

Esko Korhonen

## Puhtauspalvelut ja työympäristö

Ostettujen siivouspalveluiden laadun mittaamenetelmät ja laatu sekä siivouksen vaikutukset sisäilman laatuun, tilojen käyttäjien kokemaan terveyteen ja työn tehokkuuteen toimistorakennuksissa



Esko Korhonen

## Puhtauspalvelut ja työympäristö

Ostettujen siivouspalveluiden laadun  
mittausmenetelmät ja laatu sekä siivouksen vaikutukset  
sisäilman laatuun, tilojen käyttäjien kokemaan  
terveyteen ja työn tehokkuuteen toimistorakennuksissa

Esitetään Jyväskylän yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan suostumuksella  
julkisesti tarkastettavaksi yliopiston vanhassa juhlasalissa S212  
syyskuun 2. päivänä 2011 kello 12.

Academic dissertation to be publicly discussed, by permission of  
the Faculty of Mathematics and Science of the University of Jyväskylä,  
in Auditorium S212, on September 2, 2011 at 12 o'clock noon.



UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

JYVÄSKYLÄ 2011

# Puhtauspalvelut ja työympäristö

Ostettujen siivouspalveluiden laadun  
mittausmenetelmät ja laatu sekä siivouksen vaikutukset  
sisäilman laatuun, tilojen käyttäjien kokemaan  
terveyteen ja työn tehokkuuteen toimistorakennuksissa

Esko Korhonen

## Puhtauspalvelut ja työympäristö

Ostettujen siivouspalveluiden laadun  
mittausmenetelmät ja laatu sekä siivouksen vaikutukset  
sisäilman laatuun, tilojen käyttäjien kokemaan  
terveyteen ja työn tehokkuuteen toimistorakennuksissa



UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

JYVÄSKYLÄ 2011

Editor

Anssi Lensu

Department of Biological and Environmental Science, University of Jyväskylä

Pekka Olsbo, Ville Korkiakangas

Publishing Unit, University Library of Jyväskylä

Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science

Editorial Board

Jari Haimi, Anssi Lensu, Timo Marjomäki, Varpu Marjomäki

Department of Biological and Environmental Science, University of Jyväskylä

URN:ISBN:978-951-39-4396-7

ISBN 978-951-39-4396-7 (PDF)

ISBN 978-951-39-4395-0 (nid.)

ISSN 1456-9701

Copyright © 2011, by University of Jyväskylä

Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä 2011

## ABSTRACT

Korhonen, Esko

Cleaning services and the working environment. The quality and quality control methods of outsourced cleaning services, and the effects of cleaning on the quality of indoor air, on the experienced health of the office workers and on work effectiveness

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2011, 231 p.

(Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science

ISSN 1456-9701; 226)

ISBN 978-951-39-4395-0 (nid.)

ISBN 978-951-39-4396-7 (PDF)

Yhteenveto: Puhtauspalvelut ja työympäristö. Ostettujen siivouspalveluiden laadun mitausmenetelmät ja laatu sekä siivouksen vaikutukset sisäilman laatuun, tilojen käyttäjien kokemaan terveyteen ja työn tehokkuuteen toimistorakennuksissa

Diss.

The aim of the research was to determine the suitability of the cleaning quality evaluation methods to quality evaluation, the factors that affect the cleaning quality, the quality of the cleaning in the research buildings, the connections between the cleaning and the indoor air quality, and the effects on both employee health and work effectiveness. The cleaning quality was inspected by visual and objective research methods and also by questionnaires. The level of surface dust and the indoor air quality in the rooms of the research buildings were analysed in the laboratory, and the number and concentration of the floating particles, as well as the physical conditions of the air, were measured with continuous instruments. The results from the particle measurements demonstrated that the outside-inside transition of particles under 1 µm in aerodynamic diameter seems to have occurred in all the researched facilities. Particles over 1 µm mainly originate from internal sources, and humans and their activities comprise a major source. Specifically, the areas around the windows seem to constitute an opportune deposit and growth environment for different microbes. The research indicated that the execution of cleaning can be made easier and that the quality of cleaning and indoor air can be improved by making the rooms easier to clean, as well as with more frequent in-depth cleaning of the rooms. The research revealed that quality management in cleaning and the respective evaluation methods must be further developed. The research methods highlighted deficiencies in the quality of cleaning in all the buildings, none of which reached a satisfactory level of quality using the assessment criteria. The technical quality, properties and surface condition of the buildings – in addition to the professional skills of the cleaners – significantly contributed to the cleaning quality; this was particularly evident in the questionnaire results. The study also indicated that the cleaning quality has an effect on the quality of the indoor air and employee health and work effectiveness.

Keywords: Cleaning, quality of cleaning, indoor air, hygiene of surface, effectiveness of work

*Esko Korhonen, University of Jyväskylä, Department of Biological and Environmental Science, P.O. Box 35, FI-40014 University of Jyväskylä, Finland.*

**Author's address** Esko Korhonen  
Department of Biological and Environmental Science  
P.O. Box 35  
FI-40014 University of Jyväskylä  
Finland  
esko.korhonen@jyu.fi

**Supervisors** Assistant professor, Dr. Timo Ålander  
Department of Biological and Environmental Science  
P.O. Box 35  
FI-40014 University of Jyväskylä  
Finland

Professor Markku Kuitunen  
Department of Biological and Environmental Science  
P.O. Box 35  
FI-40014 University of Jyväskylä  
Finland

**Reviewers** Professor Pertti Pasanen  
Department of Environmental Science  
University of Eastern Finland  
P.O.Box 1627  
FI-70211 Kuopio  
Finland

Docent, Dr. Markku Seuri  
Tarmo ja Terveys Oy  
Melakuja 1 B  
40520 Jyväskylä  
Finland

Dr. Eija Pesonen-Leinonen  
Etumetsäntie 7 F  
00620 Helsinki  
Finland

**Opponent** Docent, Dr. Marja Aulanko  
Home Economics and Home Economics teacher education  
P.O.Box 8 (Siltavuorenpenger 10)  
FI-00014 University of Helsinki  
Finland

## VÄITTELIJÄN OSUUS VÄITÖSKIRJAN TEKEMISESSÄ

Tutkimuksen ideoi ja suunnitteli väitöskirjan kirjoittaja yhdessä Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen ja Työterveyslaitoksen kanssa. Mittaukset ja koejärjestelyt suunnitteli ja toteutti käytännössä kirjoittaja yhdessä tutkimusryhmän kanssa, jossa olivat edustettuina Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitos ja tilapalvelut, Työterveyslaitos, TPA Andersson Oy, Tuula Suontamo Oy, Jyväskylän kaupunki, ISS Palvelut Oy sekä Pirkanmaan ammatti-  
korkeakoulu.

Siivouksen visuaalisen laadun arvioinnin ja pintapölymittaukset teki TPA Andersson Oy, siivouksen hygieenisen laadun tutkimukset Tuula Suontamo Oy ja Jyväskylän kaupungin ympäristöosasto, siivouksen laadun kyselytutkimukset kirjoittaja, pintapölyn koostumustutkimukset, sisäilman laadun tutkimukset, hiukkasmittaukset ja Örebro-kyselytutkimukset Työterveyslaitos ja terveysvaikutusten selvitykset Medivire Työterveyspalvelut Oy ja kirjoittaja.

Mittaus- ja analyysitulosten data-analyysin, tulosten tulkinnan ja kirjoitus-työn teki kirjoittaja kokonaisuudessaan lukuun ottamatta seuraavia osia: hygieenistä laatua koskeva luku (7.1.3) yhdessä Aija Luoman kanssa, sisäilman kaasumaisia yhdisteitä koskeva luku (7.3) Tuomo Lapinlammen kanssa sekä sisäilmas-  
tokyselyä koskeva luku (7.6) ja työn tehokkuutta koskeva luku (7.8) Ulla-Maija Hellgrenin kanssa.



## KÄSITTEET JA LYHENTEET

Adsorptio	Prosessi, jossa kiinteän tai nestemäisen aineen pintaan kiinnittyy atomeja, molekyyliä tai ioneja liuoksesta tai kaasusta, jonka kanssa se on kosketuksissa
Aerosoli	Kaasumaisen väliaineen ja siinä leijuvien kiinteiden tai nestemäisten hiukkasten monifaasisysteemi
Aerosolihiukkanen	Kaasumaisessa väliaineessa leijuva kiinteä tai nestemäinen hiukkanen
Agglomeraatio	Hiukkasten kiinnittyminen toisiinsa säilyttäen entisen muotonsa
Aktinomykeetti	Sädesieni, <i>Actinomycetales</i> -lahkoon kuuluva bakteeri, jolla on kyky muodostaa rihmastoja ja itiöitä
Allergeeni	Kemiallinen aine, joka aiheuttaa allergian
Allergia	Elimistön poikkeava tapa reagoida ympäristön aineita tai oman aineenvaihduksen tuotteita kohtaan
Altiste	Haittatekijä, jonka kanssa ihminen joutuu kosketuksiin
Altistuminen	Tapahtuma, jossa ihminen joutuu tekemisiin ulkoisen tekijän kanssa. Altistuminen ei vielä merkitse oireiden tai sairauden syntymistä
Alveoliitti	Keuhkorakkuloiden tulehdusreaktio
Andersen-keräin	Kokofraktioiva, impaktioon perustuva ilman mikrobihiukkasten keräyslaite
AOAC RI	Research Institute of Association of Official Analytical Chemists
ATP	Adenosiinitrifosfaatti, solun energiansiirtoon ja energian tilapäisvarastointiin osallistuva runsasenerginen yhdiste
CFU	Colony Forming Unit, pesäkkeen muodostava yksikkö (= PMY), kasvatukseen perustuvan mikrobinäytteen tulosten lukumäärää kuvaava mittayksikkö
Depositio	Hiukkasen poistuminen ilmasta tarttumalla johonkin pintaan
Desorptio	Kaasun vapautuminen kiinteästä aineesta tai nesteestä

Diffuusio	Lämpöliikkeen aikaansaama molekyylien tai hiukkas- ten siirtyminen korkeammasta pitoisuudesta alhai- sempaan pitoisuuteen
Endotoksiinit	Gram-negatiivisten bakteerien ulkokalvon sisältämiä myrkkyaineita, jotka vapautuvat bakteerin hajotessa
Epäkohta	Yleisnimike havaitulle lialle
Fysisorptio	Adsorboituvan kaasun aikaansaama sähköinen tasa- paino kiinteän aineen pinta-atomien elektronikuossa
Gram-värjäys	Bakteerien värjäykseen perustuva luokittelumenetel- mä gram-positiivisille ja gram-negatiivisille bakteereil- le
Gravitaatio	Painovoima
HEPA-suodatin	High Efficiency Particulate Air -Filter, korkean ero- tusasteen mikrosuodatin, joka on tarkoitettu erotta- maan erityisesti alle 1 µm hiukkasia
HTP-arvo	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus eli pienin pitoisuus, jonka tiedetään aiheuttavan ihmisessä jonkin mitat- tavan biologisen vasteen
Impaktio	Hiukkasen suora törmäys ja tarttuminen kiinni esteeseen
Indikaattorilaji	Kosteusvaurioindikaattorimikrobilaji, jonka esiinty- minen näytteessä viittaa mahdolliseen kosteus- vaurioon, ellei voida osoittaa sille jotain muuta syytä
INSTA 800	Pohjoismainen siivouslaadun mittaamisen standardi (internordisk standard), joka ei ole virallisesti hyväk- sytty Suomessa, mutta jota käytetään yleisesti ohjeena
Interseptio	Hiukkasen tarttuminen kiinni sivuamaansa esteeseen
ISO	International Organisation for Standardisation, kan- sainvälinen standardisoimisjärjestö
Kemisorptio	Kaasumaisen yhdisteen kemiallinen reaktio kiinteän aineen pinta-atomien tai -molekyylien kanssa
Koagulaatio	Aerosolihiukkasen törmäminen ja sulautuminen toi- siinsa kaasumaisessa väliaineessa
Koehuone	Tässä tutkimuksessa siivouksen ja sisäilmanlaadun tutkimuksiin valittu toimistohuone ja wc-tila, joissa

	tutkimukset tehtiin säännöllisesti. Koehuoneina oli 25 toimistohuonetta ja 10 wc-tilaa.
Koettu laatu	Siivouspalvelun käyttäjän kokema teknisen ja toiminnallisen laadun yhdistelmä, jossa painotus on yleensä toiminnallisen laadun arvioinnissa
Koettu kokonaislaatu	Siivouspalvelun tilaajan kokema ja mittaama kokonaislaatu
Kondensaatio	Ylikylläisen kaasun olomuodon muuttuminen nesteeksi ja tiivistyminen pinnoille tai hiukkasiin
Kontaminaatio	Pinnan tai materiaalin poikkeavasti kohonnut mikrobi- tai kemikaalipitoisuus
Kontrollihuone	Tässä tutkimuksessa siivouksen laadun tutkimiseen satunnaisotannalla valittu huone, josta saatiin vertailutietoa koehuoneiden tuloksille. Kontrollihuoneiden määrät vaihtelivat eri tutkimusaikoina ja ne edustivat monenlaisia tilatyyppejä
Kosteusvauriomikrobi	Mikrobien indikaattorilaji tai jokin normaalilaji, joka kasvaa tavallista runsaammin kosteusvauriokohdassa
Laadunhallinta	Muodostuu laadunseurannasta, ohjeistuksista ja toiminnan jatkuvasta tavoitteellisesta kehittämisestä
Laadunseuranta	Puhtaustasojen jatkuva selvittäminen kysely- tai haastattelututkimuksin taikka visuaalisin ja objektiivisin menetelmin ja välinein
Laatutaso	Toteutunut puhtaustaso verrattuna tavoitetasoon tietyllä seurantajaksolla = puhtausluokka
Lika	Pinnoilta erilaisin puhdistusmenetelmin poistettavissa oleva, pinnan käyttötarkoitusta haittaava aine
Mikrobi	Mikroskooppisen pieni organismi, johon kuuluvat mm. bakteerit ja mikrosienet (homesienet ja hiivat)
MVOC	Microbial Volatile Organic Compound, mikrobien tuottamat haihtuvat orgaaniset yhdisteet
Mykotoksiini	Homemyrky, jota homesienet tuottavat varsinkin niissä tilanteissa, kun ravinteita ei ole riittävästi
NordVal	Nordic Validation and Certification Organization, pohjoismainen validointi ja sertifiointiorganisaatio

Nukleaatio	Ydintyminen eli supersaturoituneiden kaasujen olo- muodon muuttuminen muodostamalla hyvin pieniä aerosolihiukkasia
Objektiivinen laatu	Mittauksiin tai analyyseihin perustuva laatu
OC	Organic Compound, orgaaninen yhdiste
Odotettu laatu	Siivouspalvelusopimuksessa määritelty kokonaislaatu- tavoite
Perussiivous	Harvoin ja perusteellisesti tehtävä siivous, joka teh- dään silloin, kun ylläpitosiivouksella ja hoitomenetel- millä ei enää pystytä saavuttamaan sovittua puhtaust- tasoa
Pitkittäistutkimus	Tutkimus, jossa tarkastellaan jonkin tutkittavan muut- tumista ajan kuluessa
PM <sub>10</sub>	Kooltaan alle 10 µm suuruisten hiukkasten kokonais- massa ilmassa tilavuusyksikköä kohti (µg/m <sup>3</sup> )
PMY	Pesäkkeen muodostava yksikkö (= CFU)
POM	Particulate Organic Matter, hiukasmaiset orgaaniset yhdisteet
Puhtaustalvelu	Ammattimaisesti toteutettu palvelutyö, joka sisältää erilaisia siivous- ja asiakaspalvelutehtäviä sekä sään- nöllistä laadunseurantaa
Puhtaustaso	Puhtauden mittaamisen tai arvioinnin tulos.
Resuspensio	Hiukkasen irtautuminen alustastaan ja nouseminen takaisin ilmaan (re-emissio)
RLU	Relative Light Unit, ATP bioluminesenssimittauksen yksikkö
SBS	Sick Building Syndrome, sairusrakennus -oireyhtymä
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
Siivouksen laatu	Yleistermi, joka kuvaa siivouspalvelulla tuotettua ja jollakin menetelmällä mitattua tai arvioitua puhtautta määrätyllä aikavälillä
Siivous	Sisätiloissa tehtävä pintojen puhdistus, suojaus ja hoito sekä erilaiset järjestelytyöt, joissa puhtaus tuotetaan ammattimaisesti

Siivouspalvelu	Ammattimaisesti toteutettu palvelutyö, joka sisältää siivouksen ja säännöllisen laadunseurannan
Siivoussaneeraus	Tiloissa tehtävät toimenpiteet, joilla mahdollistetaan ja helpotetaan siivouksen toteuttamista eli parannetaan siivottavuutta
Subjektiiivinen laatu	Aistinvaraisiin arvioihin, kyselytutkimuksiin tai haastatteluihin perustuva laatu
SVOC	Semivolatile Organic Compound, puolihaihtuva orgaaninen yhdiste
Tarkistus siivous	Ylläpitosiivouskertojen välillä tapahtuva tilojen toimivuuden ja sovitun puhtaustason varmistaminen tarvittavin siivousmenetelmin
Tavoitetaso	Siivouspalvelusopimuksessa sovitun odotetun laadun mitattu tai arvioitu puhtaustaso
Tekninen laatu	Siivoustyön tekniseen toteutukseen liittyvien toimintojen avulla tietyllä aikavälillä tuotettujen arvioitujen tai mitattujen puhtaustasojen kooste
Termoforeesi	Lämpötilagradientin aiheuttama hiukkasen liike kohti kylmempää lämpötilaa
Toiminnallinen laatu	Asiakkaan ja palveluntuottajan vuorovaikutusprosessiin liittyvien toimintojen laadun arvioitu tai mitattu kooste tietyllä aikavälillä
TVOC	Total Volatile Organic Compounds, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä. Suureen määrittämiseen vaikuttavat käytetyt keräys- ja analysointitekniikat.
UV-valo	Ultravioletti valo (UV), sähkömagneettisen spektrin näkyvän violetin osan (400 nm) ja röntgensäteilyn (100 nm) aallonpituusalueiden väli
VOC	Volatile Organic Compound, haihtuva orgaaninen yhdiste
VVOC	Very Volatile Organic Compound, erittäin haihtuva orgaaninen yhdiste
Välisiivous	Ylläpitosiivouskertojen välillä tehtävä siivous, jolloin tehdään sovitut työtehtävät

Ylläpitosiivous

Säännöllisin väliajoin käsi- ja/tai konemenetelmin tehtävä siivous, joka on määritelty palvelukuvauksessa/työohjeissa

## SISÄLLYS

ABSTRACT

SISÄLLYS

VÄITTELIJÄN OSUUS VÄITÖSKIRJAN TEKEMISESSÄ

KÄSITTEET JA LYHENTEET

1	JOHDANTO.....	17
1.1	Puhtauspalvelualasta yleisesti.....	17
1.2	Lainsäädännön asettamat vaatimukset siivoukselle.....	19
1.3	Siivouspalveluiden kehitys Suomen yliopistokiinteistöissä vuosina 1990–2008.....	19
1.4	Siivous ja rakennusten kunto.....	21
1.5	Siivouksen terveys- ja tuottavuusvaikutukset.....	22
2	SIIVOUSPALVELUN TAVOITTEET JA OSA-ALUEET.....	23
2.1	Siivouspalvelun tavoitteet.....	23
2.2	Lian määrittely ja lian poistamistarpeet.....	24
2.2.1	Lian yleinen määritelmä.....	24
2.2.2	Lian määritelmä siivouksen kannalta.....	25
2.2.3	Tarpeenmukainen siivous.....	26
2.3	Siivousmenetelmät, aineet, välineet ja laitteet.....	27
2.4	Siivoustyön mitoitus.....	28
2.5	Siivouspalvelun laatu ja siihen vaikuttavat tekijät.....	28
3	SISÄILMAN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT JA NIIDEN TERVEYS- JA TUOTTAVUUSVAIKUTUKSET.....	30
3.1	Huoneilman hiukkastase.....	30
3.2	Ulkoilman hiukkaset.....	31
3.2.1	Aerosolihiukkaset ja aerosoli.....	31
3.2.2	Ilmakehän aerosolihiukkasten alkuperä.....	31
3.2.3	Hiukkasten jakaantuminen moodeihin.....	33
3.2.4	Hiukkasten poistuminen ilmakehästä.....	37
3.3	Sisäilman hiukkaset.....	37
3.3.1	Hiukkasten ulko-sisäsiirtymä.....	37
3.3.2	Ihminen ja ihmisen toiminnot.....	40
3.3.3	Hiukkasmaiset epäpuhtaudet.....	41
3.3.4	Hiukkasia muodostavat kaasut.....	44
3.3.5	Depositio ja resuspensio.....	46
3.3.6	Pölynielut ja pölyn lähteet.....	48
3.4	Sisäilman kaasumaiset epäpuhtaudet.....	50
3.5	Sisäilman lämpötila, veto ja suhteellinen kosteus.....	54

3.6	Sisäilman terveysvaikutukset .....	55
3.6.1	Terveellinen sisäilma.....	55
3.6.2	Keuhkodespositio.....	57
3.6.3	Huonon sisäilman terveysvaikutukset.....	59
3.7	Sisäilman tuottavuusvaikutukset.....	60
4	SIIVOUKSEN JA SISÄILMAN LAADUN TUTKIMUSMENETELMÄT .....	61
4.1	Siivouksen laatustandardit.....	61
4.2	Subjektiiiviset siivouksen laadun tutkimusmenetelmät .....	61
4.3	Objektiiiviset siivouksen laadun tutkimusmenetelmät .....	63
4.3.1	Mittalaitteet ja menetelmät.....	63
4.3.2	Pintapölyn mittalaite.....	63
4.3.3	Pintahygienian mittaamenetelmät.....	64
4.4	Sisäilman laadun tutkiminen .....	65
4.5	Subjektiiiviset sisäilman laadun tutkimusmenetelmät .....	66
4.6	Objektiiiviset sisäilman laadun tutkimusmenetelmät.....	67
4.6.1	Mittalaitteet ja menetelmät.....	67
4.6.2	Hiukkaspitoisuuden mittaus .....	68
5	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....	70
5.1	Tutkimuksen lähtökohta ja tavoitteet .....	70
5.2	Tutkimusalueen ja -aiheen rajaus.....	71
6	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	73
6.1	Tutkimusasetelma ja -aineisto.....	73
6.1.1	Tutkimusrakennukset ja huoneet.....	73
6.1.2	Siivousmallit ja puhtaustasot.....	74
6.1.3	Tutkimukset ja niiden aikataulu .....	76
6.2	Olosuhteiden vakiointi ja virhelähteiden vaikutusten vähentäminen ..	77
6.3	Siivouksen laadun tutkimukset ja tutkimusmenetelmät .....	78
6.3.1	Menetelmien valintaperusteet .....	78
6.3.2	Visuaalinen arviointi.....	78
6.3.3	Pintapölyn mittaaminen .....	80
6.3.4	Pintahygienian mittaaminen.....	81
6.3.5	Siivouksen laadun kyselytutkimukset .....	83
6.3.6	Poikkeamaseuranta ja työaikakirjanpito.....	84
6.4	Sisäilman laadun tutkimukset ja tutkimusmenetelmät .....	84
6.4.1	Menetelmien valintaperusteet .....	84
6.4.2	Hiukkaspitoisuus.....	85
6.4.3	Hiilidioksidi, lämpötila, suhteellinen kosteus, ilmamäärät ja paine-erot .....	85
6.4.4	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet .....	86



6.5	Pölyn koostumustutkimukset.....	86
6.5.1	Menetelmien valintaperusteet .....	86
6.5.2	Kuitunäytteet.....	86
6.5.3	Mikrobinäytteet .....	87
6.5.4	Punkkinäytteet.....	87
6.6	Kyselytutkimukset.....	88
6.7	Terveysvaikutusten selvitykset .....	88
6.8	Työn tehokkuustutkimukset.....	88
6.9	Muut tutkimukset.....	89
6.10	Tilastolliset menetelmät.....	89
6.11	Yhteenveto tutkimuksista.....	90
7	TULOKSET.....	92
7.1	Siivouksen laatu.....	92
7.1.1	Visuaalinen laatu .....	92
7.1.2	Pintapölymittaukset .....	98
7.1.3	Hygieeninen laatu .....	105
7.1.4	Koettu laatu .....	116
7.1.5	Siivouksen laatututkimusten yhteenveto .....	119
7.2	Pölyn koostumus .....	120
7.2.1	Kuidut .....	120
7.2.2	Mikrobit .....	121
7.2.3	Punkit .....	126
7.3	Sisäilman kaasumaiset yhdisteet.....	126
7.4	Sisäilman hiilidioksidipitoisuus, lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä huoneiden ilmanvaihdon ilmamäärät ja paine-erot .....	130
7.5	Sisäilman hiukkaset.....	132
7.5.1	Hiukkasten koko ja pitoisuudet .....	132
7.5.2	Siivoussaneeraus.....	140
7.5.3	Hiukkasten ulko-sisäsiirtymä.....	153
7.6	Sisäilmastokysely .....	160
7.7	Työterveystilastot .....	167
7.8	Työn tehokkuus .....	167
7.9	Siivottavuus.....	169
8	TULOSTEN TARKASTELU .....	172
8.1	Siivousmallien ja siivouksen laadun mittausmenetelmien erot .....	172
8.2	Siivouksen laatu.....	174
8.2.1	Laadun mittausmenetelmät .....	174
8.2.2	Laatuun vaikuttavat tekijät .....	179
8.2.3	Tutkimusrakennusten siivouksen laatu.....	181

8.3	Siivouksen ja sisäilman väliset yhteydet .....	181
8.3.1	Sekundääriyhteydet: pintapöly .....	181
8.3.2	Sekundääriyhteydet: kaasut, lämpötila, suhteellinen kosteus, ilmamäärät ja paine-erot .....	182
8.3.3	Primääriyhteydet: hiukkaset.....	182
8.3.4	Sisäilmastokysely.....	185
8.3.5	Työterveystilastot .....	185
8.3.6	Työn tehokkuus .....	185
8.4	Tutkimuksen luotettavuus .....	186
9	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	187
9.1	Siivouksen laadun mittaamenetelmät ja siivouksen laatuun vaikuttavat tekijät sekä rakennusten siivouksen laatu .....	187
9.2	Siivouksen ja sisäilman laadun väliset yhteydet sekä vaikutukset toimistotyöntekijöiden kokemaan terveydentilaan ja työn tehokkuuteen .....	190
	<i>Kiitokset</i> .....	193
	EXECUTIVE SUMMARY .....	195
	TIIVISTELMÄ .....	200
	LÄHDELUETTELO.....	201
	LIITTEET.....	217

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Puhtauspalvelualasta yleisesti

Määritelmän mukaan puhtauspalvelu on ammattimaisesti toteutettua palvelutyötä, joka sisältää erilaisia siivous- ja asiakaspalvelutehtäviä sekä säännöllistä laadunseurainta (SFS 2010). Tavanomaisesti rakennuksen puhtauspalvelu sisältää siivous- ja vaihtomattopalvelun sekä hygieniatuotteiden, paperien ja pesuaineiden yms. hankinnan (Rakennustieto 2009). Siivouspalvelulla tarkoitetaan yleensä siivouksen sisältävää palvelukokonaisuutta. Siivous puolestaan on sisätiloissa tehtävää pintojen puhdistusta, suojausta ja hoitoa sekä erilaisia järjestelyitä, joissa puhtaus tuotetaan ammattimaisesti (SFS 2010). Siivouksella ylläpidetään tilojen toiminnalle tarvittavaa ja käyttäjien edellyttämää puhtaustasoa. Siivouksen laatuvaatimuksia ja tarpeita määrittelevät mm. terveydelliset ja tuotannolliset näkökohdat, esteettisyys, viihtyvyys, työn tehokkuus, työturvallisuus, paloturvallisuus ja rakenteiden kunnossa pysyminen. Siivouksen tavoitteena on tilan käyttäjää ja toimintaa häiritsevän, haittaavan tai vaarantavan lian poisto (Aulanko ym. 2000).

Tilastokeskuksen vuoden 2006 työssäkäyntitilaston mukaan puhtauspalvelualalla toimi eri ammattinimikkeillä noin 50 300 henkilöä ja sairaala- ja hoitoapulaiset mukaan lukien noin 75 600 henkilöä. Vuoden 2009 lopussa puhtauspalvelualan yrityksiä Suomessa oli 4 280, joista pieniä ja keskisuuria yrityksiä 4 259. Henkilöstöä yrityksissä oli kaikkiaan 32 700. Alalla on muutamia suuria valtakunnallisia toimijoita, joiden palveluksessa on tuhansia työntekijöitä. Vastaavasti valtaosa muista yrityksistä on pieniä muutaman työntekijän yrityksiä, joiden syntymistä on vauhdittanut mm. yksityistalouksien kotitalouspalvelujen lisääntynyt kysyntä verotuksellisten ratkaisujen seurauksena. Seurantavuonna yritysten liikevaihto oli yhteensä noin 1 700 miljoonaa euroa, josta pk-yritysten osuus noin 570 miljoonaa euroa (Suomen Siivoustekninen liitto 2011).

Euroopan unionin alueella puhtauspalvelualalla työskentelee noin 3,4 miljoonaa työntekijää yhteensä noin 122 000 yrityksessä. Alan liikevaihdoksi laskeaan yli 50 miljardia euroa. Puhtauspalveluala on eräs nopeimmin kasvavista toi-

mialoista EU:n alueella. Vuosien 1997–2007 aikana työntekijämäärä yrityksissä on kasvanut noin 5,4 %/vuosi. Yrityksistä valtaosa eli noin 89 % on pieniä, alle 50 työntekijää työllistäviä. Ala on edelleen hyvin naisvaltainen, sillä työntekijöistä noin 75 % on naisia (European Federation of Cleaning Industries, tilasto 2007).

Siivouksekustannukset muodostavat laskentatavasta ja kohteesta riippuen rakennusten ylläpitokustannuksista yleensä noin 15–20 %. Vuonna 2004 arvioitiin asuinkerrostalojen ja muiden rakennusten (ilman omakotitaloja, pari- ja rivitaloja) ylläpitokustannuksiksi yhteensä noin 9,5 miljardia euroa. Tästä siivoustyön osuudeksi arvioitiin noin 1,7 miljardia euroa. Kustannuksiin ei ole laskettu mukaan rakentamisen aikaista siivousta. Siivoustyön arvosta noin puolet oli seuranta-vuonna ostopalvelusiivousta (Lith 2006). Työvoimavaltaisena alana henkilöstökulut muodostavat noin 70–85 % siivoustyön kokonaiskustannuksista laskentatavasta ja organisaatiosta riippuen (Narko ym. 2005).

Siivouspalveluala on muuttunut viime vuosikymmeninä merkittävästi. 1950-luvulla laitossiivouksessa käytettiin yleisesti kotisiivousmenetelmiä, -aineita ja -välineitä. Siivouksessa pesuaineita oli vähän, mutta vedenkäyttö runsasta. Yleisimmät aineet olivat mäntysuopa, lipeä ja tärpähti. Tilat siivottiin päivittäin ja hygienian merkitystä korostettiin sekä pintojen kiiltoa pidettiin tärkeänä. 1970- ja 1980-luvuilla siivouksen menetelmä- ja aikastandardointi ja mitoituskehittivät alaa voimakkaasti ja työn tuottavuus kasvoi selkeästi. Vuosina 1976–1993 rakennushallinnon tilastojen mukaan siivoojan työn tuottavuus kasvoi tasolta noin 110 m<sup>2</sup>/h lähes kolminkertaiseksi eli tasolle noin 298 m<sup>2</sup>/h. Samaan aikaan kustannukset alenivat selkeästi ja olivat vuonna 1993 noin 12,81 €/m<sup>2</sup>/a (alv 0 %). 2000-luvulla käytössä on kehittyneitä koneita ja välineitä sekä tehokkaita pesu- ja puhdistusaineita. Työmäärät on mitoitettu uusien välineiden ja menetelmien mukaisesti ja työaika on optimoitu (Kujala & Wilkman 2006). Tarkkoja tilastotietoja nykysiivouksen tuottavuudesta ja kustannuksista ei ole käytössä. Suurien toimistokokonaisuuksien ostopalvelusiivouksessa siivoojan työsaavutuksen arvioidaan edelleen kasvaneen ja kustannusten hiukan alentuneen vuoden 1993 tasosta.

1990-luvulla ja sen jälkeen on siirrytty yhä enemmän omana työnä tehtävistä siivouksesta ostopalvelusiivoukseen. Palveluita on kilpailutettu yleensä hinnalla tai kokonaistaloudellisella edullisuudella, mikä on johtanut kustannusten alenemiseen ja työhön käytettävien resurssien vähenemiseen. Vaikka siivousalan tyotehokkuus on kehittynyt voimakkaasti, tutkimustietoa ei ole siitä, onko nykyinen ostopalvelusiivous riittävän laadukasta turvaamaan tilojen käyttäjille terveellisen ja turvallisen työympäristön sekä estämään rakennusten ja rakenteiden enenaikaisen kulumisen ja tilojen käyttäjien työn tuottavuuden alentumisen. Ulkoistettu siivouspalvelu on asettanut myös yhä kasvavia vaatimuksia siivouksen laadunseurannalle. Kunnolliset laadun mittaamenetelmät ja -välineet puuttuvat ja siivouksen ja sisäilman laadun välisiä yhteyksiä ei vielä tunneta riittävästi.

Siivouksen ja erityisesti siivouksen ja sisäilman laadun välinen tutkimustoiminta on ollut verrattain vähäistä ja osin tutkimustulokset ovat olleet ristiriitai-

sia. Ulkomaisiin tutkimuksiin on lisäksi suhtauduttava varauksin, sillä esim. käsitteiden merkitykset eivät ole samat joka maassa ja siivoustyössä on kulttuurisia eroja jopa Pohjoismaidenkin välillä (Aulanko ym. 2000). Käsillä olevassa työssä tukeudutaankin siivouksen ja sen laadun mittaamisen osalta pääosin kotimaisiin tutkimuksiin ja kirjallisuuteen.

## 1.2 Lainsäädännön asettamat vaatimukset siivoukselle

Työturvallisuuslain tarkoituksena on parantaa työympäristöä ja työolosuhteita työntekijöiden työkyvyn turvaamiseksi ja ylläpitämiseksi sekä ennalta ehkäistä ja torjua työtapaturmia, ammattitauteja ja muita työstä ja työympäristöstä johtuvia työntekijöiden fyysisen ja henkisen terveyden haittoja (Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738). Lain 8 §:ssä säädetään, että työnantajan on tarpeellisilla toimenpiteillä huolehdittava työntekijöiden turvallisuudesta ja terveydestä työssä. Tässä tarkoituksessa työnantajan on otettava huomioon työhön, työolosuhteisiin ja muuhun työympäristöön samoin kuin työntekijän henkilökohtaisiin edellytyksiin liittyvät seikat. Suoraan siivouksesta mainitaan lain 36 §:ssä seuraavasti: ”Työpäikällä on huolehdittava turvallisuuden ja terveellisyysedellyttämästä järjestyksestä ja siisteydestä. Siivous on suoritettava siten, että siitä ei aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle” Työturvallisuuslaissa siis käytännössä määrätään työnantaja ostamaan tai muuten järjestämään riittävän hyvää siivousta. Huonosta siivouksen järjestämisestä on olemassa kahdeksan oikeustapausta työtuomioistuimen vuosien 1970–2009 päätöksissä. Ne kohdistuvat pääasiassa rakennustyömaiden tilapäisten sosiaalitulojen siivoukseen. Ainoastaan yksi oikeustapaus (TT:2003–67) koskee vakinaisen työpaikan siivouksen laatua. Siinä oli kyse tuotantolaitoksen wc-tilojen siivouksen laiminlyönnistä ja sen johdosta aiheutuneesta työnsisäuksesta.

## 1.3 Siivouspalveluiden kehitys Suomen yliopistokiinteistöissä vuosina 1990–2008

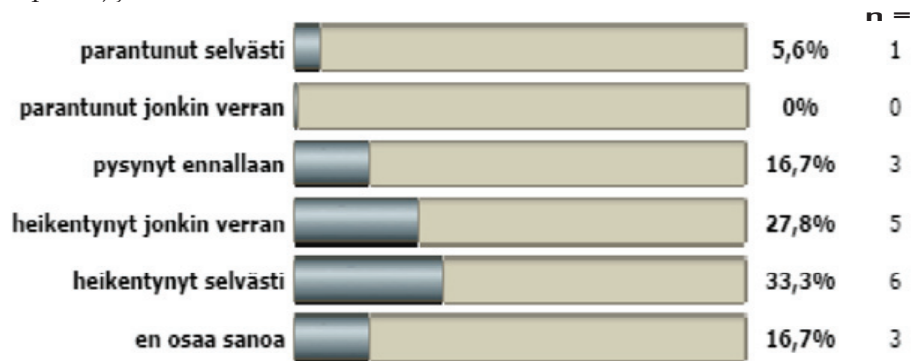
Suomessa toimi (v. 2008) yhteensä 21 yliopistoa, joista opetusministeriön hallinnon alalla oli 20 ja puolustushallinnon alalla 1 (Maanpuolustuskorkeakoulu). Näissä yliopistoissa (ilman Maanpuolustuskorkeakoulua) oli vuonna 2006 (Kotatilasto 2006) yhteensä 176 500 opiskelijaa, henkilökuntaa henkilötyövuosiksi muutettuna 30 700 ja tiloja yhteensä 2 076 500 m<sup>2</sup>, josta Senaatti-kiinteistöjen omistamia 1 537 000 m<sup>2</sup>.

Yliopistojen siivouksesta vastasi 1990-luvun puoleen väliin saakka pääasiassa Rakennushallitus. Tuolloin siivoojia oli riittävästi ja palvelu pääosin moitteetonta, joten laadun tarkkailun tarvekin oli olematonta. Vuonna 1995 tapahtui merkittävä muutos, kun Rakennushallituksen ylläpitämän siivous- ja kiinteistötoimen lakkauttamisen yhteydessä 1.1.1995 perustettiin yhtiöittämisen kautta En-

gel Kiinteistö- ja Siivouspalvelu Oy. Samalla avattiin yliopistojen siivous avoimelle kilpailulle. Vielä suurempi reformi tapahtui 1.5.1995, jolloin Rakennushallitus lakkautettiin ja perustettiin Valtion kiinteistölaitos. Suuri osa valtion kiinteistövarallisuudesta, mm. yliopistokiinteistöt, siirrettiin kiinteistölaitoksen hallintaan ja valtion virastot alkoivat maksaa käyttämistään tiloista vuokraa.

Siivouspalveluiden ensimmäisen kilpailutuksen seurauksena joidenkin yliopistojen siivoojien määrä väheni jopa puoleen Rakennushallituksen ajoista. Tämä alensi sekä siivouksen hintaa että kokonaislaatua. Siivouspalvelusopimukset olivat 1990-luvulla yleensä pituudeltaan kolmevuotisia. Ensimmäisen siivouskilpailutuksen jälkeen yliopistoissa otettiin käyttöön tarjousten vertailuperusteiksi hinnan lisäksi myös yhä enemmän laadullisia arviointikriteerejä. Tähän velvoitti myös julkishallinnon kilpailutuksen sääntely. Vaikka laatu olikin nostettu yhdeksi valintakriteeriksi, hinta lopulta useimmiten ratkaisi toimeksiannon saajan, sillä laadullisilla kriteereillä eroja siivousliikkeiden välille oli vaikea määrittää. Sama kehitys jatkui 2000-luvulla.

Yliopistojen siivouspalveluita kartoittava kyselytutkimus tehtiin kaikkiin yliopistoihin vuoden 2006 lopussa (Korhonen 2007). Vastaukset saatiin yhteensä 19 yliopistosta. Näistä siivouksen järjesti ostopalveluna 14 yliopistoa, omana työnä 1 yliopisto ja sekä ostopalveluna että omana työnä 4 yliopistoa. Siivouksen laatutason arvioi tyydyttäväksi yhteensä 11 vastaajaa, mikä edusti myös vastausten keskiarvoa. Kysyttäessä laatutason muutosta vuoden 1995 jälkeen vastaukset (18 yliopistoa) jakaantuivat kuvan 1 mukaisesti.

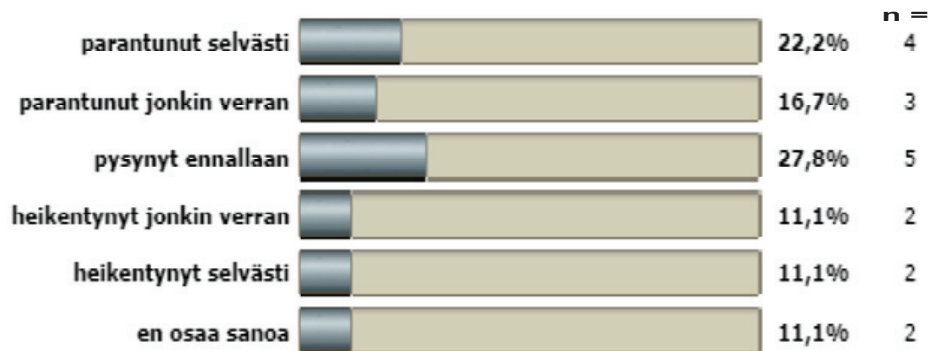


KUVA 1. Yliopistojen siivouksen koetun laatutason muutos vuodesta 1995 vuoteen 2006 (Korhonen 2007).

Vaikka vastauksia ei luokiteltu sen mukaan, miten arvioidaan ostopalvelua ja miten omaa työtä, voi niistä päätellä, että yleisesti yliopistoissa arvioitiin siivouksen laadun heikentyneen ennen vuotta 1995 vallinneeseen tilanteeseen verrattuna.

Kyselyssä kysyttiin myös arviota kiinteistönhoidon vastaavasta kehityksestä. Sen mukaan kiinteistönhoidossa nähtiin tapahtuneen pääasiassa myönteistä

kehitystä (kuva 2) ja laadun parantuneen. On huomattava, että kiinteistönhoito yliopistoissa on pääsääntöisesti vuokranantajan järjestämä, kun taas siivouksen järjestämisvastuu on vuokralaisilla eli yliopistoilla itsellään.



KUVA 2. Yliopistojen kiinteistönhoidon koetun laatutason muutos vuodesta 1995 vuoteen 2006 (Korhonen 2007).

Kyselyssä kartoitettiin samalla sisäilmaongelmien tilannetta yliopistoissa ja sen mukaan lähes kaikissa yliopistoissa (16 tähän kysymykseen vastanneen 18 yliopiston joukosta) oli kyselyn ajankohtana olemassa eriasteisia ongelmia. Niiden arvioitiin jonkin verran vähenevän lähivuosien aikana.

#### 1.4 Siivous ja rakennusten kunto

Nykysiivouksessa käytetään vettä mahdollisimman vähän. Lattioiden vahanpoistossa joudutaan kuitenkin käyttämään pesuliuosta, joka lattialle levitettynä mahdollistaa kosteusvaurioiden syntymisen. Erityisen arkoja kohtia ovat lattian ja seinien liitoskohdat, lattian ja kalusteiden rajapinnat, läpiviennit sekä mahdolliset seinien kaksoislevyrakenteet. Tutkimuksissa on näistä kohdista löydetty usein vaurioita ja kosteusvauriomikrobeja, mutta varsinaisesti niiden johdosta ilmitulleita sisäilmaongelmia on raportoitu niukasti. Rakennusteknisiin ratkaisuihin riskiä voidaan pienentää ja tämä tulisi huomioida jatkossa entistä paremmin rakentamisessa. Takavuosien runsaasta siivouksen vedenkäytöstä nähdään usein merkkejä peruskorjausten yhteydessä. Niillä saattaa olla osuutensa sisäilmaongelmien aiheuttajina, mikäli vauriokohdat ovat päässeet toistuvasti kastumaan.

Siivouksella estetään pintojen enneaikainen kuluminen. Heikolla siivouksella voi olla päinvastainen vaikutus ja se voi lisätä pintojen hygieniariskiä ja pölyisyyttä. Työterveyslaitoksen vuosina 1996–1999 tekemien sisäilmastokyselyjen (Reijula & Sundman-Digert 2004) mukaan toimistotyöntekijöistä 25 % koki jatkuvana olosuhdehaittana näkyvää pölyä ja likaa. Kyselyihin vastasi yhteensä 11 154 työntekijää 122 työpaikasta. Haitta oli kolmanneksi yleisin kuivan ilman ja tunk-

kaisen ilman jälkeen. Tämän mukaisesti epäselvää on, riittääkö nykysiivous pitäämään pintojen puhtauden ja sisäilman laadun riittävän hyvällä tasolla. Asiasta on olemassa vain vähän ja hajanaista tutkimustietoa ja sen vuoksi tässä tutkimuksessa aiheesta muodostuu eräs selvitettävä tutkimusongelma.

## 1.5 Siivouksen terveys- ja tuottavuusvaikutukset

Heikon siivouksen mahdolliset terveysvaikutukset voivat ilmetä lähinnä hengitysteiden, silmien ja ihon oireiluna. Aiheuttajina voivat olla mm. pöly ja pölyn sisältämät erilaiset haitalliset yhdisteet ja mikrobit aineenvaihduntatuotteineen (Seuri & Palomäki 2000). Työterveyslaitoksen sisäilmastokyselyissä (Reijula & Sundman-Digert 2004) työhön liittyvinä oireina vastaajat kokivat eniten nenän oireita (20 %), toiseksi eniten silmien oireita (17 %) ja neljänneksi eniten käheyttä ja kurkun kuivuutta (14 %). Tämän mukaisesti pölyn ja lian syy-yhteyttä edellä kuvattuihin kokemuksiin ei voida sulkea pois.

Siivouksella on vaikutusta pintojen hygieeniseen laatuun. Heikko pintahygienia voi olla tilan käyttäjälle terveysriski. Tämä korostuu erityisesti terveydenhuollon tiloissa ja muissa korkeaa hygieniatasoa vaativissa kohteissa, joissa riskitkin ovat suuremmat kuin esimerkiksi toimistotiloissa. Toimistojen pintahygieniaa ei tiettävästi ole tutkittu.

Itse siivoustyöstä voi eri vaiheissaan aiheutua riskejä sekä tekijälleen että ympäristölle (Zock 2005). Vaikka työturvallisuustietous onkin maassamme hyvällä tasolla, on siivouksessa edelleen osa-alueita, joiden kaikkia riskejä ei tunneta. Esimerkkeinä voidaan mainita siivouskemikaalien käyttö (Wolkoff ym. 1998), lattioiden vahanpoistovaihe ja vahaus (Teittinen 2007, Korpi ym. 2008, Wieslander & Norbäck 2010), kuivakiillotus sekä erikoispuhdistukset kuten homesiivous (Rautiala 2004) ja rakennussiivous (Riala 1988, Asikainen ym. 2009). On mm. todettu, että siivoojilla on lisääntynyt riski aikuisiän astmaan sairastumiseen (Karjalainen ym. 2002, Zock ym. 2002). Myös kotisiivoojien osalta on viitteitä samansuuntaisista ongelmista (Medina-Ramon ym. 2006, Zock ym. 2007). Aivan uutena siivouksen erityiskohteena ovat nanoteknologian tutkimukseen ja tuotantoon liittyvien tilojen siivoustyöt.

Siivouksen vaikutuksia toimistotyön tehokkuuteen ja tuottavuuteen on selvitetty vain vähän, sillä niiden mittaaminen on vaikeaa. Siivouksella oletetaan kuitenkin olevan yhteyksiä sisäilman laatuun ja samalla sillä on tätä kautta yhteys myös ihmisen terveyteen, viihtyvyyteen ja työn tuottavuuteen (Seppänen 2006).



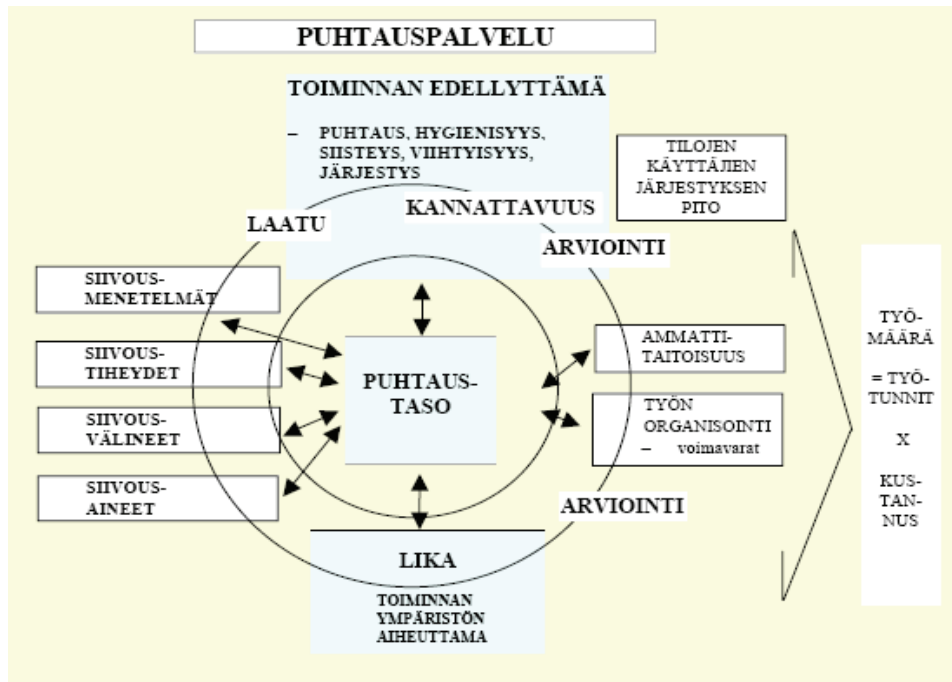
## **2 SIIVOUSPALVELUN TAVOITTEET JA OSA-ALUEET**

### **2.1 Siivouspalvelun tavoitteet**

Siivouksen tavoitteena on tilankäyttäjälle ja hänen toiminnalleen tarvittavan puhtaustason saavuttaminen ja ylläpitäminen. Puhtaustasoon sisältyy myös muita puhtauden elementtejä kuten hygieenisyyttä, siisteyttä, esteettisyyttä, viihtyisyyttä ja järjestystä. Siivouksen tavoitteena on varmistaa fyysistä turvallisuutta. Korjausta vaativien kohtien havainnointi ja niistä raportointi kuuluvat yleensä siivoushenkilöstön tehtäviin. Siivooja on käytännössä ainoa henkilö, joka käy säännöllisesti lähes kaikissa rakennuksen tiloissa. Siivoushenkilöstö on avainasemassa mm. kosteusvaurioiden havaitsemisessa. Siivous on rakennusten arvoa säilyttävää ja korostavaa toimintaa. Tilojen huolellinen hoito myötävaikuttaa korjaustarpeiden vähenemiseen ja tuottaa siten taloudellista hyötyä (Aulanko 1993). Toisaalta sopimattomat työtavat, menetelmät ja aineet voivat nopeuttaa pintojen vaurioitumista. Siivous on palvelua, jonka tavoitteena on luoda turvallinen ja viihtyisä ympäristö kiinteistön käyttäjille sekä tarkoituksenmukainen puhtaustaso (Puhto & Tiainen 2001). Siivous voi sekä parantaa että heikentää sisäilman laatua. Kun siivous tapahtuu asianmukaisesti, se vähentää ilmaan nousevan pölyn määrää. Epäsystemaattinen työskentely ja epätarkoituksenmukaiset työliikkeet sen sijaan lisäävät ilman hiukkaspitoisuutta (Kakko & Aulanko 2003).

Sovitun puhtaustason saavuttamiseksi siivoojan tulee käyttää oikeita menetelmiä, aineita ja välineitä sekä valita siivoustaajuus oikein. Laadunseurannalla varmistetaan, onko tehty työ vastannut tavoitetasoa. Siivoojan taustaorganisaatio (työnantaja) huolehtii työjärjestelyihin, yhteydenpitoon, työn resursointiin, kannattavuuteen ja muihin työnantajatoimintoihin liittyvistä asioista. Kuvassa 3 on esitetty puhtaustalouden kokonaisuus, joka käytännössä vastaa siivouspalvelun kokonaisuutta. Siitä on myöhempään tarkasteluun otettu siivoukseen liittyvät

tärkeimmät asiat. Toiminnan organisointiin ja kannattavuuteen liittyviä asioita ei ole käsitelty.



KUVA 3. Puhtauspalvelun (= siivouspalvelun) muodostama kokonaisuus (Kinnarinen 1998, kuva lähteestä: KYS huoltopalvelut. Sairaala-apulaispalvelut 1996).

## 2.2 Lian määrittely ja lian poistamistarpeet

### 2.2.1 Lian yleinen määritelmä

Virallisen määritelmän mukaan lika on pinnoilta erilaisin puhdistusmenetelmin poistettavissa oleva, pinnan käyttötarkoitusta haittaava aine (SFS 2010). Lika voi olla myös materiaa väärässä paikassa (Douglas 1966). Esineet ja asiat muuttuvat väärässä paikassa likaisiksi, vaikkeivät muuten sitä olisikaan. Lika on esineen satunnainen ominaisuus ja käsitettävissä vain suhteessa likaamaansa isäntäesineeseen, jonka substanssia lika ei kykene muuttamaan. Lika on haittatekijä ja ei-toivottu tila, jonka rinnalla on puhtauden ideaali. Siten likaisuuskäsitteet ovat teleologisesti määräytyneitä sisältäen ajatuksen paremmasta olotilasta (Lagerspetz 2008).

### 2.2.2 Lian määritelmä siivouksen kannalta

Puhtaus ja likaisuus eivät yksiselitteisesti ole toistensa vastakohtia eikä lian poistaminen välttämättä merkitse puhtautta. Siivouksessa puhtauden primääreinä raja-arvoina voidaan pitää absoluuttista puhtautta, jossa puhdistetulla pinnalla ei ole mitään siihen kuulumatonta ainetta ja toisessa ääripäässä epäpuhtautta, joka voi aiheuttaa terveyshaittoja. Näiden ääripäiden välissä on vielä sekundääripuhtausalueita, joilla on merkitystä mm. rakenteiden ja pintojen vaurioitumisen sekä kiillon ja kitkan kannalta. Absoluuttista puhtautta ei käytännössä ole perinteisin siivousmenetelmin edes mahdollista saavuttaa. Toisaalta terveyshaittoja aiheuttava puhtaus (tai likaisuus) on tilanne, jota ei saisi syntyä. Tässä tutkimuksessa pääpaino on primääripuhtauden selvittämisessä analyttisin menetelmin eli voidaan puhua myös analyttisestä puhtaudesta.

Sisätiloissa oleva lika on peräisin pääasiassa luonnosta, ihmisestä ja ihmisen toiminnasta. Muita lian lähteitä voivat olla mm. rakennusaineet ja rakenteet, ulkoilma, liikenne, kasvit, hyönteiset ja eläimet. Pääosa liasta (noin 80 %) kantautuu sisälle ja tilasta toiseen ihmisen ja ilmavirtojen mukana (Kääriäinen & Kivikallio 2005). Tämän mukaisesti tilan käyttöaste (kuormitus) on yksi tärkeimmistä siivoustarpeeseen ja -taajuuteen vaikuttavista tekijöistä. Lika voidaan ryhmitellä kiinnittymistavan mukaan (SFS ry 2010) seuraavasti:

- irtolika on kuiva tai märkä lika, joka ei ole kiinnittynyt tai tunkeutunut pintaan
- kiinnittynyt lika on kuivunut tai nihkeä pintaan laajalle alueelle tarttunut lika
- pinttynyt lika on pitkän ajan kuluessa muodostunut likakerrostuma
- tahra on pienellä alalla oleva kiinnittynyt tai pinttynyt lika
- eritetahra on ihmisen tai eläimen eritteestä muodostunut lika
- mikrobilika, pieneliölika on mikrobeista aiheutuva lika, joka on haitallista terveydelle tai puhtautta vaativalle toiminnalle
- biofilmi on mikrobien ympärilleen muodostama suojakerros, joka vaikeuttaa niiden poistamista pinnalta

Lika kiinnittyy pinnoille monin eri tavoin riippuen mm. lian koostumuksesta ja muodosta, kiinnittymispinnan rakenteesta, muodosta ja asennosta sekä vallitsevista ympäristöolosuhteista. Yleisimmät kiinnittymistavat ovat väliaineen avulla geometrisella efektillä, sähköisillä voimilla, adsorptiovoimilla, kemiallisella reaktiolla ja kapillaarivoimilla (Suontamo 1999, Kääriäinen & Kivikallio 2005).

Eri yhteyksissä liasta käytetään myös nimityksiä epäkohta, poikkeama tai kuorma. Lika on siivouksessa määritelty yleensä näkyväksi liaksi ja tähän perustuu perinteinen siivouksen visuaalisen laadun arviointi. Tämä tutkimus laajentaa

toimistosiivouksen vaikutusten tarkastelua myös silmin havaitsemattomaan liikaan eli hiukkasiin ja mikrobeihin.

### 2.2.3 Tarpeenmukainen siivous

Siivouksessa on viimeisten vuosikymmenten aikana suureksi osaksi siirrytty ns. tarpeenmukaiseen siivoukseen, jossa pyritään hakemaan optimaalinen suhde tilojen likaantumisen ja siivouksen välille. Tilojen kaikkia pintoja ei siivota jokaisella siivouskerralla, vaan siivousaika kohdennetaan eniten likaantuviin pintoihin, jolloin saavutetaan paras tuotos-panos-suhde (Kääriäinen & Kivikallio 2005). Harvemmalle siivoukselle jätetään vaikeammin siivottavat kohteet kuten ns. ylätasot (puhutaan myös yläpölyistä). Ylätasot ovat yli 1,80 metrin korkeudella olevia taso- tai muita pintoja. Tämä raja-arvo on käytännössä muodostunut siivoustyön ergonomian perusteella ja työturvallisuuskäsitteiden huomioiden. Rajan alapuolella tehtävä työ ei aiheuta rasittavia kierto- tai kurotusliikkeitä eikä tikkaita tai muita apuvälineitä tarvita. Normaali toimistotila siivotaan tavallisesti nykykäytännön mukaan vain kerran viikossa, jolloin siivous käsittää kaikkien vapaiden tasopintojen puhdistuksen, roskakorin tyhjentämisen sekä vaihtelevan määrän muuta toimistovarustuksen puhdistamista. Ylätasopintojen puhdistus voi vähimmillään jäädä tehtäväksi vain kerran vuodessa ja yleensä perussiivouksen yhteydessä. Tarpeenmukaiseen siivoukseen sisältyy siten vaara jättää tiettyjä tilojen osa-alueita liian vähälle huomiolle. Viime vuosina on mm. keskusteltu paljon yläpölyjen vaikutuksista sisäilmaongelmien lisääjänä ja jopa aiheuttajana. Yleinen asiantuntijatahojen arvio on, että yläpölyjä tulisi siivota nykyistä useammin, mutta tutkimustietoa asiasta on vähän.

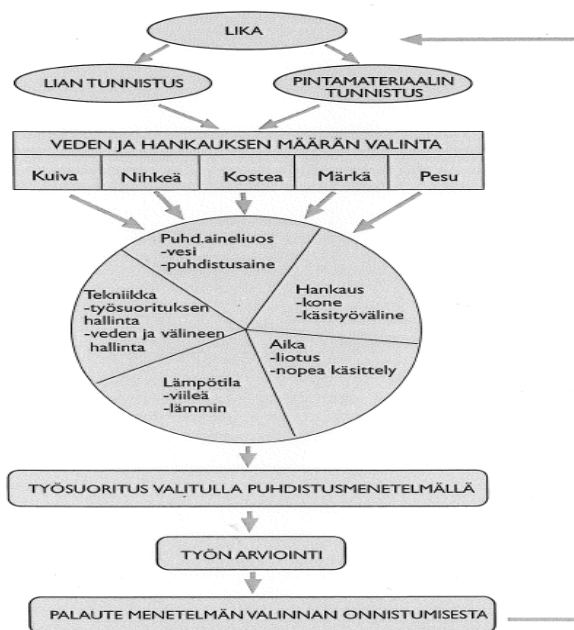
Tarpeenmukaisen siivouksen likojen haitta-asteet jaotellaan seuraavasti (Kääriäinen & Kivikallio 2005):

- hyväksyttävä
- häiritsevä
- haitallinen
- vaarallinen

Näiden haitta-asteiden arviointiin ei ole olemassa tarkkaa ohjeistusta. Kun samasakin tilassa on poikkeuksetta erilaisia likoja, on siivoustarpeen ja sen kiireellisuuden määrittely vaikeaa. Aiemmin, kun siivousalalla ei ollut nykyisiä aika- ja kustannuspaineita, ei tällaista ongelmaa ollut, vaan työ voitiin tehdä perusteellisesti ja ehkä jopa ylimitoitettusti. Toimistotilojen siivoustarpeen määrittelyssä ei yleensä ole voitu huomioida ilmassa leijuvia hiukkasia ja kaasumaisia yhdisteitä ja pintahygienian sekä pintojen pölyisyyden arviointi on ollut hankalaa.

### 2.3 Siivousmenetelmät, aineet, välineet ja laitteet

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n puhtausalan sanastossa (2010) on täsmällisesti määritelty eri siivousmenetelmät, aineet, välineet ja laitteet. Tämä on ollut tarpeen alan yhtenäisen termistön luomiseksi. Siivousmenetelmä on määritelmän mukaan menetelmä, jolla tilojen puhtaus toteutetaan. Siivousmenetelmiä ovat puhdistus-, hoito- ja suojausmenetelmät ja järjestelytyöt. Puhdistusmenetelmä on ylläpitosiivous- tai perussiivousmenetelmä, jolla poistetaan likaa pinnoilta. Kuvassa 4 on esitetty, mistä eri osa-alueista käytännön siivoustyö ja siihen liittyvä puhdistusmenetelmän valinta koostuvat.



KUVA 4. Puhdistusmenetelmän valinta (Kääriäinen & Kivikallio 2005).

Toimistotilojen ylläpitosiivouksessa käytetään yleisesti kuivia tai nihkeitä käsitömenetelmiä. Koneellisia menetelmiä käytetään varsinkin lattianhoidossa ja perussiivouksissa. Puhdistusaineiksi valitaan kullekin likatyypille, menetelmälle ja pinnalle parhaiten sopivat aineet. Ylläpitosiivouksessa poistettava liko on yleensä irtolikaa kuten pölyä, roskia ja tahroja. Tällaisen lian poistamiseen ei tarvita voimakkaita puhdistusaineita. Riittää, että veden pintajännitys alennetaan, jotta tarvittava kosteus leviää tasaisemmin ja puhdistusaineessa olevat kemikaalit tehostavat puhdistusprosessia. Neutraali tai heikosti emäksinen yleispuhdistusai-

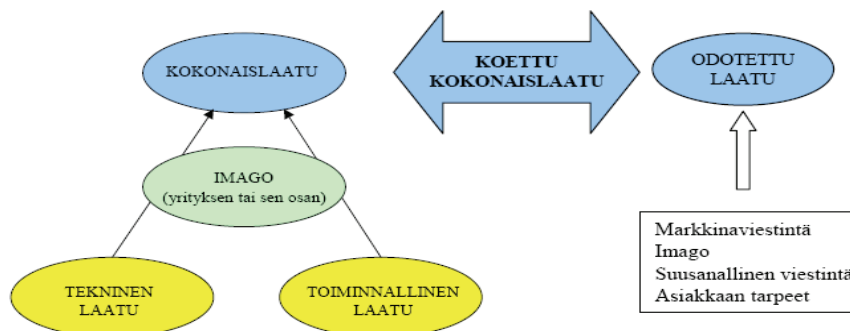
ne soveltuu yleensä ylläpitosiivouksessa lian poistamiseen. Perussiivousten yhteydessä joudutaan käyttämään myös voimakkaampia puhdistus- ym. aineita (Suomen Siivoustekninen liitto 2005).

## 2.4 Siivoustyön mitoitus

Siivoustyön standardoinnilla ja mitoituksella on ollut huomattava merkitys koko siivousalan kehitykselle. Mitoituksen pohjana käytetään siivoustyön menetelmä- ja aikastandardeja, jotka valtiovarainministeriö on julkaissut ensimmäisen kerran v. 1972. Rakennushallitus puolestaan teki aikanaan mittavaa kehitystyötä ja julkaisi standardeista uudistetun painoksen v. 1991. Tämän jälkeen (v. 1994) julkaisuoikeudet siirtyivät Suomen Siivoustekniselle liitolle (Kujala & Wilkman 2006). Standardit koostuvat menetelmäkuvauksista ja näiden kuvausten mukaisten työsuoritusten avulla saaduista aikastandardeista. Standardien avulla saadaan laskettua kullekin tilatyypille ja tavoitellulle puhtaustasolle ominainen oikea siivouksen mitoitusaika, jolla vältetään yli- ja alisiivousta (Yltiö 2005). Menetelmä- ja aikastandardeja laadittaessa puhdistustyön tulos arvioidaan visuaalisesti. Standardeja laaditaan koko ajan ja alalla toimii muutamia mitoitukseen erikoistuneita yrityksiä, joiden atk-sovellusten (esim. Atop ja Siimi), avulla mitoitus on verrattain vaivatonta toteuttaa.

## 2.5 Siivouspalvelun laatu ja siihen vaikuttavat tekijät

Siivouspalvelun laatua voidaan laajimmillaan tarkastella palveluntuottajaorganisaation laatujärjestelmän avulla (Antikainen 2003, Kyengo 2007). Yleensä siivouspalvelun laadulla tarkoitetaan kuitenkin kuvan 5 mukaista kokonaisuutta.



KUVA 5. Laadun osa-alueet ja niiden keskinäiset suhteet (Grönroos 1994).

Tekninen laatu tarkoittaa siivoustyöllä tuotettua puhtautta ja sen mittaamista tai arviointia visuaalisesti tai objektiivisin menetelmin. Siivouksen tekniseen laatuun

vaikuttavat eri siivousmenetelmät, aineet, välineet ja laitteet, henkilöstön ammattitaito ja motivaatio sekä työympäristötekijät kuten työtilan käyttö, kalustus, materiaalit, ilmanvaihto ja vuodenaikojen vaihtelu. Tekninen laatu kuvaa sitä, *mitä* asiakas sai (Routto & Puhto 2000). Teknisessä laadussa saavutettua puhtaustasoa verrataan sovittuun tavoitetasoon.

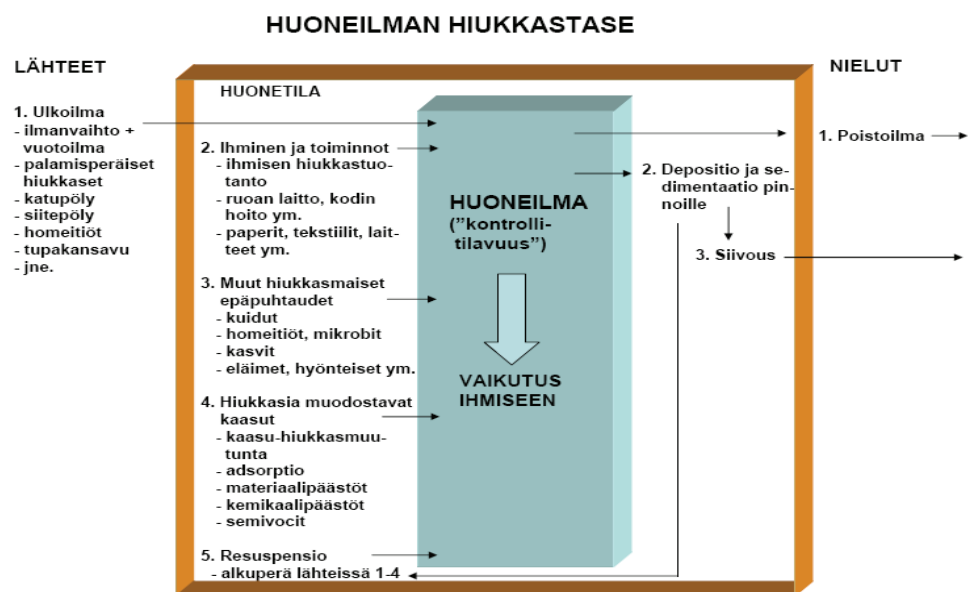
Toiminnallinen laatu kuvaa sitä, kuinka hyvin siivouspalvelu muilta osin toimii, eli se kuvaa asiakkaan ja palveluntuottajan vuorovaikutusprosessin laatua (Grönroos 1994). Se vastaa asiakkaan kysymykseen *miten* (Routto & Puhto 2000). Sitä mitataan tai arvioidaan yleensä palvelujen käyttäjille suunnattujen erilaisten kyselyiden ja haastattelujen avulla. Teknisen ja toiminnallisen laadun yhdistelmänä muodostuu kokonaislaatu (Grönroos 1994). Kysely- ja haastattelututkimuksissa ei voida vetää tarkkaa rajaa siihen, miten osa-alueiden painotukset vastauksissa näkyvät. Käytännössä haastattelutilanteissa vastaajat yleensä painottavat enemmän teknistä laatua ja kyselytutkimuksissa toiminnallisen laadun osuus kasvaa, mutta painotusten jakauma riippuu myös vastaajasta ja kysymysten asetelusta. Ostopalvelusiivouksessa palvelun tilaaja voi parhaiten arvioida koettua kokonaislaatua, koska tilaaja yleensä tuntee myös palvelun toiminnallisen laadun keskeiset elementit ja hallitsee toimeksiannon kokonaisuuden. Koettuun kokonaislaatuun sisältyviä laatukriteerejä ovat mm. toimintavarmuus, palvelualttius, luotettavuus, turvallisuus, ammattitaito ja saavutettavuus (Hope & Mühlemann 1997) ja näistä useimpia käytetään siivoustarjouskilpailuissa laadun arviointikriteereinä.

Odotettu laatu kuvaa palvelusopimuksen mukaista tavoitetta, johon koettun kokonaislaadun tuloksia verrataan (Puhto & Tiainen 2001). Suurissa siivouspalvelusopimuksissa on jonkin verran käytetty kuvan 5 mukaista siivouspalveluiden laadunseurantajärjestelmää, jossa kukin laadun osa-alue on pisteytetty ja sopimukseen on lisätty toteumapohjainen palkkio-sanktiojärjestelmä.

### 3 SISÄILMAN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT JA NIIDEN TERVEYS- JA TUOTTAVUUSVAIKUTUKSET

#### 3.1 Huoneilman hiukkastase

Keskeisin sisäilman laatuun vaikuttava tekijä, johon voidaan vaikuttaa siivouksen keinoin, ovat hiukkaset (kuva 6).



KUVA 6. Huoneilman hiukkastase ja siihen vaikuttavat tekijät (Ålander & Korhonen 2007).



Sisäilman hiukkaslähteitä ovat ulkoilma ja sisällä ihminen eri toimintoineen, rakennus- ja sisustusmateriaaleista peräisin olevat hiukkaspäästöt sekä rakennus- ja sisustusmateriaaleista peräisin olevat kaasumaiset päästöt kaasuhiukkasmuutunnan tuloksena. Hiukkasia poistuu huonetilasta eri tavoin ja tätä poistumista kutsutaan nieluksi. Ilmanvaihdon kautta osa leijuvista hiukkasista poistuu takaisin ulkoilmaan ja osa deposoituu huonetilan pinnoille. Deposoituneiden hiukkasten (= pölyn) määrää voidaan vähentää siivouksen avulla (Kakko 2000). Huonetilaan tulevien ja siitä poistuvien hiukkasten määrän avulla voidaan tarkastella huoneilman (kontrollitilavuuden) hiukkaspitoisuuden kokonaismäärää eli hiukkastasetta ja sen vaikutusta ihmiseen. Seuraavissa kappaleissa on tarkasteltu lähemmin kutakin hiukkastaseen osa-aluetta.

## **3.2 Ulkoilman hiukkaset**

### **3.2.1 Aerosolihiukkaset ja aerosoli**

Ulkoilman hiukkasten koko, määrä, muoto ja koostumus vaihtelevat huomattavasti. Ajallisesti vaihtelut voivat olla nopeita ja suuria kuten keväiset taajamien hiukkaspitoisuudet ja esimerkiksi tuulten mukana kulkeutuvat maastopalojen hiukkaspäästöt osoittavat. Ilmakehän hiukkaset ovat ilmassa leijuvia kiinteitä tai nestemäisiä hiukkasia, joita kutsutaan yleisesti myös aerosolihiukkasiksi. Aerosolihiukkasten koon alarajana pidetään molekyylikokoa suurempia hiukkasia, joiden törmäys pintoihin ei ole kimmainen. Hiukkasten koon ylärajan määrää hiukkasten viipymäaika ilmakehässä. Ilmakehän aerosolihiukkasten koko vaihtelee noin 1 nanometristä noin 100 mikrometriin (Hinds 1999). Ihminen havaitsee paljain silmin hiukkasen, jonka koko on suurempi kuin 10  $\mu\text{m}$ . Aerosolilla tarkoitetaan kaasumaisen väliaineen ja siinä leijuvien kiinteiden tai nestemäisten aerosolihiukkasten seosta.

### **3.2.2 Ilmakehän aerosolihiukkasten alkuperä**

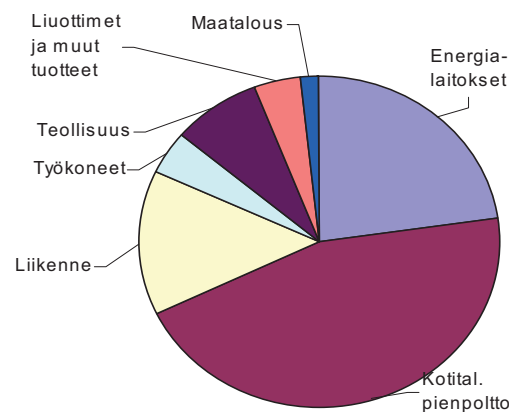
Suoraan hiukkasmuodossa ilmakehään joutuneita hiukkasia sanotaan primäärihiukkasiksi ja ilmakehässä kaasumaisista yhdisteistä muodostuneita hiukkasia sekundäärihiukkasiksi. Ilmakehän hiukkaset ovat peräisin luonnosta ja ihmisen toiminnosta. Molemmista lähteistä muodostuu sekä primääri- että sekundäärihiukkasia. Ilmakehän aerosolihiukkasten lukumäärää ja kokoa säätelevät tärkeimmät prosessit ovat hiukkasten muodostuminen höyrystä nukleoitumalla, niiden kasvaminen tai kutistuminen höyryn tiivistyessä tai haihtuessa, niiden törmäileminen ja koaguloituminen keskenään sekä poistuminen ilmasta deposoitumalla erilaisille pinnoille (Hinds 1999).

Kaupunki-ilmassa olevat hiukkaset ovat peräisin liikenteestä, energiantuotannon ja teollisuuden suorista hiukkaspäästöistä, ilmakehässä kaasumaisista yh-

disteistä muodostuneista hiukkasista, kaukokulkeumasta sekä teiden pinnasta kohoavista erilaisista hiukkasista (asfaltin ja renkaiden kuluminen) sekä luonnosta (Jokiniemi ym. 2000, Pakkanen ym. 2001, Saarikoski 2008). Keväisin erityisesti katupölyn osuus voi olla merkittävän suuri. Paikallisesti puun pienpoltto voi aiheuttaa huomattavan osan yhdyskuntien ilman pienhiukkaspäästöistä (Tissari 2008).

Polttoaineiden epätäydellisessä palamisessa syntyy ja pääsee ilmaan muun muassa polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä, jotka muodostavat POM-yhdisteiden (hiukkasmaisten orgaanisten yhdisteiden) tärkeän ryhmän. Useat PAH-yhdisteet ovat syöpää aiheuttavia eli karsinogeenisia aineita. PAH-yhdisteitä vapautuu ilmaan kaikessa aineen palamisessa, mutta kaupunki-ilmassa merkityksellisimmät lähteet ovat tieliikenteen pakokaasut ja puun pienpoltton savukaasut (Jantunen ym. 2005). Tunnetuin ja tutkituin PAH-yhdiste on bentso(a)pyreeni (BaP) ja sitä käytetään syöpää aiheuttavien PAH-yhdisteiden edustajana. Vuoteen 2013 mennessä BaP-pitoisuuden vuosikeskiarvo ilmassa ei saa ylittää tavoitearvoa  $1 \text{ ng/m}^3$  (Valtioneuvoston asetus 164/2007).

Pienhiukkasten alueelliseen merkittävyyteen vaikuttaa yhdyskuntarakenne (tiivis - väljä) ja sen energiantuotantotapa (keskitetty - hajautettu). Hiili ja hiiliyhdisteet muodostavat merkittävän osan kaupunki-ilman hiukkasten kemiallisesta koostumuksesta (Ålander 2000). Kuvassa 7 on havainnollistettu eri päästölähteiden osuuksia Suomessa.



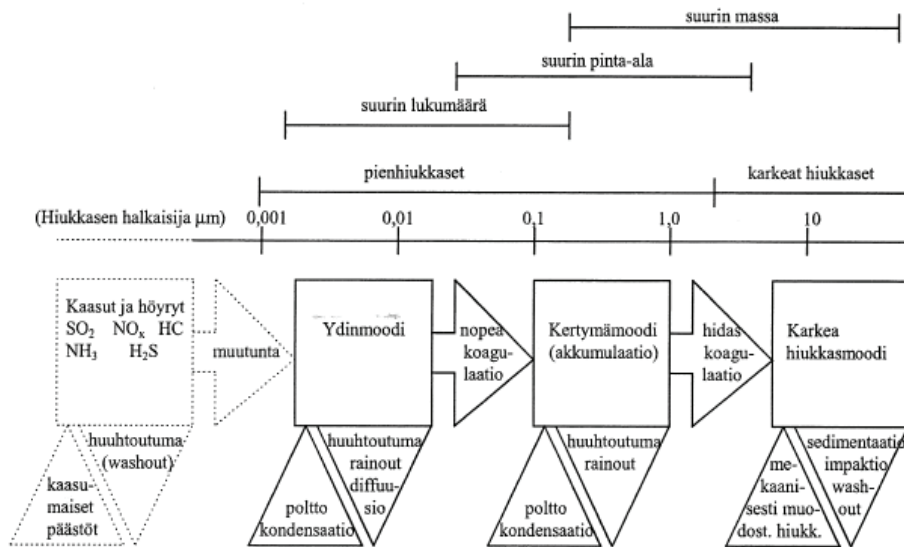
KUVA 7. Suomen ensisijaiset pienhiukkasten päästöjen ( $\text{PM}_{2.5}$  - päästöt yhteensä n. 34 200 tn/v) lähteet v. 2005 (kuva Salonen ja Pennanen 2007; päästötiedot Suomen ympäristökeskus 2007 ja Karvosenoja ym. 2008).

Kotitalouksien pienpolttopäästöistä n. 60 % aiheutui seurantavuonna puun pienpoltosta ja loppuosa muusta, kuten roskien ja lehtien poltosta ja mm. ulkona grillaamisesta.

Ulkoilmassa esiintyy aina vaihteleva määrä bioaerosolihiukkasia kuten erilaisia itiöitä, siitepölyä, homeita, hiivoja ja bakteereja sekä näiden osia ja aineenvaihduntatuotteita (Toivola 2004). Itiöiden pääasialliset lähteet ovat maaperä, kasvit, erilaiset pistemäiset lähteet, vesi ja ilma. Itiöiden määrään vaikuttavat voimakkaasti vuodenaika, lämpötila, maantieteellinen sijainti, kosteusilanne ja jopa vuorokaudenaika. Talvella lumipeitteisenä aikana itiöpitoisuus on kaikkein alhaisimmillaan (Kaarakainen ym. 2008). Reposen (1994) mukaan se on vain noin 2 % lumettoman ajan keskimääräisestä pitoisuudesta. Yleisimmät ulkoilman sieni-itiösuvut ovat *Cladosporium* (yleisin), *Penicillium* ja *Alternaria*, mutta lajisto ja määrät vaihtelevat. Mikrobit ovat luonnollinen ja tärkeä osa ekologista kiertoa ja osa ihmisen elinympäristöä. Ulkoilman mikrobeista osa kulkeutuu myös sisäilmaan eikä niistä yleensä normaaliolosuhteissa ole mitään haittavaikutuksia ihmisille. Koneellisella ilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa merkittävä osa mikrobihiukkasista jää tuloilmasuodattimelle.

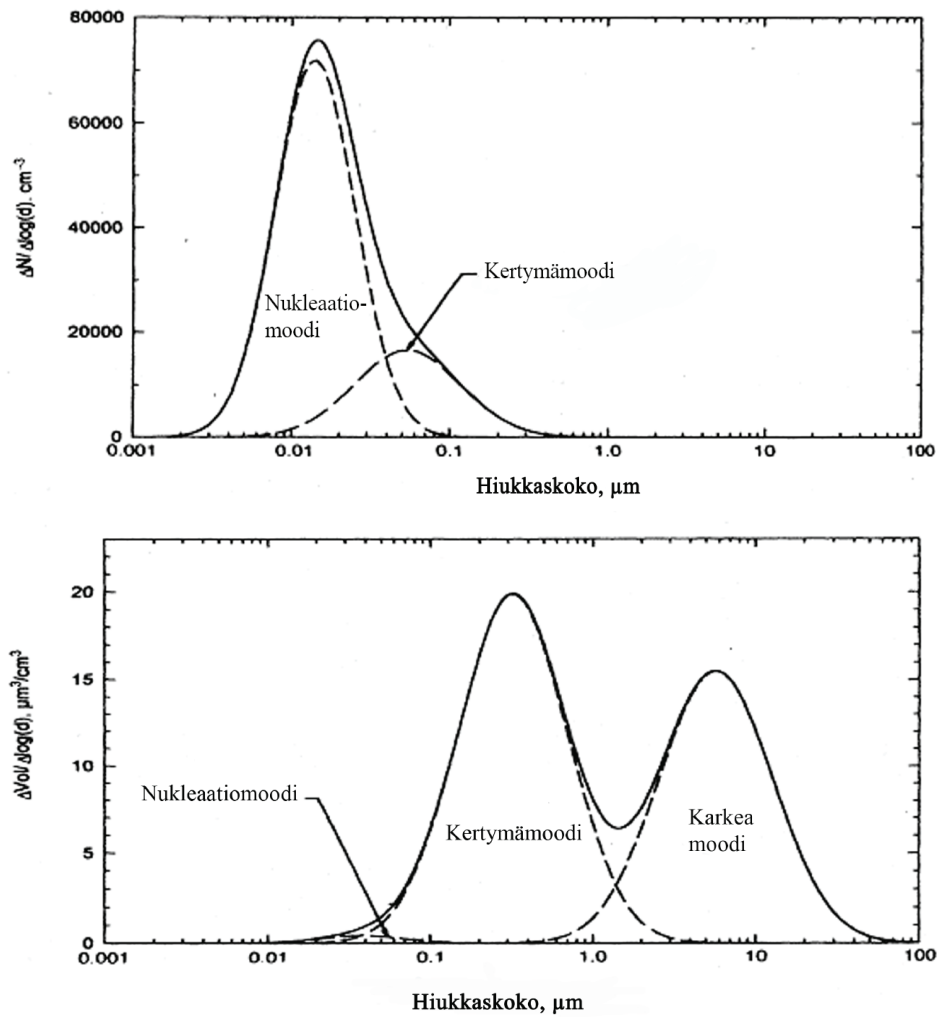
### 3.2.3 Hiukkasten jakaantuminen moodeihin

Aerosolihiukkasten tyypillistä kokojakaumaa voidaan kuvata moodeilla eli aerosolihiukkasten populaatioilla (kuva 8).



KUVA 8. Kaaviokuva kaupunki-ilman hiukkasten kokojakaumista ja niihin liittyvistä prosesseista (Hinds 1999).

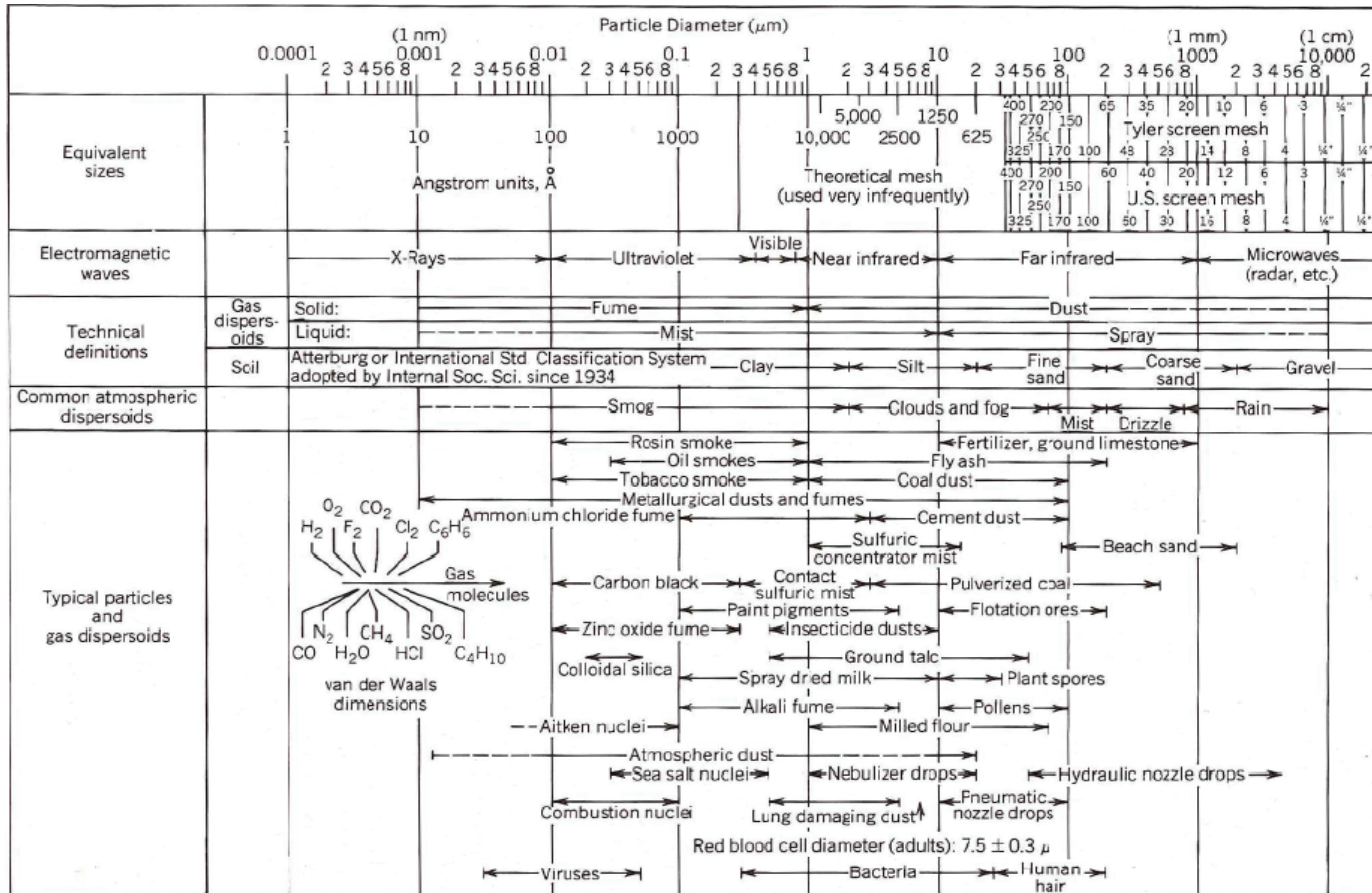
Kuvassa 8 pisteviivalla esitetyllä kaasujen ja höyryjen moodialueella ei ole hiukkasia. Kaasu-hiukkasmuutunnalla homogeenisen tai heterogeenisen nukleation kautta muodostuneet hiukkaset sijoittuvat ydinmoodin alueelle. Hiukkaset törmäilevät ja koaguloituvat keskenään muodostaen yhä suurempia hiukkasia kertymämoodin alueella. Karkean hiukkasmoodin alueelle sijoittuvat hiukkaset ovat pääosin primäärihiukkasia.



KUVA 9. Kaupunki-ilman hiukkasten lukumäärä- (yläkuva) ja tilavuuspitoisuuden (alakuva) jakautuminen (samat hiukkaspopulaatiot) eri moodeihin (Hinds 1999).

Kuvan 9 yläkuvassa on esitetty hiukkasmoodien lukumääräpitoisuusjakaumat. Siitä nähdään, että hiukkasten lukumäärästä valtaosa sijoittuu ydinmoodin alueelle. Alakuvassa on moodien massapitoisuusjakaumat (tilavuuspitoisuus vastaa likimäärin massapitoisuutta) ja niiden mukaisesti suurimmat massamäärät ovat kertymämoodin ja karkean hiukkasmoodin alueille sijoittuvilla hiukkasilla.

Karkeat hiukkaset syntyvät mekaanisesti esimerkiksi tuulen tai hankauksen seurauksena. Näihin lukeutuvat mm. meren suolahiukkaset ja katupöly. Maaperästä tuulen ja liikenteen nostattama hiukkasaines onkin kokoluokaltaan pääasiassa 2,5–10  $\mu\text{m}$  (Ohlström 1998). Pienhiukkaset (< 2,5  $\mu\text{m}$ ) puolestaan ovat peräisin liikenteen ja energiantuotannon päästöistä. Kuvassa 10 on esitetty erilaisen aerosolihiukkasten kokoja ja niihin liittyviä ilmiöitä. Kuvassa on nähtävillä laskeutuvien hiukkasten (n. > 1,0  $\mu\text{m}$ ) merkittävä osuus, johon sisätiloissa siivouksella pystytään vaikuttamaan myöhemmin kerrottavalla tavalla.



KUVA 10. Aerosolihiukkasten kokoja (Finlayson-Pitts & Pitts 1986).

### 3.2.4 Hiukkasten poistuminen ilmakehästä

Hiukkasten poistuminen ilmakehästä tapahtuu kuiva- ja märkädeposition vaikutuksesta. Kuivadepositiossa hiukkaset törmäävät maahan tai muihin pintoihin ja takertuvat niihin. Kuivadepositio on tehokkainta isoille hiukkasille sekä aivan pienimmille hiukkasille. Hiukkaset, joiden halkaisija on välillä 0,1-1  $\mu\text{m}$ , poistuvat ilmakehästä pääosin märkädepositiolla. Märkädepositiossa hiukkaset joutuvat sadepisaroihin joko suoraan pilvissä tai pilvien alapuolella pisaroiden osuessa niihin. Pienhiukkasten tyypillinen viipymäaika alailmakehässä on muutamia päiviä, ilmakehän ylemmissä osissa se voi olla viikkoja tai kuukausia (Laukkanen 2005).

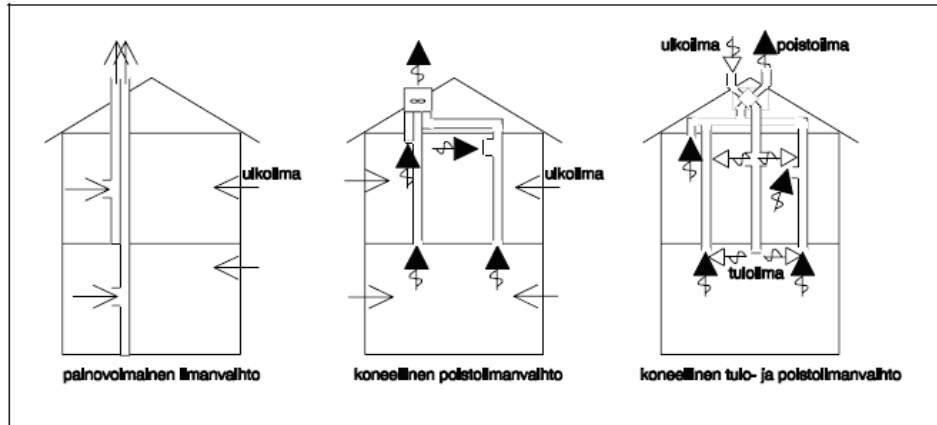
## 3.3 Sisäilman hiukkaset

### 3.3.1 Hiukkasten ulko-sisäsiirtymä

Ulkoilman laatu vaikuttaa oleellisesti sisäilman laatuun epäpuhtauksien ulko-sisäsiirtymän vuoksi (Koponen 2003, Pekey ym. 2010). Epäpuhtaudet siirtyvät ulkoilmasta sisäilmaan pääasiassa ilmanvaihdon ja rakennuksen vaipan vuotoilmavirtausten mukana (Sippola & Nazaroff 2003, Holopainen ym. 2006). Vaikutusaste riippuu ilmanvaihdon toteutustavasta, suodatusasteesta ja rakennuksen vaipan tiiveydestä sekä rakennuksen käytöstä, koosta, korkeudesta, muodosta, korkeusasemasta ja ulkoilmaolosuhteista.

Ilmanvaihto voi olla luonnollinen eli painovoimainen tai koneellinen. Koneellinen ilmanvaihto voi olla pelkästään koneellinen poistoilmanvaihto, jolloin korvausilma tulee ikkunatuuletuksen tai erikseen järjestettyjen korvausilmareittien kautta tai sekä tulo- että poistoilmanvaihto on täysin koneellinen (kuva 11). Kaikkia vaihtoehtoja on rakennuskannassamme vielä runsaasti, mutta täysin koneellisen ilmanvaihdon osuus on kasvamassa.

Luonnollinen eli painovoimainen ilmanvaihto perustuu ilman virtaukseen lämpötilaeroista johtuvien tiheys- ja paine-erojen seurauksena. Vanhoissa pientaloissa ratkaisu on yleensä toteutettu savuhormien yhteyteen sijoitettujen ilmahormien kautta. Korvausilmalle ei useinkaan varattu erillisiä reittejä vaan korvausilma saatiin rakenteiden kautta tai ikkunatuuletuksena. Tietyillä ilmasto-olosuhteilla ja varsinkin lämpimään vuodenaikaan tässä ratkaisussa ei synny riittävää lämpötilaeroa ilman siirtymisen aikaan saamiseksi ja ilmanvaihto toimii puutteellisesti tai ei lainkaan.



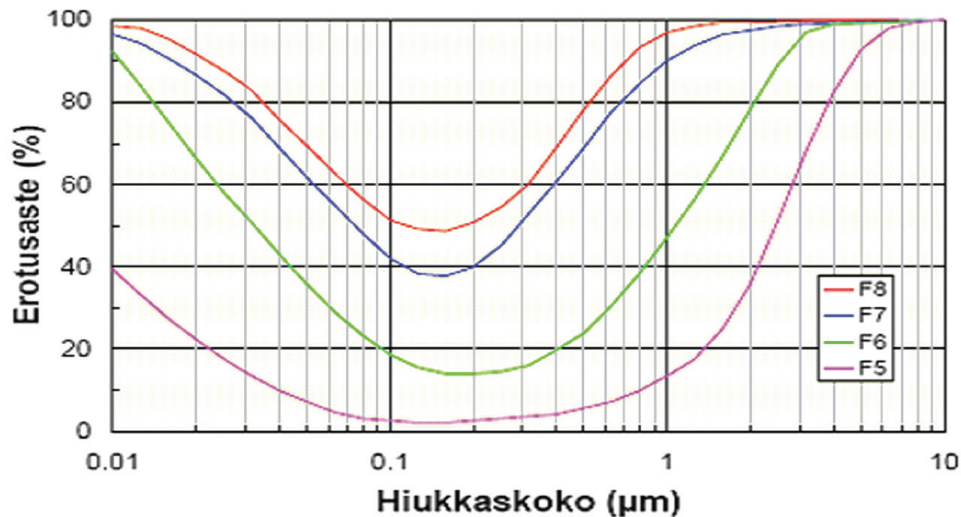
KUVA 11. Ilmanvaihdon toteutusperiaatteet (Seppänen 1996).

