.7.1 <i>Suodattimien luokitus.....</i>	<i>23</i>
2.7.2 <i>Aktiivihiili.....</i>	<i>24</i>
2.8 UV- SÄTEILY	28
2.9 ILMANPUHDISTIMEN MERKITYS SISÄILMANLAADULLE.....	30
2.10 STERIMAT PUHDISTIN.....	32
2.10.1 <i>Tutkittua tietoa puhdistimesta 1997.....</i>	<i>36</i>
3 <i>Tavoite</i>	<i>41</i>
4 <i>Aineisto ja menetelmät.....</i>	<i>41</i>
5 <i>Tulokset ja tulosten tarkastelu</i>	<i>48</i>
5.1 LABORATORIOKOKKEET.....	48
5.2 KENTTÄTUTKIMUS	52
5.3 OIREPÄIVÄKIRJATUTKIMUS	57
6 <i>Johtopäätökset</i>	<i>59</i>
7 <i>Lähdeluettelo.....</i>	<i>60</i>

Taulukkuuettelo

Taulukko 1	Puhdistusmenetelmävertailu
Taulukko 2	Ilmansuodattimien luokitus suodatusasteen mukaan
Taulukko 3	Hiukkasten laskeutumisnopeus hiukkaskoon mukaan
Taulukko 4	Sterimat laitteen suorituskykytutkimus Kiveriön ala-aste 1997
Taulukko 5	Sterimat laitteen suorituskykytutkimus Nuorisotalo 1997
Taulukko 6	Penicillium Chrysogenum tulokset, VTT 11/2000
Taulukko 7	Aspergillus Niger tulokset, VTT 11/2000
Taulukko 8	UVC-säteilykammion vaikutus Penicillium Breviconpactum sieneen
Taulukko 9	UVC-säteilykammion vaikutus Bacillus bakteeriin
Taulukko 10	UVC-säteilykammion vaikutus kokonaibakteereihin
Taulukko 11	Mikrobipitoisuuksien kokonaismäärät 13.09.2010
Taulukko 12	Mikrobipitoisuuksien kokonaismäärät 14.10.2010
Taulukko 13	Kenttätutkimusten tulosten yhteenveto 2010
Taulukko 14	Yleinen terveydentila verrattuna ilmanpuhdistimen toimintaan (toiminnassa / ei toiminnassa), (n=587)
Taulukko 15	Yleinen terveydentila verrattuna ilmanpuhdistimen toimintaan (3 viikkoa / viimeinen viikko), (n=391)

Kuvaluettelo

Kuva 1	UV-säteilyn vaikutus mikrobin DNA rakenteeseen
Kuva 2	Sterimat säteilykammio
Kuva 3	Sterimat leikkauskuva
Kuva 4	Sterimat puhdistin
Kuva 5	Säteilykammio tuulitunnelissa
Kuva 6	Elävien mikrobin keruu puhdistimen jälkeen
Kuva 7	Periaatekuva säteilykammion sijoittelusta tuulitunnelissa
Kuva 8	Painesuhteet TEKNIA
Kuva 9	Painesuhteet MEDITEKNIA
Kuva 10	Painesuhteet KOULU X
Kuva 11	Ilmanäytteen otto Andersen keräimellä

1. Johdanto

Rakennusten huonosta sisäilman laadusta johtuvia erilaisia ongelmia esiintyy varsin yleisesti varsinkin toimistorakennuksissa sekä kouluissa ja päiväkodeissa. Myös sairaalat ja sellaiset työpaikat, joissa joudutaan käsittelemään paljon vettä, ovat osoittautuneet haasteellisiksi paikoiksi sisäilman olosuhteiden suhteen. Henkilökunnan työtehokkuus laskee ja pahimmissa tapauksissa seurauksena voi olla pitkiä sairauslomia ja terveydellisiä ongelmia koko loppuelämän ajan. Vaikka ongelmiin puututtaisiin heti, vaativat ne paljon tutkimus- ja suunnittelutyötä. Ongelmien poistamiseen on myös varattava aikaa ja korjausaika riippuu havaittujen ongelmien laajuudesta ja luonteesta. Jos ongelmien aiheuttajiksi voidaan osoittaa puutteet ilmanvaihdossa, on niiden korjaaminen melko lyhytaikainen toimenpide verrattuna siihen tilanteeseen, että rakenteissa ja rakennusmateriaaleissa havaitaan virheitä ja vauriota.

Jos rakenteista ja rakennusmateriaaleista on havaittu em. puutteita, joudutaan miettimään, miten saadaan aikaa tarvittaville mittauksille ja tutkimuksille siten, että henkilökunnan ei tarvitsisi muuttaa tiloista pois, vaan he voisivat jatkaa työskentelyä kohteessa. Väistötilojen etsiminen ja niihin siirtyminen voi olla todella iso operaatio riippuen siitä, kuinka suurta määrää muutto koskisi ja muuttavan kohteen luonteesta (iso virasto, toimistorakennus, terveydenhoitotilat). Sterimat-ilmanpuhdistimen avulla on mahdollista saada ongelma-kohteen olosuhteet sellaiseksi, että henkilökunnan työskentely voi jatkua kohteessa, eikä tarvitse alkaa etsimään väistötiloja.

2. Kirjallisuuskatsaus

Lopputyössämme olemme tutustuneet kirjallisuudesta löytyvään tietoon UV-valon vaikutuksesta mikrobeihin, kosteus- ja mikrobivaurioista, niiden tutkimisesta, hiukkasista yleisellä tasolla, mikrobeista, kaasumaisista yhdisteistä, homeiden terveyshaitoista sekä muista sisäilmatekijöistä. Lisäksi olemme tutustuneet markkinoilla olevien ilmanpuhdistimien toimintaperiaatteeseen, niiden merkitykseen sisäilmanlaadulle sekä mekaanisten suodattimien luokitukseen.

2.1 KOSTEUS- JA MIKROBIVAURIOT

Kosteusvauriolla tarkoitetaan kosteuden aiheuttamaa vauriota rakennusmateriaaleissa tai selvästi havaittavaa jälkeä pinnoitteessa. Kosteusvauriot näkyvät rakenteissa vuotojälkinä, materiaalin värjäytymisessä, kupruiluna, irtoamisena jne. Usein kosteusvaurio ei näy päällepäin, vaan se on piilossa rakenteiden alla. Tällöin maakellarimainen, tunkkainen haju ja kosteusvaurioille tyypillinen oireilu voi olla merkinä vaurion olemassaolosta.

Kosteuden kertyminen rakenteisiin johtuu aina jonkinasteisesta rakennusteknisestä virheestä. Rakenteiden kosteusvauriolähteinä voidaan pitää maaperästä peräisin olevaa kosteutta, väärin suunniteltuja tai rakennettuja rakenteita, vääriä materiaalivalintoja, lvi-järjestelmän puutteita ja häiriöitä sekä käyttäjien aiheuttamaa kosteusrasitusta.

Rakenteiden ylimääräinen kosteus voi olla peräisin vesivuodoista, tiivistymisestä, putki- ja laitevaurioista tai sade- ja pintavesien pääsystä rakenteisiin. Mikrobikasvuston (homesienet, sädesienet, lahosienet) kasvuedellytykset rakenteissa ovat yleensä olemassa, kun niissä on kosteutta. Mikäli siis kosteusvauriota ei korjata eikä sen syytä poisteta, kosteusvaurio johtaa kaikissa rakennusmateriaaleissa mikrobien kasvuun, jotka aiheuttavat terveyshaittoja ja vaurioittavat puurakenteita.

Kostuneen rakenteen väliaikainen kuivuminen ei yleensä tuhoa mikrobikasvustoa kokonaan ja osa mikrobeista jatkaa kasvuaan, jos rakenne kostuu uudelleen. Satunnainen kosteusvaurio ei kuitenkaan automaattisesti tarkoita homeongelmaa. Mikrobikasvusto näkyy yleensä värimuutoksena materiaalin pinnalla ja rihmastoina, puuterimaisena, pölymäisenä tai pistemäisinä kasvustoina.

Home tarvitsee ainoastaan vettä kasvaakseen, ravinteita on riittävästi ilmassa ja pinnoilla. Tämän vuoksi home voi kasvaa minkä tahansa materiaalin pinnalla. Puurakenteissa home aiheuttaa lahoamista ja rakenteen lujuuden heikkenemistä, tästä johtunee se, että vain puuta pidetään homeelle altiina materiaalina. Sisäilman laadun kannalta on kuitenkin sama, missä materiaalissa home kasvaa, homeinen ilma ei ole terveellistä.

Vesi pääsee rakenteisiin kahta kautta, toisaalta vesivuotojen kautta ja toisaalta sisäilman kosteudesta tiivistymällä. Tiivistyminen tapahtuu kun vesihöyry jäähtyy kastepisteeseensä. Kastepistelämpötilaan vaikuttavat ilmassa olevan vesihöyryn määrä, ilman lämpötila sekä pinnan lämpötila.

Ilmassa olevan vesihöyryn määrään vaikuttaa vesihöyryn tuotto (eli ihmiset, pyykin kuivaus, keittäminen, ilman kostuttimen käyttö, jne.) ja höyryn poistuminen (tiivistyminen ja ilmanvaihto). Rakenteissa olevat kylmäsillat laskevat pintalämpötilaa ja voivat aiheuttaa kosteusvaurion. Lisäeristys on suositeltavin vaihtoehto tässä tapauksessa. Sen suunnittelu on tehtävä huolellisesti, jotta kosteusongelma ei siirtyisi syvemmälle rakenteeseen.

Höyryn päästessä rakenteen (seinän) sisään tapahtuu tiivistyminen siinä osassa rakennetta, joka on kastepistelämpötilassa. Kosteuden pääseminen rakenteen sisään estetään yleensä höyrysululla ja luomalla ilmanvaihdon avulla alipaine rakennuksen sisälle. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon puutteellinen säätö tai rikkonainen (esim. sähköläpiviennit) höyrysulku voivat aikaansaada kosteusvaurion rakenteen sisällä (Putus 2010 Kosteusvauriohomeiden ja hiivojen terveysvaikutukset).

Miten mikrobivaurio ilmenee?

Kosteus- ja homevaurio ilmenee usein kellarimaisena tai pistävänä hajuna. Hajun aiheuttavat mikrobikasvustojen aineenvaihduntatuotteet, joten hajun luonne vaihtelee mikrobilajin ja kasvualustan (rakennusmateriaali) mukaan. Rakenteissa oleva liiallinen kosteus ilmenee usein myös maali- tai rappauspinnan hilseilyinä, puumateriaalin tummumisena, lattiapinnoitteen pullistumina tai jopa silmin nähtävänä mikrobikasvustona rakenteen pinnalla.

Työpaikoilla esiintyvät kosteus- ja home vauriot ovat tänä päivänä valitettavan yleisiä ja niistä saattaa muodostua todella suuria ongelmia, ellei niihin reagoida tarpeeksi ajoissa ja hoideta tiedottamista oikein ja asiallisesti. Jos epätietoisuus ja kaikenlaiset huhut alkavat elämään ”omaa elämäänsä”, niin silloin tilanne on päässyt jo liian pitkälle tiedottamisesta vastuussa olevien henkilöiden kannalta katsottuna.

Mikrobivaurioon liittyviä oireita

Nenä vuotaa, yskittää, silmät punoittavat, ääni on maassa. Päästä särkee, väsyttää ja koko perhe kärsii kurkkuoireista sekä tukkoisesta nenästä. Mutta siinä vaiheessa, kun oireet pitkittyvät, aikuisten työstä poissaolomäärät kasvavat, lapset ovat kiukkuisia ja heillä on erilaisia infektioita, kuten korva- ja poskiontelon tulehduksia, pitäisi alkaa epäillä, olisiko omassa asunnossa jotain vialla ja mitä pitäisi tehdä. Joskus perheenjäsenet ovat käyneet lääkärissä kymmeniä, jopa satoja kertoja vuodessa ennen kuin on alettu epäillä ongelmien johtuvan omasta kodista. Tässä vaiheessa olisi ensiarvoisen tärkeää, että tilannetta ryhdytään selvittämään sellaisten tahojen kanssa, joilla on tarvittava tieto olemassa olevan tilanteen selvittämiseksi. Kaupunkien ja kuntien asumisterveydestä vastaavat viranomaiset ovat tahoja, joilta saa lisätietoja asiaan liittyen.

Homeiden aiheuttamia terveyshaittoja

Penicillium on yleisimmin sisäilmassa esiintyvä homesuku ja se on allergisoiva homesieni. Se kuuluu primäärivaiheen homesukuihin ja alkaa ensimmäisten mikrobien joukossa kasvaa kosteusvauriokohteessa. Penicillium voi aiheuttaa suoraan infektion elimistössä, ihossa, muissa kudoksissa ja se voi myös olla toksiinin tuottaja. Penicilliumin pitoisuuksien on todettu korreloivan erityisesti astma- ja ärsytysoireiden kanssa.

Aspergillus-suvun ilmaantuminen valtalajiksi tutkittavassa kohteessa on se selvä viite kosteusvauriosta. Aspergillus-lajit aiheuttavat usein välitöntä IgE-välitteistä yliherkkyyttä ja allergiasairauksia ja niiden homeet voivat aiheuttaa suoran infektion elimistössä.

Chaetomium-homeet tuottavat useita erilaisia tokseeneja mm. chaetomiinia, chaetoglobosiinia sekä sterigmatokystiinia. Chaetomium voi aiheuttaa suoran infektion ihmisessä.

Fusarium-suvun homeet ovat kosteusvaurioita indikoivia mikrobeja, mutta eivät ole kovin yleisiä ko. kohteissa. Fusariumin tiedetään tuottavan useita terveydelle erityisen haitallisia toksiineja mm. trikotekeenejä.

Stachybotrys atra-home on kosteusindikaattorihome, joka ilmaantuu vauriorakennukseen pitkän ajan kuluessa. Stachybotrys tuottaa useita toksiineja mm. satratoksiinia ja muita makrosyklisiä trikotekneejä. Palovamman kaltaisia ihovaurioita, vakavia silmävaurioita, nenäverenvuotoa ja voimakasta hengityskipua on esiintynyt niillä ihmisillä, jotka ovat käsitelleet stachybotryksen saatuttamia materiaaleja (Putus 2010).

2.2 KOSTEUSVAURION TUTKIMINEN

Epäily tai havainto kosteusvauriosta voi tulla suoraan kiinteistössä asuvilta tai työskenteleviltä. Usein havainnot ja aistimukset kytkeytyvät koettuun terveydelliseen haittaan; oireiluun, sairauteen tai sen epäilyyn. Terveyshaittaa aiheuttavien tekijöiden poistaminen rakennuksesta vaatii teknisiä ratkaisuja ja siksi korjaustoimenpiteiden tulisi perustua rakennus- ja ilmanvaihtoteknisiin selvityksiin. Kaikille osapuolille on edullista, jos kosteusvaurio tai sellainen olosuhde, jossa epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan on mahdollista, ei pitkity niin, että se johtaisi tilojen käyttäjien oireiluun tai sairastumiseen.

