



Sirpa Kolari

Ilmanvaihtojärjestelmien
puhdistuksen vaikutus
toimistorakennusten sisäilman
laatuun ja työntekijöiden työoloihin

VTT PUBLICATIONS 497

Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutus toimistorakennusten sisäilman laatuun ja työntekijöiden työoloihin

Sirpa Kolari

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka



ISBN 951-38-6048-5 (nid.)

ISSN 1235-0621 (nid.)

ISBN 951-38-6222-4 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

ISSN 1455-0849 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2003

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT

puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT

tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland

phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT

puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 455 2408

VTT Bygg och transport, Värmemansgränden 3, PB 1804, 02044 VTT

tel. växel (09) 4561, fax (09) 455 2408

VTT Building and Transport, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland

phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 455 2408

Viimeistely Auli Rautakivi

Toimitus Maini Manninen

Kansikuva: kuvaaja Rauno Holopainen/TKK

Otamedia Oy, Espoo 2003

Kolari, Sirpa. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutus toimistorakennusten sisäilman laatuun ja työntekijöiden työoloihin [The effect of ventilation system cleaning on indoor air quality and perceived work environment in office buildings]. Espoo 2003. VTT Publications 497. 62 s. + liitt. 43 s.

Avainsanat HVAC, ventilation, office buildings, ducts, indoor air, cleaning, working environment, volatile organic compounds, supply air

Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutukset toimistorakennusten tulo- ja sisäilman laatuun, tuloilmakanaviston hygieniaan sekä työntekijöiden viihtyvyyteen ja oireiluun. Tutkimuksessa oli mukana 15 toimistorakennusta, joissa ei ollut tiedossa merkittäviä sisäilmaongelmia. Koh-teissa tehtiin sisäilmatutkimus, jossa selvitettiin ilmanvaihtoparametrit, hiuk-kasten lukumäärä- ja massapitoisuus, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja mik-robien pitoisuudet sekä CO₂-pitoisuudet. Tuloilmakanavistojen hygieenisyyttä tarkasteltiin pöly- ja mikrobikertymänäytteiden avulla. Työntekijöiden viihtyi-syyttä ja oireilua selvitettiin sisäilmastokyselyllä (MM-40-FIN). Mittaukset ja kysely toteutettiin muutamaa päivää ennen kanavistojen puhdistusta ja vähintään kuukausi puhdistuksen jälkeen.

Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksella ei havaittu olevan vaikutusta käytetyillä mittausten menetelmillä tutkittujen toimistojen tulo- ja sisäilman epäpuhtauspitoi-suuksiin. Keskimääräinen ilmavirta ylitti selvästi ilmanvaihdon vähimmäismää-räykset ja oli yli 20 dm³/s henkilöä kohden sekä ennen että jälkeen ilmanvaihto-järjestelmien puhdistuksen. Tuloilmakanavistojen pölykertymä väheni merkittä-västi puhdistuksen ansiosta (ennen puhdistusta 8,4 ± 9,1 g/m², puhdistuksen jälkeen 1,9 ± 2,1 g/m²). Tuloilmakanaviston keskimääräinen mikrobikertymä väheni mallasuuteagarilla noin 70 % ja dikloranglyseroliagarilla 90 %.

Tuloilman TVOC-pitoisuus oli 31 % pienempi kanaviston puhdistuksen jälkeen, mutta tämä johtui todennäköisesti muutoksista ulkoilman TVOC-pitoisuuksissa. Tuloilmakanavien pinnalla ollut pöly ei merkittävästi adsorboinut tai desorboi-nut kemiallisia yhdisteitä TVOC-tasolla. Ilmanvaihtojärjestelmä osoittautui joi-denkin yksittäisten yhdisteiden lähteeksi ja joidenkin yhdisteiden emissio oli

hiukan voimakkaampi puhdistuksen jälkeen, mutta pitoisuustasot olivat kuitenkin matalia.

Työntekijät kokivat työympäristöolosuhteet puhdistuksen jälkeen paremmiksi useimpien tekijöiden suhteen ja myös oireilu oli vähentynyt. Merkittävin paranus työympäristötekijöissä havaittiin tunkkaisen ilman kokemisen osalta ($p < 0,001$), ja oireissa nenän ärsytysoireiden osalta ($p < 0,01$). Vaikka tutkituissa rakennuksissa ei ollut tiedossa merkittäviä sisäilmaongelmia, työhön liitetyjä oireita raportoitiin ennen puhdistusta yllättävän yleisesti.

Tutkimus osoitti, että ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen vaikutuksia tulo- ja sisäilman laatuun on vaikea osoittaa mittauksin. Työntekijät kuitenkin kokivat parannusta työympäristötekijöissä ja oireilussa puhdistuksen myötä. Ilmanvaihtokanavistojen puhdistusta ja ilmapirtojen tasapainotusta voidaan suositella osaksi koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän säännöllistä ylläpitoa myös sellaisissa kohteissa, joissa sisäilman laatu on mittausten perusteella kunnossa. Kun työntekijät kokevat työympäristönsä paremmaksi ja oireilu vähenee, vähenevät myös työstä poissaolot ja työn tuottavuus mitä todennäköisemmin lisääntyy.

Kolari, Sirpa. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutus toimistorakennusten sisäilman laatuun ja työntekijöiden työoloihin [The effect of ventilation system cleaning on indoor air quality and perceived work environment in office buildings]. Espoo 2003. VTT Publications 497. 62 s. + liitt. 43 s.

Keywords HVAC, ventilation, office buildings, ducts, indoor air, cleaning, working environment, volatile organic compounds, supply air

Abstract

The effects of ventilation system cleaning on supply and indoor air quality, duct hygiene, perceived work environment and symptoms were studied in 15 non-problem office buildings. Mass and number concentrations of particles, concentration of volatile organic compounds, microbes and CO₂ were measured. Samples of accumulated dust and microbial count were taken from inner duct surfaces, and ventilation rate and air flows were measured. A questionnaire survey (MM-40-FIN) of work environment and possible symptoms among office workers was carried out. The measurements and the survey were conducted a few days before the duct cleaning and at least one month after the cleaning.

Duct cleaning had no detectable effect on measured supply and indoor air quality. The average air flows exceeded 20 L/s per person before and after duct cleaning. The average amount of dust on the inner duct surfaces decreased significantly from $8.4 \pm 9.1 \text{ g/m}^2$ to $1.9 \pm 2.1 \text{ g/m}^2$. The viable microbial count on the inner duct surface on malt extract agar decreased about 70% and on dichloran glycerol agar 90%.

TVOC concentration in supply air decreased about 31%, but this may have been caused by the changes in outdoor air TVOC concentrations. Settled dust on inner surfaces of ventilation systems did not significantly adsorb or desorb chemical compounds. The ventilation system acted as a source for some individual compounds and for some of them the source strength was even higher after the cleaning. However, the emissions of these VOCs were low.

Duct cleaning had a positive impact on perceived work environment and prevalence of the work-related symptoms in studied offices. The most significant improvements in work environment factors due to duct cleaning were detected with

stuffy “bad” air ($p < 0.001$) and work-related nasal symptoms ($p < 0.01$). Although the studied offices were located in non-problem buildings, the prevalence of work-related symptoms was frequent before duct cleaning.

This study showed that effects of ventilation system cleaning on indoor air quality are difficult to measure in non-problem buildings. However, the employees experienced improvement in the work environment and showed fewer symptoms after duct cleaning. It is suggested that duct cleaning and re-balancing of air flows should be performed as part of regular maintenance of mechanical supply and exhaust ventilation systems, also in office buildings in which indoor air quality follows guideline values. Thus, a more comfortable work environment may provide a more productive work environment.

Alkusanat

Tämän lisensiaattitutkimuksen aineisto perustuu ”Ilmakanavien puhdistuksella saavutettava työolojen parannus” -tutkimukseen, joka toteutettiin vuosina 1997–2000 yhteistyössä VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan sekä Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksen kanssa. Tutkimuksen rahoittajina olivat Työsuojelurahasto (Hanke 96269) ja Valtiokonttori (Hankkeet VM 23/37/96 ja 14/37/99). Kerätyn tutkimusaineiston työstämisen lisensiaattityöksi rahoittivat Työsuojelurahasto (Hanke 101048) ja VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Kiitokset rahoittajille tutkimuksen mahdollistamisesta.

Lämpimät kiitokset työni pääohjaajalle dosentti Pertti Pasaselle hänen kannustavasta ja innostavasta ohjauksestaan. Toista ohjaajaani PhD Marianna Luomaa haluan kiittää jatko-opintoihini johtaneen opiskelukipinän syyttämisestä ja tuesta opintojeni aikana. Molempien ohjaajieni asiantuntevat ja arvokkaat neuvot edesauttoivat tämän lisensiaattityön valmistumista. Lisensiaattityöni osajulkaisujen muita kanssakirjoittajia haluan kiittää erinomaisista kommentteista julkaisujen käsikirjoitusvaiheen aikana.

Tämän lisensiaattityön tarkastajina toimivat professori Olli Seppänen Teknillisestä korkeakoulusta Espoosta ja professori Pentti Kalliokoski Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitokselta. Lämpimät kiitokset heille vaivannäöstä työni eteen.

Tutkimuksen kenttämittauksiin Kuopion ympäristössä sijainneissa kohteissa osallistui fil. maist. Marko Ikäheimo ja pääkaupunkiseudulla teknikko Jarmo Laamanen sekä työteknikko Timo Collanus. Kiitokset heille kenttämittausten toteuttamisesta. Kiitokset myös kanavistojen puhdistusyrityksille, tutkittujen kiinteistöjen omistajille, kiinteistönhuoltohenkilökunnalle ja toimistojen työntekijöille hyvästä yhteistyöstä tutkimuksen kenttävaiheen aikana.

Lopuksi haluan kiittää vanhempiani kannustuksesta ja tuesta elämäni varrella. Kiitokset kuuluvat myös Petrille, joka on jaksanut tukea ja rohkaista minua tämän työntäyteisen jatko-opintovuoden koitoksissa.

Sirpa Kolari

Alkuperäisjulkaisut

Tämä lisensiaattityö perustuu kolmen alkuperäisjulkaisun tuloksiin. Tekstissä näihin julkaisuihin viitataan roomalaisilla numeroilla.