Koneellisella poistoilmanvaihdolla voidaan varmistaa riittävä ilman poistuminen, mutta korvausilman saanti vaatii erillisjärjestelyjä. Erityisesti ongelmana tässä menetelmässä ovat juuri korvausilman reititykset ja ilman suodatus. Korvausilmareittien puuttuessa ilma saattaa kulkeutua rakenteiden vuotokohtien kautta, jolloin epäpuhtauksien leviäminen sisätiloihin on mahdollista.

Käytännössä hallittuun ja kaikissa olosuhteissa riittävän hyvään sisäilmanlaatuun on parhaiten mahdollista päästä ainoastaan täysin koneellisella ilmanvaihdolla. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (Ympäristöministeriö 2008) mukaan rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. Ilmanvaihdon osalta tätä määräystä on tulkittu nykyisin pääsääntöisesti niin, että sen mukaisiin tavoitteisiin pääsemiseksi tarvitaan täysin koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä.

Ulkoilman suodatuksella on tärkeä merkitys hiukkasten ulko-sisäsiirtymän kannalta (Asmi 2000). Kuvassa 12 on esitetty yleisimpien tuloilman hienosuodattimien erotusasteet eri hiukkaskokoluokissa (standardi EN 779 2002). Nykyisin käytetään toimistorakennuksissa yleisesti F7-luokan suodatusta ja varsinkin taajamien keskusta-alueilla myös F8-luokan suodatus on yleistymässä. Huomionarvoista kuviossa on se, että yli 1  $\mu\text{m}$  hiukkasista F7-luokan suodatuksella voidaan poistaa jo noin 90 % ja ero seuraavaan heikompaan F6-luokan suodatustasoon on merkittävä. Tehokkaalla tuloilman suodatuksella on mahdollista vähentää sisätilojen pinnoille deponoituvien hiukkasten määrää ja tätä kautta siivouksen tarvetta.





KUVA 12. Hienosuodattimien erotusasteet eri hiukkaskokoluokissa (Hanley ym. 1994). F5 on heikoin ja F8 paras.

Suodatinten erotusasteet ovat pienimmillään hiukkaskokoluokissa noin 0,1–0,2 µm (kuva 12). Tämä johtuu siitä, että kaikki suodattumiseen vaikuttavat mekaniimit eli sieppaus (interseptio), törmäys (impaktio), diffuusio, gravitaatio (sedimentaatio) ja sähköstaattinen vetovoima ovat heikoimmillaan em. kokoluokkiin kuuluvilla hiukkasilla (Hinds 1999). Vaikka näitä ilmiöitä voidaan kutakin kuvata erillisinä, vaikuttavat nämä enemmän tai vähemmän yhteisesti itse suodatustahtumassa.

Rakennuksen ilmanvaihto suunnitellaan yleensä lievästi alipaineiseksi ulkoilmaan nähden, jotta rakennuksen ulkoseinärakenne toimii lämpö- ja kosteusteknisesti oikein eikä haitallista kosteuden tiivistymistä rakenteeseen pääse tapahtumaan. Ilmanvaihdon alipaineisuus voi aiheuttaa kuitenkin myös haittoja. Mikäli rakennuksen vaipassa on epätiivelyskohtia, voi alipaineisuus aiheuttaa vuotoilman pääsyä sisätiloihin kohdista, joissa on epäpuhtauksia. Rakennuksen korkeus, koko, muoto, sijainti ja ilmastolliset seikat voivat lisätä vuotoilman määrää. Myös rakennuksen käyttö ovien ja ikkunoiden aukomisineen voi lisätä puhdistamattoman ilman pääsyä sisätiloihin.

Uusimpien tutkimusten mukaan (Heini 2008) ilmanvaihtokoneen käynnistäminen (suodatustaso F7) aiheuttaa tuloilman hiukkaspitoisuuden kasvamisen ilmanvaihtojärjestelmässä keskimäärin noin 40-kertaiseksi tavanomaiseen pitoisuuteen verrattuna. Pitoisuus laskee kuitenkin itse järjestelmässä varsin nopeasti eli 10–30 minuutissa tavanomaiselle tasolle. Koneen aiheuttaman hiukkaspulssin vaikutusta huoneilman hiukkastaseeseen ei ole tiettävästi tutkittu, mutta oletettavasti turbulenttisilla ilmavirtauksilla on vaikutusta myös jo huonepinnoille depositeineisiin hiukkasiin ja huoneilman laatuun. Ilmanvaihtokanavistossa 1–5 µm

hiukkasten osuus kasvaa lähestyttäessä huoneen tuloilmaelintä. Ilmanvaihtokoneen käynnistys tuottaa siten myös merkittävän hiukkaspulssin laskeutuvia hiukkasia huoneen sisäilmaan.

Ilmanvaihtojärjestelmän kanavapinnat ja suodattimet keräävät epäpuhtauksia ja erityisesti jo likaantuneet ja puhdistustarpeessa olevat kanavistot voivat toimia hiukkasnieluinä ja epäpuhtauslähteinä (Pasanen 1998, Hyttinen ym. 2001, Holopainen 2004, Mendell ym. 2008, Waring & Siegel 2008). Ilmanvaihtokoneen käynnistys voi irrottaa tällaisilta pinnoilta epäpuhtauksia huoneilmaan. Tähän viittaa mm. havainto, että kanavapinnoilla olevat epäpuhtaudet eivät aina korreloi ilmasta tehtyjen löydösten kanssa. Ilmanvaihtojärjestelmään voi myös päästä lunta ja sadevettä, joka lisää epäpuhtauksien määrää ja laatua suodattimissa ja kanavapinnoilla (Halonen ym. 2000, 2001).

Sisäilman hiukkasten kokonaisleijuman (TSP, total suspended particles) pitoisuus saa olla enintään  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (24 tunnin keskiarvo,  $20^\circ\text{C}$ , 1 atm, Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Hengitettävien hiukkasten  $\text{PM}_{10}$ -pitoisuus ( $10 \mu\text{m}$  ja sitä pienempien hiukkasten kokonaismassapitoisuus ilmakeuutiometrissä) saa sisäilmassa olla enintään  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (24 tunnin keskiarvo,  $20^\circ\text{C}$ , 1 atm). Pienhiukkasille ( $\text{PM}_{2,5}$ ) ei toistaiseksi ole ohjearvoa asetettu (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003).

Ultrapienet hiukkaset ( $0,003\text{--}0,1 \mu\text{m}$ ) pääsevät ulkoilmasta lähes esteettä sisätiloihin (Hussein ym. 2005). Viive on tutkimuksen mukaan alle 20 minuuttia. Sisäilman ja ulkoilman pienhiukkasten massapitoisuuden suhteen (I/O-suhde, indoor/outdoor) on yleensä havaittu olevan hieman pienempi kuin 1 eli altistus hiukkasille on sisällä pienempi kuin ulkona (Raunemaa ym. 1989). Ero johtuu pääasiassa ilman suodatuksesta.

### 3.3.2 Ihminen ja ihmisen toiminnot

Ihminen on käytännössä suurin sisäilman hiukkaskuormitukseen vaikuttava tekijä. Ihmisestä (pääasiassa ihon uloimmasta kerroksesta) irtoaa partikkeleita ja niiden mukana mikrobeja jatkuvasti. Ihon pintasolukko, orvaskesi (epidermis) uusiutuu kokonaan 6-10 viikon sisällä (Iholiitto ry 2011). Ihosta irtoavat hiukkaset ovat kooltaan pääasiassa yli  $1 \mu\text{m}$ , joten suuri osa niistä laskeutuu pinnoille. Paikallaan istuessaan ihminen voi tuottaa huoneilmaan kooltaan yli  $0,5 \mu\text{m}$ :n hiukkasia noin  $100\,000 \text{ kpl}/\text{min}$ , raskaassa ruumiillisessa työssä jopa noin 5 miljoonaa  $\text{kpl}/\text{min}$ . Adgaten ym. (2003) mukaan aikuisten tupakoimattomien ihmisten keskimääräinen  $\text{PM}_{2,5}$ -pitoisuus ( $2,5 \mu\text{m}$  pienempien hiukkasten muodostaman hiukkaspilven massapitoisuus) on noin  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Huoneilmaan joutuvien hiukkasten määrä riippuu suureksi osaksi henkilön aktiviteetistä sekä vaatetuksen tiiveydestä ja suojaavuudesta. Suunniteltaessa ja toteutettaessa henkilöiden altistusmittauksia henkilön oma hiukkastuotanto on syytä ottaa huomioon.

Hiukkasten mukana ihmisestä irtoaa myös ns. sebum-likaa eli talirauhasten hiusten ja ihon suojaksi tuottamaa talia. Se koostuu erilaisista glyserideistä ja

vapaista rasvahapoista, joista löytyy myös rasvahappoestereitä ja alifaattisia hiilivetyjä (Suontamo 2004). Talirauhasia on ihmisen ihosta kaikkialla paitsi kämmenissä ja jalkapohjissa.

Ihmisen toiminnoista ruoan laitto ja tupakan poltto tuottavat runsaasti hiukkasia ilmaan (Hussein ym. 2006, Evans ym. 2008). Tutkimuksessa (He ym. 2004), jossa selvitettiin asumistoimintoihin liittyviä hiukkaspäästöjä, todettiin, että ruoanlaitossa grillaus, paistaminen ja pizzan leipominen tuottivat sekä massaettä lukumääräpitoisuudeltaan eniten alle 2,5 µm hiukkasia sisäilmaan. Myös kynttilöiden poltto tuotti runsaasti hiukkasia ilmaan. Rasvaisen ruoan laitto tuottaa kasvisten laittoa enemmän hiukkasia ilmaan ja öljyn käyttö lisää hiukkastuottoa (Buonanno ym. 2009). Tupakointi, siivous ja ruoanlaitto moninkertaistavat hetkellisesti sisäilman hiukkaspitoisuuden (Fisk ym. 2000). Toimistotyöpaikoilla työtiloissa liikkuminen, työskentely, papereiden käsittely, siivous ja toimistokoneiden ja laitteiden käyttö tuottavat ilmaan merkittäviä määriä hiukkasia (Aulanko ym. 2000). Erityisesti laserkopiokoneiden, tulostimien ja silppureiden on todettu tuottavan sisäilmaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja otsonia sekä ultrapieniä hiukkasia (He ym. 2007).

### 3.3.3 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Rakennus- ja sisustusmateriaalien hiukkaspäästöt voivat olla epäorgaanista tai orgaanista alkuperää. Tyypillisimpiä epäorgaanisia hiukkasia ovat kuidut. Maa-ilman terveysjärjestö WHO on määritellyt kuidulle seuraavat kriteerit: läpimitan (D) tulee olla  $< 3 \mu\text{m}$ , pituuden (L) tulee olla  $> 5 \mu\text{m}$  sekä pituuden ja läpimitan suhteen tulee olla  $L:D > 3:1$ . Edellä mainitut kriteerit täyttäviä kuituja kutsutaankin WHO-kuiduiksi (Schneider 2000). Mineraalivillakuituja käytetään lämmön, palon ja äänen eristyksessä rakennuksissa ja LVI-laitteissa. Kuituja päätyy huoneilmaan huonokuntoisista eristeistä, likaantuneista ilmanvaihtokanavista sekä pinnoittamattomista akustiikkalevyistä (Kolari 2003). Tietyissä työolosuhteissa, kuten jätejakeiden käsittelyssä (Lohila ym. 2000) ja ilmanvaihtolaitteiden puhdistustöissä (Kolari ym. 2004), altistuminen voi olla tavanomaista suurempaa. Eristeistä irtoavat mineraalivillakuidut ovat suhteellisen suurikokoisia ja laskeutuvat nopeasti pinnoille. Koti- ja toimisto-olosuhteissa juuri laskeutuvien kuitujen ja koettujen terveyshaittojen välillä on todettu yhteys. Leijuvat ja laskeutuvat kuidut saattavat aiheuttaa ihmisille lähinnä ärsytysoireita (silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytys) ja saattavat lisätä siivoustarvetta (Kovanen ym. 2006).

Pintojen kuitupitoisuuksille ei ole virallisia raja-arvoja. Suositusten mukaan synteettiset mineraalikuidut eivät todennäköisesti aiheuta ongelmia, jos niiden määrät ovat säännöllisesti siivottavilla pinnoilla alle 0,2 kuitua/cm<sup>2</sup> ja harvoin siivottavilla pinnoilla alle 3 kuitua/cm<sup>2</sup> (Schneider 2000, Kovanen ym. 2006).

Asbesti muodostaa mineraalikuituja tunnetumman ryhmän ja sen erittäin pienen hiukkaskoon (läpimitta vain noin 0,03-3 µm) vuoksi se pääsee syvälle ih-

misen hengityselimiin. Asbestin ilmasta otetun näytteen raja-arvo on 0,01 kuitua/m<sup>3</sup> eikä pinnoille laskeutuneessa pölyssä asbestikuituja saa olla lainkaan (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Nykyiset rakennusmateriaalit ja -aineet eivät sisällä asbestia, mutta vanhoissa rakennuksissa ja rakenteissa sitä saattaa edelleen esiintyä.

Yleisimmät sisäilmassa esiintyvät mikrobit ovat *Cladosporium*, *Penicillium* ja *Aspergillus* (Reiman 1998). Jos rakennus on vaurioitumaton (ei kosteus- eikä homevaurioita), sen sisäilmaston mikrobistoon vaikuttaa ensisijaisesti ulkoilma ja toissijaisesti ns. sisälähteet. Sisälähteillä tarkoitetaan sellaisia ihmisen normaaliin elämään liittyviä toimintoja ja materiaaleja, joista voi vapautua mikrobeja sisäilmaan. Tällaisia sisälähteitä voivat olla mm. polttopuut, elintarvikkeet, kasvien hoito, lakaisu ja vuodevaatteiden vaihto. Näistä voi vapautua hetkellisesti suuria määriä hiukkasia ja mikrobeja sisäilmaan, mutta pitoisuudet laskevat yleensä nopeasti. Myös lemmikkieläimet tuottavat runsaasti hiukkasia ilmaan.

Kosteus- ja homevauriutilanteissa rakennuksen sisäilman mikrobilajisto ja määrä muuttuvat yleensä selvästi ja tämän yhteys ihmisten oireisiin ja sairastavuuteen on kiistaton (Nevalainen 1989, Seuri & Reiman 1996, Haahtela & Reijula 1997, Leivo 1998, Seuri & Palomäki 2000, Husman 2001, Pirinen 2006, Mudarri & Fisk 2007, Fisk ym. 2007, Majvik II 2007, WHO 2009, Putus 2010). Erään arvion mukaan Suomessa sisäilman mikrobeille altistuneiden määrä on noin 1,5 miljoonaa henkilöä ja vuosittain eriasteisesti oireilevien määräksi arvioidaan keskimäärin noin 50 000 henkilöä (Jantunen ym. 2005). Sisä- ja työympäristön bakteri- ja sieni-itiöpitoisuuksille ei ole olemassa terveysperusteisia raja-arvoja, joten mikrobituloksia on tulkittava työpaikka- ja tapauskohtaisesti. Toimistotyypisistä homevaurioisista ja vauriottomista työpaikoista tehdyistä mikrobimittauksista Työterveyslaitoksen Uudenmaan toimipisteen alueelta on julkaistu taulukon 1 yhteenvedo vuonna 2007 (Salonen ym. 2007).

TAULUKKO 1. Toimistorakennusten ilmanäytteiden mikrobipitoisuudet (Salonen ym. 2007).

	Pitoisuus (pmy/m <sup>3</sup> )				
	homeet		bakteerit		aktinobakteerit
	vaihteluväli	mediaani	vaihteluväli	mediaani	mediaani
Vertailurakennus	2-45	5	12-540	80	3
Vauriorakennus	2-2470	24	14-1550	114	6

Asumisterveysoppaassa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2008) annettujen tulkintaohjeiden mukaan taajamassa sijaitsevien asuinrakennusten sisäilman sieni-itiöpitoisuudet yli 100 pmy/m<sup>3</sup> ja aktinobakteeripitoisuudet yli 10 pmy/m<sup>3</sup> talviaikana voivat viitata mikrobilähteeseen sisätiloissa. Poikkeava mikrobilajisto viittaa mahdolliseen kosteus- ja homevaurioon. Yksittäisten kosteusvauriomikrobien esiintyminen pieninä pitoisuuksina on kuitenkin normaalia. Toimistotyypisissä

rakennuksissa sisäilman mikrobipitoisuudet ovat yleensä pienempiä kuin asuinrakennuksissa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2008).

Mikrobit poistuvat sisäilmasta luontaisesti joko laskeutumalla (sedimentatio), mitä ne voivat helpottaa sitoutumalla toisiinsa tai johonkin muuhun hiukkaseen tai takertumalla erilaisille pinnoille (depositio). Siivouksella voidaan poistaa seinä- ja lattiapinnoille sekä kalusteille kertyneet epäpuhtaudet ja vähentää näin myös ilmaan nousevien itiöiden määrää (Reiman 1998).

Hiukkasmaisia orgaanisia epäpuhtauksia voi vapautua huoneilmaan ja pinnoille myös kasveista, lemmikkieläimistä ja hyönteisistä. Viime vuosina mm. pölypukkien merkittävyttä ja yhteyttä erilaisiin oireisiin on selvitelty monissa tutkimuksissa (Bornehag ym. 2004, Pennanen ym. 2004, Bossios ym. 2008). Pölypunkit ovat noin 0,3 – 0,5 mm:n suuruisia hämähäkkieläimiä, jotka viihtyvät kosteassa ja pölyisessä ympäristössä. Viime aikoina on saatu viitteitä siitä, että kodeissa tavatut pölypunkit ovat vähenemässä. Sen sijaan varastopunkteista, joita tiedetään olevan useita satoja eri lajeja, ei tällaisia viitteitä ole esitetty (Pennanen ym. 2004). Yhteistä hiukkasmaisille epäpuhtauksille on, että aikaa myöten ne deponoituvat tai laskeutuvat pinnoille ja niiden poistossa siivouksella on aivan keskeinen merkitys.

Laskeutuneiden hiukkasten ja terveysvaikutusten yhteyttä on jonkin verran selvitetty eri tutkimuksissa. Muiden muassa ns. sairasrakennusoireyhtymän yhteydessä on epäilty, että joko biologisesti aktiiviset komponentit pinnoilla olevassa pölyssä tai pölyyn sitoutuneet kaasut tai yhdisteet voivat aiheuttaa kyseisiä oireita (Allermann ym. 2007, Brightman ym. 2008). Stressi voi vielä lisätä oireita (Hansen ym. 2008). Tanskalaistutkimuksessa, jossa aineistona oli yhteensä 870 henkilöä ja 12 rakennusta, löydettiin selvä korrelaatio pinnoilla olevan pölyn koostumuksen ja henkilöiden oireiden välillä (Gyntelberg ym. 1994).

Tutkimuksessa, jonka aineistona oli 114 tupakoimatonta toimistotyöntekijää, toimistojen perusteellinen siivous vähensi ilmassa leijuvan pölyn määrää tavalliseen siivoukseen verrattuna ja vähensi myös henkilöiden hengitysteiden limakalvo-oireiden määrää (Skulberg ym. 2004). Ennen interventiota ilman kokonaishiukkasmäärä oli  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja intervention aikana keskimäärin  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tavallinen huonepöly saattaa aiheuttaa ihmisille jo  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuuksina selvästi havaittavia subjektiivisia ja objektiivisia terveysvaikutuksia. Pöly alentaa selvästi kyynelnesteen stabiilisuutta ja tihentää silmän räpytysväliä sekä kasvattaa eosinofiilien määrää nenähuuhtelunesteessä. Pöly lisää yleisärsytysoireita silmissä, nenässä ja keuhkoissa (Mølhav 2007). Parkin ym. (2006) tutkimuksessa oli analysoitu lattiapölystä homesienet ja endotoksiinit ja todettu niiden yhteys ihmisten hengitystieoireisiin. Aineistona oli 888 henkilöä kosteusvaurioituneissa rakennuksissa. On myös todettu, että tehostettu siivous vähentää hiukkasten massapitoisuutta ilmassa, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja bakteerien ja homesienten määrää pinnoilla (Franke ym. 1997, Halonen ym. 2003, Barnes 2008).

Mølhav ym. (2002) tutkivat pölyn suoraa vaikutusta terveiden koehenkilöiden (24 henkilöä) silmiin ja nenään. Toimistopölyn, jossa ei todettu olevan mitään erityisen reaktiivisia komponentteja, massapitoisuus vaihteli välillä 136–390 µg/m<sup>3</sup> ja testiaika oli 5 tuntia 15 minuuttia. Vaikutuksina oli mm. ihoärsytyksen lisääntyminen ja silmien räpytysvälin tihentyminen. Silmien punaisuuden lisääntymistä ei todettu. Ylähengitystievaikutukset jäivät vähäisiksi.

Pesonen-Leinonen ym. (2004) tutkivat kuuden monikerroksisen rakennuksen huoneiden pintapölyn laatua ja käyttäjien kokemuksia. He havaitsivat, että jokaisessa rakennuksessa oli omanlaisensa pintapölyn epäpuhtausjakauma. Viikoittainen siivous säilytti pintojen epäpuhtauspitoisuudet hyväksyttävällä tasolla. Tilan käyttäjä ja toiminta olivat suurimmat syyt pintojen epäpuhtausmääriin. Pintojen pölymäärien vähäisyys lisäsi odotetusti käyttäjien tyytyväisyyttä. Allerman (2007) tutki laskeutuneen toimistopölyn biologista tulehdusvastetta solulinja A549:n avulla. Tutkimuksen mukaan on mahdollista käyttää kyseistä menetelmää karkeana mittarina arvioitaessa rakennuksen kemiallisia ja biologisia riskitekijöitä. Pölyn kuumennus lisää emissioiden määrää ja voi aiheuttaa lisääntyvää hengityselinoireilua (Mathiesen ym. 2004). Tehostetulla siivouksella voidaan vähentää allergeenien määrää ja parantaa sisäolosuhteita (Tranter 2008).

Lignell (2008) tutki kuinka rakennuksen käyttötarkoitus, kosteusvauriot ja niiden korjaus ja vuosien välinen vaihtelu vaikuttavat sisätilojen mikrobistoon. Mikrobistoa tutkittiin sisäilmasta ja pinnoilta otetuilla näytteillä. Kosteusvauriot kohottivat ilmassa ja pinnoilla olevien mikrobien määriä ja lajien runsautta. Tilojen käyttäjillä oli enemmän oireilua kosteusvaurioituneissa kohteissa. Korjausten jälkeen hengitystieoireilu väheni. Vasta perusteellinen siivous vähensi korjausten jälkeen mikrobien määrän normaalille tasolle.

Kosteus- ja homevaurioisten rakennusten pölystä on löydetty toksiineja tuottavia mikrobeja. Solutoksikologisten tutkimusten mukaan mm. seuraavia toksiineja ja niiden tuottajamikrobeja on pystytty yhdistämään sisäilmaongelmaisista rakennuksista: kereulideja (*Bacillus cereus*), amyloosiinia (*Bacillus subtilis* ym.), valinomysiinia (*Streptomyces griseus*), akreboleja (*Acremonium exuviarum*), satratoksiineja ja roridiineja (*Stachybotrys chartarum*), peptaiboleja (*Trichoderma harzianum*) ja longibrakiineja (*Trichoderma longibrachiatum*) (Andersson 1999, Salkinoja-Salonen 2009). Toksiinien merkitys terveysvaikutusten aiheuttajana on epäselvä ja niiden tutkimusmenetelmät ovat vielä kehitysvaiheessa (Valvira 2010, Työterveyslaitos 2010).

### 3.3.4 Hiukkasia muodostavat kaasut

Sisäilmassa tapahtuvia kaasu-hiukkasaineensiirtoon liittyviä ilmiöitä ovat *adsorptio*, *nukleaatio* ja *kondensaatio*. Adsorptiosta *fysisorptiossa* adsorboituva kaasu saa aikaan sähköisen tasapainon kiinteään aineen pinta-atomien elektronikuoressa. Adsorboitunut kaasu on kuitenkin edelleen kaasumuodossa. *Kemisorptiossa* tapah-

tuu kaasumaisen yhdisteen kemiallinen reaktio kiinteän aineen pinta-atomien tai -molekyylien kanssa. Huokoisessa materiaalissa adsorptio voi tapahtua myös pintaa syvemmillä. Adsorptiolle käänteinen ilmiö on *desorptio*. Tästä esimerkkinä voidaan mainita homevaurioituneen rakennuksen tavaroihin tarttuvan ominaishajun (esim. geosmiini), joka on tunnistettavissa tavaroista niiden siirron jälkeinkin. Nk. sink-ilmiö vielä hidastaa tätä emittoitumisprosessia. Siivouksen kannalta adsorptio on edellä kuvatussa tilanteessa ongelmallinen, mutta prosessia käytetään monin tavoin hyödyksi mm. erilaisten helposti tai itsestään puhdistuvien pinnoitteiden valmistuksessa. Adsorptio on sisäilmassa tärkein mekanismi, jolla kaasumaisia yhdisteitä siirtyy kaasufaasista hiukkasfaasiin.

Nukleaatiossa supersaturoituneet (ylikylläiset,  $S > 1$ ) kaasut, joiden höyrynpaine on riittävän alhainen (SVOC:it) eivät pysy enää kaasufaasissa, vaan niiden on termodynaamisesti edullisempaa siirtyä nestefaasiin muodostamalla nukleoitumisen kautta hyvin pieniä nestepisaroita. Homogeenisessa nukleaatiossa prosessi tapahtuu ilman tiivistymisydintä ja heterogeenisessa nukleaatiossa valmiin ytimen ympärille. Adsorptio ja nukleaatio ovat usein keskenään kilpailevia prosesseja.

Kondensaatiossa ylikylläisen kaasun olomuoto muuttuu nesteeksi ja tiivistyy pinnoille tai hiukkasiin. Tyypillinen esimerkki tästä on vesihöyryn tiivistymisen kylmille pinnoille kuten ikkunalasiin. Kondensaation vastakkainen ilmiö on haihtuminen.

Orgaaniset yhdisteet jaetaan yleensä neljään ryhmään niiden kiehumisalueiden mukaan:

- VVOC = erittäin haihtuvat yhdisteet, kiehumisalue  $> 0...50-100$  °C (ovat aina kaasuja)
- VOC = haihtuvat yhdisteet, kiehumisalue  $50-100...240-260$  °C (ovat aina kaasuja)
- SVOC = puolihaihtuvat yhdisteet, kiehumisalue  $240-260...380-400$  °C (ovat kaasu- ja hiukkasfaasiin jakaantuneena)
- POM - yhdisteet, kiehumisalue  $> 380$  °C (ovat hiukkasia)

Näistä POM-yhdisteet ovat hiukkasmaisia orgaanisia yhdisteitä. OC-yhdisteistä erityisesti tietyt yhdisteet näyttävät konsentroituvan huonepölyyn. Tähän ryhmään kuuluvat puolihaihtuvat yhdisteet eli SVOC:t (semivoc:t). Hirvosen ym. (1994) tutkimuksessa tutkittiin kahdentoista asunnon laskeutuneen pölyn OC-yhdisteitä käyttäen termodesorptiota kaasukromatografi-massaspektrometrilla. Tulosten mukaan yhdisteiden desorptiot pölyhiukkasista olivat vähäisiä alle 70 °C lämpötilassa, lisääntyivät huomattavasti 100 °C yläpuolella ja olivat enimmillään 200 °C lämpötilan yläpuolella. Desorboituneet yhdisteet olivat pääosin alifaattisia aldehydejä, alifaattisia karboksyylihappoja ja niiden estereitä ja ftalaatteja. Pedersen ym. (2003) ovat tutkimuksissaan päätyneet lähes vastaaviin tuloksiin. Tämä

viittaa siihen, että SVOC-yhdisteet pystyvät parhaiten adsorboitumaan hiukkasiin ja ovat siten siivouksen kannalta POM-yhdisteiden lisäksi tärkein orgaanisten yhdisteiden ryhmä.

SVOC-yhdisteet esiintyvät hiukkasfaasissa kahdella tavalla. Jos ilmassa on valmiiksi hiukkasia (kuten yleensä aina), ne adsorboituvat hiukkasten pinnalle (Volckens & Leith 2003, Weschler & Nazaroff 2008). Jos taas ilmassa on vain vähän hiukkasia, SVOC:it voivat nukleoitua hiukkasiksi (pieniksi nestepisaroiiksi).

### 3.3.5 Depositio ja resuspensio

Hiukkasten keskinäiseen vuorovaikutukseen liittyvät ilmiöt ovat *koagulaatio*, jossa hiukkaset sulautuvat toisiinsa (nestepisarot) ja *agglomeraatio*, jossa hiukkaset törmätessään tarttuvat kiinni toisiinsa säilyttäen alkuperäisen muotonsa (kiinteät hiukkaset). Näiden ilmiöiden seurauksena hiukkasten koko kasvaa ennen pitkää niin, että ne lopulta laskeutuvat alas.

Depositio eli hiukkasen poistuminen ilmasta tarttumalla johonkin pintaan voi tapahtua samoilla mekanismeilla kuin ilmansuodattimessa eli sieppauksella (interseptio), törmäyksellä (impaktio), diffuusiolla, gravitaatiolla (sedimentaatio) ja sähköstaattisilla vetovoimilla (Hinds 1999). Näistä diffuusion vaikutuksesta hiukkaset pyrkivät kohti alempia konsentraatioita ja tämä mahdollistaa esim. hiukkasten kerääntymisen seinille ja kattoon. Lisäksi hiukkasten liikedynamiikkaan vaikuttavat mm. *termoforeesi* ja ilman virtaukset. Termoforeesin vaikutus näkyy käytännössä esim. lämpöpattereiden yläpuolella esiintyvänä seinän pölyviiruna ja ikkunalaasiin tarttuneena pölynä. Termoforeesissa lämpötilagradientti aiheuttaa hiukkasen liikkeen kohti kylmempää lämpötilaa. Tästä johtuen lämpimät pinnat keräävät vähemmän hiukkasia kuin kylmät pinnat.

Huonetilassa depositions tapahtuu kaikkiin pintoihin ja kunkin depositions mekanismin suhteellinen merkitys riippuu hiukkasen koosta ja ilmavirran nopeudesta.

Laskeutuvan hiukkasen putoamisnopeus  $v_{TS}$  voidaan laskea yhtälöllä

$$v_{TS} = \frac{\rho_p \cdot d^2 \cdot g \cdot C_c}{18\eta} \quad (1)$$

Yhtälössä  $\rho_p$  on hiukkasen tiheys (1000 kg/m<sup>3</sup>),  $d$  hiukkasen aerodynaaminen halkaisija,  $g$  maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyyys (9,81 m/s<sup>2</sup>),  $C_c$  Cunninghamin liukukorjauskerroin ( $> 1 \mu\text{m}$  hiukkasille  $C_c \approx 1$ ) ja  $\eta$  kaasun dynaaminen viskositeetti (ilmalle 20 °C:ssa  $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5}$  Ns/m<sup>2</sup>). Yhtälöstä ratkaisemalla saadaan esimerkiksi 1  $\mu\text{m}$  hiukkaselle 2 m korkeudelta laskeuma-ajaksi noin 16 tuntia. Vastaavasti 5  $\mu\text{m}$  hiukkanen laskeutuu noin 43 min ja 10  $\mu\text{m}$  hiukkanen noin 11 min. Yhtälö kuvaa hiukkasen laskeutumisnopeutta ilmassa, jossa ei ole minkäänlaisia virtauksia. Käytännössä huonetilassa on aina jonkin verran vähintäänkin la-



minaarisia ilmavirtauksia mm. lämpötilaeroista johtuen. Virtausolosuhteet voivat olla erittäin vaihtelevat ilmanvaihdon ollessa toiminnassa tai kun tilassa on muuta toimintaa.

Yhtälön perusteella käytännössä vain noin yli 1  $\mu\text{m}$  hiukkaset voivat sedimentoitua pinnoille, mutta myös pienemmät hiukkaset voivat laskeutua hitaasti ja varsinkin kun ne ensin agglomeroituvat suuremmiksi hiukkasiksi. Ylläpitosiivouksella voidaan parhaiten vaikuttaa suoraan tasopinnoille laskeutuvaan osaan hiukkasista (Jalonen 1989). Tästä voidaan myös päätellä (vaikkakin tieteellinen näyttö puuttuu), että esimerkiksi toimistotilan siivous tulisi ajoittaa tapahtuvaksi ennen tilan käyttöä eli aikaisin aamulla ja mieluiten maanantaiksi, jolloin viikonlopun aikana ilmanvaihdon mahdollisesti ollessa poissa päältä, suuri osa laskeutuvista hiukkasista on ehtinyt laskeutua. Erityistilanteissa, kuten esimerkiksi homesiivousten yhteydessä ilmiö on syytä ottaa korostetummin huomioon ja huomioida myös se, että hiukkasten deponoitumista tapahtuu kaikille pinnoille. Harvoin tehtävillä siivouksilla ja perussiivouksilla poistetaan mm. ulottuvuuskorkeuden yläpuolisille pinnoille deponoituneet hiukkaset, jotka voivat olla aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 1  $\mu\text{m}$ .

Deposition vastakohtana on resuspensio eli re-emissio. Sillä tarkoitetaan deponoituneiden hiukkasten irtoamista pinnoilta takaisin ilmaan. Re-emissiota ohjaa kaksi voimaa: hiukkasen adheesio pintaan, joka pyrkii vastustamaan re-emissiota ja ilman virtausten hiukkasiin aiheuttama voima, joka pyrkii irrottamaan hiukkasen. Pienet hiukkaset ovat yleensä kokonaisuudessaan pinnan läheisen virtausmekaanisen rajakerroksen alla, joten virtaus ei normaalitilanteessa kykene irrottamaan niitä pinnalta (Hinds 1999). Hyvin voimakkaat ilmavirtaukset kuten esineiden putoaminen lattialle tai ilman väistyminen kengänpohjan alta voivat ainakin teoriassa pienentää tuota rajakerrosta ja aiheuttaa paikallisesti hiukkasten irtoamista pinnasta (Karlsson ym. 1996, Hu ym. 2005). Tämä prosessi ei kuitenkaan ole täysin tehokas pinnan epätasaisuuksien suojassa oleville hiukkasille. Lisäksi hiukkasen adheesiovoima on verrannollinen hiukkasen halkaisijaan ja ilman aiheuttamat voimat hiukkasen halkaisijan neliöön. Pienten hiukkasten irtautuminen pinnoilta on siten hyvin epätodennäköistä (Hinds 1999). Erityisesti tämä ilmiö vaikuttaa halkaisijaltaan 1  $\mu\text{m}$  pienempiin hiukkasiin. Tämän kokoluokan hiukkasten ja pinnan vuorovaikutuksiin vaikuttavat muutkin ilmiöt, kuten esimerkiksi sähköiset varaukset ja pintojen moninaisuus. Käytännössä siivouksessa tähän ilmiöön törmätään mm. siinä, että hienojakoinen pöly on pinnoilla varsin tiukassa ja esimerkiksi imurointi ei poista sitä kokonaan, vaan tarvitaan vähintäänkin nihkeitä pyyhintämenetelmiä.

Halkaisijaltaan 1  $\mu\text{m}$  suurempiin hiukkasiin vaikuttavat enemmän gravitaation aiheuttamat voimat ja pinnalle laskeutunut hiukkanen lähtee helposti uudelleen ilmaan resuspensioitumalla. Hiukkaset myös liikkuvat herkästi ilmavirtojen ja ihmisen mukana. Choi ja Edwards (2009) ovat osoittaneet, että kävelevä ih-

minen voi kuljettaa resuspensoituneita hiukkasia ilmavirtauksessa mukanaan jopa noin 8 metrin matkan.

Depositioon ja samalla myös resuspensioon vaikuttavat toisaalta myös tarttumapinnan ominaisuudet, kuten materiaalin sähköiseen varautumiseen liittyvät ilmiöt, rakenne, huokoisuus ja kuluneisuus sekä pintaan vaikuttavat ulkoiset tekijät kuten lämpötila, kosteus ja siivousmenetelmät ja -välineet sekä siivoustaajuus. Aulangon (1995) mukaan eri päällystemateriaaleilla havaittiin selviä eroja niiden pintapölymäärissä viikon pituisilla kertymäjaksoilla ja pintojen hienorakenne selitti eroja enemmän kuin sähköstaattiset ominaisuudet. Kuivien ja nihkeiden pyyhintämenetelmien välillä eroja ei havaittu.

### 3.3.6 Pölynielut ja pölyn lähteet

Kuvan 6 mukaisesti pölynieluja (=hiukkasnieluja) ovat pinnoille tapahtuva depositio ja sedimentaatio sekä siivous ja ilmanvaihto, joista jokainen vähentää osaltaan sisäilman hiukkaspitoisuutta. Jos pölynielu määritellään paikaksi tai menetelmäksi, jolla pysyvästi vähennetään tai poistetaan sisäilmasta ja pinnoilta hiukkasia, ainoastaan siivouksella on tämä merkitys. Depositiossa ja sedimentaatiossa pinnoille takertuneet ja laskeutuneet hiukkaset voivat resuspensoitua uudelleen ilmaan, joten määritelmän mukaan on kyse silloin epästabiilista tai osittaisesta pölynielusta. Samalla pinnat toimivat osittaisina pölyn lähteinä. Poistoilmanvaihdolla puolestaan vaikutetaan ainoastaan ilmassa leijuviin hiukkasiin. Epästabiilista pölynielusta voidaan käyttää myös nimitystä pölynsäilö. Toimistoissa on tavanomaisesti paljon avonaisia hyllyjä kirjoineen ja mappeineen, paperipinoja pöydillä, toimistokoneita ja laitteita, johtoja lattioilla jne. joihin pölyn laskeutuminen ja kiinnittyminen on mahdollista ja joiden siivoaminen on hankalaa tai jotka muusta syystä siivotaan harvoin. Nämä saattavat käytännössä muodostaa pölynieluja. Lisäksi pölyn kertyessä ne deponoivat ilmasta yhä lisää hiukkasia ja adsorboivat kaasumaisia epäpuhtauksia. Aikaa myöten näin muodostuneet pölynielut voivat alkaa toimia potentiaalisina pölyn lähteinä (Pesonen-Leinonen 2000).

Tutkimusten mukaan kalusteet ja tekstiilit ovat merkittävä ärsytysoireiden ja allergeenien lähde kouluissa ja vaikuttavat sisäilman laatuun. Siivouksella pystytään vähentämään mm. eläinallergeenien haittavaikutuksia ja kalusteiden ja tekstiilien siivousta tulisi tutkimusten mukaan tehostaa (Smedje & Norbäck 2001).

Kuvassa 13 on erään sisäilmaongelman rakennuksen korjaustyön yhteydessä paljastunut pölynsäilö rakennuksen käytävällä sijainneiden kaappien alta. Kaapit olivat täynnä materiaalia eikä niitä ollut siirretty paikoiltaan edes perussiivousten yhteydessä. Kaappien alareunassa olevat sokkelit estivät siivouksen, mutta sokkelien alla olleet pienet raot mahdollistivat pölyn ja lian kulkeutumisen kaappien alle.



KUVA 13. Kaapin alla olevaa pölyä ja likaa (valokuva E. Honkala 2007).

Kotipölyn on havaittu olevan kompleksinen sekoitus biologista alkuperää olevaa materiaalia (eläinten hilsettä, sieni-itiöitä yms.), sisäilmasta deponoituneita hiukkasia ja jalkineissa kulkeutuneita maaperälähtöisiä hiukkasia (Morawska & Salt-hammer 2003). Kaupunkikotien ja maaseutukotien pölyjen biomassassa eroaa toisistaan (Pakarinen 2008).

Pölyn endotoksiinipitoisuutta on tutkittu yhteensä 1065 kotia käsittäneessä tutkimuksessa Saksassa, Hollannissa ja Ruotsissa. Pitoisuudet vaihtelivat eri maissa ja kodeissa, mutta vaihtelua eivät selittäneet täysin vaihtelut lemmikkieläinten tai ihmisten määrissä, lattiapäällysteet tai ilmanvaihto (Giovannangelo ym. 2000).

Tutkimusten mukaan ilman hiukkaspitoisuus pysyy toimistotiloissa 2-3 päivää sillä tasolla, jolle se on siivouksen jälkeen asettunut. Kun huoneilman hiukkaspitoisuus halutaan pitää mahdollisimman alhaisena, tila olisi syytä siivota 3-4 päivän välein käyttäen nihkeitä tai kosteita puhdistusmenetelmiä (Jalonen 1989). Toimistohuoneita siivottaessa puhdistetaan yleensä näkyvyysalueella (alle 1,80 m) olevat vapaat tasopinnat ja lattiat sekä tyhjennetään roskakorit. Korkealla olevien tasopintojen puhdistaminen jää yleensä perussiivousten yhteydessä tehtäväksi ja tapahtuu harvimmillaan vain kerran vuodessa. On saatu viitteitä siitä, että pölyjen poisto korkealla olevilta tasopinnoilta pitää myös alemmilla tasoilla

olevien pintojen pölymäärän alhaisempana (Aulanko 1993). Toimistopölyn koostumuksesta on saatu esimerkiksi taulukon 2 mukaisia tuloksia.

TAULUKKO 2. Toimistuhuonepölyn koostumus (Mølhavne ym. 2000).

Aine tai yhdiste	Määrä ja yksikkö
Mikro-organismit	130000 - 160000 pmy/g
Mikrosienet	71000 - 90000 pmy/g
Endotoksiinit	5,06 - 7,24 EU/g
Pölypunkki-allergeenit	147 - 159 ng/g
Koira-allergeenit	395 - 746 ng/g
Kissa-allergeenit	103 - 330 ng/g
Makromolekulaariset orgaaniset yhdisteet (MOD)	7,8 - 9,8 mg/g
Histamiinit	0,3 - 1,0 mg/ml
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	176 - 319 µg/g
Muut analyysitiedot:	
Orgaanisen aineksen osuus	33 p-%
Kuiva vesiliukoinen aines	6 p-%
Vesipitoisuus	2 p-%
Partikkelikoko	1 - 1000 µm
Kuitupitoisuus	0,2 - 1,5 %

### 3.4 Sisäilman kaasumaiset epäpuhtaudet

Kaasumaisia epäpuhtauksia, kuten epäorgaanisia yhdisteitä ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) voi vapautua huoneilmaan muiden muassa rakennusmateriaaleista, kalusteista, sisusteista, maaleista, pinnoitteista, kosteus- ja homevaurioista, koneista ja laitteista, ilmanvaihdosta, viemäreistä ja siivousaineista sekä ihmisistä. Nämä eivät muodosta hiukkasia, mutta ovat tärkeitä sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä. Tärkeimmistä yhdisteistä ja yhdisteryhmistä mainittakoon:

- hiilidioksidi CO<sub>2</sub>
- hiilimonoksidi eli häkä CO
- otsoni O<sub>3</sub>
- typen oksidit
- ammoniakki
- haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Vuonna 2003 voimaantulleessa Asumisterveysohjeessa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003) ja sen soveltamiseen tarkoitettussa vuonna 2008 ilmestyneessä Asumisterveysoppaassa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2008) on edellä mainituista yhdis-

teistä, niiden vaaroista, tunnistamisesta ja tutkimisesta annettu seikkaperäiset kuvaukset ja ohjeet. Yhteistä edellä mainituille yhdisteille on, että tehokkaalla ilmanvaihdoilla voidaan näiden aiheuttamia terveysvaikutuksia vähentää.

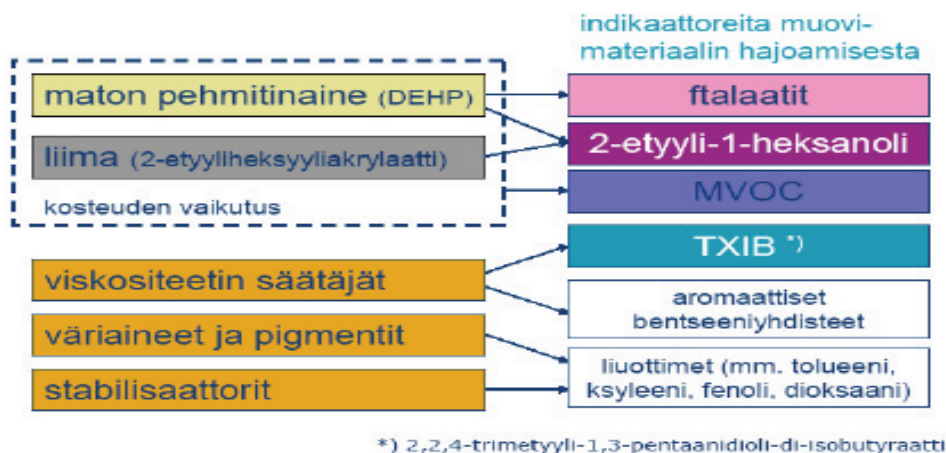
Hiilidioksidin peruspitoisuuden sisäilmassa määrää ulkoilman pitoisuus, joka on noin 350 ppm (Seuri & Palomäki 2000). Tämän ylittäviä pitoisuuksia sisäilmassa voidaan pitää ihmisen ja eläinten aineenvaihdunnan tuloksena. Hiilidioksidipitoisuus määräytyykin lähes kokonaan ilmanvaihdon ja ihmiskuormituksen perusteella ja se on samalla ilmanvaihdon riittävyuden mittari. Hiilidioksidin suuri pitoisuus sisäilmassa voi aiheuttaa väsymystä, päänsärkyä ja työskentelytehon huononemista (Seuri & Palomäki 2000). Hiilidioksidille on annettu Sisäilmas-toluukitus 2008 -ohjeessa (Sisäilmayhdistys & RTS 2008) enimmäisarvoiksi S1-luokassa 750 ppm, S2-luokassa 900 ppm ja S3-luokassa 1200 ppm. Asumisterveys-ohjeen mukaan, mikäli sisäilman hiilidioksidipitoisuus ylittää arvon 1500 ppm (2700 mg/m<sup>3</sup>), tilan ilmanvaihto ei ole terveydensuojelulain edellyttämällä tasolla.

Rakennusmateriaaleista emittoituvia VOC-yhdisteitä on tutkittu (esim. Wolkoff 1995, taulukko 3), mutta näiden altisteiden yhteisvaikutuksista pitkäaikaisen altistumisen seurauksena tarvitaan lisätietoa (Jantunen ym. 2005).

Taulukko 3. Rakennustuotteista mitattuja VOC-yhdisteiden ja yhdisteryhmien emissioita (Wolkoff 1995).

Rakennustuote	VOC-yhdiste/ yhdisteryhmä
Muovimatto	Alkaanit, aromaattiset yhdisteet, 2-etyyliheksanoli, TXIB
Parketti (puu)	C5-C6-aldehydit, terpeenit
Linoleum	C5-C11-aldehydit, alifaattiset hapot, bentsaldehydi
Kumimatto	Asetofenoni, alkyloidut aromaattiset yhdisteet, styreeni
Liima	C9-C11-alkaanit, tolueni, styreeni
Lakka	Alkaanit, aldehydit
Maali	Alkaanit, glykolit, glykoliesterit, Texanol
Saumausaine	Ketonit, esterit, glykolit, polyklooratut bifenyylit, siloksaani
Lastulevy	Alkaanit, aldehydit, ketonit, butanoli, formaldehydi

On arvioitu, että normaalissa rakennuksessa noin puolet sisäilman epäpuhtauspitoisuudesta on peräisin rakenteista haihtuvista aineista (Aikivuori 2001). Materiaalien VOC-emissiot lisääntyvät yleensä kosteuden vaikutuksesta. Tämä ilmiö esiintyy etenkin lattiarakenteissa (kuva 14). Erityisesti 2-etyyli-1-heksanoli ja TXIB (2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolidi-isobutyraatti) indikoivat lattiapäällysteen hajoamisprosessia (Tuomainen ym. 2002, Villberg ym. 2004, Järnström 2005).



KUVA 14. Muovipäällysteiden päästöjen lähteet (Palomäki 2006).

Myös ammoniakkin esiintyminen on liitetty orgaanista materiaalia sisältävien tuotteiden hajoamiseen kosteuden vaikutuksesta (Järnström 2005). Näissä materiaaleissa kosteuden aiheuttamat hajoamisreaktiot (emäksinen hydrolyysi) ovat mahdollisia ja sen seurauksena mm. ammoniakkia pääsee vapautumaan sisäilmaan. Sisäilman ammoniakkin lähteitä ovat myös ihminen ja ihmisen toiminta rakennuksessa. Ihmisten ja kotieläinten eritteet, uloshengitysilmä, tupakointi ja ammoniakkia sisältävien materiaalien ja puhdistusaineiden käyttö tuottavat ilmaan ammoniakkia. Sisäilman ammoniakkipitoisuudelle ei ole määritelty terveysperusteisia raja-arvoja. Sisäilmastoluokitus 2000:ssa oli määritelty luokan S1 enimmäispitoisuuden raja-arvoksi  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , luokan S2  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja luokan S3  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mutta uudessa sisäilmastoluokitus 2008:ssa (Sisäilmayhdistys & RTS 2008) raja-arvoja ei ole esitetty. Asumisterveysohjeessa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003) raja-arvoksi on määritelty  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , jonka ylittäviä pitoisuuksia on pidettävä tavallisuudesta poikkeavina. Tavanomaisiksi pitoisuuksiksi määritellään yleensä arvot välillä  $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Työterveyslaitoksen tekemien yhteensä 177 toimistorakennuksen sisäilmatutkimuksen (Salonen ym. 2009) yhteenvedon mukaan ammoniakkipitoisuus oli alle  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja keskimäärin  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $n=14$ ).

Rakennustuotteiden päästömääräysten kiristyminen ja tuotteiden luokittelu M1-, M2- ja M3-luokan materiaaleihin on johtanut yhä vähäpäästöisempien materiaalien käyttöön ja mahdollistanut aiempaa paremman sisäilman laadun varsinkin uusissa rakennuskohteissa. Aiemmin Suomessa ongelmanakin olleen formaldehydin pääasiallinen lähde on ollut lastulevy, jossa sidosaineena on käytetty ureaformaldehydiliimaa. Lämpötila ja kosteus hajottavat ureaformaldehydin ureaksi ja formaldehydiksi siten, että mitä lämpimämpi ja kosteampi ilma on, sitä enemmän formaldehydiä vapautuu. Formaldehydiä saattaa vapautua ilmaan

myös laminaateista, parketeista ja paneeleista, jos näiden liimaukseen on käytetty formaldehydipitoista liimaa. Karbamidi- ja melamiinipohjaisiin lakkoihin ja maa-leihin käytetään lähtöaineena formaldehydiä. Formaldehydilähteitä saattavat olla myös eräät tekstiilit. Tupakointi ja kodin kemikaalit voivat myös lisätä formaldehydipitoisuutta. Viitearvoina on usein käytetty Sisäilmastoluokitus 2000:ssa esitetyjä arvoja, jotka ovat S1 -luokassa  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , S2 -luokassa  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja S3 -luokassa  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Uudessa luokituksessa raja-arvoja ei enää ole. Asumisterveysohjeessa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003) on huonetilan formaldehydipitoisuuden raja-arvoksi määritelty  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Työterveyslaitoksen tekemistä toimistorakennusten sisäilmatutkimuksista kootun (Salonen ym. 2009) yhteenvedon mukaan formaldehydipitoisuus oli alle  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja keskimäärin  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $n=23$ ).

Suomessa haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (HTP-arvot) ovat pienimpiä ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden voidaan katsoa vahingoittavan työntekijää työturvallisuuslain tarkoittamalla tavalla (Seuri & Palomäki 2000). HTP-arvot eivät yleensä sovellu sellaisenaan eikä niitä käytetä toimistoympäristöjen sisäilmaolosuhteiden määrittelyyn. Ammoniakin HTP-arvoksi on saatu  $14 \text{mg}/\text{m}^3/8 \text{h}$  (Työterveyslaitos 2011). Ammoniakin hajukynnys on  $3,6\text{--}36 \text{mg}/\text{m}^3$ . Formaldehydin HTP-arvo puolestaan on  $370 \mu\text{g}/\text{m}^3/8 \text{h}$  (Työterveyslaitos 2011). Formaldehydin hajukynnys on noin  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja erityisen herkillä ihmisillä saattaa ärsytysoireita aiheuttaa jo  $5\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :n pitoisuuksissa

Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksille (TVOC) ei ole määritelty terveysperusteisia raja-arvoja. Viitearvoina on usein käytetty Sisäilmastoluokitus 2000:n raja-arvoja, jotka ovat luokassa S1  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , luokassa S2  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja luokassa S3  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Uudessa sisäilmastoluokituksessa raja-arvoja ei ole määritelty. Edellä viitatussa Työterveyslaitoksen yhteenvedossa (Salonen ym. 2009) suuri osa rakennuksista oli rakennettu 1980 jälkeen ja niissä oli koneellinen ilmanvaihto. Tutkimushetkellä rakennusten valmistumisesta tai tehdystä korjauksesta oli kulunut aikaa vähintään vuosi. Kaikissa rakennuksissa oli sisäilmaongelmaepäily, mutta arviokäynnillä poikkeavaa epäpuhtauslähdettä ei havaittu. TVOC-taso oli yleensä alle  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja keskimäärin  $75\text{--}88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Useimmat yksittäiset VOC-pitoisuudet olivat yleensä alle  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Näiden pohjalta yleisperiaate VOC-tulosten tulkinnassa on, että jos TVOC-pitoisuus on erittäin matala (esim. alle  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), eikä mikään yksittäinen yhdiste dominoi tulosta ja VOC-pitoisuudet ovat samansuuruisia kaikissa näytteissä, rakennuksen sisäilman kemiallista laatua voidaan pitää normaalina.

Monien VOC-yhdisteiden hajukynnys on käytännössä matalampi kuin raja-arvot ja ne aiheuttavat erilaisia ärsytysoireita. Alhainen ilman suhteellinen kosteus voi vielä lisätä ärsytysoireiden määrää. Osa oireista voi voimistua psyykkisten vaikutusten kautta (Wolkoff ym. 2006). Tutkimusten mukaan siivouskemikaalien ja ilmanraikastimien epäillään reagoivan ilman epäpuhtauksien ja otsonin kanssa ja aiheuttavan terveysvaikutuksia (Nazaroff & Weschler 2004, Singer ym. 2006a, Singer ym. 2006b).

Brunon ym. (2008) tutkimuksessa selvitettiin VOC-yhdisteiden esiintymistä yleisissä tiloissa jatkuvalla 24 tunnin mittauksella viikon ajan. Tutkimuksessa oli mukana kirjastoja, apteekkeja, virastoja, urheiluhalleja jne. Analyysit tehtiin kyseisistä tiloista ja ulkoilmasta. Tulosten mukaan VOC-tasot olivat sisällä jopa kymmenkertaiset ulkoilmaan verrattuna. Korkeimmat pitoisuudet olivat apteekeissa, lehtipainoissa, kopiolaitoksissa ja kahviloissa. Lehtipainoissa korkeimmat pitoisuudet olivat tolueenilla ja apteekeissa aromaattisilla hiilivedyillä. Nilssonin (2004) tutkimuksissa saatiin viitteitä siitä, että muutkin kotiympäristön emissiot kuin tupakointi voivat lisätä lasten astma- ja allergiariskiä.

On saatu myös viitteitä siitä, että mikrobien tuottamat tietyt mikrobivocit (MVOC) saattaisivat indikoida homevaurioiden olemassa oloa (Schleibinger ym. 2008).

Viime vuosina tutkimuskohteiksi ovat nousseet palonestoaineet ja ftalaatit. Palonestoaineita käytetään lisäämään mm. muovien, kumien, tekstiilien ja sähkölaitteiden paloturvallisuutta (Mäkinen & Korpi 2006). Ftalaatteja käytetään mm. erilaisissa PVC-muovituotteissa, rakennus- ja sisustusmateriaaleissa, pinnoitetuissa kankaissa, sadetakeissa, kelmuissa, leluissa, sairaalatarvikkeissa, kosmetiikassa, maaleissa ja painoväreissä (Korpi 2005). Ympäristöön nämä yhdisteet voivat vapautua sekä uusista että jo pitkään käytössä olleista materiaaleista näiden normaalin käytön seurauksena. Sekä palonestoaineita että ftalaatteja on havaittu erilaisten ympäristöjen ilma- ja huonepölynäytteissä (Hutter ym. 2005). Huonepölyn ftalaattipitoisuuden on todettu korreloivan lasten hengitystieoireiden kanssa (Bornehag ym. 2004). Palonestoaineilla ja ftalaateilla tiedetään olevan haitallisia vaikutuksia sekä luonnolle että eliöstölle mukaan luettuna ihminen, mutta tällä hetkellä vielä raja-arvot ja ohjeet niiden turvalliselle käytölle puuttuvat (Mäkinen ym. 2009).

### 3.5 Sisäilman lämpötila, veto ja suhteellinen kosteus

Sisäilman fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat ihmisen kokemaan sisäympäristön laatuun. Kehon lämpötasapaino määrää sen, miten viihtyisäksi ihminen tuntee olonsa. Tasapainolämpötilassa kehon aineenvaihdunnan tuottama energia on yhtä suuri kuin kehosta ympäristöön siirtyvä energia, jolloin ihminen kokee lämpötilan sopivaksi. Henkilökohtaiset ominaisuudet ja työn fyysinen kuormittavuus määräävät tuotettavan energian määrän. Vaatteiden lämmöneristys, ympäristön lämpötila, ilman liikenopeus ja kosteus rajoittavat lämmön siirtymistä kehosta ympäristöön. Suuren ihmisjoukon keskimäärin sopivana pitämä lämpötila on 20–22 astetta. Tässäkin lämpötilassa 10–30% ihmisistä saattaa kokea olonsa epämu-kavaksi. Suurin tyytyväisyys saavutetaan antamalla jokaiselle mahdollisuus säätää huoneensa lämpötila haluamakseen (Karjalainen & Koistinen 2005).

Jo 1970-luvulla tehdyssä tutkimuksessa todettiin, että työteho on parempi lämpötilan ollessa 20 astetta kuin 24 astetta (Wyon 1974). Viimeisimpien tutki-



musten mukaan sisäilmaan liittyvät oireet kasvavat ja työteho alenee huonelämpötilan noustessa yli 22 asteen (Korhonen ym. 2003, Tuomainen ym. 2005, Seppänen ym. 2006, Wargocki & Wyon 2007). Korkea lämpötila aiheuttaa myös kuivuuden tunnetta (Jaakkola 1986). Liian korkeiden lämpötilojen laskeminen suositellulle tasolle onkin eräs parhaimpia keinoja parantaa sisäilmastoa ja samalla pienentää energian kulutusta.

Veto yhdistetään usein ilman liikkeeseen tai liian suureen ilmavirtaan, mutta kyseessä saattaa olla myös liian alhainen ilman tai pintojen lämpötila. Vedon tunteen estämiseksi tulee ilman lämpötila pitää mahdollisimman tasaisesti sopivalla tasolla. Sisäilmastoluokitus 2008:ssa (Sisäilmayhdistys & RTS 2008) on annettu ohjearvoja huonetilan lämpötilaeroille ja ilman liikenopeudelle.

Sisäilman suhteellinen kosteus voi talviaikaan laskea erittäin alhaiselle tasolle (jopa alle 10 %). Alhaisella sisäilman suhteellisella kosteudella on yhteys mm. silmien, hengitysteiden ja ihon ärsytysoireisiin (Seuri & Palomäki 2000, Reinikainen & Jaakkola 2003). Korkea lämpötila ja suuret lämpötilavaihtelut voivat pahentaa vaikutuksia (Bakke ym. 2008). Sopiva sisäilman suhteellisen kosteuden arvo on 20–60 % (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Suuri sisäilman kosteus voi aiheuttaa kosteus- ja homevaurioita. Jos huoneilman kosteus on pitkään yli 70 %, kuivassa viihtyvät mikrobit voivat alkaa kasvaa huokoisen materiaalin pinnalla tai huonepölyssä (Reiman 1998).

## 3.6 Sisäilman terveysvaikutukset

### 3.6.1 Terveellinen sisäilma

Määritelmän mukaan sisäilma on laadullisesti hyvää, kun tilaa käyttävät ovat sisäilmaan tyytyväisiä eikä siitä aiheudu terveyshaittoja (Haahtela & Reijula 1997). Tämä määritelmässä on kaksi olennaista seikkaa. Ensinnäkin sisäilman laatua kokonaisuutena on vaikea mitata, jolloin korostuu henkilön subjektiivinen kokemus sisäilman laadusta. Toiseksi, jos kaikesta huolimatta aiheutuu haittoja, ne ilmenevät erilaisina oireiluina. Jos sisäilmatilanne johtaa oireiluun tai sairastumiseen, niin silloin esim. kosteusvauriotapauksissa vaurio on päässyt etenemään jo homevaurioasteelle.

Toisen määritelmän mukaan työpaikan sisäilman tulee olla niin hyvää, että työntekijä pystyy antamaan työnantajalle sen työpanoksensa, jonka hän koulutuksensa, kokemuksensa, osaamisensa ja motivaationsa puolesta on valmis antamaan (Seuri & Palomäki 2000).

Terveydensuojelulain (763/94) 26 §:n mukaan asunnon ja muun sisätilan sisäilman tulee olla puhdasta eivätkä lämpötila, kosteus, melu, ilmanvaihto, valo, säteily, mikrobit ja muut vastaavat tekijät saa aiheuttaa terveyshaittaa asunnossa tai sisätilassa oleskeleville. Puhtaudella tarkoitetaan esimerkiksi sisäilman kemial-

lisiä epäpuhtauksia sekä sisäilman mahdollisesti sisältämiä hiukkasia ja kuituja (Sosiaali- ja terveysministeriö 2008).

Työturvallisuuslain (738/2002) 33 §:n mukaan työpaikalla tulee olla riittävästi kelvollista hengitysilmaa ja työpaikan ilmanvaihdon tulee olla riittävän tehokas ja tarkoituksenmukainen. Tähän liittyen työhuoneen tilavuuden tulee olla riittävä. Valtioneuvoston asetuksessa työpaikkojen turvallisuus- ja terveysvaatimuksista (577/2003) sen 9 §:ssä määrätään, että työhuoneen ilmatilan tulee olla vähintään 10 kuutiometriä kutakin työntekijää kohden laskettuna siten, että työhuoneen korkeudesta otetaan huomioon enintään kolme ja puoli metriä. Asetus edellyttää myös kun työpaikalla käytetään koneellista ilmanvaihtoa, että se pidetään toimintakunnossa ja että laitteisto puhdistetaan työntekijälle välitöntä terveyshaittaa aiheuttavasta liasta ja muista epäpuhtauksista. Lisäksi laitteiston on toimittava niin, ettei työntekijöiden terveydelle aiheudu haittaa tai vaaraa esim. sen toimintahäiriöiden takia. Tarvittaessa ilmanvaihtolaitteisto on varustettava valvontajärjestelmällä, joka ilmoittaa toimintahäiriöistä.

Työturvallisuuslain (738/2002) 37 §:n mukaan työpaikalla, jossa esiintyy ilman epäpuhtauksia, kuten pölyä, savua, kaasua tai höyryä työntekijää vahingoittavassa tai häiritsevässä määrin, on niiden leviäminen mahdollisuuksien mukaan estettävä eristämällä epäpuhtauden lähde tai sijoittamalla se suljettuun tilaan tai laitteeseen. Ilman epäpuhtaudet on riittävässä määrin koottava ja poistettava tarkoituksenmukaisen ilmanvaihdon avulla. Kemiallisille, fysikaalisille ja biologisille aineille altistumisen ehkäisemisestä on säädetty vielä erikseen lain 38–40 §:ssä.

Työturvallisuuslain (738/2002) 10 §:n mukaan työnantajan on järjestelmällisesti selvitettävä ja tunnistettava työpaikan haitta- ja vaaratekijöitä. Tämä on työpaikoilla jatkuvaa riskinarviointia ja työsuojelutyötä. Näillä toimenpiteillä pitäisi pystyä ennalta ehkäisemään mm. rakennuksissa mahdollisesti tapahtuvia kosteus- ja homevaurioita sekä muita sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä ja niistä mahdollisesti aiheutuvia terveysvaikutuksia (Kauhanen 2004).

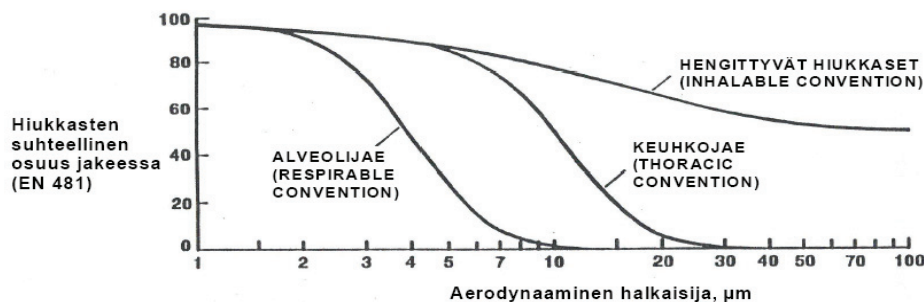
Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 1 §:n mukaan lain tavoitteena on järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen niin, että siinä luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle sekä edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävää kehitystä. Lain 166 §:n mukaan rakennus ympäristöineen on pidettävä sellaisessa kunnossa, että se jatkuvasti täyttää terveellisuuden, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset eikä aiheuta ympäristöhaittaa tai rumenna ympäristöä. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa (Ympäristöministeriö) annetaan maankäyttö- ja rakennuslakiin sekä ko. asetukseen täydentäviä määräyksiä ja ohjeita.

### 3.6.2 Keuhkodepositio

Ympäristössä olevia fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia haitallisia tekijöitä kutsutaan yhteisellä nimellä altisteiksi silloin, kun ne joutuvat kosketuksiin ihmisen kanssa. On huomattava, että altistuminen sinällään ei kuitenkaan aiheuta sairastumista tai oireilua (Seuri & Palomäki 2000). Ilmassa olevat altisteet voivat vaikuttaa ihmiseen ihon, silmien ja hengityselimistön kautta. Siten altisteiden aiheuttamat terveysvaikutukset näkyvät yleisimmin juuri näillä ihmisen fyysisillä osaluilla. Vakavimmat terveysvaikutukset tulevat esille hengityselimistön kautta.

Hengityselimistö jaetaan ylä- ja alahengitysteihin. Ylähengitysteitä ovat nenä, sen sivuontelot, suu, nielu ja kurkunpää. Alahengitysteihin kuuluvat henkitorvi sekä oikealle ja vasemmalle jakautuvat pääkeuhkoputket, jotka jakaantuvat pienemmiksi keuhkoputkiksi, ilmatiehyeiksi, keuhkorakkulatiehyeiksi ja päätyvät lopulta keuhkorakkuloihin eli alveoleihin. Keuhkorakkuloissa, joita ihmisellä on noin 300 miljoonaa, tapahtuu varsinainen kaasujen vaihto. Keuhkorakkuloiden pinta-ala voi olla yhteensä 75–80 m<sup>2</sup> (Bjälle ym. 1999). Kyse on siis varsin monimutkaisesta järjestelmästä, jolla on epäpuhtauksia vastaan oma fysiologinen puolustusjärjestelmänsä, kuten liman tuotto, värekarvaliike ja yskänrefleksi (Husman ym. 2001). Tavanomaisista epäpuhtauksista terveet keuhkot selviävät hyvin, mutta mikäli altistus on runsasta tai pitkäaikaista tai mikäli taustalla on keuhkojen toimintaa heikentävä perussairaus (esim. astma), seurauksena saattaa olla oireiden ilmaantuminen.

Hengityselimistöön penetroituvien (tunkeutuvien) hiukkasten kokoalue on varsin laaja (kuva 15). Suuri osa hiukkasista kuitenkin palaa hengitysilman mukana ulos tai deponoituu kokonsa puolesta jo ylähengitysteihin (vrt. kuva 16).

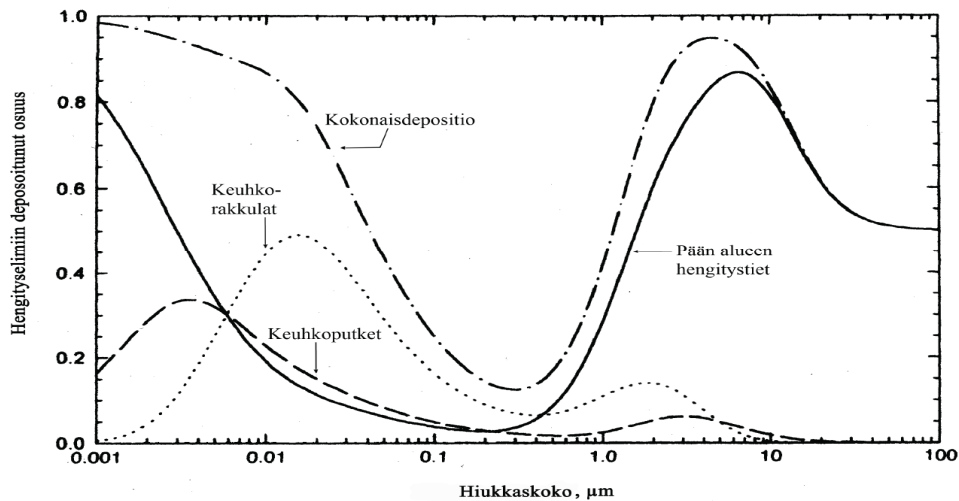


KUVA 15. Hiukkasten penetraatio hengityselimistön eri osiin (British Standard EN 481 1993).

Hiukkaset voivat deponoitua hengityselimistön eri osiin pääasiassa seuraavan jaottelun mukaan:

- suuret hiukkaset ( $> 10 \mu\text{m}$ ), deponoituvat nenään ja nieluun (ylähengitysteihin)
- karkeat hengitettävät hiukkaset ( $2,5\text{--}10 \mu\text{m}$ ), deponoituvat henkitorveen ja keuhkoputkiin (alahengitysteihin)
- pienihiukkaset ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ), deponoituvat pääasiassa keuhkorakkuloihin
- ultrapienet hiukkaset ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ), voivat tunkeutua keuhkorakkuloista verenkiertoon

Kuvassa 16 on esitetty hiukkasten deponoituminen ihmisen hengityselimistön eri osiin. Kokonaisdepositiokäyrä on lähes samanmuotoinen kuin kuvan 12 käyrästä. Tämä johtuu siitä, että keuhkodespositiossa on monia samoja hiukkasten deponoitumekanismeja kuin suodattimessa.



KUVA 16. Hiukkasten deponoituminen ihmisen hengityselimistön eri osiin (Hinds 1999).

Hengityselimistön kokonaisdepositiossa huomattava osa hiukkasista sijoittuu kokoalueelle  $1\text{--}10 \mu\text{m}$  (Hinds 1999), johon siivouksella on mahdollista merkittävästi vaikuttaa. Vähiten deponoitua puolestaan tapahtuu hiukkasille, joiden koko on n.  $0,1\text{--}1,0 \mu\text{m}$  (Gehr & Heyder 2000). Hiukkasten aiheuttamat terveysvaikutukset on useissa epidemiologisissa tutkimuksissa todettu merkittäviksi (Kulmala ym. 1999, Lanki & Pekkanen 2008, Tainio 2009).

Flunssainen henkilö tuottaa uloshengityksen mukana  $0,01\text{--}10 \mu\text{m}$  hiukkasia huomattavasti enemmän kuin terve henkilö. Erityisen suuri ero hiukkasten

määrissä on kokoluokissa noin 0,5–1,5 µm, joissa se on moninkertainen terveisiin verrattuna (Hersen ym. 2008).

### 3.6.3 Huonon sisäilman terveysvaikutukset

Sisäilmasto-ongelmien aiheuttajat voidaan karkeasti jakaa fysikaalisiin tekijöihin, bioaerosoleihin sekä kaasumaisiin ja hiukkasmaisiin epäpuhtauksiin (Haahtela & Reijula 1997). Tässä on lähempään tarkasteluun otettu vain homevaurioiden aiheuttamat terveysvaikutukset.

Homevaurioiden aiheuttamat terveysvaikutukset voidaan jakaa kolmeen ryhmään; ärsytys- ja yleisoireisiin, infektiosairauksiin ja yliherkkyyssairauksiin. Ärsytysoireita ovat nuha, nenän tukkoisuus, kurkun kipeys, äänen käheys, yskä, hengenahdistus, lievä kuumeilu ja iho-oireet. Tyypillistä näille oireille on, että ne häviävät melko nopeasti ja viimeistään muutaman viikon kuluessa altistuksen loppuessa, eikä niistä jää pysyviä terveyshaittoja (Uitti 1998). Työpaikan aiheuttamat sisäilmaoireet voivat lievissä tapauksissa hävitä jo työpäivän jälkeen kotioloissa tai viikonlopun aikana.

Sisäilmaongelmat (homeiden aiheuttamat) voivat aiheuttaa lisääntyvää infektiosairastavuutta kuten lapsilla korvatulehduksia ja aikuisilla poskionteloiden ja keuhkoputkien tulehduksia. Mahdollista on, että ärsytysoireilun pitkittyessä keuhkojen luonnollinen limakalvojen immunologinen puolustuskyky heikentyy tai vaurioituu, jolloin sairastavuuskierre mahdollistuu (Husman 1996). Toistuvien infektioiden kierteen tulisi rauhoittua ärsytyslähteiden poistamisen jälkeen. Aikaa tähän voi mennä kuitenkin ärsytysoireita kauemmin eli jopa useita kausia.

Varsinaisina homesienten aiheuttamina hengityselinsairauksina voidaan pitää nuhaa, astmaa, allergista alveoliittia (homepölykeuhkoa), orgaanisen pölyn aiheuttamaa toksista oireyhtymää (ODTS), allergista bronkopulmonaarista aspergilloosia (ABPA), aspergilloosia ja invasiivista aspergilloosia (Haahtela & Reijula 2009).

Putuksen (2010) mukaan vakavien yleisoireiden, neurologisten oireiden, kudos- ja elinvaurioiden ja autoimmuunitautien ilmaantuminen liittyy usein altistumiseen tertiäärivaiheen (loppuvaiheen) mikrobeille ja mikrobiksiineille. Näitä terveyshaittoja edeltää usein vuosikausia (jopa 10–15 vuotta) jatkunut altistuminen (Putus 2010).

Sisäilmaongelma voi vaikeimmillaan aiheuttaa hyvin laajan kirjon erilaisia oireita, infektiosairauksien lisääntymistä ja pitkäaikaissairauksia ja niiden aiheuttamat kustannukset ovat merkittävät sekä yksilölle että yhteiskunnalle (Husman 2001, Virta 2003, Reijula 2005). Varsinkin asuntojen sisäilmaongelmat ovat niihin joutuneille hyvin kokonaisvaltaisia tapahtumia, joihin terveysvaikutusten lisäksi voi liittyä vakavia taloudellisia ja psykososiaalisia ongelmia (Kajanne ym. 2002). Kuntaliiton teettämän kuntien rakennuskantaa koskevan tutkimuksen mukaan

sisäilmaongelmat eivät ole juuri vähentyneet vuosien 2000–2005 välisenä aikana (Ruokojoki 2006).

### 3.7 Sisäilman tuottavuusvaikutukset

Sisäilmalla ja laajemmin sisäympäristöllä on oleellinen merkitys työntekijän viihtyvyyden, terveyden sekä työn tuottavuuden ja tehokkuuden kannalta (Fisk & Seppänen 2003, 2007). Taloustieteissä yritystoiminnan kannattavuutta voidaan kuvata tuottavuuden, tehokkuuden ja taloudellisuuden tulona, jolloin yhden tekijän alhaisuus saa koko kannattavuuden olemattomaksi.

Työn tuottavuuteen vaikuttaa työntekijän työpaikan sisäympäristö, mutta ennen kaikkea työntekijän henkilökohtaiset ominaisuudet, työpaikan organisaatiojärjestelyineen sekä työntekijän sosiaalinen ympäristö. Työn tuottavuutta kuvataan tuotosten ja panosten suhteella. Tuotoksella tarkoitetaan aikaansaatuja tuotteiden ja palveluiden määrää ja laatua. Panoksella puolestaan tarkoitetaan tuotoksen aikaansaamiseksi käytettyjen tuotannon tekijöiden määrää ja laatua (Seppänen ym. 2004). Seppäsen ym. (2004) pilottitutkimuksen kohteena oli viisi toimistohuonetta, joiden pintapölyjen ja sisäilman laatua tutkittiin. Tulosten mukaan pintapölyjen puhdistuksella parannettiin sisäilman laatua. Tässä tutkimuksessa ei tutkittu työn tuottavuutta. Toisessa tutkimuksessa tutkittiin siivouksen merkitystä kuusikerroksisen toimistorakennuksen sisäilman laatuun ja tuottavuuteen. Rakennuksen 5. ja 6. kerroksessa tehtiin perusteellinen siivous ja rakennuksen 3. ja 4. kerros toimivat verrokkeina ja siellä tehtiin normaali ylläpitosiivous. Tutkimuskohteen sisäilman lähtötilanne oli kuitenkin niin hyvä (sisäilmastoluokka S1, Sisäilmastoluokitus 2000), että tehostetun siivouksen vaikutuksia sisäilman laatuun ei voitu käytetyin tutkimusmenetelmin havaita. Tuottavuutta selvitettiin kyselytutkimuksena, mutta vaikka työskentelytehokkuudessa tapahtuikin tilastollisesti merkitsevää paranemista, sen yhteyttä tehostettuun siivoukseen ei pystytty osoittamaan (Seppänen ym. 2004).

## **4 SIIVOUKSEN JA SISÄILMAN LAADUN TUTKIMUSMENETELMÄT**

### **4.1 Siivouksen laatustandardit**

Siivouksen laadun määrittämistä ei ole Suomessa standardoitu. Ruotsissa, Norjassa ja Tanskassa on käytössä INSTA 800 -standardi, joka perustuu siivouksen jälkeeseen tapahtuvaan laadun mittaamiseen (SIS Förlag Ab 2006). INSTAa alettiin kehittää sen jälkeen kun oli tehty puitestandardi EN 13549: Cleaning services – basic requirements and recommendations for quality measuring systems. INSTA 800 – standardissa tilojen puhtaustasovaatimukset on määritelty luokkiin 1-5, joista luokka 1 edustaa alinta ja luokka 5 parasta tasoa. Laadun mittaaminen perustuu visuaaliseen arviointiin, mutta standardi antaa mahdollisuuden myös objektiiviseen mittaamiseen. Standardissa on ohjeet mittausten suorittamiseen ja tulosten arviointiin. Varsinkin ostopalvelusiivouksessa on mainittua standardia hyödynnetty myös Suomessa joko suoraan tai osin sovellettuna.

### **4.2 Subjektiiiset siivouksen laadun tutkimusmenetelmät**

Subjektiiiset laadun tutkimusmenetelmät voidaan jakaa aistinvaraisiin eli visuaalisiin menetelmiin ja kyselytutkimuksiin. Visuaalinen arviointi on nimensä mukaisesti silmin tehtävää siivouksen laadun havainnointia joko satunnaisotannalla tai määrämuotoisesti esim. INSTA 800 – standardin mukaisesti. Tämä on yleisin siivouspalvelun tilaajan toteuttama laadun tutkimusmenetelmä ja myös siivouspalveluorganisaation yleisin omavalvontamenetelmä. Jokaisen siivoojan tehtäviin tulee kuulua tekemänsä työn laadun tarkastaminen visuaalisesti. Aistinvaraisiin menetelmiin voitaisiin lukea myös hajujen arvioiminen, mutta sitä ei yleensä käytetä järjestelmällisesti siivouksen laadun arvioinnissa.

INSTA 800 – standardin mukaisesti tehtävässä arvioinnissa lasketaan kussakin tilassa eri tasopinnoilla esiintyvien poikkeamien eli likojen määrät ja verrataan niitä standardissa esitettyihin raja-arvoihin. Mikäli poikkeamien määrä

pysyy annettujen rajojen puitteissa, on laatu hyväksyttävää. Suurien kohteiden otoksen määrittelyyn käytetään ISO 2859-1 -standardin mukaista satunnaisotosta. Otokseen valitaan tarkastettavien kohteiden lukumäärä, hyväksymisraja ja sallittujen poikkeamien määrä. Otos suunnitellaan saman puhtaustasoprofiilin tiloille seuraavasti:

- lasketaan tilojen lukumäärä, joilla on sama laatuprofiili (N)
- päätetään hyväksyttävä laatu AQL (2,5 %, 4 %, 6,5 % tai 10 %)

Tämän jälkeen päätetään otosten määrä, hyväksymisraja ja sallittujen poikkeamien määrä standardissa annetun taulukon mukaisesti. AQL (Acceptable Quality Level) ilmoittaa hyväksytyin laatu, joka tarkoittaa suurinta sallittua hylkäysmäärää eli toisin sanoen, AQL:ää parempi laatu tulee hyväksyä. AQL voi olla esim. 4 %, mikä tarkoittaa, että on vielä hyväksyttävää, jos 4 valituista 100 tilasta ei täytyä sovitun laatuvaatimuksia. Taulukossa 4 on esimerkki menetelmän käytöstä yksittäisten huoneiden arvioinnissa.

TAULUKKO 4. Esimerkki visuaalisesta arvioinnista puhtaustasoluokan 4 tiloissa.

TILAN TUNNISTE (nimi, nro)	Poikkeamien lukumäärä (kpl)							
	Monitoimitila B431.1		Käytävä C 4. krs		Toimisto B334.1		WC A108.3	
	60 - 100	>180	35 - 60	>180	35 - 60	>180	<15	>180
TILAN KOKO (m <sup>2</sup> )	<180		>180		<180		>180	
KORKEUSASEMA (cm)	<180		>180		<180		>180	
KALUSTEET/SISUSTEET								
Roskat, irtolika, pöly ja tahrat	10	0	0	0	20	4	0	3
Pinttymä	0	0	0	0	0	0	0	0
SEINÄT								
Roskat, irtolika, pöly ja tahrat	2	0	0	0	0	0	0	0
Pinttymä	0	0	0	0	0	0	0	0
LATTIA								
Roskat, irtolika, pöly ja tahrat	0		0		0		0	
Pinttymä	0		2		0		0	
KATTO								
Roskat, irtolika, pöly ja tahrat	0	15	0	0	0	0	0	0
Pinttymä	0	0	0	0	0	0	0	0
POIKKEAMAT YHTEENSÄ	12	15	2	0	20	4	0	3
TILAN PUHTAUSLUOKKA	4		4		4		4	
SALLITUT POIKKEAMAT TULOKSEN ARVIOINTI (hyväksytty/hylätty)	7	8	5	6	5	6	2	3
	Hylätty		Hyväksytty		Hylätty		Hyväksytty	

Luotettavien tulosten saamiseksi tämän arviointimenetelmän standardin mukainen käyttö edellyttää tekijältään hyvää ammattitaitoa, koulutusta ja kokemusta ja sen käyttö on tästä johtuen ollut toistaiseksi rajallista.



Käyttäjille suunnatuilla kyselytutkimuksilla (kirjallinen lomakekysely) selvitetään siivouspalvelun kokonaislaatua. Vastausten painotus voi olla joko tekninen tai toiminnallinen tai osaksi molempia. Koska käyttäjät ovat yleensä pääasiassa siivousalaan perehtymättömiä, tulokset ovat valtaosin subjektiivisia mielipiteitä ja käsityksiä. Parhaiten ne kuvaavat tyytyväisyysastetta. Usein tällaisista kyselyistä käytetäänkin nimitystä asiakastyytyväisyyskysely ja ne voivat olla muodoltaan ja kysymymäärältään suppeita. Varsinkin suuret siivousliikkeet tekevät järjestelmällisesti kirjallisia asiakastyytyväisyyskyselyjä ja sen lisäksi tehdään myös henkilökohtaisia haastatteluja. Siivousorganisaation tekemä haastattelukysely (lomakehaastattelu) on vastaajan kannalta ongelmallinen ja saattaa johtaa liian positiivisen yleiskuvan syntyymiseen todellisesta tyytyväisyydestä. Tämän vuoksi monet siivouspalvelujen tilaajat tekevät omia kyselyjään ja nykyiset atk-ohjelmat mahdollistavat nopean palautteen saannin.

### 4.3 Objektiiviset siivouksen laadun tutkimusmenetelmät

#### 4.3.1 Mittalaitteet ja menetelmät

Siivouksen teknisen laadun objektiivisen mittaamisen menetelmille ja laitteille on ominaista se, että ne mittaavat kukin tiettyä ominaisuutta tai puhtauden osatekijää. Yleisimmät mittalaitteet ja apuvälineet ovat seuraavat:

- pintapölyn mittalaite (pinnan pölyisyys)
- askelvarmuuden mittalaite (lattiapäällysteen liukkaus)
- kiiltoasteen mittalaite (pinnan valon heijastus)
- luminometri (orgaanisen lian määrä)
- Hygicult-testi (mikrobien määrä)
- Mycometer-testi (mikrobien määrä)
- uv-lamppu (pintapuhtaus)
- kamera (dokumentointi)

Voidaan tehdä lisäksi erilaisia laboratoriotutkimuksia, joilla selvitetään mm. lian koostumusta, pintamateriaalien kuntoa ja mikrobeja sekä mitata staattista sähköisyyttä, väriä ja lattioiden sähkönjohtavuutta. Pintapuhtauden pikatesti (Orion Clean Card PRO) on jo myös tullut käyttöön. Seuraavassa on esitelty tarkemmin tässä tutkimuksessa käytettyjä laitteita ja menetelmiä.

#### 4.3.2 Pintapölyn mittalaite

Pintapölyn mittalaite (BM Dustdetector-laite) on kehitetty 1990-luvun alussa Tanskan, Norjan ja Ruotsin siivousliikkeiden järjestöjen yhteistyönä ja tuella Tanskan työhygieenisessä instituutissa. Menetelmässä pölynäyte kerätään geeli-

teipin pinnalle painamalla geeliteippi vakiovoimalla (telan avulla) tutkittavaan pintaan. Geeliteippiin tarttuneen pölyn määrä mitataan optisesti (laser). Mittalaite ilmoittaa suoraan pölypeittoprosenttina, kuinka suuri osa teipin pinnasta (pinta-ala noin 6 cm<sup>2</sup>) on pölyn ja lian peitossa (Schneider ym. 1994). Geeliteipin materiaali on PVC-kalvoa, joka on päällystetty gelatiinilla. Teipin reunojen muoviosat ovat polyesteriä.

Koska menetelmä perustuu teipin gelatiinipinnalle tarttuneen materiaalin tutkimiseen, menetelmän mahdolliset virhelähteetkin liittyvät tähän. Teipin ja tutkittavan pinnan välisen kontaktin tulee olla riittävän hyvä eikä pinnalla saa olla kosteutta, rasvaa tai muuta likaa eikä pintamateriaalista saa irrota pinnoitetta tai esimerkiksi vahaa. Teippiin tarttuu noin 87 - 97 % pintapölyn kokonaismäärästä (Schneider ym. 1996). Mittaustuloksen varmistamiseksi jokainen geeliteippi referenssimitataan laitteessa 0 %:n tasolle ennen jokaista mittaustapahtumaa.

Menetelmä soveltuu pintapölypitoisuuden määrittelyyn ja sitä voidaan käyttää myös ilmanvaihtokanavien puhtauden määrittelyssä ja pelkkää geeliteippiä kuitunäytteiden ottamiseen. Tällöin analysointi tapahtuu valomikroskoopilla. INSTA 800 -standardissa on pintapölymittauksille tilan pinta-alan mukaan määrittyvät vähimmäismäärät ja puhtaustasojen raja-arvot.

### 4.3.3 Pintahygienian mittaamenetelmät

Hygienialla tarkoitetaan näkymättömien taudinaiheuttajamikrobien, kuten virusten, bakteerien, homeiden ja hiivojen määrän pitämistä sellaisissa rajoissa, että ihmisen oma vastustuskyky kykenee voittamaan ne.

Luminesenssiin perustuvalla ATP-menetelmällä määritetään pinnalla oleva orgaaninen lika eli mikrobien kasvualusta. ATP-menetelmässä (ATP = adenosini-trifosfaatti) käytetty luminometri on laite, jolla voidaan mitata kemiallisessa reaktiossa syntyviä erittäin pieniä valomääriä. Luminesenssiin johtavassa reaktiossa valoa tuottavat molekyylien elektronit virittyvät korkeammalle energiatasolle. Viritystilän purkautuessa vapautuu energiaa, jonka perusenergiatasolle palautuva molekyyli emittoi fotoneina. Valokvantin tuottamiseen tarvittavan energian luminoiva molekyyli saa hapetusreaktiosta. ATP-menetelmässä reaktiot tapahtuvat koeputkessa bioluminesenssin seurauksena. Bioluminesenssi on tiettyjen elävien organismien kyky tuottaa valoa biokemiallisen entsyymireaktion tuloksena (Heimer ym. 1989).

ATP-määrittely perustuu tulikärpäsen bioluminesenssiin, jota voidaan kuvata seuraavalla reaktiolla:



Tässä reaktiossa tulikärpäsestä eristetty entsyymituote, lusiferaasi, katalysoi hapetusreaktiota, jossa lusiferiini reagoi hapen ja ATP:n kanssa muodostaen oksilusife-

riiniä, adenomonofosfaattia (AMP), pyrofosfaattia (PPi), hiilidioksidia ja valoa. Reaktiossa tarvitaan myös  $Mg^{2+}$ -ioneja (magnesium-ioneja) aktivoimaan lusife-raasientsyymi. Koska ATP:a esiintyy kaikissa elävissä organismeissa, menetelmää voidaan käyttää orgaanisen aineen määrittämiseen.

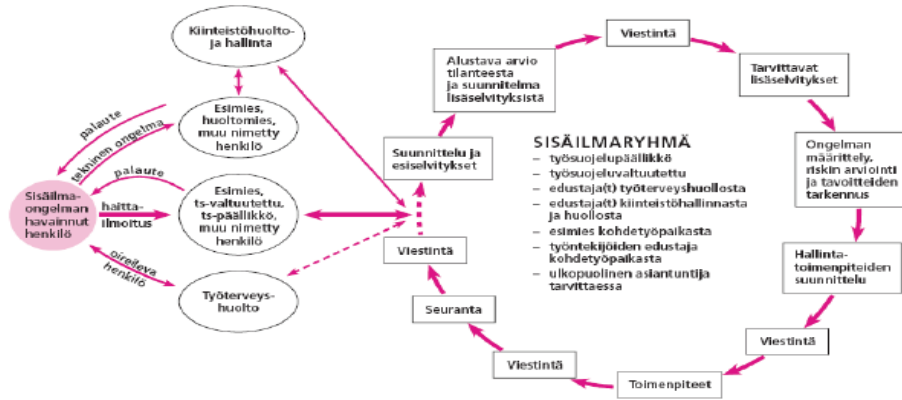
Perinteinen pintahygienian (mikrobiologisen puhtauden) määrittämistapa ovat viljelymenetelmät. Niissä mikrobit siirretään tutkittavalta pinnalta esim. näytteenotto puikolla elatusaineagareille, joissa mikrobin annetaan inkuboinnin aikana kasvaa silmin havaittaviksi pesäkkeiksi, jonka jälkeen voidaan tehdä lajitunnistus ja laskea lukumäärät. Kasvatusalustoina käytetään ravinteiltaan erilaisia alustoja sen mukaan, mitä mikrobeja niillä halutaan saada esille. Mikrobin määrittämiseen voidaan käyttää myös suoraan näytteenotto kohtaan painettavia kontaktimaljoja ja -liuskoja varsinkin, jos suoraa lajitunnistusta ei haluta tehdä.

Hygicult -liuskat soveltuvat pintojen kokonaismikrobimäärien määrittämiseen. Bakteereille, hiivoille ja homeille on omat testiliuskansa. Liuskat ovat nive-len välityksellä korkkiin kiinnitettyjä ja elatusaineella molemmin puolin päällystettyjä muovilevyjä, joiden suojana on kirkas muoviputki. Näytteenotto tapahtuu painamalla liuskan pinta (pinta-ala on noin 10 cm<sup>2</sup>) näytteenotto kohtaan. Näytteenoton jälkeen liuskat laitetaan takaisin putkiin, joita pidetään huoneenlämmössä ja valolta suojassa 5 vuorokautta. Tämän jälkeen lasketaan elatusaineella kasvaneiden pesäkkeiden lukumäärät.

#### 4.4 Sisäilman laadun tutkiminen

Sisäilman laadun sekä sisäilman aiheuttamien terveysvaikutusten ja niiden syiden selvittely on pahimmillaan monisyinen ja vaikea tutkimuskohde. Ongelmien selvittelyyn tarvitaan silloin moniammatillinen tutkimusorganisaatio ja prosessilähtöinen toimintatapa (Lahtinen 2004, Hekkanen 2006, Meklin ym. 2007), josta on esimerkkinä kuvan 17 mukainen prosessi.

Sisäilman laatua selvittävät tutkimukset voidaan jakaa subjektiivisiin ja objektiivisiin tutkimuksiin ja välillisiä vaikutuksia selvittäviin tutkimuksiin. Seuravassa on tarkasteltu sisäilmatutkimuksia edellä mainitun jaottelun mukaisesti ja lähempään tarkasteluun on otettu ainoastaan tässä tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja välineet. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja muiden kaasujen tutkimukset, sisäilman laadun välillisten vaikutusten tutkimusmenetelmien, kuten fysikaalisten tekijöiden ja pintapölyn koostumuksen tutkimusmenetelmät sekä terveysvaikutusten selvittäminen ja muut tutkimukset on esitetty luvussa 6.



KUVA 17. Moniammatillinen yhteistyö sisäilmaongelman ratkaisemiseksi (Lahtinen ym. 2005).

#### 4.5 Subjektiiiset sisäilman laadun tutkimusmenetelmät

Subjektiiiset sisäilman laadun tutkimukset voidaan jakaa, samoin kuin siivouksen laatututkimuksetkin, aistinvaraisiin arvioihin ja kyselytutkimuksiin. Aistinvaraisista arvioinneista tärkeimmät ovat silmin tehtävä havainnointi mahdollisista kosteus- ja homevaurioista sekä poikkeavien hajujen tunnistaminen. Puhdas sisäilma on raikas, väritön ja hajuton. Poikkeavat hajut ja ilman tunkkaisuus viittaavat huonoon ilmanvaihtoon ja hajulähteisiin, jotka on syytä selvittää. Sisäilman kirkkautta voidaan myös arvioida aistinvaraisesti, mutta sisäilman värvirheisiin törmätään toimisto-olosuhteissa harvoin. Sisäilman fysikaalisia olosuhteita, kuten lämpöoloja ja vetoisuutta voidaan karkeasti arvioida aistinvaraisesti, mutta tarkempaan määrittelyyn tarvitaan mittalaitteita. Aistinvarainen arviointi on yleensä ensimmäinen keino poikkeavan sisäilmatilanteen syiden selvittämisessä.

Huonon sisäilman terveysvaikutukset ja niihin mahdollisesti vaikuttavat olosuhteet vaihtelevat suuresti ja terveysvaikutuksiin voi sekoittua muita kuin sisäilmaan liittyviä henkilöiden oireita ja sairauksia. Sisäilmaongelmaa voidaan selvittää keräämällä kyselyjen avulla systemaattisesti käyttäjien kokemuksia. On olemassa erilaisia kyselyjä, joista Suomessa toimistotyypillisillä työpaikoilla on vakiintunut käyttöön Ruotsissa, Örebrossa kehitetyn MM-40 -versiot. Erilaisia tähän MM-40- tai Örebro-kyselyyn pohjautuvia kyselyjä on käytössä useita. Työterveyslaitoksella on kyselyistä laajin aineisto. Tätä aineistoa, joka koostuu 122 työpaikan ja 11 154 henkilön vastauksista (Reijula & Sundman-Digert 2004), käytetäänkin tavallisesti uusien kyselyjen verrokkiaineistona. Kyselyssä tarkastellaan henkilöiden kokemia sisäympäristö- ja terveysvaikutuksia viimeisten kolmen kuukauden aikana. Örebro-kyselyn tavoitteena on saada yleiskuva kohteen sisäilmatilanteesta ja tarvittaessa ohjata jatkotutkimuksia oikeisiin kohteisiin.