Näkyviin vaurioihin on yleensä kiinteistön kunnosta vastaavien tahojen helppo puuttua. Tilanne ei ole aina näin selvä, koska kaikkia vaurioita ei voida havaita edes mittalaittein. Mikrobialtistumista ei myöskään ole aina helppoa erottaa muista sisäilmasto-ongelmista, kuten altistumisesta mineraalikuiduille. Siksi voi syntyä viiveitä ongelman tunnistamisessa ja korjaamisessa

Työterveyshuollon tehtäviin kuuluvat työperäisten terveysvaarojen ja haittojen selvittäminen ja edellä mainituista seikoista johtuvat terveystarkastukset. Myös toimenpide-ehtotusten tekeminen työn terveellisyyden ja turvallisuuden parantamiseksi ovat terveyshuollon tehtäviin kuuluvia toimenpiteitä.

2.3 HIUKKASET

Sisäilman hiukkaspitoisuuksiin vaikuttaa eniten ihmisten läsnäolo. Ilman hiukkaspitoisuus nousee heti, kun ensimmäiset ihmiset astuvat sisään tilaan. Ilmanvaihto pienentää pitoisuuksia. Sisäilman pienhiukkaset ovat osaksi peräisin ulkoilmasta. Siellä suurin pienhiukkaslähte on liikenne. Muita sisäilman pienhiukkaslähteitä ovat esimerkiksi ruoanvalmistus, puun poltto tulisijoissa ja kynttilät. Tupakansavua pidetään kansanterveyden kannalta merkittävimpänä sisäilman hiukkasepäpuhtautena.

Terveyshaitat

Hiukkasten koko vaikuttaa niiden kulkeutumiseen hengitysteissä. Mitä pienempi hiukkanen on, sitä syvemmälle hengitysteissä se kulkeutuu. Karkeat hiukkaset (2,5-10 µm) jäävät nenään ja nieluun sekä kurkunpään alueelle, josta ne kulkeutuvat ulos muutamassa tunnissa. Pienhiukkaset (0,1-2,5 µm) ja ultrapienet hiukkaset (<0,1 µm) pääsevät henkitorven ja keuhkoputkien sekä keuhkorakkuloiden alueelle. Keuhkorakkuloihin päätyneet liukenemattomat hiukkaset poistuvat hitaasti, jopa vasta kuukausien tai vuosien kuluessa. Hiukkasten pintaan tarttuvilla epäpuhtauksilla voi olla tärkeä merkitys terveyshaittojen kannalta. Pienhiukkasten aiheuttamat terveyshaitat riippuvat myös hiukkasten alkuperästä ja lähteestä sekä altistumisajasta. Hiukkasten haitoille herkimpiä ovat astmaatit, allergikot ja keuhkohtaumatautia sairastavat ihmiset. Tiedot pienhiukkasten terveyshaitoista perustuvat pääosin tutkimuksiin ulkoilman hiukkasten vaikutuksista (TTL 2010).

Torjunta

Ainoastaan osa suurimmista hiukkasista laskeutuu huonetasopinnoille ja lattioille, mistä ne ovat siivouksen ja pölynhallinnan keinoin poistettavissa. Siivouksessa tulee kiinnittää huomiota siivouksen tasoon, mitoittamiseen, siivousmenetelmiin ja siivouksen ajoitukseen. Pienhiukkaset eivät käytännössä koskaan laskeudu, ja ne ovat poistettavissa ilmanvaihdon ja ikkunatuuletuksen avulla. Ilmanvaihdon tehostaminen vähentää sisälähteistä peräisin olevien epäpuhtauksien pitoisuutta sisäilmassa, mutta se saattaa myös lisätä ulkoilmasta peräisin olevia epäpuhtauksia. Kunnossa olevalla tuloilmasuodatuksella voidaan vähentää hiukkasmaisten epäpuhtauksien siirtymistä ulkoilmasta sisäilmaan. Huonosti hoidettu tai epäkuntoinen tuloilmajärjestelmä voi alkaa toimia sisäilman epäpuhtauslähteenä (TTL 2010).

2.4 MIKROBIT

Mikrobi, mikro-organismi ja pieneliö ovat yleisnimityksiä mikroskooppisen pienille eliöille, jotka eivät näy paljain silmin. Sana "mikrobi" tulee kreikan sanoista μικρον (mikron) = pieni ja βίος (bios) = elämä. Mikrobeja tutkiva tiede on mikrobiologia. Mikrobit eivät ole yksi yhtenäinen taksonominen eliöryhmä, vaan mikrobeja löytyy kaikista eliökunnista. Kaikki bakteerit ja arkit ovat mikrobeja. Myös mikroskooppiset sienet, kasvit ja eläimet voivat olla mikrobeja. Tällaisia ovat homeet, hiivat, pienet viherlevät ja alkueliöt. Mikrobeihin voidaan luokitella myös virukset, joiden ei kuitenkaan ajatella olevan eläviä olentoja. Mikrobit voivat koostua yhdestä solusta tai solurykelmästä. Esimerkiksi bakteerit ovat yksisoluisia, homeet kasvavat solurykelminä ja alkueläimet taas ovat monisoluisia.

Mikro-organismit ovat yleisesti ottaen erittäin pieniä. Mikrobin koko vaihtelee virusten 0,01 µm:n ja ripsieläinten 0,2 mm:n välillä. Mikrobeja esiintyy kaikkialla biosfäärissä, myös elämän kannalta äärimmäisissä olosuhteissa.

Maailmassa mikrobeja on joidenkin biologien arvioiden mukaan noin 5 kvintiljoonaa eli 5×10^{30}

Pysyvästi tai toistuvasti kostuvissa rakenteissa ja niiden pinnoilla kasvaa mikrobeja: homeita, hiivoja tai bakteereja. Rakennuksessa esiintyvän mikrobikasvuston syy on yleensä kosteusvaurio. Mikrobitiöitä saattaa kulkeutua sisätiloihin myös rakenteiden läpi esimerkiksi rakennuksen alustan maaperästä tai seinän eristetilasta, mikäli rakenteet eivät ole tarpeeksi tiiviit ja sisätilat ovat liian alipaineiset. Mikrobikasvustosta voi kulkeutua sisäilmaan ilmavirtausten mukana mikrobeja (esimerkiksi itiöitä ja niiden osasia) sekä niiden hajoamis- ja aineenvaihduntatuotteita, joille sisätiloissa oleskelevat ihmiset altistuvat. Ellei mikrobikasvustoa ole poistettu, se voi olla terveydelle haitallista vielä senkin jälkeen, kun rakennusmateriaali on kuivunut tai kuivatettu. Tämän vuoksi kosteusvaurio on välittömästi korjattava ja vaurioon johtaneet syyt on poistettava. Mikrobeille tai mikrobin aineenvaihduntatuotteille altistuneilla ihmisillä havaittuja tyypillisiä

oireita ovat silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireet, erityisesti yöskä sekä erilaiset yleisoireet, esimerkiksi lämpöily. Oireet yleensä lievenevät tai katoavat, kun altistus keskeytyy tai lakkaa. Altistuksen seurauksena voi esiintyä myös toistuvia hengitystieinfektioita tai kehittyä pitkäaikaissairaus, esimerkiksi astma. Altistuksen on havaittu lisäävän poskiontelo- ja keuhkoputkentulehduksen riskiä (P.Huovinen 2003, Huovinen P, Hedman K, Heikkinen T, Järvinen A, Meri S, Vaara M. 2010).

2.5 KAASUMAISET YHDISTEET

2.5.1 Orgaaniset yhdisteet

Sisäilman kaasumaiset orgaaniset yhdisteet ovat todennäköisesti yhteydessä ihmisten kokemiin terveys- ja hajuhaittoihin (mm. päänsärkyä, väsymystä jne.) ja erityisesti asumisviihtyvyyttä vähentäviin tuntemuksiin. Ilmassa samanaikaisesti esiintyvillä useilla yhdisteillä saattaa olla vaikutukseltaan myös toisiaan vahvistava ominaisuus. Kemiallisten, sisäilmassa esiintyvien haihtuvien yhdisteiden kokonaismäärää ilmoitetaan usein termillä TVOC (Total volatile organic compounds). TVOC-mittaustulosta ei voida käyttää sellaisenaan terveyshaitan arvioinnissa. Toisaalta kohonnut TVOC-pitoisuus (yli 600 µg/m³) on osoitus kemiallisten aineiden epätavallisen suuresta määrästä sisäilmassa, ja lisäselvitykset yksittäisten yhdisteiden tutkimiseksi ovat todennäköisesti tarpeen. Kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuudet ovat usein korkeimmat uudisrakennuksissa ja korjatuissa rakennuksissa.

Rakenteiden tulisi olla riittävän kuivia ennen lopullisten pintamateriaalien asentamista. Kaikki materiaalit eivät kosteissa ja/tai alkalisissa oloissa täytä niille asetettuja vaatimuksia. Seurauksena saattaa olla esim. materiaalien kemiallista hajoamista, minkä seurauksena sisäilmaan emittoituu suuriakin pitoisuuksia sellaisia yhdisteitä mitä materiaaleista ei suotuisissa olosuhteissa emittoidu. Tällaisia yhdiste

on esimerkiksi 2-etyyli-1-heksanoli (joka on yhdistetty myös mm. muovimattoihin, mikrobivaurioihin ja liiman päästöihin) (Haahtela T, Hannuksela M, Terho E.O.1999).

Formaldehydi

Sisäilman formaldehydi on yleensä peräisin liima-aineena käytetystä ureaformaldehydihartsista, jota on käytetty lastulevyssä ja eräissä paneeleissa. Myös happokovetteiset lakat, maalit, pinnoitteet, itesiliävät tekstiilit ja kokolattiamatot saattavat sisältää formaldehydiä, joka vapautuu niistä sisäilmaan. Asuntojen kiintokalusteet ja huonekalut, jotka sisältävät formaldehydiperusteisia liimoja, saattavat olla sisäilman formaldehydilähteitä. Formaldehydi ärsyttää silmiä ja ylempiä hengitysteitä. Ihmisten herkkyys formaldehydin ärsytysvaikutuksille vaihtelee suuresti. Sisäilman formaldehydipitoisuus saa olla enintään 100 µg/m³. Formaldehydin tutkiminen on tarpeen, jos sisäilmassa on havaittavissa formaldehydin hajua. Jos huonetilassa on käytetty runsaasti lastulevyä rakenteissa tai kalusteissa (yli 1 m²/m³) tai, jos huoneistossa on esiintynyt kosteusvaurioita ja asukkaiden oireilu viittaa formaldehydialtistukseen, on formaldehydipitoisuuden mittaaminen myös tarpeen.

Styreeni

Styreeniä saattaa esiintyä sisäilmassa, jos rakennusmateriaaleissa käytetyn polyesterihartsin eri komponentit eivät ole reagoineet keskenään täydellisesti. Normaalisti styreenin pitoisuus sisäilmassa on hyvin pieni, jopa alle 1 µg/m³. Styreenille tyypillistä on sen pistävä haju (hajukynnys 75 µg/m³). Sisäilman styreenipitoisuus saa olla enintään 40 µg/m³. Sisäilman styreenipitoisuuden määrittäminen on aiheellista, kun sisäilmassa on todettavissa styreenille tyypillistä hajua ja rakennuksessa on käytetty polyesterihartsipohjaisia tai muita vapaata styreeniä sisältäviä rakennusmateriaaleja.

2.5.2 Epäorgaaniset yhdisteet

Ammoniakki

Ammoniakkia voi vapautua sisäilmaan joistakin rakennusmateriaaleista, maaleista ja lakoista, puhdistus- ja pesuaineista sekä ihmisten ja eläinten eritteistä. Sisäilman ammoniakki voi myös viitata rakennusmateriaaleissa, esimerkiksi tasoitteissa tai liima-aineissa, kosteuden vaikutuksesta tapahtuvaan proteiinien ja muiden orgaanisten aineiden hajoamiseen. Tällaisten reaktioiden seurauksena ilmaan vapautuu myös muita kemiallisia yhdisteitä (VOC), kuten amiineja, aldehydejä, orgaanisia rikkiyhdisteitä ja rasvahappoja, jotka ovat, kuten ammoniakki, ärsyttäviä yhdisteitä. Myös tupakointi lisää sisäilman ammoniakkipitoisuutta.

Hiilidioksidi

Ihmisen aineenvaihdunta tuottaa sisäilmaan hiilidioksidia ja muita epäpuhtauksia. Hiilioksidin määrää sisäilmassa voidaan pitää ihmisestä peräisin olevien sisäilman epäpuhtauksien indikaattorina. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus saattaa kohota suureksi esimerkiksi asuinhuoneiston makuuhuoneessa yön aikana, koulun luokahuoneessa oppituntien aikana ja päiväkodin lepoahuoneessa. Sisäilma tuntuu tällöin tunkkaiselta. Hiilidioksidin suuri pitoisuus sisäilmassa voi aiheuttaa väsymystä, päänsärkyä ja työskentelytehon huononemista.

Sisäilman kohonnut hiilidioksidipitoisuus on osoitus ilmanvaihdon riittämättömyydestä, eikä sille voida ilmoittaa mitään erityistä terveydellistä ohjearvoa. Jos sisäilman hiilidioksidipitoisuus ylittää 2700 mg/m^3 (1500 ppm), ilmanvaihto ei ole terveydensuojelulain edellyttämällä tasolla. Hiilidioksidi tulisi mitata sisäilmasta, jos sisäilma tuntuu tunkkaiselta tai ilmanvaihdon riittävyttä on syytä epäillä. Tyydyttävänä hiilidioksidipitoisuutena sisäilmassa voidaan pitää arvoa 2160 mg/m^3 (1200 ppm).

Hiilimonoksidi eli häkä

Hiilimonoksidia eli häkää syntyy hiiltä sisältävien aineiden epätäydellisen palamisen seurauksena. Sisäilman hiilimonoksidin lähteitä ovat liikenteen pakokaasut ja sisätiloissa olevat väärin toimivat tai käytetyt uunit, takat ja kaasuliedet sekä tupakointi. Hiilimonoksidin vaarallisuus johtuu sen sitoutumisesta veren hemoglobiiniin, jolloin veren kyky kuljettaa happea kudokseen vähenee. Lievän häkämyrkytyksen oireita ovat päänsärky, pahoinvointi ja hengenahdistus. Vakava häkämyrkytys voi aiheuttaa kuoleman.

Sisäilman hetkellinen hiilimonoksidipitoisuus saa olla enintään 8 mg/m³ (6,9 ppm). Hiilimonoksidin tutkiminen sisäilmasta on aiheellista silloin, kun epäillään, että ajoneuvojen pakokaasuja kulkeutuu huoneistoon läheiseltä liikenneväylältä tai samassa rakennuksessa sijaitsevasta autotallista.