- I Kolari, S., Luoma, M., Ikäheimo, M. & Pasanen, P. (2002) The Effect of Duct Cleaning on Indoor Air Quality in Office Buildings. Teoksessa: *Proceedings of Indoor Air '02*, Vol. 1, s. 694–699. Monterey: Indoor Air '02. International Conference on Indoor Air Quality and Climate.
- II Kolari, S., Pasanen, P., Luoma, M., Tirkkonen, T. & Saarela, K. (2002). The Effect of Air Duct Cleaning on Volatile Organic Compounds in Indoor Air. (Lähetetty Indoor Air -lehteen tammikuussa 2003.)
- III Kolari, S., Heikkilä-Kallio, U., Luoma, M., Pasanen, P., Korhonen, P., Nykyri, E. & Reijula, K. (2002). The Effect of Duct Cleaning on Perceived Work Environment and Symptoms of Office Employees in Non-problem Buildings. (Lähetetty Indoor Air -lehteen lokakuussa 2002.)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract.....	5
Alkusanat	7
Alkuperäisjulkaisut	8
1. Johdanto.....	11
2. Kirjallisuuskatsaus.....	13
2.1 Ilmanvaihtojärjestelmien likaantuminen ja tyypillisimmät epäpuhtaudet	13
2.2 Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistus.....	15
2.2.1 Puhdistusvälit ja puhdistustarve.....	15
2.2.2 Puhdistusmenetelmät sekä puhdistuksen vaikutus tuloilmakanavistojen hygieniaan ja sisäilman laatuun	18
2.3 Ilmanvaihto ja oireilu	21
2.4 Tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä.....	24
2.4.1 Tutkimusasetelma	24
2.4.2 Tutkimusmenetelmät.....	25
2.4.2.1 Sisäilmamittaukset.....	25
2.4.2.2 Kyselyt.....	27
2.4.3 Harhat ja sekoittavat tekijät.....	28
3. Tutkimuksen tavoitteet	30
4. Aineisto ja menetelmät	31
4.1 Tutkimusaineisto	31
4.2 Sisäilmastomittaukset.....	33
4.3 Sisäilmastokysely	34
5. Tulokset	36
5.1 Sisäilman laatu, ilmanvaihtuvuus ja tuloilmakanaviston hygienia.....	36
5.2 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	37
5.2.1 Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet	37
5.2.2 Yhdisteryhmät ja yksittäiset yhdisteet.....	38

5.3	Työympäristötekijät ja oireilu	39
5.3.1	Taustatekijät, koettu työympäristö ja oireilu.....	39
5.3.2	Korrelaatio tuloilmakanaviston puhtauden, työolosuhteiden ja oireilun välillä	40
5.3.3	Tulosten vertaaminen vertailuaineistoon	40
6.	Tulosten tarkastelu.....	42
6.1	Puhdistuksen vaikutus sisäilman laatuun, ilmanvaihtuvuuteen ja kanaviston hygieniaan	42
6.2	Puhdistuksen vaikutus haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin.....	43
6.3	Puhdistuksen vaikutus työympäristöön ja oireiluun.....	46
6.4	Tulosten edustavuuteen ja luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä	47
7.	Johtopäätökset	49
	Lähdeluettelo	51
	Julkaisut I–III	

1. Johdanto

Ilmanvaihtojärjestelmän tehtävänä on ylläpitää sisätilojen käyttötarkoitukset huomioon ottavaa sisäilman laatua. Tämä edellyttää riittävää sisätiloissa syntyvien hiukkasmaisten ja kaasumaisten epäpuhtauksien poistamista sekä puhtaan ja raikkaan korvausilman tuontia sisälle. Ilmanvaihtojärjestelmä on tekninen kokonaisuus, jonka tarkoituksenmukainen toiminta tarvitsee säännöllistä huoltoa. Yksi järjestelmän optimaalista toimintaa edistävä tekijä on ilmanvaihtolaitteiden ja kanavistojen puhdistus, jonka yhteydessä voidaan havaita ja korjata järjestelmän toimintaan vaikuttavia puutteita. Puhdistuksen jälkeen tehtävä ilmapuristuksen säätö vaikuttaa osaltaan järjestelmän optimaalisen toimintaan varmistamalla riittävän ilmanvaihtuvuuden.

Tällä hetkellä ilmanvaihtojärjestelmien puhdistamisen perusteena on usein puhdistuksen määräaikaisuus perustuen Sisäasiainministeriön vuonna 2001 antamaan asetukseen ilmanvaihtokanavien ja -laitteistojen puhdistamisesta (Sisäasiainministeriö 2001). Tämän asetus pohjautuu paloturvallisuuskäytäntöön. Sisäilmastoluokitus 2000 sisältää ohjeita kanavistojen puhdistuksesta järjestelmän sisäpintojen pölykertymään pohjautuen (Sisäilmayhdistys 2001).

Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus on laaja ja kallis toimenpide, siksi kiinteistönhuoltohenkilöstö odottaa tietoa puhdistuksen tuomista hyödyistä. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden merkitystä sisäilman laatuun on tutkittu vähän verrattuna tehtyjen selvitysten määrään toimistojen sisäilman laadusta. Ilmanvaihtojärjestelmien puhtautta käsitelleet tutkimukset ovat pääasiassa keskittyneet selvittämään kanavistojen epäpuhtauksien laatua ja määrää. Puhdistuksen vaikutuksia selvittäneet tutkimukset ovat tarkastelleet lähinnä vaikutuksia kanavistojen hygieniaan ja sisäilman hiukkas- ja mikrobipitoisuuksiin. Vain harvoissa tutkimuksissa on selvitetty kanavistojen puhdistuksen vaikutuksia haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin tai ihmisten terveyteen ja viihtyvyyteen.

Tämän lisensiaattityön kirjallisessa osassa luodaan katsaus ilmanvaihtojärjestelmien likaantumiseen vaikuttaviin tekijöihin, järjestelmissä esiintyviin epäpuhtauksiin, puhdistamiseen liittyviin määräyksiin ja ohjeisiin sekä puhdistuksen vaikutuksia selvittäneisiin tutkimuksiin. Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa käsitellään ilmanvaihdon ja terveyden välistä yhteyttä lähinnä kyselytutkimuksiin perustuen. Työn kokeellisen osuuden tavoitteena oli selvittää kenttämittauksin puhdistuksen vaikutuksia toimistorakennusten kanaviston hygieniaan sekä tulo-

ja sisäilman laatuun, erityisesti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta (julkaisut I ja II). Työntekijöille jaetun sisäilmastokyselyn avulla selvitettiin puhdistuksen vaikutusta koettuun työympäristöön ja oireiluun (III).

2. Kirjallisuuskatsaus

2.1 Ilmanvaihtojärjestelmien likaantuminen ja tyypillisimmät epäpuhtaudet

Laaja eurooppalainen toimistojen sisäilman laatua selvittänyt tutkimus osoitti, että ilmanvaihtojärjestelmä voi liata merkittävästi sen läpi kulkevaa ilmaa (Bluyssen ym. 1996). Ilmanvaihtojärjestelmän on joissakin tapauksissa todettu toimineen sisäilman hajujen (Björkroth ym. 1997a), kemiallisten yhdisteiden (Sundell ym. 1993) tai mikrobien (Halonen ym. 1999; Lysne ym. 1999) lähteenä, mikä on johtanut pahimmassa tapauksissa tiloissa työskentelevien oireiluun. Likaiset tuloilmasuodattimet ja kanavat ovat todettu yleisimmiksi ilmanvaihtojärjestelmän hajujen lähteiksi (Bluyssen ym. 2003).

Ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaren aikana on useita vaiheita, jolloin järjestelmä voi likaantua. Ilmanvaihtotuotteet voivat olla likaisia jo työmaalle tullessaan, jolloin likaantuminen on voinut tapahtua jo tehtaalla valmistusvaiheessa tai työmaalle kuljetuksen aikana. Ilmanvaihtotuotteiden varastointi työmaalla ja asennuspaikalla voivat osaltaan liata tuotteita, varsinkin jos niiden suojaus on puutteellista (Pasanen 1994). Merkittävimmän uudet ilmanvaihtojärjestelmät ovat kuitenkin likaantuneet asentamisen aikana työmaan rakennuspölystä ja asentamisessa käytettävän kulmahiomakoneen tuottamasta metallipölystä (Luoma 2000).

Käytön aikana ilmanvaihtojärjestelmän likaantumista voi tapahtua esimerkiksi puutteellisesta tuloilman suodatuksesta johtuen tai ulkoilman virratessa suodattimen ohi asennuskehiksen epätiiviyden vuoksi. Ruotsalaisessa ilmanvaihtojärjestelmien kuntoa selvittäneessä tutkimuksessa (Engdahl 1998) havaittiin koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän suurimmaksi ongelmaksi tuloilmajärjestelmän likaantuminen, mikä johtui puutteellisesta suodatuksesta. Suodattimen reunavuotojen on todettu olevan yleisiä myös suomalaisissa toimistokiinteistöissä (Pasanen ym. 1992). Näiden lisäksi ilmanvaihtojärjestelmien likaantumiseen vaikuttaa ulkoilman laatu, ilmanottoaukon sijainti, ilmanvaihtojärjestelmän huoltokäytäntö ja ilman painovoimaiset virtaukset kanavistossa järjestelmän seisokkien aikana.

Matemaattisten laskentamallien mukaan EU5-luokan suodattimella varustetussa ilmanvaihtojärjestelmässä tuloilmakanavien pohjalle kertyy pölyä vuosittain 0,3 g ja EU7-luokan järjestelmässä 0,1 g, jos molemmissa laskentatapauksissa ulkoilman hiukkaspitoisuus on sama (Fransson ym. 1995). Pasanen (1994) tutkimuksen mukaan EU3-luokan suodattimella varustetun laitoksen likaantuminen voi olla moninkertaista verrattuna EU7-luokan suodattimella varustetun laitoksen likaantumiseen. Ruotsalaistutkijat (Fransson ym. 1995) kuitenkin totesivat, että tuloilmakanaviston likaantumista merkittävämpää on suodattimen jälkeisten komponenttien, kuten pattereiden, likaantuminen. Saman suuntaiseen tulokseen pölynkertymisen osalta päädyttiin myös japanilaisessa (Ito ym. 1996) ja suomalaisessa tutkimuksessa (Pasanen 1994).

Suurin osa ilmanvaihtojärjestelmiin kertyneistä epäpuhtauksista on epäorgaanista alkuperää, mikä viittaa siten epäpuhtauksien olevan peräisin rakennusajalta (Pasanen 1998; Holopainen ym. 1999b). Tuloilmakanavien pölyn koostumuksen vanhoissa toimistokiinteistöissä on todettu olevan lähellä ulkoilman koostumusta sisältäen noin 80 % epäorgaanista ainesta. Lisäksi pölyssä on havaittu suurikokoisia siitepölyhiukkasia, joka viittaa suodatusyksikön puutteelliseen toimintaan (Pasanen. 1994). Kalliokoski (1995) tutkimusryhmineen havaitsi pientalojen tuloilmakanavien pölyn sisältäneen enemmän orgaanista ainesta kuin toimistojen tuloilmakanavien pölyn. Suomalainen työtovereineen (1998) havaitsi, että yleisimmät tuloilmakanavistossa esiintyvät epäpuhtaudet ovat laasti- tai betonihiukkasia, ilmanvaihtokoneiden sisäpinnoilta tai äänenvaimentimista peräisin olevia mineraalivillakuituja tai ulkoilman siitepölyhiukkasia.

Pölyn lisäksi ilmanvaihtojärjestelmässä voi esiintyä mikrobien itiöitä tai aktiivisessa vaiheessa olevaa kasvustoa. Suomalaisessa pientalojen ilmanvaihtojärjestelmien mikrobiologiaa selvittäneessä tutkimuksessa vain alle 5 % kanavistoissa esiintyneistä itiöistä saatiin esille viljelyteknisin menetelmin. *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* ja hiivat kattoivat yli 90 % kanavapölyn mikrobisuvuista (Pasanen ym. 1997). Toisessa suomalaisessa tutkimuksessa todettiin, että sieni-itiöt alkavat itiöidä ilmanvaihtokanaviston pölyisellä pinnalla jo muutamassa tunnissa, jos kosteutta on riittävästi tarjolla (Pasanen ym. 1993).