## 4.6 Objektiiviset sisäilman laadun tutkimusmenetelmät

### 4.6.1 Mittalaitteet ja menetelmät

Objektiiviset sisäilman laadun tutkimukset voidaan jakaa fysikaalisten olosuhteiden selvityksiin sekä kaasumaisten ja hiukkasmaisten epäpuhtauksien mittauksiin. Fysikaalisten olosuhteiden selvitykset ovat yleensä luonteeltaan perusselvityksiä ja niissä selvitetään mm. seuraavia tekijöitä:

- ilman lämpötila
- ilman suhteellinen kosteus
- veto
- ilman vaihtuvuus/ilmamäärät
- painesuhteet
- melu
- valaistus
- säteily

Tyypillisesti nämä tutkimukset tehdään jatkuvatoimisilla mittalaitteilla. Sisäilman ta voidaan selvittää mm. seuraavia kaasumaisia yhdisteitä:

- haihtuvat orgaaniset yhdisteet (myös formaldehydi, styreeni ja PAH-yhdisteet)
- ammoniakki
- hiilimonoksidi
- hiilidioksidi
- rikkidioksidi
- typen oksidit
- otsoni
- radon
- tupakansavu

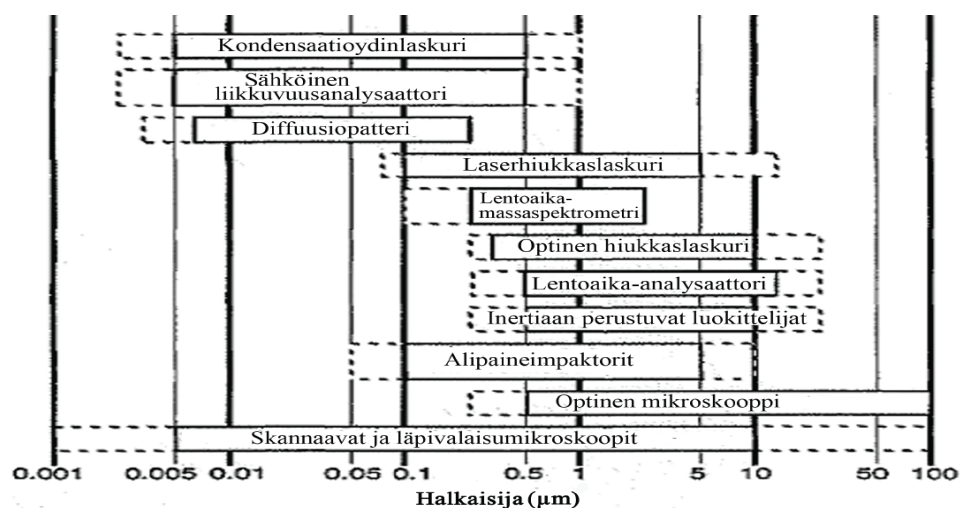
Näistä hiilimonoksidin, hiilidioksidin, rikkidioksidin, typen oksidien ja otsonin mittaaminen tehdään jatkuvatoimisilla mittalaitteilla. Muiden mittaaminen tehdään pääsääntöisesti erilaisilla keräimillä ja analysoidaan laboratoriossa. Eri lähteistä peräisin olevat, muodoltaan erilaiset sisäilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet voidaan jaotella näytteenotto- ja analysointimenetelmän mukaan seuraavasti:

- asbesti ja muut kuidut
- hiukkaset
- bioaerosolit

Sisäilman asbesti- ja kuitunäytteet kerätään yleensä pumpulla suodattimelle ja tulos analysoidaan mikroskooppisesti. Sisäilman leijuvien hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuuden selvittämiseen voidaan käyttää mm. jatkuvatoimisia analysaattoreita (luku 4.6.2). Sisäilman mikrobiologista tilaa selvitetään yleensä ottamalla näytteet keräimellä suoraan mikrobien kasvatusalustoille ja analysointi tehdään laboratorioissa kasvatusvaiheen jälkeen. Kasvatusmenetelmien rinnalle on kehitteillä nopeampia ja tarkempia mikrobien dna:n ja toksiinien tunnistukseen perustuvia menetelmiä (Kärkkäinen ym. 2010, Pietarinen ym. 2008, Salkinoja-Salonen 2009).

#### 4.6.2 Hiukkaspitoisuuden mittaaminen

Leijuvien hiukkasten kokojen sekä lukumäärä- ja massapitoisuuksien mittaamiseen on käytettävissä kuvan 18 jaottelun mukaisia laitteita ja menetelmiä.



KUVA 18. Leijuvien hiukkasten analysointimenetelmät eri hiukkaskokoluokissa (Pui 1996).

Hiukkasten ominaisuuksiin liittyy mittaamisen tarkkuutta vaikeuttavia seikkoja, kuten hiukkasten laaja kokoalue ja hiukkasten muoto (Hämeri & Mäkelä 2005). Hiukkasen läpimitta ei ole hiukkasille yksikäsitteinen ominaisuus, sillä hiukkaset ovat usein kuutiomaisia kiteitä tai ne ovat ketjumaisia agglomeraatteja. Myös kuitumaisten hiukkasten koon ilmaiseminen on ongelma, sillä kuidun käyttäytymiseen ilmassa vaikuttava aerodynaaminen halkaisija on lähellä sen poikkileikkauksen halkaisijaa, kun taas terveysvaikutukset riippuvat pääasiassa kuidun pituudesta.

Hiukkasten koon, lukumäärä- ja massapitoisuuden, koostumuksen ja muodon määrittämiseen on olemassa kaksi menetelmää; hiukkasten keräykseen perustuvat (off-line) menetelmät, jolloin analysointi tapahtuu laboratoriossa ja paikan päällä (in situ) tehtävät mittaukset.

Siivouksen ja sisäilman välisten yhteyksien tutkimisessa mielenkiinto kohdistuu erityisesti leijuviin ja laskeutuviin hiukkasiin eli hiukkasten kokoalueelle n. 1 - 10  $\mu\text{m}$  ja hiukkasten pitoisuuksissa tapahtuviin ajallisiin muutoksiin. Tällä kokoalueella on myös merkittävä osa kuvassa 10 esitetyistä aerosolihiuksaryhmistä ja niiden terveysvaikutukset ovat huomattavat (vrt. luku 3.6.2). Käsillä olevassa tutkimuksessa käytettiin optisia hiukkaslaskureita, joilla voidaan mitata juuri tämän kokoalueen leijuvien hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuuksia jatkuvana mittauksena.

## **5 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET**

### **5.1 Tutkimuksen lähtökohta ja tavoitteet**

Tutkimuksen lähtökohtana olivat seuraavat väittämät:

1. Nykyiset siivouksen laadun mittaamenetelmät ja -välineet ovat riittämättömiä siivouksen laadun määrittämiseen.
2. Siivouksella on vaikutusta sisäilman laatuun ja työntekijöiden terveyteen ja työn tehokkuuteen.

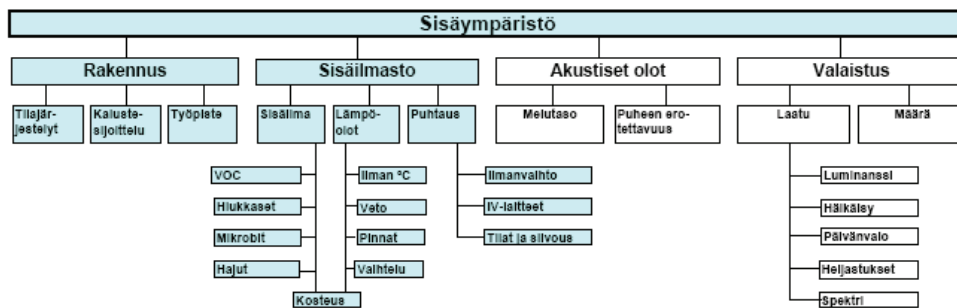
Väittämien testaamiseksi tutkimuksessa selvitettiin erilaisten siivouksen laadun mittaamenetelmien ja -välineiden soveltuvuutta laadun tutkimiseen ja arviointiin sekä tutkittiin siivouksen ja sisäilman laadun välisiä yhteyksiä. Tutkimuksen tavoitteiksi asetettiin:

1. Selvittää, millä tavoin siivouksen laatua voidaan arvioida tai mitata.
2. Selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat siivouksen laatuun.
3. Arvioida tutkimusrakennusten siivouspalveluiden laatua.
4. Löytää siivouksen ja sisäilman laadun välisiä yhteyksiä sekä vaikutuksia toimistotyöntekijöiden kokemaan terveyteen ja työn tehokkuuteen.



## 5.2 Tutkimusalueen ja -aiheen rajaus

Siivous on sisäympäristössä kuvan 19 mukaisesti sisäilmastoon ja puhtauteen vaikuttava tekijä. Tutkimuksen pääpaino oli siivouksen ja sisäilmastotekijöiden tutkimisessa sekä rakennuksiin liittyvien ominaisuuksien selvittämisessä (kuvassa 19 tummennettu alue). Muut sisäympäristöön vaikuttavat tekijät, akustiset olot ja valaistus rajattiin kokonaan tutkimuksen ulkopuolelle. Lisäksi sisäilmastotekijöistä hajut, veto ja pintalämpötilat otettiin mukaan vain niiltä osin kun niitä pystyttiin aistinvaraisesti arvioimaan muiden tutkimusten yhteydessä. Rakennustekijöistä tilajärjestelyt jätettiin vähemmälle huomiolle.



KUVA 19. Sisäympäristöön vaikuttavat tekijät (Seppänen ym. 2004).

Tutkimuksen kohteina olivat siivouksen laadun mittausmenetelmät ja -välineet suurien kohteiden (siivousala vähintään tuhansia neliömetrejä ja yksi tai useampia siivoojia) ostopalveluna (kilpailutuksen tuloksena) tehtävässä siivouksessa. Tutkimuksessa ei hyödynnetty siivousliikkeiden omavalvonnan tuloksia. Siivouspalvelusta tarkasteltiin erityisesti siivouksen teknistä toteutusta. Tutkimuksen pääpaino oli leijuvan ja laskeutuvan pölyn määrän ja laadun sekä pintojen mikrobiologisen laadun tutkimisessa. Pintojen kiiltoa, kitkaa ja sähköstaattisia ominaisuuksia ei tutkittu. Tutkimuskohteina olivat Jyväskylän yliopiston rakennukset ja niissä työskentelevä henkilökunta. Opiskelijat ja muut mahdolliset tilojen käyttäjät rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Rakennuksissa tutkittiin pääasiassa toimistotiloja ja niihin läheisesti liittyviä saniteettitiloja.

Tutkimus on monitieteinen, mutta sen näkökulma on sisäilmahygieniapainotteinen eli tutkimuksissa käytettiin vakiintuneita sisäilmatutkimusmenetelmiä ja niiden tulkintaa. Tutkimuksiin ei sisällytetty henkilökunnan terveydentilan kliinisiä testejä eikä työn tehokkuustestejä. Koska siivouksen laadun mittaamismenetelmistä ei ole vertailevaa tieteellistä tutkimusta, tämä tutkimus pyrkii osaltaan vastaamaan tähän tiedon tarpeeseen. Tutkimuksessa ei oteta kantaa heikon puhtaustason mahdollisiin positiivisiin terveysvaikutuksiin, joita saattaisivat olla mm. ihmisen immuunivasteen paraneminen tietyissä altistavissa olosuhteissa.

Tutkimusmetodiikkana on eri mittausmenetelmien käyttö täysimittakaavaisessa pitkittäistutkimuksessa ja siitä saatujen tulosten analysointi ja yhdistäminen alan aiempaan tutkimustietoon.

## 6 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 6.1 Tutkimusasetelma ja -aineisto

#### 6.1.1 Tutkimusrakennukset ja huoneet

Tutkimuskohteiksi valittiin viisi Jyväskylän yliopiston rakennusta (rakennukset 1-5). Niiden yleistiedot ovat taulukossa 5. Rakennusten tausta-aineistoksi koottiin ja analysoitiin tiedot aiemmista siivouksen laadun mittaustuloksista ja rakennusten rakentamisiin, erilaisiin tutkimuksiin ja selvityksiin sekä korjauksiin liittyneistä asiakirjoista. Tutkimuksen alkuvaiheessa tehtiin rakennusten ilmanvaihtojärjestelmien katselmukset ja mittaukset. Varsinaisten tutkimusrakennusten lisäksi mukana oli rakennus X, jonka rajoitetulle käyttäjäjoukolle tehtiin sisäilmastokysely ja rakennus Y, jossa tehtiin yhden huoneen perusteellinen siivous hiukkasmittauksineen.

TAULUKKO 5. Tutkimusrakennusten yleistiedot.

Rakennus	Siivousmalli	Huoneistoala (m <sup>2</sup> )	Kerrokset	Rakennusvuosi	Peruskorjausvuosi	Henkilömäärä
1	A	4484	3-4	1953	2003	44
2	C	6674	4-5	1955	2002, 2006	43
3	B	3679	3-4	2003	-	102
4	A	3074	3	1980	-	55
5	C	3070	3	1980	-	113

Rakennukset 1 ja 2 sekä 4 ja 5 olivat teknisiltä ominaisuuksiltaan samankaltaisia. Rakennukset 1 ja 2 olivat saman arkkitehdin suunnitteleamia samantyyllisiä rakennuksia, joiden tekniikat ja pääosa pintamateriaaleista oli uusittu vastikään tehdyissä peruskorjauksissa. Ne olivat samalla etäisyydellä (n. 100 m) lähimmästä kadusta. Vielä paremmin toisiaan vastaavia olivat rakennukset 4 ja 5, jotka olivat myös saman arkkitehdin suunnitteleamia vierekkäin olevia, samaan aikaan raken-

nettuja rakennuksia. Niissä ei ollut tehty vielä peruskorjauksia, joten pintamateriaaleissa oli havaittavissa kuluneisuutta ja talotekniikka oli rakentamisajankohdan mukaista ja elinkaarensa loppupuolella. Rakennukset sijaitsivat alle 100 metrin päässä vilkkaasti liikennöidystä valtatiestä.

Rakennuksessa 2 oli ennen tutkimuksen alkua tehty mittava sisäilmaongelmien korjaustyö puhtaan rakentamisen periaatteita noudattaen ja rakennuksen uudet käyttäjät muuttivat rakennukseen juuri tutkimuksen käynnistyessä vuoden 2007 tammikuun alussa. Muissa rakennuksissa käyttäjät olivat olleet samat jo vuosien ajan. Rakennuksessa 2 aiemmin olleet henkilöt olivat muuttaneet rakennukseen X tammikuussa 2006.

Rakennus 3 poikkesi teknisesti muista ja siellä toteutettu siivous, joustomalli (malli B) poikkesi enemmän muista malleista. Rakennus oli rakennuksista uusin ja pintarakenteiltaan hyväkuntoinen ja tekniikoiltaan moderni. Se sijaitsi alle 50 metrin päässä lähimmästä, vilkkaasti liikennöidystä kadusta.

Pintamateriaalien arvioitiin olevan keskenään vertailukelpoisia rakennusten 4 ja 5 kuluneisuutta lukuun ottamatta. Tiestön lisäksi rakennusten läheisyydessä ei ollut muita ulkoisia päästölähteitä. Molemmista vastinparirakennuksissa (rakennukset 1 ja 2 sekä rakennukset 4 ja 5) tutkittiin kahta siivoustapaa, kilpailumallia (malli A) ja laatumallia (malli C).

Jokaisesta rakennuksesta (1-5) valittiin tutkimukseen mukaan viisi toimistohuonetta eli kaikkiaan koehuoneita oli yhteensä 25. Lisäksi jokaisesta rakennuksesta tutkimukseen valittiin kaksi wc-tilaa (yhteensä 10), jotka olivat vain henkilökunnan käytössä. Koehuoneet valittiin rakennusten pohjapiirustuksista siten, että ne kaikki olivat lähes samankokoisia n. 10 m<sup>2</sup>:n kokoisia yhden hengen toimistohuoneita ja edustivat rakennusten maanpäällisiä kolmea ensimmäistä kerrosta. Koehuoneiden kalustus inventoitiin ja dokumentoitiin huonepiirustuksiin ja lisäksi jokainen huone valokuvattiin. Siivouksen laatututkimuksia tehtiin myös samojen rakennusten kontrollihuoneista (vrt. taulukot 10 ja 11) ja niiden tulokset on esitetty muiden tulosten yhteydessä luvussa 7. Kontrollihuoneita olivat kaikki muut kuin rakennusten koehuoneet. Kontrollihuoneiden siivouslaadun tutkimusten tarkoituksena oli saada koehuoneille vertailevaa tietoa, koska epäiltiin, että koehuoneisiin tultaisiin panostamaan enemmän siivousresursseja ja samalla kontrollihuoneiden avulla oli tarkoitus saada kokonaiskuva rakennusten siivouslaadusta.

### 6.1.2 Siivousmallit ja puhtaustasot

Tutkimuksessa selvitettiin kolmen eri siivoustavan vaikutusta kuvan 6 mukaiseen huonetilan hiukkastaseeseen sekä siivouksen ja sisäilman laatuun ajan funktiona. Siivouksen toteutustavat olivat: *kilpailumalli* (malli A), *joustomalli* (malli B) ja *laatumalli* (malli C). Siivousmallit (yksi malli/rakennus) olivat käytössä kunkin rakennuksen kaikissa tiloissa.

Kilpailumallissa (rakennukset 1 ja 4) siivottiin kilpailutetun toimistosiiivouksen mukaisesti. Voimassa olleessa siivoussopimuksessa tilaaja oli määritellyt ainoastaan puhtaustavoitteet kullekin tilatyypille ja palveluntuottajan (siivousliikkeen) tuli itse ratkaista, miten tavoitteisiin päästään. Toimistohuoneet siivottiin yleensä kerran viikossa, mutta huoneen siivottaville kohteille malli jätti vapausasenteita siivoojan oman harkinnan mukaisesti. Wc-tilat siivottiin joka päivä.

Joustomallin (rakennus 3) siivoussopimuksessa oli vastaavasti määritelty puhtaustavoitteet eli vastuu puhtaustasotavoitteiden saavuttamisesta tässäkin mallissa oli palveluntuottajalla. Tilan käyttäjällä oli mahdollisuus vaikuttaa tilan siivoustaajuuteen ja toteutustapaan, mikä puolestaan vaikutti palvelun hintaan. Toimistotilat siivottiin pääsääntöisesti kerran viikossa ja wc-tilat kerran päivässä ja siivouksen sisältö oli samankaltainen edellisen mallin kanssa.

Laatumallissa (rakennukset 2 ja 5) tilaaja määritteli siivouskerrat ja tehtävät työt. Toimistohuoneet siivottiin kerran viikossa ja wc-tilat kerran päivässä. Toteutuksen laatutavoitteina käytettiin INSTA 800 -standardin mukaisia raja-arvoja. Tavoitteena oli myös löytää yhteyksiä tutkimuksen alkaessa Sisäilmastoluokitus 2000:n ja tutkimuksen lopulla Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaisiin raja-arvoihin. Luokituksia tulisi käyttää vain uudisrakentamisessa ja soveltuvin osin peruskorjauksissa. Siltä osin vertailu tässä on vain viitteellinen. Muita vertailuperusteita ei ole käytettävissä, sillä Asumisterveysohjekin koskee asuntoja tai muita niihin rinnastettavia oleskelutiloja eikä tässä tarkoitettuja työpaikkojen toimistotiloja. Liitteessä 1 on esimerkkinä laatumallin mukainen toimistohuoneen siivouspalvelun kuvaus ja liitteessä 2 vastaava saniteettitiloista. Vastaavalla tavalla kuvattiin kaikki eri tilatyypit.

Kaikkien tutkimuksessa käytettyjen siivousmallien palvelukuvaukset olivat lähes toisiaan vastaavat. Varsinkin kilpailumalli ja laatumalli olivat yhteneväiset ja se kuvaa hyvin sitä, että kilpailutettu siivous vastaa lähtökohdiltaan nykytietämyksen mukaista hyvää siivouksen toteutustapaa. Joustomalli vastasi myös teoreettisesti näitä kahta muuta mallia, mutta siinä asiakkaalla oli tapauskohtaisesti mahdollisuus käyttää siivouksen joustomahdollisuuksia hyväkseen ja myös perussiivoukset oli mahdollista jakaa joustavammin ympäri vuoden.

Kilpailumalli ja joustomalli olivat jo aiemmin tutkimuskohteissa käytössä olleita siivouksen toteutustapoja, eikä niihin tehty tutkimuksen aikana mitään muutoksia. Laatumalliin siirryttiin tutkimuksen käynnistyttyä kilpailumallin rakennuksissa 2 ja 5 ja teoreettisista yhteneväisyyksistään huolimatta malleissa oli todellisia eroja käytännössä, sillä laatumallin toteutuksesta jouduttiin maksamaan lisähintaa. Tämä viittaa siihen, että kilpailumallissa työmäärä oli pienempi kuin laatumallissa. Kaikkien siivousmallien toimistohuoneiden puhtaustasotavoitteena oli taso 3 ja saniteettitilojen tavoitteena taso 4 INSTA 800 -standardin mukaisesti.

Rakennuksissa oli myös muihin puhtaustasoihin kuuluvia tiloja. Standardissa tilat on jaettu puhtaustasoihin 1 – 5.

Puhtaustaso 5 kuvaa parasta visuaalista tasoa. Puhtaustaso 5 valitaan esimerkiksi edustus- ja puhdastiloihin. Epäkohtia voi esiintyä hyvin rajoitetusti. Kooltaan 15–35 m<sup>2</sup>:n tilassa sallitaan siivouksen jälkeen kussakin kohderyhmässä 1 epäkohta helposti luoksepäästäväillä pinnoilla ja 2 vaikeasti luoksepäästäväillä pinnoilla.

Puhtaustaso 4 kuvaa hyvää visuaalista tasoa. Puhtaustaso 4 valitaan, kun tilalta odotetaan edustavuutta ja hyvää hygieniaa, esimerkkeinä neuvottelu- ja saniteettitilat. Epäkohtia voi esiintyä rajoitetusti. Kooltaan 15–35 m<sup>2</sup>:n tilassa sallitaan kussakin kohderyhmässä 3 epäkohtaa helposti luoksepäästäväillä pinnoilla ja 5 vaikeasti luoksepäästäväillä pinnoilla.

Puhtaustason 3 tila näyttää yleisvaikutelmaltaan siistiltä. Tätä tasoa pidetään yleisimpänä ja riittävänä esim. normaaleissa toimistotiloissa. Puhtaustaso 3 valitaan, kun tilalta ei odoteta edustavuutta. Epäkohtia voi esiintyä rajoitetusti. Kooltaan 15–35 m<sup>2</sup>:n tilassa sallitaan kussakin kohderyhmässä 6 epäkohtaa helposti luoksepäästäväillä pinnoilla ja 8 vaikeasti luoksepäästäväillä pinnoilla.

Puhtaustason 2 tila näyttää nopealla silmäyksellä siistiltä, mutta tarkemmin havainnoiden siellä näkyy joitakin epäkohtia. Tämän tason katsotaan olevan keskitason alapuolella. Epäpuhtauksia voi luonnollisesti esiintyä. Kooltaan 15–35 m<sup>2</sup>:n tilassa sallitaan kussakin kohderyhmässä 8 epäkohtaa helposti luoksepäästäväillä pinnoilla ja 10 vaikeasti luoksepäästäväillä pinnoilla.

Puhtaustaso 1 valitaan yleensä tiloihin, joiden siisteydelle ei aseteta erityisiä vaatimuksia. Tämän tason katsotaan olevan alin hyväksyttävä. Epäpuhtauksia voi luonnollisesti esiintyä. Kooltaan 15–35 m<sup>2</sup>:n tilassa sallitaan kussakin kohderyhmässä 12 epäkohtaa helposti luoksepäästäväillä pinnoilla ja rajoittamaton määrä epäkohtia vaikeasti luoksepäästäväillä pinnoilla.

### 6.1.3 Tutkimukset ja niiden aikataulu

Tutkimukset toteutettiin 28.12.2006 – 13.4.2008. Taulukossa 6 on esitetty kooste tehdyistä tutkimuksista aikatauluineen ja kohteineen. Tarkemmat tiedot kunkin tutkimuksen menetelmästä, aikatauluista ja kohteista on esitetty ao. tutkimuksen yhteydessä jäljempänä.

TAULUKKO 6. Tehdyt tutkimukset, niiden tekoaika ja kohderakennukset.

Tehdyt tutkimukset	Tutkimusaika	Rakennukset						
		1	2	3	4	5	X	Y
Siivouksen laatututkimukset								
- visuaalinen arviointi	1.2007 - 4.2008	X	X	X	X	X		
- pintapölymittaukset	1.2007 - 4.2008	X	X	X	X	X		
- atp-mittaukset	1.2007 - 4.2008	X	X	X	X	X		
- hygicult-tutkimukset	1.2007 - 4.2008	X	X	X	X	X		
Pölyn koostumustutkimukset								
- kuitututkimukset	2-4., 11-12.2007	X	X	X	X	X		
- mikrobittutkimukset	12.2006 - 3.2008	X	X	X	X	X		
- punkkitutkimukset	2.2007	X	X	X	X	X		
Sisäilmanlaadun tutkimukset								
- ammoniakkitutkimukset	2.2007	X	X	X	X	X		
- formaldehyditutkimukset	2., 4., 11.2007, 3.2008	X	X	X	X	X		
- VOC-tutkimukset	2., 4., 11.2007, 3.2008	X	X	X	X	X		
- hiukkasmittaukset	3.-4., 10-11.2007, 3.2008	X	X	X	X	X		
- erillismittaus, hiukkaset	1.2008							X
- lämpötilamittaukset	3.-4.2007, 3.2008	X	X	X	X	X		
- paine-eromittaukset	3.-4.2007, 3.2008	X	X	X	X	X		
- hiilidioksidimittaukset	3.-4.2007, 3.2008	X	X	X	X	X		
- ilmamäärämittaukset	3.-4.2007	X	X	X	X	X		
- suht. kosteuden mittaukset	3.-4.2007, 3.2008	X	X	X	X	X		
Kyselytutkimukset								
- sisäilmastokysely	3.2007	X	X	X	X	X	X	
- siivouksen laatukysely	2., 5.2007, 2.2008	X	X	X	X	X		
- työn tehokkuuskysely	3.2007	X	X	X	X	X	X	
Työterveyskäyntiselvitykset	1.2005 - 7.2008	X	X	X	X	X		

## 6.2 Olosuhteiden vakiointi ja virhelähteiden vaikutusten vähentäminen

Tutkimuksessa vakioitiin kaikki siivouksessa käytetyt aineet, välineet, koneet ja laitteet siten, että niiden erojen merkitys lopputuloksen arvioinnissa olisi mahdollisimman vähäinen. Työmenetelmät olivat kaikissa siivousmalleissa samat. Tutkimusten aikana siivoukset tehtiin normaalien ylläpitosiivousmenetelmien mukaisesti. Siivouksen toteutusmallit testattiin eri rakennuksissa, koska näin oli mahdollista saada riittävän suuria kokonaisuuksia todellisten erojen tutkimiseksi.

Rakennusten ilmanvaihtokatselmus sekä rakennusten teknisten tietojen kerääminen ja analysointi tehtiin ennen tutkimuksen käynnistämistä. Tutkimusrakennuksissa ei ollut tutkimusaikana epäiltyjä eikä tiedossa olevia kosteus- ja homevaurioita eikä muitakaan sisäilmasto-ongelmia.

Huoneiden lähtötilanne pyrittiin saattamaan mahdollisimman lähelle toisaan järjestämällä rakennusten käyttäjille tiedotustilaisuudet tulevista tutkimuksista sekä jakamalla käyttäjille kirjallinen ohje oman työhuoneen siivottavuuden parantamisesta. Tämän lisäksi laatumallin siivoojat koulutettiin tekemään työ tarkalleen ohjeiden mukaisesti. Muiden mallien siivoojat saivat jatkaa työtä aiempien käytänteidensä mukaisesti. Siivoojat olivat kahden eri siivousliikkeen ammattisiivoojia, jotka haastateltiin ja joiden osaaminen tarkastettiin tutkimuksen alussa. Siivoojille ei kerrottu tutkimuksen aikana, mitkä huoneet olivat erityisesti tutkimuskohteina.

Tutkimuksessa tehtyjen mittausten tekijät ja näytteiden ottajat olivat samat eri tutkimusvaiheissa. Tällä varmistettiin se, että eri tutkijoiden henkilökohtaiset ominaisuudet ja mahdolliset erilaiset toimintatavat eivät päässeet vaikuttamaan tutkimustuloksiin. Tutkimusrakennuksissa ei tehty tutkimusaikana korjaustöitä normaaleja huoltotoimenpiteitä lukuun ottamatta.

## **6.3 Siivouksen laadun tutkimukset ja tutkimusmenetelmät**

### **6.3.1 Menetelmien valintaperusteet**

Siivouksen laadun mittaamenetelmiksi valittiin menetelmät, joilla mahdollisimman hyvin pystyttiin mittaamaan toimisto- ja saniteettitilojen pintojen puhtautta. Tämän pohjalta päädyttiin perinteiseen visuaaliseen arviointiin ja kyselytutkimuksiin. Näiden lisäksi mukaan otettiin pintapölyn mittausta, josta on olemassa paljon aiempaa tutkimustietoa (Schneider ym. 1996), kokemusta ja myös standardiarvoja (INSTA 800). Pintahygieniaa ei toimisto-olosuhteissa ole tiettävästi tutkittu, joten siihen jouduttiin etsimään välineitä, joista olisi testattua tietoa muissa olosuhteissa ja jotka olisivat suhteellisen helppoja ja nopeita käyttää. Tämän mukaisesti päädyttiin testaamaan ATP-mittausta ja Hygicult-testiä. Molemmat menetelmät ovat hyväksytyjä käytettäväksi EY-komission asetuksen nro 2073/2005 mukaiseen elintarvikkeiden mikrobiologisen laadun omavalvontaan (Evira 2009). Hygicult-menetelmä on lisäksi AOAC RI:n ja NordVal:n validoima (Salo ym. 2000).

### **6.3.2 Visuaalinen arviointi**

Visuaalinen siivouksen puhtaustasojen arviointi tehtiin INSTA 800 -laadunarviointijärjestelmän mukaisesti. Standardissa kuvataan miltä tila näyttää silmämääräisesti arvioiden ja kuinka paljon epäkohtia (likaa) tilassa saa näkyä



siivouksen jälkeen. Kussakin tilassa arvioitiin kalusteet/sisusteet, seinät, lattia ja katto. Likatyyppinä määriteltiin roskat, irtolika, pöly, tahrat ja pintalika. Poikkeamaksi kirjattiin likatyyppin mukainen havainto vapailla pinnoilla ja vaikeasti luokse päästävillä pinnoilla. Siivouksen laatu hyväksyttiin tai hylättiin taulukon 7 mukaisesti.

TAULUKKO 7. Sallittujen poikkeamien määrä (kpl) eri puhtaustasoissa vapailla tasopinnoilla (H) ja vaikeasti luoksepäästävillä pinnoilla (V) sekä pintalian määrä suhteessa pinta-alaan (%).

Puhtaustaso	Poikkeamien lukumäärä (kpl)				Pintalika (%)
	Tilojen pinta-alat (m <sup>2</sup> )				Tilojen pinta-alat (m <sup>2</sup> )
	alle 15	15-35	35-60	60-100	0 - 100
5 H	1	1	2	4	0
5 V	1	2	4	6	0
4 H	2	3	5	7	10
4 V	3	5	6	8	10
3 H	5	6	9	12	25
3 V	6	8	12	18	25
2 H	7	8	13	18	50
2 V	8	10	15	20	50
1 H	10	12	18	24	75
1 V	ei raj.	ei raj.	ei raj.	ei raj.	75

Taulukossa 7 on esitetty, kuinka monta poikkeamaa sallitaan puhtaustasoittain eli roskia ja irtolikkaa, pölyä ja tahroja sekä pintalian sallittu prosenttiosuus kummasakin kohderyhmässä (H = vapaat pinnat, helposti luoksepäästävät pinnat ja V= vaikeasti luoksepäästävät pinnat). Suuremmissa tiloissa ja vaikeasti luoksepäästävillä pinnoilla hyväksytään enemmän poikkeamia kuin pienissä tiloissa ja lähipinnoilla. Tietylle puhtaustasolle päästökseen kaikkien tilan pintojen tulee täyttää ko. tason vaatimukset. Siivouksen kokonaislaatua pidetään yleensä hyväksyttävänä, kun hyväksytyjen tilojen osuus on 90-100 % otoksesta (vrt. ISO 2859-1-standardi). Tässä tutkimuksessa hyväksytyn tason rajaksi asetettiin 90 %.

Visuaalinen arviointi tehtiin tutkimuksen alussa standardin mukaisesti ai-noastaan siivouksen jälkeen. Koska tällä menettelyllä ei saada tietoa siivouksen laadun alenemisesta siivousten välillä, päätettiin visuaalisia arviointeja ja muita laatumittauksia myöhemmin tehdä ennen siivousta ja sen jälkeen. Koehuoneiden lisäksi visuaalinen arviointi käsitti kustakin rakennuksesta satunnaisotannalla valittuja kontrollitiloja siten, että arvioitu kokonaisala vastasi noin 10-20 % kunkin rakennuksen pinta-alasta (taulukko 8). Tällä pyrittiin siihen, että mahdollinen koehuoneiden sijaintitieto ei ohjaisi ja painottaisi siivousta niihin muiden tilojen sijasta. Kontrollitilojen arvioinneissa tavoitteena oli saada kokonaiskuva kunkin

rakennuksen siivouksen laadusta. Arvioinnin otos edusti monenlaisia tilatyyppejä ja puhtaustasoja. Arvioinnin suoritti tehtävään hyvin perehtynyt ja koulututtanut henkilö, jolla oli useiden vuosien kokemus vastaavista arvioinneista.

TAULUKKO 8. Kontrollihuoneiden otoskokojen määrät rakennuksissa eri arviointiaikoina.

Kohde	Otoskoko (kpl)/kok.määrä (kpl)			Otoskoko (m <sup>2</sup> )/kok.määrä (m <sup>2</sup> )			Otoskoko pinta-ala (%)		
	1/2007	4/2007	12/2007	1/2007	4/2007	12/2007	1/2007	4/2007	12/2007
Rak 1 Malli A	16/199	25/199	16/199	704/4484	837/4484	505/4484	15,7	18,7	11,3
Rak 2 Malli C	7/222	27/222	15/222	925/6674	884/6674	603/6674	13,9	13,2	9,0
Rak 3 Malli B	30/192	30/192	16/192	627/3679	614/3679	278/3679	17,0	16,7	7,6
Rak 4 Malli A	24/146	25/146	13/146	531/3074	629/3074	259/3074	17,3	20,5	8,4
Rak 5 Malli C	28/154	29/154	15/154	584/3070	606/3070	299/3070	19,0	19,7	9,7

Tutkimusrakennusten puhtaustason 3 tilojen otokset seulottiin taulukossa 8 esitettyjen kaikkien arvioitujen tilojen joukosta. Otosten koko oli 2-17 huonetta/rakennus ja ne olivat pääasiassa toimistohuoneita. Taulukossa 9 on esitetty otoskokojen määrät rakennuksissa tutkimusajoina. Varsinkin rakennusten 1 ja 2 otoskoot jäivät tässä tarkastelussa pieniksi.

TAULUKKO 9. Kontrollihuoneiden puhtaustason 3 otoskokojen määrät rakennuksissa eri arviointiaikoina.

Kohde	Otoskoko (kpl)/kokonaismäärä (kpl)		
	1/2007	4/2007	12.2007
Rak 1 Malli A	3/199	9/199	3/199
Rak 2 Malli C	2/222	7/222	5/222
Rak 3 Malli B	17/192	14/192	9/192
Rak 4 Malli A	12/146	13/146	8/146
Rak 5 Malli C	11/154	15/154	10/154

Koehuoneiden eli kunkin rakennuksen viiden toimistohuoneen arvioinnit tehtiin 9-12 kertaa tutkimusprojektin aikana. Niistä alkuvaiheen arvioinnit tehtiin siivouksen jälkeen, mutta loka-marraskuussa 2007 ja maaliskuussa 2008 arvioinnit tehtiin ennen siivousta ja sen jälkeen. Visuaalisia arviointeja tehtiin tutkimuksen aikana yhteensä n. 6 500 kpl.

### 6.3.3 Pintapölyn mittaaminen

Objektiivinen puhtaustasojen mittaus tehtiin BM Dustdetector -mittalaitteella INSTA 800 -standardin mukaisesti. Pintapölymittauksia tehtiin viideltä eri pinta-kategorialta:

- henkilöä lähellä olevilta pinnoilta (esim. tietokonepöydät, kirjoituspöydät)
- vapailta kalustepinnoilta (esim. apupöydät, kirjahyllyt, kaappien pinnat)
- vaikeapääsuisiltä kalustepinnoilta (esim. korkealla oleva hylly tai kaapin pinta, ilmanvaihtokanavat tai riippuvien kattovalaisimien päälliset)
- vapailta kovilta latioilta (esim. kulkuväylien lattiat)
- vaikeapääsuisiltä kovilta latioilta (esim. lattia kirjoituspöydän, kaapin tai hyllyjen alla).

Jokaiselta pintakategorialta tehtiin mittaukset ja niiden lukumäärä riippui tilojen pinta-alasta seuraavasti:

- tilat, jotka ovat pienempiä tai yhtä suuria kuin 15 m<sup>2</sup>, 3 näytettä
- tilat, jotka ovat suurempia kuin 15 m<sup>2</sup> ja pienempiä tai yhtä suuria kuin 35 m<sup>2</sup>, 3 näytettä
- tilat, jotka ovat suurempia kuin 35 m<sup>2</sup> ja korkeintaan 100 m<sup>2</sup>, 5 näytettä

Saatuja tilakohtaisia tuloksia verrattiin taulukossa 10 määriteltyihin puhtaustasoihin ja lopullinen puhtaustaso määräytyi pintakategorioiden heikoimman puhtaustason mukaan.

TAULUKKO 10. Sallitut pintapölypitoisuudet (%) eri puhtaustasoluokissa ja eri pinnoilla (INSTA 800).

Puhtaustaso	Pintapölypitoisuus (%)				
	Henkilöä lähellä olevat pinnat	Vapaat kalustepinnat	Vaikeapääsuiset kalustepinnat	Vapaat kovat lattiat	Vaikeapääsuiset kovat lattiat
5	0,7	1	3	1,5	2,5
4	1	1,5	5	3	5
3	2	2,5	10	7	10
2	4	5	15	12	18
1	> 4,0	> 5,0	> 15,0	>12,0	>18,0

Siivouksen visuaalinen arviointi ja pintapölymittaukset toteutettiin tutkimuksessa samalla kertaa. Pintapölymittauksia tehtiin tutkimusaikana yhteensä n. 4 000 kpl.

#### 6.3.4 Pintahygienian mittaaminen

Pintojen orgaanisen lian määritykseen käytettiin SystemSURE II™ & Ultrasnap™ -luminometrinen menetelmä ja mikrobimäärää määritettiin Hygicult TPC -liuskoilla. ATP-näytteet tasopinnoilta otettiin sivelemällä 10 cm x 10 cm suuruinen alue Ultrasnap-testipuikoilla. Muilta pinnoilta näytteet otettiin mahdollisimman hyvin tasopintojen pinta-alaa vastaavasti. Puikon yläosan ampullissa olevan valmiin

reagenssiliuoksen lisäämisen ja reagoinnin jälkeen muodostuneen valon määrä mitattiin SystemSURE II-laitteella (Net-Footlab Oy).

Näytteitä otettiin tutkimuksen alkuvaiheessa kaikista koehuoneista, mutta tutkimuksen myöhemmässä vaiheessa vain yhdestä koehuoneesta ja wc:stä rakennusta kohti. Kustakin toimistohuoneesta näytteitä otettiin eniten käsikontaminaatiolle aroista pinnoista eli ovien kahvoista, valokytkimistä, puhelimen luurista, pöytäpinnoilta ja tuolien käsinojista. Vertailunäytteitä otettiin kaappien ja ikkunalautojen päältä. Näillä haluttiin selvittää miten pintahygienia muuttuu sellaisilla pinnoilla, joihin ei yleensä kosketa. Näytteitä otettiin jokaisesta tutkimushuoneesta 6 kpl/tutkimuskerta.

Kunkin rakennuksen kahdesta wc:stä otettiin myös näytteitä käsikontaminaatiolle riskialteimmista kohdista. Tutkimuskohteita olivat ovenkahva, valokatkaisin, hana, istuinkansi edestä ja sivulta, huuhtelupainike ja lattia lavuaarin edestä. Näytteitä otettiin jokaisesta wc-tilasta 6 kpl/tutkimuskerta. ATP-näytteitä otettiin tutkimusaikana yhteensä n. 2 500 kpl.

Pintojen mikrobimäärää tutkittiin Hygicult TPC-liuskoilla (Orion Diagnostica Oy). Näytteet otettiin painamalla liuskan pinta tiiviisti näytteenottokohtaan. Näytteenoton jälkeen liuskat laitettiin takaisin putkiin, joita pidettiin huoneenlämmössä ja valolta suojassa (inkuboitiin) viisi vuorokautta. Tämän jälkeen elatusaineella kasvaneiden pesäkkeiden lukumäärät laskettiin. Pesäkkeiden määrän raja-arvona käytettiin Orion Diagnostica Oy:n suositusta 100 pmy (Välikylä ym. 2002, Välikylä 2006). Hygicult-näytteitä otettiin tutkimusaikana yhteensä n. 2 000 kpl.

ATP- ja Hygicult-näytteitä otettiin samaan aikaan rinnakkaisnäytteinä niistä kohdista, joista se käytännössä oli mahdollista. Alkuvaiheessa näytteitä otettiin vain siivouksen jälkeen, mutta myöhemmin pölymittausten kanssa yhtä aikaa myös ennen siivousta. Hygicult-näytteiden kasvatuksen jälkeen liuskoilla kasvanneet pesäkkeet laskettiin, mutta lajitunnistusta ei tämän tutkimuksen puitteissa tehty muuten kuin kokoomanäytteestä.

Kokoomanäytettä varten pintanäytteitä kerättiin ennen siivousta ja sen jälkeen yhteensä 61 kpl Hygicult-TPC-elatusaineputkeen. Näistä otettiin kokoomanäyte kaikkiaan 74 bakteeripesäkkeestä, jotka oli eristetty 19 Hygicult-näytteestä. Pesäkkeet viljeltiin puhtaiksi ja tunnistettiin. Tunnistukseen kuului kaikissa tapauksissa kasvuston makroskooppisen ulkonäön kuvaaminen. Näistä otettiin edelleen mikroskooppiseen tutkimukseen 33 kasvustoa. Mikroskooppinen tutkimus sisälsi solujen koon, muodon ja ryhmittymisen sekä gram-värjäytyvyyden tutkimisen. Näiden tulosten perusteella tehtiin eräistä kasvustoista (10 kpl) vielä biokemiallisia jatkoselvityksiä seuraavasti:

- Gram-negatiivisista sauvoista testattiin ensin oksidaasientsyymi. Jos oksidaasikoe oli positiivinen, jatkotestaus tehtiin API 20NE-

monielatusaineputkessa. Jos oksidaasikoe oli negatiivinen, jatkotestaus tehtiin API 20E-monielatusaineputkessa.

- Gram-positiivisista kokeista testattiin ensin katalaasientsyymi. Jos se oli positiivinen, jatkotestaus tehtiin API Staph -monielatusaineputkessa.

Kokoomanäytteen avulla selvitettiin mikrobikirjo ja tunnistettiin valtalajit. Tutkimukset tehtiin Jyväskylän kaupungin ympäristöosaston laboratoriossa. Lisäksi selvitettiin leijuvien ja laskeutuvien hiukkasten deposoitumisen aiheuttama luonnollinen pintahygieniaan vaikuttava kuorma ajan funktiona. Tutkimusalustoiksi valittiin lasiset laskeumalevyt, jotka puhdistettiin ja steriloitiin ennen paikoilleen asettamista. Levyt asetettiin kunkin koehuoneen (25 huonetta) ikkunalaudalle ja kaapin päälle sellaisiin paikkoihin, joissa ilmasta tapahtuva deposoituminen oli mahdollista. Tutkimusajaksi valittiin kaksi viikkoa, jona aikana levyjä ei puhdistettu eikä niihin saanut koskea. Kultakin lasilevyltä otettiin yksi ATP- ja Hygicult-näyte.

### 6.3.5 Siivouksen laadun kyselytutkimukset

Siivouksen laatuksely lähetettiin tutkimusrakennusten kaikille työntekijöille helmikuussa ja toukokuussa 2007 sekä helmikuussa 2008. Tutkimukset toteutettiin sähköpostikyselynä Webropol-kyselyohjelmaa käyttäen. Sähköpostiviestissä esiteltiin kysely ja siinä oli www-osoite varsinaiseen ohjelmaan suoraan kirjautumista varten. Vastajilta kysyttiin taustatietojen lisäksi mm. silmämääräistä arviota oman huoneen siivouksen laadusta eri osissa huonetta ja muutoksista verrattuna aiempaan arvioituun laatuun. Kysymykset asetettiin niin, että vastaajat joutuivat konkreettisesti arvioimaan silmämääräisesti huoneensa siivouksen laatua (liite 3). Pyrkimys oli siten saada vastaajat painottamaan enemmän siivouksen teknistä kuin toiminnallista laatua. Kyselyjen aloituspäivämäärät olivat 1.2.2007, 11.5.2007 ja 10.2.2008. Kyselyjä pidettiin avoimena noin kaksi viikkoa ja kustakin kyselystä muistutettiin kerran kyselyn avoimena ollessa. Kyselyn sähköposteja lähetettiin vastaajille eri kerroilla yhteensä 326–365 kpl ja vastausprosentiksi saatiin 25–69 %. Kyselyssä pyydettiin arvioimaan oman työhuoneen siivouksen laatua seuraavista huoneen osa-alueista:

- huoneen lattiapinta
- työpisteen lähellä olevat pinnat (pöytä, ikkunapenkki jne.)
- varusteet (tuolit, puhelimet, lamput, atk-laitteet jne.)
- muut tasopinnat (esim. hyllyt alle 1,80 m)
- yli 1,80 m korkeudella olevat pinnat
- seinät kiinteine varusteineen
- katto kiinteine varusteineen
- huoneen siivouksen laatu yleisarvosanana

Jokaisesta osa-alueesta tuli antaa silmämääräisen tarkastelun pohjalta arvosana seuraavan asteikon mukaisesti:

- 5 = erittäin puhdas, virheetön ja pölytön (kiitettävä taso)
- 4 = puhdas, lähes pölytön, pieniä tahroja saattaa esiintyä (hyvä taso)
- 3 = melko puhdas, lähes pölytön, hiukan roskia ja tahroja saattaa esiintyä (tyytyttävä taso)
- 2 = pinnoilla jonkin verran epäpuhtauksia, pölyä, myös tahroja ja pinttymiä voi esiintyä (välttävä taso)
- 1 = pinnoilla epäpuhtauksia, runsaasti pölyä ja villakoiria, myös tahroja ja pinttymiä esiintyy (heikko taso)

Asteikko laadittiin sellaiseksi, että se vastasi INSTA 800 -standardissa esitettyä visuaalisen arvioinnin asteikkoa. Vastauksissa ei eroteltu koehuoneita ja kontrollihuoneita toisistaan.

### **6.3.6 Poikkeamaseuranta ja työaikakirjanpito**

Laatumallin kohteissa pyydettiin siivoojia kirjaamaan tutkimusaikana ylös kaikki työn toteutukseen liittyneet häiriötekijät (kuten huoneiden käyttö- ja käyttäjämuutokset, kalusteiden vaihdot, lomat jne.), joilla saattaisi olla vaikutusta siivouksen toteutukseen ja laatuun. Lisäksi tammi-helmikuun vaihteessa 2007 siivoojia pyydettiin kirjaamaan muistiin kunkin tilan siivoukseen käyttämänsä aika yhden työviikon aikana. Vaihtelevien ja epätarkkojen kirjausten vuoksi tuloksia ei ole esitetty luvussa 7.

## **6.4 Sisäilman laadun tutkimukset ja tutkimusmenetelmät**

### **6.4.1 Menetelmien valintaperusteet**

Kohdassa 6.3 esitetyillä menetelmillä mitattiin siivouksen näkyvää puhtautta pinnoilla ja pintahygieniaa. Välillisesti siivouksen laatuun voivat vaikuttaa myös ilmassa leijuvat hiukkaset ja erilaiset kaasumaiset yhdisteet. Ne ovat pääasiassa näkymättömiä, joten niiden määrää on ilman mittalaitteita mahdoton arvioida. Monet näistä aineista voivat olla suurina määrinä tilan käyttäjille haitallisia ja jopa vaarallisia ja voivat siten vähintäänkin alentaa viihtyvyyttä, työturvallisuutta ja tehokkuutta sekä vaikuttaa kyselytutkimusten tuloksiin. Sisäilman laatua päädyttiin tutkimaan jäljempänä esitetyillä analysointilaitteilla ja menetelmillä, joilla katsottiin parhaiten päästävän tutkimukselle asetettuihin tavoitteisiin. Lisäksi koehuoneiden tutkimusten yhteydessä tehtiin aistinvaraiset arvioinnit huoneiden mahdollisista kosteus- ja homevaurioista, poikkeavista hajuista ja vetoisuudesta.

Niiden tulokset on esitetty tarvittaessa muiden tulosten yhteydessä, mikäli poikkeavuuksia on havaittu.

#### 6.4.2 Hiukkaspitoisuus

Optisilla hiukkaslaskureilla (kuva 18) voidaan mitata primäärisesti ilman hiukkasten kokojakaumaa ja lukumääräpitoisuutta sekä välillisesti hiukkasten massapitoisuutta. Laskureilla pystytään mittaamaan hiukkaskokoja välillä 0,3 - n. 10  $\mu\text{m}$ , joten ne soveltuvat hyvin siivouksella poistettavien hiukkasten tutkimiseen. Käytävissä olleet tutkimusresurssit eivät mahdollistaneet aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 0,3  $\mu\text{m}$  hiukkasten tutkimista. Tässä tutkimuksessa hiukkasten massapitoisuutta mitattiin optisella hiukkaslaskurilla TSI DustTrak 8520. Laitteen sisäisen pumpun pumppaama ilmanäyte imetään optiseen näytekammioon, jossa lasersäde osuu ilmanäytteen hiukkasiin. Laite mittaa primäärisesti hiukkasten aerodynaamista läpimittaa, joka muunnetaan hiukkasmassapitoisuudeksi olettamalla hiukkaset pallonmuotoiseksi ja hiukkasten tiheydeksi  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ . Laite ilmoittaa hiukkasten pitoisuuden massayksikössä  $\mu\text{g/m}^3$ . Laitteen pumpun imeämä ilmamäärä säädettiin arvoon 2,0 l/min. Laite sijoitettiin tutkimushuoneissa n. 1 metrin korkeudelle siten, että sen analysoima ilma edusti mahdollisimman hyvin tutkittavan huoneen keskimääräistä ilmaa. Laitetta ja sen sisäänjohdettavan näyteilman letkua ei sijoitettu lähelle huoneen käyttäjän hengitysvyöhykettä, koska ihminen itse tuottaa huomattavan osan ilman hiukkasista.

Ilmassa leijuvien hiukkasten kokojakaumien ja lukumääräpitoisuuksien analysoinnissa käytettiin Met One 237AB Particle Detector ja Climet CI 550 laser-optisia (lasersäteen sirontaan perustuvia) hiukkaslaskureita. Laitteilla on mahdollista jaotella ilman hiukkaset kuuteen kokoluokkaan 0,3 ... >5,0  $\mu\text{m}$  välillä. Tässä tutkimuksessa hiukkaset jaettiin pääsääntöisesti neljään aerodynaamiseen kokoluokkaan ja lopuilla kahdella kanavalla mitattiin ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Laitteen pumpun imeämä ilmamäärä oli 2,83 l/min. Hiukkaslaskurit asennettiin noin 1 metrin korkeudelle lattiapinnasta vastaavalla tavalla kuin hiukkasmassapitoisuutta mittaavat laskurit. Tutkimusjaksot molemmilla mittarityypeillä olivat 19.3.-4.4.2007, 22.10.-29.10.2007, 5.11.-12.11.2007 ja 7.3.-18.3.2008. Mittaukset tapahtuivat yhtäjaksoisesti siten, että mittausfrekvenssinä käytettiin 15 minuutin jaksotusta ja mittausdata kerättiin suoraan tietokoneiden muistiin.

#### 6.4.3 Hiilidioksidi, lämpötila, suhteellinen kosteus, ilmamäärät ja paine-erot

Koehuoneiden ilman hiilidioksidipitoisuudet sekä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden tiedot kerättiin TSI QTrak -mittalaitteella ja mittaukset tehtiin yhtäaikaista hiukkasmittausten kanssa. Koehuoneiden tulo- ja poistoilmamäärät ja paine-erot suhteessa ulkoilmaan selvitettiin myös hiukkasmittausten yhteydessä. Lait-

teina käytettiin TSI:n DP-Calc- ja Sweman SwemaFlow 233- ja Swema 3000-mittareita. Koehuoneiden joukosta tutkimushuoneiksi valittiin seuraavat:

- rakennus 1 huone 227
- rakennus 2 huone 218
- rakennus 3 huone 240
- rakennus 4 huone 205
- rakennus 5 huone 211

#### **6.4.4 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet**

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) näytteenotto ja analysointi tehtiin ISO 16017-2 ja ISO 16000-6 standardien mukaisesti. Pumppuna käytettiin Gilian LFS-113DC -pumppua ja näytteet kerättiin Tenax-adsorptioputkeen (Tenax TA 60/80) ja analysoitiin kaasukromatografisesti (HP 5890, II) käyttäen termodesorptiota (ATD 400) ja massaselektiivistä ilmaisinta (HP 5971 A) sekä analysointiohjelmaa (HP G1034 B). Näytteenottovirtaus oli 1 l/min ja näytteenottoaika 15 minuuttia eli näyteilmaa kerättiin 15 l/näyte. Yhdisteet tunnistettiin puhtaiden vertailuaineiden ja/tai Wiley- tai NIST-massaspektritietokannan avulla. Näytteenotto tapahtui aamulla ennen huoneiden käyttöä huoneiden keskeltä noin 1,5 metrin korkeudelta. Näytteenotoilla haluttiin selvittää tutkimushuoneissa mahdollisesti esiintyvät poikkeavat yhdisteet, joilla saattaisi olla vaikutusta tutkimuksen lopputulosten arvioinnissa. Näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksen Helsingin aluetoimiston laboratoriossa.

### **6.5 Pölyn koostumustutkimukset**

#### **6.5.1 Menetelmien valintaperusteet**

Laskeutuneesta pölystä on mahdollista tehdä runsaasti erilaisia biologisia ja kemiallisia analyyseja, mutta tässä analyysit rajattiin kirjallisuustietojen pohjalta ja käytettävissä olevien resurssien ohjaamana oleellisimpiin. Tutkimusten ensisijaisena tarkoituksena oli selvittää, onko koehuoneiden ja tutkimusrakennusten laskeutuneessa pölyssä sellaisia tekijöitä, jotka saattaisivat vaikuttaa sisäilman laatuun ja tätä kautta työntekijöiden terveyteen ja heidän antamiinsa siivouksen laadun kyselytutkimusten vastauksiin.

#### **6.5.2 Kuitunäytteet**

Teollisten mineraalikulitujen esiintymistä tutkimusrakennusten sisäilmassa tutkittiin pintojen laskeumanäytteiden avulla. Näytteet otettiin teippinäytteinä koehuoneiden ikkunapenkeille (taso alle 1,00 m) ja kaappien päälle (taso yli 1,80 m)



asetetuille noin 25 cm x 40 cm suuruisille puhdistetuille ja desinfioiduille lasilevyille kahden viikon aikana laskeutuneesta pölystä. Levyjä ei puhdistettu laskeuma-aikana eikä niihin saanut koskea. Teippeinä käytettiin geeliteippejä, jotka painettiin tutkittavalle pinnalle, telattiin näyte teippiin ja teippi siirrettiin tämän jälkeen kannellisen kuljetusrasian pohjalle näytepuoli ylöspäin. Huoneiden tuloilmakanavasta näytteet otettiin suoraan kanavan pinnasta, jolloin pölyn kertymäaika ei ole tiedossa. Tutkimukset toteutettiin helmi-huhtikuussa 2007 siten, että näytteet otettiin kaikista koehuoneista ja jokaisen rakennuksen yhden koehuoneen tuloilmakanavasta. Marras- ja joulukuussa 2007 tutkimukset kohdistettiin siivoussaneerattuihin huoneisiin, joista näytteet otettiin kaksi kertaa. Näytteistä määritettiin valomikroskooppisesti yli 20 µm kuidut/cm<sup>2</sup>. Näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksen työhygienian ja toksikologian laboratoriossa Kuopiossa.

### 6.5.3 Mikrobinäytteet

Mikrobinäytteitä otettiin koehuoneista pyyhintänäytteinä n. 25 cm x 40 cm suuruisilta lasialustoilta, jotka asennettiin huoneiden ikkunalaudoille ja kaappien päälle. Keräysalustat steriloidtiin ennen asennusta ja niiden annettiin olla paikollaan kaksi viikkoa ennen näytteenottoa. Näytteet otettiin steriiliin laimennosvee-teen kastetulla pumpulipuikolla laskeutuneesta pölystä pyyhkimällä 10 cm x 10 cm suuruiselta alalta ja siirrostettiin suoraan Rose Bengal mallasuute (Hagem)-agarille (sienet), 2 %:n mallasuute (M2)-agarille (sienet), DG18 (Digloran-glyseroli)-agarille (sienet) ja THG (Tryptoni-hiivauute)-agarille (bakteerit ja sädesienet). Laboratoriossa näytteitä inkuboitettiin (kasvatettiin) lämpökaapissa + 25 °C:ssa 7 vuorokautta (sienet) ja 14 vuorokautta (bakteerit). Inkuboinnin jälkeen pesäkkeet laskettiin ja sienet tunnistettiin laji- tai sukutasolle valomikroskoopin avulla. Jonkin verran pyyhintänäytteitä otettiin myös suoraan tutkittavilta pinnoilta, jolloin näytteiden pölyn kertymäaika ei ole täsmällisesti tiedossa ja vertailtavuus näin ollen lasialustanäytteisiin heikko. Näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksen ympäristömikrobiologian laboratoriossa Kuopiossa.

### 6.5.4 Punkkinäytteet

Punkkinäytteet otettiin 13.2.2007 ja tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, esiintyykö punkkeja tutkimusrakennusten toimistotiloissa. Näytteet kerättiin pölynimurin avulla selluloosasuodattimelle. Suodatin asetettiin näytteenottosuulakkeelle metalliverkon päälle. Näytteitä otettiin jokaisen tutkimusrakennuksen yhdestä koehuoneesta kahdesta kohtaa, toinen työntekijän istuimesta ja toinen näyte vaihtoehtoisesti lattialta, hyllytasolta tai ikkunapenkiltä. Näytettä imuroitiin 1-2 minuuttia siten, että näytteenottoala oli n. 1 m<sup>2</sup>. Kohteina olivat seuraavat huoneet:

- rakennus 1 huone 149

- rakennus 2 huone 218
- rakennus 3 huone 115
- rakennus 4 huone 205
- rakennus 5 huone 345

Näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksen ympäristömikrobiologian laboratoriossa Kuopiossa.

## 6.6 Kyselytutkimukset

Koetut sisäilman terveysvaikutukset ja ympäristöolosuhteet selvitettiin Örebro-kyselyllä. Se suunnattiin kaikille tutkimusrakennusten työntekijöille ja tämän lisäksi verrokkina toimineelle laitokselle rakennuksessa X. Tutkimus tehtiin vain kerran tutkimushankkeen alkuvaiheessa ja sen tarkoituksena oli selvittää rakennusten sisäilmaolosuhteet ja työntekijöiden terveystilanne tutkimuksen käynnistyessä. Tällä haluttiin varmistaa, ettei tutkimusrakennuksissa ole tutkimushankkeen luotettavuutta heikentäviä seikkoja, sillä tutkimusrakennuksissa ei ollut aiempien selvitysten ja havaintojen pohjalta tiedossa olevia sisäilmasto-ongelmia. Tutkimuksen tulokset analysoitiin Työterveyslaitoksella Helsingissä.

## 6.7 Terveysvaikutusten selvitykset

Yliopiston työterveyshuolto listasi anonymisti kunkin tutkimusrakennuksen työntekijöiden työterveyshuollossa käyntien syyt vuosilta 2005–2008. Tulkintaa vaikeutti se, että työterveyshuollossa työntekijöitä tarkastellaan toimintayksikkökohtaisesti (yleensä laitostaso) eikä rakennuskohtaisesti. Sisäilmasto-ongelmien selvittämisen kannalta olisi tärkeää, että tilastointi tapahtuisi myös rakennuksittain, jolloin mahdolliset rakennuksiin liittyvät ongelmat tulisivat helpommin esille. Tässä tutkimuksessa laitoksittain saadut terveystiedot voitiin kuitenkin hyvin liittää rakennusten tietoihin.

Tutkimuksessa eivät tulleet esille työntekijöiden mahdolliset 1-3 päivän poissaolot, koska työntekijöiden on ollut mahdollista ilman lääkärintodistusta pitää sairauslomaa mainittu aika omalla ilmoituksella, eikä ilmoituksesta välttämättä ilmene sairauden syy. Tutkimuksessa eivät käyneet ilmi myöskään työntekijöiden mahdollisesti käyttämät muut terveydenhoitopalvelut, kunnallinen terveydenhuolto ja yksityinen sektori.

## 6.8 Työn tehokkuustutkimukset

Työntekijöiden kokemia työtehon muutoksia selvitettiin Örebro-kyselyn yhteydessä ja Webropol-kyselyillä. Varsinaisia työtehokkuustestejä ei sisällytetty tutkimukseen.

## 6.9 Muut tutkimukset

Tutkimuksen kestäessä haluttiin testata konkreettisesti toimistohuoneiden siivottavuuden parantamisen eli siivoussaneerauksen vaikutusta siivouksen toteutukseen sekä siivouksen ja sisäilman laatuun. Tätä varten valittiin 25 koehuoneen joukosta 10 lähes samanlaista huonetta, joissa tehtiin siivoojien toimesta siivoussaneeraus seuraavasti:

- tavarat, kansiöt ja paperit, joita ei tarvittu toistuvasti, laitettiin kaappeihin
- koriste-esineet ja kukat poistettiin ikkunalaudoilta, pöydiltä ja hyllyiltä
- johdot kiinnitettiin niin, etteivät ne olleet lattialla
- kaappien päältä poistettiin kaikki tavarat
- työpöydällä ei säilytetty papereita, vaan pöytä pyrittiin pitämään mahdollisimman vapaana
- toimistohuoneesta poistettiin ylimääräiset kalusteet (nojatuolit ym. tuolit ja ylimääräiset pöydät)
- lattialla ei säilytetty tavaroita

Saneerauksen yhteydessä poistettiin pöly kaikilta tasopinnoilta siten, että myös hyllyt ja kaapinpäälliset tyhjennettiin ja pyyhittiin. Lattiat kosteapyyhittiin perusteellisesti ja verhot imuroitiin. Kahdessa huoneessa vaihdettiin huoneen kalustus kokonaan uuteen. Kalusteiden valinnassa kiinnitettiin erityishuomio kalusteiden helppoon siivottavuuteen. Tämä tutkimusvaihe tehtiin 29.10.-5.11.2007.

## 6.10 Tilastolliset menetelmät

Tutkimuksista saatuja tuloksia testattiin tarvittavilta osin tilastollisesti käyttäen SPSS-ohjelmaa. Tulosten välistä lineaarisen riippuvuuden voimakkuutta testattiin Pearsonin korrelaatiokertoimen ( $r$ ) avulla, mikäli muuttujat olivat normaalijakautuneita, ja Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen ( $r_s$ ) avulla, mikäli jakaumat eivät olleet normaaleja.

Mittaustulosryhmien välisiä eroja tutkittaessa testattiin ensin ryhmien normaalijakautuneisuus. Mikäli ryhmät olivat normaalijakautuneita, voitiin käyttää varianssianalyysiä, ja mikäli ryhmien varianssit poikkesivat toisistaan (Levenen testin tuloksena), käytettiin Welchin varianssikorjattua varianssianalyysiä. Mikäli normaalijakautuneiden ryhmien varianssit olivat samansuuruiset, voitiin monivertailut tehdä Bonferronin ja Tukeyn testeillä, ja muissa tapauksissa käytettiin monivertailuissa Tamhanen T2- ja Dunnettin T3-testejä. Mikäli jokin ryhmistä ei ollut normaalijakautunut, käytettiin Kruskal-Wallisn varianssianalyysiä ja tarvittaessa jatkotestauksessa käytettiin Mann-Whitneyn U-testiä (Bonferronin merkitsevyyskorjauksella).

Kyselytutkimusten tulosten jakautumista luokkiin ja niiden rakennuskoh-  
taisia eroja tutkittiin khiin neliötestillä ( $\chi^2$ -testi).

### **6.11 Yhteenveto tutkimuksista**

Käsillä olevan työn keskeisimmät tutkimukset, niihin liittyneet menetelmät, väli-  
neet ja analyysit on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Tutkimuksissa käytetyt menetelmät, mittarit ja analyysit.

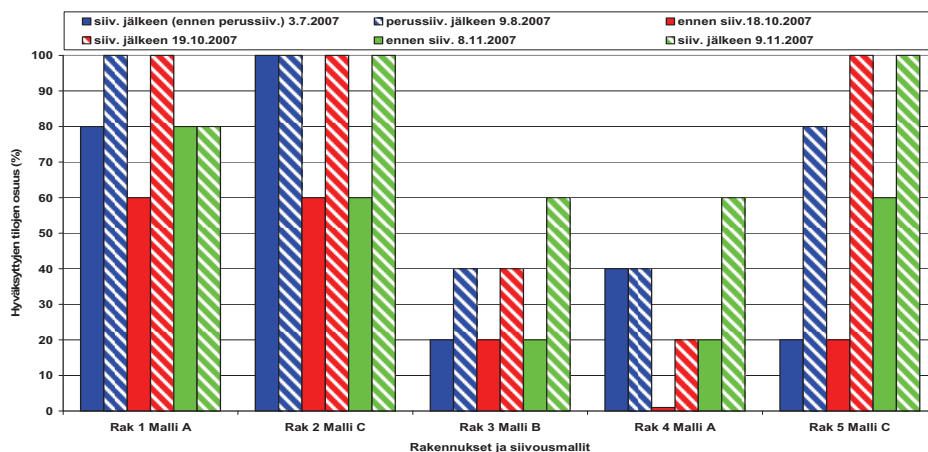
Mittauksen kohde	Menetelmä	Mittari	Tulos	Muut tiedot (standardit, ohjeet ym.)
Pintapuhtaus	Aistinvarainen arviointi	Standardoitu proseduuri ja lomakkeet	Poikkeamien lukumäärä	INSTA 800 -standardi
Pintapöly	Optinen menetelmä	BM Dustdetector -laite + BM-Dustlifter® -geeliteippi	Pinnan pölypeitto (%)	INSTA 800 -standardi, (Sisäilmastoluokitus 2008)
Pinnan orgaaninen lika	Bioluminesenssi	SystemSURE IITM-laite ja UltrasnapTM-testipuikko	Suhteellinen valoyksikkö (RLU)	Net-Foodlab Oy:n ohjeavot
Pinnan mikrobimäärä	Kasvatusmenetelmä	Hygicult TPC-liuskat	Pesäkkeiden lukumäärä (PMY)	Orion Diagnostica Oy:n ohjeavot
Siivouksen koettu laatu	Havainnointi	Webropol-kysely	Mielipide asteikolla 1-5	Asteikkosovellus INSTA 800
Pinnan mikrobipitoisuus ja lajit	Kasvatusmenetelmä	Agarit, 2 viikon laskeumasta	Mikrobien määrä ja lajisto	Työterveyslaitoksen ohje, Asumisterveysohje 2003
Pinnan punkkien määrä	Valomikroskopointi	Pölynimuri + selluloosasuodatin	Punkkien määrä ja lajisto	Työterveyslaitoksen ohje
Ilman ammoniakkipitoisuus	Ionikromatografinen ammoaniakkianalyysi	Andersen-keräin + aktiivihiili (riikkihapolla käsitelty)	Ammoniakkipitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	OSHA:n standardimenetelmä ID-188, Asumisterveysohje 2003
Formaldehydipitoisuus	Nestekromatografinen analyysi	Andersen-keräin + Sep-pak-silikakeräin	Formaldehydipitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Silikakeräin Waters Part No 47205, Asumisterveysohje 2003
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	Termodesorptio ja massaspektrometria	Gilian LFS-113DC -pumppu + Tenax-adsorptioputki (Tenax TA 60/80)	VOC-pitoisuudet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ISO 16017-2 ja ISO 16000-6 standardit, Asumisterveysohje 2003, NIST- ja Wiley-tietokannat
Hiukkaspitoisuus	Jatkuva mittaus	Optinen hiukkaslaskuri, TSI DustTrak 8520	Hiukkasten massapitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Asumisterveysohje 2003
Hiukkaspitoisuus	Jatkuva mittaus	Optinen hiukkaslaskuri, Met One 237AB ja Climet CI 550	Hiukkasten koko (0,3->5,0 $\mu\text{m}$ ) ja lukumääräpitoisuus (kpl/ $\text{dm}^3$ )	Standardin SFS-EN ISO14644-1 mukainen luokitus
Hiilidioksidi	Jatkuva mittaus	TSI Qtrak-mittalaite	Hiilidioksidipitoisuus $\text{CO}_2$ (ppm)	Sisäilmastoluokitus 2008, Asumisterveysohje 2003
Suhteellinen kosteus	Jatkuva mittaus	TSI Qtrak-mittalaite	Suhteellinen kosteus RH (%)	Sisäilmastoluokitus 2008, Asumisterveysohje 2003
Lämpötila	Jatkuva mittaus	TSI Qtrak-mittalaite	Lämpötila T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Sisäilmastoluokitus 2008, Asumisterveysohje 2003
Paine-erot	Jatkuva mittaus	TSI DP-Calc- ja Swema 3000	Paine-erot $\Delta p$ (Pa)	Työterveyslaitoksen ohjeen mukaan
Koettu sisäilmasto	Havainnointi	Örebro-kysely	Sisäilmahaitat ja oireet	Analysointi työterveyslaitoksella
Terveysvaikutukset	Tilastointi	Työterveysshuollon tilastot vuosilta 2005-2008	Sisäilmaan liitettävät oireet ja sairaudet	Vertailuaineisto, työterveysshuollon valtakunnalliset tilastot

## 7 TULOKSET

### 7.1 Siivouksen laatu

#### 7.1.1 Visuaalinen laatu

Koehuoneiden (25 toimistohuonetta) arvioinnit tehtiin 9-12 kertaa tutkimusprojektin aikana. Alkuvaiheen arvioinnit tehtiin siivouksen jälkeen, mutta lokamarraskuussa 2007 ja maaliskuussa 2008 arvioinnit tehtiin ennen siivousta ja sen jälkeen. Kuvassa 20 on esitetty otos (ennen ja jälkeen siivousten) arvioinnin tuloksista ja siinä näkyvät hyväksytyjen tilojen osuudet kaikista koehuoneista



KUVA 20. Kuuden eri aikoina tehdyn visuaalisen arvioinnin perusteella kussakin rakennuksessa puhtaustasoltaan hyväksytyjen (puhtaustason 3 saavuttaneiden tai sen ylittäneiden) koehuoneiden prosenttiosuudet.

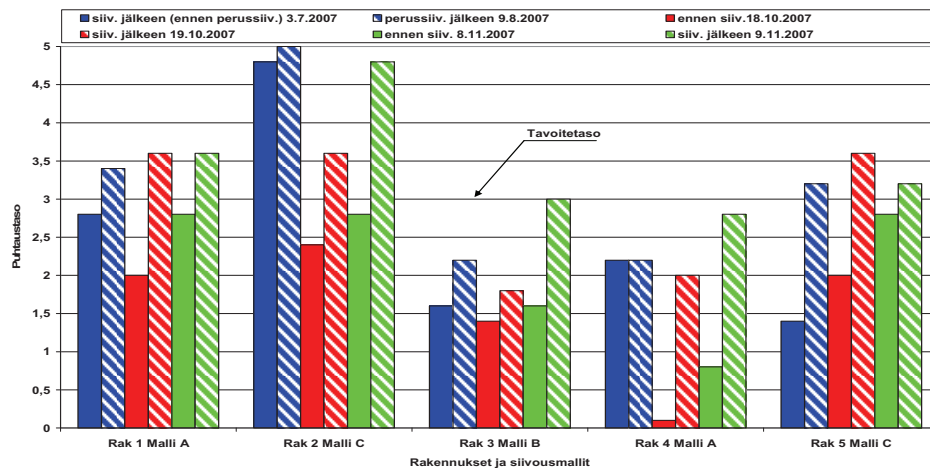
Jokainen kuvan pylväs sisältää yhden rakennuksen kaikkien koehuoneiden puhtaustason 3 saavuttaneiden tai sen ylittäneiden prosentuaalisen osuuden. Kun kussakin rakennuksessa oli viisi koehuonetta ja kussakin huoneessa 14 arvioitavaa osa-aluetta, on arviointeja 70 kpl jokaista kuvan pylvästä kohti.

3.7.2007 tulokset ovat ennen perussiivouksia, mutta (viikko-)siivousten jälkeen ja 9.8.2007 tulokset perussiivousten jälkeen ja (viikko-)siivousten jälkeen (rasteroidut pylväät). Perussiivoukset paransivat siivouksen laatua, mutta ainoastaan rakennuksen 2 kaikki tilat olivat molemmilla arviointikerroilla hyväksytyjä. Rakennuksen 1 kaikki tilat olivat hyväksytyjä perussiivousten jälkeen, mutta rakennusten 3, 4 ja 5 kaikki tilat eivät kummallakaan arviointikerralla.

18.10.2007 ja 8.11.2007 tulokset ovat arvioinneista ennen siivousta ja 19.10.2007 ja 9.11.2007 siivouksen jälkeen (rasteroidut pylväät). Tulosten perusteella siivous paransi laatua, mutta vain rakennuksen 2 kaikki huoneet olivat puhtaustasoiltaan hyväksytyjä siivouksen jälkeen tehdyissä arvioinneissa. Heikoimmat tulokset olivat rakennuksissa 3 ja 4.

Perussiivouksilla parannettiin siivouksen puhtaustasoa lähes kaikissa rakennuksissa. Loka- ja marraskuussa 2007 ennen siivousta tehtyjen arviointien tulokset olivat selkeästi heikompia kuin siivouksen jälkeiset tulokset, mikä vastasi ennako-odotuksia siitä, että siivouksella parannetaan puhtaustasoa ja visuaalisen arvioinnin tulosta. Erityisesti marraskuun tuloksiin on lisäksi vaikuttanut kunkin rakennuksen kahdessa koehuoneessa tehdyt siivoussaneeraukset.

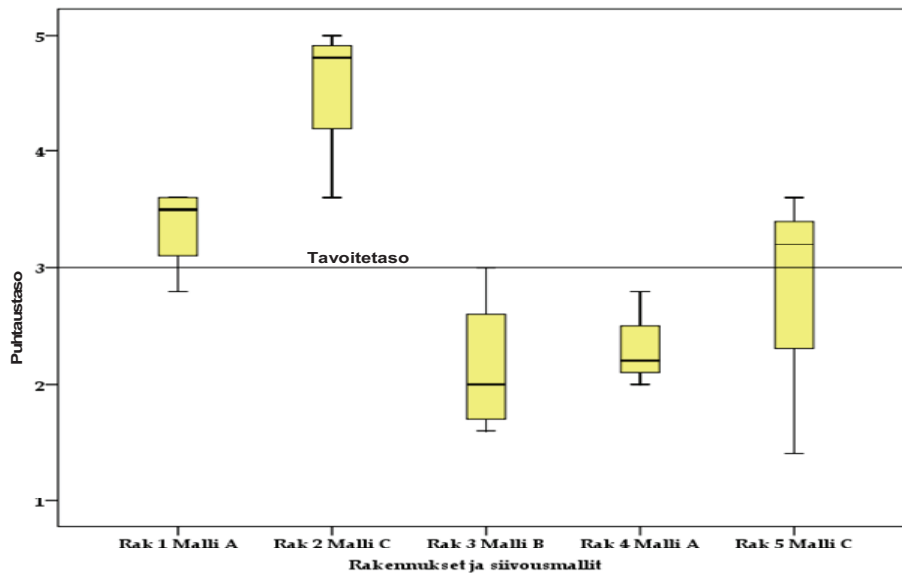
Kuvassa 21 on esitetty koehuoneiden keskimääräiset puhtaustasot eri rakennuksissa. Aineisto on sama kuin kuvassa 20.



KUVA 21. Visuaalisen arvioinnin mukaiset koehuoneiden (5 huonetta/rakennus) keskimääräiset puhtaustasot eri rakennuksissa.

Tulosten mukaan puhtaustasotavoitetta 3 ei saavutettu tai ylitetty missään rakennuksessa ennen siivousta tehdyissä arvioinneissa (18.10. ja 8.11.2007) ja ero tavoitetasoon oli keskimäärin noin yhden luokan suuruinen. Kaikissa siivouksen jälkeen tehdyissä arvioinneissa vähintään tavoitetasolle päästiin vain rakennuksessa 2. Perussiivousten (ja viikkosiivousten) jälkeen vähintään ko. tasolle päästiin rakennuksissa 1, 2 ja 5. Parhain siivouksen puhtaustaso oli rakennuksessa 2 ja heikoimmat tasot rakennuksissa 3 ja 4.

Visuaalisen arvioinnin tuloksista tehtiin vielä kooste, jossa olivat mukana kaikki koehuoneiden tulokset siivouksen jälkeen (kuva 22). Sen mukaan rakennus 2 ylitti tavoitetason, samoin pääsääntöisesti rakennus 1 ja rakennuksen 5 mediaani oli vielä tavoitetason yläpuolella. Sen sijaan rakennusten 3 ja 4 koehuoneet jäivät tavoitetason alapuolelle.

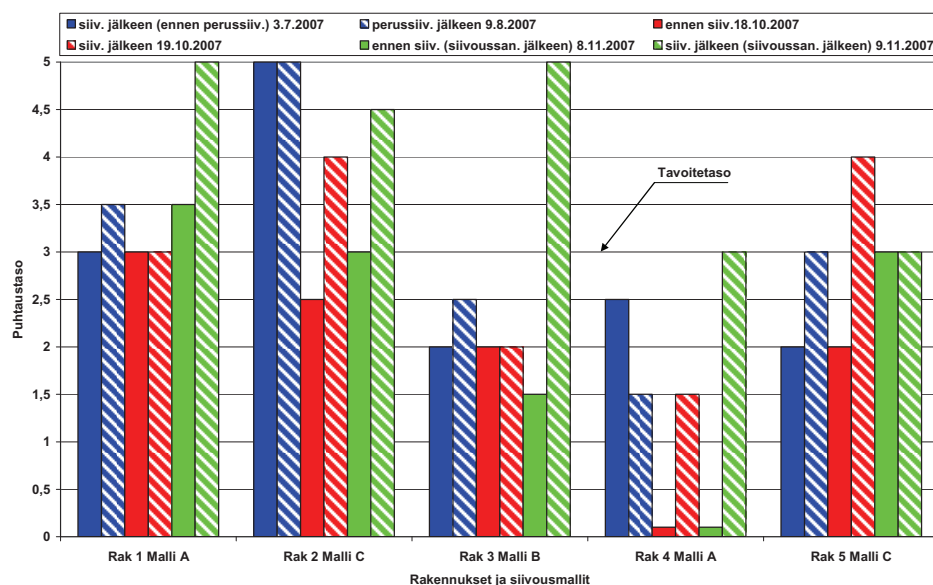


KUVA 22. Visuaalisen arvioinnin mukaiset koehuoneiden puhtaustasojen keskiarvojen raja-arvot, mediaanit ja kvartiilit eri rakennuksissa siivousten jälkeen (4 arviointikertaa, 5 huonetta/rakennus ja 14 arviointikohdetta/huone). (Boxplot-kuvassa laatikon yläpuolella olevan janan poikkiviiva kuvaa aineiston suurinta arvoa ja vastaavasti laatikon alapuolella oleva janan poikkiviiva pienintä arvoa. Laatikon yläkansi on aineiston yläkvartiili eli arvo, jota suurempia arvoja aineistossa on 25 %. Laatikon alakansi on aineiston alakvartiili eli arvo, jota pienempiä arvoja aineistossa on 25 %. Laatikon keskiosassa oleva poikkiviiva on aineiston keskimääräinen arvo eli mediaani. Janan ulkopuolella mahdollisesti olevat arvot poikkeavat havaintoaineistosta).



Tilastollisesti tarkasteltuna varianssianalyysillä ja Bonferronin monivertailutestillä todettiin rakennusten 2 ja 3, 2 ja 4 sekä 2 ja 5 väliset erot tilastollisesti merkitseviksi ( $p = 0,002-0,018$ ).

Siivoussaneerattujen koehuoneiden (2 kpl/rakennus), joiden puhtauden tavoitetasona oli 3, visuaalisen arvioinnin tulokset eri aikoina on esitetty kuvassa 23. Siivoussaneeraus tehtiin 29.10. – 5.11.2007.

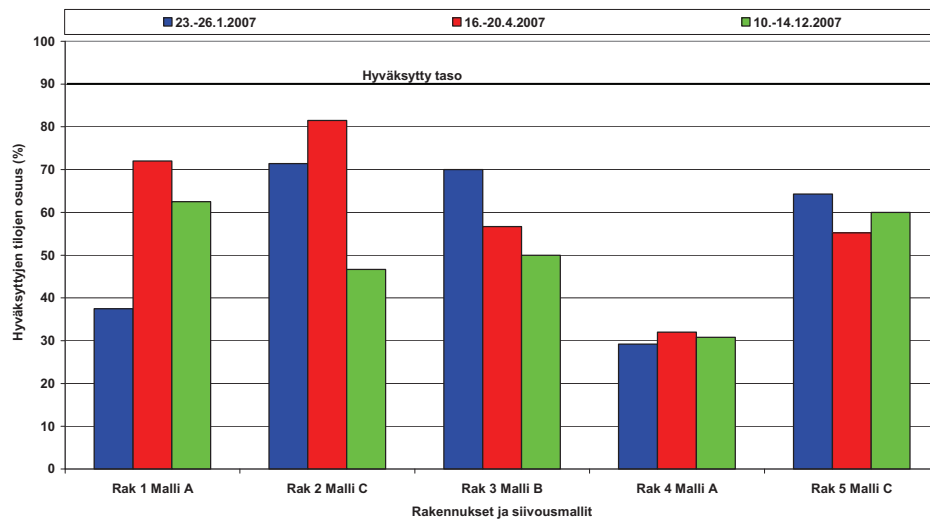


KUVA 23. Visuaalisen arvioinnin mukaiset siivoussaneerattujen koehuoneiden keskimääräiset puhtaustasot eri rakennuksissa.

Tulosten mukaan siivoussaneerauksen vaikutus näkyi 9.11.2007 tehdyissä arvioinneissa, jolloin kaikissa rakennuksissa saavutettiin tai ylitettiin tavoitteeksi asetettu puhtaustaso 3. Rakennusten 1 ja 3 molempien huoneiden puhtaustasoissa saavutettiin paras eli taso 5. Siivoussaneeraus paransi myös ennen siivousta tehtyjen arviointien mukaista puhtaustasoa yli puolessa huoneista.

Jokaisesta rakennuksesta valittiin yksi huone, jota seurattiin vielä keväällä 2008. Tämän tarkoituksena oli tutkia, miten huoneiden siivouksen laatutaso muuttuu kun aktiivista valvontaa ei enää ollut. Siivoojille oli ilmoitettu tutkimus päättyneeksi vuoden 2007 lopussa. Maaliskuussa 2008 siivouksen puhtaustaso ennen siivousta oli huonetta 227 (rakennus 1) lukuun ottamatta varsin matala eikä noussut kaikissa tutkimushuoneissa tavoitetasolle edes siivouksen jälkeen. Myöskään siivoussaneerauksen vaikutus ei enää erottunut tuossa vaiheessa. Pienestä otoskoosta johtuen muutoksen syytä ei kuitenkaan voi varmuudella päätellä.

Kontrollihuoneiden ja samalla tutkimusrakennusten siivouksen visuaalisen laadun kokonaisarviointit tehtiin tammi-, huhti- ja joulukuussa 2007. Arvioinnit tehtiin välittömästi (alle tunti) tilojen siivouksen jälkeen ja kustakin rakennuksesta arvioitiin erityyppisiä tiloja, kuten toimistohuoneita, luentosaleja, käytäviä ja wc-tiloja. Niiden puhtaustasotavoitteet olivat pääasiassa välillä 2-4. Eri arviointikerroilla arvioidut tilat ja tilojen lukumäärät vaihtelivat. Kontrollihuoneet olivat muita kuin koehuoneita ja niiden arviointien tarkoituksena oli saada kokonaiskuva rakennusten siivouksen laadusta ja siitä, panostivatko siivoojat koehuoneiden siivoukseen muita tiloja enemmän, vaikka koehuoneiden sijaintia ei heille ollut kerrottukaan. Tulosten mukaan yhdessäkään rakennuksessa millään arviointikerrolla ei saavutettu tavoitteeksi asetettua 90 %:n hyväksytyjen tilojen osuutta (kuva 24).



KUVA 24. Siivousten jälkeen tehtyjen visuaalisten arviointien perusteella hyväksytyjen kontrollitilojen prosenttiosuudet tutkimusrakennuksissa eri arviointiaikoina.

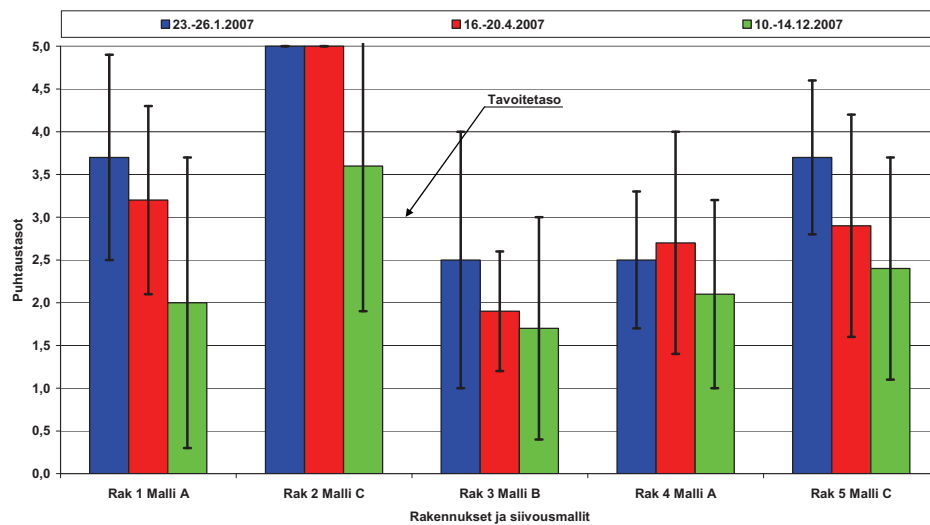
Kuvassa 24 jokainen pylväs kuvaa yhden rakennuksen kaikkien tutkittujen kontrollitilojen hyväksytyyn puhtaustason saavuttaneiden tai sen ylittäneiden prosentuaalista osuutta. Kun kussakin rakennuksessa arvioitiin 7-30 tilaa ja kussakin tilassa 14 eri osa-aluetta, arviointeja on 98-420 kpl jokaista kuvan pylvästä kohti.

Kaikissa rakennuksissa puhtaustasot jäivät alle sopimusten mukaisten puhtaustasojen. Suurimpia syitä alhaisiin tuloksiin olivat muiden muassa ylätasojen pölyisyys ja huonosti tai puutteellisesti tehdyt perussiivoukset. Heikoimmat tulokset sai rakennus 4 (siivousmalli A), jossa vain noin 30 % tiloista oli puh-

taustasoiltaan hyväksyttäviä. Muiden rakennusten ja eri siivousmallien erot olivat suhteellisen vähäiset.

Saadun tuloksen merkitsevyys testattiin tilastollisesti. Tamhanen T2 -testin mukaan rakennusten 4 ja 5 väliset tulokset poikkesivat merkitsevästi ( $p = 0,046$ ) ja myös Dunnettin T3 -testi antoi saman merkitsevyyden ( $p = 0,020$ ). Rakennusten 4 ja 5 puhtaustasoissa oli siten tilastollisesti merkitseviä eroja. Saatua tulos antoi viitteitä myös siivousmallien A ja C välisistä eroista.

Tutkimusrakennusten puhtaustason 3 tilojen otos seulottiin edellä esitettyjen kontrollitilojen visuaalisten arviointien tuloksista (kuva 25). Otokset olivat 2-17 huonetta/rakennus ja ne olivat pääasiassa toimistohuoneita. Tulosten mukaan puhtaustaso 3 saavutettiin tai ylitettiin keskimäärin kaikilla arviointikerroilla ainoastaan rakennuksen 2 huoneissa. Rakennuksen 1 huoneissa raja-arvo saavutettiin tai ylitettiin kahdella arviointikerralla ja rakennuksessa 5 yhdellä kerralla. Rakennusten 3 ja 4 huoneissa puhtaustasoon 3 ei ylletty yhdelläkään arviointikerralla.



KUVA 25. Siivouksen jälkeen tehdyn visuaalisen arvioinnin mukaiset keskimääräiset puhtaustasot ja keskihajonnat ( $\sigma$ ) tutkimusrakennusten kontrollihuoneiden puhtaustason 3 tiloissa.

Tulokset olivat lähellä koehuoneista saatuja siivousten jälkeisiä tuloksia. Rakennuksen 2 alkuvuoden hyviin tuloksiin ovat saattaneet vaikuttaa rakennuksessa vuoden 2006 lopussa valmistuneen peruskorjauksen yhteydessä tehdyt perusteelliset siivoukset.

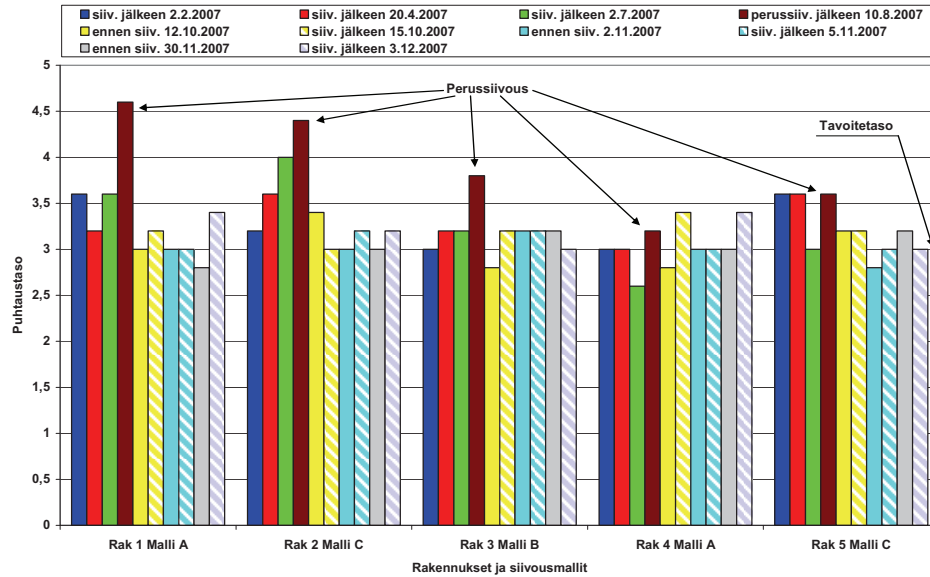
Yhteenvedona voidaan todeta, että rakennuksen 2 siivousmalli C tuotti kokonaisuutena hieman parempaa siivouksen laatua visuaalisesti arvioituna kuin rakennuksen 1 siivousmalli A, lukuun ottamatta siivoussaneerattuja huoneita. Vastaavasti vastinparirakennuksista 4 ja 5 rakennuksen 5 siivousmalli C saavutti hieman paremmat puhtaustasojen arviointitulokset tutkimuksen aloitusvaihetta lukuun ottamatta. Rakennuksen 3 siivousmalli B menestyi arvioinneissa yllättävänkin heikosti, vaikka henkilöstön palaute oli sieltä erittäin positiivista.

Tämän vaiheen tutkimus antoi jonkin verran viitteitä myös siitä, että rakennusten kunnolla saattaa olla vaikutusta siivouksen laatuun, sillä varsinkin rakennusten 4 ja 5 pintamateriaalien kuluneisuus vaikeutti arviointeja. Huomionarvoista tuloksissa oli niiden suuri vaihteluväli. Oleellisia eroja koehuoneiden ja muiden saman puhtaustavoitetasoisten kontrollihuoneiden (toimistotilojen) tuloksissa ei havaittu.

Kokonaisuutena visuaalisen arvioinnin perusteella siivouksen laatu tutkimusrakennuksissa siivouksen jälkeen arvioituna jäi tavoitetasojen alapuolelle. Mikäli tarkastellaan vain rakennusten koehuoneita, niissä rakennukset 1, 2 ja 5 ylsivät keskimäärin aina tavoitetasoon tai ylittivät sen, mutta rakennukset 3 ja 4 jäivät sen alapuolelle. Puhtaustason 3 kontrollitilojen tulokset olivat lähes vastaavanlaiset. Tämä viittaa siihen, että siivouksessa ilmeisesti painotettiin toimistotilojen siivousta muiden tilojen sijasta ja se on voinut tapahtua osin jopa tiedostamatta tai siivouksen toteutus ei vastannut tarvetta.

### 7.1.2 Pintapölymittaukset

Pintapölymittaukset tehtiin jokaisessa koehuoneessa viideltä eri pintakategorialta kolmena mittauksena, joista laskettiin keskiarvo. Kaikkien eri pintakategorioiden kutakin keskiarvoa verrattiin vaadittuun puhtaustasoon 3. Huoneen puhtaustaso määräytyi sen mukaan, mikä oli mittausten keskiarvojen heikoin tulos ja sitä vastaava puhtaustaso. Kuvassa 26 on esitetty kaikkien tutkimusrakennusten koehuoneiden (25 huonetta) puhtaustasojen keskiarvot eri tutkimusaikoina. Kukin pylväs koostuu viiden huoneen puhtaustason keskiarvosta.