2.6 MUUT SISÄILMATEKIJÄT

Sisäilmasto-ongelmia voivat aiheuttaa monet tekijät, kuten kuiva huoneilma, riittämätön ilmanvaihto, pölyt, mineraalikuidut, liian matala tai korkea lämpötila, veto, materiaaliemissiot sekä kosteus- ja homevauriot. Koska vain osa sisäilmasto-ongelmista liittyy kosteusvaurioihin, korjaavissa toimenpiteissä on tärkeää ottaa samanaikaisesti huomioon mahdolliset muutkin sisäilmastoon vaikuttavat tekijät.

Kosteus- ja homevaurioihin voi liittyä hengitysteiden ärsytysoireita, yleisoireita, toistuvia hengitystietulehduksia ja harvemmin yliherkkyysairauksia (nuha, astma, ODS ja allerginen alveoliitti). Terveysvaikutusten riskinarviointi ja kliininen tutkiminen on vaikeata, siksi korjaustoimenpiteet ovat tarpeen ennen kuin pysyviä terveyshaittoja syntyy. Myös lainsäädännössä periaatteena on mahdollisimman varhainen terveysriskien tunnistus ja torjunta (Työterveyshuoltolaki, Työturvallisuuslaki, Terveysturvallisuuslaki, www.finlex.fi).

2.7 SUODATTIMET JA ILMANPUHDISTIMET

Taulukossa 1 on vertailtu ilmanpuhdistimien eri puhdistusmenetelmiä.

Usein laitevalmistajat käyttävät eri tekniikoiden yhdistelmiä laitteissaan. Yleisesti näyttää siltä, että UV –valoa käyttäviä laitteita on markkinoilla runsaasti. Kaikki ovat kuitenkin mitoiltaan sellaisia, että joko virtaus on pieni tai ilman viipymä säteilyssä on liian lyhyt. Joistain laitteista löytyy mittaustuloksia, mutta niistä puuttuvat tiedot virtausnopeuksista.

Taulukko 1. Puhdistusmenetelmävertailu

Menetelmä	Toimintaperiaate	Menetelmän käyttö	Huomioitavaa
Aktiivihiili	Perustuu hiilen ominaisuuteen sitoa itseensä erilaisia kaasumaisia aineita	Käytetään yksin tai muiden tekniikoiden kanssa hajunpoistossa	Hiili valittava poistettavan kaasun mukaan
UV-C -valo	Perustuu mikrobien tuhoamiseen UV-C säteilyn avulla	Mikrobien tappaminen mm. vedestä ja ilmasta	Teho riippuu säteilykentän voimakkuudesta ja vaikutusajasta. Suodattimien ja UV-C säteilylähteiden vaihto
Fotokatalyyttilaitteet	Käytetään UV-valoa yhdessä yleensä titaanioksidin kanssa hajottamaan ilman epäpuhtauksia	Veden- ja ilmanpuhdistukseen	Teho riippuu säteilykentän voimakkuudesta ja vaikutusajasta
Ioniisaattorisuihku	Ilmassa olevat hiukkaset varataan ionisuihkulla samalla niitä työntäen. Hiukkasmassa kerätään keruupinnoilta, huuhtomalla ne vesipesuaineliuoksella	Hiukkasten keräämiseen erilaisista tiloista	Vesipesuaineastia tyhjennettävä säännöllisesti viikottain. Ei käytetä mekaanisia suodattimia
Ioniisaattorikenno	Ilma johdetaan sähkökentän läpi, jossa partikkelit varataan sähköisesti minkä jälkeen ilma kulkee vastakkaisella varauksella varatun kennon läpi jolloin partikkelit tarttuvat kennoon	Hiukkasten keräämiseen erilaisista tiloista	Keräinkennon puhdistus tehtävä säännöllisesti viikottain. Ei käytetä mekaanisia suodattimia
Mekaaninen suodatus	Ilma puhalletaan suodattimen läpi	Kotikäyttöön lukuisia eri kokoja	Teho riippuu suodattimien luokasta ja puhtaudesta
Otsonointi	Otsoni (O ₃) on erittäin voimakkaasti hapettava kaasu joka reagoi herkästi muiden aineiden kanssa hajoten hapeksi ja muiksi hajoamistuotteiksi	Sopii tilojen kertaluonteiseen puhdistamiseen	Otsonoinnin aikana tilan käyttö on ehdottomasti kielletty, varoaika käytön jälkeen

2.7.1 Suodattimien luokitus

Eri suodatinluokkia varten on kehitetty erilaisia testausmenetelmiä suodatinten erilaisen erottelukyvyn ja siitä johtuvien eri käyttöalueiden vuoksi. Perussuodattimet ja hienosuodattimet testataan DIN 24185 mukaisella testimenetelmällä.

Karkeat suodattimet (G1-G4)

Suodatinluokkiin G1 – G4 kuuluvat perussuodattimet testataan syöttämällä synteettistä pölyä ja testistä saadaan selville gravimetrinen punnituserotusaste. Suodattimia testattaessa saatava prosenttiluku kertoo, kuinka suuri osa testissä käytetystä hiukkasmassasta on jäänyt suodattimeen.

Hienosuodattimet (F5 – F9)

Suodatinluokkien F5–F9 hienosuodattimista testataan pölytäpläerotusaste käyttämällä luonnollisia aerosoleja eli käsittelemätöntä ulkoilmaa. Testissä määritetään suodattimen pölytäpläerotusaste siten, että testattavan suodattimen edestä ja takaa otettu samansuuruinen ilmamäärä johdetaan testisuodatinpaperin läpi. Pölytäpläerotusasteen määrittämistä varten verrataan keskenään ilmamääriä, jotka tarvitaan saman värjäytymisasteen aikaansaamiseksi testisuodatinpaperissa. Leijusuodattimien testissä määritellään suodattimen punnituserotusaste eli läpäisevyys noin 0,3 mikrometriä halkaisijaltaan olevilla hiukkasilla. Testissä saatava prosenttiluku kertoo kuinka suuri osa yli 0,3 mikrometrin kokoisista hiukkasista on jäänyt suodattimeen.

Taulukossa 2 on vertailtu eri suodatinluokkien erotusastetta.

Taulukko 2. Ilmansuodattimien luokitus suodatusasteen mukaan

EN 779	Erotuskyky %	EUROVENT 4/5
G1	60 ÷ 65	EU1
G2	70 ÷ 80	EU2
G3	80 ÷ 85	EU3
G4	85 ÷ 95	EU4
F5	50 ÷ 55	EU5
F6	60 ÷ 65	EU6
F7	80 ÷ 85	EU7
F8	90 ÷ 95	EU8
F9	> 95	EU9
H10-14 U15-17	Erotuskyky part. 0,3 µ m %	EUROVENT 4/4 EU10-14

2.7.2 Aktiivihiili

Aktiivihiilen käyttöalueen monimuotoisuus tekee siitä helposti sovellettavan suodatinmateriaalin niin teollisuudessa ja ydinvoimaloissa kuin ruoanvalmistukseen ja lääkinnälliseen käyttöön liittyvissä sovellutuksissa. Aktiivihiiltä on nykyään saatavilla huokoskooltaan ja tehokkuudeltaan tarkasti haluttua käyttösovellusta varten valmistettuna.

Aktiivihiilen historiaa

Aktiivihiilen historia alkaa jo noin 1500 vuotta e. Kr Egyptistä, jossa sitä käytettiin sekä lääkinnällisiin tarpeisiin että puhdistusaineena. Intiassa muinaiset hindut poistivat aktiivihiilen avulla juomavedestä epämiellyttäviä hajuja ja makuja.

Aktiivihiilen tieteellinen tutkiminen alkoi jo 1700 luvun loppupuolella, kun ruotsalainen kemisti Carl Wilhelm Scheele havaitsi hiilen adsorboivat kyvyt tutkiessaan kaasuja. Vuosisatojen ajan ovat viskitynnyrien hiillytetyt sisäpinnat toimineet adsorbentteina ja näin ollen myös desorbentteina, sitoen ja vapauttaen

viskistä erilaisia makuja ja aromeja. Ensimmäisen maailmansodan aikana liittoutuneiden joukot käyttivät aktiivihiihluodattimilla varustettuja suojanaamareita suojautuakseen kloorikaasulta.

Aktiivihiihlu toimintaperiaate

Tässä luvussa tutustutaan aktiivihiihlu toimintaan ja sen puhdistavien sekä suodattavien ominaisuuksien aiheuttaviin fyysisiin ja kemiallisiin tekijöihin. Aluksi esitellään aktiivihiihluille ominaiset adsorptio- ja desorptioprosessit sekä käydään pääpiirteittäin läpi aktiivihiihlu rakenne ja rakenteen hiihluille tuomat suodattavat ominaisuudet. Lisäksi tutustutaan aktiivihiihlu valmistusprosessiin.

Aktiivihiihlu toiminta perustuu adsorptioon, jossa adsorbenttina toimiva kiinteä aine sitoo tiettyjä molekyylija pinnalleen fysisorption tai kemisorption avulla. Fysisorptiossa adsorbentti sitoo adsorbaatin pinnalleen fyysisten, Van Der Waalsin voimiin perustuvien vetovoimien avulla. Kemisorptiossa adsorbaatin ja adsorbentin pinnan välille syntyy vahva kemiallinen sidos. Pääasiassa adsorptioprosessissa vaikuttavana voimana toimii dispersiovoima, joka aiheutuu elektronien satunnaisesta jakautumisesta molekyylin elektronikuorille. Elektronikuoren elektronien epätasainen jakautuminen aiheuttaa molekyylin sähköisen varauksen epätasaisen jakautumisen, jonka vuoksi molekyylin heikosti positiivinen pää pyrkii vetämään puoleensa toisen molekyylin negatiivisesti varautunutta päätä. Vetovoima pitää partikkelit adsorbentin pinnalla kunnes saavutetaan tasapainotila adsorboitujen ja vapaasti kaasussa tai nesteessä liikkuvien molekyylien välillä. Tasapainotilassa adsorptio- ja desorptioprosessit tapahtuvat yhtä tehokkaasti jolloin adsorbenttina toimiva aine ei enää kykene sitomaan uusia adsorbaatteja pinnalleen. Aktiivihiihlu on rakenteeltaan huokoista ja se sisältää valtavan suuren määrän luolamaisia onkaloita. Aktiivihiihluun efektiivisistä pinta-alasta suurin osa sijaitsee aktiivihiihlu materiaalin sisällä. Aktiivihiihluun efektiivinen pinta-ala vaihtelee laajalti riippuen käytetystä raaka-aineesta ja hiihluun aktiivointiasteesta. Aktiivihiihluun adsorptiopinta-ala vaihtelee sadoista aina yli 1000:een m²/ 1g. Puhtaan

impregnoimattoman aktiivihiihen epäpuhtauksia adsorboivat ominaisuudet perustuvat fyysiseen vetovoimaan, jossa Van der Waalsin voimat vetävät irtonaisia aineita ja molekyyliä, liuoksesta tai seoksesta aktiivihiihen pinnalle. Fyysisen adsorption lisäksi voi kemikaaleilla impregnoitu aktiivihiihi sitoa adsorbaatteja myös kemiallisesti, muodostaen kemiallisen sidoksen impregnointikemikaalin ja adsorbaatin välille. Aktiivihiihi toimii myös sihdin tavoin jolloin suurikokoiset molekyylit jäävät suodattimen pieniin huokosiin kiinni jo pelkän fyysisen kokonsa vuoksi. Käsitteellisesti fyysistä adsorptiota voidaan verrata ferromagneettisten aineiden ja magneetin väliseen vetovoimaan. Fysisorptio on reversiibeli reaktio, jolloin adsorboitunutta ainetta myös vapautuu aineen pinnalta esimerkiksi ulkoisen lämpöenergian vaikutuksesta.

Hiilen pinta on sähköisiltä ominaisuuksiltaan apolaarinen ja pääosin sähköisesti neutraali. Tämä apolaarisuus antaa hiilen pinnalle korkean vetovoiman jokseenkin apolaarisia adsorbentteja sekä suurinta osaa maku-, haju- ja värivirheitä ja haittoja aiheuttavia orgaanisista yhdisteistä kohtaan.

Adsorboituvia aineita/höyryjä:

Orgaanisia yhdisteitä: hapot, alkoholit ja aldehydit

Kloorattuja hiilivetyjä: esterit, eetteri, ketonit, merkaptaanit ja amiinit

Epäorgaanisia yhdisteitä: halogeeneja sisältävät hapot (esim. vetykloridi HCl), halogeenit, rikkihappo, rikkidioksidi ja fosgeeni)

Hajuja: ihmiset, eläimet, jätteet, ruoka ja ruoanlaitto

Puhdistettavan aineen virtausnopeus aktiivihiihen läpi vaikuttaa voimakkaasti adsorptioprosessin tehokkuuteen. Tätä adsorption toteutumiseen kuluva aika kuvataan *Ct*-arvolla. *Ct*-arvo kertoo kuinka paljon adsorbaatteja on adsorbentin vaikutusalueella aikayksikköä kohti. Nopeasti virtaava aine vaikuttaa lyhyemmän

ajan aktiivihiilen pinnalla kuin hitaasti virtaava, joten aktiivihiilen pinnalla tapahtuva adsorptioprosessi ei ehdi toteutua täydellisesti.

Aktiivihiilisuodattimen suodatuksen tehokkuutta voidaankin näin ollen parantaa lisäämällä suodatinkerroksen paksuutta ja poikkipinta-alaa tai pudottamalla suodattimen läpi virtaavan fluidin virtausnopeutta. Ongelmana monissa sovelluksissa on kerroksen paksuutta kasvatettaessa aiheutuva virtausvastuksen merkittävä lisääntyminen. Vastaavasti suodattimen poikkipinta-alan lisääminen vähentää virtausvastusta ja on siten monessa sovelluksessa käyttökelpoisempi tapa kasvattaa adsorbentin määrää suodattimessa.

Aktiivihiiltä on sittemmin käytetty yleisesti vedenpuhdistuksessa, värien poistossa, metallien talteenotossa sekä kemiallisissa ja lääketieteellisissä sovellutuksissa.

Aktiivihiiltä käytetään myös ilmansuodatuksessa, luonnon kaasujen puhdistuksessa (rikin- ja elohopeanpoisto) ja kaasufaasissa olevien aineiden deklorauksessa. Sen avulla voidaan myös suojata katalyytteja ja erilaisia katalysaattoreja, jolloin voidaan estää katalysaattorin toiminnalle haitallisten aineiden, kuten lyijyn kulkeutumista katalysaattorin pinnalle. Myös radioaktiivisia aineita (esim. jodin radioaktiiviset isotoopit) on mahdollista suodattaa aktiivihiilen avulla.

Aktiivihiilen käyttöalueen monimuotoisuus tekee siitä helposti sovellettavan suodatinmateriaalin niin teollisuudessa ja ydinvoimaloissa kuin ruoanvalmistukseen ja lääkinnälliseen käyttöön liittyvissä sovellutuksissa. Aktiivihiiltä on nykyään saatavilla huokoskooltaan ja tehokkuudeltaan tarkasti haluttua käyttösovellusta varten valmistettuna.