Uusien ilmanvaihtojärjestelmien tuloilmakanavien keskimääräiseksi pölykertymäksi suomalaisissa toimistorakennuksissa on mitattu 5,1 g/m². Vanhempien suomalaisten toimistojen tuloilmakanavissa keskimääräinen pölykertymä oli 13,2 g/m², joka vastasi 1,0 g/m² kertymää vuosittain (Pasanen 1994). Tuloilma-

kanavista mitatuilla pölykertymillä ei kuitenkaan ole merkitystä koneellisella ilmanvaihdoilla varustettujen toimistojen ilmavirtoihin (Nielsen ym. 1990; Pasanen ym. 1992). Ilmalämmitysjärjestelmällä varustettujen pientalojen tuloilmakanavien keskimääräiseksi pölykertymäksi on mitattu $1,6 \text{ g/m}^2$. Muiden koneellisella tulo- ja poistojärjestelmällä varustettujen talojen pölykertymä oli $0,5 \text{ g/m}^2$. Keskimääräinen vuosittainen pölykertymä molemmissa järjestelmissä oli $0,1 \text{ g/m}^2$ (Kalliokoski ym. 1995).

2.2 Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistus

2.2.1 Puhdistusvälit ja puhdistustarve

Syyt ilmanvaihtojärjestelmien puhdistamiselle voivat olla monenlaiset. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen syynä voivat olla joko viranomaismääräykset tai vapaaehtoiset suositukset. Toisaalta järjestelmän puhdistaminen voi olla osa järjestelmän säännöllistä huoltoa ja sitä kautta osa sisäilman laadun ylläpitoa, mutta toisaalta puhdistus voi olla osa sisäilmaongelman selvittämistä (Bolsaitis ym. 1993; Kumagai ym. 1994). Olipa puhdistuksen syy näistä mikä tahansa, on puhdistuksen tarkoituksena turvata järjestelmän optimaalinen toiminta, hygieenisuus, energiataloudellisuus ja varmistaa järjestelmän läpi virtaavan ilman puhtaus. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistusvälien määrittely perustuu tällä hetkellä paloturvallisuuteen tai hyvään käytäntöön. Terveysperusteisia ohjeita ilmanvaihtojärjestelmän puhtaudesta ja puhdistusväleistä ei ole vielä pystytty määrittämään.

Sisäasiainministeriö on antanut syksyllä 2001 asetuksen ilmanvaihtokanavien ja laitteistojen puhdistamisesta (Sisäasiainministeriö 2001). Asetus perustuu lähinnä paloturvallisuusnäkökohtiin, ja se koskee painovoimaisesti tai koneellisesti toimivien ilmanvaihtolaitteiden, kammioiden, puhaltimien, paloeristeiden, palonrajoittimien ja muiden ilmanvaihtoon kuuluvien paloturvallisuuteen vaikuttavien laitteiden sekä ilmanvaihtokanavien puhdistamista. Asetuksessa annetaan lisäksi määräyksiä erilaisten kohteiden ilmanvaihtokanavistojen ja -laitteistojen puhdistusväleistä (Taulukko 1).

1.10.2003 voimaan tulevan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto) mukaan ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava siten, että se on rakennusta käyttöönotettaessa

puhdas ja sen puhtautta on helppo ylläpitää (Ympäristöministeriö 2003). Ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuutta käsittelevän osan E7 mukaan on ilmanvaihtolaitos koneineen ja laitteineen oltava puhdistettavissa rakenteita vahingoittamatta. Erityistä huomiota tulee kiinnittää poistoilmalaitteiden puhdistettavuuteen (Sisäasiainministeriö 1980).

Taulukko 1. Erityyppisten tilojen ilmanvaihtojärjestelmien puhdistusvälit (Sisäasiainministeriö 2001).

Vuosittain puhdistettavat ilmanvaihtokanavat ja laitteistot	Viiden vuoden välein puhdistettavat ilmanvaihtokanavat ja laitteistot
ammattimaiset ruuanvalmistuspaikat	sairaala
ruiskumaalaamo	vanhainkoti
puusepäntehtas ja -liike	suljettu rangaistuslaitos
tekstiilitehtas	päivähoitolaitos
pesula	koulu
leipomo	hotelli
savustamo	lomakoti
sellaisessa teollisuus- tai muussa tilassa olevat kanavistot ja laitteistot, jossa ilmanvaihtolaitteisiin kertyy runsaasti paloa levittäviä aineita	asuntola ravintola
huonetilat, jossa valmistetaan tai teknisesti käytetään palavaa nestettä	

Sisäilmastoluokitus 2000:ssa annetaan ohjeita uusien sekä käytössä olevien rakennusten ilmanvaihtojärjestelmän puhtaudelle (Sisäilmayhdistys 2001). Uuden, luovutusvalmiin ilmanvaihtojärjestelmien tuloilmakanaviston sisäpinnan pölykertymän keskiarvo saa olla P1-luokan järjestelmissä enintään 1,0 g/m² ja P2-luokan järjestelmissä enintään 2,5 g/m². Käytössä olevien järjestelmien tuloilmakanaviston tarkastusta suositellaan vähintään viiden vuoden välein. Mikäli kanaviston keskimääräinen pölykertymä on P1-luokan järjestelmässä suurempi kuin 2 g/m² on kanavisto puhdistettava. Vastaavasti muut kuin P1-luokan järjestelmät on puhdistettava, jos pölykertymä on suurempi kuin 5 g/m².

Yhdysvaltalainen NADCA (National Air Duct Cleaners Association) (2001) suosittelee ilmanvaihtokoneen sekä tuloilma- ja poistokanaviston puhtauden tarkastamista 1–2 vuoden välein rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen. Ilmanvaihtojärjestelmä on puhdistettava, jos silmämääräisessä tarkastuksessa havaitaan huomattava pölykertymä tai mikrobikasvustoa tai järjestelmästä otetut

näytteet viittaavat mikrobikasvustoon. Järjestelmä on puhdistettava myös silloin, jos likaisuus haittaa järjestelmän optimaalista toimintaa. Uusien järjestelmien on oltava puhtaita ennen käyttöönottoa (NADCA 2001).

NADCAN standardin (1992) mukaan puhdistustyön laadun arviointi perustuu ensisijaisesti visuaaliseen arviointiin; tarkastettavan pinnan on oltava silmämääräisesti puhdas. Jos visuaalisen arvioinnin perusteella ei voida tehdä päätöstä riittävästä puhtaudesta, käytetään vakuuminenettelmaa, jolla kerätyn pölyn määrä ei puhdistuksen jälkeen saa ylittää arvoa $1,0 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ (NADCA 1992). Uusimpaan NADCAN standardiin (2001) on lisätty visuaalisen arvioinnin jälkeen pintojen vertailutesti (surface comparison test), mikäli visuaalisen arvioinnin perusteella ei voida tehdä päätöstä järjestelmän riittävästä puhtaudesta. Testissä tarkastellaan pinnalla tapahtuvia muutoksia, kun pinta imuroidaan vakuu- milaitteistolla (contact vacuum equipment). Jos vieläkin ei voida tehdä päätöstä kanaviston puhtaudesta, suoritetaan vakuumitesti. Uusimman standardin mukaan pölyn määrä ei puhdistuksen jälkeen saa ylittää arvoa $0,75 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ (NADCA 2001).

Englantilaisen HVCA:n (Heating and Ventilating Contractors' Association) vuonna 1998 julkaisemassa ilmanvaihdon puhtautta käsittelevässä oppaassa puhdistustarpeen määrittäminen perustuu joko pölyn pintatiheys- tai vakuumitestiin, jonka tulos määrää puhdistuksen tarpeellisuuden. Mikäli pölyn pintatiheys tuloilmakanavan pinnalla ylittää $60 \mu\text{m}$:n paksuuden tai vakuuminenettelmän tulos on yli $1 \text{ g}/\text{m}^2$, on järjestelmä puhdistettava. Vakuuminenettelmä perustuu NADCAN vastaavaan menetelmään. Oppaassa annetaan ohjeita myös puhdistuksen laadun arviointiin. Puhdistuksen laatua arvioidaan ensisijaisesti visuaalisesti, mutta tarvittaessa voidaan pölyn määrä selvittää NADCAN vakuu- mimenetelmällä, jonka tulos ei saa ylittää $0,1 \text{ g}/\text{m}^2$ (HVCA 1998).

Saksalainen VDI 6022 (1998) standardi antaa edellisiäkin tarkemmin ohjeita ilmanvaihtojärjestelmän hygieenisyyden ja toiminnan tarkastamiseen. Tarkastusvälit standardissa on annettu tarkastuslistan muodossa komponentteittain, ja tarkastusväli vaihtelee eri komponenttien välillä kuukaudesta kahteen vuoteen. Esimerkiksi tuloilmakanaville tarkastusväliksi on annettu yksi vuosi. Ilmanvaihtojärjestelmän voidaan katsoa olevan puhdas, jos pinnat ovat kauttaaltaan puhtaat ja kosteita alueita ei löydy (Funk 1999).

2.2.2 Puhdistusmenetelmät sekä puhdistuksen vaikutus tuloilmakanavistojen hygieniaan ja sisäilman laatuun

Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistukseen on olemassa useita erilaisia menetelmiä puhdistuskohteesta ja lian laadusta riippuen. Toimisto- ja asuinrakennusten tulo- ja poistokanavia puhdistetaan nykyisin pääasiassa mekaanisin menetelmin. Kanavissa oleva lika irrotetaan harjaamalla pyörivällä tai värähtelevällä harjalla tai paineilmalla. Irronnut lika poistetaan alipaineistamalla kanava erillisen apupuhaltimen ja suodatusyksikön avulla. Puhaltimia, lämmönsiirtimiä ja pääte-elimiä puhdistetaan vedellä, paineilmalla tai kemiallisilla aineilla. Myös kanavat, joissa jäteilman jäähtyessä kanavan seinämiin kiinnittyy vaikeasti irrotettavaa likaa tai rasvaa, voidaan puhdistaa vedellä ja liuotinpesuaineella. Rasvaisten ilmanvaihtolaitteiden puhdistukseen käytetään alkalisia pesuaineita, ja mm. sairaaloiden ilmakanaavia voidaan tarvittaessa desinfioida mekaanisen puhdistuksen jälkeen (Luoma ym. 1993; Lavoie ja Lazure 1994; Raunio 1998; Ripatti ja Jalo 1998; Brosseau ym. 2000a).

Suomalainen tutkijaryhmä (Holopainen ym. 1999b) selvitti puhdistustyön laatua kahdessa toimistorakennuksessa, joiden ilmanvaihtojärjestelmien puhdistukseen käytettiin harja- ja paineilmapuhdistusta sekä käsinpyyhintää. Tutkittujen rakennusten ilmanvaihtojärjestelmiä ei ollut puhdistettu aiemmin. Kaikilla kolmella menetelmällä saavutettiin merkittävä pölyn vähentyminen, mutta silmämääräisesti puhtaimpaan kanavistoon päästiin käsinpyyhinnällä. Mekaanisen harjauksen ja paineilmapuhalluksen jälkeen kanaviston pinnalla todettiin silmin havaittavaa hienojakoista pölyä (Holopainen 1998). Harjaus oli kaksi kertaa nopeampi kuin paineilmapuhdistus ja neljä kertaa nopeampi kuin käsinpyyhintä (Holopainen ym. 1999b).