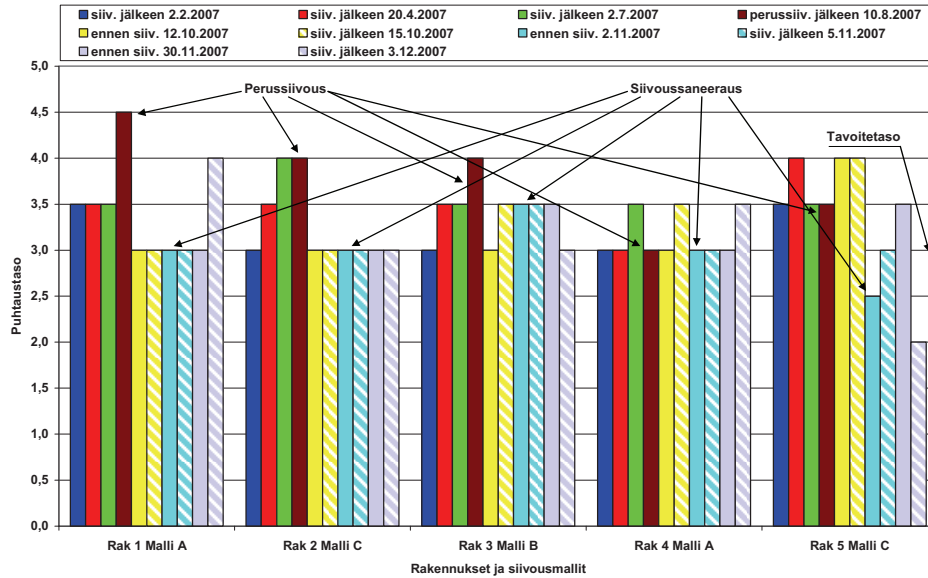


KUVA 26. Pintapölymittausten avulla saadut puhtaustasojen keskiarvot koehuoneissa.

Koehuoneiden puhtaustasovaatimuksena oli luokka 3. Sen mukaan vaadittu taso saavutettiin niissä varsin hyvin. Kaikkien huoneiden kaikkien mittausten puhtaustasojen vaihteluväli oli 2-5 ollen keskimäärin välillä 3-4. Tutkimusrakennusten perussiivoukset tehtiin heinäkuussa 2007 eli mittauspäivän 2.7.2007 tulokset edustivat tilannetta ennen perussiivouksia ja 10.8.2007 perussiivousten jälkeen.

Erytisen merkittävä tulos oli se, että perussiivousten jälkeen puhtaustasot paranivat eli pintapölymäärät vähenivät kaikissa tutkimusrakennuksissa. Nousu oli keskimäärin 0,64 puhtaustasoyksikköä. Vastaavasti puhtaustasoissa tapahtui myös nopeasti (noin 2 kuukaudessa) rakennusta 4 lukuun ottamatta alenema ja se oli 15.10.2007 tehdyssä mittauksessa keskimäärin 0,72 puhtaustasoyksikköä. 12.10., 2.11. ja 30.11.2007 mittaukset tehtiin ennen normaaleja ylläpitosiivouksia ja muut mittaukset siivousten jälkeen.

Pintapölymittauksilla saatiin hieman korkeampia puhtaustasotuloksia kuin visuaalisilla arvioinneilla ja niiden tulosten hajonta oli pienempi kuin visuaalisilla arvioinneilla. Eri siivousmenetelmien välisiä eroja ei pintapölymittauksista johde- tuilla puhtaustasoilla voitu osoittaa olevan.



KUVA 27. Pintapölymittausten avulla saadut puhtaustasojen keskiarvot siivoussaneera-  
tuissa koehuoneissa.

Koehuoneiden (2 huonetta/rakennus) siivoussaneeraus tapahtui lokakuun 2007 lopussa (kuva 27). 2.11.2007 tehty mittausta saneerauksen jälkeen, mutta ennen siivousta. Seuraava mittausta (5.11.2007) oli siivouksen jälkeen ja sen mukaan puhtaustasoissa oli tapahtunut parannusta vain rakennuksen 5 huoneissa. Pintapölymittausten tuloksiin saneerauksella ei siten ole ollut kovin merkittävää vaikutusta.

Siivoussaneerattujen koehuoneiden puhtaustasoja seurattiin vielä vuoden 2008 keväällä maaliskuuhuhtikuun vaihteessa tehdyillä mittauksilla. Mittausten mukaan siivouksen puhtaustasot olivat joko pysyneet samana tai laskeneet hieman.

Perussiivoukset alensivat pintapölypitoisuuksia selkeästi. Taulukkoon 12 on koottu oleellimmat mittaustulokset ennen ja jälkeen perussiivousten. Taulukkoon 12 otettiin mukaan vaikeasti luoksepäästävät pinnat, jotka ovat yleensä yli 1,80 m:n korkeudella olevia taso- ja muita pintoja ja joiden siivous tapahtuu harvoin ja yleensä muiden perussiivoustoimenpiteiden yhteydessä. Toiseksi pinta-kategoriaksi valittiin vapaat lattiapinnat, joiden puhdistus kuuluu normaaliin ylläpitosiivoukseen. Taulukossa ovat mukana rakennusten kaikki koehuoneet (5 kpl/rakennus). Kukin taulukon lukema koostuu yhteensä 15 mittauksen keskiarvosta.

TAULUKKO 12. Koehuoneiden pintapölymittausten keskiarvot vaikeasti luoksepäästäviltä tasopinnoilta ja vapailta lattiapinnoilta ennen ja jälkeen perussiivousten.

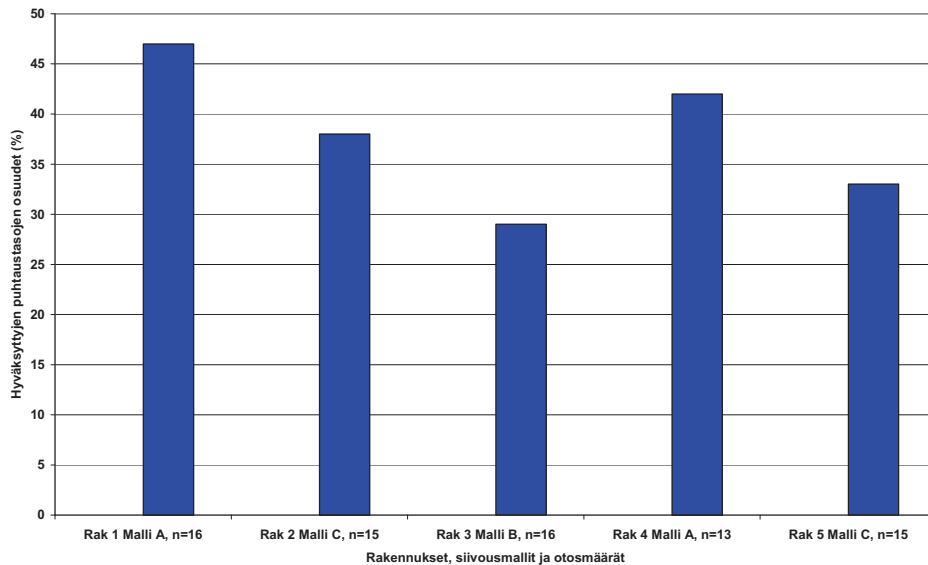
	Pintapölypeitto (%)					Keskiarvo
	Rak 1	Rak 2	Rak 3	Rak 4	Rak 5	
	Malli A	Malli C	Malli B	Malli A	Malli C	
Vaikeasti luoksepäästävät pinnat						
Ennen perussiivousta, siiv. jälk. 3.7.	1,88	1,51	8,63	5,43	4,54	4,40
Perussiivouksen jälkeen 10.8.	1,53	0,41	7,34 <sup>1)</sup>	2,29	2,98	1,80
Ennen ylläpitosiivousta 12.10.	3,02	1,34	7,06 <sup>1)</sup>	3,38	3,54	2,82
Siivouksen jälkeen 15.10.	2,40	1,34	6,80 <sup>1)</sup>	3,62	4,44	2,95
Vapaat lattiapinnat						
Ennen perussiivousta, siiv. jälk. 3.7.	2,32	2,99	2,25	1,64	1,87	2,21
Perussiivouksen jälkeen 10.8.	1,05	1,66	1,49	0,93	0,62	1,15
Ennen ylläpitosiivousta 12.10.	4,02	4,02	2,94	2,08	2,24	3,06
Siivouksen jälkeen 15.10.	4,92	3,50	2,14	1,62	1,20	2,68

<sup>1)</sup> Eivät ole mukana keskiarvoissa

Rakennusten 1 ja 2 yläpintojen pölymäärät olivat jo ennen perussiivousta alhaiset ja perussiivous vielä paransi tilannetta. Erityisesti rakennuksen 2 tulosta voidaan pitää erinomaisena. Rakennuksen 3 perussiivousten yhteydessä ei todennäköisesti ollut puhdistettu yläpintoja lainkaan. Rakennusten 4 ja 5 yläpintojen pölymäärät alentuivat selkeästi perussiivousten yhteydessä, mutta jäivät silti varsin korkeiksi. Tämä viittaa siihen, että siivousmenetelmissä tai toteutuksessa on ollut puutteita. Koska yläpinnat eivät kuulu tavanomaisen ylläpitosiivouksen yhteyteen, pölymäärissä näkyikin selvä lisäys perussiivousten jälkeen. Sen suuruus on tässä tutkimuksessa ollut keskimäärin 1,02 prosenttiyksikköä vähän yli kahden kuukauden aikana eli noin 0,13 prosenttiyksikköä/viikko.

Vapaiden lattiapintojen pölymäärät olivat kaikissa rakennuksissa alhaiset jo ennen perussiivouksia ja niissä saavutettiin perussiivousten avulla keskimäärin taso 1,15 %. Huomionarvoista on, että perussiivousten jälkeen lattioiden pölymäärät olivat runsaassa kahdessa kuukaudessa kasvaneet keskimäärin 1,53 prosenttiyksikköä eli nousseet tasolle 2,68 % (noin 0,19 prosenttiyksikköä/viikko). Tämä viittaa siihen, että siivouksesta huolimatta lattioiden pölymäärät kasvavat nopeammin kuin ylempänä olevien pintojen. Tämä aiheutuu siitä, että lattiatasojen yläpuolella olevan ilmakerroksen paksuus ja siten myös laskeutuvien hiukkasten määrä on suurempi kuin ylempänä olevilla pinnoilla. Myös mm. jaloissa kulkeutuva pöly voi osaltaan selittää pölymäärien kasvua. Tulos viittaa myös huoneiden kokonaispölymäärien lisääntymiseen. Siten ylätasojen pölynpoiston frekvensseihin tulee kiinnittää huomiota ja lattioiden siivouksella on merkittävä asema tilojen kokonaispölymäärien hallinnassa.

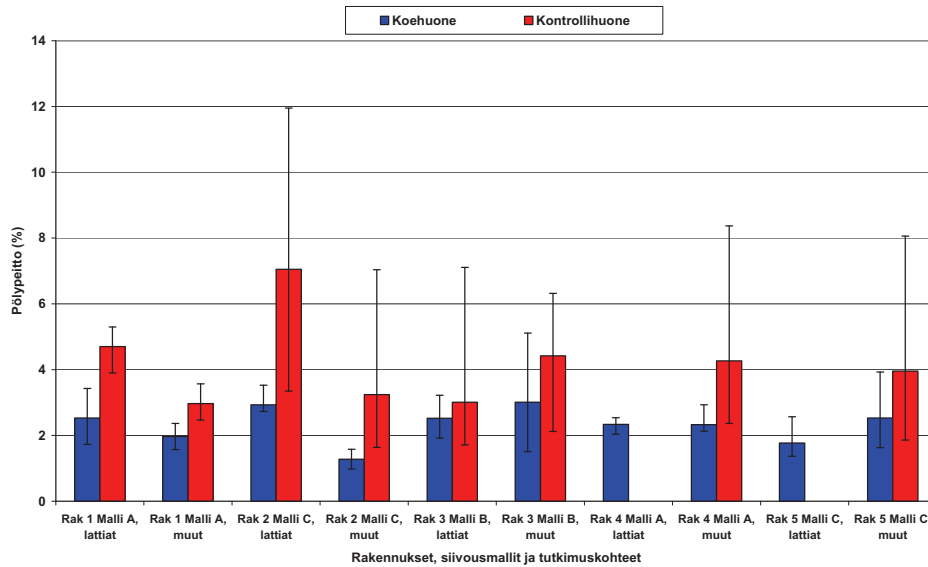
Tutkimuksen loppuvaiheessa tutkittiin pintapölymittausten avulla tutkimusrakennusten puhtaustasot muissa kuin koehuoneissa. Tutkimukseen valittiin kustakin rakennuksesta satunnaisotannalla mukaan yhteensä 13–16 kontrollitilaa/rakennus (samat kuin visuaalisissa arvioinneissa). Tilat edustivat monenlaisia tilatyyppejä ja niiden puhtaustasotavoitteet vaihtelivat välillä 2-4 ollen pääsääntöisesti luokissa 3 ja 4. Tutkimus tapahtui 10.–14.12.2007 ja mittaukset tehtiin siivouksen jälkeen. Kuvassa 28 on esitetty tehdyn mittausvaiheen tulokset ja niiden mukaan hyväksytyt puhtaustaso saavutettiin keskimäärin vain alle 40 %:ssa tutkittuja huoneita. Paras tulos saavutettiin rakennuksessa 1 ja huonoin rakennuksessa 3. Tulos vastasi visuaalisesta arvioinnista saatua yleiskuvaa, mutta hyväksymisprosentit jäivät vielä alemmiksi kuin visuaalisissa arvioinneissa.



KUVA 28. Siivousten jälkeen tehtyjen pintapölymittausten (10.–14.12.2007) avulla saatujen hyväksytyjen puhtaustasojen (puhtaustasotavoitteen saavuttaneiden) prosenttiosuudet tutkimusrakennusten kontrollitiloissa.

Kontrollitilojen pintapölymittausten tuloksia verrattiin koehuoneista saatuihin tuloksiin. Kuvassa 29 on esitetty graafisesti koehuoneiden tulokset lattioilta ja muilta tasopinnoilta ja kontrollihuoneista saadut vastaavien tasopintojen tulokset. Tuloksiin on otettu mukaan ainoastaan puhtaustason 3 tilojen tulokset. Nämä tilat olivat pääasiassa toimistohuoneita. Rakennusten 4 ja 5 kontrollihuoneiden lattia-pinnoilta tehtyjä mittauksia oli niin vähän, että ne on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.



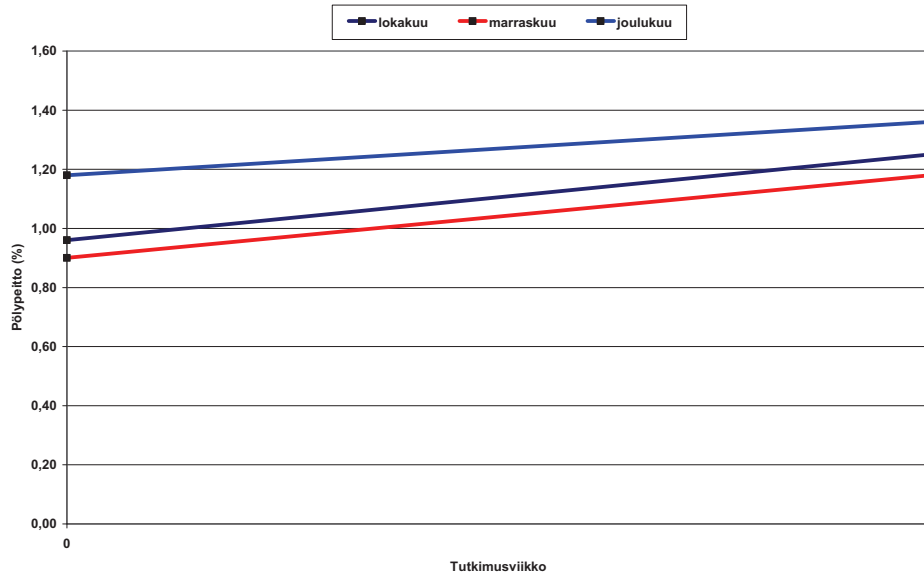


KUVA 29. Siivousten jälkeen lattioilta ja muilta tasopinnoilta tehtyjen pintapölymittausten keskiarvot, minimi ja maksimit koehuoneista tutkimusaikana ja kontrollihuoneista 10.–14.12.2007.

Kontrollihuoneiden pintapölyprosentit olivat jokaisessa rakennuksessa korkeammat (ero oli keskimäärin 80 %) kuin koehuoneiden. Vaikka mittaukset eivät tapahtuneet yhtä aikaa (molemmat vaiheet kuitenkin joulukuussa 2007), tulokset kuvaavat viikoittaisen siivouksen (säännöllisen ylläpitosiivouksen) kohteita ja siten niitä voi verrata keskenään. Tulos viittaa siihen, että koehuoneiden siivous on ollut parempaa kuin muissa tiloissa. Tulos testattiin tilastollisesti riippuvien otosten t-testillä siten, että kaikkien rakennusten koehuoneiden ja kontrollihuoneiden muilta tasopinnoilta saatuja keskimääräisiä tuloksia verrattiin toisiinsa. Testin tuloksena saatiin erittäin merkitsevä ero ( $p = 0,001$ ) koehuoneiden ja kontrollihuoneiden muiden tasopintojen pintapölytulojen välille.

Pintapölymittausten avulla on mahdollista arvioida pinnoille kertyvän pölyn määrää ajan funktiona. Pölyn deponoituminen pinnoille on riippuvainen mm. tarkasteltavan tasopinnan laadusta ja korkeusasemasta, tilan käytöstä, tilan siivottavuudesta, pölyn laadusta ja hiukkasten koosta, ulkoilman pienhiukkaspitoisuudesta sekä rakennuksen ilmanvaihdosta ja sen suodatusasteesta. Käsillä olevassa tutkimuksessa tehtiin runsaasti pintapölymittauksia. Näistä mittauksista valittiin kuvan 30 otokseen loka- joulukuun 2007 aikana kussakin rakennuksessa kaikissa koehuoneissa tehdyistä mittauksista mukaan kolme viikon pituista jaksoa. Näissä jaksossa mittaukset tapahtuivat juuri ennen siivousta ja siivouksen jälkeen. Mittaukseen valittiin mukaan kunkin huoneen pintakategoriasta vain vapaiden ka-

lustepintojen mittaustulokset, koska ne parhaiten kuvastavat pölylaskeumalle herkkiä alueita ja kuuluvat säännöllisen ylläpitosiivouksen piiriin. Kaikkiaan otoksessa oli mukana 450 pintapölymittausta.



KUVA 30. Pintapölymittausten tulokset yhden viikon laskeuma-ajalla koehuoneiden vapailta kalustepinnoilta mitattuna lokakuussa, marraskuussa ja joulukuussa 2007.

Huomionarvoista on, että siivouksen jälkeen pintojen pölypitoisuus ei ollut 0 % yhdessäkään mittauksessa. Joulukuun mittaustulokset voivat viitata siihen, että tasopintojen pölykertymät ovat kasvaneet tai siivouksen laadussa on tapahtunut heikentymistä. Mittausten keskiarvo oli ennen siivousta 1,26 % ja siivouksen jälkeen 1,01 %. Tämän pohjalta voidaan keskimääräiselle viikon aikana toimistohuoneiden vapaille kalustepinnoille deponoituvalla pölyllä määrittää funktio,

$$\text{Pölypitoisuusprosentti} = a + bt, \text{ jossa} \quad (2)$$

$a = 1,01 \%$ ,  $b = 0,25 \%$  ja  $t =$  tarkastelu-aika viikkoa ( $\leq 1$ ). Parametrien  $a$  ja  $b$  arvot riippuvat monesta olosuhdetekijästä, kuten esim. ilman hiukkaspitoisuudesta. Tehtyjen pintapölymittausten mukaan toimistotiloissa parametri  $a$  saa arvoja välillä 0 ... 2,0 % ja  $b$  välillä 0,1 ... 0,5 %. Kaavassa on yksinkertaistaen oletettu pölykertymän tapahtuvan lineaarisesti tarkastelujaksolla. Kaava soveltuu ainoastaan toimistotyyppisten tilojen alle 1,80 m korkeudella sijaitsevien vapaiden tasopintojen (kalustepintojen) pölymäärien karkeaan arviointiin tutkimusrakennuksia vastaa-

vissa olosuhteissa. Koska kaavan pohjana on ollut siivouksen puhtaustaso 3, tulisi kaavaa käyttää ainoastaan vastaavan puhtaustason tilojen siivouksen laadun arviointiin. INSTA 800 -standardin mukaisesti puhtaustason 3 pintapölypitoisuuden maksimiarvo vapailla kalustepinnoilla on 2,5 % (tämän mukaisesti kaava soveltuisi käytettäväksi myös puhtaustason 4 tiloissa). Vaihtelut eri tilojen ja rakennusten välillä voivat olla suuret. Tämän tarkastelun mukaan vähiten pölyä tasopinnoilla oli rakennuksessa 3, jossa ennen siivousta sitä oli keskimäärin 1,04 % ja siivouksen jälkeen 0,77 %. Eniten pölyä puolestaan oli rakennuksen 5 tasopinnoilla, jossa sitä oli ennen siivousta 1,37 % ja siivouksen jälkeen 1,10 %. Kokonaisuutena tämän tarkastelun perusteella saadut pölyprosentit olivat alhaiset, mikä selittynee sillä, että koehuoneisiin oli todennäköisesti kohdennettu enemmän siivousresursseja kuin muihin tiloihin. Toisaalta puhtaustasolle 3 määritellyt pintapölypitoisuuden raja-arvot vaikuttavat varsin korkeilta.

### 7.1.3 Hygieeninen laatu

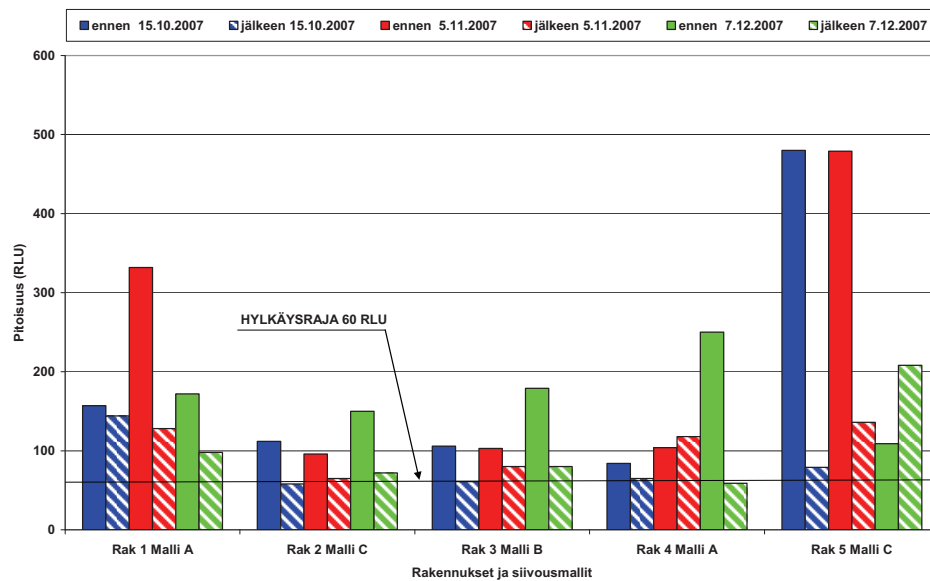
Siivouksen pintahygieenistä laatua mitattiin ATP-mittauksilla ja Hygicult-testeillä kohdan 6.3.4 mukaisesti. Molemmat mittaukset tehtiin samalla tutkimuskerralla kaikista koehuoneista (5 huonetta/rakennus) ja wc-tiloista (2 wc:tä/rakennus). Wc-tilat olivat ainoastaan henkilökunnan käytössä. Tutkimukset kohdistettiin käsikontaminaation kannalta riskialteimpiin kohtiin huonetta ja näytteet pyrittiin ottamaan aina samoista kohdista eri tutkimuskerroilla. Viimeisellä tutkimuskerralla huhtikuussa 2008 mittaukset tehtiin vain yhdestä koehuoneesta ja wc:stä rakennusta kohti. Alkuvuoden 2007 (helmi- ja huhtikuu) mittaukset tehtiin siivouksen jälkeen kuitenkin niin, että siivouksesta oli ehtinyt kulua vaihteleva ajanjakso noin muutamasta tunnista muutama päivään. Heinä- ja elokuun mittaukset tapahtuivat alle 2 tuntia siivouksen jälkeen ja loput mittaukset tehtiin tarkasti ennen siivousta ja sen jälkeen, jolloin siivouksen jälkeen tilan käyttö ei ollut vielä ehtinyt alkaa. Osasta pintahygienianäytteistä tutkittiin niiden mikrobiologinen laatu.

#### 7.1.3.1 ATP-mittaukset

Toimisto- ja saniteettitiloille ei ole olemassa virallisia ATP-mittausten raja-arvoja. Puhdistetuille kaakeli- ja metallipinnoille saniteettitiloissa on annettu seuraavat raja-arvot (Net-Foodlab Oy:n suositus 2010):

- alle 40 RLU hyvä
- 40–60 RLU välttävä
- yli 60 RLU hylätty

ATP-mittaukset osoittautuivat herkäksi ihmisen toiminnan aiheuttaman likaantumisen ilmentäjäksi. Tämä näkyi tutkimuksen alkuvaiheen suurina tulosten vaihteluina mihin vaikutti se, että mittaukset eivät ajoittuneet välittömästi siivouksen jälkeen. Tällöin tilojen käyttö oli jo vaikuttanut tuloksiin, eivätkä ne kuvanneet siivouksen onnistumista. Näitä tuloksia ei ole esitetty käsillä olevassa tutkimuksessa.

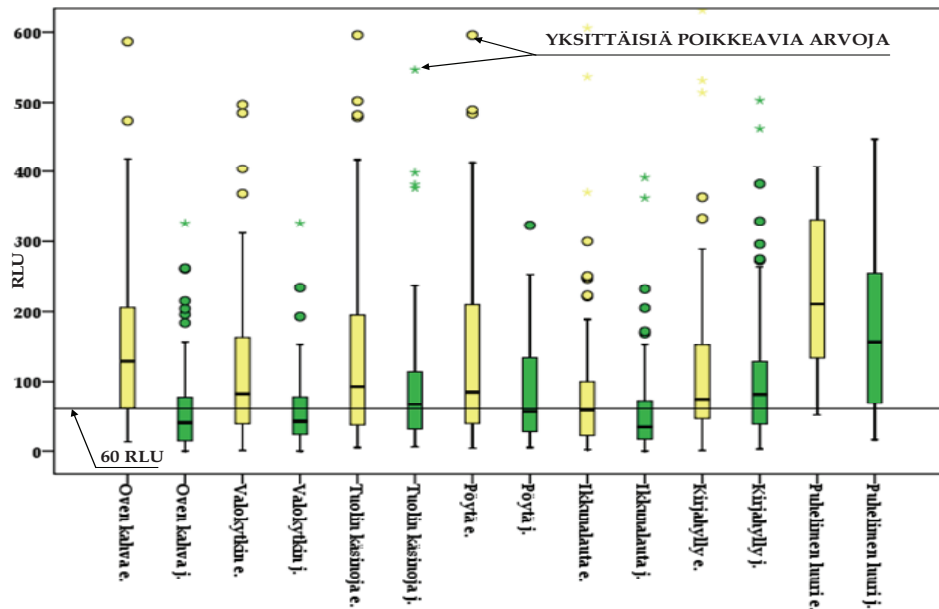


KUVA 31. Koehuoneiden (toimistohuoneiden) ATP-mittausten keskimääräiset arvot (RLU) ennen siivousta ja sen jälkeen.

Kuvassa 31 on koehuoneiden ATP-mittausten tulokset välittömästi ennen siivousta ja sen jälkeen. Yksi kuvan pylväs sisältää viiden toimistohuoneen mittaukset eli yhteensä 35 mittauksen keskimääräisen arvon. Saman päivämäärän ensimmäinen sarja on ennen siivousta (yksivärinen) ja jälkimmäinen siivouksen jälkeen (rasteroitu). Siivous näissä tiloissa tehtiin kerran viikossa.

Tulosten mukaan koehuoneiden pintahygieninen laatu parani siivouksen vaikutuksesta siten, että ennen siivousta kaikkien mittausten keskiarvo oli 194 RLU ja siivouksen jälkeen 97 RLU. Pintojen orgaanisen lian määrä väheni keskimäärin 50 %. Raja-arvon 60 RLU alitti ainoastaan rakennus 2 lokakuun mittauksessa tuloksella 58 RLU ja rakennus 4 joulukuun mittauksessa tuloksella 59 RLU.

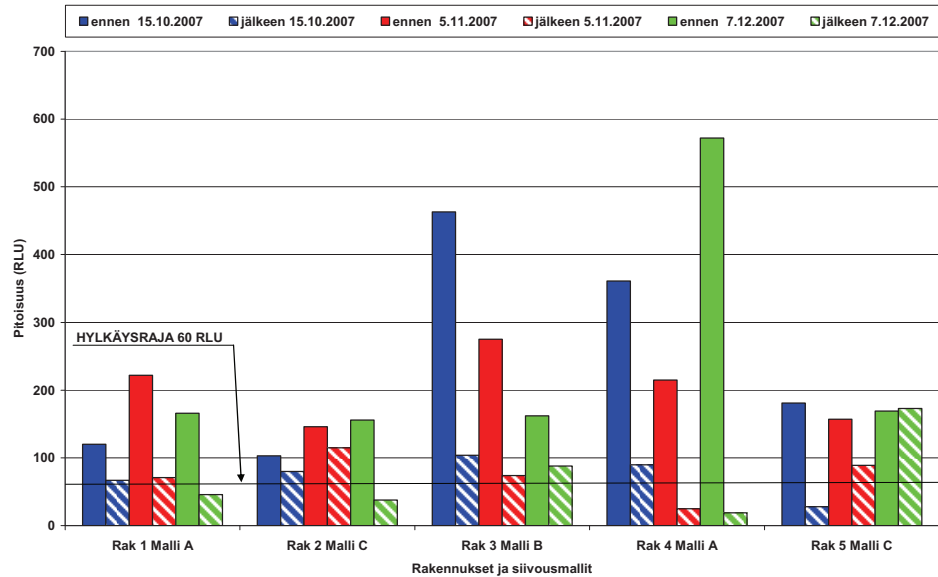
ATP-mittaukset kohdistettiin käsikontaminaation kannalta riskialteimpiin kohtiin koehuoneita. Kuvaa 32 on koottu loka-, marras- ja joulukuun 2007 kaikkien eri tutkimuskohteiden tulokset ennen siivousta ja sen jälkeen tehdyistä mittauksista.



KUVA 32. Koehuoneiden eri kohteiden ATP-mittausten keskiarvojen raja-arvot, mediaanit ja kvartiilit ennen (e.) siivousta ja sen jälkeen (j.).

Puhelimen luuri oli toimistohuoneiden likaisin kohta ja oli sitä vielä siivouksen jälkeenkin. Tähän voi olla syynä se, että luurin puhdistus pienenä detaljina helposti unohtuu. Sitä vastoin oven kahva ja valokytin mielletään helpommin siivousohjelmaan kuuluvaksi ja niiden tulokset olivatkin paremmat.

Kuvassa 33 on tutkimusrakennusten wc-tilojen keskimääräiset tulokset eri tutkimuskerroilla. Wc-tiloja oli 2 kutakin rakennusta kohti, joten jokainen kuvan pylväs koostuu 12 ATP -mittauksesta. Nämä tilat olivat yhteiskäyttöisiä ja siten herkkiä käytön vaihteluille. Tilat siivottiin kerran päivässä.

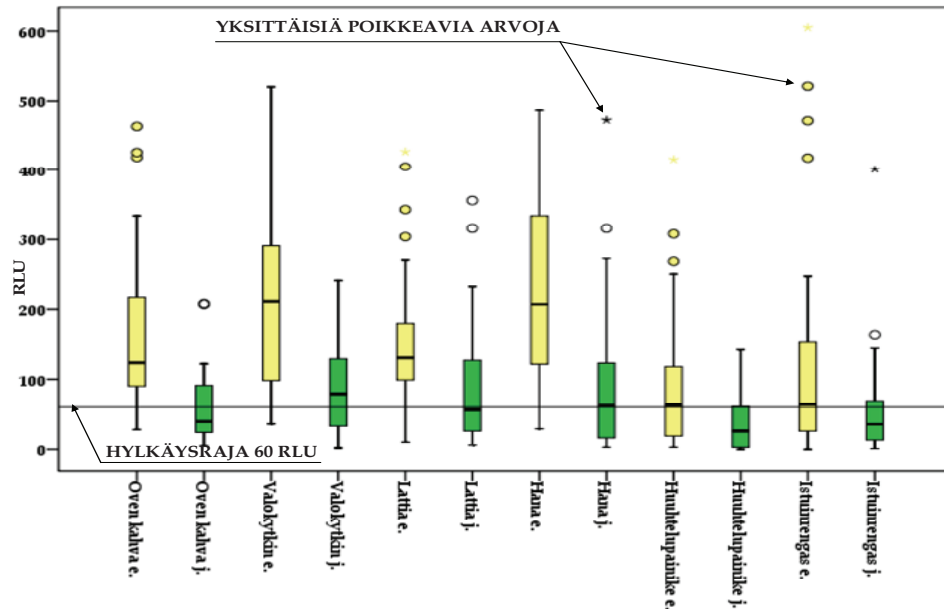


KUVA 33. Wc-tilojen ATP-mittausten keskimääräiset arvot (RLU) ennen siivousta ja sen jälkeen.

Kaikkien wc-tilojen tulosten keskiarvoksi ennen siivousta saatiin 231 RLU, joka oli hieman suurempi kuin toimistotiloissa. Vastaavasti siivouksen jälkeen keskiarvo oli 74 RLU, joka puolestaan oli alempi kuin toimistotiloissa. Siivouksen jälkeen saavutettiin myös merkittävästi pienempiä arvoja kuin toimistotiloissa ja raja-arvo 60 RLU alittui rakennusta 3 lukuun ottamatta ainakin kerran kaikissa muissa rakennuksissa. Rakennuksen 4 poikkeavan korkeat tulokset ennen siivousta joulukuussa 2007 selittynevät tavanomaista runsaammalla käytöllä. Tulokset siivouksen jälkeen olivat sitä vastoin erinomaiset. Rakennuksen 5 siivouksen jälkeinen heikko tulos joulukuussa saattoi johtua siivouksen epäonnistumisesta tai puutteista.

Kokonaisuutena wc-tilojen ATP-mittausten tulokset poikkesivat ennen siivousta huomattavasti toisistaan, mutta siivouksen jälkeen vain vähän. Tähän on todennäköisesti syynä se, että wc-tilojen käytön intensiteetti on ollut erilainen eri rakennuksissa. Wc-tilat olivat vain henkilökunnan käytössä ja ne siivottiin joka päivä. Tulos viittaa siihen, että varsinkin yleisessä käytössä olevien wc-tilojen pinta-hygieniaan on syytä kiinnittää erityistä huomiota.

ATP-mittaukset kohdistettiin myös wc-tiloissa käsikontaminaation kannalta riskialteimpiin kohtiin. Kuvaan 34 on koottu loka-, marras- ja joulukuun 2007 kaikkien eri tutkimuskohteiden tulokset ennen siivousta ja sen jälkeen tehdyistä mittauksista.

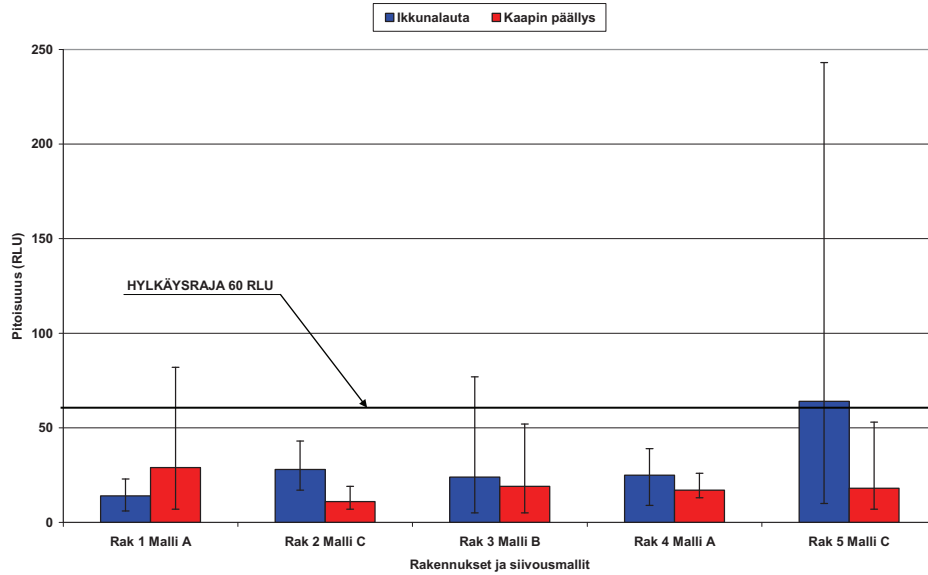


KUVA 34. Wc-tilojen eri kohteiden ATP-mittausten keskiarvojen raja-arvot, mediaanit ja kvartiilit ennen (e.) siivousta ja sen jälkeen (j.).

Wc-tiloissa lavuaarin hana ja valokytkin olivat ennen siivousta likaisimmat kohdat ja myös oven kahvoissa ja lattialla oli huomattavasti orgaanista kuormaa. Siivouksen jälkeen tilanne parani olennaisesti kaikissa näytteenottopisteissä.

Kunkin tutkimusrakennuksen kahdessa toimistohuoneessa toteutettiin lokakuussa 2007 siivoussaneeraukset. Lisäksi rakennuksen 4 huoneessa 205 ja rakennuksen 5 huoneessa 211 vaihdettiin kalusteet helposti siivottaviin. Kokonaisuutena ATP-tulokset olivat kohtuullisen matalia, mutta tilastollisia eroja ennen saneerausta ja saneerauksen jälkeen saatiin tuloksiin ei ollut osoitettavissa.

Kaikissa toimistohuoneiden (koehuoneiden) mittaustuloksissa olivat mukana kaapin päällyys ja ikkunalauta, joita huoneen käyttäjä ei yleensä päivittäin koskettele. Muut huoneiden mitattavat kohteet olivat sellaisia, joihin yleensä tapahtuu aktiivista käsien tai muun ihon kosketusta. Leijuviien ja laskeutuvien hiukkasten deponoitumisen aiheuttama luonnollinen pintahygieniaan vaikuttava kuorma selvitettiin erikseen kahden viikon laskeumasta otetuilla näytteillä (kuva 35).



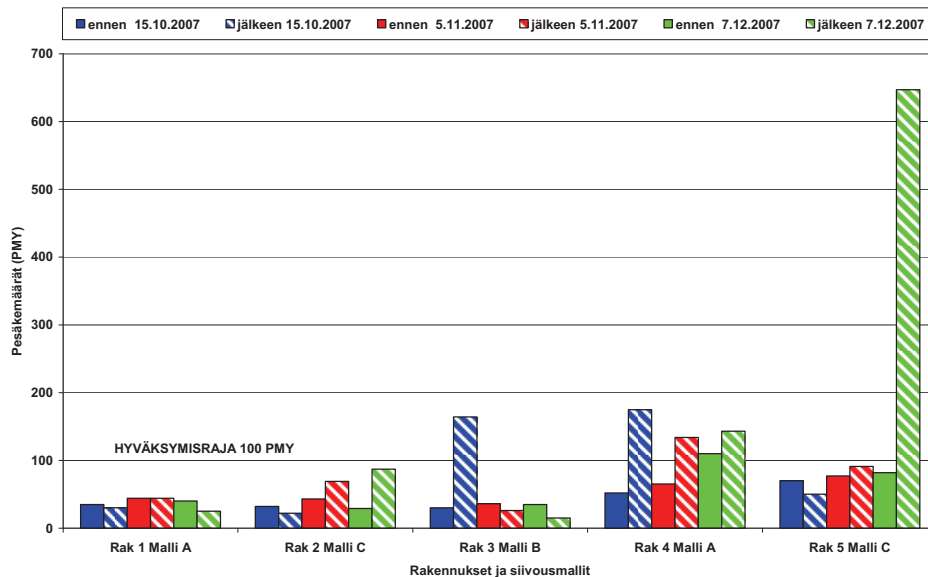
KUVA 35. Koehuoneiden ATP-näytteiden keskimääräiset tulokset sekä minimi- ja maksimiarvot ikkunalaudoille ja kaappien päälle (yli 1,80 m) asetetuilta lasilevyiltä kahden viikon laskeumasta.

Kuvassa 35 kukin pylväs edustaa viiden analyysin (viiden huoneen) keskiarvoa. Tulokset olivat pääsääntöisesti alhaisia, mutta rakennuksen 5 huoneen 227 ikkunalaudalta otetun näytteen analyysiarvo oli poikkeuksellisen korkea, 243 RLU. Huoneen ikkunaa oli tutkijan mukaan pidetty auki ja se selittää myös saman huoneen korkeahkoa ATP-arvoa (52 RLU) hyllyn päältä otetussa näytteessä. Kaikkiaan vain kolme näytettä ylitti raja-arvon 60 RLU yhteensä 50 näytteestä. Kaikkien mittausten keskiarvo oli 20 RLU (ilman huoneen 227 tuloksia). Tulos viittaa siihen, että ilmasta tapahtuva hiukkasten laskeuma vaikuttaa ATP-mittausten tuloksiin ja se tulee huomioida arvioitaessa pintojen hygieenistä laatua. Kun saatu kahden viikon keskimääräinen tulos ekstrapoloidaan lineaarisesti (lineaarista kehitystä ei ole tutkimuksin vahvistettu) ajan funktiona, saavuttaa se raja-arvona käytetyn tuloksen 60 RLU 6 viikon kohdalla. Tämä tarkoittaa sitä, että huoneiden harvoin siivottavien kohteiden (ns. yläpölyt) siivous tulisi tehdä noin 6 viikon välein kun se nykyisin tehdään vähimmillään vain kerran vuodessa. 6 viikon ATP-tulos vastaa varovaisesti (pintapölymittaustulosten pohjalta) arvioiden noin 1,5 – 2,5 %:n pintapölymäärää tasopinnoilla.



### 7.1.3.2 Hygicult-tutkimukset

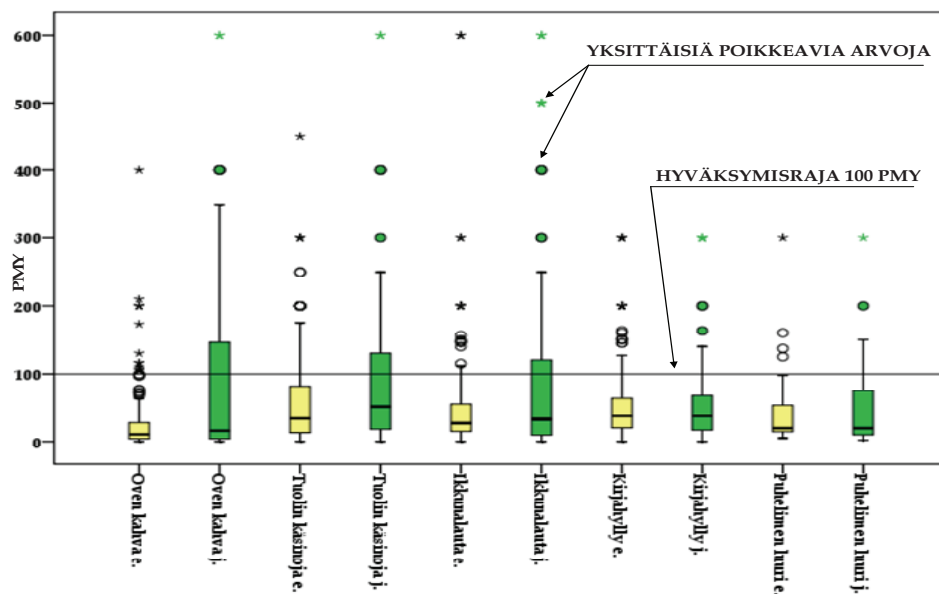
Hygicult-näytteet otettiin samaan aikaan ATP-mittausten kanssa ja näytteenotto-pisteiksi valittiin niitä vastaavat koehuoneiden kohdat. Näytteitä ei kuitenkaan otettu samoista pisteistä. Tutkimusvälineinä käytettiin Hygicult TPC-liuskoja. Näytteiden kasvatusaika oli 5 vuorokautta, jonka jälkeen liuskoilla kasvaneet pesäkkeet laskettiin. Tuloksen mittayksikkönä on pmy (pesäkkeen muodostava yksikkö = cfu) eli pesäkkeiden lukumäärä liuskan pinta-alalla (n. 10 cm<sup>2</sup>). Hygicult-tuloksille ei ole olemassa virallista raja-arvoa, mutta suosituksena on, että mikäli tulos jää pienemmäksi kuin 100 pmy, niin se on katsottava hyväksyttäväksi (Orion Diagnostica Oy:n suositus). Jokaisesta näytteenottokohdasta otettiin kaksi näytettä eli käytettiin molemmat liuskan pinnat.



KUVA 36. Koehuoneista (toimistohuoneista) otettujen Hygicult-näytteiden keskimääräiset tulokset (pmy) ennen siivousta ja sen jälkeen.

Kuvassa 36 on Hygicult-näytteiden tulokset toimistohuoneista ennen siivousta (yksivärinen) ja sen jälkeen (rasteroitu). Toimistohuoneet siivottiin keskimäärin kerran viikossa. Jokainen kuvan pylväs vastaa 50 näytteen keskiarvoa. Kaikkien näytteiden keskiarvo ennen siivousta oli 52 pmy ja siivouksen jälkeen 115 pmy. Tulosten mukaan ennen siivousta loka- ja marraskuussa otetuissa näytteissä pesäkkeiden määrät jäivät kaikissa rakennuksissa alle raja-arvon ja joulukuussakin tulos ylittyi rakennuksen 4 kohdalla vain hiukan. Erityisen merkittävää tuloksissa oli se, että siivouksen jälkeen pesäkemäärät useissa näytteissä olivat suuremmat. Näin tapah-

tui pääsääntöisesti rakennusten 2, 4 ja 5 kohdalla. Rakennuksissa 4 ja 5 pesäkemäärät olivat myös yleensä korkeimmat. Rakennuksen 5 poikkeuksellisen suuret arvot joulukuun näytteissä viittaavat siivouksessa tapahtuneisiin virheisiin. Tutkijan mukaan huoneiden näytteet olivat täynnä pieniä värättömiä pesäkkeitä. Kokonaisuutena saatu tulos viittaa siihen, että siivous ei tapahtunut parhaalla mahdollisella tavalla ja toisaalta tulos viittaa myös ATP- ja Hygicult-tutkimusten näytteenotto- ja analysointitekniisiin eroihin. Matalimmat ja tasaisimmat Hygicult-tulokset olivat rakennuksessa 1.

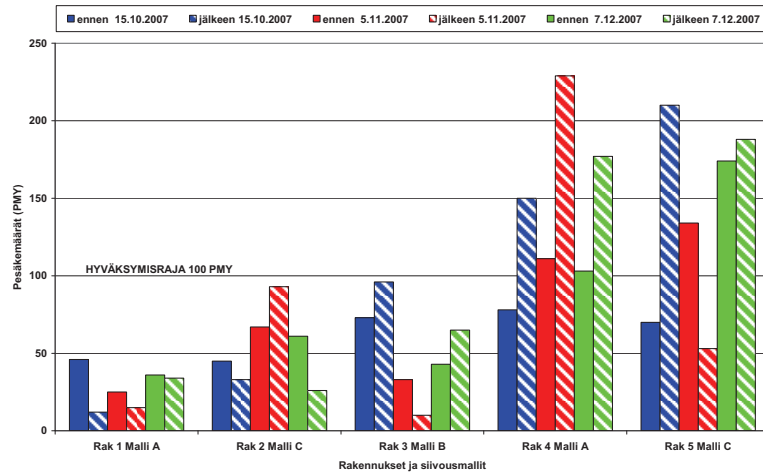


KUVA 37. Koehuoneiden (toimistohuoneiden) eri kohteiden Hygicult-näytteiden keskiarvojen raja-arvot, mediaanit ja kvartiilit ennen (e.) siivousta ja sen jälkeen (j.).

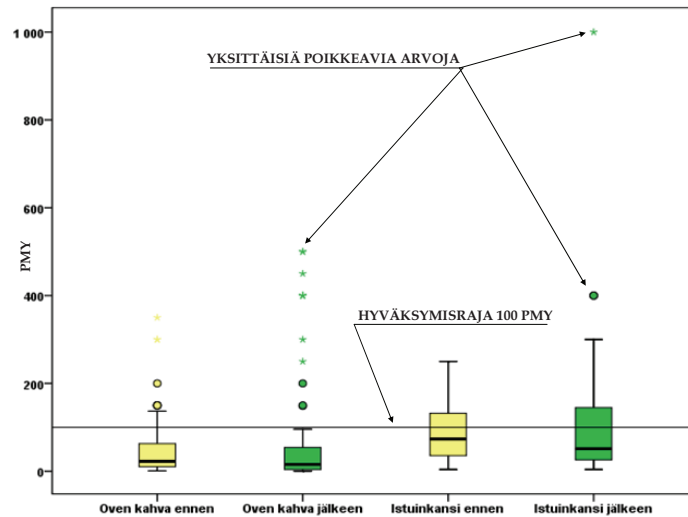
Kuvan 37 mukaan pesäkemäärät kasvoivat siivouksen seurauksena kaikissa mitatuissa kohteissa, mutta erot eri näytteenottokohtien välillä olivat suhteellisen pienet. Huomioarvoista tuloksissa on myös, että eri näytteenotto-kerroilla saatiin yksittäisiä, varsin suuriakin arvoja.

Kuvassa 38 on wc-tilojen Hygicult-tulokset ennen (yksivärinen) ja jälkeen (rasteroitu) siivouksen. Kuvan kussakin pylväässä on 8 näytteen keskiarvotulokset. Ennen siivousta kaikkien näytteiden keskiarvo oli 73 pmy, joka oli heikompi kuin toimistotiloissa ja siivouksen jälkeen 93 pmy, joka puolestaan oli parempi kuin toimistotiloissa. Wc -tilat siivottiin päivittäin. Tulosten mukaan rakennuskohtaiset erot olivat suuret. Parhain mikrobiologinen laatu oli rakennuksen 1 pinnoilla ja siivous paransi sen tuloksia. Heikoin laatu oli rakennuksissa 4 ja 5, joissa siivous vastoin oletuksia pääsääntöisesti heikensi pintojen mikrobiologista laatua.

Kuvassa 39 on kooste wc-tilojen eri kohteista otettujen Hygicult-näytteiden tuloksista ennen siivousta ja sen jälkeen. Kohteita oli vain kaksi eli oven kahva ja wc-istuimen kansi. Istuinkansien bakteerimäärät olivat suuremmat kuin ovien kahvoissa, mutta keskimäärin siivous ei parantanut hygieenistä laatua niissä.



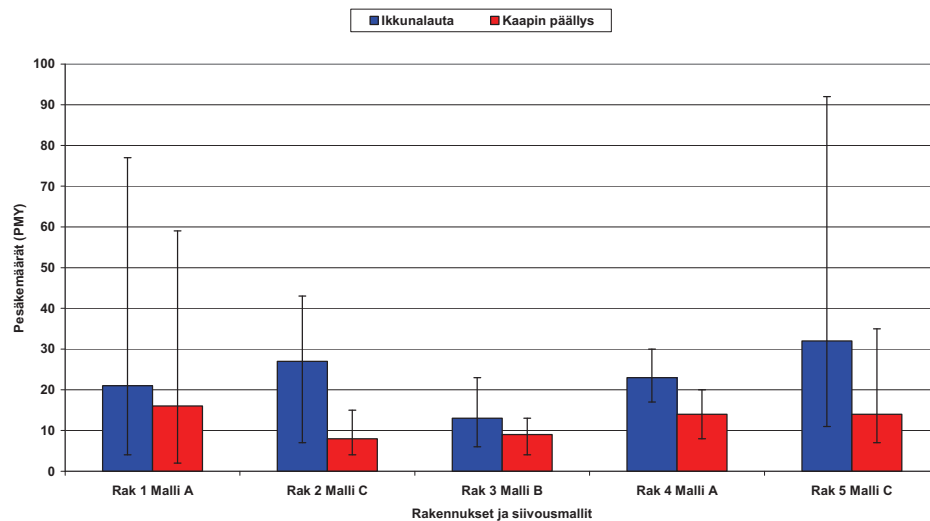
KUVA 38. Wc-tiloista otettujen Hygicult-näytteiden keskimääräiset tulokset (pmy) ennen siivousta ja sen jälkeen.



KUVA 39. Wc-tilojen eri kohteiden Hygicult-näytteiden keskiarvojen raja-arvot, mediaanit ja kvartiilit ennen siivousta ja sen jälkeen loka-, marras- ja joulukuussa 2007.

Huomionarvoista tuloksissa on se, että varsin suuria pesäkemääriä oli etenkin siivouksen jälkeen otetuissa näytteissä. Siivoussaneerattujen huoneiden Hygicult-tuloksissa ei havaittu tilastollisia eroja ennen saneerausta ja saneerauksen jälkeen otetuissa näytteissä.

ATP-mittausten mukaan pintojen orgaaninen kuorma väheni siivouksen seurauksena, mutta ylitti pääsääntöisesti ohjeena olleen raja-arvon. Hygicult-tulosten mukaan pintojen mikrobimäärät kasvoivat siivouksen jälkeen, mutta jäivät ATP-tuloksia useammin raja-arvon alle. Tulos viittaa vahvasti siihen, että siivouksella ei saatu poistettua riittävästi pintojen orgaanista likaa. Mahdollista on, että siivouksella on saatu poistettua vain osa pinnoille muodostuneesta biofilmistä tai siivouksessa käytetyt välineet ja aineet ovat olleet jo valmiiksi mikrobikontaminoituneita tai siivouksen aseptisessä työjärjestyksessä on ollut puutteita.



KUVA 40. Koehuoneiden Hygicult-näytteiden keskimääräiset tulokset sekä minimi- ja maksimiarvot ikkunalautoille ja kaappien päälle asetetuilta lasilevyiltä kahden viikon laskeumasta otetuista näytteistä.

Kuvassa 40 on lokakuussa 2007 lasilevyiltä kahden viikon tutkimusajan jälkeen otettujen Hygicult-näytteiden tulokset. Kukaan kuvan pylväs koostuu 10 näytteen tulosten keskiarvosta. Näytteiden suurin arvo oli 92 pmy, pienin arvo 2 pmy ja kaikkien näytteiden keskiarvo 18 pmy. Näytteistä määriteltiin myös homeiden esiintyminen ja 100 näytteestä ainoastaan kolmessa näytteessä ei esiintynyt homemikrobeja. Ikkunalautoilta otettujen näytteiden mikrobimäärät olivat selkeästi suuremmat kuin kaappien päältä otetuissa näytteissä. Ikkunalautanäytteiden keskiarvo oli 23 pmy ja kaapin päältä otettujen näytteiden 12 pmy. ATP-näytteiden

tulokset olivat samansuuntaiset. Kokonaisuutena rakennuksen 3 tulokset olivat hieman muita rakennuksia paremmat. Tässä rakennuksessa tuloilman suodatus-tasona oli F8 kun se muissa oli F7. Kun saatu kahden viikon keskimääräinen tulos (18 pmy) ekstrapoloidaan lineaarisesti ajan funktiona, saavuttaa se raja-arvon 100 pmy noin 11 viikon kohdalla. Tämä tarkoittaa sitä, että huoneiden harvoin siivot-tavien kohteiden siivous tulisi tehdä noin 11 viikon välein. Tulos oli siten lähes kaksinkertainen ATP-tulosten pohjalta tehtyyn vastaavaan tarkasteluun nähden. Tulos vastaa varovaisesti arvioiden noin 2 - 3 %:n pintapölymäärää tasopinnoilla.

### 7.1.3.3 Pintanäytteiden mikrobit

Osa Hygicult-näytteiden pesäkkeistä tutkittiin tarkemmin kohdan 6.3.4 mukaises-ti. Valtaosa näytteissä kasvaneista bakteereista oli gram-positiivisia, katalaasiposi-tiivisia kokkeja. Osa näistä tyypittyi jo pesäkemorfologian ja mikroskooppisen tutkimuksen perusteella (tetradimainen soluryhmittäytyminen) *Micrococcus*-suvun bakteereiksi. Osalle saatiin API Staph:n (pikatesti) perusteella nimi (*Staphylococcus epidermidis* ja *Staphylococcus warneri*).

Näytteissä todettiin runsaasti myös gram-positiivisia sauvoja, joiden pesä-kemorfologia oli bacillusmainen eli muistutti *Bacillus*-suvun bakteereille tyypillis-tä kasvua. Muutama kasvusto voitiin varmasti todeta havaittujen solun sisäisten itiöiden perustella kuuluvaksikin *Bacillus*-sukuun. Näytteissä oli myös muita gram-positiivisia sauvoja, joiden tarkempi tyypitys ei käytetyillä menetelmillä ollut mahdollista.

Kolmas havaittu bakteeriryhmä oli gram-negatiiviset sauvat. Näistä saatiin nimetyksi *Pseudomonas pickettii*. Jatkotutkimuksiin haluttiin kustannussyistä vält-tää ottamasta morfologialtaan samanlaisia pesäkkeitä.

Gram-positiivisia kokkeja esiintyy tyypillisesti ihmisen ihon normaalifloo-rassa sekä ympäristössä. Tyypillinen ihmisen ihon bakteeri on *Staphylococcus epidermidis*. Pigmenttiä tuottavat (pesäkevärinä keltainen, oranssi, punainen) *Micrococ-cus*-suvun bakteerit ovat tyypillisiä ympäristön mikrobeja. Näytteistä löytyi lisäk-si runsaasti muita tarkemmin määrittelemättömiä gram-positiivisia kokkeja, joiden alkuperä voi olla ihmis- tai ympäristöperäinen. Gram-positiivisten kokkien ryhmä oli näytteissä selvästi eniten edustettuna.

*Bacillus*-suvun bakteerit ovat erittäin yleisiä itiöllisiä maabakteereita. Niitä joutuu maaperästä helposti ilmaan ja sitä kautta laskeumana erilaisille pinnoille.

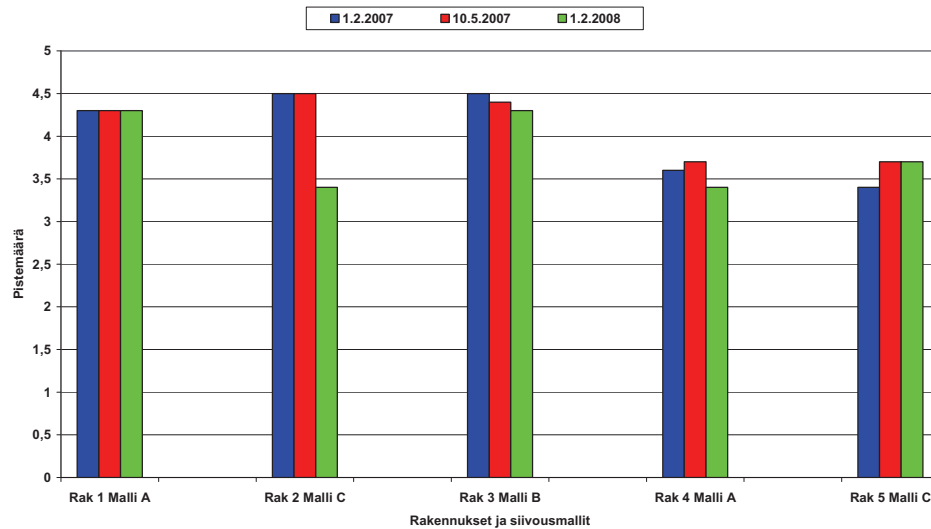
Gram-negatiiviset sauvat muodostavat yleisesti kaikista tunnetuista bak-teereista ehdottomasti suurimman ryhmän. Bakteereita esiintyy luonnossa maa-perässä, vesissä ja kasvien pinnalla sekä ihmisten ja eläinten suolistossa. Näytteis-sä tämä ryhmä oli vähän edustettuna.

API-testillä ei aina saatu bakteerille nimeä. Tämä johtuu pitkälti siitä, että nämä testit on kehitetty tunnistamaan nimenomaan kliinisesti tärkeitä mikrobi-kantoja eikä niinkään ympäristömikrobeja.

Yleiskuvana tuloksista voidaan todeta, että valtaosaltaan näytteissä esiintyneet mikrobit olivat ympäristöperäisiä ja luonnossa tavallisia bakteereita.

#### 7.1.4 Koettu laatu

Siivouksen laatuksely lähetettiin tutkimusrakennusten kaikille työntekijöille helmikuussa ja toukokuussa 2007 sekä helmikuussa 2008. Ensimmäisen kyselyn tarkoituksena oli selvittää rakennusten lähtötilanne tutkimuksen käynnistyessä. Toisessa kyselyssä selvitettiin, ovatko siivouksen toteutustapojen muutokset mahdollisesti vaikuttaneet koettuun siivouksen laatuun. Kolmannessa kyselyssä selvitettiin mahdollisten muutosten pysyvyyttä sekä siivottavuuden parantamisen vaikutusta koettuun laatuun ja työn tehokkuuteen. Viimeisen kyselyn kysymyspatteristo on tämän kirjan liitteenä. Lähes kaikkien vastaajien henkilöhuoneiden (ovat yleensä toimistotiloja) puhtaustasotavoite oli 3. Kuvassa 41 on yhteenveto kaikkien rakennusten kaikkien huoneiden koetun siivouksen laadun yleisarvosanan keskiarvosta.



KUVA 41. Tutkimusrakennusten henkilöhuoneiden koetun siivouksen laadun keskiarvot kolmella tutkimuskerralla. Asteikko: 5 = kiitettävä, 4 = hyvä, 3 = tyydyttävä, 2 = välttävä ja 1 = heikko taso.

Siivouksen laadussa eri rakennusten välillä koettiin olevan selkeitä eroja. Tilastollisesti tarkasteltuna (Kruskal-Wallis testi) rakennusten väliset erot eivät kuitenkaan olleet merkitseviä. Kun tulokset ryhmiteltiin kahteen ryhmään; rakennukset 1-3 ja 4-5, saatiin näiden ryhmien välille (Mann-Whitneyn U-testi) merkitsevä ero

( $p = 0,012$ ). Tulos viittaa siihen, että rakennusten kunto voi vaikuttaa siivouksen koetun laadun arviointien tuloksiin.

Rakennuksen 1 vastaajien määrä oli 19–22 kaikkiaan 35 vastaajan joukosta. Vastaajista kaikki olivat naisia. Tämän rakennuksen siivouksen laatu pysyi samana eri aikoina tehdyissä kyselyissä ja saavutti arvon 4,3. Huoneen eri osa-alueiden arvosanat olivat myös pysyneet melko tasaisina eri aikoina. Heikoimman arvostuksen saivat yli 1,80 m tasopinnat, joissa se oli keskimäärin 3,6 ja varusteet, joissa arvostana oli keskimäärin 3,9. Muissa tasopinnoissa ei kovin suuria eroja ollut ja arvostanat olivat yli 4. Huomionarvoista on, että vastaajien antama yleisarvosana oli poikkeuksetta korkeampi kuin huoneen eri osa-alueiden keskiarvo, mikä viittaa siihen, että yleisarvosanaa (yleistä tyytyväisyyttä) arvioitaessa painotetaan enemmän toiminnallista kuin teknistä laatua.

Toisella kyselykerralla kysyttiin, miten huoneen siivouksen laatu on muuttanut helmikuun alun tilanteeseen verrattuna. 19 vastaajan joukosta kaksi vastaajaa arvioi, että siivouksen puhtaustaso on parantunut hiukan ja loppujen mielestä taso oli pysynyt samana.

Kolmannellakin kyselykerralla kysyttiin tätä samaa asiaa ja pyydettiin vertaamaan tilannetta vuoden takaiseen. Vastauksissa 17 arvioi laadun pysyneen samana 1 parantuneen hiukan ja 1 parantuneen selvästi.

Rakennuksen 2 kyselyyn saatiin vastauksia 20–21 yhteensä 40 vastaajan joukosta. Naisten osuus vastaajista oli 79 %. Rakennuksen lähtötilanne oli poikkeuksellisen hyvä, kun siivous voitiin aloittaa siellä peruskorjausten ja perusteellisten siivousten jälkeen. Alkutilanne olikin odotuksia vastaava ja huoneiden siivouksen koettu laatu peräti tasolla 4,5. Vielä toisella kyselykerralla yleistaso oli sama. Kolmannen kyselyn tuloksissa todettiin selvä alenema ja huoneiden puhtaustaso oli pudonnut arvoon 3,4.

Siivouksen muutosta kartoittavaan kysymykseen saatiin toisella kyselykerralla vastaukset, joissa 18 vastaajaa arvioi laadun pysyneen samana helmikuun alun ja toukokuun välillä, 2 arvioi laadun hieman nousseen ja 1 hiukan laskeneen.

Kolmannella kyselykerralla 9 vastaajaa arvioi laadun pysyneen ennallaan, 6 heikentyneen hiukan ja 3 heikentyneen selvästi. Kahdella ensimmäisellä kerralla huoneen eri pintakategorioissa ei näytä olleen juurikaan eroja. Tämä voikin selittyä sillä, että lähtötilanteessa rakennus oli erittäin siisti ja puhdas. Kolmannella kyselykerralla huonoimmat arvostanat tulivat kaikista tasopinnoista, jotka olivat alle 1,80 m.

Naiset arvioivat siivouksen laatua kriittisemmin ja kokonaisarviossa heidän arvionsa olivat noin 0,5 yksikköä alemmat kuin miesten vastaavat. Tämän rakennuksen siivouksen laadussa koetulle alenemalle oli luonnollisena selityksenä se, että tutkimusaikana rakennuksen siivouksen toteutuksessa tapahtui muutoksia (siivoojan lomituksia) ja ilmeni myös selviä puutteita.

Rakennuksen 3 kyselyyn saatiin vastauksia eri aikoina 60–69 kaikkiaan 100 vastaajan joukosta. Vastaajista noin 56 % oli naisia. Huoneiden siivouksen yleinen

laatu koettiin tässä rakennuksessa erittäin hyväksi keskimääräisen arvon ollessa tutkimuksen alussa 4,5. Yleisarvosana aleni jonkin verran tutkimuksen aikana, mutta oli kuitenkin tutkimuksen päättyessä yhdessä rakennuksen 1 kanssa parhaalla tasolla.

Toisella kyselykerralla siivouksen laatutaso oli 56 mielestä pysynyt ennallaan ja 6 oli sitä mieltä, että taso oli parantunut hiukan. Kuitenkin yleisarvion mukaan alenemaa oli tapahtunut arvosta 4,5 arvoon 4,4.

Kolmannella kerralla 42 arvioi laadun pysyneen samana, 12 parantuneen hiukan ja 1 arvioi laadun parantuneen selvästi. Kokonaislaatu laski silti arvoon 4,3. Muutokset olivat kokonaisuutena pieniä. Huoneen pintakategorioissa tulivat jälleen esille tasopinnat yli 1,80 m, joiden keskimääräiseksi laaduksi arvioitiin 3,8. Muissa pinnoissa ei oleellisia eroja ilmennyt. Naiset arvioivat tässäkin rakennuksessa siivouksen laatua miehiä kriittisemmin. Ero oli noin 0,4 yksikköä.

Rakennuksen 4 vastaajamäärä vaihteli välillä 26–55 yhteensä 102–121 vastaajan joukosta. Naisten osuus oli keskimäärin noin 61 %. Rakennuksen tulokset olivat varsin samantyyppiset rakennuksen 5 kanssa. Huoneiden yleinen siivouksen laatu arvioitiin lähtötilanteessa tasolle 3,6, josta se nousi toisella kerralla tasolle 3,7 ja laski kolmannella kerralla tasolle 3,4.

Alkuvaiheen jälkeen laadun arvioitiin pysyneen samana 16 vastaajan mukaan, parantuneen hiukan 7 vastaajan mielestä ja parantuneen selvästi 2 vastaajan mukaan.

Kolmannella kyselykerralla kysyttiin muutosta alkutilanteen jälkeisen vuoden aikana. Tällöin 22 vastaajaa arvioi laadun pysyneen samana, 10 parantuneen hiukan ja 5 mielestä heikentyneen hiukan. Huoneiden eri osa-alueita arvioitaessa kahdessa ensimmäisessä kyselyssä yli 1,80 m tasopinnat arvioitiin heikoimmiksi. Kolmannella kyselykerralla yllättäen muut tasopinnat, jotka ovat alempana kuin 1,80 m, arvioitiin puhtaustasoltaan heikoimmiksi. Naiset olivat tässäkin rakennuksessa hieman miehiä kriittisempiä. Ero oli kuitenkin vain 0,2 yksikköä.

Rakennuksessa 5 saatiin vastauksia 30–38 yhteensä 59 vastaajan joukosta. Vastaajista noin 70 % oli naisia. Rakennus sai lähtötilanteessa heikoimman yleisarvosanan 3,4.

Toisella kyselykerralla siivouksen laatutaso oli 3,7 eli oli noussut hieman. Kysyttäessä tapahtunutta muutosta, vastaajista 23 arvioi, että laatutaso on pysynyt samana, 9 mielestä se oli parantunut hiukan ja 3 arvioi, että laatutaso oli parantunut selvästi.

Kolmannella kerralla, jolloin verrattiin tilannetta vuoden takaiseen, 19 vastaajaa ilmoitti, että laatu oli pysynyt samana, 5 mielestä laatu oli parantunut hiukan ja 3 mielestä selvästi. Kolmannella kerralla yleinen siivouksen laatutaso oli edelleen 3,7. Huoneen eri osa-alueita tutkittaessa yli 1,80 m korkeudella olevat tasopinnat arvioitiin puhtaustasoltaan selvästi muita heikoimmiksi ja olivat keskimäärin noin 3. Muissa pintakategorioissa ei suuria eroja ilmennyt. Naiset suh-



tautuivat tässäkin rakennuksessa miehiä kriittisemmin siivouksen laatuun eron ollessa keskimäärin noin 0,5 yksikköä.

Kolmannella kyselykerralla annettiin vastaajille mahdollisuus vapaasti kommentoida siivoukseen liittyviä asioita. Kaikki vastaukset on oheistettu tämän kirjan liitteeksi. Yhteenvetona ja yleistyksinä vastauksista voidaan todeta, että *siivoojaa ja siivoustyötä arvostettiin ja pidettiin tärkeänä. Samalla kuitenkin moitittiin siivoukselle varatun ajan niukkuutta. Yleisesti siivouksen laatua kritisoitiin, mutta syiksi nähtiin edellä mainittu siivousajan niukkuus ja oman huoneen heikko siivottavuus.* Kyselyssä tulivat myös esille *rakennusten kuntoon liittyvät erot.*

Kyselytutkimusten mukaan parhaimmat koetun laadun arvosanat saivat rakennukset 1 ja 3. Rakennuksen 2 siivouksen laatu oli romahtanut vuoden 2008 kyselyssä, mikä selittää kokonaisarviossa sen jäämisen sijalle 3. Rakennusten 4 ja 5 keskiarvot olivat selkeästi heikoimmat ja samantasoiset.

### 7.1.5 Siivouksen laatututkimusten yhteenvedo

Siivouksen laatututkimusten tuloksien perusteella tehtiin teknisen ja toiminnallisen laadun vertailu eri rakennusten ja siivousmenetelmien välillä.

TAULUKKO 13. Siivouksen teknisen laadun vertailuluvut ja koettu laatu tutkimusrakennuksissa.

Arviointikohde	Rak 1 Malli A	Rak 2 Malli C	Rak 3 Malli B	Rak 4 Malli A	Rak 5 Malli C
Tekninen laatu					
- visuaalinen laatu	4,67	4,78	3,56	3,11	4,22
- pintapölymittaukset	4,82	4,82	4,27	4,27	4,55
- ATP	3,42	4,25	3,33	3,92	3,25
- Hygicult	4,33	3,92	4,08	2,17	2,08
Keskiarvo	4,31	4,44	3,81	3,37	3,53
Koettu laatu	4,30	4,13	4,40	3,57	3,60

Taulukkoon 13 on koottu tässä kirjassa esitettyjen (kuvat 20, 24, 26, 28, 31, 33, 36 ja 38) laatututkimusten tuloksista normeerattu vertailuluku kullekin laadun osa-alueelle ja rakennukselle. Vertailuluku on saatu siten, että kunkin tutkimussarjan parhaalle rakennukselle on annettu arvo 5 ja huonoimmalle arvo 1. Mikäli tulosten ero ei ole ollut vähintään 10 %, on vertailupareille annettu sama vertailuarvo ja jos samaan tulokseen on päästy useammassa rakennuksessa, kaikille on annettu sama arvo. Taulukon vertailuluku (keskiarvo) on saatu laskemalla kunkin tutkimussarjan (kunkin laadun osa-alueen) arvot rakennuksittain yhteen ja jakamalla havaintojen lukumäärällä. Koetun laadun keskiarvo on saatu suoraan tulosten perusteella.

Taulukon mukaan selkeästi parhaimpiin siivouksen tekniseen laatuun päästiin rakennuksissa 1 ja 2. Heikointa laatu oli puolestaan rakennuksessa 4. Eri-

tyisen merkittävä tulos oli rakennuksen 3 osalta. Se jäi teknisen laadun osalta kolmanneksi, mutta koetun laadun mukaan oli paras. Heikot Hygicult-tulokset alensivat rakennusten 4 ja 5 kokonaistulosta. Tilastollisesti tarkasteltuna (Welchin varianssikorjattu analyysi) erot eri siivousmallien välillä eivät kuitenkaan olleet merkitseviä. Laadun osa-alueiden paremmuusjärjestys vaihteli laadun mittaamistai arviointitavan mukaan. Tulos viittaa vahvasti siihen, että siivouksen kokonaislaadun luotettavassa määrittämisessä joudutaan käyttämään monia menetelmiä yhdessä.

## 7.2 Pölyn koostumus

### 7.2.1 Kuidut

Teollisten mineraalikuitujen esiintymistä tutkimusrakennusten koehuoneiden (5 toimistohuonetta/rakennus) sisäilmassa ja pinnoilla tutkittiin laskeumanäytteiden avulla. Tutkimuksista saatiin seuraavat tulokset:

Rakennuksesta 1 näytteitä otettiin yhteensä 19 kpl. Kaikkien ikkunalaudoilta ja hyllyjen päältä otettujen näytteiden (18 kpl) kuitupitoisuudet jäivät alle määritysrajan eli olivat  $< 0.1$  kuitua/cm<sup>2</sup>. Huoneen 227 tuloilmakanavasta otetussa näytteessä oli kuituja sen sijaan runsaasti eli  $> 100$  kuitua/cm<sup>2</sup>. Tulos viittasi tuloilmajärjestelmässä olevaan kuitulähteeseen.

Rakennuksesta 2 näytteitä otettiin yhteensä 19 kpl. 14 näytettä näistä jäi alle määritysrajan. Huoneen 218 tuloilmakanavasta otetussa näytteessä kuitupitoisuus oli  $6,4$  kuitua/cm<sup>2</sup>, mikä saattaa selittää sen, että kolmessa huoneessa tavattiin määritysrajan ylittäviä arvoja  $0,3-0,5$  kuitua/cm<sup>2</sup>.

Rakennuksesta 3 näytteitä otettiin yhteensä 19 kpl. Ainoastaan huoneen 240 tuloilmakanavasta otetun näytteen kuitupitoisuus ylitti määritysrajan ja oli  $0,4$  kuitua/cm<sup>2</sup>. Tämän rakennuksen osalta kuituongelmaa ei tullut esille.

Rakennuksesta 4 näytteitä otettiin myös tästä rakennuksesta yhteensä 19 kpl. Määritysrajan alittavia arvoja saatiin yhteensä 16 kpl ja kolmessa näytteessä tulos oli  $0.1$  kuitua/cm<sup>2</sup>. Kun tuloilmakanavastakin otetussa näytteessä tulos jäi alle määritysrajan, niin kuituongelmaa rakennuksessa ei tullut esille.

Rakennuksesta 5 näytteitä otettiin yhteensä 29 kpl. 20 näytteistä oli alle määritysrajan. Korkein määritetty arvo oli  $0.4$  kuitua/cm<sup>2</sup>. Tuloilmakanavasta otetussa näytteessä pitoisuus jäi alle määritysrajan. Tämä saattoi aiheutua siitä, että kuitulähteitä (esimerkiksi päällystämättömiä akustolevyjä) oli huonetiloissa.

Yhteensä 105 näytteen joukosta ainoastaan 18 näytettä oli sellaisia, joissa kuitupitoisuus oli tasan määritysrajan eli  $0,1$  kuitua/cm<sup>2</sup> tai enemmän. Näistä 3 oli tuloilmakanavasta otetussa näytteessä ja loput huoneiden tasopinnoilta otetuissa näytteissä. Tasopinnoilta otetuista 15 määritysrajan ylittäneestä näytteestä 14 oli otettu ikkunapenkeiltä ja ainoastaan 1 hyllyn päältä. Tulos viittaa siihen, että hiukkaslaskeumaa tapahtuu enemmän ikkunaympäristöön.

### 7.2.2 Mikrobit

Mikrobien pyyhintänäytteitä otettiin kaikista koehuoneista. Huoneista valittiin pölyn ja samalla mikrobien deponoitumisen kannalta keskeisimmät paikat eli ikkunapenkit ja hyllyjen päälliset, joihin sijoitettiin steriilit lasilevyt. Tutkimusaika oli kaksi viikkoa ja näytteet siirrostettiin tämän jälkeen suoraan kasvatusalustoille. Osa pyyhintänäytteistä otettiin myös suoraan tutkittavilta pinnoilta.

Pyyhintänäytteen mikrobiologisen viljelyn tulos viittaa pintamateriaalin kostumiseen ja vaurioitumiseen tai mikrobien kulkeutumiseen ilman mukana tutkitulle pinnalle, mikäli pintänäytteessä on elinkykyisiä sieni-itiöitä runsaasti (+++/++++) tai näytteessä esiintyy kosteusvaurioon viittaavaa mikrobistoa. Yksittäisten kosteusvauriomikrobien esiintyminen on kuitenkin normaalia. Tämän tulokintaohjeen mukaisesti on kunkin tutkimusrakennuksen pyyhintänäytteiden tuloksista koottu taulukko 14.

TAULUKKO 14. Rakennusten koehuoneista otettujen pyyhintänäytteiden tulokset.

Päivämäärä	Mikrobien suhteellinen määrä (0 - ++++)											
	28.12.06	25.1.07	1.2.07	7.2.07	14.2.07	11.3.07	2.4.07	19.6.07	29.10.07	10.12.07	14.12.07	11.3.08
<b>Rakennus/huone</b>												
1/149/ikkunapenkki				++			0					
1/149/hyllyn päällinen				++			0					
1/227/ikkunapenkki				+		0	0	+	0		0	0
1/227/hyllyn päällinen				0		0	0		0		0	0
1/239/ikkunapenkki				0			0					
1/239/hyllyn päällinen				++			0					
1/312/ikkunapenkki				+++			0		0		0	
1/312/hyllyn päällinen				0			0		0		0	
1/325/ikkunapenkki				0			0					
1/325/hyllyn päällinen				++			0					
2/125/ikkunapenkki	0	0	0	0	0		0					
2/125/hyllyn päällinen	0	0		0			0					
2/125/tuloilmanvaihto			+		+							
2/134/ikkunapenkki	0	0	+	0	+		+					
2/134/hyllyn päällinen	0	0		0			0					
2/218/ikkunapenkki	0	++	++	+	++	0	+	+++	0		0	0
2/218/hyllyn päällinen	0	++		0		0	0		0		0	0
2/218/tuloilmanvaihto				0								
2/223B/ikkunapenkki	0	+++	++	0	++		+++					
2/223B/hyllyn päällinen	0	+++		++			0					
2/223B/tuloilmanvaihto			0	0	0							
2/317/ikkunapenkki	0	0	++	+	++		+		+		+	
2/317/hyllyn päällinen	0	0		0			0		0		0	
2/317/tuloilmanvaihto			0		0							
3/105/ikkunapenkki				0			0					

3/105/hyllyn päällinen	+		0					
3/115/ikkunapenkki	0		0					
3/115/hyllyn päällinen	0		0					
3/240/ikkunapenkki	0	0	0	+	0	0		0
3/240/hyllyn päällinen	+	0	0		0	0		0
3/315/ikkunapenkki	0		0					
3/315/hyllyn päällinen	+		0					
3/319/ikkunapenkki	0		0		0		0	
3/319/hyllyn päällinen	+		0		0		0	
4/117/ikkunapenkki	+		0					
4/117/hyllyn päällinen	+++		0					
4/132/ikkunapenkki	0		0					
4/132/hyllyn päällinen	+++		0					
4/205/ikkunapenkki	+++	0	0	+	0	0		0
4/205/hyllyn päällinen	+++	0	0		0	0		0
4/216/ikkunapenkki	++		0		0	0		
4/216/hyllyn päällinen	0		0		0	0		
4/329/ikkunapenkki	+++		0					
4/329/hyllyn päällinen	+++		0					
5/107/ikkunapenkki	0		0					
5/107/hyllyn päällinen	0		0					
5/111/ikkunapenkki	0		0					
5/111/hyllyn päällinen	0		0					
5/211/ikkunapenkki	0	0	0	++	0	0		0
5/211/hyllyn päällinen	0	0	0		0	0		0
5/227/ikkunapenkki	0		0					
5/227/hyllyn päällinen	0		0					
5/345/ikkunapenkki	0		0		0	0		
5/345/hyllyn päällinen	0		0		0	+		

Asteikon tulkinta: +++/++++ vahva viite vauriosta, ++ viittaa vaurioon, + heikko viite vauriosta, 0 ei viitettä vauriosta

Rakennuksen 1 helmikuun 2007 näytteet otettiin suoraan luonnollisilta pinnoilta, joten pölyn kertymäaika ei ole varmuudella tiedossa. Ikkunapenkin pölyn kertymäaika on enintään 1 viikko, mikäli siivous on tehty ohjeen mukaan. Hyllyn päällä olevan pölyn kertymäajasta ei ole tietoa, sillä sen siivous tapahtui yleensä vain kerran vuodessa. Jokaisessa huoneessa tavattiin vähintäänkin toisessa näytteessä kosteusvaurioon viittaavaa mikrobilajistoa. Valtalajeina olivat tavanomaiset *Cladosporium* ja *Penicillium*. Kosteusvauriota indikoivista lajeista edustettuina oivat *Aureobasidium* ja *Tricoderma* sekä *Streptomyces* sädesieni, jota viimeksi mainittua tavattiin erittäin runsaasti huoneesta 312.

Myöhemmät näytteet otettiin aina lasialustoilta kahden viikon laskeumajan jälkeen. Näissä näytteissä ei tavattu normaalista poikkeavaa mikrobistoa. Huoneen 227 tuloilmakanavasta otettiin pyyhintänäyte 2.4.2007. Sen kertymäaika ei ollut tiedossa, mutta näyte sisälsi vain yksittäisiä mikrobeja. Kaikkiaan näytteitä otettiin yhteensä 34 kpl.

Tulokset viittasivat siihen, että rakennuksessa (ainakaan tutkituissa tiloissa) ei tullut esille tämän otannan perusteella kosteus- ja homevaurioita, mutta pitemmän ajan kuluessa harvoin siivottaville pinnoille saattaa kertyä mikrobistoa, jolla saattaa olla merkitystä työntekijöiden oirehtimiseen. Erityisesti ikkunaympäristö näyttäisi olevan altis mikrobien kerääntymiselle. Mahdollista oli myös se, että siivouksella ei ollut saatu poistettua kaikkia mikrobeja ikkunapenkeiltä tai niitä ei siivottu ohjeen mukaan.

Rakennuksen 2 mikrobiatilannetta seurattiin muita rakennuksia tarkemmin. Syynä tähän oli rakennuksessa tutkimusta edeltävänä vuonna tehty laajamittainen kosteus- ja homevauriokorjaus, jonka onnistumista oli tarpeen samalla seurata. Rakennuksen huoneista otettiin kaikkiaan 71 pyyhintänäytettä.

Joulukuussa 2006 suoraan huonepinnoilta otetut näytteet olivat puhtaat. Tämä näytteenottokierros ajoittui aikaan, jolloin rakennuksen korjaustyöt oli saatua päätökseen ja loppusiivoukset tehty, mutta tiloja ei ollut vielä otettu käyttöön.

Tilojen käyttöönotto tapahtui tammikuun 2007 alussa eli 25.1.2007 näytteet otettiin huonepinnoilta noin kolme viikkoa muuton jälkeen. Analyysitulosten mukaan kahdessa huoneessa oli kosteus- ja homevaurioon viittaavia homemikrobeja. Näitä lajeja olivat *Aureobasidium*, *Aspergillus fumigatus*, *Paecilomyces* ja myös niukasti sädesieniä tavattiin. Noin viikon kuluttua tästä näytteenotosta otettiin uudet näytteet, jolloin kosteusvaurioindikaattorimikrobeja löydettiin kaikkien tutkimushuoneiden näytteistä.

Seuraavat näytteet otettiin laskeumalevyiltä kahden viikon laskeumajan jälkeen ja silloin löydettiin vain pieniä viitteitä mahdollisesta epätavanomaisesta mikrobikasvusta. Tuloilmakanavista otetut näytteet olivat puhtaat.

Helmikuun 2007 puolessa välissä näytteet otettiin jälleen suoraan materiaalinpinnoilta. Tulosten mukaan kaikissa tutkimushuoneissa oli kohtalaisesti tai runsaasti mikrobeja ja joukossa myös jo aiemmin mainittuja kosteusvaurioindikaattorilajeja. Mikrobikasvua oli erityisesti ikkunapenkeillä. Myös myöhemmin otetuissa

sa pyyhintänäytteissä löytyi aika ajoin epätavanomaisia mikrobilajeja ja -määriä, mikä viittaa siihen, että rakennuksessa oli edelleen jonkinasteisia mikrobiongelmia. Siivouksen merkitys tuli hyvin esille kolmen ensimmäisen näytteenottokerran tuloksissa eli perusteellisella siivouksella saatiin mikrobit poistettua pinnoilta, mutta puutteellisella siivouksella mikrobien määrät kasvoivat.

Rakennuksen 3 helmikuussa 2007 otetuissa näytteissä esiintyi neljän huoneen hyllyjen päältä otetuissa näytteissä kosteusvaurioon viittaavaa homealajistoa. Näitä lajeja olivat *Aureobasidium*, *Eurotium*, *Rhizopus* ja *Aspergillus niger*. Näytteet oli otettu suoraan pinnoilta. On mahdollista, että tämän rakennuksen näkyvien pintojen siivoukseen on kiinnitetty erityistä huomiota ja ylätasot ovat jääneet vähemmälle. Rakennuksen tuloilma tulee jäähdytyspalkkien kautta huoneisiin. Huoneen 240 jäähdytyspalkista otetussa näytteessä (ei taulukossa) tavattiin *Aspergillus niger* ja *Aspergillus flavus* homeita, joten on mahdollista, että ainakin ajoittain jäähdytyspalkkeista on voinut siirtyä huoneilmaan kosteusvauriomikrobeja.

Myöhemmin otetuissa pyyhintänäytteissä tavattiin kosteusvaurioon viittaavaa homealajistoa ainoastaan kerran, joten kokonaisuutena rakennuksessa ei tullut esille tutkituissa tiloissa mikrobiongelmia.

Rakennuksen 4 ensimmäinen näytesarja helmikuun alussa 2007 otettiin suoraan tasopinnoilta, joten pinnoille laskeutuneen pölyn kertymäaika ei ollut täsmällisesti tiedossa. Analyysien mukaan kaikissa huoneissa oli viitteitä kosteus- ja homeongelmista. Indikaattorimikrobeja olivat *Aureobasidium*, *Aspergillus fumigatus*, *niger*, *versicolor* ja *ochraceus*, sekä *Paecilomyces*, *Phoma* ja *Trichoderma*. Myös sädesientä esiintyi niukasti eräässä näytteessä. Tämän rakennuksen ilmanvaihtokoneen suodattimesta ja kammion pohjalta otettiin materiaalinäytteet, joiden mukaan näytteissä oli runsaasti normaaleja ulkoilmahomeita sekä kosteusvaurioissa tyypillisiä *Acremonium*- ja *Geomyces*-suvun homeita. Viimeksi mainittuja ei tavattu huonenäytteistä. Ilmanvaihtokoneet puhdistettiin perusteellisesti näytteenoton jälkeen huhtikuussa 2007 ja suodattimet vaihdettiin.

Huhtikuun alussa näytteenotto lasilevyiltä tapahtui ennen ilmanvaihtokoneiden näytteenottoa. Nämä näytteet sisälsivät vain tavanomaisia homelajeja. Myöhemmin otetuissa näytteissä ainoastaan kesäkuun näytteessä huoneesta 205 tavattiin *Aureobasidium*-, *Exophiala*- ja *Ulocladium*-homeita, joita voidaan pitää kosteusvaurioita indikoivina lajeina. Kokonaisuutena otettujen mikrobinäytteiden perusteella kosteus- ja homevaurioita ei rakennuksen tutkituissa tiloissa tullut esille.

Rakennuksen 5 kaikki pyyhintänäytteet (33 kpl) on otettu lasitasoilta kahden viikon laskeumasta. Vain kahdessa näytteessä tavattiin viitteitä homevaurioista. Kesäkuun näytteissä kosteusvaurioindikaattorilajeina olivat *Aureobasidium*, *Exophiala* ja *Ulocladium* ja joulukuussa *Aspergillus fumigatus* ja *Aspergillus niger*. Myöskään tuloilmakanavasta huoneesta 211 otetussa näytteessä ei ollut tavanomaisesta poikkeavaa mikrobimäärää tai -lajistoa. Kokonaisuutena otettujen näyt-

teiden perusteella tutkituissa tiloissa varsinaisia kosteus- ja homevauriota ei tullut esille.

Pyyhintänäytteiden perusteella tutkimusrakennusten tutkituissa huoneissa ei tullut esille selkeitä mikrobiongelmia vaan näytteiden mikrobit olivat pääosin tavanomaisia sisätilahomeita ja bakteereita. Yhteensä 196 näytteestä 16 oli sellaisia, joissa sieni-itiöitä ei kasvanut ollenkaan ja 15 sellaisia, joissa ei kasvanut myöskään bakteereita. Tulos tukee Hygicult-tutkimuksesta saatua kuvaa kahden viikon hiukkaslaskeuman aiheuttamasta mikrobikuormasta tasopinnoille ja tutkimustulosten määräerot johtuvat menetelmien välisistä eroista. Tulokset viittaavat myös siihen, että ikkunaympäristö muodostaa mikrobien deponoitumiselle tai kasvulle otolliset olosuhteet ja ajan myötä mikrobien määrät ja lajien runsaus lisääntyvät. Saattaa olla myös mahdollista, että siivouksella ei saatu pintoja riittävästi puhtaiksi tai pintoja ei siivottu ohjeen mukaan. Tämän vaiheen tutkimustulosten mukaan siivouksella on merkittävä asema rakennusten mikrobimäärien hallinnassa.

### 7.2.3 Punkit

Pölypukkien esiintymistä toimistoympäristöissä kartoittava näytesarja otettiin 13.2.2007 jokaisen tutkimusrakennuksen yhdestä koehuoneesta kahdesta kohtaa, työntekijän istuimesta ja vaihtoehtoisesti lattialta, hyllytasolta tai ikkunapenkiltä. Näytteiden sisältämät pölymäärät vaihtelivat 16–83 mg:n välillä, yhden näytteen jäädessä liian pieneksi analysointia varten. Laboratorioanalysoinnin mukaan mistään näytteestä ei löydetty yhtään pölypunkkia. Pienen otoskoon perusteella tulosta on pidettävä kuitenkin vain viitteellisenä.

## 7.3 Sisäilman kaasumaiset yhdisteet

Jokaisen tutkimusrakennuksen yhdestä koehuoneesta otettiin ammoniakkinäytteet helmikuussa 2007. Näytteet kerättiin huoneilmasta pumpun avulla rikkipollalla käsiteltyyn aktiivihieleen. Laboratoriossa ylimääräinen sulfaatti pestiin preparatiivisilla anioninvaihtopylväillä ennen ionikromatografista ammoniakkinalyysiä. Menetelmässä sovellettiin OSHA:n (Occupational Safety and Health Administration) standardimenetelmää ID-188 (Ammonia in workplace atmospheres–solid sorbent).

Ammoniakkipitoisuudet olivat erittäin matalat (taulukko 15) ja ne jäivät alle määritysrajojen. Ammoniakkipitoisuuksien ei tämän pohjalta katsota vaikuttaneen kyselytutkimusten tuloksiin.



TAULUKKO 15. Koehuoneiden ilman ammoniakkipitoisuudet.

Kohde	Pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Rakennus 1 huone 312	<8,4
Rakennus 2 huone 134	<8,7
Rakennus 3 huone 105	<8,7
Rakennus 4 huone 216	<8,4
Rakennus 5 huone 111	<9,2

Koehuoneista valittiin kymmenen huonetta, joiden ilman formaldehydipitoisuus tutkittiin. Näytteet otettiin helmikuussa ja huhtikuussa 2007 ja maaliskuussa 2008. Näytteenottimena käytettiin Andersen-keräintä, jolla näytteet imettiin 2,4-dinitrofenyylihydratsiinilla päällystettyyn Sep-pak-silikakeräimeen. Formaldehydin pitoisuudet määritettiin nestekromatografisesti.

TAULUKKO 16. Koehuoneiden ilman formaldehydipitoisuudet.

Kohde	Pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	15.2.2007	13.4.2007	19.3.2008
Rakennus 1 huone 312	3,4		
Rakennus 1 huone 227		2,5	
Rakennus 2 huone 134	2,9		
Rakennus 2 huone 218		2,5	
Rakennus 3 huone 319	4,3		
Rakennus 3 huone 240		7,2	
Rakennus 4 huone 216	8,7		7,1
Rakennus 4 huone 205		15	11
Rakennus 5 huone 111	8,6		
Rakennus 5 huone 211		8,1	

Yleisesti formaldehydipitoisuudet (taulukko 16) jäivät niin alhaisiksi, että niillä ei voida katsoa olleen vaikutusta kyselytutkimusten tuloksiin. Huomionarvoista on, että rakennuksen 4 huoneen 205 kalusteiden vaihdon jälkeen pitoisuudet olivat myös alhaiset ja jopa alhaisemmat kuin vanhan kalustuksen aikaan.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden näytteitä otettiin 23 koehuoneesta helmikuussa 2007, viidestä koehuoneesta huhtikuussa 2007 sekä kahdesta koehuoneesta marraskuussa 2007 ja maaliskuussa 2008. Kaikki näytteet kerättiin Tenax -adsorptioputkeen ja analysoitiin kaasukromatografisesti käyttäen termodesorptiota ja massaselektiivistä ilmaisinta. Näytteistä määritettiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) tolueeniekvivalenttina. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet määritettiin joko puhtaiden vertailuaineiden avul-

la tai tolueeniekvivalenttina. TVOC määritettiin kromatogrammista n-heksaanin ja n-heksadekaanin väliseltä alueelta kyseiset aineet mukaan lukien. Näytteistä määritettiin myös TVOC-alueen ulkopuolisten yhdisteiden kokonaispitoisuus tolueeniekvivalenttina ja TVOC-alueen ulkopuolisten yhdisteiden yksittäisiä pitoisuuksia, mikäli pitoisuudet olivat tulosten kannalta merkittäviä. Yksittäisiä yhdisteitä kvantifioitiin 5-30 kpl tai niin monta että vähintään 2/3 TVOC-alueen piikki- en yhteispinta-alasta selvitettiin.

TAULUKKO 17. Koehuoneiden ilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) tolueeniekvivalenttina.