Kaiken kaikkiaan aktiivihiilen määrästä suurin osa käytetään nestemäisten aineiden suodatuksen ja vain noin viidennes kaasumaisten aineiden suodatuksen suunnatuissa sovelluksissa.

Aktiivihiiilen rakenne

Aktiivihiiilen rakenne koostuu kolmenlaisista huokosista; mikro-(halkaisija < 2 nm), meso-(halkaisija 2 – 50 nm) ja makrohuokosista (halkaisija yli 50 nm). Huokoskoko vaikuttaa suoraan siihen kuinka suuria partikkeleja/molekyylejä on mahdollista adsorboida adsorbentin pintaan. Aktiivihiiilen huokosten pinta-ala taas vaikuttaa siihen, kuinka paljon adsorbaatteja on mahdollista adsorboida.

Kooltaan pienimmät huokokset muodostavat mikrohuokoisen rakenteen, joka on adsorptiokapasiteetiltaan suurin alue aktiivihiilessä. Aktiivihiiilen mikrohuokoiset alueet ovat tehokkaimpia adsorboitaessa molekyylimassaltaan pieniä ja kiehumispisteeltään alhaisia orgaanisia höyryjä.

Suuremmat huokokset muodostavat makrohuokoisen alueen, joka kykenee adsorboimaan suuria molekyylejä ja molekyylien kokoumia. Makrohuokokset ja mesohuokokset auttavat myös levittämään suodatettavan aineen hiilipartikkelin sisällä sijaitseville adsorptioalueille.

Pienimmät adsorbaatit ovat yleensä voimakkaimmin kiinni aktiivihiilessä, koska ne mahtuvat aktiivihiiilen pienimpiin onkaloihin. Kaksi- tai kolmi-sidoksiset hiilivetyymolekyylit adsorboituvat yksisidoksisia (tydytetyjä) hiilivetyjä paremmin. Fluidin sisältäessä paljon, adsorbentiksi valitun aktiivihiiilen huokoskokoon nähden, liian suuria hiukkasia voi aktiivihiiilen makrohuokoinen alue tukkeutua fyysisesti. Makrohuokoisen alueen tukkeutuessa adsorbaatit eivät pääse kulkeutumaan hiilipartikkelien sisälle ja edelleen aktiivihiiilen meso- ja mikrohuokoiselle alueelle.

2.8 UV- SÄTEILY

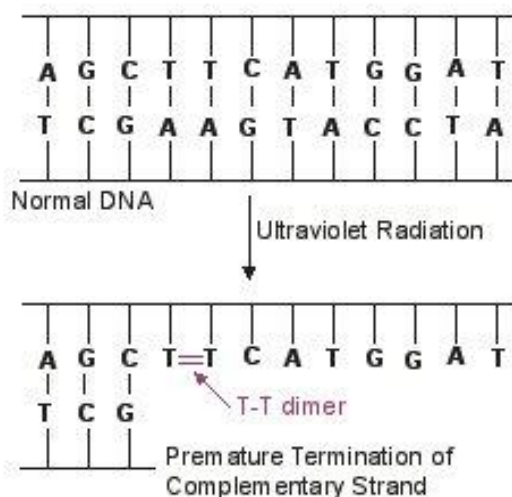
Ultravioletisäteily eli lyhennettynä UV-säteily, on sähkömagneettista säteilyä. Sen aallonpituus on lyhyempi kuin näkyvän valon, mutta pidempi kuin röntgensäteilyn. Ultravioletisäteily jaetaan kolmeen säteilyalueeseen pääasiassa ihmisterveyteen ja ympäristöön aiheuttamien vaikutusten mukaan:

UVA-säteily, aallonpituus 315 – 380 nm

UVB-säteily, aallonpituus 280 – 315 nm

UVC-säteily, aallonpituus 100 – 280nm

Yleisesti ottaen UVA on ultraviolettisäteilyn vaarattomin säteilyalue, mikä johtuu siitä, että sen foton on pienienergiaisinta, mutta se vanhentaa ihoa ja saattaa aiheuttaa geenivaurioita ja siten ihosyöpää. UVB-säteily on yhdistetty ihosyöpiin, kuten melanoomaan. Ultraviolettisäteily muuntaa ihosolujen DNA:ta aiheuttaen tyymiinien välille kovalenttisia sidoksia, (kuva 1). Suurienergiainen UVC-säteily on tehokas keino bakteerien tappamiseen. Alun perin ultraviolettisäteily otettiin käyttöön jäteveden puhdistamisessa, mutta nykyisin yleisempi käyttökohde on juomaveden puhdistus. Myös uima-altaissa käytetään ultraviolettisäteilyyn perustuvia desinfiointilaitteita, jotka vähentävät kemikaalien tarvetta. Ultraviolettilampuilla desinfioidaan myös leikkaussaleja. Desinfiointiin tarkoitetuilla bakterituholampuilla pyritään tuhoamaan bakteerit, virukset, alkueläimet ja niiden kystat. Tehokkain mikrobeja tuhoava aallonpituusalue on 260–265 nm, joka on myös DNA:n maksimiabsorptioaallonpituusalue.



Kuva 1. UV säteilyn vaikutus mikrobin DNA rakenteeseen

Desinfiointissa käytetään matalapaineisia UV-C-elohopealoistelamppuja, koska näiden lamppujen säteilyenergiasta yli 90 prosenttia emittoituu 254 nm aallonpituudella. Tyypillisesti näitä lamppuja käytetään työskentelyalueiden ja -välineiden sterilointiin sairaaloissa, elintarviketeollisuudessa ja tutkimuslaboratorioissa. UV-C-lamppuja käytetään myös talous- ja uimaveden sekä huoneilman desinfiointiin.

UV-C-lamppuja käytettäessä laite tulee koteloida ja asentaa siten, että Valtioneuvoston asetuksessa 146 / 2010 esitetyt enimmäisarvot laitteen läheisyydessä olevan henkilön silmille ja iholle eivät ylitä. Altistuminen suojaamattomalle UV-C-lampulle lähietäisyyksillä eli alle 50 cm päässä ylittää altistumisrajat erittäin lyhyessä ajassa muutamasta sekunnista minuuttiin. Näiden laitteiden tuottamalle (haja)säteilylle on asetettu enimmäisarvoja samoin kuin niiden tuottamalle otsonille. Otsonia syntyy lampun emittoiman UV-C-säteilyn muodostaessa happiradikaaleja, jotka puolestaan yhtyvät kaksiatomiseen happimolekyyliin. Syntynyt reaktiivinen otsoni osallistuu myös bakteerien tuhoamiseen ja saattaa liian suurina pitoisuuksina ärsyttää hengitysteitä ja silmiä.

2.9 ILMANPUHDISTIMEN MERKITYS SISÄILMANLAADULLE

Tarkasteltaessa ilmanpuhdistimen merkitystä sisäilman laadulle joudutaan vastaamaan mm. seuraaviin kysymyksiin:

- miten suuri pitoisuustason aleneminen katsotaan hyväksi
- miten laitteisto tulee mitoittaa, että ko. tavoitteeseen päästään
- miten varmistetaan, että laitteiston tehokkuus säilyy suunnitellulla tasolla pitkäaikaisessa käytössä

Selkeitä määräyksiä tai ohjeita riittävästä pitoisuustason alenemasta ei ole käytettävissä. Eräänä kriteerinä voidaan kuitenkin pitää amerikkalaista suositusta (Association of Home Appliance Manufacturers), jonka mukaan Ilmanpuhdistimen

tulisi aikaansaada 80 % pitoisuuden aleneminen, ts. pitoisuuden tulisi laskea yhteen viidesosaan verrattuna tilanteeseen, jossa puhdistinta ei käytetä.

Huoneilmanpuhdistimella saavutettava puhdistusvaikutus riippuu lähinnä huonetilan tilavuudesta, ja – ilmanvaihdosta, puhdistinlaitteiston ilmavirrasta ja – erotusasteesta sekä epäpuhtauksien luonnollisesta poistumisnopeudesta, kuten laskeutumisesta.

Huoneilman epäpuhtauspitoisuutta lisääviä tekijöitä ovat tuloilman mukana ulkoa tulevat epäpuhtaudet sekä sisäisistä lähteistä vapautuvat epäpuhtaudet. Vastaavasti pitoisuutta alentavia tekijöitä ovat ilmanvaihto sekä epäpuhtauden luonnollinen poistuma (esimerkiksi laskeutumisen vaikutuksesta).

Huonekohtaisella ilmanpuhdistimella on oma pitoisuutta alentava vaikutuksensa. Tämän puhdistusvaikutuksen tulisi olla merkittävästi suurempi kuin ilmanvaihdon ja luonnollisen poistuman aiheuttama puhdistusvaikutus. Puhdistusvaikutusta kuvaavana tunnuslukuna voidaan käyttää pitoisuussuhdetta, joka lasketaan seuraavalla kaavalla 1.

$$(1) \quad \frac{c}{c_{ref}} = \frac{q_0 + X}{q_0 + X + q_e}$$

Tässä lausekkeessa c on epäpuhtauspitoisuus käytettäessä ilmanpuhdistinta, c_{ref} on vastaava pitoisuus, kun ilmanpuhdistinta ei käytetä, q_0 on tilaan tuleva raitisilmavirta, X on luonnollista poistumaa kuvaava tekijä ja q_e on ilmanpuhdistimen tehollinen ilmavirta. Tehollinen ilmavirta on puhdistimen ilmavirran ja erotusasteen tulo. Esimerkiksi laiteella, jonka ilmavirta on 100 m³/h ja erotusaste 80 %, saavutetaan tehollinen ilmavirta 0.8 × 100 m³/h = 80 m³/h. Jos luonnollinen poistuma johtuu yksinomaan hiukkasten laskeutumisesta, on

poistumaa kuvaava tekijä laskeutumisnopeuden ja lattiapinta-alan tulo. Hiukkasten laskeutumisnopeus riippuu hiukkaskoosta taulukossa 3 esitetyllä tavalla.

Taulukko 3. Hiukkasten laskeutumisnopeus hiukkaskoon mukaan

Hiukkaskoko µm	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0	20.0
Laskeutumis- nopeus m/s	0.00001	0.000035	0.00013	0.00077	0.0031	0.0125

Hiukkasten laskeutumisen vaikutus kasvaa yllättävän jyrkästi hiukkaskoon myötä. Esimerkiksi 20 m³ huoneessa 10 µm hiukkasen laskeuma on samanarvoinen 62 dm³/s (220 m³/h) ilmavirran vaikutuksen kanssa. Voidaankin sanoa, että ilmanpuhdistimien mahdollisuudet suurten hiukkasten pitoisuuden alentamiseen ovat heikot.

Suurten hiukkasten laskeutumisesta voi kuitenkin olla seurauksena se, että näiden hiukkasten suhteellinen osuus kokonaispitoisuudesta on monissa tapauksissa vähäinen. Tällöin ihmisen kannalta haittaa aiheuttavat hiukkaset ovat todennäköisesti hiukkaskokoalueella $\leq 10 \mu\text{m}$), joten ilmanpuhdistimella voidaan vaikuttaa vallitsevaan epäpuhtauspitoisuuteen. Ilmasta poistettavien hiukkasten kokojakauma tulisi siis tuntea mahdollisimman tarkoin

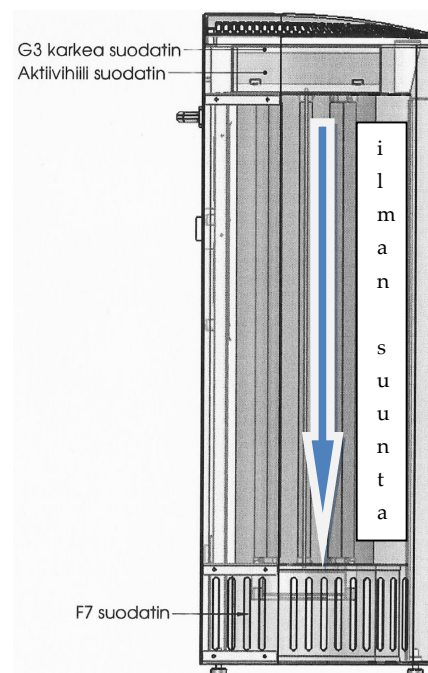
2.10 STERIMAT PUHDISTIN

Tässä tutkimuksessa tarkastelun kohteena on ilman kierrätykseen perustuva puhdistinlaitteisto, joka on kehitetty Teknillisen korkeakoulun Lahden keskuksessa. Laitteistolle on ominaista UVC-valon hyväksi-käyttö ilman desinfiointissa, ts.

tarkoituksena on eliminoida ilmassa leijuvat elolliset hiukkaset UVC-säteilykammioilla (kuva 2). Ilma kiertää laitteessa menen ylhäältä karkean suodattimen ja aktiivihilisuodattimen jälkeen säteilykammion läpi. Ilma poistuu laitteesta alhaalta hienosuodattimen läpi. (kuva 3). Laitteessa on ilmanopeuden säätö 25 – 100 % välillä, sekä paine-eromittaus suodattimien vaihtotarpeen ilmaisemiseksi. (kuva 4).



Kuva 2. Sterimat säteilykammio



Kuva 3. Sterimat leikkauskuva



Korkeus	1280mm
Leveys	450mm
Syvyys	450mm
Paino	40kg

Kuva 4. Sterimat puhdistin

Laitteen on kehittänyt keksijä Ilkka Kaivola vuosituhannen vaihteessa. Kehittämistyöhön osallistui keksijän lisäksi Lahden kaupungin terveystoimikunta, Lahden ympäristö- ja valvontakeskus, kansanterveyslaitoksen erikoistutkija, VTT Biotekniikka ja VTT Automaatio.

Puhdistin tarvitsee toimiakseen vain verkkovirran. Puhdistimen läpi kulkevaa ilmamäärää voidaan säätää ohjainpanelista täysitehosta (n. 300 m³/h) viiden prosentin portain alaspäin aina 25%:iin asti (n. 75 m³/h). Puhdistinta voidaan käyttää kohteissa, joiden ilmassa esiintyy tilassa oleskeleville henkilöille terveyshaittaa aiheuttavia mikrobeja. Taloyhtiöt, huoltoyhtiöt, kiinteistöjen omistajat käyttävät Sterimat puhdistimia ongelmatilojen puhdistamiseen siten, että puhdistin on kohteessa kunnes ongelman aiheuttaja saadaan korjattua minkä jälkeen puhdistin siirretään seuraavaan kohteeseen.

Sterimat puhdistimia on käytössä myös kouluissa, päiväkodeissa, tutkimuslaboratorioissa, toimistoissa, liikehuoneistoissa, yksityisasunnoissa sekä sairaaloissa esim. henkilökunnan huoneissa ja potilaiden hoituhuoneissa. Sairaalassa on ongelmana henkilöstön liikkuvuus ja sairaalatilojen suuri tilavuus. Herkistynyt henkilö saa oireita liikkuaan eri huoneissa ja käytävillä joten puhdistimia tarvitaan paljon jotta koko osasto saadaan puhdistettua.