Puhdistuksessa on tärkeää estää lian kulkeutuminen ympäröiviin työtiloihin, jo puhdistetulle alueelle tai ulkoilmaan. Huolimattomasti toteutettu ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus saattaa altistaa puhdistettavan kiinteistön työntekijöitä kanavistojen epäpuhtauksille (Brosseau ym. 2000b). Suomalaisessa tutkimuksessa (Puhakka ym. 1992) havaittiin huoneilman pölypitoisuuden nousseen puhdistuksen aikana kolminkertaiseksi ennen puhdistusta vallinneeseen tilanteeseen verrattuna. Lisäksi ilman sädesienipitoisuudet kohosivat puhdistuksen aikana. Myös kanadalaisessa tutkimuksessa havaittiin pölypitoisuuden nousu puhdistuksen aikana (Auger 1994). Ahmad (2001) työryhmineen havaitsi sisäilman hiukasten lukumäärä- ja mikrobipitoisuuden kohonneen puhdistuksen aikana. Holo-

painen (1998) totesi tutkimuksessaan, että ilmanvaihtokoneen käynnistyminen irrotti kanavan sisäpinnalle jäänyttä pölyä tuloilmavirtaukseen. Japanilainen tutkijaryhmä havaitsi, että 1 µm:n kokoisten hiukkasten osalta vie noin kuukauden ajan ennen kuin sisäilman hiukkasten lukumääräpitoisuus laskee samalle tasolle, jolla se oli ennen kanaviston puhdistusta (Kumagai ym. 1994).

Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutuksia selvittäneet tutkimukset ovat pääasiassa keskittyneet tarkastelemaan kanavistojen hygieniaa pöly- ja mikrobikertymien avulla (Taulukko 2). Vaikka pölykertymien määrittämiseen käytetyt menetelmät ovatkin vaihdelleet eri tutkimusten välillä, suurimmassa osassa tutkimuksista on kuitenkin havaittu, että ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus vähentää kanavistojen sisäpintojen pölykertymää (Ito ym. 1996; Ishikawa ym. 1996; Suomalainen ym. 1998; Kulp ym. 1997). Kanadalaisessa asuntojen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistusta selvittäneessä tutkimuksessa päädyttiin päinvastaiseen tulokseen; puhdistus ei vaikuttanut tuloilmakanavien pölykertymään (Auger 1994). Collet työtovereineen (1999) havaitsi tutkimuksessaan kanaviston mikrobikertymän vähentyneen puhdistuksen myötä, kun puolestaan Kulp ym. (1997) ja Auger (1994) eivät havainneet kanavistojen puhdistuksen merkittävästi vaikuttaneen kanavistojen mikrobimääriin. Pöly- ja mikrobimäärien ohella joissakin tutkimuksissa on selvitetty tarkemmin myös pölyn sisältöä (Kalliokoski ym. 1995; Kulp ym. 1997; Suomalainen 1998).

Puhdistuksen vaikutuksia sisäilman laatuun on selvitetty lähinnä hiukkas- ja mikrobimittauksilla. Kanadalaisen tutkimuksen mukaan puhdistuksella ei ollut vaikutusta tulo- ja sisäilman hiukkaspitoisuuksiin, mutta mikrobipitoisuus laski, joskin pitoisuustasot ennen puhdistusta olivat tavanomaisia (Auger 1994). Mikrobipitoisuuksien pienentyminen kanaviston puhdistuksen vaikutuksesta havaittiin myös yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa (Ahmad ym. 2001). Vain harvat ilmanvaihtojärjestelmien puhdistustutkimuksista ovat selvittäneet puhdistuksen vaikutuksia haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin. Ishikawa ym. (1996), Kumagai ym. (1994) ja Holopainen (1998) havaitsivat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) vähentyneen puhdistuksen seurauksena. Puhakka (1992) päätyi päinvastaiseen tulokseen, koska puhdistuksen jälkeen toteutettu kanavistojen desinfiointi vaikutti TVOC-pitoisuuteen.

Taulukko 2. Yhteenvedo ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutuksia ilman laatuun, kanaviston hygieniaan, ilmanvaihdon toimivuuteen sekä koettuun ilman laatuun ja oireiluun selvittäneistä tutkimuksista.

Tutkimus	Kohde	n	Ilman laatu			Kanaviston hygienia					
			Hiukkaspitoisuus	Mikrobipitoisuus	TVOC-pitoisuus	Pölykertymä	Mikrobikertymä	Pölyn koostumus	Ilmanvaihdon toimivuus	Koettu ilmanlaatu	Oireilu
Puhakka ym. 1992	vanhainkoti	1	X	X	X		X				
Auger 1994	asuinhuoneisto	33	X	X		X ¹	X		X		
Kalliokoski ym. 1995	pientalo	23				X ²	X	X	X		
Ishikawa ym. 1996	-	2			X	X ³				X	
Ito ym. 1996	-	4				X ³					
Kulp ym. 1997	omakotitalo	9	X	X		X ^{1,4}	X	X	X		
Kumagai ym. 1997	liikekiinteistö	7			X		X				
Holopainen 1998	toimisto	2	X		X	X ⁵			X	X	X
Suomalainen ym. 1998	toimisto	32				X ⁶	X	X			
Collet ym. 1999	toimisto	3	X			X ¹	X				
Pasanen ja Mattila 2000	asuinhuoneisto	3							X		
Ahmad ym. 2001	asuinhuoneisto	8	X	X							

- ei raportoitu, ¹NADCA:n menetelmä, ²puhdistuksessa kerätyn pölyn punnitus, ³pyyhintä liinalla, ⁴MVDS (medium volume deposition sampler), ⁵geeliteippi, ⁶suodatinmenetelmä

Viidessä eri tutkimuksessa on selvitetty puhdistuksen vaikutusta ilmanvaihdon toimivuuteen (Auger 1994; Kalliokoski ym. 1995; Kulp ym. 1997; Holopainen 1998; Pasanen ja Mattila 2000). Auger (1994) ei havainnut muutosta tulo- ja poistoilmavirroissa puhdistuksen seurauksena. 23 suomalaista pientaloa käsittäneessä tutkimuksessa ilmavirtojen havaittiin lisääntyneen kanavistojen puhdistuksen myötä. Suurimmassa osassa taloja ilmanvaihtuvuus oli alle 0,5 1/h ennen puhdistusta. Puhdistus paransi ilmanvaihtuvuutta 70 % tutkituista taloista (Kalliokoski ym. 1995). Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa tuloilmavirrat puhdistetuissa omakotitaloissa lisääntyivät puhdistuksen myötä 4–32 % (Kulp ym. 1997). Holopainen (1998) havaitsi tuloilmakoneiden kokonaisilmavirtojen kasvaneen

molemmissa tutkituista toimistoista 4–10 %. Pasasen ja Mattilan (2000) tutkimuksen mukaan koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän puhdistus lisäsi ilmapurtoja, mutta silti ilmapurrot olivat suunnitteluarvoihin verrattuna liian pieniä suuressa osassa tutkittuja huoneita. Puhdistuksen jälkeen tehty ilmapurtojen tasapainotus paransi tilannetta, ja yli 90 %:ssa tutkituista huoneista ilmapurrot olivat tämän jälkeen riittävät.

Yhdessä japanilaisessa (Ishikawa ym. 1996) ja yhdessä suomalaisessa (Holopainen 1998) tutkimuksessa selvitettiin puhdistuksen vaikutusta koettuun ilman laatuun ja oireiluun. Japanilaisen tutkimuksen mukaan ilmanlaadun hyväksyttävyyttä lisäntyi puhdistuksen myötä (Ishikawa ym. 1996). Suomalaiset toimistotyöntekijät kokivat tuloilmakanaviston puhdistuksen vähentäneen sisäilman pölyisyyttä, pintojen likaisuutta sekä parantaneen sisäilman yleistä hyväksyttävyyttä (Holopainen 1998). Raw työtovereineen (1993) tutki muiden siivousmenetelmien ohella osittaisen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen vaikutusta toimistotyöntekijöiden oireiluun. Tutkimuksen mukaan osittaisella kanavistojen puhdistuksella ei ollut vaikutusta oireiluun. Tutkimusryhmä kuitenkin päätteli, että siivous- ja puhdistusmenetelmät, jotka tehokkaasti vähentävät pintojen epäpuhtauksia, voivat vähentää oireilua.

Björkroth työtovereineen (1997b) selvitti laboratoriossa toteutetussa tutkimuksessa puhdistuksen vaikutusta koettuun ilmanlaatuun. Käytössä ollut ilmanvaihtokone puhdistettiin ja koneeseen vaihdettiin uusi, puhdas suodatintila, mutta koneesta lähtevää tuloilmakanavaa ei puhdistettu. Ilmanvaihtokoneen läpi virranneen ilman laatu koettiin paremmaksi puhdistuksen jälkeen, mutta puhdistamaton kanavisto emittoi hajua.

2.3 Ilmanvaihto ja oireilu

Euroopassa ja Yhdysvalloissa on tehty lukuisia tutkimuksia, joissa on selvitetty työntekijöiden oireilua toimistorakennuksissa (Burge ym. 1987; Skov ym. 1987; Zweers ym. 1992; Wallace ym. 1993; Groes ym. 1995; Nelson ym. 1995). Toimistotyöntekijät ovat raportoineet silmä-, nenä-, kurkku- ja ihoärsytysoireita, päänsärkyä, väsymystä, ärtyneisyyttä ja keskittymisvaikeuksia, jotka ovat Rawn (2001) määritelmän mukaan tyypillisiä sairusrakennusoireita. Kyseisiä oireita voi esiintyä useita yhtä aikaa, ja rakennusten välillä saattaa olla suuriakin vaihteluita oireilun vallitsevuudessa (Skov ym. 1987; Gyntelberg ym. 1994; Groes

ym. 1995). Esimerkiksi oireilun vanhoissa rakennuksissa on todettu olevan vähäisempää kuin uudemmissa rakennuksissa (Skov ym. 1987).

Laajassa eurooppalaisessa 56 toimistorakennusta käsittäneessä tutkimuksessa 30 % toimistotyöntekijöistä oli tyytymättömiä sisäilman laatuun (Groes ym. 1995). Kanadalaisessa tutkimuksessa vastaavasti yli puolet (56 %) 12 tutkitun toimistorakennuksen työntekijöistä oli tyytymättömiä sisäilman laatuun (Haghighat & Donnini 1999). On arvioitu, että 50 % työntekijöiden valituksista liittyen huonoon sisäilman laatuun on yhteydessä puutteelliseen ilmanvaihtojärjestelmän huoltoon ja ylläpitoon (ECA 2000). Yhdysvaltalaisen NIOSH:n (The National Institute for Occupational Safety and Health) sisäilmastaselvitysten mukaan yleisimmät ongelmat tutkituissa rakennuksissa liittyivät ilmastointijärjestelmän ylläpitoon, toimintaan tai suunnitteluun. Tarkemmin yksilöitynä ongelmat liittyivät likaisiin ilmanvaihtojärjestelmän komponentteihin sekä kirjalisten huolto- ja ylläpitosuunnitelmien puuttumiseen. 93:ssa 104:stä tutkitusta rakennuksesta ainakin yksi parannusehdotuksista liittyi ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan tai ylläpitoon (Crandall ja Sieber 1996).