Kohde	Pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
	1.2.2007	1.4.2007	6.11.2007	10.3.2008
Rakennus 1 huone 149	25			
Rakennus 1 huone 227		40		
Rakennus 1 huone 312	30			
Rakennus 1 huone 325	40			
Rakennus 2 huone 125	25			
Rakennus 2 huone 134	15			
Rakennus 2 huone 218	40	30		
Rakennus 2 huone 223B	10			
Rakennus 2 huone 317	30			
Rakennus 3 huone 105	70			
Rakennus 3 huone 240	110	60		
Rakennus 3 huone 315	100			
Rakennus 3 huone 319	100			
Rakennus 4 huone 117	30			
Rakennus 4 huone 132	25			
Rakennus 4 huone 205	50	140	270	29
Rakennus 4 huone 216	140			
Rakennus 4 huone 329	60			
Rakennus 5 huone 107	35			
Rakennus 5 huone 111	25			
Rakennus 5 huone 211	25	130	100	30
Rakennus 5 huone 227	20			
Rakennus 5 huone 345	25			

TVOC -pitoisuudet (taulukko 17) olivat pääsääntöisesti erittäin matalalla tasolla. Viitteitä siivouskemikaalien (limoneeni ja 1,2-propaanidioli) vaikutuksesta saatiin kolmessa näytteessä. Tämä on saattanut aiheutua siitä, että tilat on siivottu juuri ennen näytteenottoa. Rakennuksen 4 huoneen 205 ja rakennuksen 5 huoneen 211

kalustukset vaihdettiin kokonaan uusiin 31.10.2007, joten 6.11.2007 näytteet on otettu noin yhden viikon päästä vaihdosta. TVOC-arvot olivat silloin jonkin verran koholla, mutta maaliskuussa 2008 otetuissa näytteissä arvot olivat jo alentuneet erittäin matalalle tasolle. TVOC-pitoisuudet olivat niin alhaisia, että niidenkään ei voi olettaa vaikuttaneen kyselytutkimusten tuloksiin.

Siivoussaneerauksen vaikutuksen VOC-yhdisteisiin tutkimiseksi rakennuksen 4 huoneen 205 ja rakennuksen 5 huoneen 211 kaikki kalusteet vaihdettiin täysin uusiin, helposti siivottaviin kalusteisiin 31.10.2007. Kalusteet toimitettiin suoraan tehtaalta ja asennettiin paikoilleen. Asennuksen yhteydessä kaikki kalusteet nihkeäpyyhittiin kauttaaltaan. Taulukossa 18 on esitetty ko. huoneista ennen ja jälkeen kalusteiden vaihdon otettujen VOC-analyysien tulokset. Analyyseissä tutkittiin lähinnä kalusteista haihtuvia yhdisteitä.

TAULUKKO 18. VOC-yhdisteet siivoussaneeratuissa koehuoneissa.

Yhdiste	Pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )							
	Rakennus 5 huone 211				Rakennus 4 huone 205			
	1.2.07 <sup>1)</sup>	1.4.07 <sup>1)</sup>	6.11.07 <sup>2)</sup>	10.3.08 <sup>2)</sup>	1.2.07 <sup>1)</sup>	1.4.07 <sup>1)</sup>	6.11.07 <sup>2)</sup>	10.3.08 <sup>2)</sup>
terpeenit								
- alfa-pineeni	0,9	3	13			3	37	1
- $\beta$ -pineeni			0,8				2	
- kareeni		0,8				0,9	4	
- limoneeni	4	3			2	0,8	2	
1-pentanol			2	2			7	
heksanaali	0,9	9	19	0,9	2	9	43	
pentanaali	0,5	3	8	1	0,8	3	15	
nonanaali	1	7	2	1	3	7	4	
heksaanihappo			22	10			82	15
pentaanihappo			6	8			29	12
(formaldehydi <sup>3)</sup> )		8					15	11)
TVOC	25	130	100	30	50	140	270	29

<sup>1)</sup> Ennen kalusteiden vaihtoa

<sup>2)</sup> Kalusteiden vaihdon jälkeen

<sup>3)</sup> Taulukosta 19

Taulukossa 18 helmikuun ja huhtikuun 2007 tulokset ovat ennen kalusteiden vaihtoa ja marraskuun 2007 tulokset noin yhden viikon vaihdon jälkeen ja maaliskuun 2008 tulokset runsaan neljän kuukauden kuluttua vaihdosta. Kalusteiden vaihto nosti huoneen 205 TVOC-pitoisuuden noin kaksinkertaiseksi. Kuitenkin jo neljän kuukauden jälkeen molempien huoneiden pitoisuudet olivat hyvin matalalla tasolla. Todennäköisesti uudet kalusteet nostivat tyypillisesti puuperäisten yhdisteiden pitoisuuksia, mutta pitoisuudet alenivat melko nopeasti murto-osaan vaihdon aikaisesta tilanteesta. Heksaanihappo (= kapronihappo) ja pentaanihappo (= valeriaanahappo) vähenivät neljässä kuukaudessa suhteellisesti vähiten, vaikka pitoisuuden alenema oli niissäkin huomattava.

Tämän tutkimuksen perusteella koehuoneissa ei tullut esille mitään sisäilmaongelmiin viittaavaa kaasumaisiin yhdisteisiin liittyen.

#### 7.4 Sisäilman hiilidioksidipitoisuus, lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä huoneiden ilmanvaihdon ilmamäärät ja paine-erot

Hiukkasmittausten yhteydessä mitattiin jatkuvana mittauksena koehuoneiden sisäilman hiilidioksidipitoisuus, lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä huoneiden tulo- ja poistoilmamäärät ja paine-erot 19.3.–4.4.2007.

TAULUKKO 19. Koehuoneiden ilman hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittausten keskiarvot sekä minimi ja maksimiarvot 19.3.–4.4.2007.

Rakennus ja huone	CO <sub>2</sub> ppm (min-max)	T °C (min-max)	RH % (min-max)
Koko mittaus			
Rakennus 1 huone 227	436 (380 - 667)	22,3 (21,5 - 23,1)	21,0 (11,2-26,4)
Rakennus 2 huone 218	460 (380 - 601)	23,4 (22,2 - 23,9)	19,7 (13,9-23,6)
Rakennus 3 huone 240	491 (391 - 671)	23,9 (22,1 - 25,8)	23,0 (15,2-26,9)
Rakennus 4 huone 205	542 (380 - 1019)	23,2 (22,2 - 24,9)	21,2 (16,2-25,8)
Rakennus 5 huone 211	510 (380 - 812)	23,9 (22,8 - 25,8)	18,8 (11,5-24,6)
Arki, klo 7-17			
Rakennus 1 huone 227	407 (380 - 601)	22,6 (21,6 - 23,1)	21,6 (11,2-26,4)
Rakennus 2 huone 218	415 (380 - 601)	23,3 (22,2 - 23,9)	20,7 (13,9-23,6)
Rakennus 3 huone 240	496 (391 - 671)	23,7 (22,4 - 25,6)	23,3 (16,5-26,9)
Rakennus 4 huone 205	500 (380 - 1019)	23,1 (22,3 - 24,5)	21,2 (16,2-24,7)
Rakennus 5 huone 211	433 (380 - 812)	24,1 (22,9 - 25,8)	19,0 (12,7-22,8)

Sisäilmastoluokitus 2008:ssa on asetettu hiilidioksidipitoisuudelle seuraavat raja-arvot: S1 750 ppm, S2 900 ppm ja S3 1200 ppm. Saatujen tulosten mukaan kaikissa tutkimushuoneissa ylettiin keskimäärin parhaimpaan sisäilmastoluokkaan. Kuitenkin ajoittain pitoisuudet nousivat rakennuksissa 4 ja 5 sisäilmastoluokkaan 2 tai 3. Rakennusten 1, 2 ja 3 hiilidioksidipitoisuudet olivat alhaiset, mikä viittaa näiden rakennusten muita parempaan ilmanvaihtoon.

Lämpötilat mitattiin taulukossa 19 esitettyjen huoneiden lisäksi kaikista 25 koehuoneesta. Lämpötilojen maksimi- ja minimiarvojen mukaan rakennusten 1 ja 2 lämpötilat olivat hieman muita parempia. Lämpötilat olivat pääsääntöisesti varsin korkeita, joten kaikkien huoneiden lämpötiloja tulisi alentaa suositellulle tasolle (21 °C). Lämpötilan alentaminen on energiataloudellisesti perusteltua ja

samalla se nostaa ilman suhteellista kosteutta (vaikka absoluuttinen kosteus ei muutukaan), jolloin työntekijöiden kokemukset kuivasta ilmasta voivat vähentyä. Lämpöoloilla saattoi olla vaikutuksia kyselytutkimuksista saatuihin tuloksiin ja taulukon mukaan mahdollisesti eniten rakennuksen 5 vastauksiin.

Koska tutkimus tehtiin aikaisin keväällä, huoneilman suhteellisen kosteuden arvot olivat vielä alhaisia kaikissa koehuoneissa. Suuria eroja eri huoneiden välillä ei ollut.

Koehuoneiden ilmanvaihtokanavien pääte-elimistä mitattiin tulevat ja lähtevät ilmamäärät (taulukko 20).

TAULUKKO 20. Koehuoneiden ilmamäärien mittaustulokset 19.3.–4.4.2007.

Rakennus ja huone	Tuloilmavirta		Poistoilmavirta	
	dm <sup>3</sup> /s	(dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	dm <sup>3</sup> /s	(dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>
Rakennus 1 huone 227	16	1,5	23	2,1
Rakennus 2 huone 218	28	1,6	32	1,8
Rakennus 3 huone 240	26	2,1	29	2,4
Rakennus 4 huone 205	0	0	13,5	1,2
Rakennus 5 huone 211	0	0	14	1,3

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa D2 (Ympäristöministeriö 2008) on toimistohuoneen ulkoilmavirran vähimmäisvaatimukseksi asetettu 1,5 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. Rakennusten 1, 2 ja 3 koehuoneiden osalta tämä vaatimus täyttyi. Rakennusten 4 ja 5 mittauksissa havaittiin, että tuloilmaa ei tullut huoneisiin ollenkaan. Myöhemmin selvisi, että huoneiden ilmanvaihto toimi poikkeuksellisesti niin, että huoneen oven tuli olla suljettuna, jolloin käytäväpuhallettu ilma ohjautui välipohjalaatan ontelokanavaa myöten huoneeseen. On hyvin luultavaa, että rakennusten käyttäjätäkään eivät olleet tietoisia tästä toimintatavasta. Poistoilmavirran mittauksista saatujen tulosten ja taulukon 21 perusteella voidaan arvioida, että rakennuksen 4 huoneessa 205 tuloilmavirta oli alle 1,2 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup> ja rakennuksen 5 huoneessa 211 alle 1,3 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. Molemmissa tuloilmavirrat jäivät alle vähimmäisvaatimustason. Yleensä poistoilmavirta mitoitetaan ja säädetään n. 10 % suuremmaksi kuin tuloilmavirta. Tähän verrattuna huoneen 227 ilmavirtojen erotus oli suurehko (n. 30 %).

Koehuoneiden paine-eroista ulkoilmaan nähden saatiin taulukon 21 mukaiset mittaustulokset. Tulosten mukaan kaikki huoneet olivat lievästi alipaineisia ulkoilmaan nähden. Ne pysyivät kuitenkin ohjeellisen raja-arvon 30 Pa (Ympäristöministeriö 2008) alapuolella. Työajan ja muun ajan paine-eroissa ei ollut oleellisia eroja, mutta muun ajan mittaustulokset olivat hieman tasaisempia kuin työajalta saadut. Tämä johtuu työajalla rakennuksen ja huoneiden käytöstä, jolloin painesuhteet herkästi muuttuvat mm. ovien ja ikkunoiden avaamisen myötä.

TAULUKKO 21 Koehuoneiden keskimääräiset paine-erot ulkoilmaan nähden 19.3.–4.4.2007.

Aika	Paine-ero (Pa)				
	227	218	240	205	211
klo 7-17	-2	-15	-10	-4	-14
klo 17-7	-3	-16	-7	-6	-8

Taulukon 21 tulokset tarkoittavat sitä, että kaikkiin tutkimusrakennuksiin virtaa suuret määrät suodattamatonta ulkoilmaa ulkoseinärakenteiden epätiivelyskohtien sekä avonaisten ovien ja ikkunoiden kautta. Esimerkiksi rakennuksen 1 huoneeseen 227 tulee n. 600 m<sup>3</sup> ilmaa vuorokaudessa koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän ulkopuolelta, mikäli ilmanvaihto toimii samalla teholla ympäri vuorokauden. Taulukon 21 mukaan huoneen 227 paine-erot ulkoilmaan nähden olivat hyvin pienet, mikä kuvastaa sitä, että huoneeseen pääsee helposti korvausilmaa rakenteiden kautta.

## 7.5 Sisäilman hiukkaset

### 7.5.1 Hiukkasten koko ja pitoisuudet

#### 7.5.1.1 Hiukkasten lukumääräpitoisuudet

Koehuoneiden ilmasta mitattiin hiukkasten lukumääräpitoisuudet kuuteen kokoluokkaan fraktioituna ja hiukkasten massapitoisuus (PM<sub>10</sub>). Kokofraktioille laskettiin vastaavat geometriset keskihalkaisijat (taulukko 22).

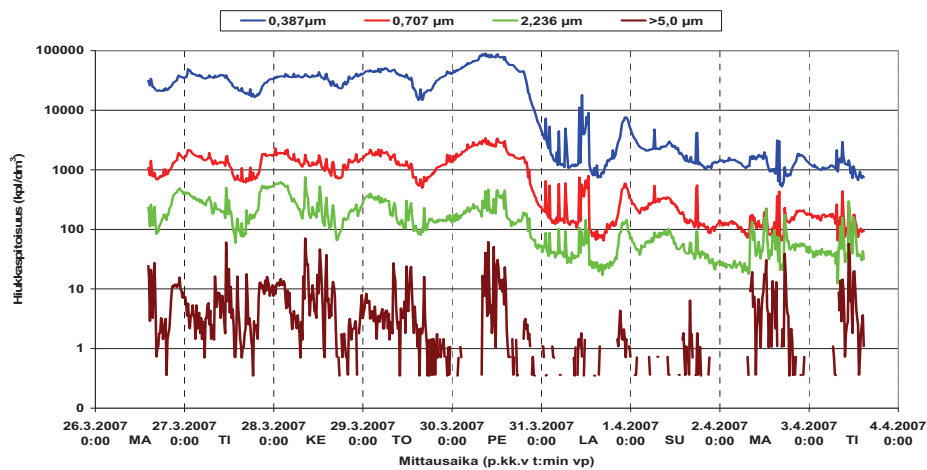
Suurimman hiukkaskokoluokan ylärajaa ei ole rajoitettu, vaan se määräytyy hiukkasten liikedynamiikan ja laskeutumisenopeuden mukaan. Käytännössä analyysointilaitteiden havaitsemat suurimmat hiukkaset voivat olla luokkaa 25 µm, koska niiden laskeutumisenopeus on jo noin 20 mm/s, jolloin niiden joutuminen analyysointilaitteisiin on epätodennäköistä. Valtaosa suurimmista hiukkasista osuu kokoalueelle 5,0–10,0 µm, joten geometrinen keskihalkaisija on laskettu sen mukaan. Yksinkertaistuksen vuoksi tämä hiukkaskokoluokka on jatkossa merkitty >5,0 µm.

TAULUKKO 22. Mittauksissa käytetyt hiukkaskokoluokkien leikkausrajat, kokofraktiot ja fraktioiden geometriset keskihalkaisijat.

Leikkausraja ( $\mu\text{m}$ )	Kokofraktio ( $\mu\text{m}$ )	Geometrinen keskihalkaisija ( $d_g$ ) ( $\mu\text{m}$ )
Climet CI 550		
>0,3	0,3 - 0,5	0,387
>0,5	0,5 - 1,0	0,707
>1,0	1,0 - 5,0	2,236
>5,0	5,0 - 10,0 (n. 25)*)	7,072
MetOne 237		
>0,5	0,5 - 0,7	0,592
>0,7	0,7 - 1,0	0,837
>1,0	1,0 - 5,0	2,236
>5,0	5,0 - 10,0 (n. 25)*)	7,072

\*) Arvioitu

Kuvan 42 mukaan huoneen käyttö vaikutti sisäilman hiukkasten lukumääräpitoisuuksiin eniten  $d > 5,0$  ja  $d_g = 2,236 \mu\text{m}$  kokoluokissa. Kahdessa pienimmässä kokoluokassa on tutkimusjakson ensimmäisen viikon aikana nähtävillä selkeä vuorokausirytmiksi, mikä todennäköisesti aiheutui ilmanvaihdon toiminnasta. Yleisilmanvaihto kytkeytyi pois noin klo 18, jolloin saniteettitilojen poistoilmanvaihdon jäädessä päälle tilojen alipaineisuus kasvoi ja lisäsi pienhiukkasten ulko-sisäsiirtymää. Tätä todennäköisesti vielä lisäsi huoneen epätiiveys.



KUVA 42. Rakennuksen 1 huoneen 227 ilman hiukkaspitoisuudet 26.3.–4.4.2007.

Alle 5,0 µm kokoluokkien lukumääräpitoisuuksissa tapahtui selkeä alenema tutkimuksen loppuosalla, mikä todennäköisesti aiheutui ulkoilman hiukkaspitoisuuden muutoksista. Vastaavaa ei tapahtunut yli 5,0 µm hiukkasten pitoisuuksissa. Mittausjaksolla viikonloppu ajoittui ajalle 31.3.–1.4.2007, mikä näkyy selkeimmin yli 5,0 µm hiukkaspitoisuuksien alenemisena. Tähän vaikutti tilojen käyttämättömyys. Mittausdatasta tehty eri hiukkaskokojen korrelaatioanalyysi on taulukon 23 mukainen.

TAULUKKO 23. Rakennuksen 1 huoneen 227 hiukkasmittausten hiukkaskokoluokkien keskinäiset korrelaatiot ( $r_s$ ,  $n = 771$ ) 26.3.–4.4.2007.

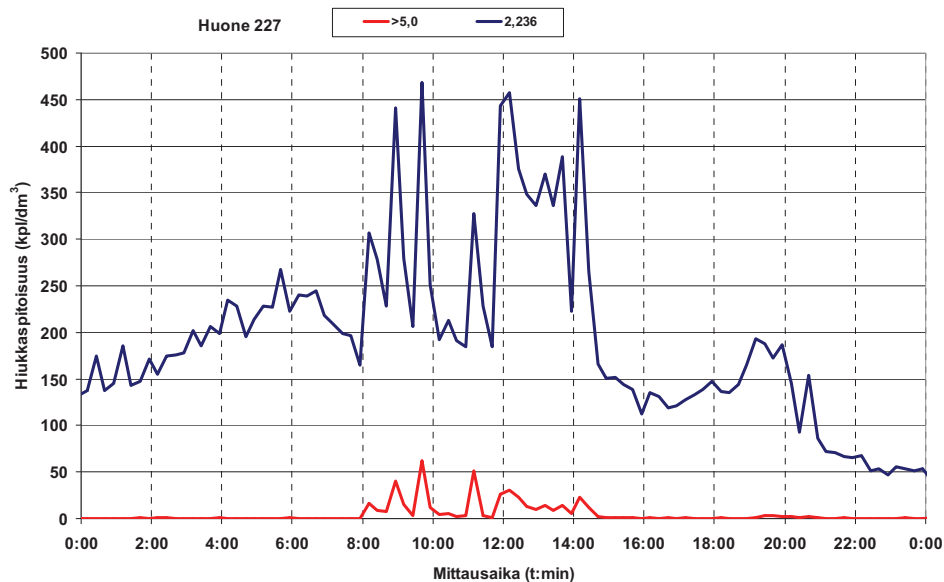
Hiukkaskoko	0,387 µm	0,707 µm	2,236 µm
0,707 µm	0,959		
2,236 µm	0,843	0,918	
>5,0 µm	0,419	0,469	0,683

Pienimmillä hiukkaskokoluokilla (0,387, 0,707 ja 2,236 µm) oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p < 0,01$ ) voimakas positiivinen korrelaatio keskenään. Kahden suurimman kokoluokan välillä korrelaatio oli huomattava ja suurimman ja kahden pienimmän välillä kohtalainen. Tulos viittaa leijuvien ja laskeutuvien hiukkasten lähde- ja käyttäytymiseroihin huoneilmassa.

Kuvaa 42 vastaava ilmiö havaittiin myös rakennuksen 2 huoneen 218 ja rakennuksen 3 huoneen 240 hiukkaspitoisuuksia analysoitaessa. Alle 1,0 µm hiukkasten pitoisuusvaihtelut olivat keskenään lähes identtiset. Koska rakennukset sijaitsevat aivan lähekkäin samalla kampusalueella, tämä viittaa hiukkasten voimakkaaseen ulko-sisäsiirtymään.

Huoneen 227 mittausjaksosta otettiin tarkempaan tarkasteluun mittauspäivä 30.3.2007, jolloin huone siivottiin. Kuvassa 43 on esitetty kyseisen vuorokauden mittausten suurimpien hiukkaskokoluokkien  $d > 5,0$  µm ja  $d_g = 2,236$  µm pitoisuudet. Kuvasta on nähtävillä huoneen käyttö n. klo 8.00 – 14.30 välisenä aikana. Huoneessa on todennäköisesti käyty vielä n. klo 19 jälkeen, mikä näkyy lievänä hiukkaspitoisuuksien nousuina molemmissa hiukkaskokoluokissa. Huoneen siivous tapahtui n. klo 9.30 ja se onkin aiheuttanut korkeimman hiukkasperä. Suuret  $> 5,0$  µm hiukkaset nousevat herkästi ilmaan, mutta ne myös laskeutuvat suhteellisen nopeasti ja niiden määrä ilmassa laskee lähelle nollassa huoneen käytön loputtua.





KUVA 43. Rakennuksen 1 huoneen 227 ilman  $>5,0 \mu\text{m}$  ja  $d_g=2,236 \mu\text{m}$  hiukkaspitoisuus 30.3.2007.

$1,0\text{--}5,0 \mu\text{m}$  ( $d_g=2,236 \mu\text{m}$ ) kokoluokan hiukkasmittausten tuloksissa näkyy selkeästi sekä huoneen käytön että ilmanvaihdon ja ulko-sisäsiirtymän aiheuttama hiukkaspitoisuuksien muutos. Pienen kokonsa vuoksi kaikki hiukkaset eivät laskeudu pinnoille heti huoneen käytön loputtua, vaan osa hiukkasista jää leijumaan huoneilmaan ja määrissä tapahtuu muutoksia vielä huoneen käytön lopettamisen jälkeenkin.

Rakennuksen 4 huoneen 205 ja rakennuksen 5 huoneen 211 mittaukset tehtiin 19.3. – 27.3.2007. Mittauksista saadut tulokset tukivat hiukkasten käyttäytymisestä saatua kuvaa, jonka mukaan  $>5,0 \mu\text{m}$  hiukkasten pitoisuus nousee työaikana (käytön aiheuttamana) ja laskee nolleen tai lähelle sitä käytön loputtua. Huoneen käyttö ja erityisesti siivous kohottaa lyhytaikaisesti leijuvien hiukkasten pitoisuutta ilmassa. Tutkimushuoneiden pienten hiukkasten ( $<1,0 \mu\text{m}$ ) pitoisuuksien yhtäaikainen vaihtelu voi johtua jostain huonetilojen ulkopuolisesta tekijästä, joka mität todennäköisimmin on ulkoilman hiukkaspitoisuus. Tämän selvittämiseksi synkronoitiin tutkimushuoneiden hiukkasmittausten tulokset ajallisesti toisiaan vastaaviksi ja selvitettiin hiukkaspitoisuuksien keskinäinen korrelaatio.

TAULUKKO 24. Huoneiden 227, 218 ja 240 välisten hiukkaspitoisuuksien korrelaatiot ( $r_s$ ,  $n = 771$ ).

Huoneet	Hiukkaskoko			
	0,387 $\mu\text{m}$	0,707 $\mu\text{m}$	2,236 $\mu\text{m}$	>5,0 $\mu\text{m}$
227-218	0,952	0,890	0,666	0,557
227-240	0,929	0,927	0,854	0,647
218-240	0,901	0,867	0,619	0,514

Kaikilla huoneiden välisillä kahden pienimmän kokoluokan hiukkaspitoisuuksilla oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p < 0,01$ ) voimakas positiivinen korrelaatio keskenään. Korrelaatio oli voimakas myös huoneiden 227 ja 240 välisillä 2,236  $\mu\text{m}$  hiukkaspitoisuuksilla. Muilla korrelaatio oli kohtalainen tai huomattava. Korrelaatio oli voimakkainta aivan pienimpien hiukkasten välillä ja heikkeni kokoluokan kasvaessa. Rakennukset sijaitsivat lähekkäin samalla kampusalueella, joten tulos viittaa siihen, että ulkoilma vaikuttaa pitoisuuksiin voimakkaasti. Rakennusten etäisyys näytti tässä tapauksessa vaikuttavan hieman korrelaatioiden voimakkuuteen, sillä huoneet 218 ja 240 sijaitsivat kauimpana toisistaan.

Huoneiden kunkin hiukkaskokoluokan mittaustulosten erojen tilastollinen merkitsevyys testattiin Mann-Whitneyn U-testillä (käyttäen Bonferroni korjausta). Testin mukaan huoneiden 227 ja 218 hiukkaskokoluokan 0,387  $\mu\text{m}$  erot olivat melkein merkitseviä ( $p = 0,078$ ) ja huoneiden 227 ja 240 hiukkaskokoluokan 0,707  $\mu\text{m}$  erot eivät olleet merkitseviä ( $p = 0,183$ ). Kaikkien muiden erot olivat joko merkitseviä tai erittäin merkitseviä. Tämä viittaa siihen, että ulkoilma vaikuttaa pienten hiukkasten pitoisuusvaihteluihin huonetiloissa, mutta jokaisella huoneella on kuitenkin omanlaisensa hiukkaskoko- ja hiukkaspitoisuusjakauma.

TAULUKKO 25. Huoneiden 205 ja 211 välisten hiukkaspitoisuuksien korrelaatiot ( $r_s$ ,  $n = 649$ ).

Huoneet	Hiukkaskoko			
	0,592 $\mu\text{m}$	0,837 $\mu\text{m}$	2,236 $\mu\text{m}$	>5,0 $\mu\text{m}$
205-211	0,879	0,631	0,583	0,632

Huoneiden välisillä pienimmän kokoluokan hiukkasilla oli erittäin merkitsevä ( $p < 0,01$ ) voimakas positiivinen korrelaatio keskenään. Muiden hiukkaskokoluokkien korrelaatiot olivat kohtalaisia tai huomattavia. Mittaustulosten erojen tilastollinen merkitsevyys testattiin Mann-Whitneyn U-testillä. Sen mukaan ainoastaan suurimman kokoluokan erot olivat lähellä melkein merkitsevää tasoa ( $p = 0,111$ ). Muiden erot olivat erittäin merkitseviä. Tulos viittaa jälleen siihen, että korrelaatioista huolimatta huoneiden hiukkaskoko- ja pitoisuusjakaumat poikkeavat toisistaan.

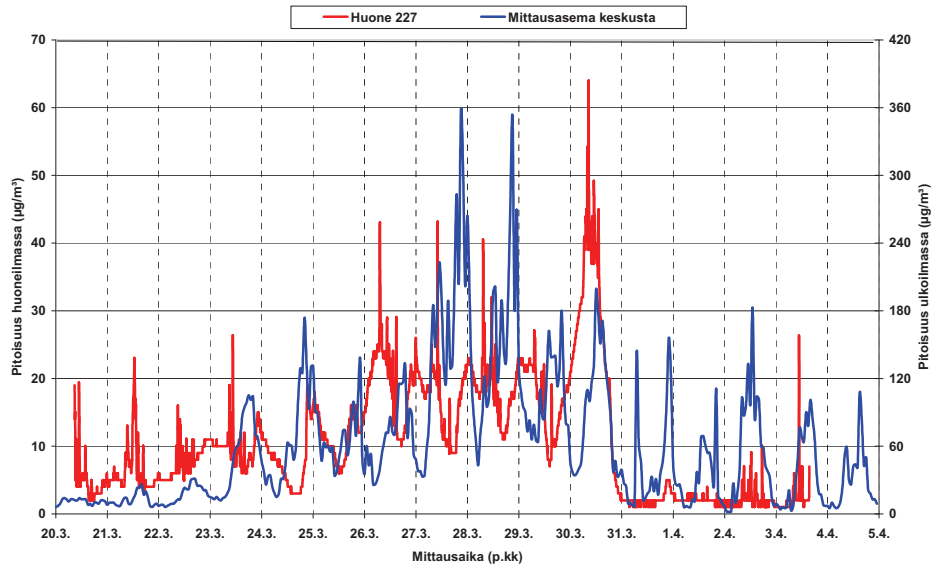
TAULUKKO 26. Koehuoneiden ilman hiukkasten lukumääräpitoisuuksien yhteenveto.

Rakennus ja huone	Hiukkaspitoisuus (kpl/dm <sup>3</sup> ) (min - max)		
	0,707 µm	2,236 µm	>5 µm
Arki, klo 17-7			
Rakennus 1 huone 227	908 (76 - 2926)	168 (19 - 621)	3 (0 - 39)
Rakennus 2 huone 218	1006 (123 - 3650)	150 (19 - 472)	2 (0 - 44)
Rakennus 3 huone 240	785 (84 - 2345)	219 (27 - 755)	4 (0 - 34)
Rakennus 4 huone 205	1438 (120 - 3613)	112 (7 - 384)	2 (0 - 21)
Rakennus 5 huone 211	677 (95 - 2270)	56 (5 - 185)	1(0 - 16)
Arki, klo 7-17			
Rakennus 1 huone 227	1060 (65 - 3412)	160 (12 - 758)	8 (0 - 71)
Rakennus 2 huone 218	1363 (91 - 3840)	280 (14 - 974)	23 (0-176)
Rakennus 3 huone 240	1002 (75 - 2642)	198 (19 - 510)	8 (0 - 86)
Rakennus 4 huone 205	1144 (270 - 4087)	63 (15 - 577)	3 (0 - 21)
Rakennus 5 huone 211	827 (184 - 2931)	115 (5 - 939)	9 (0 - 88)

Taulukkoon 26 on koottu hiukkasmittausten kolmen keskeisimmän hiukkaskokoluokan keskiarvopitoisuudet sekä minimi- ja maksimiarvot. Verrattaessa työajan (arkipäivät klo 7.00–17.00) keskimääräisiä hiukkaspitoisuuksia muun ajan vastaaviin havaittiin, että suurimmassa kokoluokassa (>5,0 µm) työajan keskiarvot kasvoivat selvästi kun taas muissa kokoluokissa kasvu oli vähäisempää. Poikkeuksina olivat huone 205, jossa <5,0 µm hiukkaspitoisuudet keskimäärin hiukan vähenivät työaikana sekä huoneet 227 ja 240, joissa  $d_g=2,236$  µm hiukkasten lukumääräpitoisuudet myös hiukan vähenivät työajalla. Tähän on saattanut vaikuttaa erityisesti huoneiden ilmanvaihto ja huoneiden vähäinen käyttö. On huomattava, että huoneiden 205 ja 211 mittausjakso oli eri kuin muilla, joten näitä ei voi suoraan vertailla muiden huoneiden tuloksiin.

### 7.5.1.2 Hiukkasten massapitoisuudet

Koehuoneiden ilmasta mitattiin myös alle 10 µm hiukkasten massapitoisuus (PM<sub>10</sub>) ajan funktiona (kuva 44). Kuvassa on esitetty vertailuna Jyväskylän kaupungin keskustassa sijaitsevan mittausaseman vastaavan ajan tiedot ulkoilmasta. Asema sijaitsee noin 1,1-1,5 kilometrin etäisyydellä tutkimusrakennuksista, joten vertailua on syytä pitää vain suuntaa antavana.



KUVA 44. Rakennuksen 1 huoneen 227 sisäilmasta ja kaupungin mittausasemalla ulkoilmasta mitatut PM<sub>10</sub>-pitoisuudet.

Huoneen 227 pitoisuuksissa käyttö näkyi selvästi. Huone on ollut todennäköisesti käyttämättömänä ajalla 31.3.–2.4.2007. Mittausjaksolla viikonloput ajoittuivat päiville 24.–25.3.2007 ja 31.3.–1.4.2007. Huone siivottiin 23.3. ja 30.3.2007. Kuvassa huoneen ja ulkoilman pitoisuuksien mitta-asteikot ovat erilaiset. Tämän mukaan ulkoilman hiukkasmassapitoisuudet olivat varsin korkeat, mutta vuodenajalle tyypilliset. Ne myös vaihtelivat enemmän kuin huoneilman ja ulkoilman hiukkasmassapitoisuus oli keskimäärin suurempi kuin huoneilman.

Rakennuksen 2 huoneen 218 ja rakennuksen 3 huoneen 240 pitoisuudet olivat samantyyppiset rakennuksen 1 huoneen 227 mittausten kanssa. Huoneen 218 mittaus jouduttiin keskeyttämään mittalaitteen aiheuttaman meluongelman vuoksi ja sen mittausjakso oli vain yhden viikon pituinen. Huoneen vähäisen käytön vuoksi pitoisuudet jäivät hiukan muita alhaisemmiksi. Huoneen 240 hiukkasmassapitoisuudet laskivat lähelle nollatasoa silloin kun tilassa ei ollut käyttöä. Erityisesti tämä näkyi jälkimmäisen viikonlopun aikana.

Myös rakennuksen 4 huoneen 205 ja rakennuksen 5 huoneen 211 hiukkasmassapitoisuudet mitattiin samaan aikaan kuin muiden huoneiden. Molemmissa tuloksissa huoneen käyttö näkyi selvästi kohonneina arvoina. Mittausten puolivälissä pitoisuudet kasvoivat niin, että ne eivät ehtineet alentua kovin paljoa edes työajan jälkeen. Lisäksi huoneen 211 pitoisuudet jäivät huonetta 205 korkeammalle tasolle vielä jälkimmäisen viikonlopun aikana ja sen jälkeen. Syynä saattoi olla

huoneen intensiivinen käyttö tai myös ulkoilman vaikutus, mikä viittaa siihen, että pienten hiukkasten (<1 µm) osuus pitoisuuksista on voinut olla suuri.

TAULUKKO 27. Koehuoneiden PM<sub>10</sub>-pitoisuuksien korrelaatiot ( $r_s$ , n = 113) ulkoilman hiukkaspitoisuuden ja toistensa kanssa.

Huoneet	227	218	240	205	211
Ulkoilma	0,271	0,421	0,279	0,266	0,144
227		0,909	0,835	0,857	0,569
218			0,809	0,804	0,433
240				0,767	0,482
205					0,617

Ulkoilman mittausasema sijaitsi lähimmillään n. 1 km:n etäisyydellä tutkimusrakennuksista. Etäisyydestään huolimatta mittausaseman PM<sub>10</sub>-pitoisuuksilla oli huoneen 218 pitoisuuksiin erittäin merkitsevä ( $p < 0,01$ ) kohtalainen positiivinen korrelaatio (taulukko 27). Muiden huoneiden kanssa ulkoilman korrelaatio oli merkityksetön. Huoneparien 227-218, 227-240, 227-205, 218-240 ja 218-205 korrelaatiot olivat voimakkaat. Muiden huoneiden välillä korrelaatiot olivat kohtalaisia tai huomattavia. Tulos viittaa siihen, että ulkoilma vaikutti huoneiden sisäilman leijuvien hiukkasten massapitoisuuksiin ja rakennusten lähellä olevan ulkoilman hiukkaspitoisuus poikkesi mittausaseman vastaavasta. Tulos vahvistaa sen, että luotettavan tuloksen saamiseksi sisä- ja ulkomittauspisteiden tulee olla lähietäisyydellä toisistaan.

Huoneiden mittaustulosten keskiarvojen erojen merkitsevyys testattiin vielä Mann-Whitneyn U-testillä. Sen mukaan huoneiden 227 ja 218 pitoisuudet eivät eronneet merkitsevästi toisistaan ( $p = 0,316$ ). Huoneet sijaitsivat vierekkäisissä rakennuksissa. Kaikkien muiden huoneiden erot olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä.

TAULUKKO 28. Koehuoneiden PM<sub>10</sub>-pitoisuuksien yhteenvetotaulukko.

PM10	Arki, klo 17-7 (µg/m <sup>3</sup> )	Arki, klo 7-17 (µg/m <sup>3</sup> )
Rakennus ja huone	ka (min-max)	ka (min-max)
Rakennus 1 huone 227	8 (3 - 15)	13 (1 - 64)
Rakennus 2 huone 218	8 (3 - 14)	7 (3 - 13)
Rakennus 3 huone 240	5 (1 - 16)	9 (0 - 44)
Rakennus 4 huone 205	16 (10 - 22)	21 (1 - 114)
Rakennus 5 huone 211	20 (18 - 22)	27 (15 - 59)

Taulukossa 28 on esitetty yhteenveto koehuoneiden hiukkasmassapitoisuuksien keskimääräisistä arvoista sekä minimistä ja maksimista. Sisäilmastoluokitus 2000:ssa on asetettu ohjearvoiksi S1-luokkaan 20, S2-luokkaan 40 ja S3-luokkaan  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tämän mukaisesti huoneiden 205 ja 211 pitoisuuksien keskiarvot jäivät työaikana luokkaan S2 ja huoneessa 205 työaikana luokkaan S2. Muiden huoneiden tilanne oli hyvä ja niissä päästiin parhaimpaan S1-luokkaan. Rakennuksen 2 huoneen 218 hyvään tulokseen on voinut vaikuttaa lyhyempi tutkimusjakso ja huoneen vähäinen käyttö. Huomionarvoista on, että varsin korkeitakin pitoisuuksia mitattiin, varsinkin huoneessa 205 ja että huoneessa 211 minimiarvo jäi korkeaksi. Työajan pitoisuudet olivat huonetta 218 lukuun ottamatta korkeampia kuin muun ajan pitoisuudet.

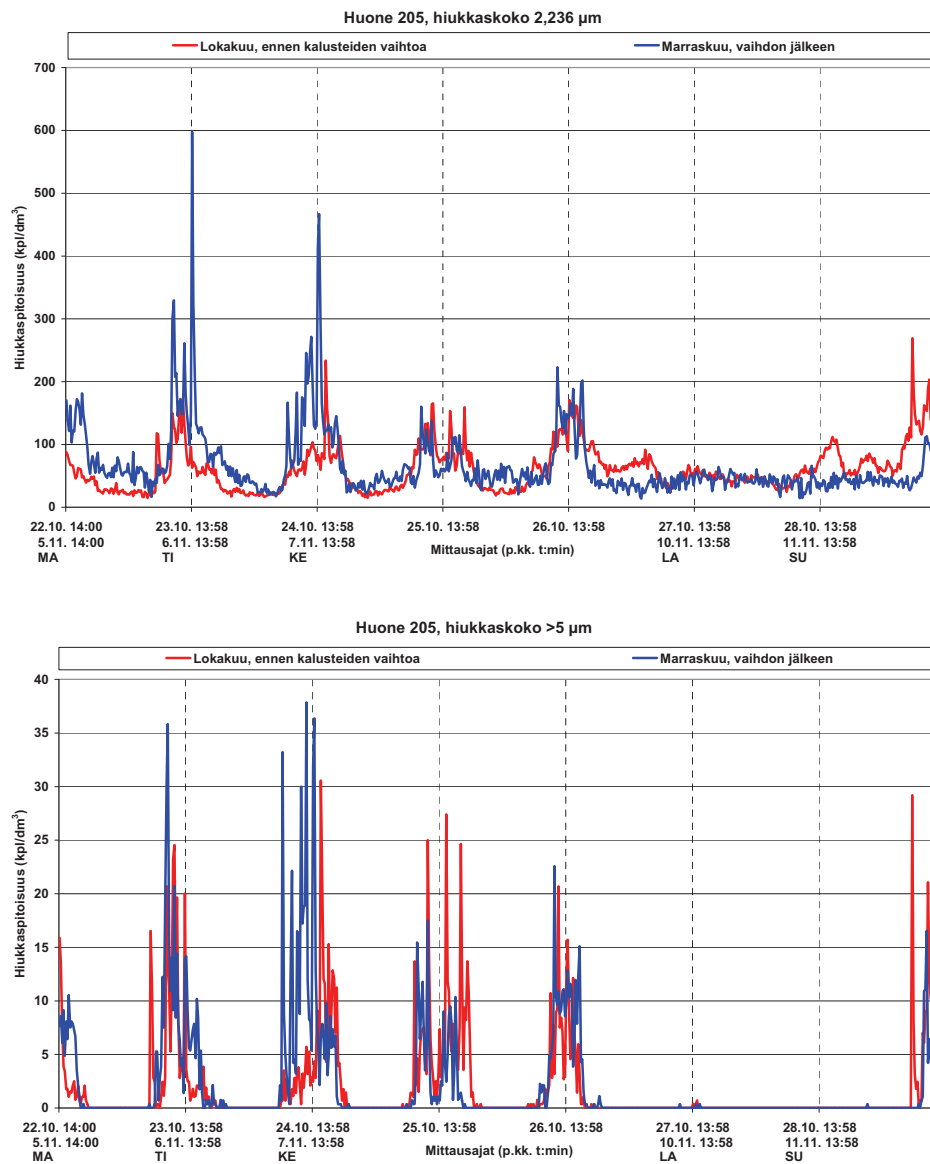
Tämän tutkimusjakson tulosten perusteella voidaan sanoa, että toimistohuoneiden hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuuksissa oli huonekohtaisia eroja, mutta niiden käyttäytyminen noudatteli huoneiden käytön rytmiä ja erityisesti siivous kohotti lyhytaikaisesti lukumäärä- ja massapitoisuuksia. Pienten hiukkasten eli aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle  $1,0 \mu\text{m}$  hiukkaspitoisuudet noudattelivat ulkoilman hiukkaspitoisuusvaihteluja, mutta niihin vaikutti myös sisätiloissa tapahtuva toiminta. Ilmanvaihdoilla oli suuri merkitys. Aivan pienten alle  $0,5 \mu\text{m}$  hiukkasten lukumäärissä vuorokautinen vaihtelu seurasi ulkoilman hiukkaspitoisuutta. Hiukkasten käyttäytymiseen vaikuttivat todennäköisesti rakennusten ilmanvaihdon painesuhteet. Suuremmat hiukkaset, eli tämän tutkimuksen ryhmä  $> 5,0 \mu\text{m}$ , siirtyivät pinnoilta huoneilmaan lähinnä käytön seurauksena ja pitoisuudet riippuivat käytön intensiteetistä ja muiden muassa pintojen puhtaudesta.

## 7.5.2 Siivoussaneeraus

### 7.5.2.1 Hiukkasten lukumääräpitoisuudet (22.10.–29.10.2007 ja 5.11.–12.11.2007)

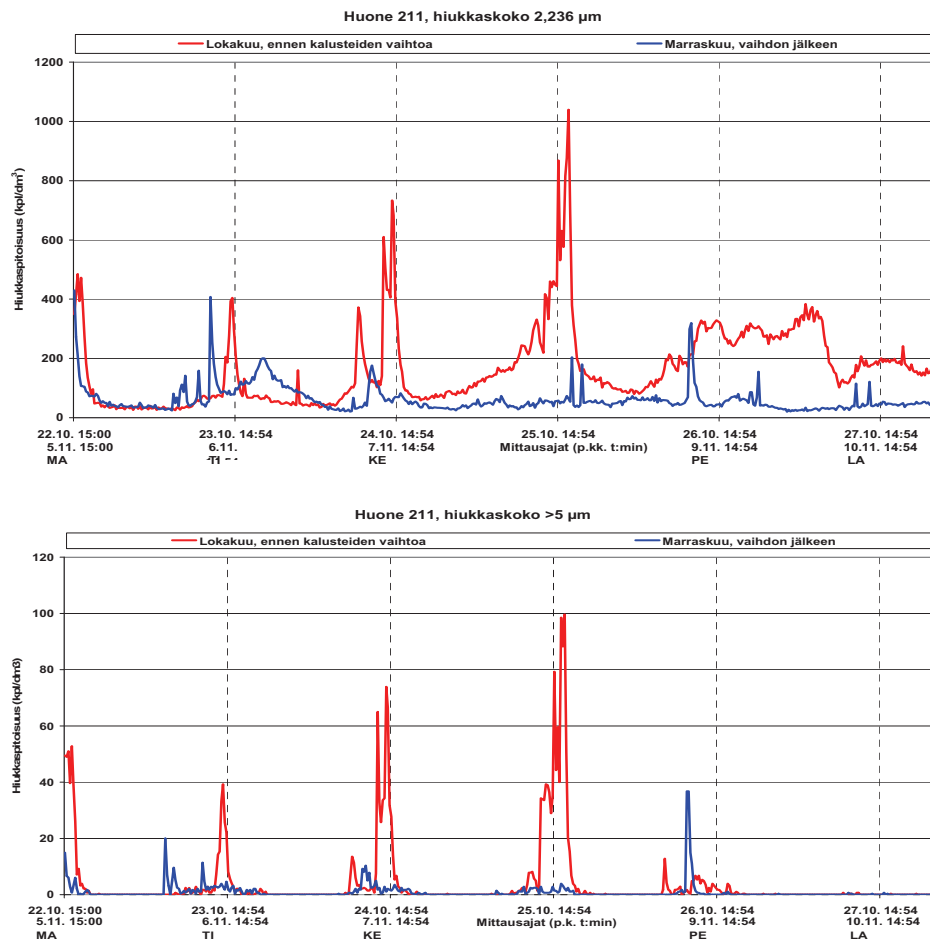
Näiden jaksojen mittausten tarkoituksena oli selvittää siivottavuuden parantamisen vaikutuksia leijuvien hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuuksiin. Tutkimukseen valittiin rakennuksesta 4 huoneet 205 ja 216 ja rakennuksesta 5 huone 211. Ensimmäisen jakson mittaukset tehtiin ennen siivoussaneerausta ja toisen jakson mittaukset saneerauksen jälkeen. Näiden välillä 31.10.2007 huoneiden 205 ja 211 kalusteet vaihdettiin kokonaan uusiin ja huone 216 siivottiin muuten perusteellisesti. Tämän kirjan liitteinä 5, 6 ja 7 ovat huoneiden kuvat ennen ja jälkeen siivoussaneerauksen.

Seuraavassa on lähempään tarkasteluun otettu kunkin tutkimushuoneen hiukkasten lukumääräpitoisuuksista ainoastaan kokoluokat  $1,0\text{--}5,0$  ( $d_g=2,236$ ) ja  $>5,0 \mu\text{m}$ , koska siivouksella ja siivoussaneerauksella on teoriassa mahdollisuus eniten vaikuttaa juuri näihin hiukkaskokoluokkiin (Aulanko ym. 2000) eikä ulkoilman vaikutus yleensä näy niissä selkeästi (Kulmala ym. 1999).



KUVA 45.  $d_g = 2,236$  ja  $>5,0$   $\mu\text{m}$  hiukkasten lukumääräpitoisuudet huoneen 205 ilmassa lokakuussa 2007 ennen siivoussaneerausta ja marraskuussa 2007 siivoussaneerauksen jälkeen.

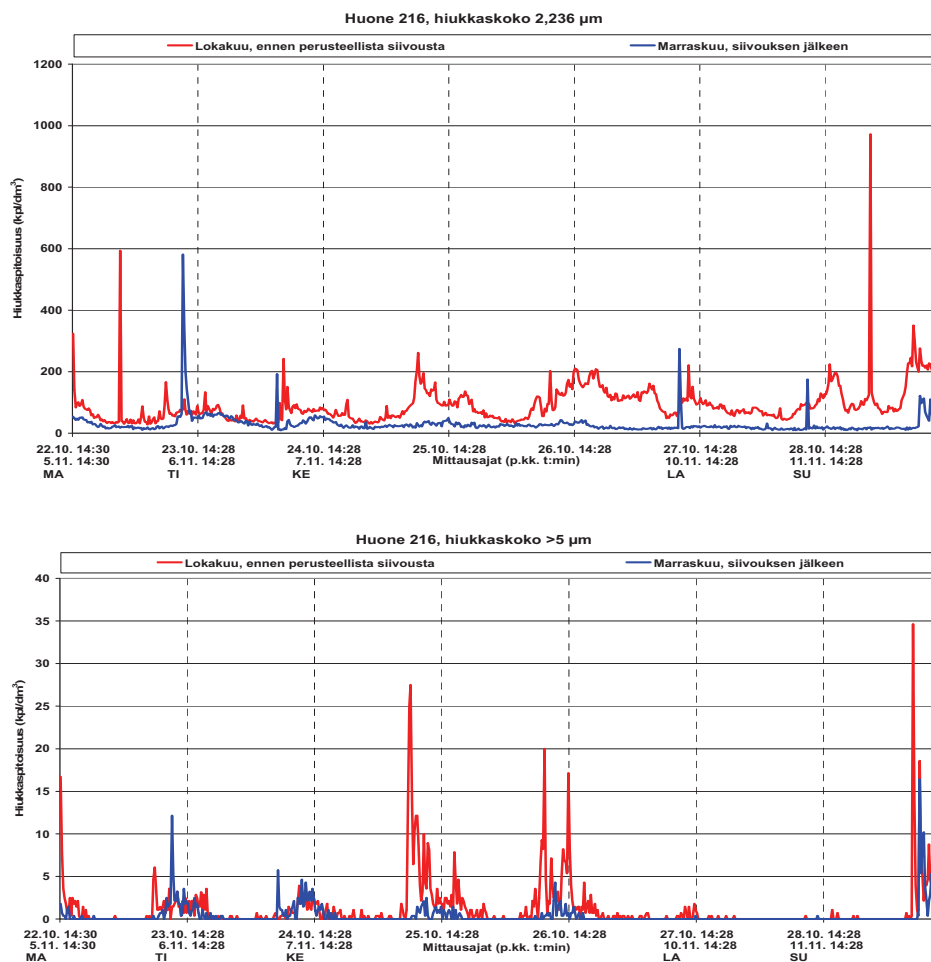
Kuvassa 45 on esitetty huoneen 205  $d_g=2,236 \mu\text{m}$  ja  $d = >5,0 \mu\text{m}$  hiukkasten lukumääräpitoisuudet ennen ja jälkeen huoneen kalusteiden vaihdon. Kalusteiden vaihdon yhteydessä myös huoneiden irtaimisto puhdistettiin perusteellisesti. Kuvassa lokakuun ja marraskuun mittaustulokset on synkronoitu samaan kuvaan siten, että viikonpäivät ja kelloajat ovat aika-akselilla kohdakkain. Siten kuvasta näkyy selkeästi päivittäinen käyttö ja viikonlopun käyttämättömyys. Pelkästään kuvaajien perusteella ei kuitenkaan voi päätellä eroavuuksia eri mittauksien välillä. Pienemmissä kokoluokissa eli  $0,3-0,5 \mu\text{m}$  ja  $0,5-1,0 \mu\text{m}$  oli selkeästi nähtävillä alenema marraskuun mittauksessa. Tämä oli kuitenkin todennäköisesti aiheutunut ulkoilman hiukkaspitoisuuksien alenemisesta.



KUVA 46.  $d_g = 2,236$  ja  $>5,0 \mu\text{m}$  hiukkasten lukumääräpitoisuudet huoneen 211 ilmassa lokakuussa 2007 ennen siivoussaneerausta ja marraskuussa 2007 siivoussaneerauksen jälkeen.



Kuvassa 46 on kuvaa 45 vastaavat mittaustulokset huoneesta 211. Kuvasta näkyy jälleen huoneen käyttö selvästi. Hiukkasten lukumääräpitoisuudet ovat hiukan pienemmät marraskuun mittauksissa eli kalusteiden vaihdon jälkeen. Käytön aiheuttama hiukkasten pitoisuus ilmassa laskee nopeasti käytön loputtua, mikä voi viitata vähentyneeseen hiukkasmäärään pinoilla. Tilanteeseen on kuitenkin saatantanut vaikuttaa huoneen vähäisempi käyttö marraskuun mittauksen aikana. Pienemmissä hiukkaskokoluokissa ero oli selkeä eli marraskuun mittauksen hiukkasten lukumääräpitoisuudet olivat alemmat, mikä saattoi aiheutua ulkoilman vaikutuksesta.

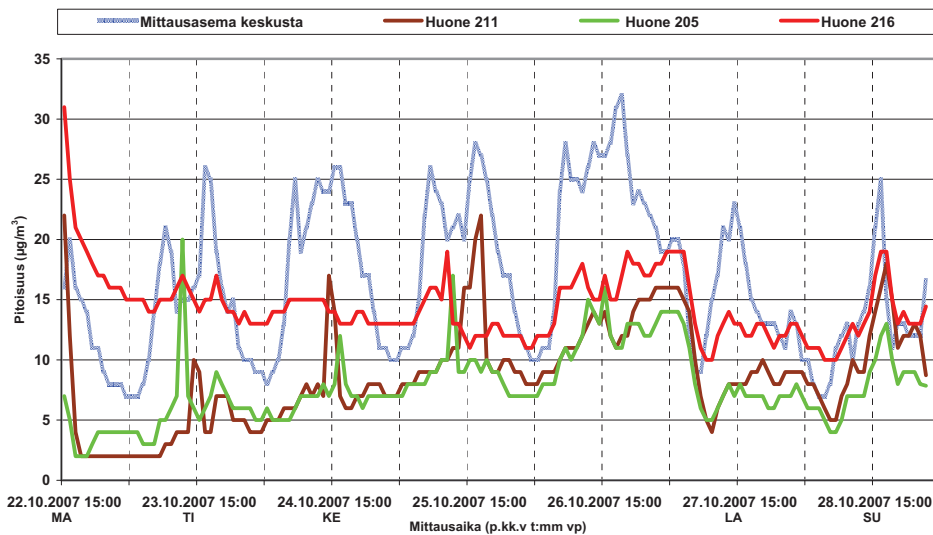


KUVA 47.  $d_g = 2,236$  ja  $>5,0$  µm hiukkasten lukumääräpitoisuudet huoneen 216 ilmassa lokakuussa 2007 ennen siivoussaneerausta ja marraskuussa 2007 siivoussaneerauksen jälkeen.

Kuvassa 47 on huoneen 216  $d_g = 2,236$  ja  $d = >5,0$   $\mu\text{m}$  hiukkas­pitoisuudet ennen huoneen perusteellista siivousta ja siivouksen jälkeen. Marraskuun mittauksissa hiukkasten lukumääräpitoisuudet olivat erittäin alhaiset. Tähän on nähtävissä kolme syytä; huoneen vähäinen käyttö, ulkoilman vaikutus ja perusteellinen siivous.

### 7.5.2.2 Hiukkasten massapitoisuudet (22.10.–29.10.2007 ja 5.11.–12.11.2007)

Koehuoneiden ilman ja ulkoilman hiukkasten massapitoisuudet mitattiin yhtä aikaa hiukkasten lukumäärämittausten kanssa.

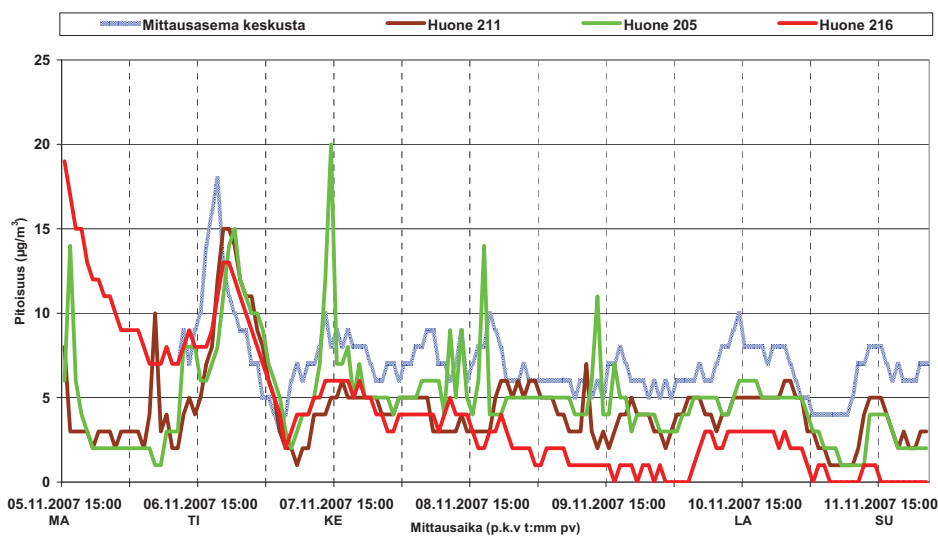


KUVA 48. Koehuoneiden 205, 211 ja 216 sisäilman ja kaupungin mittausaseman ulkoilman  $\text{PM}_{10}$ -pitoisuudet 22.–29.10.2007.

Kuvassa 48 on koehuoneista 205, 211 ja 216 mitatut ja kaupungin mittausasemalta saadut  $\text{PM}_{10}$ -pitoisuudet lokakuun mittausjaksolta ennen siivoussaneerausta. Viikonloppu (la-su) ajoittui päiville 27.–28.10. Kuvan alussa esiintyvät hiukkaspiketit (huoneet 211 ja 216) ovat peräisin laitteiden asennustyöstä. Kuvasta havaitaan selvästi, kuinka ulkoilmamittauksen  $\text{PM}_{10}$ -pitoisuudet vaihtelivat vuorokauden aikojen mukaan. Kuvajaaja on arkisin kaksihuippuinen ja noudattelee likimäärin työmatkaliikenteen frekvenssiä. Työhuoneista mitatut  $\text{PM}_{10}$ -pitoisuudet noudattivat pääasiassa käytön rytmiä, jolloin kuvajaaja on lähinnä yksihuippuinen. Keskustassa olevan mittausaseman tulosten ja huoneista saatujen tulosten välillä havaittiin kohtalainen tai huomattava positiivinen korrelaatio ( $r_s = 0,380 - 0,616$ ,  $n = 153$ ,

$p < 0,01$ ). Huoneiden 205 ja 211 välillä oli voimakas positiivinen korrelaatio. Muilla korrelaatio oli merkityksetön.

Mittaustulosten keskiarvojen erojen merkitsevyys testattiin vielä Mann-Whitneyn U-testillä. Sen mukaan mittausaseman ja huoneen 216 sekä huoneiden 205 ja 211 väliset tulokset erosivat toisistaan merkitsevästi ( $p < 0,05$ ) ja kaikki muut erittäin merkitsevästi ( $p < 0,01$ ). Tulos viittaa siihen, että ulkoilman ja sisäilman  $PM_{10}$ -pitoisuuksien välillä on yhteys, mutta huoneiden pitoisuudet eroavat toisistaan.

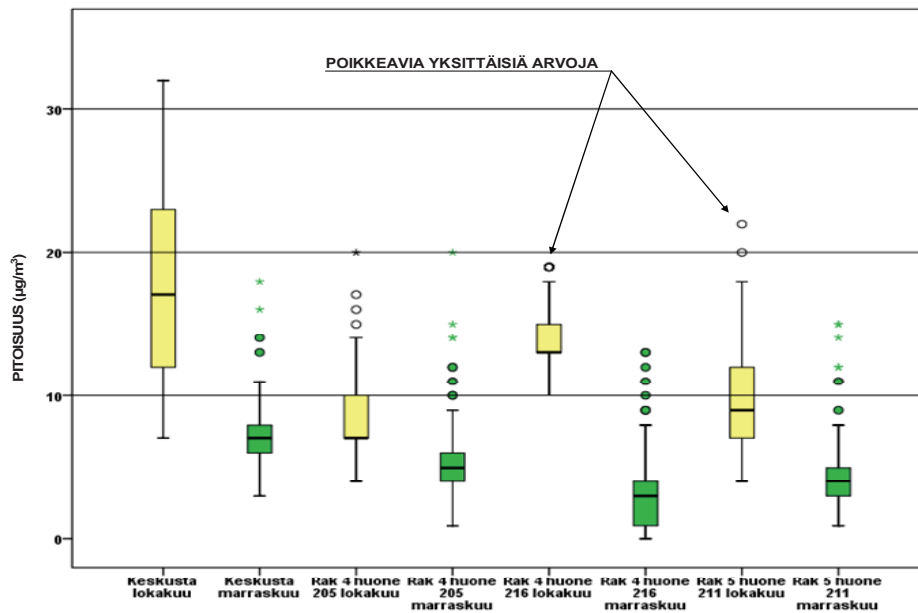


KUVA 49. Koehuoneiden 205, 211 ja 216 sisäilman ja kaupungin mittausaseman ulkoilman  $PM_{10}$ -pitoisuudet 5.-12.11.2007.

Kuvassa 49 on koehuoneiden ja ulkoilman  $PM_{10}$ -pitoisuudet kalusteiden vaihdon (huoneet 205 ja 211) ja perusteellisen siivouksen (huone 216) jälkeen. Viikonloppu (la-su) oli tällä jaksolla 10.-11.11. Yleisesti voidaan todeta, että mitatut arvot olivat erittäin matalat. 6.11.2007 kaikissa koehuoneissa ja ulkoilmassa esiintyvät korkeat pitoisuudet olivat tällä jaksolla poikkeuksellisia. Huoneiden sisäilmatuloksiin ulkoilma vaikutti pienellä viiveellä. Huoneen 216 alhaisiin pitoisuuksiin on saattanut vaikuttaa huoneen vähäinen käyttö perusteellista siivousta enemmän. Keskustassa olevan mittausaseman pitoisuuksien ja huoneiden 205, 211 ja 216 pitoisuuksien välillä havaittiin kohtalainen positiivinen korrelaatio ( $r_s = 0,449 - 0,557$ ,  $n = 133$ ,  $p < 0,01$ ). Huoneiden kesken pitoisuuksien korrelaatiot olivat kohtalaisia tai huomattavia ( $r_s = 0,525 - 0,727$ ,  $n = 133$ ,  $p < 0,01$ ).

Mittaustulosten keskiarvojen erojen merkitsevyys testattiin vielä Mann-Whitneyn U-testillä. Sen mukaan mittausaseman ja huoneiden sekä huoneiden keskinäiset erot olivat erittäin merkitseviä.

Seuraavaksi tutkittiin kuinka PM<sub>10</sub>-mittausten tulokset olivat muuttuneet lokakuun ja marraskuun mittauksissa. Kuvassa 50 on koostettuna kunkin kohteen hiukkaspitoisuudet.



KUVA 50. Koehuoneiden 205, 211 ja 216 sisäilman ja kaupungin mittausaseman ulkoilman PM<sub>10</sub>-pitoisuuksien (µg/m<sup>3</sup>) raja-arvot, kvartiilit ja mediaanit loka- ja marraskuussa 2007.

Lokakuussa 2007 PM<sub>10</sub>-pitoisuudet olivat selkeästi korkeammat kuin marraskuussa. Kaikissa mittauksissa ulkoilman hiukkasten massapitoisuudet olivat sekä lokakuussa että marraskuussa korkeammat kuin huoneiden sisäilmassa. Rakennuksen 4 huoneen 216 sisäilman hiukkasmassapitoisuus pieneni kaikkein eniten ja suhteellisesti enemmän kuin ulkoilman pitoisuus. Ennen siivousta huoneen hiukkasmassapitoisuuden keskiarvo oli tutkimushuoneiden korkein ja siivouksen jälkeen alhaisin. Tämä viittaa siihen, että tämän huoneen perusteellinen siivous on vaikuttanut hiukkasten massapitoisuutta pienentävästi.

Taulukossa 29 on kooste kaikista tämän tutkimusvaiheen mittausten keskiarvoista.

TAULUKKO 29.

Koehuoneiden 205, 211 ja 216 sisäilman ja kaupungin mittausaseman ulkoilman hiukkaspitoisuuksien keskiarvot lokakuussa 2007 (ennen saneerausta) ja marraskuussa 2007 (saneerauksen jälkeen).

	Hiukkaspitoisuus											
	Huone 205			Huone 211			Huone 216			Keskusta (ulkoilma)		
	loka- kuu	marras- kuu	muutos (%)	loka- kuu	marras- kuu	muutos (%)	loka- kuu	marras- kuu	muutos (%)	loka- kuu	marras- kuu	muutos (%)
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) arki klo 17-7	7,4	5,2	-30	7,8	5,2	-33	14,8	5,1	-65	15,2	7,2	-53
Arki klo 7-17 0,3 - 0,5 µm (kpl/dm <sup>3</sup> )	9,6	6,5	-32	10,2	3,7	-64	14,9	4,0	-73	23,4	7,7	-67
arki klo 17-7	13364	8984	-33	27084	18161	-33	16032	7304	-54			
Arki klo 7-17 0,5 - 1,0 µm (kpl/dm <sup>3</sup> )	14777	8163	-45	26155	12265	-53	15914	5837	-63			
arki klo 17-7	663	364	-45	1659	680	-59	859	234	-73			
Arki klo 7-17 1,0 - 5,0 µm (kpl/dm <sup>3</sup> )	805	418	-48	1673	471	-72	879	222	-75			
arki klo 17-7	45,4	47,4	0	127,7	56,2	-56	78,0	22,2	-72			
Arki klo 7-17 >5,0 µm (kpl/dm <sup>3</sup> )	95,5	113,9	19	242,9	76,6	-69	116,8	45,0	-62			
arki klo 17-7	0,5	0,2	-60	0,3	0,3	0	0,3	0,0	-100			
Arki klo 7-17	5,5	7,0	27	11,9	2,3	-81	3,5	1,3	-63			

Kaikki huoneilman ja ulkoilman PM<sub>10</sub>-mittausten keskiarvopitoisuudet (µg/m<sup>3</sup>) alenivat siivoussaneerauksen jälkeen lokakuusta marraskuuhun. Suurin hiukkasten massapitoisuuden alenema oli huoneessa 216. Sen lähtötilanne oli lokakuussa muihin huoneisiin verrattuna selkeästi korkein kun taas marraskuun mittauksissa alhaisin lukuun ottamatta huoneen 211 työajan pitoisuutta. Kaikkien huoneiden hiukkasten massapitoisuudet olivat molemmilla mittausjaksoilla pienemmät kuin ulkoilman. Ulkoilman hiukkasten massapitoisuuden alenema marraskuun mittauksissa vaikeutti siivouksen merkityksen analysointia.

Huoneiden 211 ja 216 sisäilman hiukkasten lukumääräpitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) alenivat kaikissa kokoluokissa. Sitä vastoin huoneessa 205 alenemaa tapahtui ainoastaan alle 1,0 µm hiukkasten määrissä. Huoneen 205 lähtötilanne oli huoneita 211 ja 216 parempi. Kalusteiden vaihto ei parantanut tilannetta, vaan hiukkasten lukumääräpitoisuudet jopa hieman kasvoivat yli 1,0 µm hiukkasissa. Huoneen siivouksen laatu on saattanut olla muita parempi ennen kalusteiden vaihtoa tai vaihdon yhteydessä tehty siivous ei ole ollut riittävän huolellista. Myös huoneen käytön eroilla on voinut olla vaikutusta. Työterveyslaitoksen tekemien tutkimusten mukaan (Salonen ym. 2002) koneellisesti tuotetun toimistohuoneen sisäilman >5,0 µm hiukkaspitoisuus on pääkaupunkiseudulla keskimäärin 10 kpl/dm<sup>3</sup>. Kaikkien huoneiden tulokset jäivät selvästi tämän alle.

Huoneen 216 hiukkasten lukumääräpitoisuudet olivat vain noin puolet huoneen 211 vastaavista. Huoneen 216 hiukkaspitoisuudet alenivat alle huoneen 205 tasojen kun ne lokakuussa olivat selkeästi korkeammat. Huoneet 205 ja 216 sijaitsivat rakennuksessa 4 saman käytävän varrella ja olivat kooltaan samankokoisia yhden hengen huoneita. Tulos viittaa siihen, että huoneen 216 perusteellisella siivouksella oli vaikutusta lejuvien hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuuteen ja vaikutus oli suurempi kuin huoneen 205 kalusteiden vaihdolla. Huoneen 211 kalusteiden vaihdolla oli sen sijaan selkeästi alentava vaikutus hiukkasmäärä- ja massapitoisuuteen.

Huoneiden 211 ja 216 alle 1,0 µm hiukkasten lukumääräpitoisuudet ja PM<sub>10</sub>-massapitoisuudet alenivat työajalla verrattuna muuhun aikaan marraskuun ja osittain lokakuun mittauksissa, mikä viittaa siihen, että ilmanvaihto poistaa tämän kokoluokan hiukkasia tehokkaasti. Kaikkien huoneiden yli 1,0 µm hiukkasten lukumääräpitoisuudet sitä vastoin kasvoivat työaikana sekä lokakuun että marraskuun mittauksissa, mikä oli suureksi osaksi käytön vaikutusta.

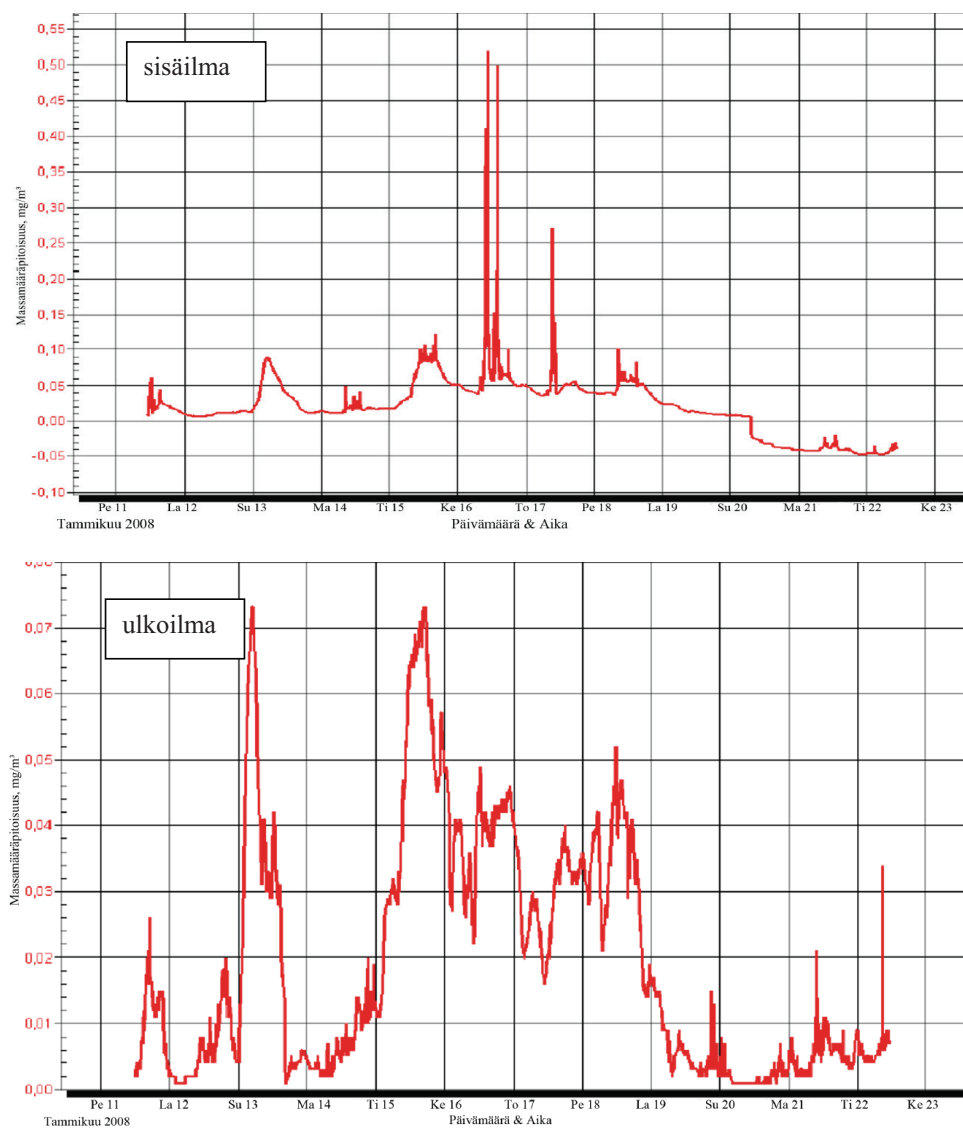
Yhteenvedon voidaan todeta, että ulkoilman hiukkasmäärä- ja massapitoisuudet vaikuttivat sisäilman hiukkaspitoisuuksiin merkittävästi pienissä hiukkaskokoluokissa eli alle 1,0 µm hiukkasissa. Huoneen perusteellinen siivous näytti vähentävän tämän kokoluokan hiukkaspitoisuuksia enemmän kuin kalusteiden vaihto. Tätä suuremmissa hiukkaskokoluokissa ihmisen toiminnot eli tilojen käyttö vaikutti ulkoilmaa enemmän sisäilman hiukkaspitoisuuksiin ja siivouksella pystyttiin vaikuttamaan näiden hiukkasten määriin. Tutkimus antoi viitteitä siivottavuuden parantamisen positiivisista vaikutuksista sekä pintojen että ilman

hiukkasmääriin. Huoneen pintojen ja tavaroiden perusteellinen siivous pienensi ainakin lyhytaikaisesti enemmän hiukkasten pitoisuuksia kuin kalusteiden vaihto helpommin siivottaviin. Tähän on saattanut vaikuttaa se, että huoneen perusteellisella siivouksella huoneeseen jäi hiukkasille enemmän deponoitumispintoja ja hiukkasnieluja. Ennen kalusteiden vaihtoa huoneissa oli saman verran deponoitumispinta-alaa eli n. 90 m<sup>2</sup>/huone. Huoneiden 205 ja 211 deponoitumispinta-ala pieneni kalusteiden vaihdon myötä tasolle n. 70 m<sup>2</sup>/huone, mutta huoneessa 216 se oli edelleen n. 90 m<sup>2</sup>.

### 7.5.2.3 Erillishuoneen tutkimus 11.-22.1.2008

Eräässä Jyväskylän yliopiston toimistohuoneessa tutkittiin siivoussaneerauksen vaikutusta sisäilman hiukkaspitoisuuksiin ja vaikutuksia huoneen käyttäjän kokemaan sisäilman laatuun. Huone oli tavanomaisen kokoinen (n. 10 m<sup>2</sup>) ja perinteisesti kalustettu (mm. avohyllyt) yhden hengen toimistohuone. Huoneen käyttäjällä oli sisäilmaan liitettäviä ärsytysoireita, joiden tarkempi syy oli selvittämättä. Huoneen siivottavuus oli heikko, sillä lähes kaikki tasopinnat olivat täynnä siivoamista estäviä papereita, mappeja yms. tavaraa. Huoneen siivousjärjestelyt käynnistettiin 15.1.2008, jolloin huoneen käyttäjä valmisteli ja merkitsi poisheitettävät ja säilytettävät tavarat. Varsinainen siivous tehtiin 16.1.2008 klo 9.00–13.50 ja 17.1.2008 klo 8.30–10.20. Siivoukseen kuului koko irtaimiston imurointi ja pyyhkiminen sekä tasopintojen pyyhkiminen ja ns. yläpölyjen poisto. Huoneen käyttäjä ei ollut siivouksen aikana paikalla ja siivooja suojautui asianmukaisesti hengityksen suojaimella ja suojavaatetuksella työn aikana. Imurissa käytettiin tavanomaista yleissuodatinta.

Kuvassa 51 on tutkimushuoneesta ja vastaavalta kohdalta huoneen ulkopuolelta ulkoilmasta mitatut PM<sub>10</sub>-pitoisuudet. Huoneen käyttö näkyy selvästi erottuvina hiukkasmassapitoisuuden muutoksina. Erityisesti pitoisuus kasvaa varsinaisen siivouksen aikana ja ylittää hetkellisesti jopa kymmenkertaisesti Sisäilmastoluokitus 2000 asetetun heikoimman S3-luokan raja-arvon. Imurin tehokkaampi suodatus (vähintään HEPA12) olisi todennäköisesti pitänyt hiukkaspitoisuudet alemmalla tasolla. Hiukkasmassapitoisuus jäi varsin korkealle vielä siivouksen jälkeenkin ja seuraavan päivän siivous nosti pitoisuudet jälleen korkealle ja vasta 18.1.2008 työpäivän jälkeen hiukkaspitoisuudet alkoivat laskea ns. normaalille tasolle. 15.1.2008 klo 8.00–18.1.2008 klo 16.00 välisenä aikana PM<sub>10</sub>-pitoisuuksien keskiarvo oli 61 µg/m<sup>3</sup>, mikä ylittää S3-luokan raja-arvon 50 µg/m<sup>3</sup> selvästi. Ulkoilma vaikutti sisäilmaan merkittävästi, mutta sisälähteiden merkitys korostui erityisesti siivouksen aikana.



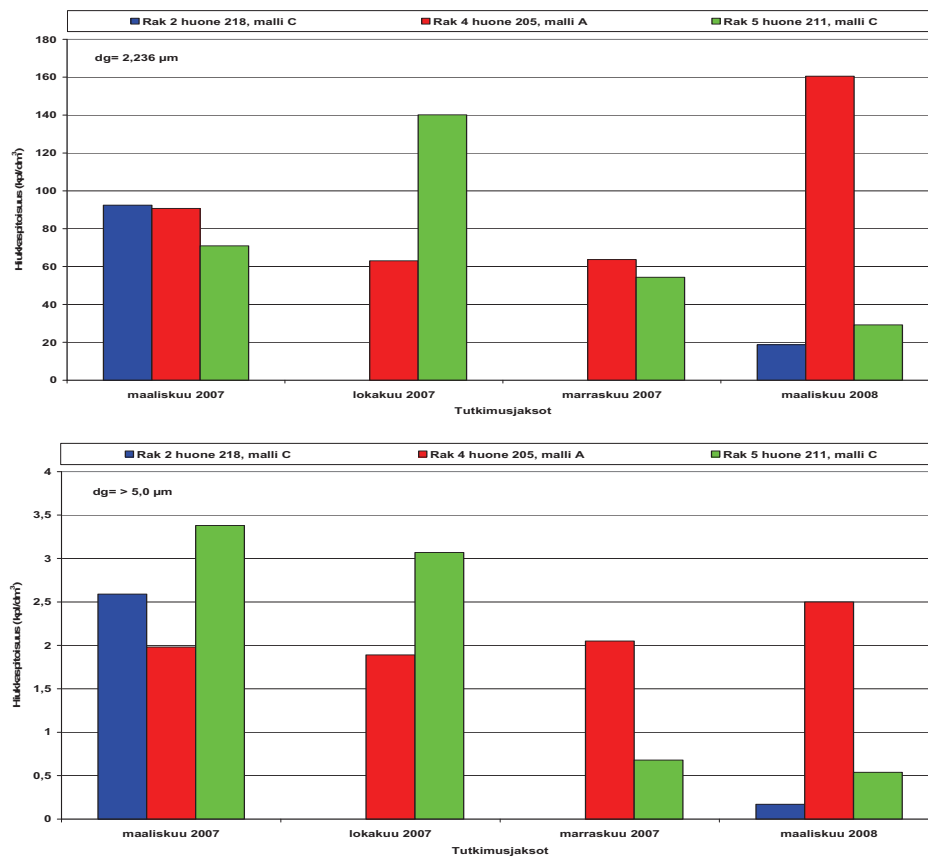
KUVA 51. Huoneen sisä- ja ulkoilman  $PM_{10}$ -pitoisuudet siivoussaneerauksen aikana.

Viikko puhdistustyön jälkeen tehtiin huoneen käyttäjälle kysely, jonka mukaan tehty työ oli selkeästi parantanut kyseisen huoneen sisäilman laatua ja henkilön astmaoireet olivat lieventyneet ja työn tehokkuus kohonnut. Myös muut kyseisessä huoneessa käyneet olivat palautteen mukaan kertoneet parantuneesta ilman laadusta.



### 7.5.2.4 Hiukkasmäärien ajalliset muutokset

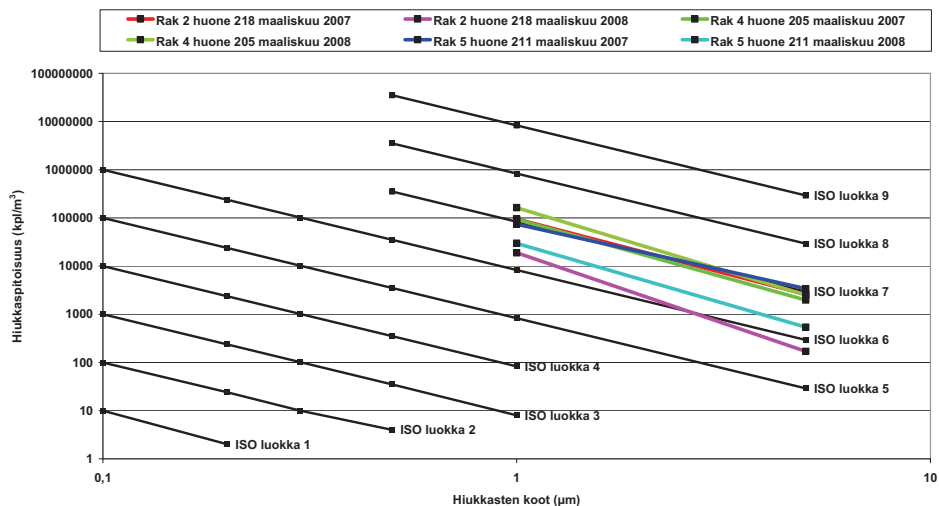
Sisäilman leijuvien hiukkasten ajallisten muutosten tutkimiseksi otettiin lähempään tarkasteluun siivoussaneeratuista huoneista rakennuksen 2 huone 218, rakennuksen 4 huone 205 ja rakennuksen 5 huone 211. Huoneista 205 ja 211 oli hiukkasmittaustulokset kaikilta neljältä tutkimusjaksolta ja huoneesta 218 kahdelta jaksolta. Jokaiselta mittausjaksolta (maaliskuu, lokakuu ja marraskuu 2007 ja maaliskuu 2008) valittiin mukaan yhden viikon pituinen jakso, joka synkronoitiin viikonpäivän ja kellonajan mukaan kohdakkain. Mittauksista otettiin mukaan hiukkaskoot  $d_g = 2,236$  ja  $d > 5,0$   $\mu\text{m}$ , koska ne tämän tutkimuksen perusteella parhaiten kuvasivat sisälähdeperäisiä hiukkaspitoisuuksia. Hiukkasten aikajanakuvaajien perusteella muutoksia ei voitu todentaa, mutta kuvaparin 52 keskiarvokuvaajien perusteella erot hahmottuivat paremmin.



KUVA 52. Huoneiden 205, 211 ja 218  $d_g = 2,236$  ja  $>5,0$   $\mu\text{m}$  leijuvien hiukkasten keskimääräiset lukumääräpitoisuudet eri tutkimusjaksojen aikoina.

Kuvaajien perusteella hiukkasten pitoisuuksissa näyttäisi tapahtuneen alenemista huoneiden 218 ja 211 kohdalla vielä marraskuun 2007 jälkeenkin, mikä voi viitata siivoussaneerauksen vaikutukseen. Huoneen 205 hiukkaspitoisuuksissa oli marraskuun jälkeen nähtävissä kasvua. Vaikka erot olivat suhteellisen pieniä, tulos viittaa siihen, että siivousmalli C voi tuottaa hieman mallia A parempaa puhtautta vähentämällä sisäilman leijuvien hiukkasten määriä.

Huoneiden 205, 211 ja 218 hiukkaskonsentraatioita verrattiin vielä tunnettuihin ohje- ja raja-arvoihin. Kuvassa 53 on näiden huoneiden  $>1,0$  ja  $>5,0$   $\mu\text{m}$  maaliskuun 2007 ja maaliskuun 2008 kuvaajat standardin SFS-EN ISO 14644-1 mukaisiin luokkiin sijoitettuina. On huomattava, että standardi on tarkoitettu puhdistilojen ja puhtaiden alueiden hiukkaspitoisuuden määrittelyyn ja että tehdyt hiukkasmittaukset eivät olleet tapahtuneet standardin mukaisesti. Siten tuloksia voi pitää vain suuntaa antavina.



KUVA 53. Huoneen 205, 211 ja 218  $>1,0$  ja  $>5,0$   $\mu\text{m}$  leijuvien hiukkasten keskimääräiset lukumääräpitoisuudet maaliskuussa 2007 ja maaliskuussa 2008.

Kuvan 53 mukaan huoneiden 211 ja 218 maaliskuun 2008 mittauksen perusteella ne sijoittuvat luokkaan 7 (huone 218 osittain jopa luokkaan 6) kun taas kaikki muut tulokset ovat lähinnä luokkaa 8. Tulos antaa viitteitä siitä, että huoneiden 211 ja 218  $>1,0$  ja  $>5,0$   $\mu\text{m}$  leijuvien hiukkasten konsentraatioissa olisi tapahtunut pienenemistä, mikä saattoi johtua pinnoille deponoituneiden hiukkasten väheneemisestä. Työterveyslaitoksen tutkimusten mukaan toimistotilojen sisäilman  $>5,0$   $\mu\text{m}$  hiukkaspitoisuudet ovat olleet keskimäärin  $10 \text{ kpl}/\text{dm}^3$ . Tähän verrattuna huoneiden 205, 211 ja 218 hiukkaspitoisuudet olivat alhaiset.

### 7.5.3 Hiukkasten ulko-sisäsiirtymä

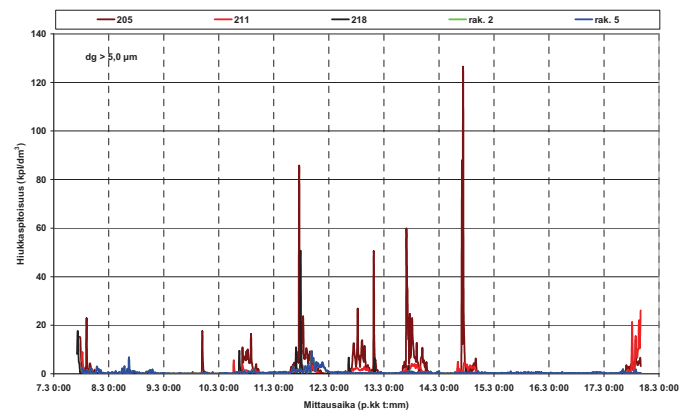
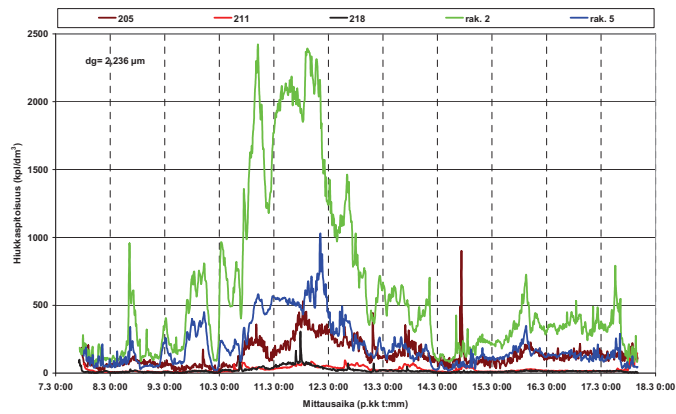
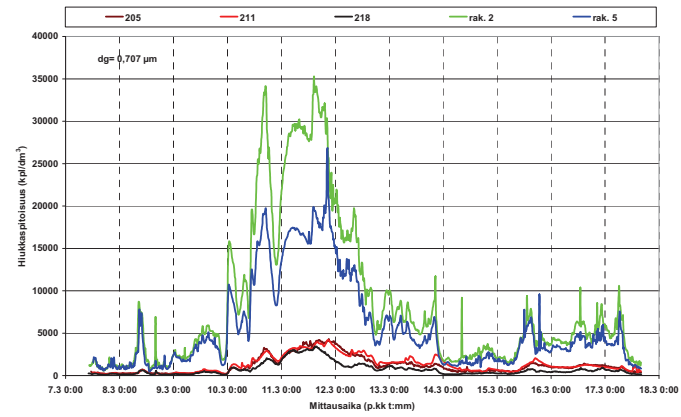
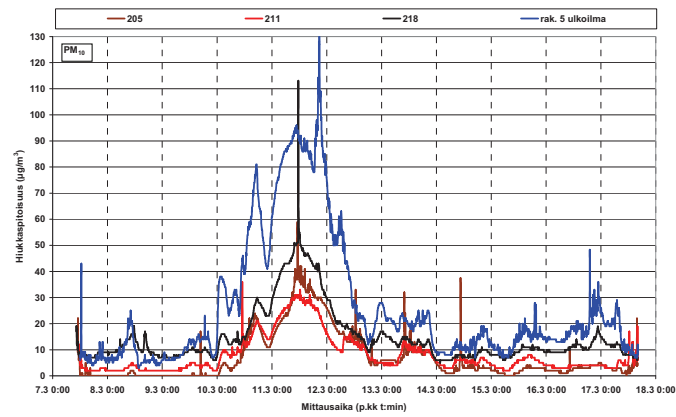
Edellisillä tutkimusjaksoilla oli saatu vahvoja viitteitä siitä, että ulkoilma vaikuttaa sisäilman hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuuksiin. Tämän tutkimusjakson tavoitteena oli tarkentaa hiukkasten ulko-sisäsiirtymästä saatua kuvaa. Tutkimukseen valittiin rakennuksen 2 huone 218, rakennuksen 4 huone 205 ja rakennuksen 5 huone 211. Huoneiden ulko- ja sisäilmasta mitattiin samanaikaisesti hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuudet. Hiukkasmittausten yhteydessä mitattiin koehuoneista myös paine-erot ja hiilidioksidipitoisuudet.

Kuvassa 54 on esitetty koehuoneissa ja rakennusten 2 ja 5 koehuoneiden ulkopuolelta mitatut PM<sub>10</sub>-massapitoisuudet sekä  $d_g = 0,707$ ,  $d_g = 2,236$  ja  $>5,0$   $\mu\text{m}$  hiukkasten lukumääräpitoisuudet mittaussyksyllä 7.-18.3.2008. Viikonloput ajoittuvat päiville 8.-9.3.2008 ja 15.-16.3.2008. PM<sub>10</sub>-hiukkasten massapitoisuudet huoneilmassa seurasivat melko hyvin ulkoilman pitoisuuksia. Tätä vahvistivat vielä taulukon 30 korrelaatioanalyysin tulokset. Huoneiden tuloksissa esiintyy käytön aiheuttamia sisälähdeperäisiä hiukkaspilkkettä. Massapitoisuuksissa näkyy 10.-13.3.2008 välisenä aikana ulkolähdeperäinen pitoisuuksien kasvu. Rakennusten 2 ja 5 ulkoilmamittausten tulokset olivat lähes toisiaan vastaavat. Rakennuksen 5 ulkoilman ja huoneen 211 I/O-suhde oli 0,31.

Kuvasta 54 on nähtävissä  $d_g = 0,707$   $\mu\text{m}$  hiukkasten yhteys ulkoilman ja sisäilman hiukkaspitoisuuksien välillä. Sen sijaan huoneiden käytöllä ei näyttäisi olevan selvää vaikutusta tämän kokoluokan hiukkaspitoisuuksiin. Kuvassa näkyy ulkolähteistä peräisin oleva hiukkaspitoisuuksien voimakas kasvu 10.-13.3.2008 välisenä aikana. Rakennuksen 2 ulkoilman ja huoneen 218 I/O-suhde oli 0,09 ja rakennuksen 5 ulkoilman ja huoneen 211 I/O-suhde 0,23.

Huoneilman  $d_g = 2,236$   $\mu\text{m}$  kuvaajat seuraavat vielä loivasti ulkoilman hiukkaspitoisuuden käyttäytymistä, mutta myös huoneiden käytöllä on vaikutusta hiukkasmääräpitoisuuteen. Esimerkiksi huoneen 205 hiukkaspilkki 14.3.2008 oli todennäköisesti sisälähteestä peräisin.

Kuvasta 54 nähdään myös selvästi, että ulkoilmassa  $> 5,0$   $\mu\text{m}$  kokoluokan hiukkasia on vain vähän. Sitä vastoin sisälähteistä ja käytöstä peräisin olevat hiukkaset muodostavat sisäilmassa valtaosan näistä hiukkasista. Käytön mukainen ja suhteellisen nopea vaihtelu pitoisuuksissa näkyy selkeästi. Mikäli tiloissa ei ole käyttöä, pitoisuudet alenevat nopeasti, kuten on hyvin nähtävillä esimerkiksi viikonloppun 15.-16.3.2008 yhteydessä. Huoneen 205 käyttö oli muita huoneita vilkkaampaa.



KUVA 54.  $d_g = 0,707$ ,  $d_g = 2,236$  ja  $>5,0 \mu\text{m}$  leijuvien hiukkasten lukumääräpitoisuudet sekä PM<sub>10</sub>-massapitoisuudet koehuoneissa 205 (rak. 4), 211 (rak. 5) ja 218 (rak. 2) ja rakennusten 2 ja 5 ulkopuolella 7.-18.3.2008.

Taulukosta 30 nähdään, että  $PM_{10}$ -pitoisuuksissa oli koehuoneiden kesken ja koehuoneiden ja ulkoilman välisissä pitoisuuksissa pääasiassa voimakas positiivinen korrelaatio. Erityisen voimakas korrelaatio oli ulkoilmapitoisuuksien välillä. Tulos viittaa pienten hiukkasten ( $<1,0 \mu\text{m}$ ) suureen osuuteen ulkoilmassa ja niiden tehokkaaseen siirtymään huoneilmaan. Rakennusten tuloilman suodattimen erotusaste oli F7 (vrt. kuva 12), joten osa tämän kokoluokan hiukkasista voi tulla myös tuloilmajärjestelmän kautta.

Kaikilla  $0,5\text{--}1,0 \mu\text{m}$  välisten ( $d_g = 0,707 \mu\text{m}$ ) hiukkasten hiukkaspitoisuuksilla oli voimakas positiivinen korrelaatio keskenään, mikä viittaa vahvasti siihen, että ulkoilma vaikutti sisäilman laatuun (tuloilma ja vuotoilma). Leijuvien hiukkasten pitoisuudet olivat kuitenkin sisätiloissa pienemmät kuin ulkoilmassa.

$1,0\text{--}5,0 \mu\text{m}$  ( $d_g = 2,236 \mu\text{m}$ ) leijuvilla hiukkasilla oli eri mittauspisteissä huomattava tai voimakas positiivinen korrelaatio, mutta se oli selkeästi alempi kuin  $0,5\text{--}1,0 \mu\text{m}$  hiukkasilla. Voimakas positiivinen korrelaatio oli tulosten mukaan rakennusten 2 ja 5 ulkoilmapitoisuuksien välillä. Tulos viittaa siihen, että ulkoilman  $1,0\text{--}5,0 \mu\text{m}$  leijuvat hiukkaset vaikuttivat (lähinnä vuotoilman mukana) jonkin verran sisäilman laatuun, mutta tämän kokoluokan hiukkaspitoisuuksissa paikallisten lähteiden merkitys oli huomattava varsinkin sisätiloissa.

Huoneiden 205 ja 211 välisillä  $>5,0 \mu\text{m}$  hiukkaspitoisuuksilla oli voimakas korrelaatio. Tähän on saattanut vaikuttaa huoneiden käytön rytmi. Muilla huoneilla korrelaatio oli merkityksetön. Ulkoilmapitoisuuksien välinen korrelaatio oli kohtalainen. Rakennuksen 2 ulkoilman ja huoneiden 205 ja 211 väliset korrelaatiot olivat puolestaan kohtalaiset. Tulos viittaa vahvasti siihen, että ulkoilmassa on ainakin ajoittain kokoluokan  $>5,0 \mu\text{m}$  hiukkasia, mutta niiden vaikutus sisäilman laatuun on vähäinen. Toisaalta sisäilman tuloksiin on voinut vaikuttaa mittalaitteiden sijainti likimäärin keskellä huonetta, jolloin hiukkasten deponoitumista on ehtinyt tapahtua ennen mittausvyöhykkeitä.