Kouluissa käytetään puhdistimia siten, että puhdistin sijoitetaan esim. jokaiseen luokkahuoneeseen ja oleskelutilaan. Päiväkodeissa puhdistimet sijoitetaan yleensä joka huoneeseen ja käytäviin tarpeen mukaan. Yksityisasunnoissa puhdistimia käytetään ennen remonttia pitämään tilat asuttavassa kunnossa ja remontin jälkeen puhdistamassa tilat siihen jääneistä epäpuhtauksista.

Ilmamäärän säätö on tarpeellinen kohteissa, joissa puhdistimen läpikulkevan ilman kohina häiritsee henkilöstöä, esim. koululuokissa.

Sterimat puhdistimen suodattimet (karkea suodatin G3, aktiivihiilisuodatin, hienosuodatin F7) vaihdetaan 6 kk:n välein normaaliolosuhteissa. Erittäin pölyisissä kohteissa karkeasuodatin vaihdetaan tarpeen mukaan useammin. Laitteen säteilyelementit vaihdetaan 12kk välein. Huoltosopimuksen tehdessään asiakas saa huolto-ohjelman mukaiset komponentit n. 1 vko ennen niiden vaihtoa.

Kokemukset käyttökohteissa

Taloyhtiöt, huoltoyhtiöt, kiinteistöjen omistajat käyttävät Sterimat puhdistimia ongelmatilojen puhdistamiseen siten, että puhdistin on kohteessa kunnes ongelman aiheuttaja saadaan korjattua minkä jälkeen puhdistin siirretään seuraavaan kohteeseen. Esim. hyvin herkistynyt henkilö asui kerrostalossa jonka kellarikerrokseen tulvi vettä kesällä rankkasateiden vuoksi. Kellarikerroksen häkkivarastossa oli mm. asukkaiden vaatteita säilytyksessä, osa asukkaista oli lomalla eikä näinollen käynyt kellarissa ainakaan kuukauteen. Kellarikerroksen tiloissa oli myös saunaosasto. Asukkaat alkoivat haistaa hommeen hajua ja herkistynyt henkilö menetti äänensä käydesään häkkivarastollaan. Kiinteistön omistaja vuokrasi aktiivihiihellä varustetun Sterimat puhdistimen, joka sijoitettiin kellarikerroksen häkkivarastoon. Tila oli hyvin sokkeloinen, joten puhdistimen toiminnan kannalta ilmankierto oli hankala järjestää, eikä tilan kaikkia häkkivarastoja ollut siihen mennessä tyhjennetty homehtuneista materiaaleista. Tästä

huolimatta tila puhdistui kuukaudessa ja herkistynyt henkilö saattoi oleilla tilassa menettämättä ääntään.

Kiveriön koulu menee ehkä uusiksi

Pahasti kosteusvaurioitun kiveriön koulu saatetaan rakentaa kokonaan uusiksi lähivuosina. Pitkään jatkuneet kosteusongelmat ovat aiheuttaneet joidenkin oppilaiden ja opettajien oirehtimista. Yhdessä luokassa todettiin mikrobeja viime keväänä, mutta vaurio saatiin korjatuksi. Nyt kaikissa luokissa on Sterimat ilmanpuhdistin. Puhdistimien avulla tilanne on saatu pidetyksi hallinnassa. Mikrobeja ei ole enää löytynyt. Mikään pysyvä tilanne tällainen ei tietenkään voi olla, että ilmanpuhdistimia käytetään jatkuvasti. Siksi hankesuunnittelu onkin käynnistymässä (Etelä-Suomen Sanomat 1.12.2010).

Kahta kohdetta lukuunottamatta (kohteissa oli kuituongelma) ovat tilojen käyttäjät olleet tyytyväisiä puhdistimen tuomaan apuun. Kaikissa kohteissa ainakin osa henkilöistä on oireillut ennen puhdistimen asennusta. Jopa vuorokauden jälkeen laitteen käyttöönotosta henkilöt ovat huomanneet ilman laadun parantuneen eli heidän on ollut "helpompi" olla ao.tilassa. Esim. opettajien ääni on kestänyt paremmin koulupäivän ajan.

2.10.1 Tutkittua tietoa puhdistimesta 1997

Ilmanpuhdistinta on kehitysvaiheessa tutkittu Turun Alueyöterveyslaitoksella äänitasojen ja otsonipitoisuuden sekä UV-säteily "päästöjen" osalta. Lausunto/Tu97-364.

Testiolosuhteet ja menetelmät

Laitteen otsonin tuotto (mg/m^3) mitattiin suoraanosoittavalla mittarilla Dasibi mod. 1008-PC. Otsonipitoisuuden ja ilmavirran perusteella laskettiin otsonikehittimen otsonituotto tuntia kohden.

Äänitasot mitattiin puolikaiuttomassa huoneessa äänitasomittarilla Delta Ohm Sound level Meter HD 8701 metrin etäisyydellä laitteesta.

Ultraviolettisäteilyä mitattiin valaisumittarilla Airam UVM-8 käyttäen anturia UVM-8BC. UV-säteily mitattiin ilmankulkuaukosta sekä 50 cm:n etäisyydeltä niistä.

Otsonin tuotto

Työperäiselle altistumiselle on Suomessa annettu haitalliseksi tunnettu pitoisuus HTP-arvo 0,05 ppm kahdeksan tunnin altistumisjaksoa kohti (TTL).

Laite tuotti otsonia 0,036 mg/m² riippumatta ilmanvirtauksesta tai siitä, oliko laite koko- tai 1/2-teholla. Otsonin taustapitoisuus mittaustilanteessa oli 0,016 mg/m².

Laitteen äänitaso

Rakennusmääräyskokoelmassa ei ole erikseen annettu äänitasovaatimuksia ilmanpuhdistimille. Äänitasovaatimuksina voidaan käyttää ilmanvaihtojärjestelmälle asetettuja vaatimuksia jotka tilan käyttötarkoituksesta riippuen vaihtelevat egivalenttitasona välillä 28 – 43 dB ja maximitasona välillä 33 – 48 dB (Rakennusmääräyskokoelma C1/äänieristys 1985).

Sterimat –ilmanpuhdistimen äänitaso vaihteli välillä 25 – 58 dB.

Laitteen tuottaman ultraviolettisäteilyn määrä

Ultraviolettisäteilyä synnyttävien laitteiden aiheuttama säteilyaltistuminen on pidettävä sellaisena, ettei lyhytaikaisesta altistumisesta aiheudu välittömiä terveyshaittoja ja pitkäaikaisesta altistumisesta aiheutuvat terveyshaitat ovat mahdollisimman vähäisiä(2006/25/EY).

Sterimat ilmanpuhdistimessa säteilykammion tuottaman ultraviolettisäteilyn pääsyä huoneilmaan ehkäistään hienosuodattimella ja sen sisään asennetulla mustalla suodatinmatolla.

Laitteen vaikutus mikrobin elinkykyisyyteen:

Kenttätutkimukset

Prototyypin 1 tehokkuutta testattiin kenttäkokeilla Kiveriön ala-asteen kahdessa luokassa heinäkuussa 1997. Luokkahuone A, tilavuus 200m³ oli testin aikana rakennutöiden jäljiltä täysin siivoamattomassa tilassa. Luokkahuone B oli edellisen kanssa identtinen, mutta se siivottiin ja desinfioitiin ennen testiä. Tutkimuksen tulokset on esitetty taulukossa 4. Tutkimuksen tuloksista havaitaan, että laitteen käyttö pienensi sisäilman mikrobipitoisuuksia merkittävästi.

Taulukko 4. Sterimat laitteen suorituskykytutkimus Kiveriön ala-aste 1997

Lahden tutkimuslaboratorio					
Näytteenotto pvm	Näytteenotto paikka	klo	T/°C	RH %	Homepesäkkeet pmy
970701	luokka A	10:00	25,1	74	850
970701	luokka A	12:00	26,1	72	330
970701	luokka A	14:30	27,7	67	190
970702	luokka A	10:00	28,8	60	190
970702	luokka B	10:30			390
970702	luokka B	12:30	26,9	74	340
970702	luokka B	14:30	27,8	71	120
970703	luokka B	8:45	29,0	64	87

Toisessa tutkimuksessa mittauskohteena oli osittain maanalainen 6 m korkea juhlasalitila näyttämöineen sekä kerhotiloineen, jotka yhdessä muodostavat avoimen n. 1000m³ tilan. Tilan ilmamassoja liikutettiin lisäpuhaltimen voimakkaalla vaakasuoralla virtauksella. Tutkimuksen tulokset on esitetty taulukossa 5. Tuloksista havaitaan, että laitteen käyttö pienensi sisäilman mikrobipitoisuuksia merkittävästi laitteen ollessa toiminnassa, mikrobipitoisuudet kohosivat heti (kts.4-6 vrk tulokset, taulukko 5) kun puhdistin ei ollut toiminnassa.

Taulukko 5. Sterimat laitteen suorituskykytutkimus Nuorisotalo 1997

Perusarvo	550 pmy/ m ³	31.10 perjantai
+ 3 vrk	69 pmy/m ³	03.11 maanantai
+4 vrk	49 pmy/m ³	04.11 tiistai
+ 5 vrk	190 pmy/m ³	05.11 keskiviikko *
+6 vrk	29 pmy/ m ³	06.11 torstai
+7 vrk	20 pmy/m ³	07.11 perjantai
+10 vrk	260 pmy/m ³	10.11 maanantai**
+17 vrk	230 pmy/m ³	17.11 maanantai ***
+21 vrk	71 pmy/m ³	21.11 maanantai

* 5.11 Sterimat ja lisäpuhallin oli irroitettu verkkovirrasta

** 10.11 Muihin tiloihin johtavat ovet oli jätetty auki

*** 17.11 samutettiin lisäpuhallin ja Sterimat puhdistin

Laboratoriotutkimukset

VTT:n toteuttamassa tutkimuksessa (BEL771/1999)

Homeitiösuspensio tuotettiin kasvattamalla ensin *Aspergillus niger*- hometta ja sumuttamalla valittuja itiölaimennoksia lääkesumuttimesta paineilmalla. Sumuttimesta lähtevä ainemäärä mitattiin punnitsemalla. Laitteeseen syötettävä homeitiömäärä pyrittiin säätämään todellisia olosuhteita vastaavaksi (300-1000 pmy/m³).

Mikrobien UV-säteilyn kestäkykyä kuvaavana suurena käytetään yleensä D10-arvoa (UV-säteilytehoxaika/säteilytetty pinta-ala, Ws/m²). Mikrobien D10-arvot vaihtelevat huomattavasti. Yleisimmillä homeilla D10-arvo vaihtelee 130-1320 Ws/m². (Brown, 1996). Tässä kokeessa käytetty *A. Niger*-home on kirjallisuuden mukaan hyvin resistentti UV-säteilylle (Brown, K.L. 1996).

Tulokset on esitetty taulukoissa 5 ja 6. UV-säteily tuhosi homeitiöitä tehokkaimmin laitteen toimiessa 42 dm³/s ilmavirralla. *Penicillium chrysogenum*-itiöistä tuhoutui 98 % ja *Aspergillus niger*-itiöistä 60 %. Ilmavirralla 80 dm³/s *Penicillium chrysogenum*-itiöistä tuhoutui 89 % ja *Aspergillus niger*-itiöistä 56 %.

Taulukko 6. *Penicillium chrysogenum* tulokset, VTT 11/2000

	Ilmavirta dm³/s	pmy/m³ keskiarvo	hajonta	cv%	Vähennys %
UV päällä	135	>2,7x10 ⁴			0
UV pois	135	>2,7x10 ⁴			
UV päällä	80	5767	551	9,6	89
UV pois	80	2,7x10 ⁴			
UV päällä	42	3500	436	12,4	98,5
UV pois	42	>2,7x10 ⁴			

Taulukko 7. *Aspergillus niger* tulokset, VTT 11/2000

	Ilmavirta dm³/s	pmy/m³ keskiarvo	hajonta	cv%	Vähennys %
UV päällä	135	70	26	37	4
UV pois	135	73	6	8	
UV päällä	80	80	17	21	56
UV pois	80	180			
UV päällä	42	107	15	14	60
UV pois	42	267	67	25	

3 *Tavoite*

Tutkimuksen tavoitteena oli saada tutkimustulokset, joita voidaan hyödyntää sisäilmaongelmista kärsivien henkilöiden terveydensuojelussa ennaltaehkäisevästi. Tutkimuksella saatuja tuloksia voidaan soveltaa työterveyshuollossa antamalla tietoa työnantajille laitteen tuomasta todellisesta avusta. Myös yksityishenkilöt hyötyvät tutkimus-tuloksista etsiessään mikrobivaurioituneeseen kohteeseen ensiapua kohteen korjausta odottaessa.

4 *Aineisto ja menetelmät*

Tutkimus tehtiin 2-osaisena, joista toinen suoritettiin laboratoriotutkimuksena Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitoksella, ja toinen kenttäkokeilla viidessä eri tilassa. Tutkimuksessa seurattiin ilman mikrobipitoisuutta kuusivaiheisilla impaktoreilla. Kenttäkokeissa mitattiin myös ulko- ja sisäilman paine-erot ja suoritettiin oirekysely yhdessä kohteessa.