Ilmanvaihtoa ja oireilua selvittäneissä tutkimuksissa on keskitytty pääasiassa erityyppisten ilmanvaihtojärjestelmien ja työntekijöiden oireilun välisen yhteyden selvittämiseen. Seppänen ja Fiskin (2002) laatimassa laajassa katsauksessa todettiin, että koneellisella ilmastointijärjestelmällä varustetuissa toimistoissa havaittiin johdonmukaisesti tilastollisesti merkittävä lisääntyminen yhden tai useamman sairusrakennusoireen vallitsevuudessa painovoimaiseen ilmanvaihtoon verrattuna. Lisäksi todettiin, että kahdessa kolmesta analysoidusta tutkimuksesta oireilun esiintyminen oli merkittävästi korkeampi ilmastoiduissa rakennuksissa kuin koneellisella ilmanvaihtojärjestelmällä varustetuissa rakennuksissa, joissa ei ollut kostutusta. Tulokset osoittivat lisäksi, että oireiluriski oli kohonnut myös koneellisen ilmanvaihdon omaavissa rakennuksissa verrattuna painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksiin, vaikka muutamassa tutkimuksessa olikin päädytty päinvastaiseen tulokseen. Laajan aineiston pohjalta tehtyä yhteenvetoa voidaan pitää luotettavana, sillä suurimassa osassa mukana olleista tutkimuksista oli huomioitu sekoittavat tekijät tuloksia analysoitaessa. Yksi mahdollinen sekoittava tekijä, joka oli kuitenkin jätetty huomioimatta kaikissa tutkimuksissa, oli ilmanvaihtuvuuden vaikutus (Seppänen ja Fisk 2002).

Seppänen ja Fisk (2002) esittivät seitsemän hypoteesia, jotka mahdollisesti selittävät ilmastoitujen rakennusten kohonnutta oireilua. Hypoteeseja ovat: 1) il-

manvaihtojärjestelmä toimii epäpuhtauksien lähteenä, 2) ilmanvaihtojärjestelmä kuljettaa sisään ulkoilman epäpuhtauksia, 3) ilmastoiduissa rakennuksissa on pienempi ilmanvaihtuvuus, joka johtaa epäpuhtauksien kertymiseen sisälle, 4) palautusilman käyttö kierrättää epäpuhtauksia rakennuksen sisällä, 5) avaatotomat ikkunat lisäävät oireiden raportointia psykologisen vaikutuksen kautta, 6) ilmastoiduissa rakennuksissa työntekijöiden tietoisuus edellisten tutkimusten tuloksista oireilun ja ilmanvaihtotavan välillä saattaa lisätä oireiden raportointia sekä 7) mekaanisen ilmanvaihdon suuremmat ilman nopeudet saattavat nopeuttaa limakalvojen kuivumista.

Ilmanvaihtojärjestelmätyypin lisäksi on tutkittu ilmavirtojen sekä koetun ilman laadun ja oireilun välistä yhteyttä. Alle 10 dm³/s henkilöä kohden olevien ilmavirtojen on havaittu olevan tilastollisesti merkittävästi yhteydessä yhteen tai useampaan oireeseen ja koettuun ilman laatuun. Henkilöä kohden laskettujen ilmavirtojen lisääminen aina tasolle 20 dm³/s vähensi merkittävästi oireilua ja paransi koettua ilman laatua (Seppänen ym. 1999). Ilmanvaihtuvuuden sekä koetun ilman laadun, oireilun ja tuottavuuden välistä yhteyttä tutkittiin kokeellisessa tutkimuksessa kyselyn, fysikaalisten ja kemiallisten mittausten sekä simuloitujen toimistotyötehtävien avulla. Tulokset osoittivat, että ilmanvaihtuvuuden lisääntyminen ilmavirroilla 3, 10 ja 30 dm³/s henkilöä kohti paransi koettua ilman laatua, vähensi oireilua ja lisäsi tuottavuutta. Ilmavirran kaksinkertaistaminen välillä 3–30 dm³/s henkilöä kohti johti keskimäärin 1,7 %:n kasvuun tuottavuudessa (Wargocki ym. 2000). Vuonna 2002 julkaistun EUROVEN työryhmän yhteenvedon mukaan ilmanvaihdolla on vahva yhteys viihtyvyyteen, terveyteen ja tuottavuuteen. Tarkastelemansa kirjallisuuden perusteella työryhmä päätteli, että alle 25 dm³/s henkilöä kohden oleva ilmavirta lisää sairusrakennusoireiden riskiä, lyhytaikaisten sairauspoissaolojen määrää ja vähentää tuottavuutta (Wargocki ym. 2002).

Kolmantena suuntauksena ilmanvaihdon ja terveyden välistä yhteyttä selvittäneissä tutkimuksissa on ollut ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden vaikutukset oireiluun. Ilmanvaihtojärjestelmään liittyvien tekijöiden ja itse raportoitujen oireiden välistä yhteyttä selvitettiin 80 toimistokiinteistöä käsittäneessä tutkimuksessa Yhdysvalloissa (Sieber ym. 1996). Ilmanvaihtojärjestelmän ylläpitoon ja hygieniaan liittyvistä tekijöistä havaittiin ilmanvaihtojärjestelmän yleisen puhtauden, kanaviston puhdistamattomuuden sekä sen, että mittaus- ja säätöpöytäkirjoja ei ollut saatavilla, olevan yhteydessä lisääntyneeseen allergiseen oireiluun. Likaiset suodattimet ja epäpuhtaudet ilmanottoaukossa sekä ilman-

vaihtojärjestelmän puhtaus yleisesti olivat yhteydessä lisääntyneeseen astmaan. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistamattomuus lisäsi suhteellista riskiä alahengitysteiden oireille ja allergisille oireille, mutta vähensi riskiä astmalle. Tutkimuksen tuloksissa oli kuitenkin epäjohdonmukaisuutta, sillä esimerkiksi kanaviston puhdistamattomuus lisäsi allergiariskiä, mutta vähensi riskiä astmalle. Allergioidenhan on yleisesti todettu edeltävän astmaa. Lisäksi kohteissa havaittiin esiintyneen yhtä aikaa useita erilaisia vikoja, joiden välisiä korrelaatioita tai yhteisvaikutuksia ei tutkimuksessa huomioitu (Sieber ym. 2002).

Mendell työryhmineen (2002) käsitteli edellä kuvatun tutkimuksen tuloksia tarkemmin ja huomioi sekoittavista tekijöistä iän ja sukupuolen lisäksi henkilökohtaisia sekä rakennuksen ominaisuuksiin liittyviä tekijöitä. Tulosten mukaan alahengitysteiden oireet olivat vahvasti yhteydessä jäähdytyspattereiden alustan huonoon viemäröintiin ja likaun ulkoilman ottoaukossa. Yhteys havaittiin olevan vahvempi henkilöillä, joilla oli lääkärin diagnosoima astma.

2.4 Tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä

2.4.1 Tutkimusasetelma

Ilmanvaihtojärjestelmätyypin, ilmavirtojen tai järjestelmän puhtauden sekä oireilun välistä yhteyttä selvittäneet tutkimukset ovat pääosin olleet luonteeltaan poikkileikkaustutkimuksia, kvasikokeellisia tai kokeellisia tutkimuksia. Jokaisella tutkimustyyppillä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa, jotka on tiedostettava tutkimuksen suunnitteluvaiheessa. Epäkokeellisessa tutkimusasetelmassa tutkija ei voi vaikuttaa olosuhteisiin, joka on tärkeä rajoitus tutkittaessa syy-yhteyksiä (Hernberg 1998). Poikkileikkaustutkimuksissa tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että muut tekijät kuin ilmanvaihtojärjestelmätyyppi tai ilmavirrat vaihtelevat rakennusten välillä, vaikuttavat mahdollisesti oireisiin ja siten sekoittavat tutkittavan tekijän ja oireilun välistä yhteyttä (Seppänen ym. 1999; Seppänen ja Fisk 2002). Poikkileikkaustutkimukset voivat kuitenkin löytää tilastollisen yhteyden, mutta eivät voi vahvistaa syy-yhteyssuhteita (Coggon ym. 1997; Hernberg 1998). Siksi kokeelliset tutkimusmenetelmät soveltuvat paremmin kahden ilmiön välisen kausaalisuuden osoittamiseen (Hernberg 1998).

Kentällä toteutetuissa kvasikokeellisissa interventiotutkimuksissa suurin osa tekijöistä pysyy vakiona tutkimuksen aikana ja vain yhtä tekijää muutetaan. In-

terventiotutkimuksessa verrataan tutkittavan ryhmän sisäistä ennen ja jälkeen tilannetta, mutta vertailuja pitäisi tehdä myös interventiota vaille jääneeseen aineistoon (Hernberg 1998). Interventiotutkimuksessa tutkimusjoukko pysyy samana, joten henkilökohtaiset, työjärjestelyihin ja rakennuksen ominaisuuksiin liittyvät tekijät pysyvät muuttumattomina. Kuitenkin joissakin tekijöissä, kuten sisäilman lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa tai ulkoilman olosuhteissa, saattaa tapahtua muutoksia, jotka voivat vaikuttaa olosuhteisiin myös rakennuksen sisällä (Seppänen ym. 1999).

Parhaiten eri ympäristötekijöitä voidaan hallita kokeellisessa tutkimuksessa, joka toteutetaan hallituissa olosuhteissa. Tällöin lämpötila, suhteellinen kosteus, melu ja valaistus voidaan pitää vakioina koko tutkimuksen ajan ja siksi näiden vaikutusta ei tarvitse huomioida tilastollisissa analyyseissä. Kokeellisissa asetelmissä myös esim. ilmanvaihtuvuuden mittaaminen on tarkempaa ja tuloilman sekoittuminen huonetilassa voidaan varmistaa paremmin (Wargocki ym. 2000).

2.4.2 Tutkimusmenetelmät

2.4.2.1 Sisäilmamittaukset

Ilmanvaihdon ohella sisäilman epäpuhtauspitoisuuksilla ja olosuhteilla on merkitystä oireilun kannalta. Sisäilmamittauksia suunniteltaessa olisi tärkeää ymmärtää sisätilat useista erilaisista tiloista muodostuvana dynaamisena ympäristönä. Sisäympäristöissä esiintyy useita erilaisia epäpuhtauslähteitä, joista johtuen sisäilmassa voi esiintyä laaja kirjo erilaisia epäpuhtauksia. Edellisten lisäksi lämpötila- ja kosteusolosuhteilla sekä ilmanvaihdolla on oma merkityksensä dynamiikassa. Myös epäpuhtauslähteiden emissioissa voi olla ajallista vaihtelua.

Sisäilmamittausten päämäärä vaikuttaa merkittävästi siihen, kuinka mittaukset toteutetaan käytännössä. Mittausten päämääränä voi olla altistuksen arviointi, sisäilmaongelman selvittäminen, korjaustoimenpiteiden onnistumisen arviointi tai sisäilman laadulle asetettujen ohjearvojen täyttymisen varmistaminen (ECA 1989). Näytteenkeräysmenetelmien ja strategioiden tulee olla riittävän tarkkoja, jotta normaalista poikkeava tilanne erotetaan tavanomaisesta. On olemassa erilaisia mittausstrategioita, joilla saadaan edustava kuva tutkittavan rakennuksen sisäilman laadusta. Mittauksia voidaan tehdä rakennuksessa esimerkiksi jokaisen ilmanvaihtojärjestelmän alueella, ilmanvaihtojärjestelmän eri vyöhykkeillä, va-

litus- ja ei-valitusalueilla tai merkittävimpien epäpuhtauslähteiden läheisyydessä (Light ja Nathanson 2001). Vaikka mittausstrategia on erityisen tärkeä tulosten edustavuuteen ja luotettavuuteen vaikuttava tekijä, on asiasta julkaistu vähän.