Taulukko 30. Koehuoneiden 205, 211 ja 218 sisäilman sekä rakennusten 2 ja 5 ulkoilman välisten PM<sub>10</sub>-massapitoisuuksien sekä  $d_g = 0,707$ ,  $d_g = 2,236$  ja  $> 5,0$   $\mu\text{m}$  hiukkasten lukumääräpitoisuuksien korrelaatiot ( $r_s$ , PM<sub>10</sub> n = 2931, muut n = 976) 7.-18.3.2008.

PM <sub>10</sub>				
Huoneet	211 (sisä)	218 (sisä)	Rak. 2 (ulko)	Rak. 5 (ulko)
205 (sisä)	0,894	0,756	0,838	0,854
211 (sisä)		0,722	0,828	0,831
218 (sisä)			0,909	0,893
Rak. 2 (ulko)				0,975
$d_g = 0,707$ $\mu\text{m}$				
Huoneet	211 (sisä)	218 (sisä)	Rak. 2 (ulko)	Rak. 5 (ulko)
205 (sisä)	0,967	0,933	0,866	0,858
211 (sisä)		0,898	0,846	0,836
218 (sisä)			0,943	0,931
Rak. 2 (ulko)				0,982
$d_g = 2,236$ $\mu\text{m}$				
Huoneet	211 (sisä)	218 (sisä)	Rak. 2 (ulko)	Rak. 5 (ulko)
205 (sisä)	0,786	0,674	0,632	0,552
211 (sisä)		0,657	0,623	0,555
218 (sisä)			0,875	0,797
Rak. 2 (ulko)				0,903
$> 5,0$ $\mu\text{m}$				
Huoneet	211 (sisä)	218 (sisä)	Rak. 2 (ulko)	Rak. 5 (ulko)
205 (sisä)	0,831	0,189	0,388	0,216
211 (sisä)		0,174	0,359	0,167
218 (sisä)			0,148	0,120
Rak. 2 (ulko)				0,446

Mittaustulosten keskiarvojen erojen merkitsevyys testattiin vielä Mann-Whitneyn U-testillä. Sen mukaan ulkoilman ja huoneiden sekä huoneiden keskinäiset erot olivat erittäin merkitseviä eli tutkittujen kohteiden ilman hiukkasmassa- ja lukumääräpitoisuudet erosivat korrelaatioista huolimatta toisistaan.

Hiukkasten ulko-sisäsiirtymän tarkempaa tutkimista varten valittiin rakennuksen 5 huoneen 211 mittausdatasta yhden arkivuorokauden pituinen jakso (perjantai 14.3.2008), jolloin huoneen käyttö on ollut tavanomaista. Kuvan 55 mukaan huoneen 211 sisäilman PM<sub>10</sub>-pitoisuus noudattelee varsin hyvin ulkoilman hiukkasten massapitoisuuden muutoksia. Tulos viittaa pienten (<1,0  $\mu\text{m}$ ) hiukkasten suureen osuuteen hiukkasten massapitoisuudesta ja niiden hyvään ulko-sisäsiirtymään (tuloilman suodattimen erotusaste F7).

0,3 - 0,5  $\mu\text{m}$  ( $d_g=0,387 \mu\text{m}$ ) hiukkasten lukumääräpitoisuus noudattelee myös varsin hyvin ulkoilman hiukkasten pitoisuusmuutoksia n. 0,5-1,0 tunnin viiveellä. Sisäilman hiukkaspitoisuus oli tarkastelujakson aikana keskimäärin vähän yli puolet ulkoilman hiukkaspitoisuudesta (I/O-suhde oli 0,55). Tämän kokoluokan hiukkasilla on tutkimuksen mukaan tehokas ulko-sisäsiirtymä.

Sisäilman hiukkaskokoluokan 0,5-1,0  $\mu\text{m}$  ( $d_g=0,707 \mu\text{m}$ ) lukumääräpitoisuus noudattelee loivasti ulkoilman hiukkaspitoisuuden muutoksia. Sisälähteiden vaikutus alkaa jo lievästi näkyä tämän kokoluokan hiukkaspitoisuuksissa. Sisäilman hiukkaspitoisuus oli tarkastelujakson aikana lähes puolet ulkoilman pitoisuudesta (I/O-suhde oli 0,48). Tämän kokoluokan hiukkasilla on kohtalainen ulko-sisäsiirtymä.

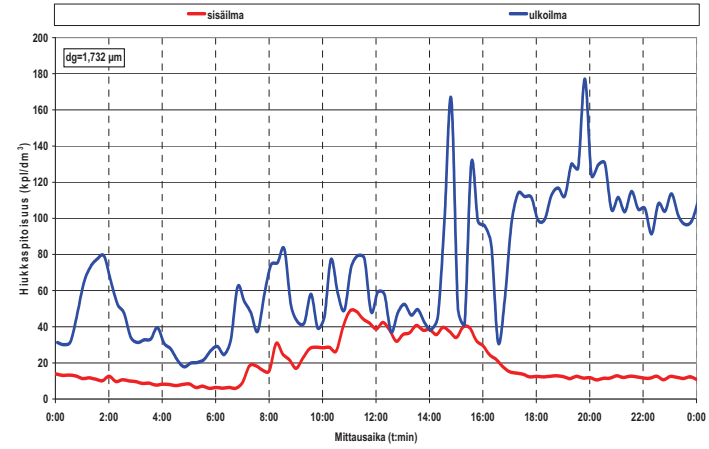
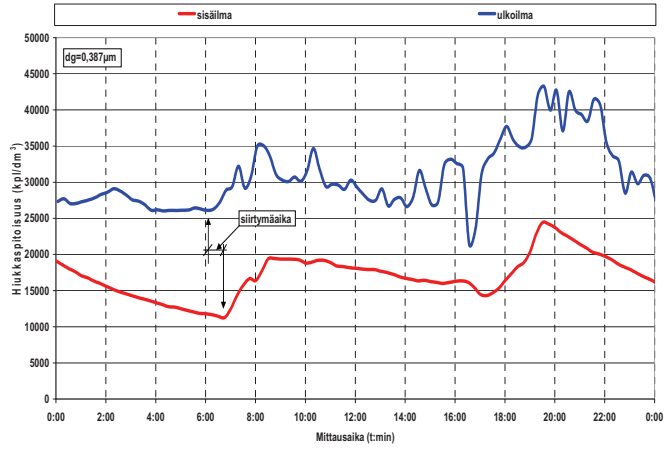
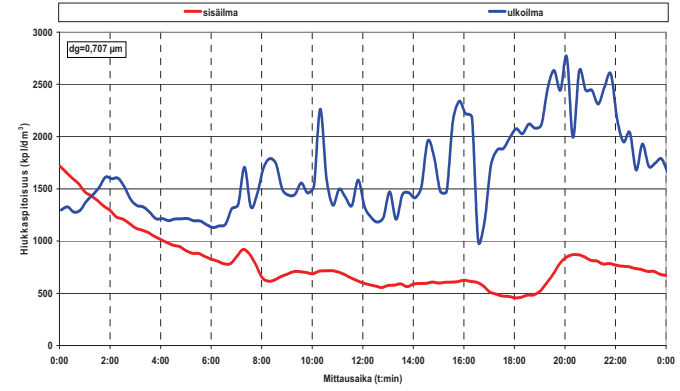
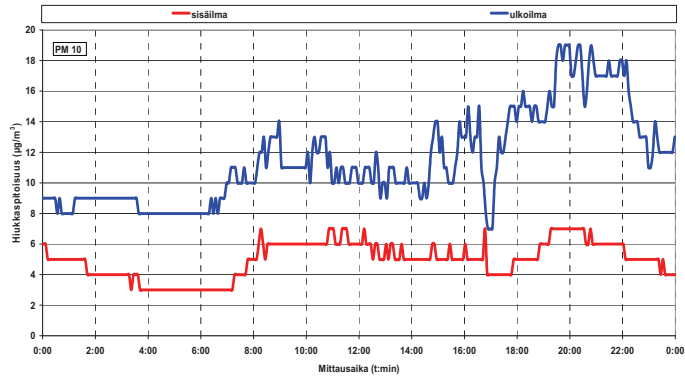
Hiukkaskokoluokan 1,0-3,0  $\mu\text{m}$  ( $d_g=1,732 \mu\text{m}$ ) kuvaajien mukaan ulkoilma ei vaikuttanut juurikaan sisäilman hiukkaspitoisuuksiin vaan sisäilman hiukkaspitoisuuksien muutokset olivat sisälähdeperäisiä. I/O-suhde oli 0,27. Kaikki hiukkaset eivät ehdi deponoitua pinnoille työaikojen ulkopuolella. Laskennallisesti hiukkasten tulisi ehtiä deponoitua ja ilmiö saattaa johtua siitä, että huoneessa on jonkin verran vähintäänkin laminaarisia ilmavirtauksia ja myös siitä, että vuotoilmaa ja niiden mukana hiukkasia saattaa virrata huoneeseen. Saatu tulos viittaa siihen, että tämän kokoluokan hiukkasten ulko-sisäsiirtymä on kuitenkin vain vähäinen.

Hiukkaskokoluokan 3,0-5,0  $\mu\text{m}$  ( $d_g=3,873 \mu\text{m}$ ) kuvaajista nähdään, että ulkoilma ei vaikuttanut sisäilman hiukkaspitoisuuksiin vaan sisäilman hiukkasten lukumääräpitoisuuksien muutokset olivat sisälähdeperäisiä. Kaikki hiukkaset ehtivät deponoitua pinnoille työaikojen ulkopuolella. Tämän perusteella yli 3,0  $\mu\text{m}$  hiukkasilla ei ole ulko-sisäsiirtymää tai se on hyvin vähäistä.

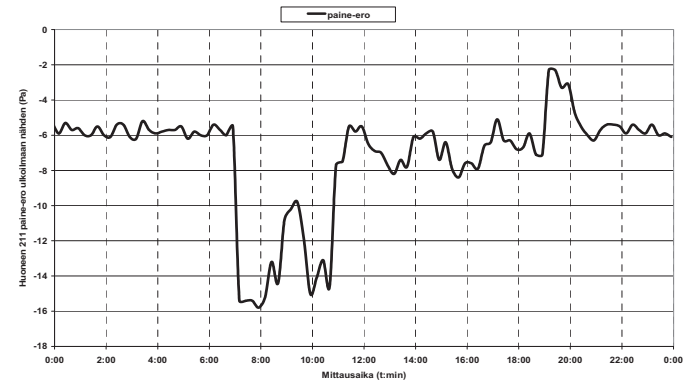
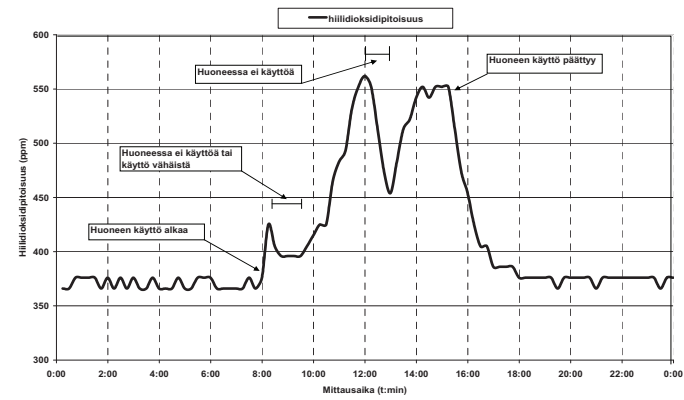
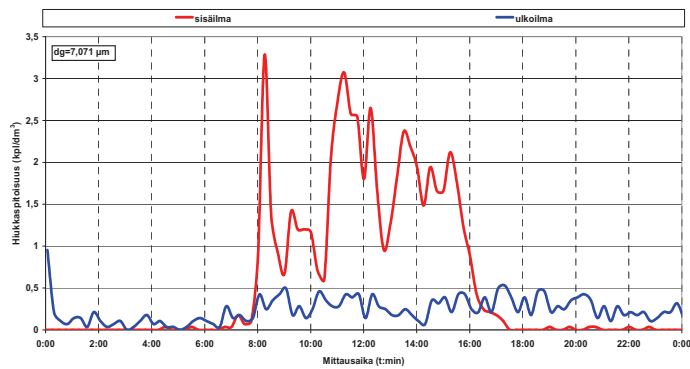
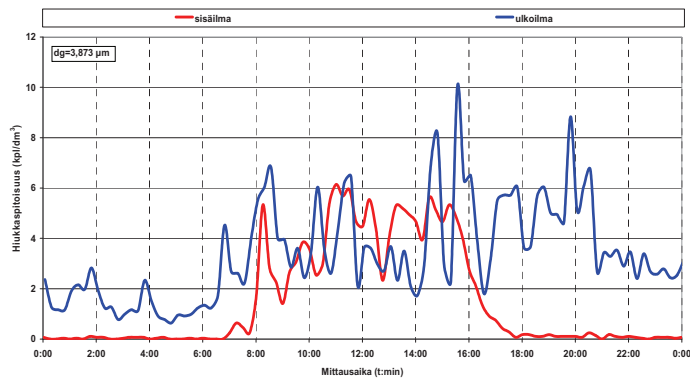
Hiukkaskokoluokan 5,0-10,0  $\mu\text{m}$  ( $d_g=7,071 \mu\text{m}$ ) kuvaajista nähdään selkeästi, että tämän kokoluokan hiukkasia on ulkona vain vähän ja sisätiloissa käytön vaikutus näkyy hyvin. Hiukkasten ulko-sisäsiirtymää ei ole havaittavissa.

Sisäilman hiilidioksidipitoisuus kuvaa hyvin huoneen käyttöä. Tätä tukee myös koko mittausjakson hiilidioksidipitoisuustulokset, joiden kuvaaja oli muodoltaan lähes identtinen yli 3,0  $\mu\text{m}$  hiukkasten lukumääräpitoisuuksien kuvaajien kanssa. Tutkimuspäivänä huone on ollut käytössä n. klo 8.00 - 15.20. Tauot erotuvat selvästi ja kun huonetta ei käytetä pitoisuudet laskevat nopeasti tasolle n. 370 ppm.

Kuvan 55 viimeisessä osassa on esitetty tutkimushuoneen ja ulkoilman väliset paine-erot. Työajan ulkopuolella paine-erot ovat n. 6 Pa ja huomionarvoista on se, että ilmanvaihtokoneiden käynnistyminen n. klo 7.00 aiheuttaa lyhytaikaisesti n. 10 Pa:n alipaineisuuden lisääntymisen. Alipaineisuus on kuitenkin suhteellisen vähäinen eikä se näytä vaikuttaneen hiukkaspitoisuuksiin.







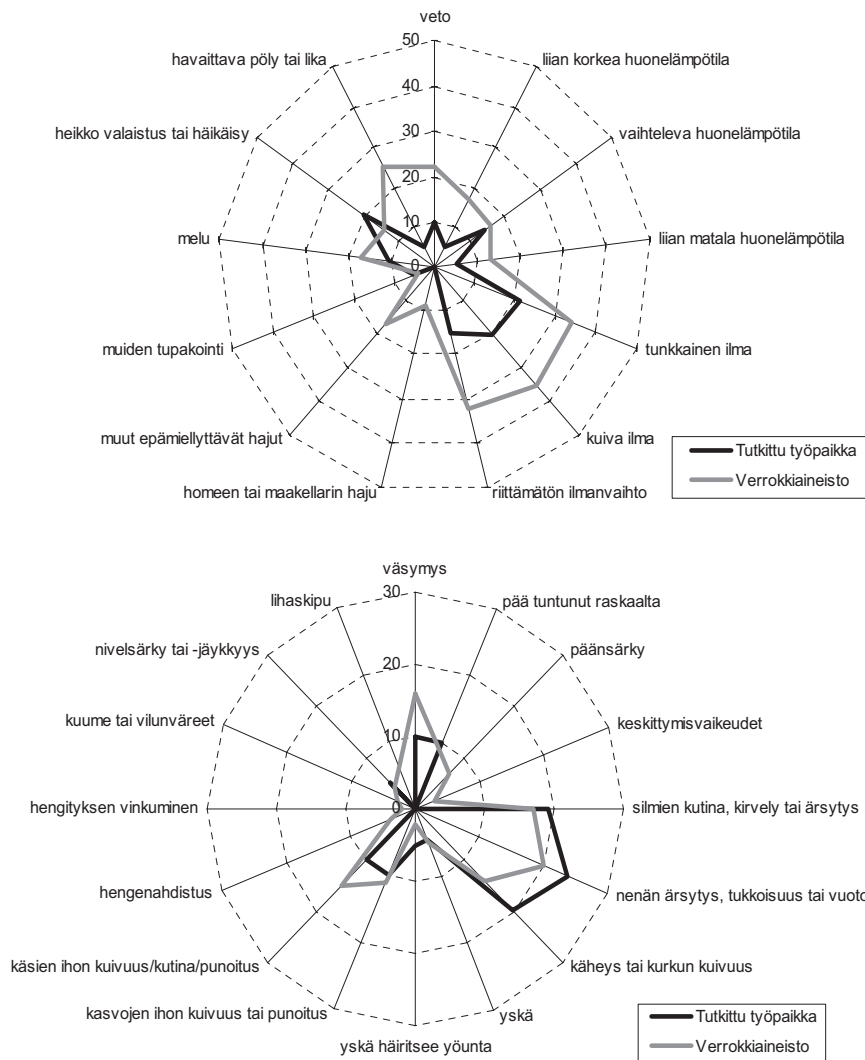
KUVA 55. Leijuvien hiukkasten massa- ja lukumääräpitoisuudet koehuoneen 211 sisäilmassa ja huoneen ulkopuolella ulkoilmassa, huoneen hiilidioksidipitoisuudet sekä huoneen ja ulkoilman väliset paine-erot 14.3.2008.

Tutkimushuoneiden (205, 211 ja 218) paine-eromittausten tulokset olivat vastaavanlaiset edellisen vuoden vastaavan ajan mittauksiin verrattuna eli huoneet olivat lievästi alipaineisia ulkoilmaan nähden. Tämä mahdollistaa käytännössä mittauksissa saadut pienhiukkasten siirtymät ulkoilmasta sisäilmaan muutakin reittiä kuin ilmanvaihdon kautta. Otollisin tilanne ulko-sisäsiirtymälle on silloin kun ilmanvaihto on poissa päältä ja vain ns. likaiset poistot (wc -tiloissa yms.) ovat päällä. Tällöin rakennuksiin saattaa muodostua normaalitilannetta suurempi alipaineisuus, joka imee rakenteiden rakojen ja epätiivelyskohtien kautta hiukkasia ulkoilmasta sisätiloihin päin.

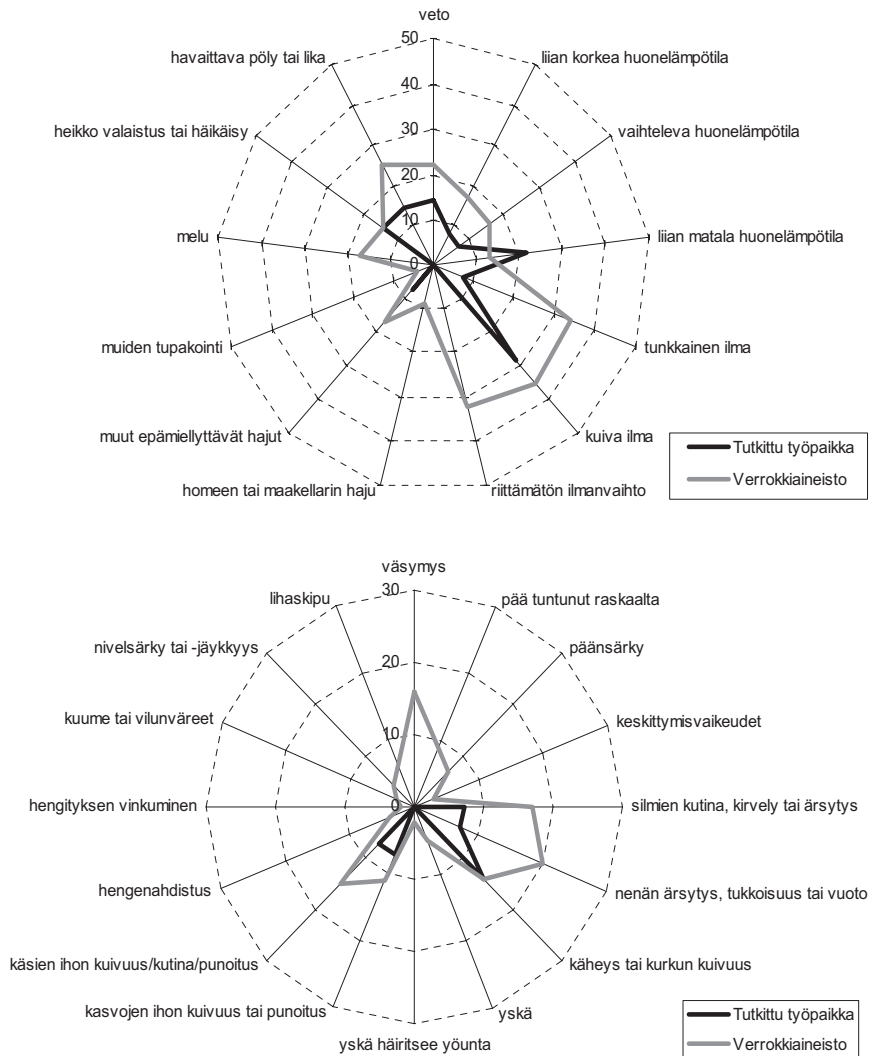
## 7.6 Sisäilmastokysely

Työterveyslaitoksen sisäilmastokysely (Örebro-kysely) tehtiin maaliskuussa 2007 kaikkiaan kuudessa kohteessa eli kaikissa tutkimusrakennuksissa 1-5 ja verrokki-na toimineessa rakennuksessa X. Näistä viimeksi mainittu oli kohde, jossa ei aiemmin ollut todettu minkäänlaisia sisäilmaongelmia. Sisäilmastokyselyn tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako valittu siivousmenetelmä toisaalta koettuun sisäilman laatuun ja toisaalta koettuihin oireisiin. Lisäkysymyksillä haluttiin selvittää, vaikuttaako valittu siivousmenetelmä työn tehokkuuteen kohteiden henkilöiden kokemana. Tutkimus lähetettiin sähköpostikyselynä kaikille rakennuksissa työskennelleille henkilöille.

Kuvassa 56 on esitetty yhteenveto rakennuksen 1 kyselyn tuloksista. Vastauksia saatiin yhteensä 21 kpl, mikä oli 58 % rakennuksen työntekijöistä. Ensimmäinen kuva tarkoittaa vastaajien työympäristössään viikoittain kokemien sisäilmahaittojen jakaumaa. Jälkimmäinen kuva puolestaan esittää vastaajien työympäristöönsä liitettävien oireiden viikoittaista jakaumaa. Vastaukset oli pyydetty kohdistamaan kolmen viimeksi kuluneen kuukauden ajalle. Kuvissa tumma yhtenäinen viiva tarkoittaa kyseisen rakennuksen tuloksia ja harmaa yhtenäinen viiva verrokkiaineistona käytetyn Työterveyslaitoksen yli 11000 kyselystä keräämän tausta-aineiston keskimääräisiä tuloksia. Rakennuksen 1 työympäristökysymyksissä valitettiin vertailuaineistoa enemmän heikkoa valaistusta ja häikäisyä. Oirekysymyksissä nousivat vastaavasti esille silmäoireet (kutina, kirvely ja ärsytys) ja nenän oireilu (ärsytys, tukkoisuus tai vuoto) sekä äänen käheys ja kurkun kuivuus. Samoin yskän koettiin häiritsevän yönä hiivenen enemmän kuin vertailuaineistossa. Kaikki nämä oireet sopivat yhteen sen kanssa, että tuloilmajärjestelmässä osoitettiin olevan merkittävä pitoisuus mineraalikuitua.



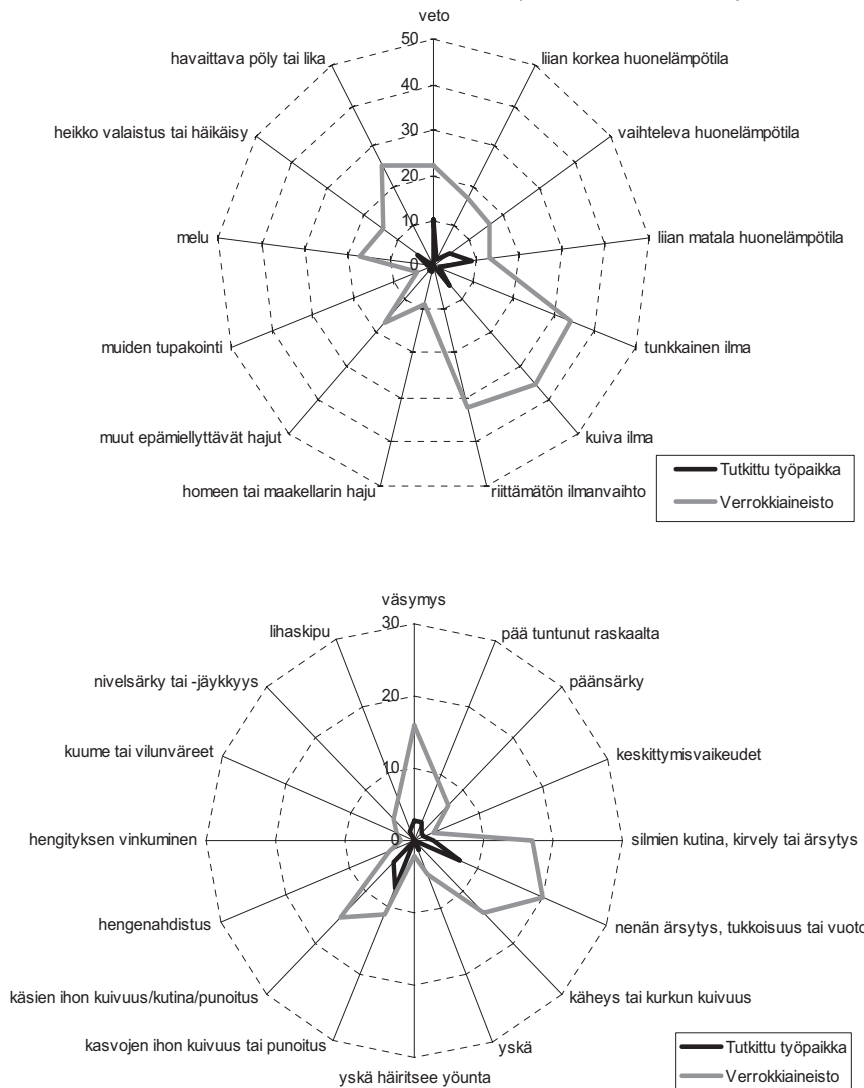
KUVA 56. Rakennuksen 1 kyselytutkimuksen tulokset. Ensimmäinen kuva esittää tuloksia työympäristöstä ja jälkimmäinen koettuja oireita.



KUVA 57. Rakennuksen 2 kyselytutkimuksen tulokset.

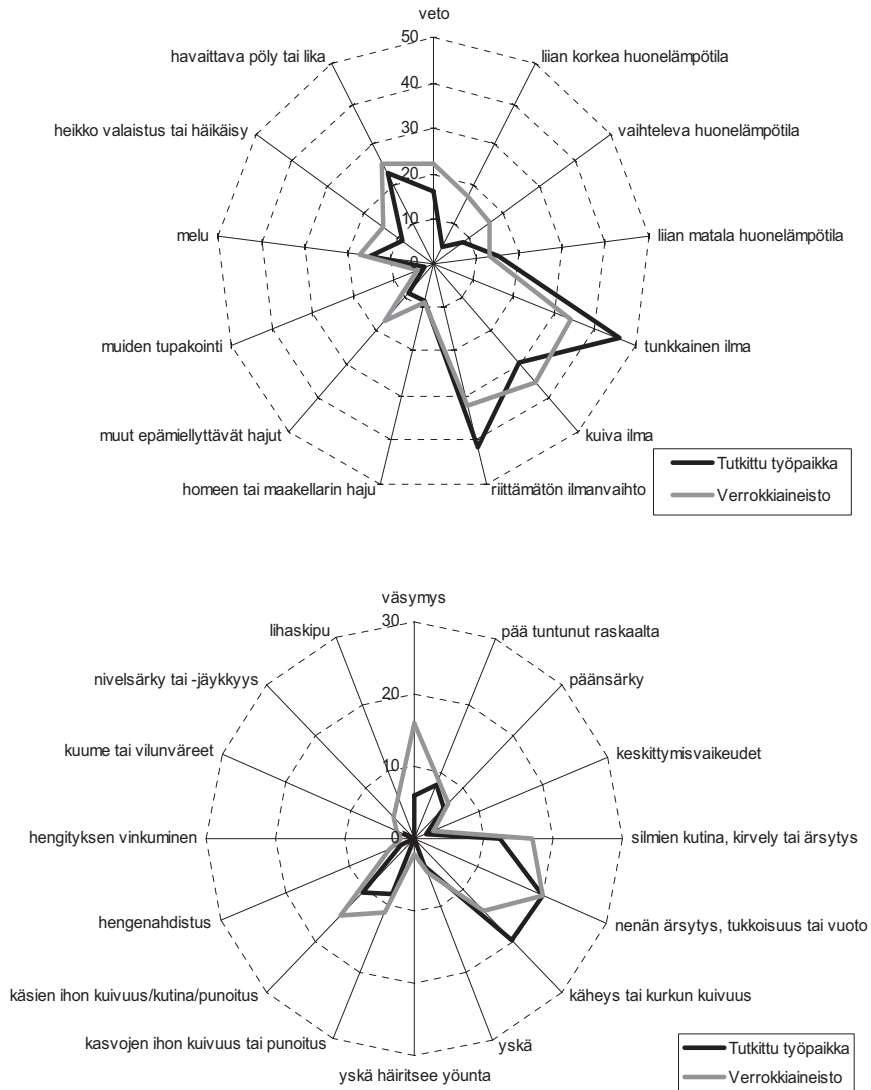
Rakennuksen 2 kyselyyn vastanneita oli ainoastaan 14, joka vastasi vain 39 % rakennuksen työntekijöistä (kuva 57). Työympäristökysymyksissä vertailuaineistoa enemmän valituksia tuli ilmi ainoastaan liian matalasta lämpötilasta ja heikosta valaistuksesta. Oirekysymyksissä oltiin kaikissa selvästi vertailuarvoja alemmalla tasolla. Matalat lämpötilat vaativat lähinnä rakennuksen korjausten jälkeistä

säätöä ja tasapainotusta, jota on sittemmin tehtykin. Valaistuksen ongelmat liittyivät rakennuksen arkkitehtoniseen ilmeeseen, johon on vaikea löytää ratkaisua.



KUVA 58. Rakennuksen 3 kyselytutkimuksen tulokset.

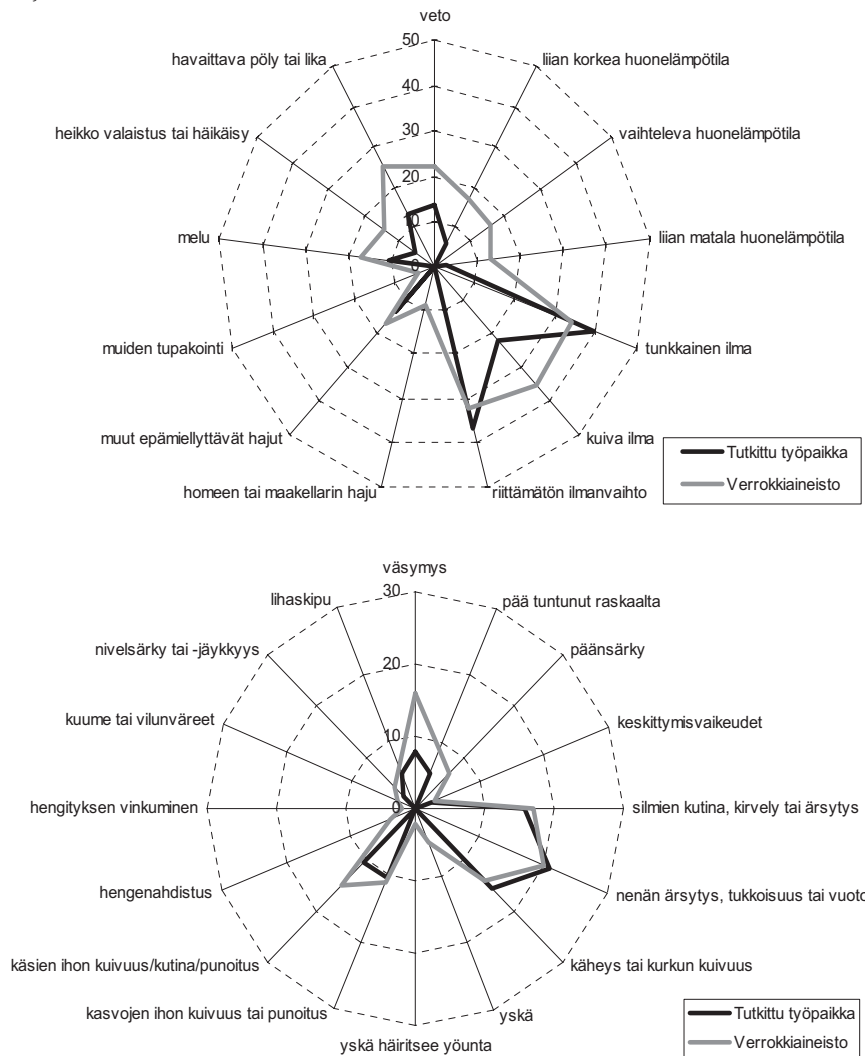
Rakennuksen 3 vastauksia kyselyyn saatiin yhteensä 70 kpl, mikä edusti 68 % koko rakennuksen työntekijämäärästä (kuva 58). Tulokset sekä työympäristön että oireiden suhteen ovat poikkeuksellisen hyvät, eikä tämän pohjalta ole nähtävissä mitään erityisiä ongelmia.



KUVA 59. Rakennuksen 4 kyselytutkimuksen tulokset.

Rakennuksen 4 vastauksia saatiin yhteensä 50 kpl eli 49 % rakennuksen työntekijämäärästä (kuva 59). Tämän rakennuksen tulokset olivat työympäristökysymysten osalta lähes identtiset rakennuksen 5 kanssa eli vertailuaineistoon verraten hivenen enemmän esiintyi kokemuksia tunkkaisesta ilmasta ja riittämättömästä ilmanvaihdosta. Muista poikkeavasti 24 % vastaajista raportoi havaittavasta pölystä tai liasta, mikä saattaa osaksi selittää sen, että kurkun ärsytysoireita oli ra-

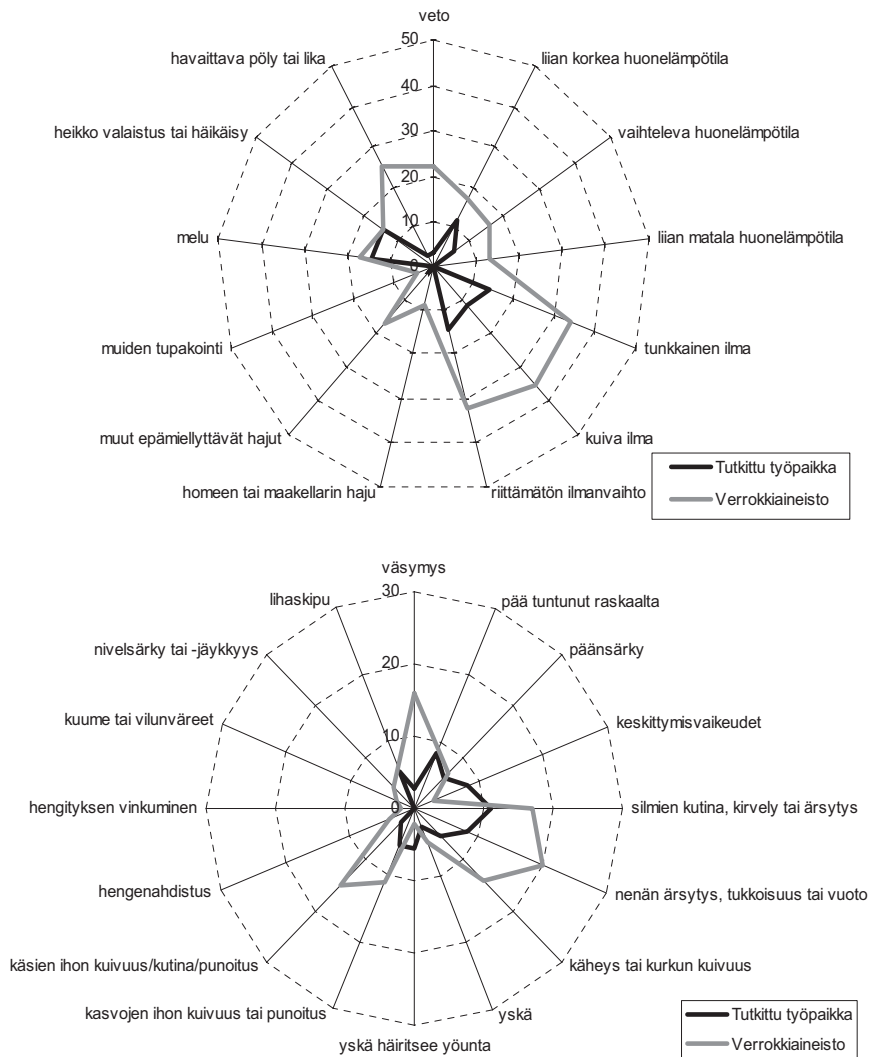
kennuksessa 4 hieman enemmän kuin rakennuksessa 5. Nämä rakennukset olivat toistensa kaltaisia sekä rakenteiltaan, iältään että tekniikoiltaan, joten kyselyn tulos oli jokseenkin odotettu. Ilmanvaihdon osuus tuloksiin oli ilmeinen.



KUVA 60. Rakennuksen 5 kyselytutkimusten tulokset.

Rakennuksen 5 vastauksia saatiin yhteensä 38 kpl eli 70 % rakennuksen työntekijöistä (kuva 60). Työympäristössä koettiin vertailuaineistoon verraten hieman enemmän tuntemuksia tunkkaisesta ilmasta ja riittämättömästä ilmanvaihdosta. Huomion arvoista oli se, että pölyn ja lian kokemuksia raportoitiin vain puolet

rakennuksen 4 määrästä. Oireiden osalta korostuivat silmien, nenän ja kurkun ärsytysoireet, joita oli hieman vertailuaineistoa enemmän. Puutteet rakennuksen ilmanvaihdossa voivat selittää koettuja oireita.



KUVA 61. Rakennuksen X kyselytutkimusten tulokset.

Verrokkina olleen rakennuksen X tulokset ovat kuvassa 61. Vastauksia kyselyyn saatiin yhteensä 36 kpl, mikä oli 70 % lähetetyn kyselyn määrästä. On huomattava, että kysely suunnattiin tässä rakennuksessa vain yhteen osastoon, jonka henkilös-



tö oli siirretty eräästä toisesta rakennuksesta sisäilmaongelmien vuoksi väistöiloihin. Työympäristöpuolella ainoastaan heikko valaistus ja häikäisy nousivat vertailuaineiston tasolle. Muuten tilanne koettiin hyväksi. Oireiden osalla keskittymisvaikeudet ja unta häiritsevä yskä oli vertailuaineistoa yleisempää, mutta kuitenkin hyvin vähäistä. Keskittymisvaikeuksia voi ainakin osaksi selittää se, että kyseinen yksikkö työskenteli tutkimuksen aikana avokonttoritilassa aiempien omien henkilöhuoneiden sijasta.

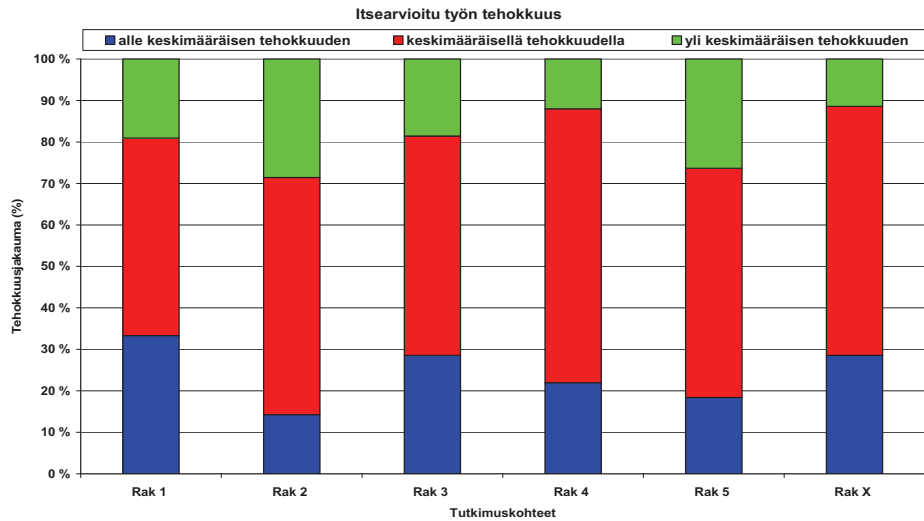
Yhteenvedona voidaan sanoa, että siivoustopojen vertailtavuuteen kyselyissä saadut vastaajien kokemukset työympäristöolosuhteista ja oireista saattoivat vaikuttaa ainoastaan rakennusten 1, 4 ja 5 osalta. Kaikissa rakennuksissa oli kyseessä kuitenkin suhteellisen ongelmattomat sisäilmastot.

## 7.7 Työterveystilastot

Kaikkien tutkimusrakennusten henkilöstön työterveyshuollossa, lääkärin vastaanotolla käyntien syyt ja niiden mahdolliset yhteydet työympäristöön selvitettiin vuosilta 2005–2008. Selvityksen teki työterveyshuolto anonyymisti tilastoidusta aineistostaan. Käyntien syyt jaettiin yhteensä 14 pääluokkaan, joista lähempään tarkasteluun otettiin hengityselin-, silmä- ja iho-oireisiin sekä varsinaisiin sairauksiin liittyneet käynnit, joiden voidaan katsoa parhaiten kuvaavan työtilojen sisäilmaolosuhteisiin mahdollisesti liittyviä muutoksia. Aineistosta selvitettiin lisäksi kunkin oireryhmän mahdollinen yhteys henkilöiden työympäristöön. Lääkärissä käyntejä oli tarkastelujaksolla yhteensä 1352 ja henkilöitä 458. Aineistosta pystyttiin löytämään ainoastaan kymmenen henkilöä, joiden oirehdinta saattoi olla yhteydessä työympäristöön. Kahdella oli lisäksi kyseessä ammattitautiepäily. Kaikki tapaukset liittyivät hengityselinoireisiin tai –sairauksiin ja ne jakaantuivat eri rakennuksiin. Tehdyn tarkastelun mukaan missään tutkimusrakennuksessa ei tullut esille sisäilmaongelmiin viittaavaa oirehdintaa tai sairastavuutta. Päätelmän luotettavuutta heikentää se, että henkilöstön mahdollisesti käyttämät työterveyshuollon ulkopuoliset terveyspalvelut eivät näy tilastoissa.

## 7.8 Työn tehokkuus

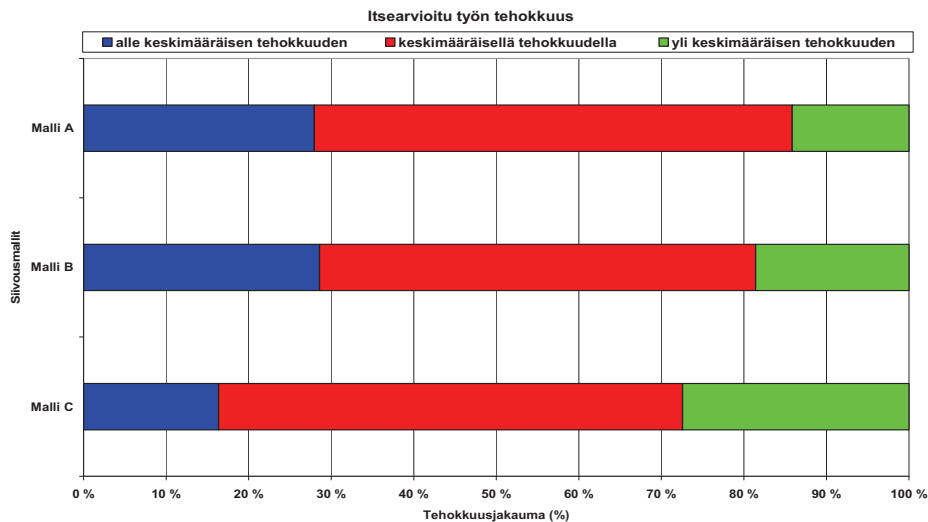
Työterveyslaitoksen kyselytutkimuksen (Örebro-kyselytutkimuksen lisäkysymykset) yhteydessä maaliskuussa 2007 selvitettiin vastaajien kokemaa oman työn tehokkuutta. Kysymyksessä tiedusteltiin millä tehokkuudella vastaaja on omasta mielestään työskennellyt viimeisten kahden viikon aikana.



KUVA 62. Itsearvioitu työn tehokkuus rakennuksittain.

Kuvassa 62 on vastaukset koottu rakennuksittain. Kuvan perusteella rakennuksissa 2 ja 5 näyttäisi työn tehokkuus olevan hieman muita parempaa, mutta tilastollisesti tarkasteltuna  $\chi^2$ -testillä saatiin testisuureen arvo  $\chi^2 = 8,12$  ( $p = 0,617$ ) eli merkitsevyyseroja eri rakennusten välillä ei ole.

Kyselyn tuloksia tarkasteltiin myös rakennuksissa käytettyjen siivousmallien suhteen (kuva 63).



KUVA 63. Itsearvioitu työn tehokkuus siivousmalleittain.

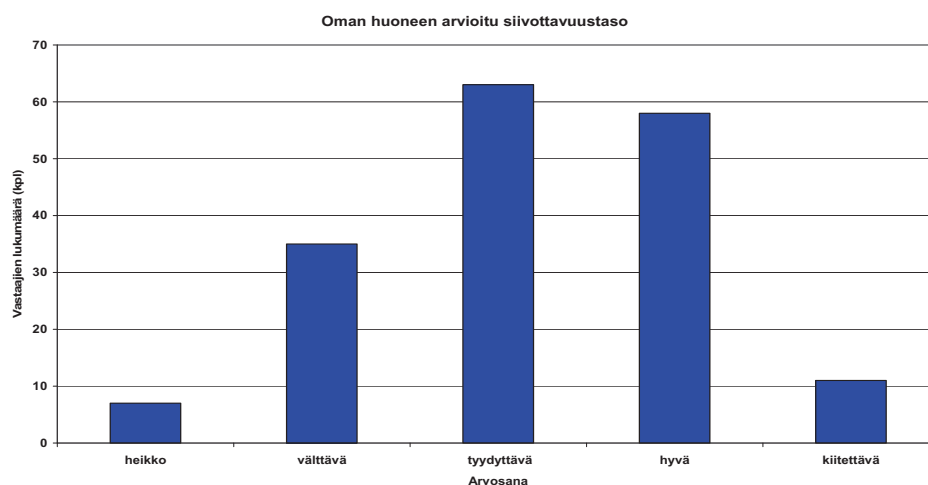
Kuvaa 63 tarkasteltaessa voisi päätellä, että siivouksmallin C rakennuksissa työntekijät kokevat työskennelleensä hieman tehokkaammin kuin muiden mallien rakennuksissa. Kun tätä tarkasteltiin tilastollisesti  $\chi^2$ -testillä, saatiin testisuureen arvoksi  $\chi^2 = 4,58$  ( $p = 0,333$ ), jonka mukaan erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Rakennuksissa 1, 3 ja 4 ei tehty entiseen siivouksen toteutustapaan mitään muutoksia ja ainoastaan rakennusten 2 ja 5 siivoustapa muutettiin malliksi C. Kyselyn tekoaikaan tutkimushanke oli ollut käynnissä vasta noin kaksi kuukautta.

## 7.9 Siivottavuus

Koehuoneiden siivottavuutta parannettiin 29.10.-5.11.2007 välisenä aikana seuraavissa huoneissa:

- rakennus 1, huoneet 227 ja 312
- rakennus 2, huoneet 218 ja 317
- rakennus 3, huoneet 240 ja 319
- rakennus 4, huoneet 205 ja 216
- rakennus 5, huoneet 211 ja 345

Rakennuksen 4 huoneen 205 ja rakennuksen 5 huoneen 211 kalusteet vaihdettiin kokonaan uusiin. Toimenpiteiden vaikutuksia kysyttiin vastaajilta kyselytutkimuksen kolmannen kerran yhteydessä. Vastaajia pyydettiin arvioimaan oman työhuoneensa siivottavuutta viisiportaisella asteikolla. Tulokset ovat kuvassa 64. Siihen on kerätty kaikkien tutkimusrakennuksista saatujen vastausten koonti.



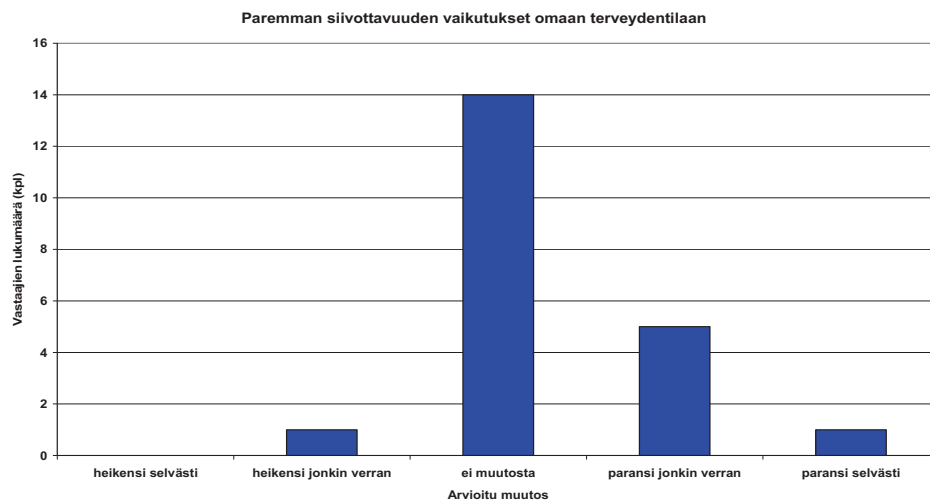
KUVA 64. Oman työhuoneen arvioitu siivottavuustaso.

Enemmistö vastaajista arvioi työhuoneensa siivottavuuden olevan tyydyttävää tai hyvää tasoa (kuva 64). Vastaajille ei ohjeistettu minkäänlaisia arviointiperusteita arvioinnin tekemistä varten eli vastaajien on täytynyt arvioida asiaa oman näkemysensä valossa.

Vastaajilta tiedusteltiin, kuinka monen työhuoneessa oli tehty siivottavuutta parantavia toimenpiteitä tutkimushankkeen aikana. Peräti 21 henkilöä vastasi tähän myöntävästi. Huomionarvoista tässä oli, että varsinainen ohjattu siivous-saneeraus tehtiin ainoastaan 10 huoneessa. On hyvin luultavaa, että hankkeen käynnistymisen alussa annettu ohje parantaa oman huoneen siivottavuutta oli toteutunut oma-aloitteisesti näiden vastaajien kohdalla.

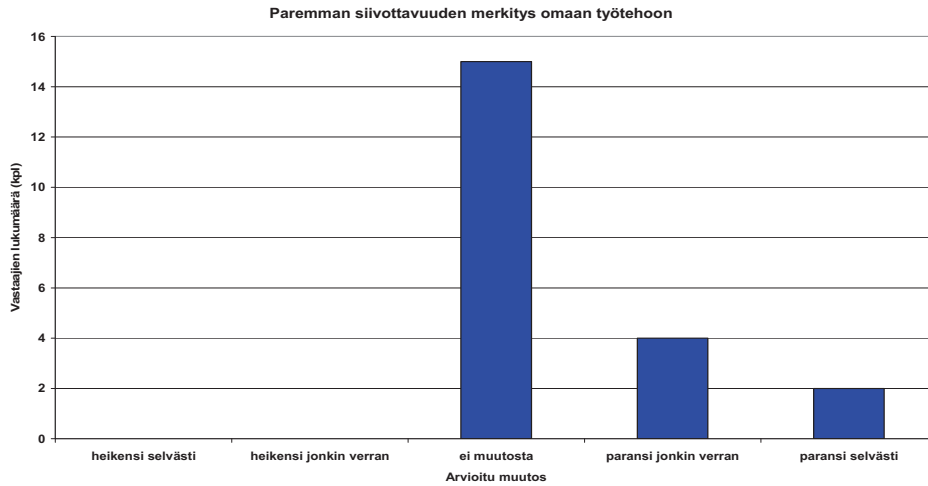
Kysyttäessä siivottavuuden parantamisen vaikutuksia siivoustyön toteutukseen, 4 vastaajaa ilmoitti, että se paransi selvästi, 11 mukaan paransi jonkin verran ja 4 mielestä sillä ei ollut vaikutusta. Tähän kysymykseen vastasivat ainoastaan ne, joiden huoneissa oli tehty parannustoimenpiteitä.

Vastaajia pyydettiin arvioimaan myös paremman siivottavuuden vaikutuksia omaan terveydentilaan (kuva 65).



KUVA 65. Paremman siivottavuuden arvioidut vaikutukset vastaajien omaan terveydentilaan.

Kuvasta 65 voidaan nähdä, että 1 vastaajan mielestä parempi siivottavuus on parantanut selvästi terveydentilaa, 5 mielestä parantanut jonkin verran, 14 koki, että vaikutuksia ei ollut ja 1 arvioi terveydentilansa heikentyneen jonkin verran. Täähänkin kysymykseen vastasivat vain ne, joiden työhuoneen siivottavuutta oli parannettu. Vastaavasti vastaajia pyydettiin arvioimaan paremman siivottavuuden vaikutuksia omaan työtehoonsa (kuva 66).



KUVA 66. Paremmen siivottavuuden arvioidut vaikutukset vastaajien työtehoon.

Kuvasta 66 voidaan todeta, että 2 vastaajan mukaan työteho oli selvästi parantunut, 4 mielestä jonkin verran ja 15 koki, että sillä ei ollut vaikutuksia omaan työtehokkuuteen.

Lopuksi kaikkia vastaajia pyydettiin arvioimaan kokonaisuutena hyvän ja laadukkaan siivouksen merkitystä sisäilman laatuun, hyvinvointiin ja työn tuottavuuteen. Tähän mielipidekysymykseen 88 vastasi, että hyvä siivous vaikuttaa selkeästi parantavasti, 77 puolestaan arvioi, että se vaikuttaa jonkin verran parantavasti ja ainoastaan 4 oletti, että sillä ei ole mitään vaikutusta.

Vastaajilla oli mahdollisuus antaa myös vapaata palautetta siivouksesta, sen laadusta yms. Nämä vastaukset on oheistettu tämän kirjan liitteeksi. Vastauksista kävi selvästi ilmi, että *vastaajat ymmärsivät siivottavuuden merkityksen siivouksen toteutukselle ja terveydelle, mutta toisaalta työn luonteen, kalustuksen yms. vuoksi tilanteen parantaminen koettiin vaikeaksi.*

Yhteenvedonä tältä kyselyosiolta voidaan sanoa, että siivottavuuden parantamisella koetaan olevan myönteisiä terveys- ja tuottavuusvaikutuksia, mutta vielä suurempi odotusarvo sisältyy todella hyvälle siivoukselle ja sen mukanaan tuomille positiivisille vaikutuksille.

## 8 TULOSTEN TARKASTELU

### 8.1 Siivousmallien ja siivouksen laadun mittausmenetelmien erot

Tutkimuksessa testattiin visuaalista arviointia, pintapölymittausta, ATP-mittausta, Hygicult-testiä ja kyselytutkimusta kolmeen siivouksen toteutusmalliin. Tavoitteina oli testata mittausmenetelmien soveltuvuutta siivouksen laadunseurantaan, selvittää siivouksen laatuun vaikuttavia tekijöitä sekä löytää mahdollisia laatueroja siivousmalleista ja tutkimusrakennusten siivouspalveluiden laadusta. Tutkimuksen tavoitteena oli myös löytää siivouksen ja sisäilman laadun välisiä yhteyksiä ja vaikutuksia ihmiseen. Siinä primääritutkimuksina käytettiin hiukkasmittauksia ja kyselytutkimuksia ja näitä tukevana sekundääritutkimuksina kaasumaisten yhdisteiden ja fysikaalisten olosuhteiden tutkimuksia, pölyn koostumustutkimuksia sekä terveystuotusselvityksiä.

Kaikki siivouksen laadun tutkimustulokset koottiin ja normeerattiin yhteismitallisiksi keskenään asteikolle 1-5 ja näin saatiin taulukon 31 mukaiset siivouksen teknisen laadun vertailuluvut. Siivouksen koetun laadun (kyselytutkimus) arvot ovat suoraan tutkimuksesta saatuja tuloksia, muut ovat normeerattuja vertailulukuja. Taulukkoon on otettu mukaan myös Örebro-kyselytutkimuksen työympäristöä ja oireita koskevat tulokset. Ne on normeerattu vertailuluvuiksi siten, että vastausten 0...9 %:n arvo vastaa vertailulukua 5, 10...19 %:n arvo lukua 4 jne. Taulukossa on lisäksi tässä tutkimuksessa esitetyistä rakennusten sisäilmatutkimuksista (rakennustutkimukset) saatujen tulosten perusteella lasketut vertailuluvut. Määrittelyssä on yhteensä 13 eri laatukriteeriä ja niistä on laskettu niiden sijoitusjärjestyksen mukainen keskiarvo. Laskentatapa on sama kuin siivouksen laadun vertailulukujen normeerauksessa kohdassa 7.1.5.

TAULUKKO 31. Siivousmallien ja rakennusten suhteellinen paremmuusjärjestys (vertailuluvut 1 - 5).

Arviointikohde	Rak. 1	Rak. 2	Rak. 3	Rak. 4	Rak. 5
	Malli A	Malli C	Malli B	Malli A	Malli C
Visuaalinen laatu	4,67	4,78	3,56	3,11	4,22
Pintapölymittaukset	4,82	4,82	4,27	4,27	4,55
ATP-mittaukset	3,42	4,25	3,33	3,92	3,25
Hygicult-tutkimukset	4,33	3,92	4,08	2,17	2,08
Laatumittausten keskiarvo	4,31	4,44	3,81	3,37	3,53
Koettu laatu (kyselytutkimus)	4,30	4,13	4,40	3,57	3,60
Koettu työympäristö (Örebro)	4,46	4,62	4,92	4,23	4,38
Koetut oireet (Örebro)	4,53	4,94	5,00	4,65	4,65
Rakennustutkimukset	4,62	4,62	4,85	4,23	4,23
Tutkimusten keskiarvo	4,44	4,55	4,60	4,01	4,08

Parhaat siivouksen teknisen laadun vertailuluvut sai malli C rakennuksessa 2, toiseksi sijoittui malli A rakennuksessa 1 ja kolmanneksi malli B rakennuksessa 3 (taulukko 31). Erityisesti kyselytutkimusten tulokset nostivat mallin B sijoitusta ja se olikin kokonaistarkastelussa paras. Malli A rakennuksessa 4 ja malli C rakennuksessa 5 jäivät sekä siivouksen laatumittauksissa että kokonaistuloksissa viimeisiksi. Kuitenkaan tilastollisesti (Kruskal-Wallis testillä) tarkasteltuna erot eri siivouksen toteutusmallien välillä eivät olleet merkitseviä.

Kaikki taulukossa 31 esitetyt mittausten menetelmät testattiin tilastollisesti keskenään. Sen mukaan menetelmistä visuaalisella laadulla ja pintapölymittauksilla oli voimakas korrelaatio keskenään ( $r = 0,967, p < 0,01$ ). Muissa vertailuissa Hygicult-tutkimuksilla oli voimakas korrelaatio koetun laadun ( $r = 0,976, p < 0,01$ ) ja rakennustutkimusten ( $r = 0,924, p < 0,05$ ) kanssa. Koetulla laadulla oli voimakas korrelaatio rakennustutkimusten kanssa ( $r = 0,976, p < 0,01$ ). Koetulla työympäristöllä ja rakennustutkimuksilla oli myös voimakas korrelaatio keskenään ( $r = 0,909, p < 0,05$ ).

Tutkimuksella ei saatu kokonaisuutena tilastollisesti merkitseviä eroja eri siivousmallien välille. Eräänä syynä tähän on saattanut olla se, että laatumallin (malli C) kohteissa harvemmin tehtävät työt (esim. yläpölyjen poisto) eivät toteutuneet suunnitelman mukaisesti, vaan niiden taajuus oli sama kuin kilpailumallin (malli A) kohteissa. Siivouksen laadun mittausten menetelmillä saatiin eroja, mutta kaikki menetelmät eivät korreloineet keskenään, koska menetelmät mittasivat siivouksen laadun eri osa-alueita. Tämä tarkoittaa sitä, että siivouksen kokonaislaatua luotettavasti määrittäessä joudutaan käyttämään useita mittausten menetelmiä yhdessä. Tutkimus antoi vahvoja viitteitä siitä, että rakennusten tekninen laatu, ominaisuudet ja pintamateriaalien kunto sekä siivoojan ammattitaito vaikuttavat siivouksen laatuun merkittävästi. Erityisesti tämä tuli esille kyselytutkimuksissa arvioitaessa siivouksen ja työympäristön laatua. Kyselytut-

kimuksissa toiminnallisen laadun merkitys oli huomattava ja sen osuus siivouksen laadun ja laadunseurantamenetelmien kehittämisessä olisi syytä tiedostaa.

## 8.2 Siivouksen laatu

### 8.2.1 Laadun mittausmenetelmät

Visuaalisen arvioinnin tulokset vaihtelivat suuresti. Sillä saatiin tässä tutkimuksessa parhaiten pintapölymittauksia vastaavia tuloksia, joten tämä tukee ja puoltaa menetelmän käyttöä siivouksen laadun arvioinnissa. Menetelmä on erityisen hyvä poikkeamien havainnointiin, mutta pintapölyn määrää, pintahygieniaa ja lieviä pinttymiä sillä on vaikea saada luotettavasti esille. Esimerkkinä voidaan mainita Griffithin ym. tutkimus (2000), jossa selvitettiin 113 leikkaussalin ja sairaosaston puhtautta eri pinnoilta visuaalisesti, mikrobinäytteillä ja ATP-mittauksilla. Tulosten mukaan visuaalisella arvioinnilla pystyttiin todentamaan ainoastaan 18 % pintahygienialtaan hylättävistä kohteista siivouksen jälkeen. Eriytyisenä haasteena menetelmän käytössä on myös pintojen kuluneisuuden merkityksen arviointi. Kulunut pinta on tavanomaista vaikeampi pitää puhtaana ja hyvänkin puhdistamisen jälkeen se voi näyttää puhdistamattomalta.

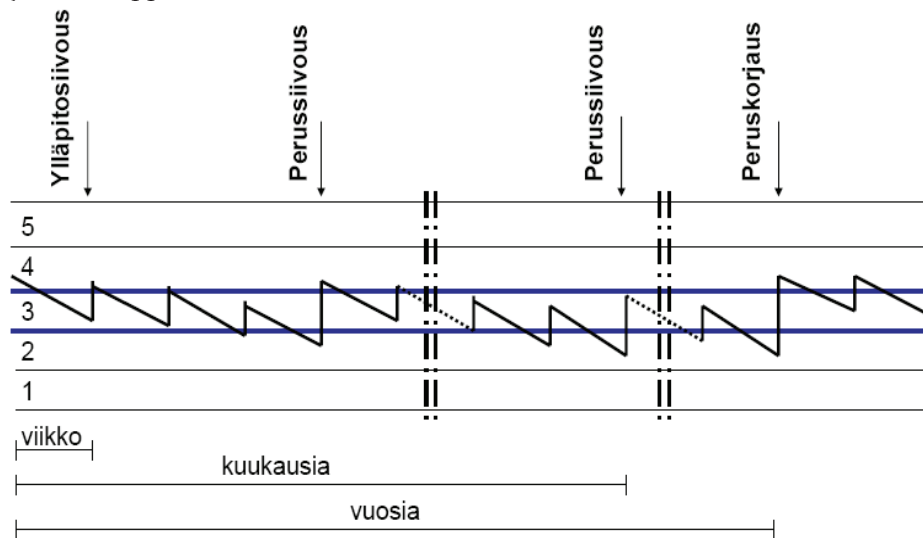
Visuaalisen menetelmän tukena voitaisiin käyttää eri tilatyyppeiden ja puhtaustasojen kuvaparitulkintaa (ennen siivousta – siivouksen jälkeen). Uuden KiinteistöRYL 2009 -laatuvaatimuksissa (Rakennustieto 2009) menetelmää onkin jo hyödynnetty. Aikoinaan menetelmän hyväksyminen INSTA 800-standardiin tukee myös menetelmän käyttöä. Visuaalista arviointia käytetään myös ilmanvaihtojärjestelmien puhtauden arvioinnissa (Sisäilmayhdistys & RTS 2008, Rakennustieto 2007).

Pintapölymittausten avulla johdetut puhtaustasomääritykset olivat hajonaltaan pienemmät kuin visuaalisella arvioinnilla saadut, mutta samansuuntaiset. Mittaus BM Dustdetector -laitteella osoittautui toimivaksi siivouksen laadun mittausmenetelmäksi ja sillä voidaan mitata luotettavasti pintapölyn määriä. Pintapölymittauksella voidaan päätellä välillisesti myös siivousajankohta ja laite on apuväline välilliseen sisäilman hiukkaspitoisuuden tutkimiseen esim. hiukkaslaskureiden rinnalla. Tässä tutkimuksessa voitiin määritellä pölykertymäfunktio yhden viikon pölykertymälle vapaille kalustepinnoille. Sen mukaan siivouksen jälkeen vapaille kalustepinnoilla oli pölyä keskimäärin noin 1 % ja pölyä kertyi viikon aikana lisää noin 0,25 prosenttiyksikköä. Ylätasopinnoille pölyä kertyi noin 0,13 prosenttiyksikköä/viikko ja lattioille siivouksesta huolimatta 0,19 prosenttiyksikköä/viikko. Tämä viittaa siihen, että toimistotiloissa pölyä deponoituu yläpinnoille vähiten ja lattioille eniten. Pölymäärien jatkuva kasvu viittaa tilojen kokonaispölypitoisuuksien kasvuun. Samansuuntaisia tuloksia on saanut mm. Pesonen-Leinonen ylätasojen pölymääriin kohdistuneissa tutkimuksissaan ja



todennut lisäksi, että tilojen käyttö ja hiukkaskoko vaikuttavat voimakkaasti pölyn sijoittumiseen ja kertymiseen (Pesonen-Leinonen 2008).

Siivouksen laadussa tapahtui siivousten välillä keskimäärin noin yhden laatutason suuruinen aleneminen, joka vaikuttaa suurelta ja viittaa siihen, että kerran viikossa tehtävä siivous voi olla riittämätön. Tätä voidaan havainnollistaa kuvalla 67, jossa on esitetty myös pintamateriaalien kunnon ja siivouksen laadun ajallinen riippuvuus.



KUVA 67. Rakennuksen pintamateriaalien kunnon ja siivouksen laadun välinen ajallinen riippuvuus puhtaustasossa 3.

Puhtauden säilymisen tietyllä tasolla tulisi tarkoittaa sitä, että puhtaustaso pysyy koko siivousten välisen ajan kahden peräkkäisen laatutason välillä. INSTA 800-standardin mukaisesti mittaus tehdään siivouksen jälkeen. Tämä mittaa siivouksen onnistumista, mutta ei siivouksen laatua siivousten välillä. Tämän tutkimuksen perusteella pintapölymittaukset suositellaan tehtäväksi juuri ennen siivousta ja heti siivousten jälkeen, jolloin saadaan selville todellinen siivouksen laatu siivousten välillä. Siivouksen laatu ei ole lopputulos vaan jatkuva prosessi.

Tämä tutkimus osoitti, että heti siivouksen jälkeen mitattuna pintapölymäärät ovat yleensä alle 1 % ja tälle tasolle on mahdollista päästä helposti tavanomaisin ylläpitosiivousmenetelmin. Vastaavia tuloksia on saatu myös Pesonen-Leinosen tutkimuksessa (2005). Tätä raja-arvoa tukee Sisäilmastoluokituksessa muille kuin lattiapinnoille määritelty sama raja-arvo 1 % puhtaustasokokluokan P1-tiloille ennen rakennuksen luovutusta. Lattiapinnoille on luokituksessa määritelty raja-arvoksi 3 % (Sisäilmayhdistys & RTS 2008, Andersson 2008), mikä puolestaan viittaa siihen, että luokituksen raja-arvoja määriteltäessä on päädytty käsillä ole-

van tutkimuksen kanssa samaan johtopäätökseen pölyjen kertymisestä eri tasopinnoille. Edellä mainittua 1 % raja-arvoa voidaan käyttää siivouksen laadun valvonnassa myös osoittamaan, onko jokin pinta vastikään puhdistettu vai ei. Lisäksi voidaan karkeasti arvioida tuloksen perusteella, kuinka kauan siivouksesta on kulunut. Tässä on kuitenkin oltava varovainen, sillä rakennusten ja tilojen olosuhteet ja käyttö vaihtelevat suuresti.

Viime vuosina on Jyväskylän yliopistossa tehty paljon siivouksen laadunseurantaan liittyviä pintapölyn mittauksia. Yleinen havainto näissä on ollut se, että vaikka mittaukset on tehty heti siivouksen jälkeen, niin äärimmäisen harvoin on saatu täysin puhtaita eli 0-tuloksia. Toinen yleinen tulos näissä mittauksissa on ollut se, että mittaustulokset ovat vaihdelleet suuresti etenkin lattioilta tehdyissä mittauksissa samallakin mittauskerralla. Kolmanneksi, perussiivoukset ovat vaikuttaneet selkeästi parantavasti pintapölymittausten tuloksiin, mutta vaikutus on näkynyt korkeintaan muutamia kuukausia. Ja neljänneksi, vuodenaika ja sääolot ovat vaikuttaneet myös tuloksiin. Nämä yhdessä saattavat viitata siihen, että nykyisillä siivoustaajuuksilla, -menetelmillä, välineillä ja aineilla ei ehkä pystytä tuottamaan tasalaatuista puhtautta (Andersson 2005, 2006, 2010).

Pintapölymittauksista voidaan erottaa selkeästi kolme erilaista mittaustilannetta, jotka voitaisiin kytkeä sisäilmasta tehtäviin hiukkasmittauksiin:

- mittausta heti (alle 10 min) siivouksen jälkeen: mittaa siivouksen onnistumista (suurelta hiukkaset, <10 µm, eivät ole vielä ehtineet laskeutua)
- mittausta n. 16 tuntia siivouksen jälkeen: mittaa >1 µm hiukkasten laskeuman määrää pinnoilla, mikäli tilaa ei ole käytetty eikä ilmanvaihto ole ollut päällä
- mittausta juuri ennen siivousta: mittaa tilan käyttäjän terveyden kannalta pahinta tilannetta (pitäisi mitata ennen tilan käyttöä ja ilmanvaihdon ollessa poissa päältä)

Mittauksissa tulkintaohjeena käytetyn INSTA 800 -standardin raja-arvot eri pintakategorioille vaativat täsmennyksiä, mikäli standardia aiotaan käyttää yleisenä ohjeena. Esimerkiksi puhtaustason 3 raja-arvot vaikuttavat löysiltä. Lisäksi jatkotutkimuksia tarvitaan siihen, miksi siivouksella ei saada kaikkea pölyä pinnoilta poistettua. Pintapölyn mittaumenetelmän ja laitteen kehittämisen jälkeen on pintapölymittauksiin liittyneitä tieteellisiä tutkimuksia julkaistu jo runsaasti. Menetelmä onkin vakiinnuttanut paikkansa tutkittaessa pintojen pölymääriä ja niiden muutoksia sekä siivouksen laatua (Aulanko 1993, 1995, Schneider ym. 1994 ja 1996, Kildesø ym. 1998, 2001, Aulanko ym. 2000, Halonen ym. 2003, Pesonen-Leinonen ym. 2004, Anderson 2005, Andersson 2008, Pesonen-Leinonen 2008). Pintapölymittaus ei kuitenkaan riitä ainoaksi siivouksen laadunseurantamenetelmäksi, mutta tukee hyvin mm. visuaalista arviointia.

ATP-mittaustulokset vaihtelivat erittäin suuresti eri rakennuksissa ja huoneissa. Mittaus on herkkä reagoimaan pieneenkin pintakontaminaatioon. Tämän tutkimuksen mukaan yhdelläkään tutkimuskerralla missään rakennuksessa ei ylletty keskimäärin hyvään pintahygieniatasoon (< 40 RLU). Ennen siivousta kaikkien toimistotilojen kaikkien mittausten keskiarvo oli 194 RLU. Siivouksen jälkeen vastaava lukema oli 97 RLU. WC-tilojen kaikkien tulosten keskiarvoksi ennen siivousta saatiin 231 RLU, joka on hieman suurempi kuin toimistotiloissa. Vastaavasti siivouksen jälkeen keskiarvo oli 74 RLU, joka puolestaan oli alempi kuin toimistotiloissa. Ilmasta pinnoille kahden viikon aikana tulevan laskeuman keskiarvoksi saatiin 20 RLU. Tulos viittaa siihen, että ilmasta tuleva laskeuma vaikuttaa ATP-mittausten tuloksiin ja se tulee huomioida arvioitaessa pintojen hygienistä laatua ja siivouksen toteutusta. Kokonaisuutena tulokset viittaavat siihen, että siivouksella ei saavutettu riittävän hyvää pintahygieniatasoa tai menetelmän raja-arvot ovat toimistoympäristöön liian vaativia. Lisäksi on huomattava, että mittaukset tehtiin ainoastaan varsinaisissa koehuoneissa, joihin muiden mittausten perusteella oli kohdennettu enemmän siivousresursseja.

ATP-menetelmää on käytetty paljon hygieniavalvonnassa sairaaloissa ja muissa terveydenhoitoalan yksiköissä sekä elintarvikkeiden tuotanto- ja jakeluyksiköissä. Sairaaloissa (Kymäläinen ym. 2008) ja uimahalleissa (Leivo 2009) on tehty myös tieteellisiä tutkimuksia menetelmää käyttäen. Toimistotilojen osalta tieteellinen näyttö puuttuu ja niihin liittyvissä käytännön tutkimuksissa on jouduttu noudattamaan valmistajan ilmoittamia ohjearvoja.

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira on ohjeissaan (Elintarvikevirasto 2003 ja 2009) mahdollistanut ATP-menetelmän käytön laaduntarkkailussa hygienialain mukaisessa laitoksessa. ATP-menetelmä sopi tämän tutkimuksen mukaan hyvin hygieniatilanteen tarkistuksiin erityisesti saniteetti- ja muissa yhteistiloissa ja niiden kriittisissä pisteissä. Sen rinnalla käytetty Hygicult-testi antoi arvokasta lisätietoa pintahygieniasta ja niitä voitaisiinkin suositella käytettäväksi ainakin osittain yhdessä. Toimistotilojen ja vastaavien osalta ohjeellisten ATP-raja-arvojen täsmentäminen jatkotutkimuksilla on perusteltua.

Hygicult-tutkimusten mukaan toimistotilojen kaikkien näytteiden keskiarvo ennen siivousta oli 52 PMY ja siivouksen jälkeen 115 PMY. Vastaavasti wc-tilojen ennen siivousta otettujen näytteiden keskiarvo oli 73 PMY ja siivouksen jälkeen 93 PMY. Suositeltavana raja-arvona on 100 PMY. Pesäkkeiden määrät olivat siten varsin korkeita. Erikoista tuloksissa oli se, että pesäkkeiden määrät kasvoivat siivouksen seurauksena. Saman ilmiön on havainnut myös Seppänen (2010). Lisäksi rakennuskohtaiset erot olivat huomattavat. Kahden viikon pölylaskeumasta otettujen näytteiden keskiarvo oli 18 PMY. Ainoastaan kolmessa näytteessä ei esiintynyt homeita. Kaikissa rakennuksissa ikkunalaudoilta otettujen näytteiden mikrobimäärät olivat suuremmat kuin kaappien päältä otetuissa näytteissä. Sama ilmiö oli havaittavissa myös ATP-mittauksissa. Hygicult-näytteistä tehdyissä mikrobiologisissa jatkotutkimuksissa valtaosaltaan näytteissä esiinty-

neet mikrobit olivat ympäristöperäisiä ja luonnossa tavallisia bakteereita. Samansuuntaisia tuloksia ovat saaneet myös Rintala ym. (2008) huonepölynäytteistä tehdyistä tutkimuksista.

Hygicult-testillä saatiin viitteitä pintojen puhdistumiseen liittyneistä puutteista. Hygicult-tuloksiin ovat saattaneet vaikuttaa siivousaineiden ja -välineiden mahdollinen kontaminaatio, siivoojien epäaseptinen työskentely tai pinnoille mahdollisesti muodostunutta biofilmiä (Costerton ym. 1999, Leivo 2009, Potera 1999) ei siivouksessa ole saatu kokonaan poistettua. Biofilmit koostuvat mikrobisoluista sekä niiden tuottamista solunulkoisista biopolymeereistä, jotka yleensä ovat polysakkarideja. Biofilmin limakerros helpottaa bakteerien kiinnittymistä eri pintamateriaaleihin, ja se ylläpitää biofilmin rakennetta. Biofilmi suojaa mikrobeja mm. valolta, kuivumiselta, ääriämpötiloilta ja pesu- ja antimikrobisilta aineilta. Aiheeseen liittyvät vertailevat tieteelliset tutkimukset toimistoympäristöistä puuttuvat, joten lisätutkimukset asian selvittämiseksi ovat tarpeen.

Hygicult-testi (kuten ATP-menetelmäkin) on hyväksytty Eviran ohjeiden mukaiseen laaduntarkkailuun ja lisäksi se on AOAC RI:n ja NordVal:n validoima (Salo ym. 2000). Hygicult-testi soveltui käsillä olevassa tutkimuksessa hyvin ATP-menetelmän tueksi pintahygieniatutkimuksiin. Ongelmana tässä menetelmässä on, kuten muissakin kasvatusmenetelmissä, tulosten saannin hitaus ja menetelmän selektiivisyys mikrobien suhteen. Hygicult TPC -agarilla kasvavat yleisimmät ympäristö- ja ihmisperäiset bakteerit (sekä hiivat ja homeet), joten menetelmän käyttö tässä tutkimuksessa oli perusteltua. Raja-arvomääritysten osalta jatko-tutkimukset ovat tarpeen.

Tutkimus toi esille siivouksen tehostamistarpeen pinnoille, joita kosketellaan paljon. Näitä ovat toimistotiloissa muiden muassa tuolin käsinojat, työntekijän ulottuvuusalueet tasopinnoilla, puhelimen luuri, valokatkaisin ja oven kahva, jotka ovat erityisen arkoja käsikontaminaatiolle ja ihon sebum-lialle. Saniteettitiloissa vastaavia ovat wc-istuimen reunat ja kansi, lavuaarin hana, valokatkaisin ja oven kahva. Näiden perusteelliseen puhdistukseen on syytä kiinnittää huomiota varsinkin, jos tilat ovat monen käyttäjän yhteisiä. Tietokoneen näppäimistö ja hiiri eivät kuulu tavanomaisen siivouksen piiriin ja muodostavat selkeän hygieniariskin tämän tutkimuksen tulosten pohjalta johdettuna ja tämä on todettu myös monissa tutkimuksissa (Kassem ym. 2007). Varsinkin yhteiskäyttöisten atk-laitteiden säännöllinen puhdistus tulisi vastuuttaa siivoustoimen ammattilaisten tai jonkun muun tahon tehtäväksi.

Tutkimuksessa saatiin osoitus siitä, että toimistotilojen harvoin siivottavat kohteet kuten ylätasopinnot (pinnat > 1,80 m) tulee puhdistaa nykyistä useammin eli noin 2 kuukauden välein, jotta pintojen hygieeninen laatu pysyy suositusten mukaisella tasolla. Tätä tukee myös Pesonen-Leinonen tutkimuksissaan, joiden mukaan puhtaustason 5 mukaiset ylätasot tulisi puhdistaa 1-2 kuukauden välein ja puhtaustason 3 ylätasot 4-5 kuukauden välein (Pesonen-Leinonen 2008). Peso-

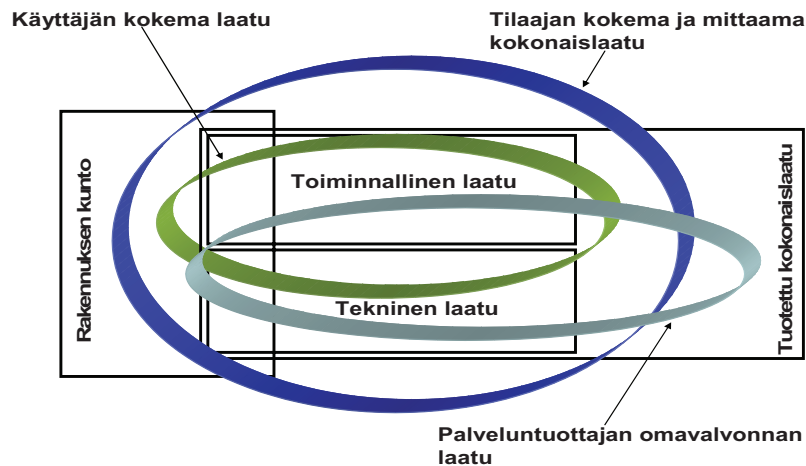
nen-Leinosen päätelmä perustuu mittausten avulla saadun pölypeittosuoran vertaamiseen INSTA 800 -standardin mukaisiin raja-arvoihin.

Siivouksen laatukselyn perusteella löytyi eroja eri siivousmenetelmien ja rakennusten välille. Tämän tutkimuksen mukaan rakennusten ominaisuudet korreloivat merkittävästi laatukselyn tulosten kanssa. Viitteitä saatiin siitä, että erityisesti rakennusten pintamateriaalien kunto sekä siivoojasta saatu vaikutelma ja siivoojan ammattitaito vaikuttavat arviointiin. Tulokset myös poikkesivat muilla menetelmillä saaduista tuloksista. Siivouksen laatumuutokset näkyivät herkästi kyselyssä.

Kyselytutkimuksilla saatiin arvokasta tietoa siivouksen laadusta ja tyytyväisyydestä palveluun. Helpon toteutuksen ja nopean palautteen saannin vuoksi se soveltuu hyvin laadun tutkimusmenetelmäksi erityisesti mahdollisten siivouksen kehittämistarpeiden tunnistamisessa ja laadussa tapahtuneiden muutosten selvittämisessä.

## 8.2.2 Laatuun vaikuttavat tekijät

Siivouksen kokonaislaatuun vaikuttavat monet siivoustyöhön ja työympäristöön liittyvät tekijät. Tässä tutkimuksessa siivouksen laatuun vaikuttavina tekijöinä nousivat esille erityisesti rakennuksen tekninen laatu (ilmanvaihdon toteutustapa ja suodatusaste), ominaisuudet ja pintamateriaalien kunto, tilojen siivottavuus, käyttö ja siivoojan ammattitaito. Siivouksen laatu voidaan tämän tutkimuksen pohjalta esittää kuvan 68 mukaisesti.



KUVA 68. Ostopalvelusiivouksen laadun osa-alueet ja eri osapuolten laadunseurannan aseointi niihin.

Palveluntuottajan omavalvonnan laatua ei sisällytetty tutkimuksiin. Kuvassa 68 palveluntuottajan tuottama siivouksen kokonaislaatu muodostuu teknisestä ja toiminnallisesta laadusta ja niihin vaikuttavista tekijöistä sekä osittain rakennuksen kunnosta erityisesti pintamateriaalien ja siivottavuuden osalta. Käyttäjä kokee siivouksen laadun suureksi osaksi toiminnallisena laatuna, mutta voi seurata sitä myös teknisenä laatuna lähinnä visuaalisen laadunseurannan avulla. Palveluntuottajan oma laadunseuranta (omavalvonta) keskittyy enemmän teknisen laadun seurantaan, joskin siinä voi olla myös toiminnallisia laadunseurantaelementtejä mukana. Siivouksen laadun kokonaiskuvan saa yhdistämällä käyttäjän ja palveluntuottajan laadunseurantatulokset ja täydentämällä niitä sopivilla mittauksilla ja laatukselyillä. Näistä muodostuu tilaajan kokema ja mittaama siivouksen kokonaislaatu.

Tutkimuksessa rakennusten 4 ja 5 pintamateriaalien kuluneisuus vaikeutivat erityisesti visuaalista arviointia. Objektiivisissa mittauksissa ongelmia ei ollut, mutta pintojen kuluneisuus saattoi vaikuttaa tuloksiin heikomman puhdistuvuuden kautta. Kyselytutkimuksissa rakennusten heikompi tilanne näkyi myös selvästi muissa paitsi koettujen oireiden tuloksissa.

Tilojen siivottavuuden merkitystä tutkittiin siivouksen laatumittauksin kymmenessä koehuoneessa. Tulosten mukaan siivoussaneeraus paransi siivouksen visuaalista laatua, mutta sillä ei ollut sanottavaa vaikutusta objektiivisiin pintapölymittausten tuloksiin. Myöskään pintahygieniatuloksiin saneeraus ei vaikuttanut. Kyselytutkimusten mukaan siivottavuuden parantamisella koettiin olevan myönteisiä terveys- ja tuottavuusvaikutuksia.

Siivottavuuden huomioimisen tulisi alkaa jo rakennuksen suunnittelusta, johtaa oikeisiin rakenne-, materiaali- ja tilaratkaisuihin ja näkyä lopulta siivousta helpottavina kalustehankintoina ja parantuneina työolosuhteina. Oikein tehdyillä ratkaisuilla voidaan säästää merkittäviä summia rakennuksen elinkaaren aikaisina pienempinä ylläpitokustannuksina ja parhaimmillaan henkilökunnan vähenyneinä sairauspoissaoloina. Sillä voidaan siten parantaa myös työviihtyvyyttä ja työn tuottavuutta. Käytännössä työtilojen siivottavuutta voidaan parantaa pienin keinoin poistamalla turhat tavarat tasopinnoilta ja johdot lattioilta sekä vähentää ylimääräistä kalustusta. Mikäli mahdollista, kalusteet tulisi muuttaa helposti liikuteltaviksi ja varustaa avohyllyt ovilla. Hyllyjen tulisi olla myös jalallisia ja sokkelittomia. Hyllyjen päällisten tulisi olla vinoja, jotta tavaroiden pito siellä ei ole mahdollista ja siivous olisi helpompi toteuttaa ja kokonaiskorkeuden tulisi olla alle 1,80 m, jolloin ne kuuluisivat säännöllisen siivouksen piiriin. Vaihtoehtona voisi olla kaappien korkeuden ulottaminen lattiasta kattoon saakka.

Siivottavuusteemaa on sivuttu monissa tutkimuksissa ja selvityksissä (Aulanko ym. 2000, Kakko & Aulanko 2003) ja sitä pidetään merkittävänä, mutta vertailevaa tutkimustietoa siitä on niukasti. Siivottavuus ja huoneiden käyttö tulivat selkeästi esille leijuvien hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuuden muutoksina hiukkasmittausten yhteydessä.

Siivoojan ammattitaito ja henkilökohtaiset ominaisuudet vaikuttavat siivouksen laatuun. Tämä pystyttiin todentamaan tutkimusaikana rakennuksessa 2 vakinaisen siivoojan poissaolon aikana, jolloin tehtäviä hoidettiin tilapäistyövoimalla. Siivouksen laadun alenema näkyi sekä visuaalisissa että objektiivisissa mitauksissa, mutta erityisen selvästi kyselytutkimuksen tuloksissa.

### 8.2.3 Tutkimusrakennusten siivouksen laatu

Rakennusten välisessä vertailussa rakennukset 1, 2 ja 3 saivat parhaat sijoituspisteet (vertailuluvut) ja niiden väliset erot olivat pienet. Selkeästi heikommiksi jäivät rakennukset 4 ja 5, jotka olivat teknisiltä ominaisuuksiltaan ja kunnoltaan ensin mainittuja rakennuksia heikompia. Koehuoneiden siivouksen laatu oli tilastollisesti merkitsevästi parempi kuin muiden tutkittujen tilojen (kontrollihuoneiden), mikä viittaa siihen, että siivoojat todennäköisesti panostivat koehuoneiden siivoukseen enemmän kuin muihin tiloihin. Merkittävä havainto oli se, että kaikilla siivouksen laadun tutkimusmenetelmillä saatiin esille puutteita siivouksen laadussa, eikä kokonaisuutena siivouksen tekninen laatu vastannut tavoitteita missään rakennuksessa. Vastaavia tuloksia siivouksen heikosta laadusta on saatu myös Jyväskylän yliopistolla aiemmin tehdyissä tutkimuksissa (Andersson 2005, 2006, 2010) ja saatu tulos tukee myös v. 2006 toteutetun kaikkia yliopistoja koskeeneen kyselytutkimuksen tuloksia (Korhonen 2007). Eroja eri palveluntuottajien siivouksen laadussa ei kuitenkaan tullut esille.

## 8.3 Siivouksen ja sisäilman väliset yhteydet

### 8.3.1 Sekundääriyhteydet: pintapöly

Pintapölyn koostumustutkimusten tarkoituksena oli selvittää, löytyykö tutkimuskohteiden laskeutuneesta pölystä sellaisia tavanomaisimpia altisteita, jotka voivat ilmaan joutuessaan tai suoran kontaminaation kautta aiheuttaa työntekijöille terveysvaikutuksia ja joilla olisi saattanut olla vaikutuksia kyselytutkimusten tuloksiin.

Teollisten mineraalikulitujen tutkimusten mukaan yhteensä 105 näytteen joukosta ainoastaan 18 näytettä oli sellaisia, joissa kuitupitoisuus oli tasan määrittämissä eli 0,1 kuitua/cm<sup>2</sup> tai enemmän. Näistä 3 oli tuloilmakanavasta otetuissa näytteissä ja loput huoneiden tasopinnoilta otetuissa näytteissä. Tasopinnoilta otetuista 15 määrittämissä ylittäneestä näytteestä 14 oli otettu ikkunapenkeiltä ja ainoastaan 1 hyllyn päältä. Tulos viittaa siihen, että hiukkaslaskeumaa tapahtuu enemmän ikkunaympäristöön.

Pintapölyn mikrobitutkimusten perusteella tutkimusrakennusten tutkituissa huoneissa (rakennuksen 2 epäilyä lukuun ottamatta) ei näyttäisi olleen mikrobiongelmia. Myöskään aistinvaraisesti kosteus- ja homevaurioita ei tullut esille.

Ikkunalaudoilta otetuissa näytteissä mikrobeja esiintyi tavanomaista enemmän, mikä viittaa siihen, että ikkunaympäristö muodostaa mikrobien kasvulle tai deponoitumiselle otolliset olosuhteet. On myös mahdollista, että siivouksella ei saatu pintoja riittävän puhtaiksi tai niitä ei puhdistettu säännöllisesti.

Punkkinäytteiden analysoinnin mukaan mistään näytteestä ei löydetty yhtään pölypunkkia. Pienen otoskoon perusteella tulosta on pidettävä kuitenkin vain viitteellisenä.

### **8.3.2 Sekundääriyhteydet: kaasut, lämpötila, suhteellinen kosteus, ilmamäärät ja paine-erot**

Viidestä huoneesta otettujen ammoniakkinäytteiden tutkimustulokset jäivät kaikki alle määritysrajan. Vaikka tulos onkin vain suuntaa antava, ei tämän pohjalta ongelmaa tullut esille.

Tutkimusrakennusten kymmenestä huoneesta otettujen formaldehydinäytteiden analyysitulokset olivat alhaiset ja jäivät kaikki alle vanhan sisäilmastoluokitus 2000 mukaisen parhaan S1-luokan raja-arvon  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Suurin mitattu arvo oli  $15,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Koehuoneiden paine-eromittausten mukaan kaikki huoneet olivat lievästi alipaineisia ulkoilmaan nähden, mikä on normaalia koneellisen ilmanvaihdon rakennuksissa. Huoneiden lämpötilat olivat keskimäärin hiukan yli suositusten vaihdellen välillä  $22,3\text{--}24,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Häiritsevää vetoisuutta ei havaittu. Hiilidioksidipitoisuuksissa oli jonkin verran vaihtelua. Rakennuksissa 1, 2 ja 3 pitoisuudet olivat hyvää tasoa (S1) kun taas rakennuksissa 4 ja 5 pitoisuudet nousivat ajoittain sisäilmastoluokituksen tasoille S2 ja S3. Erot johtuivat ilmanvaihdon ja kuormituksen eroista. Rakennusten 4 ja 5 tuloilmavirrat eivät mittausten mukaan käyttäneet vähimmäisvaatimustasoa. Tutkimushuoneiden sisäilman suhteellisen kosteuden mittaustulokset olivat verrattain alhaiset, mikä johtui tutkimusajan ulkoilman vähäisestä kosteussisällöstä.

### **8.3.3 Primääriyhteydet: hiukkaset**

Hiukkasten käyttäytymistä, lukumääräpitoisuuksia ja  $\text{PM}_{10}$ -massapitoisuuksia sisä- ja ulkoilmassa selvitettiin hiukkasmittauksilla kokoalueella  $0,3\text{--}10,0 \mu\text{m}$  kuu-teen kokoluokkaan fraktioituna. Mittaustulosten mukaan huoneen käyttö vaikutti erityisesti yli  $5,0 \mu\text{m}$  hiukkasten pitoisuuteen ja käyttäytymiseen. Tämän kokoluokan hiukkaset nousivat helposti ilmaan, mutta ne myös laskeutuivat nopeasti takaisin pinnoille kun huoneesta oli poistuttu. Erityisesti siivous kohotti lyhytaikaisesti pitoisuuksia. Siivouksella pystytään vaikuttamaan selkeästi näiden hiukkasten pitoisuuksiin ilmassa.

$1,0\text{--}5,0 \mu\text{m}$  hiukkasiin vaikutti myös huoneessa oleskelu voimakkaasti ja nosti niiden pitoisuuksia. Tämän kokoluokan hiukkaset eivät kuitenkaan ehdi



laskeutua heti kun huoneesta on poistuttu vaan osa jää leijumaan pitemmäksi aikaa ja pitoisuudet laskevat vähitellen. Siivouksella pystytään vaikuttamaan myös tämän kokoluokan hiukkasten pitoisuuksiin.

1,0 µm pienempien hiukkasten pitoisuuksiin ulkoilman hiukkaspitoisuudella oli huomattava vaikutus. Ilmanvaihdoilla pystytään vaikuttamaan tämän kokoluokan ilmassa leijuvien hiukkasten määriin. Pinnoille depositeuneiden alle 1,0 µm hiukkasten poistossa siivouksella on merkitystä.

PM<sub>10</sub>-massapitoisuuksiin huoneen käyttö vaikutti selvästi mutta myös ulkoilmalla oli merkitystä. Todennäköisesti ulkoilman pienet hiukkaset siirtyivät tehokkaasti sisäilmaan ja vastaavasti sisätilojen suuret hiukkaset nousivat helposti uudelleen ilmaan huoneen käytön seurauksena. Pintojen siivouksella pystytään vaikuttamaan hiukkasten massapitoisuuksiin ilmassa.