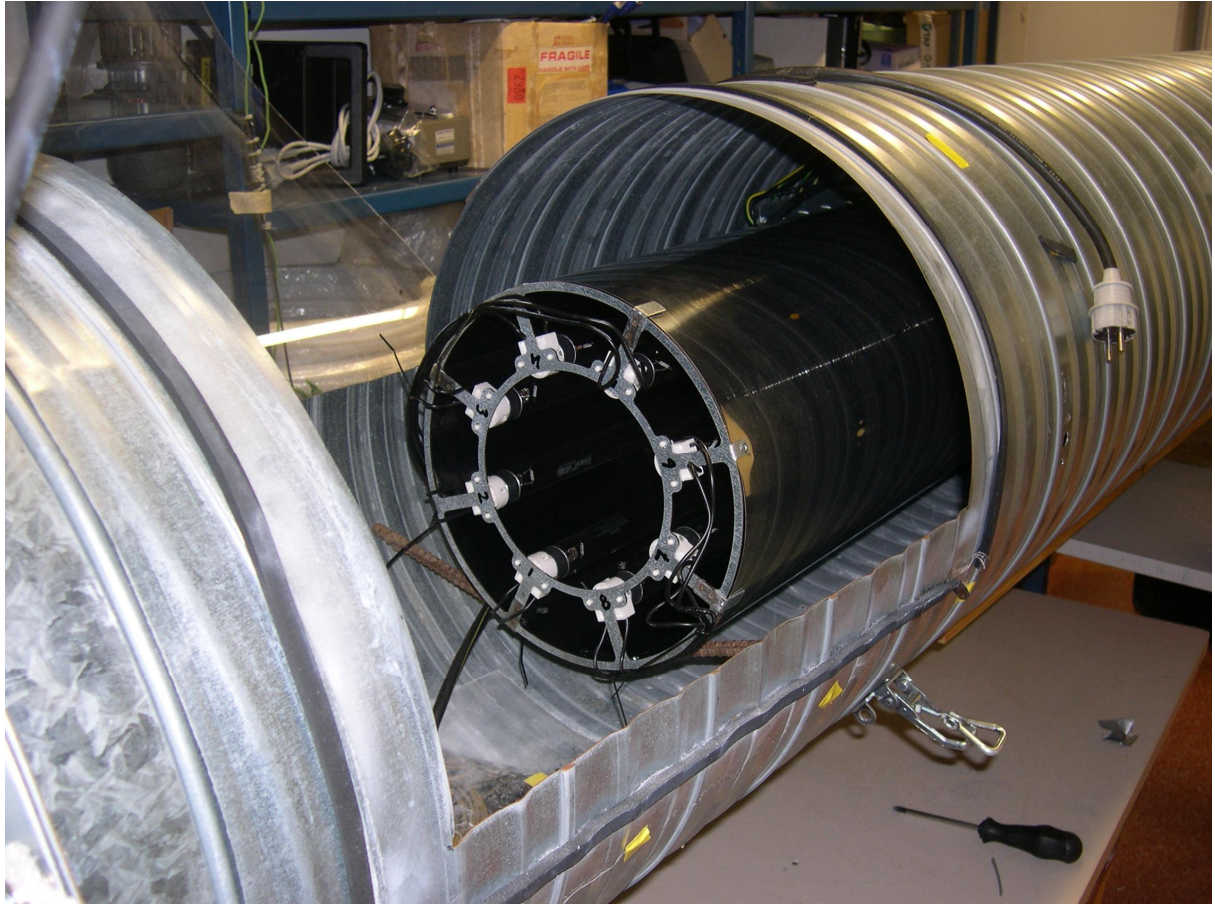
Laboratoriotutkimukset

Ilmanpuhdistimen mikrobienerotustehokkuus testattiin laboratoriossa suoritettujen testauksen avulla.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Sterimat ilmanpuhdistimen säteilykammion mikrobien erotuskykyä. Testissä käytettiin elinkykyisten mikrobien erotuskyvyn määrittämisessä integroivaa näytteenottotekniikkaa (isokineettinen näytteenotto Andersen -keräimellä) ja määrittämismenetelmänä viljelytekniikkaa.

Koejärjestelyä varten Sterimat ilmanpuhdistimen säteilykammio laitettiin tuulitunnelin osaan tiiviisti siten, että ilma virtaa vain laitteen läpi (kuva 5 ja kuva 7). Ilman virtausnopeutena tuulitunnelissa käytettiin 1 m/s, mikä vastaa Sterimat

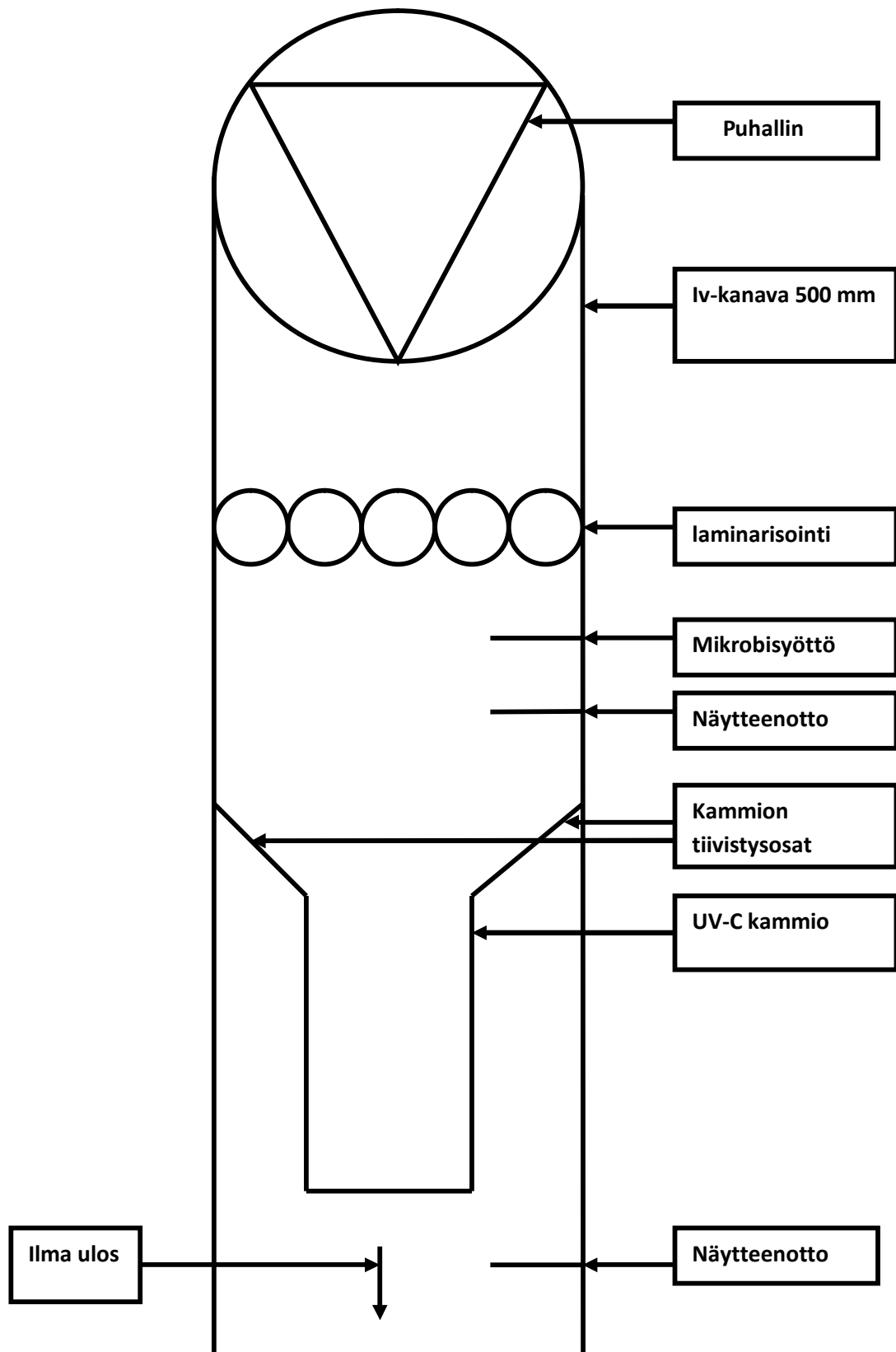
keskimääräistä virtausnopeutta käyttöolosuhteissa. Tuulitunnelin puhallin on portaattomasti ohjattavissa taajuusmuuttajan avulla aina 20 m/s virtausnopeuteen saakka.



Kuva 5. Säteilykammio tuulitunnelissa



Kuva 6. Elävien mikrobien keruu puhdistimen jälkeen



Kuva 7. Periaatekuva säteilykammion sijoituksesta tuulitunnelissa

Mikrobiaerosolien tuottamiseksi kasvatettiin ensin tutkittavista mikrobeista *Penicillium brevicompactum* ja *Bacillus subtilis* puhdasviljelmät, joista valmistettiin mikrobisuspensiot. Käytettävä bioaerosoli tuotettiin tuulitunneliin generoimalla mikrobisuspensioita modifioidulla TSI atomizer generaattorilla (Kuva 7). Puhdistimeen menevän aerosolin ilmanpitoisuus pyrittiin säätämään suspensioita laimentamalla noin kahteen kolmasosaan mikrobimääritysmenetelmän ylärajasta. Aerosolin tuotto ja sen stabiilisuus testattiin esikokeissa ennen varsinaisia testiajoja jatkuvatoimisesti hiukkaspitoisuutta mittaamalla. Testin toteutuksessa huomioitiin ennen ja jälkeen puhdistinta olevien hiukkasmäärien suuri ero ja näytteenottoajat säädettiin määritysalueen vaatimiksi. Tuulitunnelista otettiin mikrobinäytteet ennen puhdistinta ja puhdistimen jälkeen kuusivaiheisilla Andersen-keräimillä, joihin oli asennettu kanavasta tapahtuvaan ilmanäytteen ottoon suunniteltu sondi (Kuva 6). Näytteenotto tehtiin *Penicillium brevicompactum* homesienen osalta mallasuutealustalle ja *Bacillus subtilis* bakteerin osalta spesifiselle alustalle. Testin luotettavuuden varmistamiseksi erotusastemittaukset toistettiin kolme kertaa sekä bakteeri- että homesieni-itiötestauksessa. Tuotettu mikrobiaerosoli suodatettiin kuitusuodattimella ennen ilmavirran ohjausta ulos. Testaajien altistuminen minimoitiin tunnelin huolellisella tiivistämisellä ja järjestelmän puhdistamisen yhteydessä käytettiin henkilökohtaisia suojaimia. Testauksen tavoitteena oli selvittää Sterimat ilmanpuhdistimen mikrobien erotuskykyä.

Kenttätutkimukset

Kenttätutkimuksissa ensimmäiset ilmanäytteet Andersen keräimillä (Kuva 8) otettiin ennen laitteiden sijoitusta tiloihin ja toinen mittaus tehtiin juuri ennen laitteiden poistamista tiloista. Kenttätutkimukset suoritettiin kolmessa kohteessa, joista yksi oli koulu (sama kohde kuin oirekyselytutkimuksessa), ja kaksi muuta toimistotiloja.

Tilat olivat mittausten aikana normaalissa käytössä, koulun näytteet otettiin välituntien aikana.

Kohteista kerättiin Andersen 6-vaiheimpaktorilla ilmanäytteet kasvatusalustoille mikrobiologista analysointia (TY04-TY-035) varten ennen ja jälkeen testijakson. Kasvatusalustoina käytettiin mesofiilisille sienille Hagem-agar ja DG18-agar maljoja, mesofiilisille bakteereille ja mesofiilisille aktinobakteereille THG-agar maljoja.



Kuva 8. Ilmanäytteen otto Andersen-keräimellä

Lisäksi kenttäkokeisiin kuului paine-erojen mittaus niissä tiloissa, joissa ilmanpuhdistin oli käytössä. Mittausta ei suoritettu laitteiden poisviennin jälkeen. Yhdessä kohteessa tiloissa oleville henkilöille tehtiin myös oirekyselyt, joiden ajankohta ja pituus oli sama kuin laitteiden tiloissa oloaika. Kahdessa kohteessa kyselyä ei suoritettu, koska niissä henkilömäärä oli pieni eikä tiloissa työskennellyt koko aikaa samat henkilöt, joka olisi ollut edellytys oirekyselyn suorittamiselle.

Kenttäkokeisiin valittiin 1980-luvun alussa rakennettu elementtirakenteinen oppilaitos sekä kaksi 1980-luvun lopulla ja 2000-luvun puolivälissä rakennettua julkista rakennusta.

Oppilaitoksessa on tehty erilaisia rakenteisiin liittyviä korjauksia ulko- ja sisäpuolella. Ilmanvaihtoa on lisätty ja koneita on uusittu.

Julkisissa rakennuksissa ongelmia on ollut sisäilman laatuun liittyen ja toisessa kohteessa oli havaittu vähän aikaa sitten kosteusvaurio, joka on korjattu. Kohteisiin suoritetuista muista korjauksista ei tutkimuksen suorittajilla ollut tietoa.

Oirepäiväkirjakyseily

Kysely tehtiin käyttäen Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksella (THL) suunniteltua oirepäiväkirjaa. Tavoitteena oli tarkastella mahdollisia muutoksia oireissa ilmanpuhdistimen vaikutuksesta. Ilmanpuhdistin oli päällä koko kuuden viikon jakson ajan: 3 ensimmäistä viikkoa ilman suodattimia ja säteilyelementtejä ja 3 viimeistä viikkoa säteilyelementein ja suodattimin varustettuna. Näin ollen ilmanpuhdistin oli asianmukaisessa toiminnassa kolme viimeistä viikkoa. Jatkossa kolme ensimmäistä viikkoa kuvataan sanoilla "puhdistin ei toiminnassa" ja kolme viimeistä viikkoa "puhdistin toiminnassa".

Muuttujien välisiä eroja testattiin tilastollisella SAS-ohjelmistolla käyttäen χ^2 -testiä.

Aineistosta muodostettiin muuttujia, joiden avulla voitiin tarkastella, oliko opettajien oireissa ja sisäilmatekijöiden esiintymisessä eroa ensimmäisen kolmen viikon jakson ja toisen kolmen viikon jakson välillä sekä ensimmäisen kolmen viikon jakson ja viimeisen viikon välillä. Jälkimmäinen vertailu tehtiin siksi, että viimeisellä viikolla ilmanpuhdistimen mahdollinen vaikutus on teoreettisesti suurin olettaen, että ilmanpuhdistin on ehtinyt poistaa epäpuhtauksia pidempään.

5 Tulokset ja tulosten tarkastelu

5.1 LABORATORIOKOKKEET

Taulukossa 8 on esitetty ilman *Penicillium Breviconpactum* pitoisuudet ennen puhdistinta ja puhdistimen jälkeen, puhdistimen UV-valon ollessa päällä ja sen ollessa pois päältä. Puhdistimen pienentävä vaikutus elinkykyisten pitoisuuteen vaihteli 75-100 prosentin välillä. Laboratoriokokeissa käytetyt ilman homesieni-pitoisuudet olivat epätyypillisen korkeita ja ylittivät keräysmenetelmän määrittämissä rajat. Tämän vuoksi erotuskyky täytyi laskea vain osasta vaiheista laskettujen tulosten perusteella.