Sisäilman epäpuhtauspitoisuuksissa on todettu huomattavaa ajallista vaihtelua (Menzies ym. 1996). Erityisesti kemiallisten epäpuhtauksien osalta rakennuksen iällä, vuodenaajalla ja vuorokaudenaajalla on merkitystä sisäilmamittausten tuloksiin. Tämän lisäksi ikkunatuuletus sekä ihmisten toimet vaikuttavat epäpuhtauspitoisuuksiin (ECA 1989). Rakennusmateriaaleista tai ilmanvaihtojärjestelmästä peräisin olevia emissioita on suositeltavaa mitata aamuisin, jos rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on poissa päältä öisin tai viikonloppuisin. Ihmisperäisiä tai ihmisen toimista peräisin olevia epäpuhtauksia on suositeltavaa mitata työpäivän päätteeksi, erityisesti jos etsitään korkeinta mahdollista epäpuhtauspitoisuutta (Light ja Nathanson 2001). Lyhytaikaisissa sisäilmamittauksissa on tiedostettava, että kohonnut ulkoilman pitoisuustaso voi heijastua myös sisäilman pitoisuuksiin ja siten johtaa virheelliseen tulokseen (ECA 1989). Tämän vuoksi sisäilmamittausten kanssa samanaikaisesti on suositeltavaa selvittää mitattavan epäpuhtauden pitoisuustaso myös ulkoilmassa. Ilmanvaihtojärjestelmä saattaa olla eri vuodenaikoina toiminnassa hiukan eri tavalla, jolloin esimerkiksi epäpuhtauspitoisuudet saattavat olla talvella korkeampia pienemmästä ulkoilmavirrasta johtuen (Light ja Nathanson 2001).

Sisäilmamittausten kesto riippuu käytetyn analyysimenetelmän määritysrajasta, tutkittavan epäpuhtauden todennäköisistä terveystaakasta (akuutti tai krooninen), epäpuhtauslähteen emissio-ominaisuuksista sekä mittausten erityisistä päämääristä (ECA 1989, Light ja Nathanson 2001). Kenttätutkimuksissa on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota mittausten keston ja oirekyselyn raportointiajan pituuteen sekä varmistaa, että kysely ja mittaukset tehdään mahdollisimman samanaikaisesti (Schneider ym. 2002).

Sisäilman laatua selvittäessä on käytännössä mahdotonta ja jopa tarpeetonkin tehdä mittauksia kaikissa rakennuksen huoneissa. Tutkittavien huoneiden lukumäärä riippuu pitkälti tutkimuksen lähtökohdista ja päämäärästä. Mikäli mittausten päämääränä on altistuksen arviointi, yksittäisissä kiinteissä pisteissä tehdyt mittaukset eivät välttämättä kuvaa riittävän hyvin henkilökohtaista altistumista, ja tämän vuoksi annos-vaste-yhteyden osoittaminen epäonnistuu. Henkilökohtaisen altistumisen on todettu olevan suurempaa kuin kiinteästä mittauspisteestä mitattu tulos. Henkilökohtaiseen altistumiseen vaikuttavat esimerkiksi

tietyt toimistotyöt, jotka lisäävät haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tai hiukkas-
ten pitoisuuksia (Hodgson ym. 1991b). Kuitenkin joissakin hiukkasaltistusta
selvittäneissä tutkimuksissa on käytetty yksittäisten mittauspisteiden tuloksia
esimerkiksi koko rakennuksen työntekijöiden altistuksen arvioinnin perustana
(Schneider ym. 2002).

2.4.2.2 Kyselyt

Objektiivisten mittausten ohella tutkimuksissa voidaan käyttää työntekijöille
jaettavia kyselylomakkeita. Kyselylomakkeita on laadittu useita erilaisia ja ne
poikkeavat toisistaan muun muassa laajuuden ja sisällön suhteen (Burge ym.
1987; Groes ym. 1995; Sundell 1994). Kyselyt sisältävät yleensä kysymyksiä
vastaajan taustatiedoista, koetuista olosuhteista ja ilman laadusta, oireilusta ja
työjärjestelyihin liittyvistä tekijöistä. Erityisen paljon vaihtelua kyselyjen välillä
on havaittu työpaikkaan liitettyjen oireiden määrittelyssä (Brightman ja Moss
2001).

Toinen tekijä, jossa on todettu vaihtelua kyselyjen välillä, on raportointijakso.
Raportointijakso voi vaihdella kyselyn toteuttamishetkellä koettavista oireista,
viimeisen viikon tai kuukauden aikana koettuihin (Groes ym. 1995) tai viimeisen
kolmen kuukauden aikana koettuihin oireisiin (Andersson 1998). Kyselyissä on
käytetty myös 12 kuukauden raportointijaksoa (Burge ym. 1987; Jaakkola ja
Miettinen 1995a), joka huomioi vuodenajan mahdolliset vaikutukset. Groes tut-
kimusryhmineen (1995) havaitsi, että oireilu oli yleisempää kuukauden ajanjak-
solla kuin kyselyn vastaushetkellä raportoidut oireet.

Edellä esitettyjen seikkojen vuoksi kyselyjen tulosten vertaaminen eri tutkimus-
ten välillä on vaikeaa. Siksi olisikin suositeltavaa keskittyä muutaman standar-
doidun kyselylomakkeen käyttöön (Schneider ym. 1999). Suomessa ja muualla
Pohjoismaissa laajasti käytetty kyselylomake on MM-40-kysely, joka on kehi-
tetty 1980-luvun lopulla Örebrossa, Ruotsissa. Kyselyn kysymysten validiteetti
sekä luotettavuus on testattu ja havaittu hyväksyttäväksi (Andersson ym. 1988;
Andersson ym. 1993; Andersson 1998). Kysely on käännetty usealle eri kielelle
ja sitä on myös käytetty muiden kyselyiden pohjana (Gyntelberg ym. 1994).
MM-40-kyselylomake soveltuu kartoituksiin, sisäilmaongelmien esiintuomiseen
tai muutoksen seurantaan esimerkiksi korjaustoimenpiteiden osuvuudesta ja
riittävydestä. Kuitenkaan laajoihin epidemiologisiin tutkimuksiin kysely ei
sellaisenaan sovellu. Andersson (1998) on esittänyt MM-40-kyselyn tulkintaa

varten vertailuarvot, jotka pohjautuvat Ruotsissa tehtyihin tutkimuksiin. Vertailuarvot on esitetty erikseen työpaikoille ja erityyppisille asunnoille.

Työterveyslaitos on kääntänyt MM-40-kyselyn suomen kielelle ja käyttänyt sitä ansiokkaasti yhtenä menetelmänä selvittäessään työpaikkojen sisäilmasto-ongelmia. Vuosien 1996–1999 aikana Uudenmaan aluetyöterveyslaitos käytti Työterveyslaitoksen sisäilmastokyselyä sisäilmastoselvityksissä yhteensä 122:lla eri toimistotyöpaikalla, joissa yhteensä 11 154 työntekijää vastasi kyselyyn. Tästä laajasta aineistosta tehtyä yhteenvetoa voidaan pitää vertailuaineistona, johon suomalaisilla työpaikoilla toteutettujen sisäilmastokyselyjen tuloksia voidaan verrata. Tuloksia vertailtaessa on kuitenkin huomioitava, että vertailuaineiston 122 työpaikkaa eivät ole satunnaisesti valittuja, vaan kaikilla tutkituilla työpaikoilla oli jonkinasteinen epäily sisäilmaongelmasta (Sundman-Digert ja Reijula 2002).

2.4.3 Harhat ja sekoittavat tekijät

Tutkimusasetelmaan ja -menetelmiin liittyvien tekijöiden ohella on oltava tietoinen muistakin tuloksiin vaikuttavista tekijöistä, kuten harhoista ja sekoittavista tekijöistä. Valintaharha liittyy kyselyyn vastanneen tutkimusjoukon virheelliseen valikoitumiseen. Kyselyyn voivat esimerkiksi vastata suuremmassa määrin ne henkilöt, jotka oireilevat tai ovat muuten huolissaan työskentelyolosuhteista. Toisaalta osa eniten oireilevista henkilöistä voi olla poissa kyselyn toteuttamisajankohtana, mikä johtaa aliarvioon oireilun todellisesta vallitsevuudesta. Pahimmassa tapauksessa oireilijat ovat joutuneet vaihtamaan työpaikkaa, jolloin terveemmät henkilöt ovat jääneet jäljelle (Jaakkola ja Miettinen 1995b; Coggon ym. 1997; Hernberg 1998). Informaatioharha liittyy ihmisen muistamisen vajuuteen. Oireilevat henkilöt pohtivat usein mahdollisia syitä oireiluun ja tarkkailevat erilaisten altistumistilanteiden vaikutusta. Siten he saattavat muistaa oireilun muita paremmin pitkällä aikavälillä (Hernberg 1998).

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että on olemassa joukko riskitekijöitä, joiden on havaittu vaikuttavan oireiluun. Nämä tekijät, sekoittavat tekijät, voidaan ryhmitellä neljään ryhmään: ympäristötekijät, rakennukseen tai työtilaan liittyvät tekijät sekä työhön tai henkilökohtaisiin ominaisuuksiin liittyvät tekijät (Brightman ja Moss 2001). Ympäristötekijöistä pinnoille laskeutuneen pölyn koostumuksella on havaittu olevan merkittävä vaikutus oireiluun (Gyntelberg ym.

1994). Oireilun vallitsevuuden sekä 22 °C:tta korkeampien lämpötilojen välillä on havaittu lineaarinen yhteys (Jaakkola ym. 1991). Tutkimukset ovat osoittaneet, että henkilökohtaisista ominaisuuksista sukupuolella ja allergiataipumuksella on todettu olevan vaikutus oireiluun. Naiset raportoivat merkittävästi enemmän sairusrakennusoireita kuin miehet (Hall ym. 1993; Stenberg ym. 1993; Sundman-Digert ja Reijula 2002) ja allergisista sairauksista kärsivät raportoivat enemmän oireita kuin terveet (Hall ym. 1993; Stenberg ym. 1993). Työhön liittyvistä tekijöistä eri ammattien välillä on havaittu eroja. Sihteerien on todettu raportoivan oireita enemmän kuin teknisten työntekijöiden tai asiantuntijoiden, jotka puolestaan oireilevat enemmän kuin johtajat (Burge ym. 1987). Psykososiaalisista tekijöistä työn vähäinen mielenkiintoisuus, liian suuri työkuorma ja vähäiseksi koetut vaikutusmahdollisuudet ovat yhteydessä koettuun työympäristöön ja useimpiin työpaikkaan liitettyihin oireisiin (Lahtinen ym. 2002).

3. Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli koota ilmanvaihtojärjestelmien likaantumista ja puhdistusta käsittelevä tutkimustieto sekä selvittää kokonaisvaltaisesti kenttätutkimusten avulla ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen vaikutukset niin toimistorakennusten sisäilman laatuun, tuloilmakanavistojen hygieniaan kuin toimistotyöntekijöiden viihtyvyyteen ja oireiluun.