Luoman ja Battermanin tutkimuksessa (2001) osoitettiin, että ihmisen aktiiviteetillä kuten liikkumisella selittyi n. 22–55 % 1–25 µm kokoisten hiukkasten lukumääräpitoisuudesta työpaikkojen ilmassa. 1,0 µm pienempien hiukkasten määriin ihmisen vaikutus oli vähäinen ja nämä hiukkaset korreloivat hyvin ulkoilman hiukkasten kanssa. Saman tutkimuksen mukaan ihmisen aktiiviteetti tuotti jopa 10 µg/m<sup>3</sup>/henkilö suuruisen hiukkasmassan (vrt. Adgate ym. 2003).

Siivoussaneeraus tehtiin huoneissa 205 ja 211 siivoamalla huoneet perusteellisesti ja vaihtamalla kalusteet, huoneessa 216 tehtiin vain perusteellinen siivous. Huoneen 205 ennen ja jälkeen siivoussaneerauksen (kalusteiden vaihdon) tehtyjen hiukkasmittausten tuloksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Huoneen 211 vastaavissa mittauksissa näkyi >1,0 ja >5,0 µm hiukkasten lukumääräpitoisuuksissa alenema saneerauksen jälkeen, mikä viittasi näiden hiukkasten alentuneisiin pitoisuuksiin. Huoneen 216 hiukkaspitoisuuksien alenema siivouksen jälkeen oli verrokkihuoneita suurempaa kaikkien hiukkasten lukumäärä- ja PM<sub>10</sub>-massapitoisuuksissa. Tulkintaa häiritsi jonkin verran huoneiden todennäköisesti vähäisempi käyttö saneerausten jälkeisten mittausten aikana. Tutkimus antoi viitteitä siivottavuuden parantamisen ja perusteellisen siivouksen positiivisista vaikutuksista sekä pintojen että ilman hiukkaspitoisuuksiin. Huoneen pintojen ja tavaroiden perusteellinen siivous pienensi ainakin lyhytaikaisesti enemmän hiukkasten pitoisuuksia kuin kalusteiden vaihto helpommin siivottaviin. Tähän on saattanut vaikuttaa se, että huoneen perusteellisella siivouksella huoneeseen jäi hiukkasille enemmän depositeumispintoja ja hiukkasnieluja. Tähän samaan ilmiöön viittaa Thatcherin ym. (2002) tutkimus, jossa tutkittiin kalustamattoman, kokolattiamatolla varustetun ja täysin kalustetun huoneen hiukkasten depositeonepeuksia. Hiukkaskoot olivat välillä 0,5–10 µm ja ilman liikenopeus 0–19,1 m/s. Huoneen kalustamisen lisäys lisäsi Thatcherin tutkimuksessa suhteessa eniten depositeonepeutta pienillä <1,0 µm hiukkasilla (jopa kaksinkertaiseksi), mutta >3,0 µm hiukkasten depositeonepeuteen kalustamisella ei enää ollut vaikutusta. Ilman liikenopeuden kasvattaminen sen sijaan lisäsi depositeonepeutta kaikissa hiukkaskokoluokissa.

Hiukkasten ulko-sisäsiirtymää tutkittiin huoneista 205, 211 ja 218 sekä rakennusten 2 ja 5 ulkoilmasta. Yli 5,0 µm hiukkasia oli ulkoilmassa vain vähän ja ajoittain, joten niiden ulko-sisäsiirtymä oli käytännössä merkityksetön. Sisäilmas- sa tapahtuvat pitoisuusmuutokset olivat yleensä sisälähdeperäisiä eli käyttö vai- kutti oleellisesti. 3,0–5,0 µm hiukkasten käyttäytymiseen ja lukumääräpitoisuu- siin oli käytöllä vaikutusta ja niiden ulko-sisäsiirtymä oli vähäistä. 1,0–3,0 µm hiukkasten pitoisuuksiin tilan käyttö vaikutti myös, mutta jonkin verran hiukkas- ten ulko-sisäsiirtymällä oli merkitystä pitoisuuksiin.

1,0 µm pienempien hiukkasten pitoisuuksiin ulkoilmalla oli huomattava vaikutus ja tulokset viittasivat siihen, että mitä pienempiä hiukkaset olivat, sitä helpommin ne siirtyivät ulkoilmasta sisäilmaan. Samansuuntaisia tuloksia on saa- tu monissa tutkimuksissa (Koponen ym. 2001, Morawska ym. 2001, Hussein ym. 2005, Hussein 2005, Diapouli ym. 2008). Niissä ei kuitenkaan ole käytetty tätä tut- kimusta vastaavia koejärjestelyjä eikä laitteita. Rakennuksen alipaineisuus ja tii- veys vaikuttavat siirtymistehokkuuteen. Tämän tutkimuksen yhteydessä ei selvi- tetty, mikä osuus rakenteilla voi olla pienhiukkasten lähteinä. Sisäilman pien- hiukkaspitoisuuksiin voidaan vaikuttaa ilmanvaihdolla. Siivouksella on vaikutus myös näiden hiukkasten määriin harvemmin tehtävien siivousten ja perussiivousten yhteydessä, jolloin poistetaan yleensä kaikille pinnoille kertynyt lika ja de- posoituneet hiukkaset.

Koehuoneiden sisäilman ja huoneiden ulkopuolisen ilman PM<sub>10</sub>- pitoisuudet korreloivat hyvin keskenään. Tulos viittaa siihen, että ulkoilmassa pienten hiukkasten osuus on suuri ja tämä mahdollistaa niiden vaikutuksen myös sisäilmaan. Saatu tulos merkitsee sitä, että sisäilman PM<sub>10</sub>-pitoisuuksia arvioitaes- sa ulkoilman pitoisuudet tulee aina ottaa huomioon. Tulos viittaa edelleen siihen, että ulko-sisäsiirtymän kautta tuleva hiukkaskuorma on suurelta osin kertymä- moodiin kuuluvia hiukkasia, jotka ovat peräisin muiden muassa energiantuotan- nosta, pienpoltosta ja liikenteestä.

Tutkimuksen yhteydessä ei ollut mahdollisuutta selvittää huoneiden epä- tiiveyskohtia tarkemmin, mutta mittausten mukaan näitä joka tapauksessa oli ja ulkoilmaa pääsi huoneiden sisäilmaan alipaineisuuden seurauksena. Mosley ym. (2001) selvittivät kokeellisesti 0,508 mm korkean, 102 mm syvän ja 433 mm leveän raon kautta kulkeutuvien hiukkasten kokoja erilaisilla alipaineisuustasoilla. Hiukkaskoot vaihtelivat välillä 0,05–5 µm ja paineet 2–20 Pa. Tulosten mukaan 2 Pa paineessa 2 % 2 µm ja 0,1 % 5 µm hiukkasista läpäisi raon. Läpäisyprosentti kasvoi selkeästi paineen kasvaessa ja 20 Pa paineessa jo 90 % 2 µm ja 9 % 5 µm hiukkasista pääsi läpi. Paine lisäsi kaikkien hiukkaskokojen penetraatiota.

Alipaineisuuden vaikutuksesta sisäilmaan siirtyvien hiukkasten depositio- nopeuden pitkäaikaismuutoksia, hiukkasten laatua ja sijoittumista muillekin kuin tasopinnoille olisi tarpeen tutkia. Tällä saattaisi olla merkitystä arvioitaessa hiuk- kasten terveysvaikutuksia, siivousten toteutustapaa ja mm. perussiivousten taa- juuksia.

### 8.3.4 Sisäilmastokysely

Örebro-kyselyn työympäristöosiossa korostuivat rakennusten 4 ja 5 muita rakennuksia heikkomat ilmanvaihto-olosuhteet, jotka näkyivät vastauksissa vertailuaineistoa suurempina tunkkaisen ilman ja riittämättömän ilmanvaihdon kokemuksina. Rakennuksessa 4 vastaajista 24 % koki havaittavaa pölyä tai likaa, mikä selkeästi poikkesi muista rakennuksista saaduista vastauksista. Rakennuksen 1 kuitututkimuksista saadut tulokset voivat selittää rakennuksen vastaajien kokemuksia ärsytysoireita. Yhteenvetona voidaan sanoa, että vastaajien kokemukset työympäristöolosuhteista ja oireista saattoivat vaikuttaa ainoastaan rakennusten 1, 4 ja 5 kyselytutkimusten tuloksiin. Kaikissa rakennuksissa oli kyseessä suhteellisen ongelmattomat sisäilmastot.

### 8.3.5 Työterveystilastot

Tutkimusrakennusten henkilöstön terveydentilaa ja sen kehitystä tarkasteltiin vuosien 2005–2008 työterveyshuollon lääkäriissä käynneistä. Tarkastelussa olivat hengityselin-, silmä- ja iho-oireet ja edellä mainittuihin liittyvät sairaudet sekä niiden mahdolliset yhteydet työympäristöolosuhteisiin. Yhteenvetona tilastoista voidaan sanoa, että niiden merkitys kokonaisuutena sisäilmasto-olosuhteita arvioidessa on vain viitteellinen ja siivouksen tai eri siivoustopojen merkityksen arvioinnissa vielä vähäisempi eikä tehdyn tarkastelun perusteella pystytty luotettavasti osoittamaan terveydentilan ja ympäristöolosuhteiden välisiä syy-yhteyksiä. Tilastojen merkitystä heikensi edelleen se, että kaikki oireilu ja lääkäriissäkäynnit eivät olleet mukana näissä tilastoissa, sillä niistä puuttuivat työterveyshuollon ulkopuoliset terveystilastojen käytöt ja lyhytaikaiset 1-3 päivän poissaolot, joiden syyt eivät ole aiemmin kirjautuneet järjestelmiin.

Siivouksen laatukselyssä huoneensa siivottavuutta parantaneista 6 vastaajaa yhteensä 21 vastaajasta koki terveydentilansa joko jonkin verran tai selvästi paremmaksi.

### 8.3.6 Työn tehokkuus

Työn tehokkuusselvitys tehtiin Örebro-kyselyn yhteydessä. Kyselyn ajankohta oli tehokkuuden arviointiin epäedullinen, sillä tutkimus oli silloin ollut käynnissä vasta noin kaksi kuukautta. Kyselyssä vastaajat arvioivat työn tehokkuuttaan viimeisen kahden viikon ajalta. Tulosten perusteella näytti siltä, että rakennuksissa 2 ja 5 eli siivousmallin C rakennuksissa työskenneltiin hieman muita rakennuksia tehokkaammin, mutta tilastollisella tarkastelulla ero ei ollut merkitsevä.

Siivouksen laatukselyn mukaan huoneensa siivottavuutta parantaneista 6 vastaajaa yhteensä 21 vastaajasta koki sen vaikuttaneen joko jonkin verran tai selvästi myös työtehoa parantavasti.

Kyselytutkimuksen mukaan hyvän ja laadukkaan siivouksen arvioitiin 88 vastaajan mielestä vaikuttavan selvästi parantavasti, 77 mielestä jonkin verran parantavasti ja 4 mielestä ei vaikuttavasti sisäilman laatuun, hyvinvointiin ja työn tuottavuuteen.

#### 8.4 Tutkimuksen luotettavuus

Siivoustyön tutkimiseen liittyy monia tulosten luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä kuten erilaiset siivousmenetelmät, aineet, välineet ja laitteet, henkilöstön ammattitaito ja motivaatio sekä työympäristötekijät kuten työtilan käyttö, kalustus, materiaalit, ilmanvaihto ja vuodenaikojen vaihtelu. Nämä pystyttiin huomioimaan ja vakioimaan kohdan 6.2 mukaisesti. Jonkin verran tutkimuksen aikana tapahtui sitä, että siivoojat painottivat työssään koehuoneiden siivousta muiden tilojen kustannuksella. Laboratorio-olosuhteissa olisi voitu päästä suurempaan tarkkuuteen, mutta tämän tutkimuksen osalta päädyttiin pitkittäistutkimukseen todellisissa olosuhteissa. Erityisenä perusteluna tälle oli se, että sopivien koeolosuhteiden rakentaminen olisi vaatinut mittavia ja kalliita järjestelyjä.

Tutkimusten suunnittelun ja organisoinnin teki hanketta varten perustettu eri alojen (siivous-, sisäilma-, hygienia- ja laboratoriotutkimusten) asiantuntijoista koostunut tutkimusryhmä. Se kokoontui säännöllisesti analysoimaan tehtyä työtä ja suunnittelemaan jatkotoimenpiteitä. Tutkimusta valvoi lisäksi pääosin tutkimusryhmän taustaorganisaatioista ja rahoittajien edustajista koostunut ohjausryhmä.

Kenttätutkimukset tekivät ammattitaitoiset tutkijat ja tutkimuksessa käytettiin testattuja tutkimusvälineitä, -menetelmiä ja -laboratorioita. Toistettavuus oli hyvä ja kenttätutkimuksia tehtiin runsaasti. Otannan laajuus olisi voinut olla suurempi, mutta taloudelliset resurssit eivät tätä mahdollistaneet. Henkilökunnan terveydentilan kliininen seuranta ja työn tehokkuustestit olisivat voineet tuoda tutkimukselle lisäarvoa, mutta taloudellisista syistä tämä ei ollut mahdollista.

Kaiken kaikkiaan tutkimusta voidaan pitää niin luotettavana, että sen avulla on ollut mahdollista tehdä tässä esitetyt johtopäätökset.

## 9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### 9.1 Siivouksen laadun mittausmenetelmät ja siivouksen laatuun vaikuttavat tekijät sekä rakennusten siivouksen laatu

Siivouksen kokonaislaadun määrittämiseen on vain vähän menetelmiä ja välineitä eikä niiden käytöstä ole kattavaa ja relevanttia tutkimustietoa olemassa. Tässä tutkimuksessa testattiin visuaalisen arvioinnin, pintapölymittauksen, ATP-menetelmän ja Hygicult-testin sekä kyselytutkimuksen soveltuvuutta siivouksen laadun määrittämiseen toimistoympäristöissä.

Visuaalinen arviointi on nopea, edullinen ja yleisimmin käytetty siivouksen laadun arviointimenetelmä. Se antoi tässä tutkimuksessa parhaiten pintapölymittauksia vastaavia tuloksia, joten tämä tukee ja puoltaa menetelmän käyttöä siivouksen laadun arvioinnissa. Visuaalinen arviointi vaatii luotettavien tulosten saamiseksi arvioinnin tekijältä alan koulutusta, perehtyneisyyttä ja kokemusta varsinkin, mikäli sitä käytetään INSTA 800 -standardin mukaisesti. Ilman apuvälineitä ja siivousalaan perehtymättömän toteuttamana visuaalista arviointia voidaan pitää lähinnä vain suuntaa antavana.

Menetelmä on erityisen hyvä poikkeamien havainnointiin, mutta pintapölyn määrää, pintahygieniaa ja lieviä pinttyymiä sillä on vaikea saada luotettavasti esille. Menetelmän tukena voitaisiin käyttää eri tilatyypin ja puhtaustasojen kuvaparitulkintaa (ennen siivousta - siivouksen jälkeen), UV-lamppua, kameraa ja pyyhkäisytestiä. Arviointia tulee joka tapauksessa edelleen kehittää ja yhdenmukaistaa, sillä se tulee jatkossakin olemaan yksi tärkeimmistä menetelmistä.

Pintapölymittausten tulosten perusteella saaduissa puhtaustasoissa oli visuaalista arviointia vähemmän hajontaa ja mittaus BM Dustdetector -laitteella osoittautui toimivaksi siivouksen laadun mittausmenetelmäksi. Tämä tutkimus osoitti, että heti siivouksen jälkeen mitattuna pintapölymäärät ovat yleensä alle 1 % ja tälle tasolle on mahdollista päästä helposti tavanomaisin ylläpitosiivouksimenetelmin. Tämä raja-arvo 1 % (vaihteluväli 0-1,25 % siivousten välillä) voidaan ottaa käyttöön puhtaustasoon 3 määriteltyjen toimistojen ylläpitosiivouksessa muiden

kuin lattiapintojen ja harvemmin siivottavien pintojen laadunvalvonnassa. Samalla raja-arvoa voidaan käyttää yleisesti kuvaamaan sitä, onko joku pinta puhdistettu vai ei. Toimistojen lattiapinnoille ja harvemmin siivottaville pinnoille raja-arvoksi voidaan asettaa 3 % (vaihteluväli 0–3,5 % siivousten välillä).

Siivouksen laadussa tapahtui siivousten välillä keskimäärin noin yhden laatutason suuruinen alenema, joka vaikuttaa suurelta ja viittaa siihen, että kerran viikossa tehtävä siivous ei ole riittävä tai siivouksella ei saada riittävän hyvää puhtautta. Puhtauden säilyminen tietyllä tasolla tarkoittaa sitä, että taso pysyy koko ajan kahden peräkkäisen puhtaustason välillä. INSTA 800-standardin mukaisesti mittaus tapahtuu siivouksen jälkeen. Tämä mittaa siivouksen onnistumista, mutta ei siivouksen laatua siivousten välillä. Tämän tutkimuksen perusteella pintapölymittaukset suositellaan tehtäväksi juuri ennen siivousta ja heti siivouksen jälkeen, jolloin saadaan selville todellinen siivouksen laatu ajan funktiona ja siivoustaajuutta voidaan tarvittaessa muuttaa. Uudessa INSTA 800-luonnoksessa onkin päädytty jo samaan suositukseen. Pintapölymittaus ei yleensä riitä ainoaksi siivouksen laadunseurantamenetelmäksi, mutta tukee hyvin mm. visuaalista arviointia. Eri puhtaustasojen ja pintakategorioiden raja-arvomäärittely vaatii edelleen tutkimuksia.

ATP-mittaustulokset vaihtelivat erittäin suuresti eri rakennuksissa ja huoneissa. Tämän tutkimuksen mukaan yhdelläkään tutkimuskerralla missään rakennuksessa ei ylletty keskimäärin hyvään pintahygieniatasoon (< 40 RLU). ATP-menetelmä sopii tämän tutkimuksen mukaan hyvin hygieniatilanteen tarkistuksiin erityisesti saniteetti- ja muissa yhteistiloissa ja niiden kriittisissä pisteissä. Sen rinnalla käytetty Hygicult-testi antoi arvokasta lisätietoa pintahygieniasta ja niitä voitaisiinkin suositella käytettäväksi ainakin osittain yhdessä. Toimistotilojen ja vastaavien osalta ohjeellisten ATP-raja-arvojen täsmentäminen jatkotutkimuksilla on perusteltua.

Hygicult-testillä saatiin viitteitä pintojen puhdistumiseen liittyneistä puutteista. Ongelmana tässä menetelmässä, kuten muissakin kasvatusmenetelmissä, on tulosten saannin hitaus ja menetelmän selektiivisyys mikrobien suhteen. Tutkimus toi esille siivouksen tehostamistarpeen pinnoille, joita kosketellaan paljon. Näitä ovat toimistotiloissa muiden muassa tuolin käsinojat, työpöydän ulottuvuusalueet, puhelimen luuri, valokatkaisin ja oven kahva, jotka ovat erityisen arkoja käsikontaminaatiolle ja ihon sebum-lialle. Tutkimuksessa saatiin osoitus siitä, että harvoin siivottavat kohteet kuten ylätasopinnat (pinnat > 1,80 m) tulee puhdistaa nykyistä useammin eli noin 2 kuukauden välein, jotta pintojen hygieeninen laatu pysyy suositusten mukaisella tasolla.

Kyselytutkimuksella saatiin nopeasti arvokasta palautetta vastaajilta. Ongelmana tässä kuten kaikissa kyselytutkimuksissa oli se, että niillä voidaan parhaiten kuvata vain yleistä tyytyväisyyden tasoa ja ajallisia muutoksia. Ne eivät suoraan kerro siivouksen laatutasoa. Menetelmä on varsin käyttökelpoinen ja voi

joissakin tapauksissa olla jopa ainoa siivouksen laadunseurantamenetelmä, mutta sitä tulee kuitenkin kehittää edelleen.

Kyselytutkimuksia tulisi kehittää niin, että vastaajat voisivat arvioida siivouksen laadun toteutumista asetettuihin tavoitteisiin verrattuna esimerkiksi liukuskaalan (-2, -1, 0, +1, +2) avulla. Siinä 0 vastaa tavoitetta (= tyytyväinen) ja -2 alittaa selvästi ja +2 ylittää selvästi tavoitteen. Myös lukujen väliset arvot ovat nykyisten tietoteknisten sovellusten avulla käytettävissä. Vastaajilta tulisi kysyä arviota ennen siivousta ja siivouksen jälkeen. Nykyinen yleisesti käytetty arviointi asteikolla heikosta laadusta kiitettävään laatuun (1-5) antaa yleisesti liian korkeita arvioita ja sen yhteys siivouksen laatuavoitteisiin (puhtaustasoihin) on heikko. Toinen vaihtoehto voisi olla kyselytutkimuksen kehittäminen Örebro-kyselyn suuntaan, sillä siivouksella ja sisäilman laadulla on paljon yhtymäkohtia juuri laadunhallinnassa.

Siivouksen laatuun vaikuttavina tekijöinä nousivat esille erityisesti rakennuksen tekninen laatu (ilmanvaihdon toteutustapa ja suodatusaste), ominaisuudet ja pintamateriaalien kunto, tilojen siivottavuus ja käyttö sekä siivoojasta saatu vaikutelma ja siivoojan ammattitaito.

Rakennusten siivouksen kokonaislaatu ei vastannut tavoitteita visuaalisen laadun, pintapölymittausten eikä ATP-mittausten mukaan. Hygicult-tuloksissa hyväksytyihin tasoihin päästiin useammin, mutta saadut tulokset olivat korkeita. Kyselytutkimusten tuloksia puolestaan on vaikea verrata tavoitteisiin. Vaikka huomioidaan kaikki tutkimukselliset epävarmuustekijätkin, saatu tulos viittaa siihen, että suurten kohteiden ostopalvelusiivous ei vastaa nykyisiä vaatimuksia eikä tuota tavoitteiden mukaista siivouksen laatua. Koska arvioinnit ja mittaukset kohdistuivat pintoihin, jotka ovat säännöllisen siivouksen kohteina, on tulosta pidettävä erittäin merkittävänä.

Tutkimuksen hypoteesina oli, että nykyiset siivouksen laadun tutkimusmenetelmät ja -välineet ovat riittämättömiä siivouksen laadun määrittämiseen. Yhteenvetona voidaan todeta, että tutkimuksessa käytetyt siivouksen laadun tutkimusmenetelmät olivat tähän tutkimukseen valideja ja yhdessä niiden pohjalta voitiin luoda varsin hyvä kokonaiskuva kustakin tutkittavasta kohteesta. Tutkimus osoitti, että nämä menetelmät mittaavat kukin vain omaa osaa siivouksen kokonaislaadusta, jolloin tulokset saattavat olla ristiriitaisia keskenään ja kokonaislaadun arviointiin tarvitaan monia menetelmiä. Lisäksi kaikkiin käytettyihin menetelmiin tai niiden tulkintoihin sisältyi kehittämistarpeita. Edelleen joihinkin siivouksen laadun osa-alueisiin ei käytetyillä menetelmillä saatu vastauksia (ja joitakin ei sisällytetty tutkimukseen). Näistä mainittakoon pintojen värimuutokset, pinttyvät ja kuluneisuus.

Siivouksen laadunseurantaan tarvitaan näin ollen nopeita, yksinkertaisia ja halpoja laitteita, välineitä ja menetelmiä. Erityisesti tarvetta on visuaalista arviointia tukevien, pintojen hiukkasmäärien ja pintahygienian laitteiden ja menetelmien kehittämiseen, sillä näillä voidaan parhaiten määrittellä ihmisten terveyden kan-

nalta relevanteimpia siivouksen laadun osa-alueita. Laadun tutkimusmenetelmiä ei pidä nähdä ostopalvelusiivouksen sanktiokeinoina vaan ensisijaisesti apuvälineinä materiaalien, aineiden, menetelmien ja välineiden toimivuuden testaamiselle ja koko siivousalan kehittämiseksi. Uusien laitteiden tulisi olla sellaisia, että niitä olisi vaivatonta käyttää myös omavalvonnassa.

Rinnan tutkimuslaite- ja menetelmäkehityksen ja niihin liittyvien raja-arvomääritysten kanssa tulee kehittää laadunhallinnan standardointia joko kokonaan omana tai INSTA 800 -järjestelmän pohjalta. Standardoinnissa tulee huolehtia siitä, että laadunhallinta käsittää koko siivouspalveluprosessin ja kaikista kriittisin vaihe työturvallisuuden ja terveyden kannalta on aina tilanne ennen siivousta. Standardiin tulee ottaa terveystieteiden näkökulma aidosti mukaan. Tämän mukaisesti laadunseurantaan liittyvät mittaukset ja arvioinnit tulee tehdä ennen siivousta ja sen jälkeen. Olisi myös toivottavaa, että siivousmitoituksessa ja standardoinnissa laatu nostettaisiin aikakeskeisyyden rinnalle, jolloin siivouksen laatu saisi sille kuuluvan aseman koko siivousalan kehittämiseksi.

Todetut siivouksen laatuvaatimukset vaativat luonnollisesti jatkoselvityksiä ongelman laajuudesta ja tarvittavista korjaustarpeista, sillä kyseessä on ihmisen työympäristön turvallisuuden ja terveellisuuden sekä työn tehokkuuden oleellisesti vaikuttava asia.

## **9.2 Siivouksen ja sisäilman laadun väliset yhteydet sekä vaikutukset toimistotyöntekijöiden kokemaan terveydentilaan ja työn tehokkuuteen**

Ilmassa leijuvien ja laskeutuvien hiukkasten ja pintahygienian huomioimista toimistorakennusten siivouksessa ja siivouksen vaikutusta sisäilman laatuun ja työntekijöiden terveyteen sekä työn tehokkuuteen on tutkittu vain vähän. Pääpaino perinteisessä siivouksessa ja siihen liittyvässä laadun valvonnassa on ollut näkyvän lian poistossa. Tässä tutkimuksessa selvitettiin myös silmälle näkymättömien hiukkasten käyttäytymistä sekä lukumäärä- ja massapitoisuutta ulkoilmassa ja sisätiloissa sekä pintahygieniaa.

Tehtyjen mittausten mukaan ulkoilmasta tapahtuu pääasiassa alle 1 µm hiukkasten kulkeutumista sisätiloihin. Tämä näkyi erityisesti eri hiukkasten kokoluokkien ulkoilma-sisäilmäkytkennän ja myös hiukkasten massapitoisuuksien (PM<sub>10</sub>) mittauksissa. Hiukkasten kulkeutuminen on sitä tehokkaampaa ja nopeampaa mitä pienempiä hiukkaset ovat ja mitä suurempi on tilojen alipaine ulkoilmaan nähden. Koneellisen ilmanvaihdon kohteissa tuloilmasuodattimien erotusasteeseen on syytä kiinnittää huomiota.

Alle 1 µm hiukkaset eivät juurikaan sedimentoidu tasopinnoille. Ne pysyvät kuitenkin kiinnittymään toisiin hiukkasiin, jolloin niiden sedimentoituminen on mahdollista ja ne voivat deponoitua myös muille huonepinnoille kuten seinille ja kattoon. Ylläpitosiivouksella voidaan vaikuttaa tasopinnojen hiukkas-



määriin ja harvemmin tehtävillä siivouksilla myös muiden pintojen hiukkasmääriin. Alle 1  $\mu\text{m}$  ilmassa leijuviin hiukkasiin voidaan pääasiassa vaikuttaa ilmanvaihdon avulla, mutta myös lisäämällä harvemmin tehtävien siivousten määrää, kuten tämä tutkimus osoitti. Siivousmenetelmiä valittaessa on huomioitava se, että tämän kokoluokan hiukkasten poistossa tulee käyttää vähintäänkin nihkeitä pyyhintämenetelmiä (tai yhtä tehokkaita), sillä esim. imurointi ei poista kaikkia hiukkasia. Hiukkasten depositionopeuden ajalliset muutokset olisi tärkeää selvittää jatkossa kokeellisesti ja mallintamalla.

Suuremmat kuin 1  $\mu\text{m}$  hiukkaset sedimentoituvat huonetilan tasopinnoille. Nämä hiukkaset tulevat pääasiassa sisälähteistä ja ihminen itse toimintoineen on merkittävä lähde. Tämän kokoluokan hiukkaset nousevat helposti uudelleen ilmaan, mikä kävi selkeästi ilmi tehdyissä hiukkasmittauksissa. Myös hiukkasmassapitoisuudet ( $\text{PM}_{10}$ ) nousivat sisäilmassa voimakkaasti käytön seurauksena, mutta myös laskivat nopeasti kun huoneesta poistuttiin. Tämä viittaa siihen, että pääasiassa suuremmat hiukkaset ( $>1 \mu\text{m}$ ) resuspendoituvat huoneessa oleskelun aikana ja sedimentoituvat oleskelun loputtua nopeasti. Koska nämä hiukkaset voivat olla tai ne voivat sisältää muiden muassa erilaisia bakteereja, sieni-itiöitä, mineraalikuuituja ja adsorboituneita kaasumaisia yhdisteitä, ovat ne selkeästi riski sisäilman laadulle ja pintapuhtaudelle. Siten siivouksella tulee huolehtia niiden säännöllisestä poistosta huonetilan pinnoilta ja siivouksella on tätä kautta selvä yhteys sisäilman laatuun.

Erityisesti ikkunaympäristö, pääasiassa termoforeesin ja ilmapvirtausten vaikutuksesta näyttää muodostavan hyvän kerääntymis- ja kasvualueen erilaisille mikrobeille, joten ikkunapenkin/-laudan puhdistaminen ylläpitosiivouksen yhteydessä on tärkeää.

Siivouksen merkitystä ihmisten terveyteen ja työn tehokkuuteen selvitettiin työtervestilastoilla ja kyselytutkimuksilla. Terveystilastoilla ei saatu luotettavasti esille käyttäjien terveydentilan ja sisäympäristöolosuhteiden välisiä syy-yhteyksiä. Kyselytutkimuksissa selvitettiin sekä työntekijöiden terveydentilaa että työn tehokkuuden muutoksia. Örebro-kyselyn yhteydessä selvitetty työn tehokkuus ei tuonut tilastollisesti merkitseviä muutoksia esille. Kysely toteutettiin vain tutkimushankkeen alussa, joten sillä ei saatu selville muutoksia tutkimuksen myöhemmistä vaiheista. Webropol-kyselyt toteutettiin hankkeen aikana kolme kertaa ja niiden mukaan vastaajat kokivat hyvällä siivouksella olleen lievästi sekä terveyttä että työn tehokkuutta parantavia vaikutuksia. Vapaiden vastausten mukaan suuri odotusarvo sisältyy todella hyvälle siivoukselle ja sen mukanaan tuomille positiivisille vaikutuksille.

Tutkimuksen hypoteesina oli, että siivouksella on vaikutusta sisäilman laatuun ja työntekijöiden terveyteen ja työn tehokkuuteen. Tehty tutkimus osoitti, että siivouksen ja sisäilman laadun väliset yhteydet ovat olemassa ja tätä kautta yhteyksiä on olemassa myös työntekijöiden terveyteen ja työn tehokkuuteen. Näiden yhteyksien yhteinen tekijä ovat hiukkaset. Sisäilman leijuviin hiukkasten

lukumäärä- ja massapitoisuuksille tulee tutkimuksin määritellä terveysperusteiset raja-arvot. Oikein toteutetulla laadukkaalla siivouksella voidaan vähentää hiukkasten määrää pinnoilla ja sisäilmassa ja siten parantaa sisäympäristön laatua. Hiukkasmittaukset saattaisivat olla tulevaisuudessa yhteinen sisäilman ja siivouksen laadun tutkimusmenetelmä, mutta tähän liittyvää tutkimusta tarvitaan lisää.

### *Kiitokset*

Olen yli 22 julkishallinnon työvuoteni aikana ollut selvittämässä yli sataa laajaa sisäilmaongelmatapausta, pienempien ja yksittäisten määrää en uskalla edes arvailla. Usein näissä selvityksissä nostetaan esille pölyn ja lian merkitys eräänä osasyynä työntekijöiden oireiluun ja epäillään siivouksen huonoa laatua. Ongelmien poisto tai ainakin oireilun vähentäminen olisikin tämän pohjalta helppoa – parannetaan siivouksen laatua. Voisiko tässä olla kuitenkin jotain perää?

Olen saanut seurata myös siivouspalveluissa tapahtunutta murrosta vastaavana aikana aitiopaikalta, palvelun tilaajana. Muutos on ollut 1990-luvun puolesta välistä tähän päivään selkeä. Toimistojen siivoojat ovat harvalukuistuneet, siivouskerrat vähentyneet eikä koneita juuri näy edes käytävien ylläpitosiivouksessa. Valitukset siivouksen heikosta laadusta ovat lisääntyneet. Tilaajana on pakko todeta, että tarkoitus ei ole ollut suinkaan tämä. Laatu on ollut hintaa tärkeämpi tarjouskilpailujen valintaperusteena jo pitkään. Mikä se siivouksen laatu sitten todellisuudessa on?

Edellä kuvatut seikat; siivouksen epäselvä yhteys sisäilman laatuun ja siivouksen laatu, veivät minut vuoden 2005 syksyllä silloisen esimieheni, Jyväskylän yliopiston hallintojohtaja Erkki Tuunasan pakeille esittämään tutkimushankkeen suunnittelun käynnistämistä ja rahoitusjärjestelyjen selvittämistä. Kiitokseni Erkille – lupa tuli. Nyt lähes kuusi vuotta myöhemmin hankkeen tulokset ovat luetavissa tämän kirjan sivuilta.

Kiitän professori Aimo Oikaria ja professori Jukka Rintalaa Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteen laitoksen ympäristötieteen osastolta väitöstyön mahdollistamisesta ja hankkeen taloudelliseen ohjaukseen sekä läpivientiin liittyneistä ohjeista ja neuvoista. Lehtori Jari Haimia bio- ja ympäristötieteen laitoksen ekologian ja evoluutiobiologian osastolta kiitän työni loppuvaiheen avusta ja julkaisemisen mahdollistamisesta. FT (yliassistentti emerita) Anja Veijasta kiitän hankkeen ideointivaiheen avusta.

Kiitän Valtion työsuojelurahastoa taloudellisesta tuesta, jolla käytännön tutkimukset oli mahdollista toteuttaa. Hankkeelle asetettiin ohjausryhmä, jonka jäseninä olivat professori Kari Reijula, Työterveyslaitos, asiamies Satu Henttonen, Pardia ry, yliarkkitehti Liisa Munsterhjelm, Opetusministeriö, kiinteistöpäällikkö Anja Miettinen, Senaatti-kiinteistöt, työterveyslääkäri Erkki Hokkanen, Terveystalo Oy, toiminnanjohtaja Roger Bäckroos, Suomen Siivoustekninen liitto ry, kehitysjohtaja Merja Oljakka, SOL Palvelut Oy, henkilöstöjohtaja Markku Uusitalo, Jyväskylän yliopisto, työsuojelupäällikkö Olli-Pekka Laakso, Jyväskylän yliopisto ja työsuojeluvaltuutettu Ritva Harden, Jyväskylän yliopisto. Lämpimät kiitokseni kaikille ohjausryhmän jäsenille rakentavista ja tutkimusta suunnanneista kommenteista hankkeen eri vaiheissa.

Kiitän Työsuojelurahastoa ja Suomen Siivousteknistä liittoa taloudellisesta tuesta, joiden avulla minulla on ollut mahdollista keskittyä tämän kirjan kirjoittamiseen.

Työni ohjaajista professori Markku Kuitusta kiitän erityisesti työn tulosvaiheeseen liittyneistä kehittämisesityksistä ja neuvoista ja yliassistentti Timo Ålanderia kiitän lämpimästi arvokkaista neuvoista ja ohjauksesta tutkimusten aikana ja erityisesti sinnikkäästä työn sisällön kehittämisestä.

Työni esitarkastajia professori Pertti Pasasta Itä-Suomen yliopistosta, dosentti Markku Seuria Tarmo ja Terveys Oy:stä sekä MTT Eija Pesonen-Leinosta kiitän työni kehittämiseen liittyneistä rakentavista parannusehdotuksista.

Tilastolliseen tarkasteluun liittyneistä monista neuvoista ja ohjeista kiitän lehtori Anssi Lensua ja professori Antti Penttistä.

Erityiset kiitokseni kuuluvat luonnollisesti hankkeen projektiryhmälle, johon kuuluivat työhygieenikko Tuomo Lapinlampi, työhygieenikko Kari Salmi ja tutkimusinsinööri Pasi Hynynen Työterveyslaitokselta, toimitusjohtaja Tarja Andersson ja projektipäällikkö Raija Ikonen TPA Andersson Oy:stä, toimitusjohtaja Tuula Suontamo ja projektipäällikkö Jenni Rissanen Tuula Suontamo Oy:stä, mikrobiologi Aija Luoma Jyväskylän kaupungista, tutkija Jaakko Pönttiö ISS Palvelut Oy:stä ja lehtori Leila Kakko Pirkanmaan ammattikorkeakoulusta. Kiitokseni lisäksi Työterveyslaitoksen teknologiajohtaja Rauno Holopaiselle hiukkastutkimuksiin liittyneistä neuvoista ja erikoislääkäri Ulla-Maija Hellgrenille kyselytutkimusten analysoinnista sekä Työterveyslaitoksen muille asiantuntijoille, jotka autoitte monin eri tavoin saamaan tutkimukset arvoiseensa päätökseen.

Englanninkielen käännöksistä kiitän amanuenssi Sirpa Vehviläistä ja amanuenssi Jennifer Nelsonia.

Julkaisukoordinaattori Pekka Olsbota ja julkaisuamanuenssi Ville Korkiakangasta kiitän työni painokuntoon laitosta.

Lapsiani Piiaa, Heiniä ja Teemua kiitän myötäelämisestä ja Heiniä myös erityisesti kuvien muokkaamisesta. Suurimmat kiitokseni ansaitsee luonnollisesti vaimoni Eila, joka on pyyteettömästi jaksanut aina kannustaa ja tukea minua koko tämän pitkän prosessin aikana.

Toivon tämän kirjan myötä, että koko puhtausala saisi ansaitsemansa huomion ja sille kuuluvan arvon ja että alan kehitystyö saisi tämän avulla uutta nostetta ja kohdennettua tutkimusresursointia.

## EXECUTIVE SUMMARY

### **Cleaning services and the working environment. The quality and quality control methods of outsourced cleaning services, and the effects of cleaning on the quality of indoor air, on the experienced health of the office workers and on work effectiveness**

Only a few methods and tools exist for determining the overall quality of cleaning, and no extensive and relevant research data regarding their use exists. This study tested the suitability of visual evaluation, surface dust measurements, the ATP method and the Hygicult test in determining the quality of cleaning in office environments.

Visual evaluation is a fast, affordable and the most often used method of evaluating the quality of cleaning. In this study, the results of visual evaluation corresponded best with the surface dust measurements, supporting the use of this method in evaluating the quality of cleaning. In order to obtain reliable results, visual evaluation requires that the person conducting the evaluation have relevant training, familiarity and experience in the field, especially when used in accordance with the INSTA 800 standard. When conducted without instruments and by someone with little experience in the cleaning industry, visual evaluation can be considered as suggestive only.

The method is especially suited to observing anomalies. However, reliably gauging the amount of surface dust, surface hygiene and mild staining is difficult. A picture pair analysis (before cleaning and after cleaning) of different space types and levels of cleanliness, a UV lamp, a camera and a swab test could all be used to support this method. The evaluation must in any case be further developed and standardised, as it is likely to continue to be one of the most important evaluation methods.

Compared to the results from the visual evaluation, less dispersion existed on the cleanliness levels based on the results of the surface dust measurements. The BM Dustdetector proved to be a functional tool for measuring the quality of cleaning. The study showed that when measured directly after cleaning, the dust coverage percentages are usually less than 1%, and that this level is easy to obtain by using regular maintenance cleaning methods. This limit of 1% (with a range of 0-1.25% between cleanings) can be used for the quality control of maintenance cleaning for offices with the defined cleanliness level of 3, when determining the quality of cleaning for surfaces other than floors and for those surfaces that are cleaned less often. At the same time, the limit can be used more broadly to describe whether something has been cleaned or not. The limit that can be set for office floors and other surfaces, which are cleaned less often, is 3% (with a range of 0-3.5% between cleanings).

On average, a decline of one level of cleanliness occurred in between cleanings, which seems extreme, and is indicative of the fact that either one cleaning a week is insufficient, or that the degree of cleanliness obtained by the cleaning is insufficient. Maintaining cleanliness at a certain level means maintaining the level between two consecutive cleanliness levels at all times. According to the INSTA 800 standard, the measurement takes place after the cleaning. This measures the success of the cleaning, but not its quality in between cleanings. Based on this study, it is recommended that surface dust measurements be taken right before and directly after cleaning in order to determine the real quality of the cleaning as a function of time, and the cleaning frequency can be adjusted if necessary. The same conclusion has been reached in the new INSTA 800 draft. A surface dust measurement is usually insufficient as the only quality control method of cleaning, but supports visual evaluation well, among other things. Defining the limit values for different cleanliness levels and surface categories requires further research.

The results of the ATP method varied greatly in different buildings and rooms. According to this study, a good level of surface hygiene (< 40 RLU) on average was reached in none of the measurements conducted. The ATP method is, according to this study, well suited to inspecting the hygiene levels in the sanitary facilities and other common areas, and in their critical points. The Hygicult, used alongside the ATP test, provided valuable additional information on the surface hygiene and it could be recommended that they, at least occasionally, be used together. Defining the ATP limit values for offices and other such spaces upon further research is justifiable.

The Hygicult test provided indications on the deficiencies related to surface cleaning. The problem with this method, as with other cultivation methods, is the slowness with which results are obtained and the selectiveness of the method with regard to microbes. The study highlighted the need for intensifying the cleaning on surfaces that are touched frequently. In office spaces these are the armrests of a chair, the desk, the telephone receiver, the light switch and the door handle, which are especially susceptible to hand contaminants and sebum dirt. The study proved that the surfaces cleaned less often, such as high-level (above 1.80 m) surfaces should be cleaned more often than is currently done. In order to maintain the hygiene level of these surfaces within recommended limits, they should be cleaned approximately every 2 months.

The questionnaire obtained rapid and valuable feedback from respondents. The problem with this, as with all questionnaires, was the fact they are best used to depict the general level of satisfaction and changes over time, rather than directly providing information on the quality of cleaning. The method is very useful and in some cases may be the only quality control method of cleaning, but it needs to be developed further. The questionnaires should be developed so that respondents would be able to evaluate the quality of cleaning using a sliding scale (-2, -1, 0, +1, +2). On this scale, 0 indicates meeting the objective (= satisfied), with

-2 significantly below and +2 significantly above the objective. Values between these numbers can also be used with current computer applications. The respondents should be asked to provide an evaluation both before and after cleaning. The current commonly used scale from poor to excellent (1-5) gives generally too high scores and its connection to the quality objectives (levels of cleanliness) of cleaning is weak. Another alternative could be developing the questionnaire after the Örebro questionnaire, as cleaning and indoor air quality have many confluences.

As factors influencing the quality of the cleaning, the technical quality of the building (the execution and filtration level of air conditioning), the qualities and condition of surface materials, the use and cleanability of the space, the impression obtained from the cleaner and the cleaner's professionalism were highlighted.

The overall quality of cleaning in buildings did not meet the objectives according to visual quality, surface dust measurements and ATP measurements. The Hygicult results achieved acceptable levels more often, but the results obtained were high. It is difficult to compare the results of the questionnaire to the objectives. Even when taking into consideration all the research limitations, the obtained results indicate that the outsourced cleaning services of larger sites did not meet current requirements nor did they produce results in accordance with the objectives. Because the evaluations and measurements were focused on surfaces, which are subject to regular cleaning, the results are particularly significant.

The hypothesis of the study was that the current research methods and tools measuring the quality of cleaning are insufficient. To summarise, the methods used to measure the quality of cleaning in this study were valid for the purposes of this study, and based on all of the methods, a good overall picture of each research site was illustrated. The study showed that each of the methods measure only a part of the overall quality of cleaning. This means that they may produce conflicting results and that several methods are needed to determine the overall quality of cleaning. Additionally, all of the methods used or their interpretations needed further development. Further, some areas of quality of cleaning could not be measured using these methods (and some were not included in the study). Noteworthy among these are the colour changes of surfaces, staining, and wear and tear.

Thus, rapid, simple and inexpensive equipment, tools and methods are needed for the quality control of cleaning. This need exists particularly in the development of equipment and methods supporting visual evaluation and measuring the particle level of surfaces and surface hygiene, as these are the best ways of determining the areas of cleaning most relevant to human health. The research methods of quality should not be seen as sanctions for outsourced cleaning services, but primarily as tools for testing the functionality of materials, substances, methods and equipment and for the development of the entire cleaning industry.

The new equipment should be such that they are effortless to use in internal quality control.

Alongside the development of equipment and methods and the related limit values, the standardisation of quality control should also be developed either as entirely independent, or based on the INSTA 800 system. In standardisation it should be ensured that the quality control encompasses the entire cleaning process and that the most critical phase for occupational health and safety is always the pre-cleaning state. The standard should sincerely address health and safety. Accordingly, the measurements and evaluations relating to quality control should be done both before and after cleaning. It is also desirable that in measuring and standardising cleaning, quality would be elevated to the level of time-centricity, in order for it to obtain the status it needs in the development of the cleaning industry.

The uncovered deficiencies in the quality of cleaning naturally require further investigation into the extent of the problems and the changes needed, as the issue has a significant impact on the health and safety of the working environment as well as on work effectiveness.

Taking into account airborne and descending particles and surface hygiene in the cleaning of office buildings, as well as the effect of the cleaning on indoor air quality, the workers' health and work effectiveness have been scarcely researched. The emphasis in traditional cleaning and the quality control related to it has been on removing visible dirt. This study also examined the behaviour of particles not visible to the naked eye, the number and concentration thereof in both outdoor and indoor air, as well as surface hygiene.

According to the measurements made, less than 1  $\mu\text{m}$  of particles transition from outside to inside. This was visible in the outdoor-indoor connections in the diameters of different particles, as well as in the measurements of the particles' concentration ( $\text{PM}_{10}$ ). The smaller the particles, and the greater the low pressure of the facilities when compared to outdoor air, the more effective and rapid the transitioning of particles is.

Particles less than 1  $\mu\text{m}$  in aerodynamic diameter rarely settle on level surfaces. They can, however, attach themselves to other particles, enabling the sedimentation. They can also deposit onto other room surfaces such as the walls or the high-surfaces. Maintenance cleaning can have an impact on the number of particles on level surfaces and less frequent cleanings also on the number of particles on other surfaces. Floating particles less than 1  $\mu\text{m}$  in aerodynamic diameter can be affected by air conditioning primarily, but also by more frequent in-depth cleaning, as this study showed. When choosing cleaning methods however, one must take into account that removing particles of this diameter requires at least damp wiping methods (or other methods equally as efficient) as vacuuming for example will not remove all particles. It is important to examine the temporal changes in the deposition frequency of particles in the future.



Particles larger than 1  $\mu\text{m}$  in aerodynamic diameter settle on the level surfaces of the room. The particles originate mainly from internal sources, and humans and their activities comprise a major source. Particles in this size category are easily airborne, which was clearly evident in the particle measurements. In addition, the particle mass concentration ( $\text{PM}_{10}$ ) in indoor air rose rapidly as a result of use, but declined rapidly after the room was vacated. This is indicative of mainly the larger particles ( $>1 \mu\text{m}$ ) re-suspending in air when the room is occupied and settling rapidly after the room is vacated. As these particles can be or contain, among other things, different types of bacteria, fungal spores, mineral fibres and adsorbed gassy compounds, they are clearly a risk to indoor air quality and to surface cleanliness. Therefore, they must be regularly cleaned off the surfaces of the room: this cleaning has a clear connection to the quality of indoor air.

Mainly due to the effect of thermophoresis, particularly the areas around the windows seem to constitute an opportune deposit and growth environment for different microbes, making the windowsill a critical area of maintenance cleaning.

The significance of cleaning for human health and work effectiveness was examined using health statistics and questionnaires. With regard to health statistics, it must be noted that the other qualities of indoor air have a more significant impact, making it almost impossible to determine the effects of cleaning. Mainly the connection between respiratory symptoms and illnesses and indoor air is significant. The questionnaires examined both the health of the workers and changes in work effectiveness. The work effectiveness examined in connection with the Örebro questionnaire brought out no significant changes. Because the questionnaire was used only at the beginning of the study, no changes during the later stages of the study were discovered. The Webropol questionnaires were conducted three times throughout the study, and according to the results the respondents felt that good cleaning had yielded a slight improvement on both health and work effectiveness. According to responses to open-ended questions, a great expectation value is contained in a really good cleaning and the positive effects it brings.

The hypothesis of the study was that cleaning has an effect on the quality of indoor air and on the health of workers and on work effectiveness. The study showed that the connections between cleaning and indoor air quality exist, and through it cleaning also has connections to the health of workers and to work effectiveness. The common denominators in these connections are particles. Health-based limit values must be defined for the number and concentration of floating particles in indoor air through research. A properly conducted quality cleaning can lower the number of particles on surfaces and in indoor air, thus improving the quality of the indoor environment. In the future, particle measurements could become a common method for evaluating indoor air quality and the quality of cleaning, but further research is required.

## TIIVISTELMÄ

Jyväskylän yliopistossa testattiin vuosina 2007–2008 kolmea erilaista ostopalvelusiivouksen toteutusmenetelmää viidessä yliopiston rakennuksessa. Tutkimuksen tavoitteina oli selvittää siivouksen laadun mittausten soveltuvuutta laadun mittaukseen, siivouksen laatuun vaikuttavia tekijöitä, tutkimusrakennusten siivouksen laatua, siivouksen ja sisäilman laadun välisiä yhteyksiä sekä vaikutuksia työntekijöiden terveyteen ja työn tehokkuuteen. Siivouksen laatua tutkittiin visuaalisilla ja objektiivisilla mittausten menetelmillä sekä kyselytutkimuksilla. Tutkimushuoneiden pintapölyä ja sisäilman laatua tutkittiin laboratorioanalyysillä ja leijuvien hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuutta sekä ilman fysikaalisia olosuhteita mitattiin jatkuvatoimisilla analysaattoreilla. Hiukkasmittausten mukaan aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 1 µm hiukkasten ulko-sisäsiirtymää tapahtui kaikissa tutkimuskohteissa. Yli 1 µm:n hiukkaset olivat peräisin pääasiassa sisälähteistä ja ihminen itse toimintoinen on merkittävä lähde. Tutkimuksen perusteella erityisesti ikkunaympäristö muodostaa hyvän deponoitumis- ja kasvualueen erilaisille mikrobeille. Tutkimuksessa saatiin viitteitä siitä, että siivousta voidaan helpottaa ja siivouksen ja sisäilman laatua parantaa tilojen siivottavuutta parantamalla ja lisäämällä perusteellisten siivousten määrää. Tehty tutkimus osoitti, että kokonaisuutena siivouksen laadunhallintaa ja laadun mittausten menetelmiä tulee edelleen kehittää. Kaikilla siivouksen laadun mittausmenetelmillä saatiin esille puutteita siivouksen laadussa eikä missään rakennuksessa saavutettu hyväksyttävää laatutasoa käytetyillä arviointikriteereillä. Rakennusten tekninen laatu, ominaisuudet ja pintamateriaalien kunto sekä siivoajan ammattitaito vaikuttivat siivouksen laatuun merkittävästi ja tämä näkyi erityisesti kyselytutkimusten tuloksissa. Tehty tutkimus osoitti, että siivous vaikuttaa sisäilman laatuun ja tätä kautta työntekijöiden terveyteen ja työn tehokkuuteen. Oikein toteutulla laadukkaalla siivouksella voidaan selkeästi parantaa sisäympäristön laatua.

## LÄHDELUETTELO

- Adgate J.L., Ramachandran G., Pratt G.C., Waller L.A. & Sexton K. 2003. Longitudinal variability in outdoor, indoor and personal PM<sub>2.5</sub> exposure in healthy non-smoking adults. *Atmospheric Environment* 37(7): 993-1002.
- Aikivuori A. 2001. Terveen rakennuksen evoluutio. VTT, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Espoo.
- Allermann L., Pejtersen J., Gunnarsen L. & Poulsen O.M. 2007. Building-related symptoms and inflammatory potency of dust from office buildings. *Indoor Air* 17(6): 458-467.
- Anderson L. 2005. Damm i skolmiljö - förekomst, värdering och effekter av intervention. Nordiska högskolan för folkhälsovetenskap. Master of Public Health.
- Andersson M. 1999. Bacterial diversity and toxicity in air, *Indoor Environment and Foods*. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. 13/1999. Helsinki.
- Andersson T. 2008. Puhtauden todentaminen rakennushankkeissa ennen toimintakäyttöä ja vastaanottoa. Sisäilmastoseminaari. Seminaariesitys 5.3.2008. Espoo.
- Andersson TPA Oy. 2005. Siivouspalvelun laadun arviointi Jyväskylän yliopistossa. Tutkimusraportti.
- Andersson TPA Oy. 2006. Siivouspalvelun laadun arviointi Jyväskylän yliopistossa. Tutkimusraportti.
- Andersson TPA Oy. 2010. Siivouspalvelun laadun arviointi Jyväskylän yliopistossa. Tutkimusraportti.
- Antikainen M. 2003. Ostettujen siivouspalvelujen laatu kunnissa. Loppuraportti. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.
- Asikainen V., Damsten H., Ihalainen M., Kalliokoski P., Karjala M-M., Korpi A., Kurnitski J., Kuuspallo K., Naarala J., Palonen J., Pasanen P., & Soininen V. 2009. Rakennuspölylle altistumisen vähentäminen uudisrakentamisessa. Kuopion yliopisto ja teknillinen korkeakoulu. Kuopion yliopiston ympäristötieteen laitoksen monistesarja. Kuopio.
- Aulanko M. 1993. Pölyjen poisto, pintapölyn määrä ja ilman hiukkaspitoisuus. Helsingin yliopisto, maa- ja kotitalousteknologian laitos. Kodin teknologian julkaisuja 24. Helsinki.
- Aulanko M. 1995. Pintamateriaalit tarkastelussa. Helsingin yliopisto, maa- ja kotitalousteknologian laitos. Kodin teknologian julkaisuja 31. Helsinki.
- Aulanko M. 2002. Siivous. Terve talo-teknologiaohjelman osa-raportti. Maa- ja kotitalousteknologian laitos, Helsingin yliopisto. Helsinki.
- Aulanko M., Kakko L. & Pesonen-Leinonen E. 2000. Siivous ja sisäilma. Tutkimuksia toimistokiinteistöissä ja laboratoriossa. Helsingin yliopisto. Koti- ja laitostalousteknologian julkaisuja 4. Helsinki.

- Asmi A. 2000. Ulkoilman pienhiukkaspitoisuuden vaikutus sisäilman pitoisuuksiin. Helsingin yliopisto. Helsinki.
- Bakke J.V., Norbäck D., Wieslander G., Hollund B.-E., Florvaag E., Haugen E.N. & Moen B.E. 2008. Symptoms, complaints, ocular and nasal physiological signs in university staff in relation to indoor environment - temperature and gender interactions. *Indoor Air* 18: 131-143.
- Barnes C.S., Kennedy K., Gard L., Forrest E., Johnson L., Pacheco F., Hu F., Amado M. & Portnoy J. M. 2008. The impact of home cleaning on quality of life for homes with asthmatic children. *Allergy and Asthma Proceedings* 29: 197-204.
- Bjålie J.G. Haug E., Sand O., Toverud K.C. & Sjaastad Ö.V. 1999. Ihminen. Fysiologia ja anatomia. WSOY. Helsinki. 510 s.
- Bornehag C.G. Sundell J., Bonini S., Custovic A., Malmber, P., Skerfving S., Sigsgaard T. & Verhoeff A. 2004. Dampness in buildings as a risk factor for health effects, Euroexpo: a multidisciplinary review of the literature (1998-2000) on dampness and mite exposure in buildings and health effects. *Indoor Air* 14: 3: 243-257.
- Bornehag C.G., Sundell J., Weschler C.J., Sigsgaard T., Lundgre, B., Hasselgren M., Hagerhed-Engman L. 2004. The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: a nested case-control study. *Environ Health Perspect* 112:1393-1397.
- Bossios A., Gourgiotis D., Skevaki C.L., Saxoni-Papageorgiou P., Lötvall J., Psarras S., Karpathios T., Constandopoulo, A.G., Johnston S.L. & Papadopoulos N.G. 2008. Rhinovirus infection and house dust mite exposure synergize in inducing bronchial epithelial cell interleukin-8 release. *Clinical & Experimental Allergy* 38: 1615-1626.
- Brightman H.S., Milton D.K., Wypij D., Burge H.A. & Spengler J.D. 2008. Evaluating building-related symptoms using the US EPA BASE study results. *Indoor Air* 18: 335-345.
- British Standard EN 481 1993. Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles. European Committee for Standardization (CEN).
- Bruno P., Caselli M., de Gennaro G., Iacobellis S. & Tutino M. 2008. Monitoring of volatile organic compounds in non-residential indoor environments. *Indoor Air* 18: 250-256.
- Buonanno G., Morawska L. & Stabile L. 2009. Particle emission factors during cooking activities. *Atmospheric Environment* 43: 20: 3235-3242.
- Choi J.-I. & Edwards J.R. 2008. Large eddy simulation and zonal modeling of human-induced contaminant transport. *Indoor Air* 18: 233-239.
- Costerton J.W., Stewart P.S. & Greenberg E.P. 1999. Bacterial Biofilms: A Common Cause of Persistent Infections. *Science* 284; 5418: 1318-1322.

- Diapouli E., Chaloulakou A. & Spyrellis N. 2008. Indoor and outdoor PM concentrations at a residential environment, in the Athens area. *Global Nest Journal* 10: 2: 201-208.
- Douglas M. 1966. *Purity and Danger. An Analysis of the Concepts of Pollution and Taboo.* Pantheon Books, New York.
- Elintarvikevirasto 2003. Puhdistusohjelma ja puhtauden tarkkailuohjelma hygienialain mukaisessa laitoksessa. Ohje 662/32/03. Helsinki.
- Elintarvikevirasto & eläinlääkintä- ja elintarviketutkimuslaitos 2003. Opas elintarvikkeiden ja talousveden mikrobiologisista vaaroista. Evi-Eela opas 1/2003. Helsinki.
- Evira 2009. Elintarvikkeiden mikrobiologiset vaatimukset, komission asetuksen (EY) no 2073/2005 soveltaminen. Ohje elintarvikealan toimijoille. Eviran ohje 10501/1. Helsinki.
- Evans G.J., Peers A. & Sabaliauskas K. 2008. Particle dose estimation from frying in residential settings. *Indoor Air* 18: 6: 499-510.
- Finlayson-Pitts B.J. & Pitts J.N. Jr. 1986. *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques.* John Wiley and Sons 1098. New York.
- Fisk W.J., Lei-Gomez Q. & Mendell M.J. 2007. Meta-Analyses of the Associations of Respiratory Health Effects with Dampness and Mold in Homes. *Indoor Air* 17: 4: 284-296.
- Fisk W.J. & Seppänen O. 2007. Providing better indoor environmental quality brings economics benefits. Published in proceedings of Clima 2007 Well Being Indoors, June 10-14, Helsinki.
- Franke D.L., Cole E.C., Leese K.E., Foarde K.K., Berry M.A. 1997. Cleaning for Improved Indoor Air Quality: an Initial Assessment of Effectiveness. *Indoor Air* 7: 1: 41-54.
- Gehr P. & Heyder J. 2000. *Particle-Lung Interactions.* 802 s. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Giovannangelo M., Gehrin, U. Nordling E., Oldenwening M., Terpstra G., Belander T., Hoek G., Heinrich J. & Brunekreef B. 2007. Determinants of house dust endotoxin in three European countries - the Airallergy study. *Indoor Air* 17: 1: 70-79.
- Griffith C.J., Cooper R.A., Gilmore J., Davies C. & Lewis M. 2000. An evaluation of hospital cleaning regimes and standards, *Journal of Hospital Infection* 45: 1: 19-28.
- Grönroos C. 1994. *Nyt kilpaillaan palveluilla.* 338 s. Weilin+Göös. ISBN 951-35-5011-7.
- Gyntelberg F., Suadicani P., Nielsen J.W., Skov P., Valbjørn O., Nielsen P.A., Schneider T., Jørgensen O., Wolkoff P., Wilkins C.K., Gravesen S. & Norn S. 1994. Dust and the Sick Building Syndrome. *Indoor Air* 4: 4: 223-238.

- Haahtela T. & Reijula K. 1997. Sisäilman terveyshaitat ja ehdotukset niiden vähentämiseksi. Sosiaali- ja terveysministeriön työryhmämuistioita 1997:25. Helsinki.
- Haahtela T. & Reijula K. 2009. Homesienten aiheuttamat hengityselinsairaudet. Duodecim. Artikkelin seh00071 (013.004). Helsinki.
- Halonen R., Kesikuru T., Pasanen T. & Kokkoti H. 2000. Hallitsemattoman kosteuden torjuntatoimenpiteet tuloilmajärjestelmässä. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitosten monistesarja. Kuopio.
- Halonen R., Reiman M., Lehtimäki M., Kesikuru T., Kujanpää L., Niemeläinen M., Taipale A. & Kokkoti H. 2001. Ilmanvaihtosuodattimien ominaisuudet korkeissa kosteuksissa. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitosten monistesarja. Kuopio.
- Hanley J.T., Ensor D.S. Smith D.D. & Sparks L.E. 1994. Fractional aerosol filtration efficiency of in-duct ventilation air cleaners. *Indoor Air* 4: 3: 169-178.
- Hansen Å.M., Meyer H.W. & Gyntelberg F. 2008. Building-related symptoms and stress indicators. *Indoor Air* 18: 6: 440-446.
- He C., Morawska L. & Taplin L. 2007. Particle Emission Characteristics of Office Printers. *Environment Science & Technology* 41: 17: 6039-6045.
- He C., Morawska L., Hitchins J. & Gilbert D. 2004. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmospheric Environment* 38: 21: 3405-3415.
- Heimer M.L., Salinger J.D., Sobodowski J., Thomthwaite J., Andreotti P. 1989. Design and implementation of a luminometer: measuring bioluminescence. *Engineering in Medicine and Biology Society* 5: 1423-1424.
- Heini M. 2008. Tuloilman hiukkaspitoisuus ilmanvaihtokanavan eri osissa ja ilmanvaihtokoneen käynnistyksen yhteydessä. Kuopion yliopisto. Koulutus- ja kehittämiskeskus. Tutkimuksia ja selvityksiä 14/2008.
- Hekkanen M. 2006. Kosteus- ja homeongelmien havaitseminen, korjaus ja ehkäisy kuntien rakennuksissa. Suomen Kuntaliitto. Helsinki.
- Hersen G., Moularat S., Robine E., Géhin E., Corbet S., Vabret A. & Freymuth F. 2008. Impact of health on particle size of exhaled respiratory aerosols: case-control study. *Clean - Soil, Air, Water* 36: 7: 572-577.
- Hinds W.C. 1999. Aerosol Technology. Properties, behavior and measurement of airborne particles. Department on Environmental Health Sciences, Harvard University School of Public Health, Boston, Massachusetts.
- Hirvonen A., Pasanen P., Tarhanen J. & Ruuskanen J. 1994. Thermal desorption of organic compounds associated with settled household dust. *Indoor Air* 4: 4: 255-264.
- Holopainen R. 2004. Dust in ventilation ducts: accumulation, measurement and removal. Report A9. Helsinki University of Technology. Espoo.
- Holopainen R., Hautamäki M., Hämeri K., Kukkonen E., Kulmala I., Kurnitski J., Lehtimäki M., Lähde T., Palonen J., Pasanen P., Seppänen O., Säteri J., Tai-

- pale A. & Vartiainen E. 2006. Mitigating the adverse impact of particulates on indoor air. Views and conclusions from FINE particles –technology, environment and health technology programme. Helsinki. Libris Oy.
- Hope C. & Mühlemann A. 1997. Service operations management – strategy, design and delivery. Prentice Hall. ISBN 0-13-149915-7.
- Hu B. Freihaut J.D., Bahnfleth W., Gomes C.A.S. & Thran B. 2005. Literature Review and Parametric Study: Indoor Particle Resuspension by Human Activity. Department on Architectural Engineering, the Pennsylvania State University, PA, USA. Proceedings of Indoor Air 2005 (10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate).
- Husman T. 1996. Health effects of indoor-air microorganisms. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 22: 1: 5-13.
- Husman T. 2001. Kosteusvauriotaloissa asuneiden perheiden pitkäaikaiset terveyshaitat ja asumisterveysongelmista aiheutuneet kustannukset. Kansanterveyslaitos, ympäristöterveyden osasto. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B5. Kuopio.
- Husman T., Roto P. & Seuri M. 2002. Sisäilma ja terveys – tietoa rakentajille. Kansanterveyslaitos KTL B14. Helsinki.
- Hussein, T. 2005. Indoor and outdoor aerosol particle size characterization in Helsinki. University of Helsinki, Faculty of Science, Department of Physical Sciences.
- Hussein T., Glytsos T., Ondráček J., Dohányosova P., Ždímal V., Hämeri K., Lazaridis M., Smolík J. & Kulmala M. 2006. Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house. *Atmospheric Environment* 40: 23: 4285–4307.
- Hussein T., Hämeri K., Aalto P., Asmi A., Kakko L. & Kulmala M. 2004. Particle size characterization and the indoor-to-outdoor relationship of atmospheric aerosols in Helsinki. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 30: 2: 54-62.
- Hussein T., Hämeri K., Heikkinen M.S.A. & Kulmala M. 2005. Indoor and outdoor particle size characterization at a family house in Espoo–Finland. *Atmospheric Environment* 39: 20: 3697–3709.
- Hutter H-P., Moshhammer H., Wallner P., Damberger B., Tappler P. & Kundi M. 2006. Health complaints and annoyances after moving into a new office building: A multidisciplinary approach including analysis of questionnaires, air and house dust samples. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 209: 1: 65-68.
- Hämeri K. & Mäkelä J. 2005. Aerosolien mittaustekniikka. Helsinki, Tampere.
- Hyttinen, M., Pasanen, P. & Kalliokoski P. 2001. Adsorption and desorption of selected VOCs in dust collected on air filters. *Atmospheric Environment* 35: 33: 5709-5716.

- Iholiitto ry 2011. [http://www.iholiitto.fi/ihotietoa/terveen\\_ihon\\_rakenne/](http://www.iholiitto.fi/ihotietoa/terveen_ihon_rakenne/). 17.7.2011.
- Jalonen E. 1989. Puhdistusmenetelmän ja siivoustaajuuden vaikutus sisäilman hiukkaspitoisuuteen. Helsingin yliopisto, kodin teknologian laitos, Helsinki.
- Jantunen M., Komulainen H., Nevalainen A., Tuomisto J., Venäläinen, R. & Vilukse-la M. 2005. Selvitys elinympäristön kemikaaliriskeistä. Kansallisen kemi-kaaliohjelman taustaselvitys. Kansanterveyslaitoksen julkaisu B 11. Hel-sinki.
- Jokiniemi J., Ohlström M., Kulmala M. & Hämeri K. 2000. Kartoitus pien-hiukkastutkimuksesta Suomessa. Teknologiakatsaus 100/2000. Helsinki.
- Järnström H. 2005. Muovimattopinnoitteen lattiarakenteen VOC-emissiot si-säilmaongelmatapauksissa. VTT Publications 571. Espoo.
- Karakainen P., Meklin T., Rintala H., Hyvärinen A., Kärkkäinen P., Vepsäläinen A., Hirvonen M-R. & Nevalainen A. 2008. Seasonal Variation in Airborne Microbial Concentrations and Diversity at Landfill, Urban and Rural Sites. *Clean - Soil, Air, Water* 36: 7: 556 - 563.
- Kajanne A., Eränen L., Leijola L. & Paavola J. 2002. Homeongelma ja sen psy-kososiaaliset vaikutukset. Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2002:7. Helsinki.
- Kakko L. 2000. Erilaiset siivousmenetelmät ja niiden vaikutus sisäilman laatuun. Julkaisussa Siivous ja sisäilma. Koti- ja laitostalousteknologian julkaisu 4. 2000. Helsinki.
- Kakko L. & Aulanko M. 2003. Siivous ja sisäilma. Sisäilmaopas 4. SIY Sisäilma-tieto Oy. Espoo.
- Karjalainen A., Martikainen R., Karjalainen J., Klaukka T. & Kurppa K. 2002. Excess incidence of asthma among Finnish cleaners employed in different industries. *European Respiratory Journal* 19: 90-5.
- Karjalainen S. & Koistinen O. 2005. Toimistohuoneiden huonekohtaiset lämpö-tilasäädön käytön ongelmat. SIY raportti 23: 67-72. Espoo.
- Karlsson E., Fängmark I. & Berglund T. 1996. Resuspension of an indoor aerosol. *Journal of Aerosol Science* 27: 1: 441-442.
- Karvosenoja N., Tainio M., Kupiainen K., Tuomisto J.T., Kukkonen J., & Johans-son M. 2008. Evaluation of the emissions and uncertainties of PM2.5 origi-nated from vehicular traffic and domestic combustion in Finland. *Boreal Environment Research* 13: 465-474.
- Kassem I.I., Von Sigler W. & Esseili M.A. 2007. Public computer surfaces are re-servoirs for methicillin-resistant staphylococci. *The ISME Journal* 1: 265-268.
- Kauhanen T. 2004. Työsuojelulainsäädännön soveltaminen kosteus- ja home-vauriokohteissa. Kuopion yliopisto, koulutus- ja kehittämiskeskus. Tutki-muksia ja selvityksiä 11. Kuopio.



- Kildesø J. 2001. Kvalitetskrav for rengøring i kontorer, skoler og Daginstitutioner. Arbejdsmiljøinstituttet. København.
- Kildesø J., Tornvig L., Skov P. & Schneider T. 1998. An Intervention Study of the Effect of Improved Cleaning Methods on the Concentration and Composition of Dust. *Indoor Air* 8:12-22.
- Kinnarinen A. 1998. Siivouspalvelut. Luentolyhennelmä 26.11.1998. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.
- Kolari S. 2003. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutus toimistorakennusten sisäilman laatuun ja työntekijöiden työoloihin. VTT:n julkaisu- ja 497. Espoo.
- Kolari S., Jumpponen M., Hyvärinen M., Luoma M., Merikoski R. & Pasanen P. 2004. Ilmanvaihtolaitosten epäpuhtaudet ja niille altistuminen puhdistustyössä. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitosten monistesarja. Kuopio.
- Koponen I.K., Asmi A., Keronen P., Puhto K. & Kulmala M. 2001. Indoor air measurement campaign in Helsinki, Finland 1999 - the effect of outdoor air pollution on indoor air. *Atmospheric Environment* 35: 8: 1465-1477.
- Koponen I. 2003. Observations of Tropospheric Aerosol Size Distributions. Department of Physical Science, University of Helsinki.
- Korhonen E. 2007. Yliopistojen siivouspalveluiden ja kiinteistönhoidon laatu vuosina 1995-2006. Kyselytutkimus. Jyväskylän yliopisto. Julkaisematon.
- Korhonen P.A., Tuomainen M., Palonen J., Niemelä R., Nykyri E., Seppänen O. & Reijula K. 2003. Lämpötilojen vaikutus työntekijöiden viihtyvyyteen, oireiluihin ja itse arvioituun tuottavuuteen. *SIY raportti* 19: 123-127.
- Korpi A. 2005. Ftalaatit ja palonestoaineet sisäympäristössä. *SIY raportti* 23: 121-126.
- Korpi A., Teittinen E., Mäkinen M. & Pasanen P. 2008. Altistuminen TBEP:lle siivoustyön aikana. *SIY raportti* 26: 233-238.
- Kovanen K., Heimonen I., Laamanen J., Riala R., Harju R., Tuovila H., Kämppi R., Sääntti J., Tuomi T., Salo S-P., Voutilainen R. & Tossavainen A. 2006. Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt: altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus. VTT julkaisu 2360. Espoo.
- Kujala T. & Wilkman A. 2006. Jokainen siivota osaa? Ammattisiivouksen historiaa 1950-2000. Suomen Siivousteknisen liiton julkaisu 3:5. Gummerus, Jyväskylä.
- Kulmala M., Asmi A. & Pirjola L. 1999. Indoor air model: the effect of outdoor air, filtration and ventilation on indoor concentrations. *Atmospheric Environment* 33: 2133-2144.
- Kyengo A.M. 2007. Quality control in cleaning services. Jyväskylä university of applied sciences. Jyväskylä.
- Kymäläinen H-R., Nykter M., Kuisma R., Agthe N., Anttila V-J. & Sjöberg A-M. 2008. Pintojen puhdistuvuus sairaalaympäristössä arvioituna nopeilla

- hygieniamääritysmenetelmillä. Suomen Sairaalahygienialehti 4: 192-199.
- Kärkkäinen P.M., Valkonen M., Hyvärinen A., Nevalainen A., Rintala H. 2010. Determination of bacterial load in house dust using qPCR, chemical markers and culture. *J Environ Monit.* 12:759-768.
- Kääriäinen P. & Kivikallio J. 2005. Lika. Teoksessa: Siivoustyön käsikirja. Suomen siivousteknisen liiton julkaisuja 1:7. Helsinki.
- Lagerspetz O, 2008. Lika. Kirja maailmastamme, kodistamme. Multikustannus. Helsinki.
- Lahtinen M. 2004. Psykologinen näkökulma työpaikkojen sisäilmasto-ongelmiin. Työterveyslaitos, Työ ja ihminen tutkimusraportti 25. Helsinki.
- Lahtinen M., Lappalainen S. & Reijula K. 2005. Sisäilman hyväksi. Toimintamalli vaikeiden sisäilmaongelmien ratkaisuun. Työterveyslaitos. Helsinki.
- Lanki T. & Pekkanen J. 2008. Kaupunki-ilman hiukkaset ja sydänsairaudet. *Suomen Lääkärilehti* 63: 11: 1059-1065.
- Laukkanen T. 2005. Ilmansuojelun perusteet. Oppikirja ilman pilaantumisesta ja sen ehkäisemisestä. Mikkeli.
- Leivo V. 1998. Opas kosteusongelmiin. Tampereen teknillinen yliopisto. Talonrakennustekniikka. Julkaisu 95. Tampere.
- Leivo V. 2009. Uimahallien laattalattioiden liukkaus. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 144. Tampere.
- Lignell U. 2008. Characterization of Microorganisms in Indoor Environments. Publications of the National Public Health Institute. Kuopio.
- Lith P. 2006. Kiinteistöpalvelut Suomessa - yritystoiminta, markkinat ja keskeiset kehityslinjat. Tutkimuksia ja raportteja 1. Helsinki.
- Lohila A. Hyvönen S. & Liesivuori J. 2000. Jätehuoltoketjun terveys- ja ympäristövaarat: nykytila ja kehitystarpeet. Työterveyslaitos, Kuopio.
- Luoma M. & Batterman S.,A. 2001. Characterization of particulate emissions from occupant activities in offices. *Indoor Air* 11:35-48.
- Majvik II -suositus 2007. Ohjeita kosteusvaurioiden selvittelyyn. Suomen Lääkärilehti 7.
- Mathiesen M., Pedersen E. K., Bjørseth O. & Syversen T. 2004. Emissions from indoor dust inhibit proliferation of A549 cells and TNF $\alpha$  release from stimulated PBMCs. *Environmental International* 30: 5: 651-657.
- Medina-Ramon M., Zock J.P., Kogevinas M., Sunyer J., Basagaña X., Schwartz J., Burge P.S., Moore V. & Anto J. M. 2006. Short-term respiratory effects of cleaning exposures in female domestic cleaners. *European Respiratory Journal* 27: 1196-1203.
- Meklin T. Putus T., Hyvärinen A., Haverinen-Shaughnessy U., Lignell U. & Nevalainen A. 2007. Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja 9. Helsinki.
- Mendell M.J., Lei-Gomez Q., Mirer A.G., Seppänen O. & Brunner, G. 2008. Risk factor in heating ventilating and air-conditioning systems for occupant

- symptoms in US office buildings: the US EPA BASE study. *Indoor Air* 18: 4: 301 - 316.
- Moisio M. 2003. Pienhiukkasten mittaustekniikat: haasteita ja mahdollisuuksia. FINE. Tekesin vuosiseminaariesitys. Helsinki.
- Møhlhave L., Schneider T., Kjærsgaard S.K., Larsen L., Norn S. & Jørgensen O. 2000. House dust in seven Danish offices. *Atmospheric Environment* 34: 28: 4767-4779.
- Møhlhave L., Kjærsgaard S.K. & Attermann J. 2002. Effects in the eyes caused by exposure to office dust. *Indoor Air* 12: 3: 165-174.
- Møhlhave L. 2008. Inflammatory and allergic responses to airborne office dust in five human provocation experiments. *Indoor Air* 18: 4: 261-270.
- Morawska L., He C., Hitchins J., Gilbert D. & Parappukkaran S. 2001. The relationship between indoor and outdoor airborne particles in the residential environment. *Atmospheric Environment* 35: 20: 3463-3473.
- Morawska L. & Salthammer T. 2003. *Indoor environment: airborne particles and settled dust*. 467 s. ISBN 978-3-527-30525-4.
- Mosley R.B., Greenwell D.J., Sparks L.E., Guo Z., Tucker W.G., Fortmann R. & Whitfield C. 2001. Penetration of Ambient Fine Particles into the Indoor Environment. *Aerosol Science and Technology* 34: 127-136.
- Mudarri D. & Fisk W. J. 2007. Public health and economic impact of dampness and mold. *Indoor Air* 17: 3: 226-235.
- Mäkinen M.E.S. & Korpi A. 2006. Palonestoaineina käytettyjen organofosforiyhdisteiden ja tetrabromibisfenoli-A:n määrittäminen sisäympäristönäytteistä, kirjallisuuskatsaus. SIY raportti 24; 239-244. Espoo.
- Mäkinen M.E.S., Mäkinen M.R., Koistinen J.T., Pasanen A-L., Pasanen P.O., Kalliokoski P.J. & Korpi A.M. 2009. Respiratory and Dermal Exposure to Organophosphorus Flame Retardants and Tetrabromobisphenol A at Five Work Environments. *Environmental Science & Technology*, 43: 3: 941-947.
- Narko R., Salmelin M. & Mustonen S. 2005. Siivoustekniikka. Teoksessa: Siivoustyön käsikirja. Suomen siivousteknisen liiton julkaisu 1:7. Helsinki.
- Nazaroff W.W. & Weschler C.J. 2004. Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants. *Atmospheric Environment* 38: 18: 2841-2865.
- Nevalainen A. 1989. Bacterial aerosols in indoor air. Kansanterveyslaitoksen julkaisu A3. Kuopio.
- Nilsson A. 2004. Novel Technique for Analysing Volatile Compounds in Indoor Dust. Linköping University Medical Dissertations 856. Linköping.
- NSAI 2001. Cleaning services - basic requirements and recommendations for quality measuring systems. EN 13549:2001. CEN Brussels.
- Ohlström M. 1998. Energiantuotannon pienhiukkaspäästöt Suomessa. VTT:n tiedotteita 1934. Espoo.

- Pakarinen J. 2008. Impact of the Human Bacterial Environment on Mycobacteriosis and Allergy. University of Helsinki, Department of Applied Chemistry and Microbiology. Helsinki.
- Pakkanen T., Loukkola K., Hillamo R., Aarnio P. & Koskentalo P. 2001. Hengittävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla -jatkotutkimukset. YTV. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 14. Helsinki.
- Palomäki E. 2006. Hyvän sisäilmaston merkitys rakennusten käyttäjille. Työterveyslaitos. Seminaariesitelmä. Tampere.
- Park J-H., Cox-Ganser J., Rao C. & Kreiss K. 2006. Fungal and endotoxin measurements in dust associated with respiratory symptoms in a water-damaged office building. *Indoor Air* 16: 3: 192-203.
- Pasanen P. 1998. Ilmanvaihtosuodattimien päästöt ja toimistorakennusten ilmanvaihtokanavien epäpuhtaudet. Kuopion yliopiston julkaisuja C, Luonnontieteet ja ympäristötieteet. Kuopio.
- Pedersen E.K., Bjørseth O., Syversen T. & Mathiesen M. 2003. A screening assessment of emissions of volatile organic compounds and particles from heated indoor dust samples. *Indoor Air* 13: 2: 106-117.
- Pekey B., Bozkurt Z.B., Pekey H., Dogan G., Zararsiz A., Efe N., & Tuncel G. 2010. Indoor/outdoor concentrations and elemental composition of PM10/PM2.5 in urban/industrial areas of Kocaeli City, Turkey. *Indoor Air* 20: 112-125.
- Pennanen S., Pippuri M., Husman T. & Reiman M, 2004. Työperäinen altistuminen ja herkistyminen punkeille Suomessa. SIY raportti 22: 243-248. Espoo.
- Pesonen-Leinonen E. 2000. Julkaisussa Siivous ja sisäilma: Sisäympäristön laatu toimistokiinteistöissä. Koti- ja laitostalousteknologian julkaisuja 4. Helsinki.
- Pesonen-Leinonen E. 2005. Determination of cleanability of plastic surfaces. University of Helsinki, Department on Agrotechnology.
- Pesonen-Leinonen E. 2008. Paljonko pölyä sallitaan pinnoilla. Puhtaus&Palvelusektori 4.
- Pesonen-Leinonen E., Tenitz S. & Sjöberg A-M. 2004. Surface dust contamination and perceived indoor environment in office buildings. *Indoor Air* 14: 5: 317-324.
- Pietarinen V-M., Rintala H., Hyvärinen A., Lignell U., Kärkkäinen P., Nevalainen A. 2008. Quantitative PCR analysis of fungi and bacteria in building materials and comparison to culture-based analysis. *Journal of Environmental Monitoring* 10: 655-663.
- Pirinen J. 2006. Pientalojen mikrobivauriot. Hengitysliiton julkaisuja 19. Helsinki.
- Potera C. 1999. Forging a Link Between Biofilms and Disease. *Science* 283: 5409: 1837-1839.

- Puhto J. & Tiainen A. 2001. Kiinteistönhoidon hankintaprosessin kehittäminen. Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion raportteja 198. Espoo.
- Pui D.Y.H. 1996. Direct-reading instrumentation for workplace aerosol measurements. A review. *Analyst* 121:1215-1224.
- Putus T. 2010. Home ja terveys. Kosteusvauriohomeiden ja hiivojen terveyshaitat. Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy, Pori.
- Rakennustieto 2007. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus. Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut. LVI 39-10409. Helsinki.
- Rakennustieto 2009. KiinteistöRYL 2009. Kiinteistöpalveluiden yleiset laatuvaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki.
- Raunemaa T., Kulmala M., Saari H., Olin M. & Kulmala M.H. 1989. Indoor air aerosol model: Transport indoors and deposition of fine and coarse particles. *Aerosol Science and Technology* 11: 1: 11-25.
- Rautiala S. 2004. Microbial exposure in remediation work. Kuopion yliopiston julkaisuja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet. Kuopio.
- Reijula K. 2005. Sairaaloiden kunto ja ilmanvaihto. Sosiaali- ja terveysministeriön työryhmämuistioita 3. Helsinki.
- Reijula K., & Sundman-Digert C. 2004. Assessment of indoor air problems at work with a questionnaire. *Occup Environ Med* 61:33-38. Helsinki.
- Reiman M. 1998. Mikrobit. Julkaisussa 95; Opas kosteusongelmiin. Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto. Tampere.
- Reinikainen L.M., Jaakkola J.J. 2003. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air* 13:344-352.
- Reponen T. 1994. Viable fungal spores as indoor aerosols. Kuopion yliopiston julkaisuja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 25. Kuopio.
- Riala R. 1988. Dust and quartz exposure of Finnish construction site cleaners. *The Annals of Occupational Hygiene*. Vol. 32, No. 2, pp. 215-220.
- Rintala H., Pitkäranta M., Toivola M., Paulin L. & Nevalainen A. 2008. Diversity and seasonal dynamics of bacterial community in indoor environment. *BMC Microbiology* 8.
- Routto N. & Puhto J. 2000. Ulkoistetun kiinteistönhoidon laadunhallinta. Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion raportteja 189. Espoo.
- Ruokojoki J. 2006. Kosteus- ja homeongelmien määrä ja syyt kuntien rakennuksissa 2005. Suomen Kuntaliitto. Helsinki.
- Saarikoski S. 2008. Chemicals mass closure and source-specific composition of atmospheric particles. Finnish meteorological institute, contributions no 74. Helsinki.
- Salkinoja-Salonen M. 2009. Mikrobitoksiinit sisätiloissa. SIY raportti 27; 19-24. Espoo.
- Salo S., Laine A., Alanko T., Sjöberg A-M. & Wirtanen G. 2000. Validation of the Microbiological Methods Hygicult Dipslide, Contact Plate and Swabbing in

- Surface Hygiene Control: A Nordic Collaborative Study. *Journal of AOAC International* 83: 1357-1365.
- Salonen H., Lappalainen S., Lindroos O., Harju R. & Reijula K. 2007. Fungi and bacteria in mould-damaged and non-damaged office environments in a subarctic climate. *Atmospheric Environment* 41: 32: 6797-6807.
- Salonen H., Pasanen A-L., Lappalainen S., Riuttala H., Tuomi T., Pasanen P., Bäck B. & Reijula K. 2009. Airborne Concentrations of Volatile Organic Compounds, Formaldehyde and Ammonia in Finnish Office Buildings with Suspected Indoor Air Problems. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 6: 3: 200-209.
- Salonen H., Pasanen A-L., Lappalainen S., Riuttala H., Tuomi T., Pasanen P., Bäck B. & Reijula K. 2009. Volatile Organic Compounds and Formaldehyde as Explaining Factors for Sensory Irritation in Office Environments. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 6: 4: 239-247.
- Salonen R. O., Pennanen A. & Tekes. 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Tuloksia ja päätelmiä teknologiaohjelmasta FINE Pienhiukkaset – teknologia, ympäristö ja terveys. Tekes. Libris Oy. Helsinki.
- Schleibinger H., Laussmann D., Bornehag C-G., Eis D. & Rueden H. 2008. Microbial volatile organic compounds in the air of moldy and mold-free indoor environments. *Indoor Air* 18: 2: 113 – 124.
- Schneider T. 2000. Synthetic vitreous Fibres. *Indoor Air Quality Handbook*, chapter 39. McGraw-Hill, New York.
- Schneider T., Løbner T., Nilsen S.K., & Petersen O.H. 1994. Quality of cleaning quantified. *Building and Environment* 29: 363-367.
- Schneider T., Petersen O.H., Kildesø J. Kloch N.P. & Løbner T. 1996. Design and Calibration of a Simple Instrument for Measuring Dust on Surfaces in the Indoor Environment. *Indoor Air* 6: 3: 204-210.
- Seppänen N. 2010. Siivoustyön aseptiikan kehittäminen. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- Seppänen O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. 348 s. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.
- Seppänen O. 2006. Sisäympäristön terveys- ja tuottavuusvaikutukset toimistorakennusten elinkaaren aikaisissa taloudellisissa laskelmissa. Finvac. Forssan Kirjapaino Oy, Forssa.
- Seppänen O. & Fisk W.J. 2003. Sisäilma, terveys ja tuottavuus. SIY raportti 19: 11-16. Espoo.
- Seppänen O. & Fisk W.J., & Lei Q.H. 2006. Room temperature and productivity in office work. *Healthy Buildings 2006 Conference, Volume 1, Lisbon, Portugal*, p.243-247.
- Seppänen O., Hongisto V., Holopainen R., Kemppilä S., Korhonen P., Lahtinen M., Lehtovaara J., Niemelä R., Palonen J., Penttilä J., Nykyri E., Reijula K., Saari A., Siitonen T., Takki T., Tissari T., Tuomainen M. & Valkama E. 2004.

- Tuottava toimisto 2005. Loppuraportti. Teknillinen korkeakoulu, raportti B77. Dark Oy. Vantaa.
- Seppänen O. & Säteri J. 2001. Sisäilmastoluokitus 2000, Sisäilmayhdistys, julkaisu 5. Espoo. Kirjapaino Verbi.
- Seuri M. & Palomäki E. 2000. Haasteellinen sisäilma. Rakennustieto. Tammer-Paino Oy. Tampere.
- Seuri M. & Reiman M. 1996. Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys. Rakennustieto. Tammer-Paino Oy. Tampere.
- Singer B.C., Coleman B.K., Destailhats H., Hodgson A.T., Lunden M.M., Weschler C.J. & Nazaroff W.W. 2006. Indoor secondary pollutants from cleaning product and air freshener use in the presence of ozone. *Atmospheric Environment* 40: 35: 6696-6710.
- Singer B.C., Destailhats H., Hodgson A.T. & Nazaroff W.W. 2006. Cleaning products and air fresheners: emissions and resulting concentrations on glycol ethers and terpenoids. *Indoor Air* 16: 3: 179 - 191.
- Sippola M. & Nazaroff W.W. 2003. Modeling Particle Loss in Ventilation Ducts. *Atmospheric Environment* 37: 39: 5597-5609.
- SIS Förlag Ab 2006. Städtkvalitet - System för fastställande och bedömning av städtkvalitet. Svensk Standard SS 62 78 01. Stockholm.
- Sisäilmayhdistys ry. & Rakennustietosäätiö RTS. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset.
- Skulberg K.R., Skyberg K., Kruse K., Eduard W., Djupesland P., Levy F. & Kjuus H. 2004. The Effect of Cleaning on Dust and the Health of Office Workers: An Intervention Study. *Epidemiology* 15: 1:71-78.
- Smedje G. & Norbäck D. 2001. Irritants and allergens at school in relation to furnishings and cleaning. *Indoor Air* 11: 2: 127-133.
- Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. Helsinki.
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2008. Asumisterveysopas. Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Ympäristö ja Terveys-lehti. Pori.
- Suomen Siivoustekninen liitto 2005. Siivoustyön käsikirja. Suomen siivousteknisen liiton julkaisuja 1:7. Helsinki.
- Suomen Siivoustekninen liitto 2011. Tilasto [www.puhtausala.fi](http://www.puhtausala.fi). 17.7.2011.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2010. Puhtausalan sanasto. Standardi SFS 5967. Helsinki.
- Suontamo T. 1999. Entsyymipohjaisen puhdistusaineen toimivuus kosteissa tiloissa. Jyväskylän yliopisto, kemian laitos. Jyväskylä.
- Suontamo T. 2004. Development of a test method for evaluating the cleaning efficiency of hard-surface cleaning agents. Department on Chemistry, University of Jyväskylä, research rapport no 109.

- Tainio M. 2009. Methods and Uncertainties in the Assessment of the Health Effects of Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) Air Pollution. University of Kuopio, Department of Environmental Science. Kuopio.
- Teittinen E. 2007. Organofosforiyhdisteille (TBEP ja TEHP) altistuminen työpaikoilla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, ympäristötekniikan koulutusohjelma, diplomityö 2007. Lappeenranta.
- Terveystensuojelulaki 19.8.1994/763.
- Thatcher T.L., Lai A.C.K., Moreno-Jackson R., Sextro R.G. & Nazaroff W.W. 2002. Effects of room furnishings and air speed on particle deposition rates indoors. *Atmospheric Environment* 36:1811-1819.
- Tissari J. 2008. Fine Particle Emissions from Residential Wood Combustion. University of Kuopio, Department of Environmental Science.
- Toivola M. 2004. Personal exposure to microbial aerosols. Kansanterveyslaitos. Kuopio.
- Tranter D. 2008. Cleaning, Indoor Environmental Quality and Health: A Review of the Scientific Literature. Minnesota Department on Health.
- Tuomainen A., Seuri M., Linnainmaa M., Tukiainen H. & Hirvonen M-R. 2002. Muovilattiapinnoitteista vapautuvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden aiheuttamat oireet ja vasteet. Kuopion aluetyöterveyslaitos.
- Tuomainen M., Korhonen P., Kemppilä S., Palonen J., Nykyri E., Reijula K., Niemelä R. & Seppänen O. 2005. Lämpötilan vaikutus toimistotyön-tekijöiden oireiluun, olosuhdehaittoihin sekä subjektiivisesti ja objektiivisesti mitattuun tuottavuuteen. *SIY raportti* 23: 55-60.
- Työterveyslaitos 2010. Työterveyslaitoksen kannanotto mikrobitoksiineista työpaikoilla. <http://www.ttl.fi>. 21.6.2010
- Työterveyslaitos 2011. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet. OVA-ohjeet. <http://www.ttl.fi/ova/>. 1.3.2011.
- Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.
- Uitti J. 1998. Kosteus- ja homevauriomikrobien terveysvaikutukset. Julkaisussa *Opas kosteusongelmiin*. Tampereen teknillisen korkeakoulun julkaisu 95. Tampere.
- Valvira 2010. Toksiinimenetelmien käyttö terveydensuojelulain mukaisissa viranomaistutkimuksissa. Ohje viranomaisille 7.10.2010. Helsinki.
- Wargocki P. & Wyon D.P. 2007. The effect of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children. *HVAC & Research*, 13: 2: 193-220.
- Waring M.S. & Siegel J.A. 2008. Particle loading rates for HVAC filters, heat exchangers, and ducts. *Indoor Air* 18: 3: 209-224.
- Weschler C.J. & Nazaroff W.W. 2008. Semivolatile organic compounds in indoor environments. *Atmospheric Environment* 42: 40: 9018-9040.
- WHO 2009. Guidelines, for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. World Health Organization 2009. [www.who.org](http://www.who.org). 10.6.2010.



- Wieslander G., & Norbäck D. 2010. A field study on clinical signs and symptoms in cleaners at floor polish removal and application in a Swedish hospital. *Int Arch Occup Health* 83:585-591.
- Villberg K., Saarela K., Tirkkonen T., Pasanen A-L., Kasanen A., Pasanen P., Kallio-  
koski P., Mussalo-Rauhamaa H., Malmberg M. & Haahtela T. 2004. Sisäilman laadun hallinta. VTT Publications 540 Espoo.
- Virta J. 2003. Terveellinen sisäilmasto. Sisäilmastotietoa rakentajille, sisäilmastonselvitysten tekijöille ja kiinteistöjen omistajille. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.
- Volckens J. & Leith D. 2003. Partitioning Theory for Respiratory Deposition of Semivolatile Aerosols. *The Annals of Occupational Hygiene* 47: 2: 157-164.
- Wolkoff P. 1995. Volatile Organic Compounds. *Indoor Air* 3: 1-73.
- Wolkoff P., Schneider T., Kildesø J., Degerth R., Jaroszewski M. & Schunk H. 1998. Risk in cleaning: chemical and physical exposure. *The Science of the Total Environment* 215: 1-2: 135-156.
- Wolkoff P., Wilkins C.K., Clausen P.A. & Nielsen G.D. 2006. Organic compounds in office environments – sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air* 16: 1: 7-19.
- Wyon P.D. 1974. The effects of moderate heat stress on typewriting performance. *Ergonomics* 17: 3: 309-318.
- Välikylä T. 2006. Pintahygieniaopas. Elintarvike ja Terveys -lehti 2007. Pori.
- Välikylä T., Keinänen J., Kivikallio J., Suontamo T., Houhala K. & Aurola R. 2002. Uimahallien ja sivutilojen hygieniaopas. *Ympäristö ja Terveys -lehti* 2002. Pori.
- Yltiö H. 2005. Siivouustyön mitoitus. Teoksessa: Siivoustyön käsikirja. Suomen Siivousteknisen liiton julkaisuja 1:7. Helsinki.
- Ympäristöministeriö. 2008. D2. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010. Helsinki.
- Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. [www.ymparisto.fi/](http://www.ymparisto.fi/). 3.6.2011.
- Zock J. P. 2005. Multiple occupational hazards in a large service sector. *Occupational and Environmental Medicine* 62: 581-584.
- Zock J.P., Kogevinas M., Sunyer J., Jarvis D., Toren K. & Anto J.M. 2002. Asthma characteristics in cleaning workers, workers in other risk jobs and office workers. *European Respiratory Journal* 20: 679-685.
- Zock J.P., Plana E., Jarvis D., Anto J.M., Kromhout H., Kennedy S.M., Kunzli N., Villani S., Olivieri M., Toren K., Radon K., Sunyer J., Dahlman-Hoglund A., Norbäck D. & Kogevinas M. 2007. The use of household cleaning sprays and adult asthma: an international longitudinal study. *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine* 176: 735-741.
- Ålander T. 2000. Palamishiukkasten orgaanisen ja epäorgaanisen hiilen analyysi. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitosten monistesarja 9.