Taulukko 8. UVC-säteilykammion vaikutus *Penicillium Breviconpactum* sieneen

Testi 1 (10 min)

Näyte	Ilmanpitoisuudet korjauksen jälkeen							Yht. vaiheet 1-2	Vertailuluku ennen puhdistinta mitattuun pitoisuuteen
	Vaihe								
	1	2	3	4	5	6	yht.		
Ennen puhdistinta UV	258	657	2548	*	1763	0	*	915	
Puhdistimen jälkeen UV	700	1088	*	*	898	0	*	1788	2,0
Ennen puhd. ei-UV	636	442	1067	*	3120	7	*	1078	
Puhd. jälkeen ei-UV	6516	1749	1724	*	*	7	*	8255	7,7
UV:n käytön vähentävä vaikutus sieni-itiöiden pitoisuuteen									75 %

*pitoisuus yli määrittämissä rajat

Testi 2 (5 min)

Näyte	Ilmanpitoisuudet korjauksen jälkeen							Yht. vaiheet 1-2	Vertailuluku ennen puhdistinta mitattuun pitoisuuteen
	Vaihe								
	1	2	3	4	5	6	yht.		
Ennen puhdistinta UV	781	1484	*	*	5530	0	*	2265	
Puhdistimen jälkeen UV	11	14	60	120	18	0	103	25	0,01
Ennen puhd. ei-UV	251	898	3809	*	671	0	*	1149	
Puhd. jälkeen ei-UV	735	1145	7516	*	*	4	*	1880	1,6
UV:n käytön vähentävä vaikutus sieni-itiöiden pitoisuuteen									99 %

*pitoisuus yli määrittämissä rajat

Testi 3 (15 min)

Näyte	Ilmanpitoisuudet korjauksen jälkeen							Yht. vaiheet 1-3	Vertailuluku ennen puhdistinta mitattuun pitoisuuteen
	Vaihe								
	1	2	3	4	5	6	yht.		
Ennen puhdistinta UV	46	60	152	*	*	0	*	258	
Puhdistimen jälkeen UV	0	4	4	120	88	0	216	8	0,03
Ennen puhd. ei-UV	92	148	148	*	*	0	*	388	
Puhd. jälkeen ei-UV	205	223	113	*	6516	7	*	541	1,4
UV:n käytön vähentävä vaikutus sieni-itiöiden pitoisuuteen									98 %

*pitoisuus yli määrittämissä rajat

Testi 4 (10 min)

Näyte	Ilmanpitoisuudet korjauksen jälkeen							Yht. vaiheet 1-3	Vertailuluku ennen puhdistinta mitattuun pitoisuuteen
	Vaihe								
	1	2	3	4	5	6	yht.		
Ennen puhdistinta UV	131	57	424	*	6516	0	*	612	
Puhdistimen jälkeen UV	0	0	0	102	39	0	141	0	0,00
Ennen puhd. ei-UV	28	21	95	*	2777	0	2921	144	
Puhd. jälkeen ei-UV	35	28	148	*	*	0	*	211	1,5
UV:n käytön vähentävä vaikutus sieni-itiöiden pitoisuuteen									100 %

*pitoisuus yli määrittämissä rajat

Taulukossa 9 on esitetty ilman Bacillus bakteerin pitoisuudet ennen puhdistinta ja puhdistimen jälkeen, puhdistimen UV-valon ollessa päällä ja sen ollessa pois päältä. Puhdistimen pienentävä vaikutus elinkykyisten pitoisuuteen oli 100 prosenttia.

Taulukko 9. UVC-säteilykammion vaikutus Bacillus bakteeriin

Testi 1 (15 min)

Näyte	Ilmanpitoisuudet korjauksen jälkeen							Vertailuluku ennen puhdistinta mitattuun pitoisuuteen
	Vaihe							
	1	2	3	4	5	6	yht.	
Ennen puhdistinta UV	113	67	148	120	39	0	487	
Puhdistimen jälkeen UV	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Ennen puhdistinta ei-UV	127	102	244	177	95	0	745	
Puhdistimen jälkeen ei-UV	39	28	42	74	18	0	201	0,27
UV:n käytön vähentävä vaikutus Bacillus subtilis pitoisuuteen								100 %

Testi 2 (20 min)

Näyte	Ilmanpitoisuudet korjauksen jälkeen							Vertailuluku ennen puhdistinta mitattuun pitoisuuteen
	Vaihe							
	1	2	3	4	5	6	yht.	
Ennen puhdistinta UV	233	244	424	293	64	0	1258	
Puhdistimen jälkeen UV	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Ennen puhdistinta ei-UV	120	198	276	226	57	0	877	
Puhdistimen jälkeen ei-UV	166	131	244	247	85	14	887	1,01
UV:n käytön vähentävä vaikutus Bacillus subtilis pitoisuuteen								100 %

Testi 3 (15 min)

Näyte	Ilmanpitoisuudet korjauksen jälkeen							Vertailuluku ennen puhdistinta mitattuun pitoisuuteen
	Vaihe							
	1	2	3	4	5	6	yht.	
Ennen puhdistinta UV	88	117	290	244	85	0	824	
Puhdistimen jälkeen UV	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Ennen puhdistinta ei-UV	194	265	615	551	290	0	1915	
Puhdistimen jälkeen ei-UV	28	39	67	88	49	0	271	0,14
UV:n käytön vähentävä vaikutus Bacillus subtilis pitoisuuteen								100 %

Taulukossa 10 on esitetty ilman kokonaisbakteerien pitoisuudet ennen puhdistinta ja puhdistimen jälkeen, puhdistimen UV-valon ollessa päällä ja sen ollessa pois päältä. Puhdistimen pienentävä vaikutus elinkykyisten pitoisuuteen vaihteli 94-100 prosentin välillä.

Taulukko 10. UVC-säteilykammoin vaikutus kokonaisbakteereihin

Testi 1 (15 min)

Näyte	Ilmanpitoisuudet korjauksen jälkeen							Vertailuluku ennen puhdistinta mitattuun pitoisuuteen
	Vaihe							
	1	2	3	4	5	6	yht.	
Ennen puhdistinta UV	113	67	152	138	57	0	527	
Puhdistimen jälkeen UV	0	0	0	4	0	0	4	0,01
Ennen puhdistinta ei-UV	127	106	247	201	99	0	780	
Puhdistimen jälkeen ei-UV	39	28	46	78	67	4	262	0,33
UV:n käytön vähentävä vaikutus kokonaisbakteerien pitoisuuteen								98 %

Testi 2 (20 min)

Näyte	Ilmanpitoisuudet korjauksen jälkeen							Vertailuluku ennen puhdistinta mitattuun pitoisuuteen
	Vaihe							
	1	2	3	4	5	6	yht.	
Ennen puhdistinta UV	233	244	424	297	92	0	1290	
Puhdistimen jälkeen UV	0	0	4	4	0	0	8	0,01
Ennen puhdistinta ei-UV	120	198	297	251	131	18	1015	
Puhdistimen jälkeen ei-UV	166	131	254	269	170	21	1011	1,00
UV:n käytön vähentävä vaikutus kokonaisbakteerien pitoisuuteen								99 %

Testi 3 (15 min)

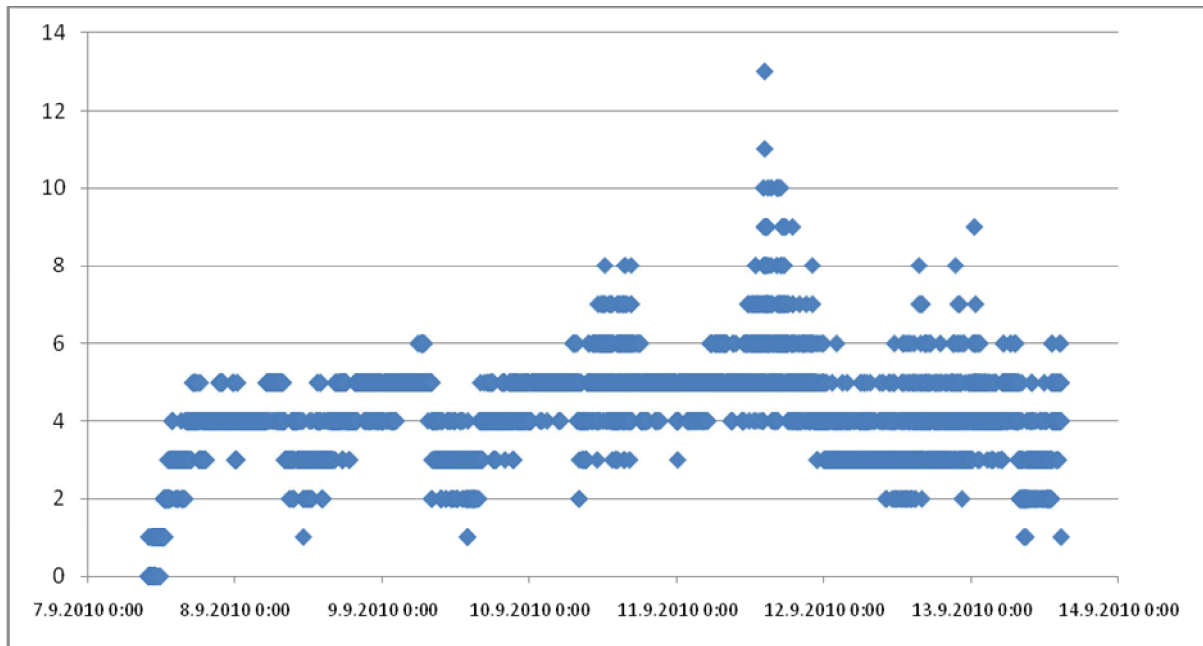
Näyte	Ilmanpitoisuudet korjauksen jälkeen							Vertailuluku ennen puhdistinta mitattuun pitoisuuteen
	Vaihe							
	1	2	3	4	5	6	yht.	
Ennen puhdistinta UV	88	117	290	244	102	0	841	
Puhdistimen jälkeen UV	0	0	4	4	0	0	8	0,01
Ennen puhdistinta ei-UV	198	265	615	555	311	4	1948	
Puhdistimen jälkeen ei-UV	28	39	67	95	60	0	289	0,15
UV:n käytön vähentävä vaikutus kokonaisbakteerien pitoisuuteen								94 %

5.2 KENTTÄTUTKIMUS

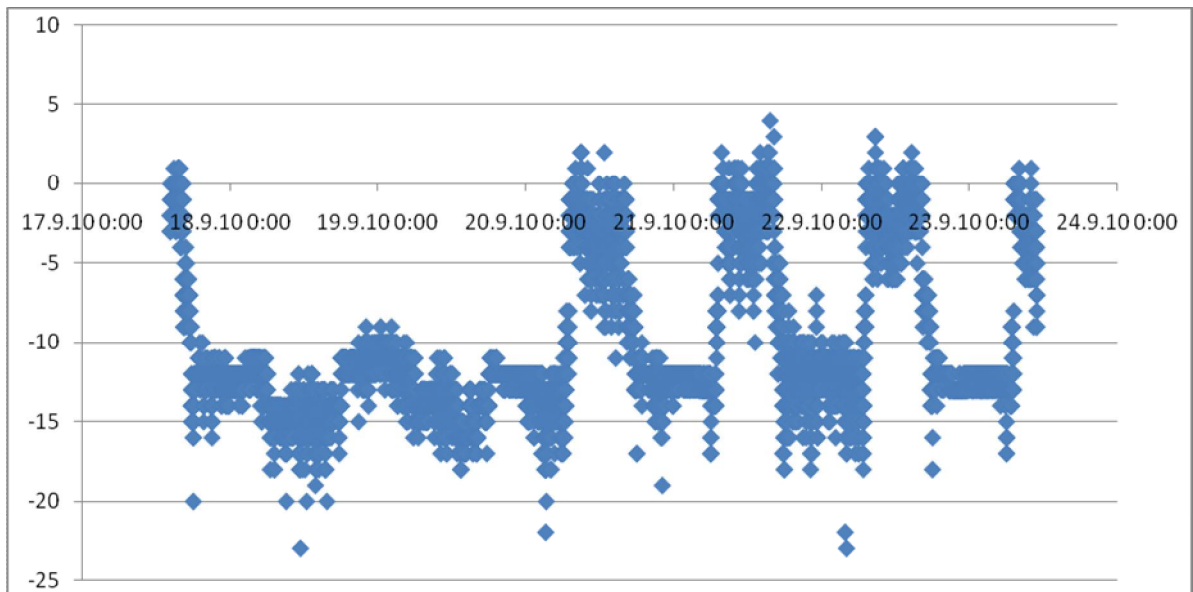
Paine-eromittaukset

Kenttätutkimuskohteissa tehdyt paine-eromittaukset osoittivat tutkimuskohteiden painesuhteissa huomattavia eroja kuten kuvista 4 – 6 voidaan havaita.

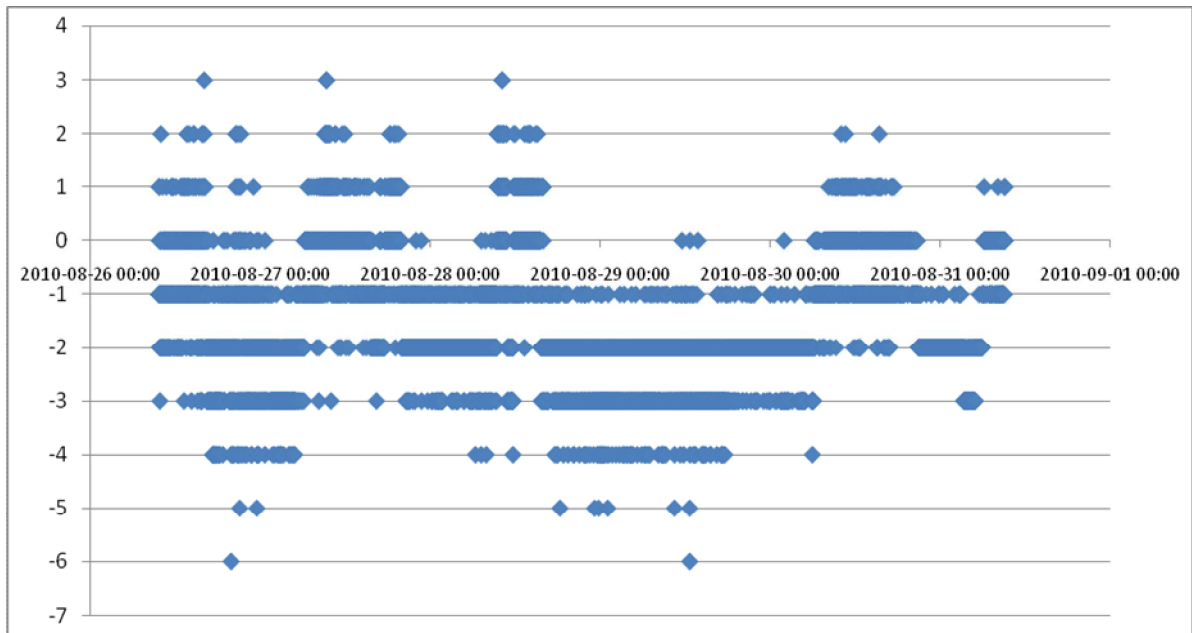
Kohteessa 1 (Teknia) tila oli ylipaineinen (Kuva 9) koko tutkimusjakson ajan. Kohteessa 2 (Mediteknia) tutkittu tila oli pääosin selkeästi alipaineinen (viikonloppu ja yöt), mutta päivällä välillä tila oli myös ylipaineinen (Kuva 10). Kohteessa 3 (Koulu X) tutkittu tila oli pääosin alipaineinen tutkimusjakson aikana, mutta välillä tila oli myös ylipaineinen (Kuva 11). Suomen rakentamismääräyksen D2:n mukaan rakennus suunnitellaan yleensä ulkoilmaan nähden hieman alipaineiseksi, jotta voitaisiin välttyä kosteusvaurioilta rakenteissa sekä mikrobien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Alipaine ei kuitenkaan saa yleensä olla suurempi kuin 30 Pa. Ulkoilmaan nähden ylipaineiseksi voidaan kuitenkin suunnitella erikoistiloja, kuten puhdashuonetiloja, ja sellaisia tiloja, joissa toiminnasta johtuen ulko-ovia tai muita aukkoja pidetään usein auki. Kohteen 1 jatkuva ylipaineinen tila voi johtaa pitkään jatkuessaan kosteusvaurioihin rakenteissa ja heikentää sisäilman laatua. Kohteiden 2 ja 3 painesuhteista ei aiheudu yhtä suurta kosteusvaurioriskiä rakenteille, kuin kohteessa 1, mutta niissäkin olisi suositeltavaa tehdä ilmanvaihdon säätö.