Tutkimuksen osatavoitteet olivat

- Selvittää ilmanvaihtojärjestelmän mekaanisen puhdistuksen vaikutukset toimistorakennusten tulo- ja sisäilman laatuun, ilmanvaihtuvuuteen sekä kanaviston puhtauteen (osatyö I).
- Tarkastella haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kulkeutumista ilmanvaihtojärjestelmän läpi ja selvittää puhdistuksen vaikutus yhdisteiden esiintymiseen ja pitoisuustasoihin tuloilmassa (osatyö II).
- Tutkia ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen vaikutusta toimistotyöntekijöiden subjektiivisiin kokemuksiin työympäristöolosuhteista ja oireilusta (osatyö III).

4. Aineisto ja menetelmät

4.1 Tutkimusaineisto

Tutkimus koostuu kolmesta osatyöstä, joissa ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen vaikutuksia on arvioitu laajasti objektiivisten mittausten sekä toimistotyöntekijöiden subjektiivisten kokemusten perusteella. Ensimmäisessä osajulkaisussa *The Effect of Duct Cleaning on Indoor Air Quality in Office Buildings* on käsitelty yhteenvedonomaisesti ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen vaikutusta toimistorakennusten sisäilman laatuun, ilmanvaihtuvuuteen sekä kanaviston puhtauteen. Toinen osajulkaisu *The Effect of Air Duct Cleaning on Volatile Organic Compounds in Indoor Air* keskittyy haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin ja puhdistuksen vaikutuksiin pitoisuustasoihin sekä yksittäisten yhdisteiden esiintymiseen. Kolmannessa osajulkaisussa *The Effect of Duct Cleaning on Perceived Work Environment and Symptoms of Office Employees in Non-problem Buildings* käsitellään kanavistojen puhdistuksen vaikutuksia toimistotyöntekijöiden subjektiivisiin kokemuksiin työympäristöstä ja oireilusta.

Tutkimuksen aineisto pohjautuu vuosien 1997–2000 aikana toteutettuihin kenttämittauksiin sekä sisäilmastokyselyyn 15 toimistokiinteistössä, joista kohteet 1–8 sijaitsivat Itä-Suomessa ja kohteet 9–15 pääkaupunkiseudulla (Taulukko 3). Tutkitut toimistot olivat valmistuneet välillä 1971–1993 ja sijaitsivat sekä esikaupunki- että kaupunkialueella. Kohteet valittiin tutkimuksessa mukana olleiden ilmanvaihtojärjestelmien puhdistusyritysten toimeksiantojen joukosta. Valintakriteerien mukaan kohteessa tuli olla koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä eikä kohteessa saanut olla tiedossa merkittäviä sisäilmaongelmia. Jokaisessa tutkitussa kohteessa ilmanvaihtojärjestelmä puhdistettiin ensimmäistä kertaa puhdistuksen määräaikaaisuuteen perustuen.

Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksessa käytettiin kuivaharjaustekniikkaa ja puhdistettava kanaviston osa alipaineistettiin. Tulo- ja poistoilmaventtiilit irrotettiin ja pestiin lämpimällä vedellä ja pesuaineliuksella. Kaikissa rakennuksissa vaihdettiin uudet tuloilmasuodattimet puhdistuksen jälkeen, ja suurimmassa osassa rakennuksista järjestelmän ilmavirrat säädettiin. Kohteissa olleiden hiukkassuodattimien suodatusluokat vaihtelivat välillä EU4–EU8 eikä kohteissa pääsääntöisesti käytetty palautusilmaa (Taulukko 3).

Taulukko 3. Tutkittujen toimistorakennusten ja ilmanvaihtojärjestelmien ominaisuuksia.

Kohde	Rakennusvuosi	Rakennuksen sijainti	Tutkittujen huoneiden määrä	Suodatusluokka	Lämmitys/jäähdytys ³	Palautusilma
1	1978	kaupunki	3	EU4 ²	L	ei
2	1970/1990 ¹	esikaupunki	5	EU6	L,J	ei
3	1980	esikaupunki	5	EU6	L	ei
4	1984	kaupunki	2	EU6	L	ei
5	1991	kaupunki	4	EU7	L	ei
6	1982	kaupunki	3	EU6	L	ei
7	1989	esikaupunki	4	EU6	L	ei
8	1989	esikaupunki	4	EU7	L	ei
9	1982	kaupunki	2	EU8	L	kyllä ⁴
10	1897/1986 ¹	kaupunki	2	EU6	L	ei
11	1982	kaupunki	2	EU7	L	ei
12	1930/1993 ¹	esikaupunki	2	EU7	L	kyllä ⁵
13	1991	kaupunki	2	EU7	L,J	ei
14	1971	esikaupunki	2	EU6	L	ei
15	1964/1990	kaupunki	2	EU7	L	ei

¹Rakennuksen käyttötarkoitus muuttunut, ²Puhdistuksen jälkeen suodatusluokka EU5, ³L = lämmitys, J = jäähdytys, ⁴Palautusilma otettu käyttöön puhdistuksen jälkeen (70 %), ⁵Palautusilma käytössä vain talvella (50–60 %).

Osajulkaisun I aineistona on käytetty sisäilmastomittausten tuloksia kohteissa 1–15 (Taulukko 4). Osajulkaisussa II tarkastellaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksia kohteissa 1–15, mutta yksittäisten yhdisteiden tarkastelu keskittyy kohteiden 1–8 tuloksiin. Osajulkaisussa III aineistona on sisäilmastokyselyn tulokset kohteista 1–3, 7–9, 11–12 ja 14–15.

Taulukko 4. Kohteissa saatujen tulosten hyödyntäminen tulosten analysoinnissa eri osajulkaisuissa.

Julkaissu	Kohde														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
II	x ^{1,2}	x ^{1,2}	x ^{1,2}	x ^{1,2}	x ^{1,2}	x ^{1,2}	x ^{1,2}	x ^{1,2}	x ¹	x ¹	x ¹	x ¹	x ¹	x ¹	x ¹
III	x	x	x	-	-	-	x	x	x	-	x	x	-	x	x

¹TVOC tarkastelussa mukana, ²Yksittäisten yhdisteiden tarkastelussa mukana, – jätetty tarkastelun ulkopuolelle liian alhaisen (< 50 %) kyselyn vastausprosentin vuoksi.

4.2 Sisäilmastomittaukset

Jokaisessa toimistorakennuksessa valittiin kahdesta viiteen huonetta sisäilmastomittauksiin (Taulukko 3), jotka tehtiin muutamaa päivää ennen kanaviston puhdistusta ja vähintään kuukauden kuluttua puhdistuksesta. Keskimääräinen aika mittausten välillä (ennen ja jälkeen puhdistuksen) 15 rakennuksessa oli 5,4 kuukautta. Ulkoilman lämpötila vaihteli mittausten aikana välillä -14 °C – 30 °C ennen puhdistusta ja välillä -16 °C – 26 °C puhdistuksen jälkeen. Suhteellinen kosteus vaihteli vastaavasti välillä 18–85 % ja 25–90 %. Ulko-, tulo- ja sisäilmasta määritettyjä ilman laatuparametrejä olivat hiukkasten massa- ja lukumääräpitoisuus, elinkykyisten mikrobien pitoisuus, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus ja CO_2 -pitoisuus.

Hiukkasten massapitoisuus ilmassa määritettiin gravimetrisesti keräämällä hiukkasnäyte halkaisijaltaan 37 mm:n polykarbonaattisuodattimelle (huokoskoko 0,8 μm) käyttäen avointa suodatinkoteloä. Näytteen keräysaika oli 5–6 tuntia ja käytetty tilavuusvirta oli $20 \pm 5\text{ dm}^3/\text{min}$. Suodattimia vakioitiin vuorokauden ajan vakiokosteushuoneessa ennen alku- ja loppupunnituksia. Punnitukseen käytetyn vaa'an tarkkuus oli 1 μg . Näytteenkeräyksen laaduntarkkailuun käytettiin laboratorio- ja kenttänollanäytteitä. Hiukkasten lukumääräpitoisuus määritettiin kannettavalla optisella hiukkaslaskurilla (Climet-500) kokoluokissa 0,3–0,5; 0,5–1,0; 1,0–5,0; 5,0–10 ja 10–25 μm . Jokaisesta näytteenotopisteestä kerättiin kymmenen peräkkäistä yhden minuutin pituisia näytettä.

Ilman elinkykyisten mikrobien määrä selvitettiin keräämällä 1- tai 6-vaiheisella Andersen-keräimellä näytteet suoraan elatusalustoille. Näytteenkeräysaika oli 5–10 minuuttia ja käytetty tilavuusvirta $28,3\text{ dm}^3/\text{min}$. Homesienille ja hiivoille käytettiin mallasuute- (MEA) ja dikloranglyseroliagar (DG18) ja bakteerit kerättiin tryptoniglukoosihiiwa-agarille (THG). Homealustoja inkuboitiin 7 vuorokautta ja bakteerialustoja 5–14 vuorokautta 25 °C :ssa. Alustoilta määritettiin pesäkkeiden kokonaismäärät ja esiintyneet homesienisuvut.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet kerättiin Tenax-absorptioputkiin käyttäen $0,1\text{ dm}^3/\text{min}$ tilavuusvirtaa ja 60–90 minuutin keräysaikaa. Näytteet analysoitiin kaasukromatografilla, johon oli yhdistetty termodesorbtiolaite ja massaselektiivinen detektor. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä määritettiin tolueeniekvivalentteina väliltä C_6 – C_{16} . Käytetyt analyysilaitteistot ja -menetelmät on kuvattu tarkemmin osajulkaisussa II.

Tuloilmakanavien sisäpintojen pölykertymä määritettiin suodatinmenetelmällä keräämällä pöly 100–200 cm²:n pinta-alalta ennalta punnitulle suodattimelle (huokoskoko 0,8 µm, halkaisija 37 mm, selluloosasekaesteri). Näytteenottoalue vakioitiin sabluunan avulla siten, että sabluunan yksi sivu oli horisontaalisessa suunnassa kanavan leveimmällä kohdalla ja yksi sivu kanavan pohjalla (Pasanen ym. 1992). Suodattimia vakioitiin vuorokauden ajan vakiokosteushuoneessa ennen alku- ja loppupunnituksia. Suodattimet punnittiin koteloineen vaa’alla, jonka punnitustarkkuus oli 0,1 mg. Kanavien puhtautta tarkasteltiin myös silmä määräisesti.

Kohteissa 1–8 kanavistojen sisäpintojen mikrobimäärä selvitettiin sivelynäytteiden avulla. Kohteissa 9–15 mikrobimäärä selvitettiin kanavasta kerätystä pölynäytteestä uuttamalla pöly laimennosliukseen ja viljelemällä näytteet kasvatusalustoille. Käytetyt kasvatusalustat, inkubointiajat ja lämpötilat olivat samat kuin ilmanäytteillä.

Tulo- ja poistoilman tilavuusvirta määritettiin venttiileistä paine-eromittauksella ja venttiilikohtraisen käyrästön avulla. Ilmanjakolaitteille, joille käyrästöä ei ollut saatavilla, ilmavirta määritettiin termoanemometrin ja torven avulla. Kullekin venttiilille mittaukset tehtiin samalla menetelmällä ennen ja jälkeen puhdistuksen. Tutkittujen huoneiden ilmanvaihtokertoimet määritettiin poistoilmavirtojen avulla. Hiilidioksidipitoisuus määritettiin CO₂-mittarilla (Vaisala) käyttäen 5 minuutin mittausaikaa. Lisäksi tutkituista huoneista mitattiin lämpötilat ja suhteelliset kosteudet.