Ålander T. & Korhonen E. 2007. Huoneilman hiukkastasekuvan kehittäminen.  
Julkaisematon.

## LIITTEET

LIITE 1. Laatumallin mukainen toimistohuoneen siivouspalvelun kuvaus. Puhtaustason 3 mukaiset siivoustehtävät, välineet, menetelmät, aineet ja siivoustaajuus.

Tila: toimisto, puhtaustaso 3					
Kohde/Tehtävä	Väline	Menetelmä	Puhdistusaine	Taajuus	
roska-astiat tyhjenetään ja puhdistetaan				1 x vko	
työpöydät pyyhitään	mikrokuitupyyhe	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	1 x vko	
likaantuneet kohdat ovista ja niiden pielistä pyyhitään	mikrokuitupyyhe	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	1 x vko	
tasopinnot (ikkunalaudat, hyllyt, muut tasopinnot) pyyhitään	mikrokuitupyyhe	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	1 x vko	
tuolien pehmustetut osat puhdistetaan	kumiharja	kuiva	NHYP <sup>1)</sup>	1 x vko	
tuolien kovat osat puhdistetaan	mikrokuitupyyhe	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	1 x vko	
atk-laitteiden päälliset ja pöytäpuhelimet pyyhitään	mikrokuitupyyhe	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	1 x vko	
lattia pyyhitään	mikrokuitumoppi	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	1 x vko	
tahrakohdat lattiasta pyyhitään	mikrokuitumoppi	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	1 x vko	
Harvemmin tehtävät työt					
verhot imuroidaan	imuri	kuiva		1 x v	
patterit puhdistetaan	mikrokuitupyyhe		NHYP <sup>1)</sup>	1 x v	
ikkunat pestään	ikkunanpesin ja kiviain,	pesu	NHYP <sup>1)</sup>	1 x v	
sälekaihdit puhdistetaan	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	1 x v	
ovet ja ovenpielet puhdistetaan	kauttaaltaan	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	2 x v
kovat kalusteet puhdistetaan	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	1 x v	
tekstiilipintaiset kalusteet puhdistetaan	painehuuhtelulaite	pesu	NHYP <sup>1)</sup>	1 x v	
alaslaskettujen valaisinten päälliset pyyhitään	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	4 x v	
kaappien päälliset pyyhitään	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	4 x v	
ilmastointikanavien päälliset pyyhitään	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	2 x v	
ilmastoinnin päätelaitteet ja venttiilit puhdistetaan	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	2 x v	
verholaudat ja -kiskot puhdistetaan	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	1 x v	
seinät puhdistetaan	mikrokuitumoppi	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	1 x v	
lattiat hoitokiillotetaan	lattiahoitokone, punainen laikka <sup>2)</sup>	nihkeä	hoitoaine	2 x v	
lattiat pestään ja vahataan	lattiahoitokone, ruskea laikka <sup>2)</sup>	pesu	heik.emäks./emäks. puhdistusaine	1 x v	

<sup>1)</sup>Neutraali tai heikosti emäksinen yleispuhdistusaine

<sup>2)</sup>Lattiahoitokoneelle valittu, lattiapäällysteelle ja työmenetelmälle sopiva laikka

LIITE 2. Laatumallin mukainen wc:n siivouspalvelun kuvaus. Puhtaustason 4 mukaiset siivoustehtävät, välineet, menetelmät, aineet ja siivoustaajuus.

Tila: wc, puhtaustaso 4				
Kohde/Tehtävä	Väline	Menetelmä	Puhdistusaine	Taajuus
roska-astiat tyhjenetään ja puhdistetaan				5 x vko
hygieniatarvikkeita lisätään ja annostelijat pyyhitään	mikrokuitupyyhe	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	5 x vko
peili, hyllytaso/peilikaappi ja peilivalaisin pyyhitään	mikrokuitupyyhe	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	5 x vko
käsienpesuallas pestään	mikrokuitupyyhe astianpesuharja,	pesu	NHYP <sup>1)</sup>	5 x vko
käsisuihku pestään	mikrokuitupyyhe	pesu	NHYP <sup>1)</sup>	1 x vko
pöytätasot pyyhitään	mikrokuitupyyhe	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	5 x vko
tahrakohdat seinistä pyyhitään	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	5 x vko
likaantuneet kohdat ovista ja niiden pielistä pyyhitään	mikrokuitupyyhe	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	5 x vko
tasopinnot (ikkunalaudat, hyllyt, muut tasopinnot) pyyhitään	mikrokuitupyyhe	nihkeä	NHYP <sup>1)</sup>	1 x vko
wc-istuin pestään	wc-harja, mikrokuitupyyhe	pesu	NHYP <sup>1)</sup>	5 x vko
lattia pyyhitään	mikrokuitumoppi	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	5 x vko
lattiakaivot puhdistetaan	astianpesuharja	pesu	NHYP <sup>1)</sup>	1 x kk
Harvemmin tehtävät työt				
patterit puhdistetaan	mikrokuitupyyhe		NHYP <sup>1)</sup>	1 x v
ovet ja ovenpielet puhdistetaan kauttaaltaan	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	2 x v
ilmastointikanavien päälliset pyyhitään	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	2 x v
ilmastoinnin päätelaitteet ja venttiilit puhdistetaan	mikrokuitupyyhe	kostea	NHYP <sup>1)</sup>	2 x v
seinät puhdistetaan	pesuharja, ikkunakuivain	pesu	NHYP <sup>1)</sup>	1 x v
lattiat pestään	lattiahoitokone, ruskea laikka <sup>2)</sup>	pesu	heik.emäks./emäks. puhdistusaine	2 x v

<sup>1)</sup> Neutraali tai heikosti emäksinen yleispuhdistusaine

<sup>2)</sup> Lattianhoitokoneelle valittu, lattiapäällysteelle ja työmenetelmälle sopiva laikka

## LIITE 3. Kyselytutkimuksen kysymykset

0% valmiina

### Siivouksen laatu

**Arvioi silmä määrällisesti** jäljempänä esitetyissä kysymyksissä kutakin huoneesi osa-aluetta tämän hetkisen siivouksen laadun kannalta seuraavan jaottelun mukaisesti:

5 = erittäin puhtas, virheetön ja pölytön (= kiitettävä taso)  
 4 = puhtas, lähes pölytön, pieniä tahroja saattaa esiintyä (= hyvä taso)  
 3 = melko puhtas, lähes pölytön, hiukan roskaa ja tahroja saattaa esiintyä (= tyydyttävä taso)  
 2 = pinnolla jonkin verran epäpuhtauksia, pölyä, myös tahroja ja plinttymiä voi esiintyä (= välttävä taso)  
 1 = pinnolla epäpuhtauksia, runsaasti pölyä ja villakoluria, myös tahroja ja plinttymiä esiintyy (= heikko taso)

**TAUSTATIEDOT**

**1) Ikäsi vuotta**  
 20 - 29  30 - 39  40 - 49  50 - 59  60 -

**2) Yliopistossa työoloaikasi vuotta**  
 alle 5  5 - 9  10 - 14  15 - 19  20 - 24  
 25 - 29  30 -

**3) Sukupuolesi**  
 mies  nainen

**4) Virkasuhteesi**  
 vakainainen  määräaikainen

**5) Vastauksen antopäivä**  
 pp.kk.vvvv

**6) Arvioinnin teon kelloaika (lähin täysi tunti)**  
 6  7  8  9  10  
 11  12  13  14  15  
 16  17  18

**7) Työhuoneesi numero**  
 Text

**HUONEESI SIIVOUKSEN LAATU JUURI NYT**

**8) Lattiapinnan siivouksen laatu**  
 5 - kiitettävä  4 - hyvä  3 - tyydyttävä  2 - välttävä  1 - heikko

**9) Työpisteesi lähellä olevat tasopinnot (pöytä, ikkunapenkki jne.)**  
 5  4  3  2  1

## 10) Varusteet (tuolit, puhelimet, lamput, atk-laitteet jne)

5  4  3  2  1

## 11) Muut tasopinnot (esim. hyllyt alle 180 cm)

5 - kiitettävä  4 - hyvä  3 - tyydyttävä  2 - välttävä  1 - heikko

## 12) Yli 180 cm:n korkeudella olevat pinnot

5  4  3  2  1

## 13) Seinät kiinteine varusteineen

5  4  3  2  1

## 14) Katto kiinteine varusteineen

5  4  3  2  1

## 15) Huoneesi siivouksen laatu yleisarvosanana

5  4  3  2  1

## 16) Miten huoneesi siivouksen laatu on muuttunut vuoden 2007 helmikuun alun tilanteeseen verrattuna.

2 - parantunut selvästi  1 - parantunut hiukan  0 - pysynyt ennallaan  -1 - heikentynyt hiukan  -2 - heikentynyt selvästi

## HUONEESI SIIVOTTAVUUS

Huoneen siivottavuus kuvaa huoneen siivoamismahdollisuuden tasoa. Kiitettävä siivottavuus tarkoittaa sitä, että huoneessa on vähän kalusteita, hyllyt ovat ovelisia, pöydillä ja muilla tasopinnoilla ei ole papereita ja muuta tavaraa ja lattia on vapaa. Siivoaminen on silloin helppoa ja yksinkertaista. Heikko siivottavuus puolestaan on silloin kun huoneessa on runsaasti kalusteita, hyllyt ovat avohyllyjä, pöytä ja muut tasopinnot ovat täynnä papereita ja muuta tavaraa ja lattialla on johtoja jne eli siivoaminen on käytännössä lähes mahdotonta.

## 17) Huoneesi siivottavuus on tällä hetkellä

5 - Kiitettävä  4 - Hyvä  3 - Tyydyttävä  2 - Välttävä  1 - Heikko

## 18) Onko huoneessasi tehty siivottavuutta parantavia toimia. Jos ei ole, siirry tämän jälkeen suoraan kysymykseen 22.

1 - On tehty  
 0 - Ei ole tehty

## 19) Jos on tehty, millä tavalla se vaikutti siivouksen toteutukseen

5 - Paransi selvästi  
 4 - Paransi jonkin verran  
 3 - Ei parantanut eikä heikentänyt  
 2 - Heikensi jonkin verran  
 1 - Heikensi selvästi siivouksen toteuttamista

## 20) Millä tavalla siivouksen parempi toteutettavuus on vaikuttanut terveydentilaasi

- 5 - Parantanut selvästi
- 4 - Parantanut jonkin verran
- 3 - Ei parantanut eikä heikentänyt
- 2 - Heikentänyt jonkin verran
- 1 - Heikentänyt selvästi

**21) Millä tavalla siivouksen parempi toteutettavuus on vaikuttanut työtehoosi**

- 5 - Parantanut selvästi
- 4 - Parantanut jonkin verran
- 3 - Ei parantanut eikä heikentänyt
- 2 - Heikentänyt jonkin verran
- 1 - Heikentänyt selvästi

**22) Miten arvioisit kokonaisuutena hyvän siivouksen merkitystä sisäilman laatuun, hyvinvointiin ja työn tuottavuuteen**

- 5 - Vaikuttaa selkeästi parantavasti
- 4 - Vaikuttaa jonkin verran parantavasti
- 3 - Ei vaikuta mitenkään
- 2 - Alentaa hiukan
- 1 - Alentaa selvästi

**23) Voit kirjoittaa tähän palautteesi tästä kyselystä, siivouksesta ja sen kehittämisestä jne.**

**KIITOS VASTAUKSESTASI JA HYVÄÄ KEVÄÄN ALKUA!**

Lähetä

0% valmiina



## LIITE 4. Siivouksen laatukselyn vapaat vastaukset

**Rakennus 1:**

1. Siivousmahdollisuuden vaikuttaa todella paljon työhuoneessa olevien pape-  
reiden ym. määrä, mikä taas on täysin riippuvainen työkiireestä. Tähän nähden  
siivouksen taso on ollut kiitettävää.
2. En kavunnut katsomaan yli 180 cm kalusteiden päällisiä. En yllä ja tuolit ovat  
pyöriviä.
3. Pidän kyselyä tärkeänä ja olen itsekin pyrkinyt parantamaan työhuoneen siivot-  
tavuutta siivousta edeltävänä päivänä.
4. 1) Huoneen siivottavuus riippuu tietysti osittain itsestäni = ovatko pöytäpinnat,  
lattiat tyhjinä 2) Työhuoneessa tehdään töitä eikä ensisijainen tavoitteeni ole, että  
huone olisi tyhjä, steriili, siisti ja puhtoinen. Kun rapataan niin roiskuu! Ainakaan  
minä en osaa tehdä työtä ilman papereita ja monia värmeitä. En myöskään halua  
"tuhlata" aikaani veivaamalla kaikkia tavaroita yhtä mittaa kaappiin ja takaisin,  
jos tarvitsen niitä päivittäin. 3) Tilojen steriilisuuden lisäämisen sijaan toivon sii-  
vouksen tasoa parannettavan antamalla siivoajalle AIKAA tehdä työnsä kunnolla  
ilman "vatsahaavaa".
5. Siivouksen vuoden takaiseen tasoon rakennuksessa vaikea vastata, kun muutin  
taloon 3.1.2008. Tilapalveluiden on pitänyt toimittaa tilaan rakennettujen toimis-  
tohuoneiden oviin avaimet, mutta ei ole kuulunut. Siivoajat eivät pääse siivoa-  
maan, jollei ketään ole paikalla. Nyt on kohta jo helmikuu puolella, joten avaimet  
olisi vihdoinkin tarpeen. Vastaukset edellä koskevat huoneiden ulkopuolella ole-  
vaa tilaa. En vastannut aikaisempaan kyselyyn, koska samassa tilassa työskente-  
levä työtoverini vastasi. Hyvää kevättä toivottaen.
6. Silmät eivät ärsyynny niin paljon kun pölyä on vähemmän.
7. Työpöytäni hieman huonompi siivoustaso johtuu siitä, että olen sanonut siivoo-  
jalle, ettei sitä tarvitse pyyhkiä, koska se tällä hetkellä valtavasta työruuhkasta  
johtuen on täynnä ja sotkuinen. Se ei siis johdu siivoajasta, vaan minusta!

**Rakennus 2:**

1. Yhdessä työtoverien kanssa on viikoittain kiinnitetty huomiota siivouksen ta-  
soon. 2007 alussa puhuttiin tehostetusta siivouksesta, mutta sellaista näkyi vain  
vuoden 2007 alussa ja silloinkin se oli "tehostettua" vain verrattuna työpaikkasii-  
vouksen yleiseen tasoon. Ennen lomaa tyhjennän työpöytäni, joka siis muulloin on  
aika täynnä tavaraa, enkä siksi odotakaan sitä siivottavan, mutta lattian siivoami-  
seen ei pöytäpinnan tavaroiden pitäisi vaikuttaa. Käsitykseni mukaan pöytäpin-  
taan ei kosketa lomillakaan, koskapa myös aina tyhjät ikkunalaudat ovat koske-  
mattomia. Siivoajat erittäin ystävällisiä, mutta urakat ilmeisesti kohtuuttomia.  
HYVÄÄ SIIVOUSTA EN OLE YLIOPISTOLLA NÄHNYT SITTEN 1970-LUVUN!
2. Huoneen siivottavuus on hyvä, pölyä kerääviä laitteita ja papereita on vähän.  
Tästä huolimatta siivouksessa toivomisen varaa. Villakoiria. Pikainen siivous ker-



ran viikossa ei näytä riittävän nyt, kun muutosta puhtaaseen huoneeseen on kulunut vuosi. Voimakas ilmastointi kierrättää pölyä ja huoneilman laatu huonontunut.

3. Täällä huoneessa siivoaminen on lähes mahdotonta jatkuvan atk-roinan kerääntymisen takia, mutta lattiapinnat ovat pysyneet mukavan siisteinä ja roskat lähtevät aina tasaisin väliajoin pois :)

4. Siivooja kävi tänä aamuna 9.15. Vastasin kyselyyn 9.40, joten kaikki oli puhdasta, mutta loppuviikkoa kohti tilanne huononee. Siivous kerran viikossa on liian vähän.

5. Olen ollut tässä huoneessa vasta syyskuusta 2007. Aluksi huonetta ei siivottu lainkaan, mutta huomautuksen jälkeen siivous alkoi.

6. Huoneemme lattiapinnoilla on jatkuvasti silmin havaittavia pölypalloja ja roskaa, jalkalistoilla pölykerroksia, vapaana olevia pintoja, näppäimistöjä, puhelimia jne. ei ole siivottu viime syksyn jälkeen. Ainoa siivottu asia on roskakorin tyhjentäminen.

7. Oma huone on siisti, mutta esim. vessa lattioiden nurkat on jatkuvasti pölyiset ja likaiset, eli niihin ei siivous yllä.

8. Olen käyttänyt työhuonetta vasta syyskuun 2007 alusta, joten minulla ei ole vertailukohtaa. En pysty vastaamaan kysymyksiin 17-21. Huoneeni siivottavuutta haittaa tällä hetkellä lähinnä se, että pöydillä on paljon papereita eli omaa syytäni. Miksi tässä kyselyssä ovat kysymykset 1-4? Täytän tätä su 10.2. klo 22 Käytävien lattiat rakennuksen siivessä vaatisivat enemmän aikaa siivoukselle. Samoin siiven vessat, jotka ovat kovassa käytössä.

9. Luokkahuone XXX kaipaa siivousta, paperia ja roskakorien tyhjennystä. Nyt tuntuu siltä, kuin se siivottaisiin vain kerran kuukaudessa, huone on todella pölyinen. Olisi hyvä, jos siivoojat ilmoittaisivat, minä päivänä huone siivotaan, niin siihen voisi paremmin valmistautua.

10. Siivoukseen ei tule kiinnitettyä kovin paljon huomiota työpaikalla, mutta hyvä siisteys on kuitenkin todella tärkeä asia.

### **Rakennus 3:**

1. Mappeja joutuu sijoittamaan kaappien päälle, minne pölyä kertyy, tilan puutteen vuoksi.

2. Siistijöille kaunis kiitos.

3. Huoneiden haltijat voisivat itsekkin joskus tehdä jotakin. Pöydät on papereiden peitossa ja estävät siivousta.

4. Tällä hetkellä osa-aikaisen "oma valvonta" on hieman retuperällä, mitä paperipinojen eliminointiin tulee. Tehosiivous on toiminut kiitettävästi.

5. Muutaman kerran siivous on unohtunut, ymmärsin että silloin oli ollut työvuorossa "ei vakituinen henkilö".

6. Ilmanvaihtopaneelistä katosta tippuu vettä lattialle. Vika on kirjattu ylös, mutta sitä ei ole korjattu. Tällä hetkellä lattialla on muki, johon vesi tippuu. Viikonlopun

aikana muki täyttyi yli puolilleen tippuvasta vedestä.

7. Kysely oli kyllä kattava, mutta vaikea arvioida siivouksen tasoa, koska niin monet tekijät vaikuttavat siihen. Kerran vuodessa voisi olla hyvä tarjota ns. 'teho-siivouspäiviä/viikko', jolloin tutkijan niin halutessa tehtäisiin perusteellisempi kirjojen ja paperien imurointi. Viikkosiivous jää pakostikin melko pinnalliseksi (paperit pöydillä, työn lomassa, kiire yms. tekijät).

8. Siivottavuuden parantamisen jälkeen en ole itse pitänyt huolta riittävästi pöydällä olevien paperi- ja kirjapinojen poistamisesta riittävän usein. Siivous on ollut tehokasta ja siivouksesta vastaavien henkilöiden kanssa tehtävä yhteistyö on rakentavaa.

9. Hyvä siivous raikastaa ilman, mutta jos rakenteissa on ongelmia, siivouksella voidaan vain jonkin verran helpottaa olosuhteita. Ilmeisesti rakennuksen sijainti tuo sisään ilman epäpuhtauksia, joita kerääntyy ikkunalaudalle ja kirjahyllyn päälle.

10. Olen hyvin tyytyväinen siivoukseen ja siivoojen palvelualltiuteen sekä siihen, miten he kohtaavat meitä huoneissamme puurtavia työntekijöitä. Mukavia empaattisia naisia, joiden kanssa jutellessa tulee monesti hyvälle mielelle! He ovat tärkeä osa työyhteisöämme, eikä heidän panoksensa rajoitu ainoastaan siivoukseen!

11. Siistijät äärettömän ystävällisiä ja asiansa osaavia. Ottavat myös suoraa palautetta hienosti vastaan - yhteistyö toimii :)

12. Viime vuonna joskus täällä pestiin ikkunat. Ilmeisesti ikkunoitten pesu tehtiin jonkun toisen "firman" toimesta. Edelleen ikkunan alapuolella on siitä pesusta jääneitä tahroja seinällä. Minun olisi tietysti pitänyt pyytää siivoojia siivoamaan jäljet, mutta se on jäänyt tekemättä. Aion sen tehdä, joten tämä palaute on vain huomautus siitä, että ikkunanpesijöiden tulisi myös siistiä jälkensä tai sopia, että siivoojat tekevät sen heidän jälkensä.

14. Eteivät vaki-siivoojat parantavat työelämän laatua :-)

15. Siivous on hoidettu järkevästi ja huolellisesti. Minulla ei ole allergioita tai muita ongelmia, joten hyvä siivous vaikuttaa enemmänkin henkisesti.

16. Siivouksen laatu on todella hyvä.

17. Olen tyytyväinen siivoustyön tulokseen ja työntekijöihin.

18. Olen tullut töihin vasta helmikuun alusta 08, joten en voi kovin pitkän ajan arviota tässä kertoa. Ainakin tämän ajan huone on ollut erittäin siisti. Kaunis kiitos ystävällisille ja hymyileville siistijöille! =D

19. Erityinen kiitos ystävällisille ja palveluhaluille siivoojillemme, joiden panos sekä työympäristön laatuun että laitoksen yleiseen ilmapiiriin on myönteinen ja tärkeä.

#### **Rakennus 4:**

1. Kyselyssä ei oteta huomioon kaikkia osia huoneesta. Esimerkiksi ikkunani nurkassa on ollut hämähäkinseittiä niin kauan kuin olen huoneessa ollut. Seitti on

kasvanut kasvamistaan. Sen sijaan tasot ovat kyllä pyyhityt ja lattia siisti. Minulla on paljon papereita pöydillä, enkä koe sen mitenkään haittaavan siivousta. Itse asiassa en halua kenenkään ulkopuolisen kajoavan pöydillä oleviin työpapereihin, ne ovat siinä ihan tarkoituksella, eivät siivoojan kiusaksi. Työhuonehan ei ole julkista tilaa, vaan yksityisen ihmisen työntekoa varten oleva lukittu tila. Joskus siivouksen yhteydessä siivooja ei ole asettanut tavaroita paikoilleen ja se ei mielestäni kuulu asiaan.

2. Kyselyssä ei puututtu yleisiin tiloihin, joiden siivous on hiukan huonompaa kuin huonetilojen, esim. wc:t voisi siivota tarkemmin ja pyyhkiä aina esim. vatsatauti-epidemioiden aikana ovien kahvoja, hanoja ym.

3. Hyllyn päällä (joka on tyhjä) on runsaasti pölyä, samoin nurkissa on pölyä. Lattia keskiosiltaan ja pöytäpinnat ovat yleensä siivouksen jälkeen siistejä. On selvää (?), että viikoittaisessa siivouksessa ei "nuohota" kaikkia nurkkia, mutta kuuluuko ajoittain tehty parempi siivous (nurkat, johtojen päälliset, hyllyjen päälliset, tuolit) ostetun siivouksen piiriin? Itselläni ei ole pahaa pölyallergiaa; jos olisi huoneessa olevan pölyn määrä voisi olla haitaksi. Olen työskennellyt yliopistolla toukokuusta 2007 lähtien.

4. Siivous on mielestäni toiminut oikein hyvin. Ainoana negatiivisena palautteena huomauttaisin työhuoneiden ovien auki jättämisestä silloin tällöin. Olen joskus tullut siivouksena töihin ja työhuoneen ovi on auki. Enhän minä nyt mitään huippusalaista työtä tee, mutta välillä on esim. ollut tenttikysymyksiä ja kuoria pöydällä ja niitähän pitäisi varjella ennen tenttejä. Toisekseen, en tiedä vastaatteko te yleisistä tiloista siis lähinnä toisen kerroksen aulabaarin keittiöstä. Sottuisille kollegoille ei tietysti voi mitään, mutta keittiöön voisi tehdä tehosiivouksen aina joskus. Niin se saattaisi pysyä puhtaana hieman pidempään. Kiitos joka tapauksessa hyvästä työstä!

5. Ainoa moite siivousta kohtaan on ollut se, että joskus näyttöni on pyyhitty tavallisella rätillä ja pesuaineella, mistä jää tuhruinen kalvo. Muuten minulla ei ole siivoojista kerrassaan mitään valitettavaa. Ystävällisiäkin ovat, mitä puolestaan laitoksen henkilökunta ei taida aina olla heitä kohtaan. Sitähän luullaan, että siivoojat ovat palvelijoita...

7. Siivous ei ole mielestäni ongelma vaan rakennuksen ilmanvaihto. Mitä tulee henkilökohtaiseen siisteyteeni niin työni on sen luonteista, että työpöytä on aina prosessissa ts. työpapereita on ja tulee aina olemaan pöydillä. Se on minun tapani työskennellä toinen voi järjestää asiat toisin. Tämän lisäksi työhuone on täynnä entisten kollegoiden perintöä erilaista ylimääräistä rojua kuten printtereiden osia, kuluneita hiirimattoja, mappeja, pahvilaatikoita, vanhoja kirjoja yms. Tämä huone tarvitsisi inventaarion. Jaamme työhuoneen tutkijakollegan kanssa, joten työkohtainen neliömäärä on suhteellisen pieni. Huone on täynnä. Kliiniseen lopputulokseen on mahdotonta päästä - eikä se ole mielestäni tarpeenkaan, ilmanvaihdon pitäisi toimia siitä huolimatta. Nyt huone on tunkkainen ja happea on ollut pakko kanavoida avatun ikkunan kautta.

8. Aikaisemmin siivous tapahtui työaikana (piti poistua huoneesta siivouksen ajaksi) - nyt en muista milloin olisin viimeksi joutunut poistumaan huoneestani siivousta varten. Matalat tasot - hyllyt ja pöytäpinnat - kyllä siivotaan, silloin kun niitä ei peitä paperivuori, siitä kiitos.

9. Olin täällä töissä kolme vuotta sitten ja silloin siivouksen määrä oli selkeästi pienempi, esim. rappukäytävät olivat törkeässä kunnossa ja vessapaperi jatkuvasi lopussa. Nyt tilanne on erittäin paljon parempi. En usko että sisäilmaongelmat johtuisivat siivouksesta juuri mitenkään. Jossakin muussa pulma piilee, ilmanvaihtoröoreissä tms.? Lasivillapölyä, kemikaalijäämiä mattojen kiinnityksissä tms. tms.

10. Valtava paperimäärä ja avokirjahyllyt koituvat sekä siivoojien että minun kohdalokseni Minäkin olen alkanut saada allergisia oireita, vaikka koskaan aikaisemmin en ole tällaista kokenut. Olen ollut hämmästynyt, mutta toisaalta kun katson työhuoneessa ympärilleni ja totean pölyn määrän, en voi ihmetelläkään. Sama tilanne on varmaan monilla pitkään samassa työhuoneessa työskenneillä, koska siivoushan ei koskaan ulotu työpöytää ylemmäksi. Voisi olla sairauksille ennaltaehkäisevää, jos hyllyjen päältä pyyhittäisiin tms.

11. Haluaisin muistuttaa myös yleisten tilojen siivouksesta. Monissa luentosaleissa ja käytävillä perusteellinen siivous voisi hyvinkin paljon vaikuttaa ilman laatuun ja viihtyvyyteen. WC-tilat ovat oma ongelmansa ja siivousta voisi niiden osalta lisätä.

12. Olennaista olisi parantaa yleisessä käytössä olevien tilojen siivousta (eli lisätä mitoitusta). Erityisesti miesten vessa kolmannessa kerroksessa on törkeässä kunnossaa, samoin rappu. Vessaa käyttävät myös opiskelijat huolimatta siitä että ovesa kyltti "henkilökunnalle". Rappua ei ole 7 vuoden aikana siivottu kertakaan kunnolla. Seinät todella likaisia ja kurassa.

13. Rakennuksessa pitäisi tehdä pintaremonttia ja vaihtaa kaikki 1980-alusta perityt tuolit. Näillä toimenpiteillä olisi viihtyvyyttä edistävää vaikutusta. Rakennuksen ongelma on se, että pinnat ovat niin kuluneita, ettei siivous nuhruista yleisilmettä olennaisesti muuta.

14. Meitä on huoneessa 2 henkilöä ja molemmilla paljon paperia ja mappeja, joten huone on hankala siivota. Toivottavasti saamme lähiaikoina omat huoneet.

15. Olen juuri saanut huoneeseen pari avohyllyä, joihin voin siirtää tasoille kertyneitä papereita mapeissa. Huoneeni on todella täynnä tähän virkaan ja sen edeltäjille kuuluneita papereita, mappeja jne., joiden läpikäynti ja osan poisto tullee helpottamaan myös siivoojan töitä. Siltikin yleislaatu siivoamisessa on viimeisten kahden vuoden aikana heikentynyt, johtunee siitä tiukasta aikataulusta, joka siivoojille ylhäältä annetaan.

16. Asiallinen kysely. Siivooja tekee hyvää työtä, mutta hänellä lienee liian suuri siivottava ala.

17. Huoneiden siivoaminen on käsittääkseni kunnossa, en ole huomannut mitään puutteita. Tällaisiin kyselyihin on vaikea arvioida taso numeroina, ei oikein tiedä

mikä on asteikko. Yleistilojen siisteyteen toivoisin parannusta, esim. portaikot, listat, jne.

**18.** En ollut työssä helmikuussa 2007 (vanhempainvapaa), joten en voi arvioida siivouksen tasoa ko. ajankohtana. Siivottavuutta helpottavat toimenpiteet eivät ole vain vastaajan päätettävissä/suoritettavissa, varsinkin kun jakaa huoneen toisen henkilön kanssa. Lisäksi ainakaan minulle ei ole koskaan tarjottu mahdollisuutta saada esim. ovellisia kalusteita. Muutenkin määräaikainen henkilö joutuu aina sopeutumaan tilanteeseen ja siihen mitä huoneessa sattuu jo valmiiksi olemaan. Ja sillä aikaa kun on vanhempainvapaalla joku vielä käyttää tilaisuutta hyväksi ja vie mennessään käyttämiäni kalusteita! Minulla on tällä hetkellä esim. työtuoli, jossa on ruma rikkinäinen istuinkangas... Puhumattakaan että työpisteen ergonomia on kaukana ihanteesta.

**19.** Kalusteissa, jotka vaihdettiin siivousta helpottamaan, ei otettu työntekijän työmukavuutta tai ergonomiaakaan tarpeeksi huomioon. Työskentelyn kannalta huoneen kalustus ei paras mahdollinen.

**20.** Olen muuttanut huonetta vuoden vaihteessa, minkä vuoksi en kykene tekemään aikavertailuja. Aikaisempi huone oli liian täynnä, minkä vuoksi siivous oli vaikeata, ja huoneessa oli paljon pölyä ja muista epäpuhtauksia.

**21.** Huoneen pinnoilla on turhan paljon pölyä. Toisaalta vaikeutan itse siivoamista jättämällä työpöydän täyteen roinaa. Tekstiilipäällysteiset tuolit pitäisi silloin tällöin imuroida. Ovessa ja ovenpielissä turhan usein tahroja. Vika ei ole siivoojissa, vaan siinä, mitä he ehtivät säädettynä aikana tekemään. Toisaalta koko talo kaipaisi pintaremonttia, ts. seinien maalausta yms. Myös vessat alkavat olla remontoivassa kunnossa. Sisäilman laatuun vaikuttaa myös se, että ns. kahden hengen huoneet ovat liian pieniä kahdelle hengelle. Ilmastointi ei riitä, vaikka se olisi täysillä.

### **Rakennus 5:**

**1.** Huoneen siivous on niin hyvä kuin tämän paperipaljouden keskellä voi edellyttää. Navetan haju näin pakkaspäivänä viikonlopun jälkeen johtunee vesipisteiden kuivumisesta ja tuuletuksen säädöstä viikonloppuna

**2.** Siivouksen taso on ihan kiitettävä ottaen huomioon sen, että työpöytäni on usein kaaosmainen papereineen. Mutta hyväkään siivous ei auta, jos rakennus kosteusvaurioineen (kolmanteen kerrokseen tulee aina vettä kovalla sateella, joten rakenteiden täytyy olla vaurioituneet) on todella ala-arvoinen. Kesäloman jälkeen iski heti paha allergiareaktio eli nokkosrokko. Nämä rakennukset (4 ja 5) ovat käyttökelvottomia!!! Astmaa odotellessa

**3.** Talo vaatii täyttä remonttia, ja ilmastointilaitteet tulisi tutkia/uusia sekä korjata syyt mitkä aiheuttavat erilaisia allergiaoireita. Samaa ilmaahan tulee kanavien kautta kaikkiin tiloihin ja saa liikkeeseen tasojen pölyt. Joistakin isoista tuloilma-aukoista roikkuu pitkiä pölyvanoja. Siivouksesta: Erityisesti toivoisin tuolien puhautta!

4. Rakennuksessa on varsinkin aamuisin tunkkainen ilma, huone vaatii tuuletuksen. Varsinkin viime kesänä sisäilma oli tosi huono sekä käytävällä että huoneessa.
5. Hei, rakennuksen siivouksen taso on hyvä. 3. kerroksen naisten wc-tiloihin olisi hyvä saada toiseenkin vessaan roskakori. Kohta 16. Siivouksen taso on ollut ennenkin hyvä ja parantunut vielä entisestäänkin. Kohta 22. Sisäilman laatuun siivouksella ei ole laitoksemme osalta suurempaa merkitystä, koska rakennuksen huono sisäilma /tunkkaisuus yms. asiat eivät ole siivouksella korjattavissa olevia asioita. Tähän em. asiaan voisi miettiä "järeämpiä" toimenpiteitä, jotta välttyttäisiin useamman työntekijän sairastumisilta.
7. Olen itse osasyllinen huoneeni pölyisyyteen, sillä paperipinoja on ihan hirveästi...
8. Siivoukseen varattu aika on suhteessa odotuksiin liian vähäinen, omassa huoneessani ei esim. avohyllyt helpota siivottavuutta, myös itse rakennuksen kunnosta huolehtiminen vaikuttaa olennaisesti sisäilman laatuun ja työntekijöiden hyvinvointiin; siivoukseen liittyen kuluneet pinnat ym. on vaikeampi pitää puhtaina eikä siivouksella saada sitä tuottavuutta, mitä sillä ehkä tavoitellaan.
9. Päivittäin siivous on ok ja siivooja erittäin hyvä. Talo on kuitenkin vanha ja sisältää paljon esim. arkistoja (papereineen ja kirjoineen), joiden siivoaminen ei kuulu kenellekään tai kenelläkään ei ole aikaa niiden tsekkaamiseen. Ovat melkoisia pölynpesiä...

LIITE 5. Rakennuksen 4 huone 205 ennen ja jälkeen siivoussaneerauksen



Huone ennen siivoussaneerausta



Huone siivoussaneerauksen jälkeen

LIITE 6. Rakennuksen 5 huone 211 ennen ja jälkeen siivoussaneerauksen



Huone ennen siivoussaneerausta



Huone siivoussaneerauksen jälkeen



LIITE 7. Rakennuksen 4 huone 216 ennen ja jälkeen siivoussaneerauksen



Huone ennen siivoussaneerausta



Huone siivoussaneerauksen jälkeen

BIOLOGICAL RESEARCH REPORTS FROM THE UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

- 1 RAATIKAINEN, M. & VASARAINEN, A., Damage caused by timothy flies (*Amaurosoma* spp.) in Finland, pp. 3-8.  
SÄRKKÄ, J., The numbers of *Tubifex tubifex* and its cocoons in relation to the mesh size, pp. 9-13.  
ELORANTA, P. & ELORANTA, A., Keurusselän kalastosta ja sen rakenteesta. - On the fish fauna of Lake Keurusselkä, Finnish Lake District, pp. 14-29.  
ELORANTA, P. & ELORANTA, A., Kuusveden veden laadusta, kasviplanktonista ja kalastosta. - On the properties of water, phytoplankton and fish fauna of Lake Kuusvesi, Central Finland, pp. 30-47. 47 p. 1975.
- 2 ELORANTA, V., Effects of different process wastes and main sewer effluents from pulp mills on the growth and production of *Ankistrodesmus falcatus* var. *acicularis* (Chlorophyta), pp. 3-33.  
ELORANTA, P. & KUNNAS, S., A comparison of littoral periphyton in some lakes of Central Finland, pp. 34-50.  
ELORANTA, P., Phytoplankton and primary production in situ in the lakes Jyväsjärvi and North Päijänne in summer 1974, pp. 51-66. 66 p. 1976.
- 3 RAATIKAINEN, M., HALKKA, O., VASARAINEN, A. & HALKKA, L., Abundance of *Philaenus spumarius* in relation to types of plant community in the Tvärminne archipelago, southern Finland. 38 p. 1977
- 4 HAKKARI, L., On the productivity and ecology of zooplankton and its role as food for fish in some lakes in Central Finland. 87 p. 1978.
- 5 KÄPYLÄ, M., Bionomics of five woodnesting solitary species of bees (Hym., Megachilidae), with emphasis on flower relationships. 89 p. 1978.
- 6 KANKAALA, P. & SAARI, V., The vascular flora of the Vaarunvuoret hills and its conservation, pp. 3-62.  
TÖRMÄLÄ, T. & KOVANEN, J., Growth and ageing of magpie (*Pica pica* L.) nestlings, pp. 63-77. 77 p. 1979.
- 7 VIITALA, J., Hair growth patterns in the vole *Clethrionomys rufocanus* (Sund.), pp. 3-17.  
NIEMI, R. & HUHTA, V., Oribatid communities in artificial soil made of sewage sludge and crushed bark, pp. 18-30. 30 p. 1981.
- 8 TÖRMÄLÄ, T., Structure and dynamics of reserved field ecosystem in central Finland. 58 p. 1981.
- 9 ELORANTA, V. & KUIVASNIEMI, K., Acute toxicity of two herbicides, glyphosate and 2,4-D, to *Selenastrum capricornutum* Printz (Chlorophyta), pp. 3-18.  
ELORANTA, P. & KUNNAS, S., Periphyton accumulation and diatom communities on artificial substrates in recipients of pulp mill effluents, pp. 19-33.  
ELORANTA, P. & MARJA-AHO, J., Transect studies on the aquatic macrophyte vegetation of Lake Saimaa in 1980, pp. 35-65. 65 p. 1982.
- 10 LAKE PÄIJÄNNE SYMPOSIUM. 199 p. 1987.
- 11 SAARI, V. & OHENOJA, E., A check-list of the larger fungi of Central Finland. 74 p. 1988.
- 12 KOJOLA, I., Maternal investment in semi-domesticated reindeer (*Rangifer t. tarandus* L.). 26 p. Yhteenveto 2 p. 1989.
- 13 MERILÄINEN, J. J., Impact of an acid, polyhumic river on estuarine zoobenthos and vegetation in the Baltic Sea, Finland. 48 p. Yhteenveto 2 p. 1989.
- 14 LUMME, I., On the clone selection, ectomy-corrhizal inoculation of short-rotation willows (*Salix* spp.) and on the effects of some nutrients sources on soil properties and plant nutrition. 55 p. Yhteenveto 3 p. 1989.
- 15 KUITUNEN, M., Food, space and time constraints on reproduction in the common treecreeper (*Certhia familiaris* L.) 22 p. Yhteenveto 2 p. 1989.
- 16 YLÖNEN, H., Temporal variation of behavioural and demographical processes in cyclic *Clethrionomys* populations. 35 p. Yhteenveto 2 p. 1989.
- 17 MIKKONEN, A., Occurrence and properties of proteolytic enzymes in germinating legume seeds. 61 p. Yhteenveto 1 p. 1990.
- 18 KAINULAINEN, H., Effects of chronic exercise and ageing on regional energy metabolism in heart muscle. 76 p. Yhteenveto 1 p. 1990.
- 19 LAKSO, MERJA, Sex-specific mouse testosterone 16 $\alpha$ -hydroxylase (cytochrome P450) genes: characterization and genetic and hormonal regulations. 70 p. Yhteenveto 1 p. 1990.
- 20 SETÄLÄ, HEIKKI, Effects of soil fauna on decomposition and nutrient dynamics in coniferous forest soil. 56 p. Yhteenveto 2 p. 1990.
- 21 NÄRVÄNEN, ALE, Synthetic peptides as probes for protein interactions and as antigenic epitopes. 90 p. Yhteenveto 2 p. 1990.
- 22 ECOTOXICOLOGY SEMINAR, 115 p. 1991.
- 23 ROSSI, ESKO, An index method for environmental risk assessment in wood processing industry. 117 p. Yhteenveto 2 p. 1991.
- 24 SUHONEN, JUKKA, Predation risk and competition in mixed species tit flocks. 29 p. Yhteenveto 2 p. 1991.
- 25 SUOMEN MUUTTUVA LUONTO. Mikko Raatikaiselle omistettu juhla-kirja. 185 p. 1992.
- 26 KOSKIVAARA, MARI, Monogeneans and other parasites on the gills of roach (*Rutilus rutilus*) in Central Finland. Differences between four lakes and the nature of dactylogyrid communities. 30 p. Yhteenveto 2 p. 1992.
- 27 TASKINEN, JOUNI, On the ecology of two Rhipidocotyle species (Digenea: Bucephalidae) from two Finnish lakes. 31 p. Yhteenveto 2 p. 1992.
- 28 HUOVILA, ARI, Assembly of hepatitis B surface antigen. 73 p. Yhteenveto 1 p. 1992.
- 29 SALONEN, VEIKKO, Plant colonization of harvested peat surfaces. 29 p. Yhteenveto 2 p. 1992.

BIOLOGICAL RESEARCH REPORTS FROM THE UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

- 30 JOKINEN, ILMARI, Immunoglobulin production by cultured lymphocytes of patients with rheumatoid arthritis: association with disease severity. 78 p. Yhteenveto 2 p. 1992.
- 31 PUNNONEN, Eeva-Liisa, Ultrastructural studies on cellular autophagy. Structure of limiting membranes and route of enzyme delivery. 77 p. Yhteenveto 2 p. 1993.
- 32 HAIMI, JARI, Effects of earthworms on soil processes in coniferous forest soil. 35 p. Yhteenveto 2 p. 1993.
- 33 ZHAO, GUOCHANG, Ultraviolet radiation induced oxidative stress in cultured human skin fibroblasts and antioxidant protection. 86 p. Yhteenveto 1 p. 1993.
- 34 RÄTTI, OSMO, Polyterritorial polygyny in the pied flycatcher. 31 p. Yhteenveto 2 p. 1993.
- 35 MARJOMÄKI, VARPU, Endosomes and lysosomes in cardiomyocytes. A study on morphology and function. 64 p. Yhteenveto 1 p. 1993.
- 36 KIHILSTRÖM, MARKKU, Myocardial antioxidant enzyme systems in physical exercise and tissue damage. 99 p. Yhteenveto 2 p. 1994.
- 37 MUOTKA, TIMO, Patterns in northern stream guilds and communities. 24 p. Yhteenveto 2 p. 1994.
- 38 EFFECT OF FERTILIZATION ON FOREST ECOSYSTEM 218 p. 1994.
- 39 KERVINEN, JUKKA, Occurrence, catalytic properties, intracellular localization and structure of barley aspartic proteinase. 65 p. Yhteenveto 1 p. 1994.
- 40 MAPPES, JOHANNA, Maternal care and reproductive tactics in shield bugs. 30 p. Yhteenveto 3 p. 1994.
- 41 SIIKAMÄKI, PIIRKKO, Determinants of clutch-size and reproductive success in the pied flycatcher. 35 p. Yhteenveto 2 p. 1995.
- 42 MAPPES, TAPIO, Breeding tactics and reproductive success in the bank vole. 28 p. Yhteenveto 3 p. 1995.
- 43 LAITINEN, MARKKU, Biomonitoring of the responses of fish to environmental stress. 39 p. Yhteenveto 2 p. 1995.
- 44 LAPPALAINEN, PEKKA, The dinuclear Cu<sub>A</sub> centre of cytochrome oxidase. 52 p. Yhteenveto 1 p. 1995.
- 45 RINTAMÄKI, PEKKA, Male mating success and female choice in the lekking black grouse. 23 p. Yhteenveto 2 p. 1995.
- 46 SUURONEN, TIINA, The relationship of oxidative and glycolytic capacity of longissimus dorsi muscle to meat quality when different pig breeds and crossbreeds are compared. 112 p. Yhteenveto 2 p. 1995.
- 47 KOSKENNIEMI, ESA, The ecological succession and characteristics in small Finnish polyhumic reservoirs. 36 p. Yhteenveto 1 p. 1995.
- 48 HOVI, MATTI, The lek mating system in the black grouse: the role of sexual selection. 30 p. Yhteenveto 1 p. 1995.
- 49 MARTTILA, SALLA, Differential expression of aspartic and cyteine proteinases, glutamine synthetase, and a stress protein, HVA1, in germinating barley. 54 p. Yhteenveto 1 p. 1996.
- 50 HUHTA, ESA, Effects of forest fragmentation on reproductive success of birds in boreal forests. 26 p. Yhteenveto 2 p. 1996.
- 51 OJALA, JOHANNA, Muscle cell differentiation in vitro and effects of antisense oligodeoxyribonucleotides on gene expression of contractile proteins. 157 p. Yhteenveto 2 p. 1996.
- 52 PALOMÄKI, RISTO, Biomass and diversity of macrozoobenthos in the lake littoral in relation to environmental characteristics. 27 p. Yhteenveto 2 p. 1996.
- 53 PUSENIUS, JYRKI, Intraspecific interactions, space use and reproductive success in the field vole. 28 p. Yhteenveto 2 p. 1996.
- 54 SALMINEN, JANNE, Effects of harmful chemicals on soil animal communities and decomposition. 28 p. Yhteenveto 2 p. 1996.
- 55 KOTIAHO, JANNE, Sexual selection and costs of sexual signalling in a wolf spider. 25 p. (96 p.). Yhteenveto 2 p. 1997.
- 56 KOSKELA, JUHA, Feed intake and growth variability in Salmonids. 27p. (108 p.). Yhteenveto 2 p. 1997.
- 57 NAARALA, JONNE, Studies in the mechanisms of lead neurotoxicity and oxidative stress in human neuroblastoma cells. 68 p. (126 p.). Yhteenveto 1 p. 1997.
- 58 AHO, TEIJA, Determinants of breeding performance of the Eurasian treecreeper. 27 p. (130 p.). Yhteenveto 2 p. 1997.
- 59 HAAPARANTA, AHTE, Cell and tissue changes in perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) in relation to water quality. 43 p. (112 p.). Yhteenveto 3 p. 1997.
- 60 SOIMASUO, MARKUS, The effects of pulp and paper mill effluents on fish: a biomarker approach. 59 p. (158 p.). Yhteenveto 2 p. 1997.
- 61 MIKOLA, JUHA, Trophic-level dynamics in microbial-based soil food webs. 31 p. (110 p.). Yhteenveto 1 p. 1997.
- 62 RAHKONEN, RIITTA, Interactions between a gull tapeworm *Diphyllobothrium dendriticum* (Cestoda) and trout (*Salmo trutta* L). 43 p. (69 p.). Yhteenveto 3 p. 1998.
- 63 KOSKELA, ESA, Reproductive trade-offs in the bank vole. 29 p. (94 p.). Yhteenveto 2 p. 1998.
- 64 HORNE, TAINA, Evolution of female choice in the bank vole. 22 p. (78 p.). Yhteenveto 2 p. 1998.
- 65 PIIRHONEN, JUHANI, Some effects of cultivation on the smolting of two forms of brown trout (*Salmo trutta*). 37 p. (97 p.). Yhteenveto 2 p. 1998.
- 66 LAAKSO, JOUNI, Sensitivity of ecosystem functioning to changes in the structure of soil food webs. 28 p. (151 p.). Yhteenveto 1 p. 1998.
- 67 NIKULA, TUOMO, Development of radiolabeled monoclonal antibody constructs: capable of transporting high radiation dose into cancer cells. 45 p. (109 p.). Yhteenveto 1 p. 1998.

## BIOLOGICAL RESEARCH REPORTS FROM THE UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

- 68 AIRENNE, KARI, Production of recombinant avidins in *Escherichia coli* and insect cells. 96 p. (136 p.). Yhteenveto 2 p. 1998.
- 69 LYYTIKÄINEN, TAPANI, Thermal biology of underyearling Lake Inari Arctic Charr *Salvelinus alpinus*. 34 p. (92 p.). Yhteenveto 1 p. 1998.
- 70 VIHINEN-RANTA, MAIJA, Canine parvovirus. Endocytic entry and nuclear import. 74 p. (96 p.). Yhteenveto 1 p. 1998.
- 71 MARTIKAINEN, ESKO, Environmental factors influencing effects of chemicals on soil animals. Studies at population and community levels. 44 p. (137 p.). Yhteenveto 1 p. 1998.
- 72 AHLROTH, PETRI, Dispersal and life-history differences between waterstrider (*Aquarius najas*) populations. 36 p. (98 p.). Yhteenveto 1 p. 1999.
- 73 SIPPONEN, MATTI, The Finnish inland fisheries system. The outcomes of private ownership of fishing rights and of changes in administrative practices. 81 p. (188 p.). Yhteenveto 2 p. 1999.
- 74 LAMMI, ANTTI, Reproductive success, local adaptation and genetic diversity in small plant populations. 36 p. (107 p.). Yhteenveto 4 p. 1999.
- 75 NIVA, TEUVO, Ecology of stocked brown trout in boreal lakes. 26 p. (102 p.). Yhteenveto 1 p. 1999.
- 76 PULKKINEN, KATJA, Transmission of *Triaenophorus crassus* from copepod first to coregonid second intermediate hosts and effects on intermediate hosts. 45 p. (123 p.). Yhteenveto 3 p. 1999.
- 77 PARRI, SILJA, Female choice for male drumming characteristics in the wolf spider *Hygrolycosa rubrofasciata*. 34 p. (108 p.). Yhteenveto 2 p. 1999.

## JYVÄSKYLÄ STUDIES IN BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCE

- 78 VIROLAINEN, KAIJA, Selection of nature reserve networks. - Luonnonsuojelualueiden valinta. 28 p. (87 p.). Yhteenveto 1 p. 1999.
- 79 SELIN, PIIRKKO, Turvevarojen teollinen käyttö ja suopohjan hyödyntäminen Suomessa. - Industrial use of peatlands and the re-use of cut-away areas in Finland. 262 p. Foreword 3 p. Executive summary 9 p. 1999.
- 80 LEPPÄNEN, HARRI, The fate of resin acids and resin acid-derived compounds in aquatic environment contaminated by chemical wood industry. - Hartsihappojen ja hartsihappopörräisten yhdisteiden ympäristökohtalo kemiallisen puunjalostusteollisuuden likaamissa vesistöissä. 45 p. (149 p.). Yhteenveto 2 p. 1999.
- 81 LINDSTRÖM, LEENA, Evolution of conspicuous warning signals. - Näkyvien varoitussignaalien evoluutio. 44 p. (96 p.). Yhteenveto 3 p. 2000.
- 82 MATTILA, ELISA, Factors limiting reproductive success in terrestrial orchids. - Kämmeköiden lisääntymismenestystä rajoittavat tekijät. 29 p. (95 p.). Yhteenveto 2 p. 2000.
- 83 KARELS, AARNO, Ecotoxicity of pulp and paper mill effluents in fish. Responses at biochemical, individual, population and community levels. - Sellu- ja paperiteollisuuden jätevesien ekotoksisuus kaloille. Tutkimus kalojen biokemiallisista, fysiologisista sekä populaatio- ja yhteisövasteista. 68 p. (177 p.). Yhteenveto 1 p. Samenvatting 1 p. 2000.
- 84 AALTONEN, TUULA, Effects of pulp and paper mill effluents on fish immune defence. - Metsäteollisuuden jätevesien aiheuttamat immunologiset muutokset kaloissa. 62 p. (125 p.). 2000.
- 85 HELENIUS, MERJA, Aging-associated changes in NF-kappa B signaling. - Ikääntymisen vaikutus NF-kappa B:n signaalointiin. 75 p. (143 p.). Yhteenveto 2 p. 2000.
- 86 HUOVINEN, PIIRJO, Ultraviolet radiation in aquatic environments. Underwater UV penetration and responses in algae and zooplankton. - Ultravioletsäteilyn vedenalainen tunkeutuminen ja sen vaikutukset leviin ja eläinplanktoniin. 52 p. (145 p.). Yhteenveto 2 p. 2000.
- 87 PÄÄKKÖNEN, JARI-PEKKA, Feeding biology of burbot, *Lota lota* (L.): Adaptation to profundal lifestyle? - Mateen, *Lota lota* (L.), ravinnonkäytön erityispiirteet: sopeumia pohjaelämään? 33 p. (79 p.). Yhteenveto 2 p. 2000.
- 88 LAASONEN, PEKKA, The effects of stream habitat restoration on benthic communities in boreal headwater streams. - Koskikunnostuksen vaikutus jokien pohjaeläimistöön. 32 p. (101 p.). Yhteenveto 2 p. 2000.
- 89 PASONEN, HANNA-LEENA, Pollen competition in silver birch (*Betula pendula* Roth). An evolutionary perspective and implications for commercial seed production. - Siitepölykilpailu koivulla. 41 p. (115 p.). Yhteenveto 2 p. 2000.
- 90 SALMINEN, ESA, Anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse by-products and wastes. - Siipikarjateurastuksen sivutuotteiden ja jätteiden anaerobinen käsittely. 60 p. (166 p.). Yhteenveto 2 p. 2000.
- 91 SALO, HARRI, Effects of ultraviolet radiation on the immune system of fish. - Ultravioletsäteilyn vaikutus kalan immunologiseen puolustusjärjestelmään. 61 p. (109 p.). Yhteenveto 2 p. 2000.
- 92 MUSTAJÄRVI, KAISA, Genetic and ecological consequences of small population size in *Lychnis viscaria*. - Geneettisten ja ekologisten tekijöiden vaikutus pienten mäkitervakko populaatioiden elinkykyyn. 33 p. (124 p.). Yhteenveto 3 p. 2000.

- 93 TIKKA, PÄIVI, Threatened flora of semi-natural grasslands: preservation and restoration. - Niittykasvillisuuden säilyttäminen ja ennallistaminen. 35 p. (105 p.). Yhteenveto 2 p. 2001.
- 94 SIITARI, HELL, Ultraviolet sensitivity in birds: consequences on foraging and mate choice. - Lintujen ultravioletin ekologinen merkitys ravinnon- ja puolisonvalinnassa. 31 p. (90 p.). Yhteenveto 2 p. 2001.
- 95 VERTAINEN, LAURA, Variation in life-history traits and behaviour among wolf spider (*Hygrolycosa rubrofasciata*) populations. - Populaatioiden väliset erot rummuttavan hämähäkin *Hygrolycosa rubrofasciata* kasvussa ja käyttäytymisessä. 37 p. (117 p.) Yhteenveto 2 p. 2001.
- 96 HAAPALA, ANTTI, The importance of particulate organic matter to invertebrate communities of boreal woodland streams. Implications for stream restoration. - Hiukkasmaisen orgaanisen aineksen merkitys pohjoisten metsäjokien pohja-eläinyhteisöille - huomioita virtavesien kunnostushankkeisiin. 35 p. (127 p.) Yhteenveto 2 p. 2001.
- 97 NISSINEN, LIISA, The collagen receptor integrins - differential regulation of their expression and signaling functions. - Kollageeniin sitoutuvat integriinit - niiden toisistaan eroava säätely ja signaalointi. 67 p. (125 p.) Yhteenveto 1 p. 2001.
- 98 AHLROTH, MERVI, The chicken avidin gene family. Organization, evolution and frequent recombination. - Kanan avidiini-geeniperhe. Organisaatio, evoluutio ja tiheä rekombinaatio. 73 p. (120 p.) Yhteenveto 2 p. 2001.
- 99 HYÖTYLÄINEN, TARJA, Assessment of ecotoxicological effects of creosote-contaminated lake sediment and its remediation. - Kreosotilla saastuneen järvisedimentin ekotoksikologisen riskin ja kunnostuksen arviointi. 59 p. (132 p.) Yhteenveto 2 p. 2001.
- 100 SULKAVA, PEKKA, Interactions between faunal community and decomposition processes in relation to microclimate and heterogeneity in boreal forest soil. - Maaperän eliöyhteisön ja hajotusprosessien väliset vuorovaikutukset suhteessa mikroilmastoon ja laikutaisuuteen. 36 p. (94 p.) Yhteenveto 2 p. 2001.
- 101 LAITINEN, OLLI, Engineering of physicochemical properties and quaternary structure assemblies of avidin and streptavidin, and characterization of avidin related proteins. - Avidiinin ja streptavidiinin kvaternäärirakenteen ja fysiokemiallisten ominaisuuksien muokkaus sekä avidiinin kaltaisten proteiinien karakterisointi. 81 p. (126 p.) Yhteenveto 2 p. 2001.
- 102 LYYTINEN, ANNE, Insect coloration as a defence mechanism against visually hunting predators. - Hyönteisten väriytyminen puolustuksessa vihollisia vastaan. 44 p. (92 p.) Yhteenveto 3 p. 2001.
- 103 NIKKILÄ, ANNA, Effects of organic material on the bioavailability, toxicokinetics and toxicity of xenobiotics in freshwater organisms. - Orgaanisen aineksen vaikutus vierasaineiden biosaatavuuteen, toksikokinetiikkaan ja toksisuuteen vesieliöillä. 49 p. (102 p.) Yhteenveto 3 p. 2001.
- 104 LIIRI, MIRA, Complexity of soil faunal communities in relation to ecosystem functioning in coniferous forest soil. A disturbance oriented study. - Maaperän hajottajaeliöstön monimuotoisuuden merkitys metsäekosysteemin toiminnassa ja häiriötilanteissa. 36 p. (121 p.) Yhteenveto 2 p. 2001.
- 105 KOSKELA, TANJA, Potential for coevolution in a host plant - holoparasitic plant interaction. - Isäntäkasvin ja täysloiskasvin välinen vuorovaikutus: edellytyksiä koevoluutiolle? 44 p. (122 p.) Yhteenveto 3 p. 2001.
- 106 LAPPIVAARA, JARMO, Modifications of acute physiological stress response in whitefish after prolonged exposures to water of anthropogenically impaired quality. - Ihmistoiminnan aiheuttaman veden laadun heikentymisen vaikutukset planktonsiian fysiologisessa stressivasteessa. 46 p. (108 p.) Yhteenveto 3 p. 2001.
- 107 ECCARD, JANA, Effects of competition and seasonality on life history traits of bank voles. - Kilpailun ja vuodenaikavaihtelun vaikutus metsämyyrän elinkiertoosiin. 29 p. (115 p.) Yhteenveto 2 p. 2002.
- 108 NIEMINEN, JOUNI, Modelling the functioning of experimental soil food webs. - Kokeellisten maaperäravintoverkkojen toiminnan mallintaminen. 31 p. (111 p.) Yhteenveto 2 p. 2002.
- 109 NYKÄNEN, MARKO, Protein secretion in *Trichoderma reesei*. Expression, secretion and maturation of cellobiohydrolase I, barley cysteine proteinase and calf chymosin in Rut-C30. - Proteiinien erittyminen *Trichoderma reesei*ssä. Sellobiohydraasi I:n, ohran kysteiiniproteiinaasin sekä vasikan kymosiinin ilmeneminen, erittyminen ja kypsyminen Rut-C30-mutanttikannassa. 107 p. (173 p.) Yhteenveto 2 p. 2002.
- 110 TIROLA, MARJA, Phylogenetic analysis of bacterial diversity using ribosomal RNA gene sequences. - Ribosomaalisen RNA-geenin sekvenssien käyttö bakteeridiversiteetin fylogeneettisessä analyysissä. 75 p. (139 p.) Yhteenveto 2 p. 2002.
- 111 HONKAVAARA, JOHANNA, Ultraviolet cues in fruit-frugivore interactions. - Ultravioletin ekologinen merkitys hedelmiä syövien eläinten ja hedelmäkasvien välisissä vuorovaikutussuhteissa. 27 p. (95 p.) Yhteenveto 2 p. 2002.

- 112 MARTTILA, ARI, Engineering of charge, biotin-binding and oligomerization of avidin: new tools for avidin-biotin technology. - Avidiinin varauksen, biotiinin sitomisen sekä oligomerisaation muokkaus: uusia työkaluja avidiini-biotiiniteknologiaan. 68 p. (130 p.) Yhteenveto 2 p. 2002.
- 113 JOKELA, JARI, Landfill operation and waste management procedures in the reduction of methane and leachate pollutant emissions from municipal solid waste landfills. - Kaatopaikan operoinnin ja jätteen esikäsittelyn vaikutus yhdyskuntajätteen biohajoamiseen ja typpipäästöjen hallintaan. 62 p. (173 p.) Yhteenveto 3 p. 2002.
- 114 RANTALA, MARKUS J., Immunocompetence and sexual selection in insects. - Immunokompetenssi ja seksuaalivalinta hyönteisillä. 23 p. (108 p.) Yhteenveto 1 p. 2002.
- 115 OKSANEN, TUULA, Cost of reproduction and offspring quality in the evolution of reproductive effort. - Lisääntymisen kustannukset ja poikasten laatu lisääntymispanostuksen evoluutiossa. 33 p. (95 p.) Yhteenveto 2 p. 2002.
- 116 HEINO, JANI, Spatial variation of benthic macroinvertebrate biodiversity in boreal streams. Biogeographic context and conservation implications. - Pohjaeläinyhteisöjen monimuotoisuuden spatiaalinen vaihtelu pohjoisissa virtavesissä - eliömaantieteellinen yhteys sekä merkitys jokivesien suojelulle. 43 p. (169 p.) Yhteenveto 3 p. 2002.
- 117 SIIRA-PIETIKÄINEN, ANNE, Decomposer community in boreal coniferous forest soil after forest harvesting: mechanisms behind responses. - Pohjoisen havumetsämaan hajottajayhteisö hakkuiden jälkeen: muutoksiin johtavat mekanismit. 46 p. (142 p.) Yhteenveto 3 p. 2002.
- 118 KORTET, RAINE, Parasitism, reproduction and sexual selection of roach, *Rutilus rutilus* L. - Loisten ja taudinaiheuttajien merkitys kalan lisääntymisessä ja seksuaalivalinnassa. 37 p. (111 p.) Yhteenveto 2 p. 2003.
- 119 SUVILAMPI, JUHANI, Aerobic wastewater treatment under high and varying temperatures - thermophilic process performance and effluent quality. - Jätevesien käsittely korkeissa ja vaihtelevissa lämpötiloissa. 59 p. (156 p.) Yhteenveto 2 p. 2003.
- 120 PÄIVINEN, JUSSI, Distribution, abundance and species richness of butterflies and myrmecophilous beetles. - Perhosten ja muurahaispesissä elävien kovakuoriaisten levinneisyys, runsaus ja lajistollinen monimuotoisuus 44 p. (155 p.) Yhteenveto 2 p. 2003.
- 121 PAAVOLA, RIKU, Community structure of macroinvertebrates, bryophytes and fish in boreal streams. Patterns from local to regional scales, with conservation implications. - Selkärangattomien, vesisammalten ja kalojen yhteisörakenne pohjoisissa virtavesissä - säännönmukaisuudet paikallisesta mittakaavasta alueelliseen ja luonnonsuojelullinen merkitys. 36 p. (121 p.) Yhteenveto 3 p. 2003.
- 122 SUIKKANEN, SANNA, Cell biology of canine parvovirus entry. - Koiran parvovirusinfektion alkuvaiheiden solubiologia. 88 p. (135 p.) Yhteenveto 3 p. 2003.
- 123 AHTIAINEN, JARI JUHANI, Condition-dependence of male sexual signalling in the drumming wolf spider *Hygrolycosa rubrofasciata*. - Koiraan seksuaalisen signaloinnin kunto-riippuvuus rummuttavalla susihämähäkillä *Hygrolycosa rubrofasciata*. 31 p. (121 p.) Yhteenveto 2 p. 2003.
- 124 KAPARAJU, PRASAD, Enhancing methane production in a farm-scale biogas production system. - Metaanintuoton tehostaminen tilakohtaisessa biokaasuntuotantojärjestelmässä. 84 p. (224 p.) Yhteenveto 2 p. 2003.
- 125 HÄKKINEN, JANI, Comparative sensitivity of boreal fishes to UV-B and UV-induced phototoxicity of retene. - Kalojen varhaisvaiheiden herkkyys UV-B säteilylle ja retenin UV-valoindusoituvalle toksisuudelle. 58 p. (134 p.) Yhteenveto 2 p. 2003.
- 126 NORDLUND, HENRI, Avidin engineering; modification of function, oligomerization, stability and structure topology. - Avidiinin toiminnan, oligomerisaation, kestävyuden ja rakennetopologian muokkaaminen. 64 p. (104 p.) Yhteenveto 2 p. 2003.
- 127 MARJOMÄKI, TIMO J., Recruitment variability in vendace, *Coregonus albula* (L.), and its consequences for vendace harvesting. - Muikun, *Coregonus albula* (L.), vuosiluokkien runsauden vaihtelu ja sen vaikutukset kalastukseen. 66 p. (155 p.) Yhteenveto 2 p. 2003.
- 128 KILPIMAA, JANNE, Male ornamentation and immune function in two species of passerines. - Koiraan ornamentit ja immuunipuolustus varpuslinnuilla. 34 p. (104 p.) Yhteenveto 1 p. 2004.
- 129 PÖNNIÖ, TIIA, Analyzing the function of nuclear receptor Nor-1 in mice. - Hiiren tumareseptori Nor-1:n toiminnan tutkiminen. 65 p. (119 p.) Yhteenveto 2 p. 2004.
- 130 WANG, HONG, Function and structure, subcellular localization and evolution of the encoding gene of pentachlorophenol 4-monooxygenase in sphingomonads. 56 p. (90 p.) 2004.
- 131 YLÖNEN, OLLI, Effects of enhancing UV-B irradiance on the behaviour, survival and metabolism of coregonid larvae. - Lisääntyvän UV-B säteilyn vaikutukset siikakalojen poikasten käyttäytymiseen, kuolleisuuteen ja metaboliaan. 42 p. (95 p.) Yhteenveto 2 p. 2004.

- 132 KUMPULAINEN, TOMI, The evolution and maintenance of reproductive strategies in bag worm moths (Lepidoptera: Psychidae). - Lisääntymisstrategioiden evoluutio ja säilyminen pussikehrääjillä (Lepidoptera: Psychidae). 42 p. (161 p.) Yhteenveto 3 p. 2004.
- 133 OJALA, KIRSI, Development and applications of baculoviral display techniques. - Bakulovirus display -tekniikoiden kehittäminen ja sovellukset. 90 p. (141 p.) Yhteenveto 3 p. 2004.
- 134 RANTALAINEN, MINNA-LIISA, Sensitivity of soil decomposer communities to habitat fragmentation – an experimental approach. - Metsämaaperän hajottajayhteisön vasteet elinympäristön pirstaloitumiseen. 38 p. (130 p.) Yhteenveto 2 p. 2004.
- 135 SAARINEN, MARI, Factors contributing to the abundance of the ergasilid copepod, *Paraergasilus rylovi*, in its freshwater molluscan host, *Anodonta piscinalis*. - *Paraergasilus rylovi* -loisäyriäisen esiintymiseen ja runsauteen vaikuttavat tekijät *Anodonta piscinalis* -pikkujärvisimpukassa. 47 p. (133 p.) Yhteenveto 4 p. 2004.
- 136 LILJA, JUHA, Assessment of fish migration in rivers by horizontal echo sounding: Problems concerning side-aspect target strength. - Jokeen vaeltavien kalojen laskeminen sivuttaisuuntaisella kaikuluotauksella: sivuaspektikohdevoimakkuuteen liittyviä ongelmia. 40 p. (82 p.) Yhteenveto 2 p. 2004.
- 137 NYKVIST, PETRI, Integrins as cellular receptors for fibril-forming and transmembrane collagens. - Integriinit reseptoreina fibrillaarisille ja transmembraanisille kollageeneille. 127 p. (161 p.) Yhteenveto 3 p. 2004.
- 138 KOIVULA, NIINA, Temporal perspective of humification of organic matter. - Orgaanisen aineen humuistuminen tarkasteltuna ajan funktiona. 62 p. (164 p.) Yhteenveto 2 p. 2004.
- 139 KARVONEN, ANSSI, Transmission of *Diplostomum spathaceum* between intermediate hosts. - *Diplostomum spathaceum* -loisen siirtyminen kotilo- ja kalaisännän välillä. 40 p. (90 p.) Yhteenveto 2 p. 2004.
- 140 NYKÄNEN, MARI, Habitat selection by riverine grayling, *Thymallus thymallus* L. - Harjuksen (*Thymallus thymallus* L.) habitaatinvalinta virtavesissä. 40 p. (102 p.) Yhteenveto 3 p. 2004.
- 141 HYNYNEN, JUHANI, Anthropogenic changes in Finnish lakes during the past 150 years inferred from benthic invertebrates and their sedimentary remains. - Ihmistoiminnan aiheuttamat kuormitusmuutokset suomalaisissa järvissä viimeksi kuluneiden 150 vuoden aikana tarkasteltuina pohjaeläinyhteisöjen avulla. 45 p. (221 p.) Yhteenveto 3 p. 2004.
- 142 PYLKKÖ, PÄIVI, Atypical *Aeromonas salmonicida* -infection as a threat to farming of arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) and european grayling (*Thymallus thymallus* L.) and putative means to prevent the infection. - Epätyyppinen *Aeromonas salmonicida* -bakteeritartunta uhkana harjukselle (*Thymallus thymallus* L.) ja nieriälle (*Salvelinus alpinus* L.) laitokasvatuksessa ja mahdollisia keinoja tartunnan ennaltaehkäisyyn. 46 p. (107 p.) Yhteenveto 2 p. 2004.
- 143 PUURTINEN, MIKAEL, Evolution of hermaphroditic mating systems in animals. - Kaksineuvoisten lisääntymisstrategioiden evoluutio eläimillä. 28 p. (110 p.) Yhteenveto 3 p. 2004.
- 144 TOLVANEN, OUTI, Effects of waste treatment technique and quality of waste on bioaerosols in Finnish waste treatment plants. - Jätteenkäsittelytekniikan ja jätelaadun vaikutus bioaerosolipitoisuuksiin suomalaisilla jätteenkäsittelylaitoksilla. 78 p. (174 p.) Yhteenveto 4 p. 2004.
- 145 BOADI, KWASI OWUSU, Environment and health in the Accra metropolitan area, Ghana. - Accran (Ghana) suurkaupunkialueen ympäristö ja terveys. 33 p. (123 p.) Yhteenveto 2 p. 2004.
- 146 LUKKARI, TUOMAS, Earthworm responses to metal contamination: Tools for soil quality assessment. - Lierojen vasteet metallialtistukseen: käyttömahdollisuudet maaperän tilan arvioinnissa. 64 p. (150 p.) Yhteenveto 3 p. 2004.
- 147 MARTTINEN, SANNA, Potential of municipal sewage treatment plants to remove bis(2-ethylhexyl) phthalate. - Bis-(2-etyyliheksyyli)ftalaatin poistaminen jätevesistä yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla. 51 p. (100 p.) Yhteenveto 2 p. 2004.
- 148 KARISOLA, PIIA, Immunological characterization and engineering of the major latex allergen, hevein (Hev b 6.02). - Luonnonkumiallergian pääallergeenin, heveiinin (Hev b 6.02), immunologisten ominaisuuksien karakterisointi ja muokkaus. 91 p. (113 p.) Yhteenveto 2 p. 2004.
- 149 BAGGE, ANNA MARIA, Factors affecting the development and structure of monogenean communities on cyprinid fish. - Kidusloisyhteisöjen rakenteeseen ja kehitykseen vaikuttavat tekijät sisävesikaloilla. 25 p. (76 p.) Yhteenveto 1 p. 2005.
- 150 JÄNTTI, ARI, Effects of interspecific relationships in forested landscapes on breeding success in Eurasian treecreeper. - Lajien välisen suhteiden vaikutus puukiipijän pesintämenestykseen metsäympäristössä. 39 p. (104 p.) Yhteenveto 2 p. 2005.
- 151 TYNKKYNNEN, KATJA, Interspecific interactions and selection on secondary sexual characters in damselflies. - Lajien väliset vuorovaikutukset ja seksuaaliominaisuuksiin kohdistuva valinta sudenkorennoilla. 26 p. (86 p.) Yhteenveto 2 p. 2005.

- 152 HAKALAHTI, TEIJA, Studies of the life history of a parasite: a basis for effective population management. - Loisen elinkiertopiirteet: perusta tehokkaalle torjunnalle. 41 p. (90 p.) Yhteenveto 3 p. 2005.
- 153 HYTÖNEN, VESA, The avidin protein family: properties of family members and engineering of novel biotin-binding protein tools. - Avidiini-proteiiniperhe: perheen jäsenten ominaisuuksia ja uusia biotiinia sitovia proteiiniyökaluja. 94 p. (124 p.) Yhteenveto 2 p. 2005.
- 154 GILBERT, LEONA, Development of biotechnological tools for studying infectious pathways of canine and human parvoviruses. 104 p. (156 p.) 2005.
- 155 SUOMALAINEN, LOTTARINA, *Flavobacterium columnare* in Finnish fish farming: characterisation and putative disease management strategies. - *Flavobacterium columnare* Suomen kalanviljelyssä: karakterisointi ja mahdolliset torjuntamenetelmät. 52 p. (110 p.) Yhteenveto 1 p. 2005.
- 156 VEHNÄINEN, EEVA-RIIKKA, Boreal fishes and ultraviolet radiation: actions of UVR at molecular and individual levels. - Pohjoisen kalat ja ultraviolettisäteily: UV-säteilyn vaikutukset molekyyli- ja yksilötasolla. 52 p. (131 p.) 2005.
- 157 VAINIKKA, ANSSI, Mechanisms of honest sexual signalling and life history trade-offs in three cyprinid fishes. - Rehellisen seksuaalisen signaaloinnin ja elinkiertojen evoluution mekanismit kolmella särkikalalla. 53 p. (123 p.) Yhteenveto 2 p. 2005.
- 158 LUOSTARINEN, SARI, Anaerobic on-site wastewater treatment at low temperatures. Jätevesien kiinteistö- ja kyläkohtainen anaerobinen käsittely alhaisissa lämpötiloissa. 83 p. (168 p.) Yhteenveto 3 p. 2005.
- 159 SEPPÄLÄ, OTTO, Host manipulation by parasites: adaptation to enhance transmission? Loisten kyky manipuloida isäntiään: sopeuma transmission tehostamiseen? 27 p. (67 p.) Yhteenveto 2 p. 2005.
- 160 SUURINIEMI, MIHA, Genetics of children's bone growth. - Lasten luuston kasvun geneetiikka. 74 p. (135 p.) Yhteenveto 3 p. 2006.
- 161 TOIVOLA, JOUNI, Characterization of viral nanoparticles and virus-like structures by using fluorescence correlation spectroscopy (FCS). - Virus-nanopartikkelien sekä virusten kaltaisten rakenteiden tarkastelu fluoresenssi korrelaatio spektroskopiolla. 74 p. (132 p.) Yhteenveto 2 p. 2006.
- 162 KLEMMER, INES, Polyandry and its effect on male and female fitness. - Polyandria ja sen vaikutukset koiraan ja naaraan kelpoisuuteen 28 p. (92 p.) Yhteenveto 2 p. 2006.
- 163 LEHTOMÄKI, ANNIMARI, Biogas production from energy crops and crop residues. - Energia-kasvien ja kasvijätteen hyödyntäminen biokaasun tuotannossa. 91 p. (186 p.) Yhteenveto 3 p. 2006.
- 164 ILMARINEN, KATJA, Defoliation and plant-soil interactions in grasslands. - Defoliaatio ja kasvien ja maaperän väliset vuorovaikutukset niittyekosysteemeissä. 32 p. (111 p.) Yhteenveto 2 p. 2006.
- 165 LOEHR, JOHN, Thinhorn sheep evolution and behaviour. - Ohutsarvilampaiden evoluutio ja käyttäytyminen. 27 p. (89 p.) Yhteenveto 2 p. 2006.
- 166 PAUKKU, SATU, Cost of reproduction in a seed beetle: a quantitative genetic perspective. - Lisääntymisen kustannukset jyväkuoriaisella: kvantitatiivisen genetiikan näkökulma. 27 p. (84 p.) Yhteenveto 1 p. 2006.
- 167 OJALA, KATJA, Variation in defence and its fitness consequences in aposematic animals: interactions among diet, parasites and predators. - Puolustuskyvyn vaihtelu ja sen merkitys aposemaattisten eläinten kelpoisuuteen: ravinnon, loisten ja saalistajien vuorovaikutus. 39 p. (121 p.) Yhteenveto 2 p. 2006.
- 168 MATILAINEN, HELI, Development of baculovirus display strategies towards targeting to tumor vasculature. - Syövän suunitukseen kohdentuvien bakulovirus display-vektorien kehittäminen. 115 p. (167 p.) Yhteenveto 2 p. 2006.
- 169 KALLIO, EVA R., Experimental ecology on the interaction between the Puumala hantavirus and its host, the bank vole. - Kokeellista ekologiaa Puumala-viruksen ja metsämyyrän välisestä vuorovaikutussuhteesta. 30 p. (75 p.) Yhteenveto 2 p. 2006.
- 170 PIHLAJA, MARJO, Maternal effects in the magpie. - Harakan äitivaikutukset. 39 p. (126p.) Yhteenveto 1 p. 2006.
- 171 IHALAINEN, EIRA, Experiments on defensive mimicry: linkages between predator behaviour and qualities of the prey. - Varoitussignaalien jäljittely puolustusstrategiana: kokeita petosaalis-suhteista. 37 p. (111 p.) Yhteenveto 2 p. 2006.
- 172 LÓPEZ-SEPULCRE, ANDRÉS, The evolutionary ecology of space use and its conservation consequences. - Elintilan käytön ja reviirikäyttäytymisen evoluutioekologia luonnonsuojelullisine seuraamuksineen. 32 p. (119 p.) Yhteenveto 2 p. 2007.
- 173 TULLA, MIRA, Collagen receptor integrins: evolution, ligand binding selectivity and the effect of activation. - Kollageenireseptori-integriinien evoluutio, ligandin sitomisvalikoivuus ja aktivaation vaikutus. 67 p. (129 p.) Yhteenveto 2 p. 2007.
- 174 SINISALO, TUULA, Diet and foraging of ringed seals in relation to helminth parasite assemblages. - Perämeren ja Saimaan norpan suolistoloisyhteisöt ja niiden hyödyntäminen hylkeen yksilöllisen ravintoekologian selvittämisessä. 38 p. (84 p.) Yhteenveto 2 p. 2007.



- 175 TOIVANEN, TERO, Short-term effects of forest restoration on beetle diversity. - Metsien ennallistamisen merkitys kovakuoriaislajiston monimuotoisuudelle. 33 p. (112 p.) Yhteenveto 2 p. 2007.
- 176 LUDWIG, GILBERT, Mechanisms of population declines in boreal forest grouse. - Kanalintukantojen laskuun vaikuttavat tekijät. 48 p. (138 p.) Yhteenveto 2 p. 2007.
- 177 KETOLA, TARMO, Genetics of condition and sexual selection. - Kunnan ja seksuaalivalinnan genetiikka. 29 p. (121 p.) Yhteenveto 2 p. 2007.
- 178 SEPPÄNEN, JANNE-TUOMAS, Interspecific social information in habitat choice. - Lajienvälinen sosiaalinen informaatio habitaatinvalinnassa. 33 p. (89 p.) Yhteenveto 2 p. 2007.
- 179 BANDILLA, MATTHIAS, Transmission and host and mate location in the fish louse *Argulus coregoni* and its link with bacterial disease in fish. - *Argulus coregoni* -kalatäin siirtyminen kalaisäntään, isännän ja parittelukumppanin paikallistaminen sekä loisinnan yhteys kalan bakteeritautiin. 40 p. (100 p.) Yhteenveto 3 p. Zusammenfassung 4 p. 2007.
- 180 MERILÄINEN, PÄIVI, Exposure assessment of animals to sediments contaminated by pulp and paper mills. - Sellu- ja paperiteollisuuden saastuttamat sedimentit altistavana tekijänä vesieläimille. 79 p. (169 p.) Yhteenveto 2 p. 2007.
- 181 ROUTTU, JARKKO, Genetic and phenotypic divergence in *Drosophila virilis* and *D. montana*. - Geneettinen ja fenotyyppinen erilaistuminen *Drosophila virilis* ja *D. montana* lajien mahlakärpäksillä. 34 p. (106 p.) Yhteenveto 1 p. 2007.
- 182 BENESH, DANIEL P., Larval life history, transmission strategies, and the evolution of intermediate host exploitation by complex life-cycle parasites. - Väkäkärsämatotoukkien elinkierto- ja transmissiostrategiat sekä välisännän hyväksikäytön evoluutio. 33 p. (88 p.) Yhteenveto 1 p. 2007.
- 183 TAIPALE, SAMI, Bacterial-mediated terrestrial carbon in the foodweb of humic lakes. - Bakteerivälitteisen terrestrisen hiilen merkitys humusjärvien ravintoketjussa. 61 p. (131 p.) Yhteenveto 5 p. 2007.
- 184 KILJUNEN, MIKKO, Accumulation of organochlorines in Baltic Sea fishes. - Organoklooriyhdisteiden kertyminen Itämeren kaloihin. 45 p. (97 p.) Yhteenveto 3 p. 2007.
- 185 SORMUNEN, KAI MARKUS, Characterisation of landfills for recovery of methane and control of emissions. - Kaatopaikkojen karakterisointi metaanipotentiaalın hyödyntämiseksi ja päästöjen vähentämiseksi. 83 p. (157 p.) Yhteenveto 2 p. 2008.
- 186 HILTUNEN, TEPPO, Environmental fluctuations and predation modulate community dynamics and diversity. - Ympäristön vaihtelut ja saalistus muokkaavat yhteisön dynamiikkaa ja diversiteettiä. 33 p. (100 p.) Yhteenveto 2 p. 2008.
- 187 SYVÄRANTA, JARI, Impacts of biomanipulation on lake ecosystem structure revealed by stable isotope analysis. - Biomanipulaation vaikutukset järviökosysteemin rakenteeseen vakaiden isotooppien avulla tarkasteltuna. 46 p. (105 p.) Yhteenveto 4 p. 2008.
- 188 MATTILA, NIINA, Ecological traits as determinants of extinction risk and distribution change in Lepidoptera. - Perhosten uhanalaisuuteen vaikuttavat ekologiset piirteet. 21 p. (67 p.) Yhteenveto 1 p. 2008.
- 189 UPLA, PAULA, Integrin-mediated entry of echovirus 1. - Echovirus 1:n integriini-välitteinen sisäänmeno soluun. 86 p. (145 p.) Yhteenveto 2 p. 2008.
- 190 KESKINEN, TAPIO, Feeding ecology and behaviour of pikeperch, Sander lucioperca (L.) in boreal lakes. - Kuhan (Sander lucioperca (L.)) ravinnonkäyttö ja käyttäytyminen boreaalisissa järvissä. 54 p. (136 p.) Yhteenveto 3 p. 2008.
- 191 LAAKKONEN, JOHANNA, Intracellular delivery of baculovirus and streptavidin-based vectors *in vitro* – towards novel therapeutic applications. - Bakulovirus ja streptavidiini geeninsiirtovektoreina ihmisen soluissa. 81 p. (142 p.) Yhteenveto 2 p. 2008.
- 192 MICHEL, PATRIK, Production, purification and evaluation of insect cell-expressed proteins with diagnostic potential. - Diagnostisesti tärkeiden proteiinien tuotto hyönteissolussa sekä niiden puhdistus ja karakterisointi. 100 p. (119 p.) Yhteenveto 2 p. 2008.
- 193 LINDSTEDT, CARITA, Maintenance of variation in warning signals under opposing selection pressures. - Vastakkaiset evolutiiviset valintapaineet ylläpitävät vaihtelua varoitussignaaloinnissa. 56 p. (152 p.) Yhteenveto 2 p. 2008.
- 194 BOMAN, SANNA, Ecological and genetic factors contributing to invasion success: The northern spread of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*). - Ekologisten ja geneettisten tekijöiden vaikutus koloradonkuoriaisen (*Leptinotarsa decemlineata*) leviämismenestykseen. 50 p. (113 p.) Yhteenveto 3 p. 2008.
- 195 MÄKELÄ, ANNA, Towards therapeutic gene delivery to human cancer cells. Targeting and entry of baculovirus. - Kohti terapeutista geeninsiirtoa: bakuloviruksen kohdennus ja sisäänmeno ihmisen syöpäsoluihin. 103 p. (185 p.) Yhteenveto 2 p. 2008.
- 196 LEBIGRE, CHRISTOPHE, Mating behaviour of the black grouse. Genetic characteristics and physiological consequences. - Teeren pariutumiskäyttäytyminen. Geneettiset tekijät ja fysiologiset seuraukset. 32 p. (111 p.) Yhteenveto 2 p. 2008.

- 197 KAKKONEN, ELINA, Regulation of raft-derived endocytic pathways – studies on echovirus 1 and baculovirus. - Echovirus 1:n ja bakuloviruksen soluun sisäänmenon reitit ja säätely. 96 p. (159 p.) Yhteenveto 2 p. 2009.
- 198 TENHOLA-ROININEN, TEIJA, Rye doubled haploids – production and use in mapping studies. - Rukiin kaksoishaploidit – tuotto ja käyttö kartoituksessa. 93 p. (164 p.) Yhteenveto 3 p. 2009.
- 199 TREBATICÁ, LENKA, Predation risk shaping individual behaviour, life histories and species interactions in small mammals. - Petoriskin vaikutus yksilön käyttäytymiseen, elinkiertopiirteisiin ja yksilöiden välisiin suhteisiin. 29 p. (91 p.) Yhteenveto 3 p. 2009.
- 200 PIETIKÄINEN, ANNE, Arbuscular mycorrhiza, resource availability and belowground interactions between plants and soil microbes. - Arbuskelimykorrhiza, resurssien saatavuus ja maanalaiset kasvien ja mikrobien väliset vuorovaikutukset. 38 p. (119 p.) Yhteenveto 2 p. 2009.
- 201 AROVITA, JUKKA, Predictive models in assessment of macroinvertebrates in boreal rivers. - Ennustavat mallit jokien pohjaeläimistön tilan arvioinnissa. 45 p. (109 p.) Yhteenveto 3 p. 2009.
- 202 RASI, SAIJA, Biogas composition and upgrading to biomethane. - Biokaasun koostumus ja puhdistaminen biometaaniksi. 76 p. (135 p.) Yhteenveto 3 p. 2009.
- 203 PAKKANEN, KIRSI, From endosomes onwards. Membranes, lysosomes and viral capsid interactions. - Endosomeista eteenpäin. Lipidikalvoja, lysosomeja ja viruskapsidin vuorovaikutuksia. 119 p. (204 p.) Yhteenveto 2 p. 2009.
- 204 MARKKULA, EVELIINA, Ultraviolet B radiation induced alterations in immune function of fish, in relation to habitat preference and disease resistance. - Ultravioletti B -säteilyn vaikutus kalan taudinvastustuskykyyn ja immunologisen puolustusjärjestelmän toimintaan. 50 p. (99 p.) Yhteenveto 2 p. 2009.
- 205 IHALAINEN, TEEMU, Intranuclear dynamics in parvovirus infection. - Tumansisäinen dynamiikka parvovirus infektiassa. 86 p. (152 p.) Yhteenveto 3 p. 2009.
- 206 KUNTU, HEIDI, Characterizing the bacterial fish pathogen *Flavobacterium columnare*, and some factors affecting its pathogenicity. - Kalapatogeeni *Flavobacterium columnare* -bakteerin ominaisuuksia ja patogeenisuuteen vaikuttavia tekijöitä. 69 p. (120 p.) Yhteenveto 3 p. 2010.
- 207 KOTILAINEN, TITTA, Solar UV radiation and plant responses: Assessing the methodological problems in research concerning stratospheric ozone depletion. - Auringon UV-säteily ja kasvien vasteet: otsonikatoon liittyvien tutkimusten menetelmien arviointia. 45 p. (126 p.) Yhteenveto 2 p. 2010.
- 208 EINOLA, JUHA, Biotic oxidation of methane in landfills in boreal climatic conditions. - Metaanin biotekninen hapettaminen kaatopaikoilla viileässä ilmastossa. 101 p. (156 p.) Yhteenveto 3 p. 2010.
- 209 PIIROINEN, SAIJA, Range expansion to novel environments: evolutionary physiology and genetics in *Leptinotarsa decemlineata*. - Lajien levinneisyysalueen laajeneminen: koloradonkuoriaisen evolutiivinen fysiologia ja genetiikka. 51 p. (155 p.) Yhteenveto 3 p. 2010.
- 210 NISKANEN, EINARI, On dynamics of parvoviral replication protein NS1. - Parvovirusten replikaationproteiini NS1:n dynamiikka. 81 p. (154 p.) Yhteenveto 3 p. 2010.
- 211 PEKKALA, SATU, Functional characterization of carbomoyl phosphate synthetase I deficiency and identification of the binding site for enzyme activator. - Karbamyylifosfaatti syntetaasi I:n puutteen patologian toiminnallinen karakterisaatio ja entsyymien aktivaattorin sitoutumiskohdan identifikaatio. 89 p. (127 p.) Yhteenveto 2 p. 2010.
- 212 HALME, PANU, Developing tools for biodiversity surveys - studies with wood-inhabiting fungi. - Työkaluja monimuotoisuustutkimuksiin - tutkimuskohteina puulla elävät sienet. 51 p. (125 p.) Yhteenveto 2 p. 2010.
- 213 JALASVUORI, MATTI, Viruses are ancient parasites that have influenced the evolution of contemporary and archaic forms of life. - Virukset ovat muinaisia loisia, jotka ovat vaikuttaneet nykyisten ja varhaisten elämänmuotojen kehitykseen. 94 p. (192 p.) Yhteenveto 2 p. 2010.
- 214 POSTILA, PEKKA, Dynamics of the ligand-binding domains of ionotropic glutamate receptors. - Ionotrooppisten glutamaattireseptoreiden ligandin-sitomisdomeenien dynamiikka. 54 p. (130 p.) Yhteenveto 3 p. 2010.
- 215 POIKONEN, TANJA, Frequency-dependent selection and environmental heterogeneity as selective mechanisms in wild populations. - Frekvenssistä riippuva valinta ja ympäristön heterogeenisuus luonnonvalintaa ohjaavina tekijöinä luonnonpopulaatioissa. 44 p. (115 p.) Yhteenveto 4 p. 2010.
- 216 KEKÄLÄINEN, JUKKA, Maintenance of genetic variation in sexual ornamentation – role of precopulatory and postcopulatory sexual selection. - Seksuaaliornamenttien geneettisen muuntelun säilyminen – parittelua edeltävän ja sen jälkeisen seksuaalivalinnan merkitys. 52 p. (123 p.) Yhteenveto 3 p. 2010.
- 217 SYRJÄNEN, JUKKA, Ecology, fisheries and management of wild brown trout populations in boreal inland waters. - Luontaisten taimenkantojen ekologia, kalastus ja hoito pohjoisilla sisävesillä. 43 p. (108 p.) Yhteenveto 3 p. 2010.

- 218 RUSKAMO, SALLA, Structures, interactions and packing of filamin domains. - Filamiinidomeenien rakenteet, vuoro-vaikutukset ja pakkautuminen. 50 p. (108 p.) Yhteenveto 1 p. 2010.
- 219 HONKANEN, MERJA, Perspectives on variation in species richness: area, energy and habitat heterogeneity. - Pinta-alan, energian ja elinympäristöjen monimuotoisuuden suhde lajimäärään. 46 p. (136 p.) Yhteenveto 2 p. 2011.
- 220 TIMONEN, JONNA, Woodland key habitats. A key to effective conservation of forest biodiversity. - Avainbiotooppien merkitys taousmetsien monimuotoisuuden säilymiselle. 33 p. (141 p.) Yhteenveto 2 p. 2011.
- 221 NURMINEN, ELISA, Rational drug discovery. Structural studies of protein-ligand complexes. - Rationaalinen lääkeainesuunnittelu. Proteiini-ligandi rakennekokonaisuuksien tutkimus. 56 p. (113 p.) Yhteenveto 2 p. 2011.
- 222 URPANEN, OLLI, Spatial and temporal variation in larval density of coregonids and their consequences for population size estimation in Finnish lakes. - Muikun ja siian poikastiheyksien spatiaalinen ja ajallinen vaihtelu ja sen vaikutukset poikasmääräarviointiin. 49 p. (94 p.) Yhteenveto 3 p. 2011.
- 223 JYVÄSJÄRVI, JUSSI, Environmental drivers of lake profundal macroinvertebrate community variation - implications for bioassessment. - Järvisyvänteiden pohjaeläinyhteisöjä säätelevät ympäristötekijät ja niiden merkitys järvien biologisen tilan arvioinnissa. 52 p. (123 p.) Yhteenveto 3 p. 2011.
- 224 KOIVUNEN, JARKKO, Discovery of  $\alpha 2\beta 1$  integrin ligands: Tools and drug candidates for cancer and thrombus. -  $\alpha 2\beta 1$ -integriiniligandien suunnittelu; lääkeaihoita ja työkaluja syövän ja veritulpan hoitoon. 55 p. (111 p.) Yhteenveto 2 p. 2011.
- 225 MÖKKÖNEN, MIKAEL, Evolutionary conflicts in a small mammal: behavioural, physiological and genetic differences between the sexes. - Sukupuolten välinen konflikti: käyttäytymiseen, fysiologiaan ja genetiikkaan liittyvistä ristiriidoista pikkunisäkkäillä. 60 p. (130 p.) Yhteenveto 2 p. 2011.
- 226 KORHONEN, ESKO, Puhtauspalvelut ja työympäristö. Ostettujen siivouspalveluiden laadun mittaamenetelmät ja laatu sekä siivouksen vaikutukset sisäilman laatuun, tilojen käyttäjien kokemaan terveyteen ja työn tehokkuuteen toimistorakennuksissa. - Methods for evaluating the quality of cleaning, the factors that influence the quality of cleaning, and the quality of cleaning in buildings. 231 p. Summary 5 p. 2011.