Kuva 9. Painesuhteet TEKNIKIA



Kuva 10. Painesuhteet MEDITEKNIA



Kuva 11. Painesuhteet koulu X

Mikrobipitoisuudet

Taulukossa 11 on esitetty mikrobipitoisuuksien kokonaismäärät sekä merkittävimmät pitoisuudet kohteittain tutkimusjakson alussa 13.09.2010. Tutkimuksen kohteina olevissa tiloissa sisäilmanäytteiden sieni-itiöpitoisuudet olivat molemmilla mittauskeroilla pienempiä kuin otetuissa vertailunäytteissä. Näytteiden mikrobilajisto oli tavanomainen.

Taulukko 11. Mikrobipitoisuuksien kokonaismäärät 13.09.2010

Näyte	Mesofiiliset sienet Hagem-agar	Mesofiiliset sienet DG18-agar	Mesofiiliset bakteerit THG-agar
Tieto-tekniä	Yhteensä 436 Cladosporium 203 basidomykeetit 105 Penicillium 33	Yhteensä 260 Cladosporium 187 Penicillium 27	Yhteensä 174
Tieto-tekniä vertailu	Yhteensä 1088 Cladosporium 724 Penicillium 90 basidomykeetit 75	Yhteensä 900 Cladosporium 578 Penicillium 199	Yhteensä 469
Medi-tekniä	Yhteensä 32	Yhteensä 0	Yhteensä 33
Medi-tekniä vertailu	Yhteensä 1210 Cladosporium 888 Ceothrichum 112	Yhteensä 1001 Cladosporium 803	Yhteensä 490
Koulu tila 1	Yhteensä 87 Cladosporium 34 Geothrichum 27	Yhteensä 87 Cladosporium 56	Yhteensä 146
Koulu tila 2	Yhteensä 31	Yhteensä 30	Yhteensä 629
Koulu tila 3	Yhteensä 42	Yhteensä 21	Yhteensä 344
Koulu vertailu	Yhteensä 651 Cladosporium 201 Geothrichum 133 steriilit 120	Yhteensä 780 Cladosporium 304 steriilit 185	Yhteensä 75

Taulukossa 12 on esitetty mikrobipitoisuuksien kokonaismäärät sekä merkittävimmät pitoisuudet kohteittain tutkimusjakson lopussa 14.10.2010.

Taulukko 12. Mikrobipitoisuuksien kokonaismäärät 14.10.2010

Näyte	Mesofiilliset sienet Hagem-agar		Mesofiilliset sienet DG18-agar		Mesofiilliset bakteerit THG-agar	
Tieto-tekniä	Yhteensä	59	Yhteensä	65	Yhteensä	24
	Cladosporium	2	Cladosporium	7		
	basidomykeetit	21	Penicillium	5		
	Penicillium	9				
Tieto-tekniä vertailu	Yhteensä	518	Yhteensä	284	Yhteensä	46
	Cladosporium	41	Cladosporium	37		
	Penicillium	85	Penicillium	48		
	basidomykeetit	133				
Medi-tekniä	Yhteensä	2	Yhteensä	2	Yhteensä	21
Medi-tekniä vertailu	Yhteensä	380	Yhteensä	266	Yhteensä	117
	Cladosporium	59	Cladosporium	58		
	Geothrichum	88				
Koulu tila 1	Yhteensä	20	Yhteensä	11	Yhteensä	139
	Cladosporium	5	Cladosporium	5		
	Geothrichum	9				
Koulu tila 2	Yhteensä	2	Yhteensä	7	Yhteensä	172
Koulu tila 3	Yhteensä	6	Yhteensä	2	Yhteensä	137
Koulu vertailu	Yhteensä	315	Yhteensä	224	Yhteensä	124
	Cladosporium	40	Cladosporium	72		
	Geothrichum	133	steriilit	185		
	steriilit	120				

Taulukossa 13 on esitetty mikrobipitoisuuden alenema kussakin kohteessa ulkoilmaan verrattuna. Esim. mesofiilliset sienet 13.09.2010 vertailuluku 0,35 tarkoittaa, että sisällä on ollut 35% pitoisuus senhetkiseen ulkoilman pitoisuuteen verrattuna ja samassa kohteessa on 14.10.2010 sisäilman pitoisuus on ollut 15% senhetkiseen ulkoilman pitoisuuteen verrattuna. Kenttätutkimuksen tuloksista nähdään, että Sterimat ilmanpuhdistin alensi huoneilman mikrobipitoisuutta ulkoilmaan verrattuna muissa kun kahdessa toimistuhuoneessa bakteerien osalta.

Taulukko 13. Kenttäkohteissa mitattujen mesofiilisten sienten ja bakteerien vertailuluvut ennen puhdistinta (13.9.2010) ja puhdistimen käytön jälkeen (14.10.2010) sekä muutos%. Vertailuluku on saatu jakamalla sisäilman mikrobipitoisuus samanaikaisella ulkoilman mikrobipitoisuudella.

Kohde	Vertailuluku mesofiiliset sienet 13.9.	Vertailuluku mesofiiliset sienet 14.10.	Muutos % 13.09 / 14.10. mesofiiliset sienet	Vertailuluku bakteerit 13.9.	Vertailuluku bakteerit 14.10.	Muutos % 13.09 / 14.10. bakteerit
Teknia	0,35	0,15	-57%	0,37	0,52	+0,40%
Mediteknia	0,01	0,01	0%	0,07	0,18	+157%
Koulu X tila1	0,12	0,06	-50%	1,95	1,12	-42%
Koulu X tila2	0,04	0,02	-50%	8,39	1,39	-83%
Koulu X tila3	0,04	0,01	-75%	4,59	1,10	-76%

5.3 OIREPÄIVÄKIRJATUTKIMUS

Suurimman osan ajasta (65 %) opettajat arvioivat yleisen terveydentilansa koko kuuden viikon jaksolla olevan kuten yleensä (Taulukko 14). Hieman vajaa neljäsosa ajasta (24 %) terveydentila koettiin hieman huonommaksi kuin yleensä, selvästi huonommaksi kuin yleensä terveydentila koettiin noin 7 % ajasta ja paremmaksi kuin yleensä 5 % ajasta.

Verrattaessa yleistä terveydentilaa ilmanpuhdistimen suodattimen lisäyksen jälkeen (Taulukko 14) selvästi huonommaksi kuin yleensä terveydentilansa arvioivien määrä pieneni ja terveydentilansa samanlaiseksi kuten yleensä arvioivien määrä kasvoi. Ero ilmanpuhdistimen toiminnan suhteen oli tilastollisesti merkitsevä. Puuttuvia vastauksia oli 16 kpl. Poistettaessa viikonloput analysoitavista päivistä tai huomioitaessa vain työssäolopäivät, erot terveydentilassa pysyivät samansuuntaisina ja ero ilmanpuhdistimen toiminnan suhteen oli tilastollisesti merkitsevä.

Verrattaessa kolmea ensimmäistä viikkoa, jolloin ilmanpuhdistimessa ei ollut suodatinta, vain viimeiseen viikkoon sen toiminnassa, oli ero ilmanpuhdistimen käytössä myös tilastollisesti merkitsevä ja muutos terveydentilassa samansuuntainen kuin edellä (Taulukko 15). Puuttuvia vastauksia oli 12 kpl. Kun viikonloppujen vaikutus huomioitiin, niin tulokset pysyivät samansuuntaisina ja *p*-arvo oli 0.03 (tilastollisesti merkitsevä).

Taulukko 14. Yleinen terveydentila verrattuna ilmanpuhdistimen toimintaan (toiminnassa / ei toiminnassa), (n=587)

Ajanjakso	Parempi kuin yleensä n (%)	Kuten yleensä n (%)	Hieman huonompi kuin yleensä n (%)	Selvästi huonompi kuin yleensä n (%)	p-arvo
Kaikki päivät (6 vko)	26 (4,6)	369 (64,6)	138 (24,2)	38 (6,7)	
Ilmanpuhdistin ei toiminnassa	12 (4,2)	168 (59,2)	69 (24,3)	35 (12,3)	< 0.001
Ilmanpuhdistin toiminnassa	14 (4,9)	201 (70,0)	69 (24,0)	3 (1,1)	

Taulukko 15. Yleinen terveydentila verrattuna ilmanpuhdistimen toimintaan (toiminnassa / ei toiminnassa) (3 viikkoa ja viimeinen viikko), (n=391)

Ajanjakso	Parempi kuin yleensä n (%)	Kuten yleensä n (%)	Hieman huonompi kuin yleensä n (%)	Selvästi huonompi kuin yleensä n (%)	p-arvo
Kaikki päivät (4 vko) n=379	18 (4,7)	231 (61,0)	94 (24,8)	36 (9,5)	
Ilmanpuhdistin ei toiminnassa (3 vko) n=284	12 (4,2)	168 (59,2)	69 (24,3)	35 (12,3)	0.01
Ilmanpuhdistin toiminnassa (viimeinen viikko) n=95	6 (6,3)	63 (66,3)	25 (26,3)	1 (1,1)	

Verrattaessa vilustumista tai flunssaa viimeisen 24 tunnin aikana ilmanpuhdistimen toiminnan suhteen, vähenivät vilustumiset / flunssa ilmanpuhdistimen ollessa toiminnassa. Ero oli tilastollisesti merkitsevä (p -arvo <0.0001) kaikissa tapauksissa (kaikki päivät, viikonloput poistettu, vain töissäolo päivät huomioitu).

Koska kaksi opettajista oli huomattavan osan ajasta sairaana, testattiin oireita ja sisäilmatekijöitä myös niin, että heidät poistettiin analyyseistä. Tällöin oireista tilastollisesti merkitsevästi vähenivät kuiva yskä (p -arvo 0.0015), nuha / nenän tukkoisuus (p -arvo 0.0011), äänen käheys (p -arvo 0.0167), kuume (p -arvo 0.0082) ja lihaskipu (p -arvo 0.0081). Sisäilmatekijöistä merkitsevästi vähenivät puolestaan melu (p -arvo 0.0008), pöly / likaisuus (p -arvo 0.001) ja jokin muu tekijä (p -arvo 0.0022). Myös vilustuminen tai flunssa viimeisen 24 tunnin aikana väheni tilastollisesti merkitsevästi (p -arvo <0.0001) ilmanpuhdistimen ollessa toiminnassa.

6 Johtopäätökset

Tehtyjen laboratorioskokeiden, kenttäkokeiden ja oirepäiväkirjatutkimuksen pohjalta voidaan todeta Sterimat ilmanpuhdistimen tuhoavan elinkykyisiä homesieniä ja bakteereita siinä määrin, että mikrobivaurioituneissa tiloissa oleskelevien henkilöiden oireet helpottuvat. Erityisesti tutkimustuloksissa ilahduttaa oirepäiväkirjatutkimuksesta saadut hyvät tulokset näinkin pienillä n -lukuilla.

Sterimat ilmanpuhdistimen kehitysvaiheen ja tämän tutkimuksen tulokset ovat samansuuntaiset vaikkakin ne on toteutettu eri mikrobikannoilla.

Muissa tämän tutkimuksen ulkopuolella olevissa kohteissa käyttäjien kommentit ovat olleet yhtäpitäviä tutkimuksesta saadun tiedon kanssa.

Tehty tutkimus antaa puolueetonta tietoa tilojen omistajille ja – käyttäjille sekä terveysviranomaisille huoneilman puhdistumisesta mikrobeista Sterimat ilmanpuhdistimen avulla. Tämän tutkimuksen merkittävimpänä tuloksena on todistaa

Sterimat ilmanpuhdistimen tuomat terveysvaikutukset ongelmakohteissa työskentelemään joutuville henkilöille. Näin ollen puhdistin toimii ensiapuna mutta ei poista mikrobivaurioituneiden rakenteiden korjaustarvetta. Puhdistimen käytöstä huolimatta vaurioituneissa tiloissa voi olla epäpuhtauksia, jotka altistavat terveysvaikutuksille. Tästä syystä olisi suotavaa seurata tilojen mikrobipitoisuutta, jos ne ovat käytössä.

7 Lähdeluettelo

Juslin M, Marvola M, Paronen P, Turakka L, Urtti A, Ilkka J: Farmasian teknologia. Fortis, Jyväskylä 1995

Kivijärvi J: Gammasäteilyn käyttömahdollisuuksista lääketeollisuudessa. *Acta Pharm. Fenn.* 92, 9-17, 1983

Tuominen L: Sterilointi desinfektio aseptiikka. Kyriiri Oy, Helsinki 1970

V.A. Luna¹, A.C. Cannons¹, P.T. Amuso^{1, 2} and J. Cattani¹

¹ Center for Biological Defense, College of Public Health, University of South Florida, Tampa, FL, USA

² Florida Department of Health, Bureau of Laboratories, Tampa, FL, USA:

The inactivation and removal of airborne *Bacillus atrophaeus* endospores from air circulation systems using UVC and HEPA filters

USA Journal of Applied Microbiology ISSN 1364-5072

Richard L. Riley and Edward A. Nardell: The Theory and Application of Ultraviolet Air Disinfection

G. J. S. Taylor, G. C. Bannister and J. P. Leeming: Wound disinfection with ultraviolet radiation, *Journal of Hospital Infection* (1995) 30, 85-93

Kujanpää L, Reiman M, Vilkki R, Sundholm P, Kujanpää R: Mikrobipitoisuudet ja mahdolliset toksiinintuottajat eri rakennusmateriaalien pinnoilla.

Laitinen S, Kallunki H, Haatainen S, Kujanpää L, Rautiala S, Reiman M: Ulkoilman mikrobipitoisuudet ja sienisuvustot sekä niihin vaikuttavat tekijät. Rakennustieto Oy, 1996. 88 s

Seuri M, Reiman M: Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys.

Tuula Putus: Home ja terveys, Kosteusvauriohomeiden ja hiivojen terveyshaitat

Sisäilmastoluokitus 2000. Sisäilmastoyhdistys julkaisu 5/2001.

Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Asumisterveysohje. Oy Edita Ab. Helsinki

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 1978.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003.

Terveysturvallisuuslaki (763/ 1994)

Työterveyshuoltolaki 1383/2001.

Työturvallisuuslaki 738/2002.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Helsinki 2002

Artikkeli Etelä-Suomen Sanomat 1.12.2010