4.3 Sisäilmastokysely

Sisäilmastokysely MM-40-FIN (Andersson 1998) jaettiin kaikille puhdistettavan ilmanvaihtojärjestelmän alueella työskenteleville henkilöille muutamaa päivää ennen puhdistusta ja vähintään kuukauden kuluttua puhdistuksesta. Kysely sisälsi kysymyksiä taustatekijöistä, koetusta työympäristöstä, psykososiaalisista tekijöistä, allergiataustasta ja oireilusta. Kokemuksia työympäristöolosuhteista ja oireilusta kysyttiin asteikolla: ei, ei koskaan; kyllä, joskus; kyllä, joka viikko. Tässä tutkimuksessa analysoitiin ainoastaan työympäristötekijöihin ja työpaikkaan yhdistettyyn oireiluun liittyneet ”kyllä, joka viikko” vastaukset. Kyselyssä käytetyt raportointijaksot olivat kolme kuukautta ennen puhdistusta ja yksi kuukausi puhdistuksen jälkeen.

Sisäilmastokysely jaettiin ennen kanavistojen puhdistusta ja sen jälkeen kaiken kaikkiaan 931 työntekijälle. Osassa kohteista kyselyn vastausprosentti jäi kuitenkin matalaksi, joten kyselyn tulosten analysoinnissa keskityttiin pelkästään kohteisiin 1–3, 7–9, 11–12 ja 14–15, joissa vastausprosentti ennen tai jälkeen kanavistojen puhdistuksen oli yli 50 %.

5. Tulokset

5.1 Sisäilman laatu, ilmanvaihtuvuus ja tuloilmakanaviston hygienia

Tutkittujen toimistojen sisäilman keskimääräinen lämpötila ennen ilmanvaihtojärjestelmien puhdistusta 15 kohteessa oli 22,7 °C ja puhdistuksen jälkeen 22,6 °C (Taulukko 1, I). Suhteellinen kosteus ennen puhdistusta vastaavasti oli 31 % ja puhdistuksen jälkeen 26 %. Keskimääräiset ilmavirrat henkilöä kohden ylittivät 20 dm³/s sekä ennen puhdistusta että sen jälkeen. Ilmavirrat henkilöä kohti vaihtelivat välillä 4,6–65,0 dm³/s ennen puhdistusta ja vastaavasti välillä 6,4–55,0 dm³/s puhdistuksen jälkeen. Keskimääräinen ilmanvaihtokerroin tutkituissa toimistoissa ennen puhdistusta oli 1,7±0,9 1/h ja puhdistuksen jälkeen 2,3±2,1 1/h. Sisäilman keskimääräinen CO₂-pitoisuus ennen puhdistusta oli 504 ppm ja puhdistuksen jälkeen 475 ppm. Ulkoilmasta mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin alle 350 ppm molemmilla mittauskerroilla.

Tuloilman keskimääräinen hiukkasten massapitoisuus oli alle 7 µg/m³ sekä ennen että jälkeen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen ja oli pienempi kuin sisäilmasta (12,0 ± 6,2 µg/m³ ennen puhdistusta, 11,8 ± 6,0 µg/m³ puhdistuksen jälkeen) tai ulkoilmasta (18,9 ± 14,2 µg/m³ ennen puhdistusta, 29,8 ± 30,4 µg/m³ puhdistuksen jälkeen) mitatut pitoisuudet (Taulukko 1, I). Tuloilman hiukkaspitoisuus oli noin 34 % ulkoilmasta mitatusta pitoisuudesta ennen puhdistusta ja noin 23 % ulkoilman pitoisuudesta puhdistuksen jälkeen. Tuloilman < 1 µm:n kokoisten hiukkasten keskimääräinen lukumääräpitoisuus puhdistuksen jälkeen oli 88 % suurempi kuin ennen puhdistusta mitattu pitoisuus. Myös ulkoilmassa havaittiin < 1 µm:n hiukkasten lukumäärän lisääntyneen 144 % ennen puhdistusta mitatusta tasosta. Elinkykyisten sieni-itiöiden ja bakteerien pitoisuudet tuloilmassa olivat yleisesti matalia. Keskimääräiset pitoisuudet olivat alle 60 pmy/m³ sekä ennen että jälkeen puhdistuksen. Ulkoilmasta mitatut sieni-itiö- ja bakteeripitoisuudet vaihtelivat välillä 140–320 pmy/m³.

15 toimiston tuloilmakanavistosta otettiin yhteensä 61 pölykertymänäytettä ennen kanavistojen puhdistusta ja 51 näytettä puhdistuksen jälkeen. Pölykertymänäytteiden vaihteluväli oli 0,7–47,0 g/m² ennen puhdistusta ja vastaavasti < 0,1–8,8 g/m² puhdistuksen jälkeen. Keskimääräinen pölykertymä tuloilmakanavissa ennen kanavien puhdistusta oli 8,4 ± 9,1 g/m² ja se väheni arvoon 1,9 ± 2,1 g/m²

puhdistuksen myötä. Keskimääräinen tuloilmakanavistojen mikrobikertymä väheni puhdistuksen seurauksena. Elinkykyisten sieni-itiöiden määrä väheni noin 70 % mallasuutealustalla ja noin 90 % dikloranglyserolialustalla (Taulukko 1, I).

5.2 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

5.2.1 Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet

Ulko-, tulo- ja sisäilmasta mitatut haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksien (TVOC) geometriset keskiarvot olivat yleisesti matalia (Taulukko 2, II). Keskimääräinen tuloilman TVOC-pitoisuus ennen kanavistojen puhdistusta oli $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joka oli pienempi kuin sisäilmasta ($88 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja ulkoilmasta ($66 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mitatut pitoisuudet. Kanavistojen puhdistuksen jälkeen tuloilman ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja ulkoilman ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$) TVOC-pitoisuudet olivat samalla tasolla, mutta sisäilmanpitoisuus ($54 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli korkeampi. Suurin hajonta mitatuissa TVOC-pitoisuuksissa havaittiin tuloilmanäytteissä sekä ennen että jälkeen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen.

Ulko- ja tuloilman TVOC-pitoisuudet eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti merkittävästi ennen ($p = 0,290$) tai jälkeen ($p = 0,950$) ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen. Sen sijaan sisäilman TVOC-pitoisuudet poikkesivat tilastollisesti merkittävästi ($p = 0,002$) tuloilman pitoisuuksista sekä ennen että jälkeen puhdistuksen. Tuloilman TVOC-pitoisuus oli puhdistuksen jälkeen tilastollisesti merkitsevästi pienempi ($p = 0,044$), mutta myös ulkoilman TVOC-pitoisuus oli vastaavasti pienentynyt tilastollisesti merkitsevästi ($p = 0,033$). Tilastollisesti tarkasteluna suurin muutos havaittiin sisäilman pitoisuuksissa ($p = 0,006$).

Ulkoilman kemiallisten yhdisteiden kulkeutumista ilmanvaihtojärjestelmien läpi selvitettiin rakennuksittain (kuva 1, II). Seitsemässä rakennuksessa tuloilman ja ulkoilman TVOC-pitoisuuksien avulla laskettu erotus (tuloilma – ulkoilma) oli negatiivinen ennen kanavistojen puhdistusta, joka osoitti TVOC-pitoisuuden pienentyneen, kun ulkoilma oli kulkenut ilmanvaihtojärjestelmän läpi. Kahdeksassa rakennuksessa TVOC-pitoisuus puolestaan suureni ilman kulkiessa järjestelmän läpi ennen puhdistusta, mutta pitoisuudet kasvoivat pääasiassa vain noin $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kolmessa rakennuksessa TVOC-pitoisuus laski sekä ennen että jäl-

keen puhdistuksen ja vastaavasti kasvoi neljässä rakennuksessa, kun ulkoilma kulki ilmanvaihtojärjestelmän läpi.

Tuloilmakanavistojen sisäpinoilla olleen pölyn vaikutusta kemiallisten yhdisteiden adsorbtiioon ja desorbtiioon selvitettiin korrelaatiotarkastelulla (kuva 2, II). Tuloilmakanavistojen sisäpinnan keskimääräisen pölykertymän sekä tuloilman ja ulkoilman TVOC-pitoisuuksien avulla lasketun TVOC-erotuksen (tuloilma-ulkoilma) välillä ei havaittu lineaarista korrelaatiota ennen tai jälkeen kanavistojen puhdistuksen. Tuloilmakanavistojen keskimääräinen pölykertymä vaihteli välillä 1,8–19,2 g/m² ennen kanavistojen puhdistusta. Puhdistuksen jälkeen keskimääräinen pölykertymä kaikissa rakennuksissa oli alle 4,8 g/m².

5.2.2 Yhdisteryhmät ja yksittäiset yhdisteet

Alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt olivat yleisimmät ulko-, tulo- sekä sisäilmasta löytyneet yhdisteryhmät sekä ennen että jälkeen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen (kuva 3, II). Tuloilman koostumuksen havaittiin seuraavan ulkoilman koostumusta. Sisälähteiden vaikutus sisäilman koostumukseen havaittiin erityisesti alifaattisten hiilivetyjen osalta. Yhden tutkitun rakennuksen yksi tuloilmanäyte sisälsi ennen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistusta korkean pitoisuuden kahta alifaattista hiilivetyä; metyyliisyklopentaania (237 µg/m³) ja sykloheksaania (113 µg/m³), joita ei löytynyt vastaavista sisäilma- ja ulkoilmanäytteistä. Näiden kahden yhdisteen pitoisuudet jätettiin osajulkaisun II kuvan 3 aineiston ulkopuolelle.

Rakennuksissa 1–8 tarkasteltiin ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen vaikutusta yksittäisten hiilivetyjen esiintymiseen ja pitoisuustasoihin. Ulkoilmanäytteissä esiintyi kaikkiaan 34 erilaista yhdistettä ennen puhdistusta ja 35 yhdistettä puhdistuksen jälkeen. Tuloilmanäytteiden koostumus oli vaihtelevampi sisältäen 55 erilaista yhdistettä ennen puhdistusta ja 46 yhdistettä puhdistuksen jälkeen. Eniten yhdisteitä esiintyi sisäilmassa: 58 ennen puhdistusta ja 56 puhdistuksen jälkeen. Ennen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistusta 71 % ulkoilmassa esiintyneistä yhdisteistä havaittiin myös tulo- ja sisäilmassa. Puhdistuksen jälkeen 60 % ulkoilman yhdisteistä esiintyi myös tulo- ja sisäilmassa. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuustasot olivat yleisesti matalia, ja geometriset keskiarvopitoisuudet olivat yleensä alle 58 µg/m³ lukuun ottamatta kahta aiemmin mainittua poikkeusta.

Yksittäisten yhdisteiden käyttäytymistä ilmanvaihtojärjestelmässä sekä puhdistuksen vaikutusta pitoisuuksiin selvitettiin 18 tuloilmanäytteissä yleisimmin esiintyneen yhdisteen osalta (Taulukko 3, II). Tuloilman sisältämät yhdisteet löytyivät pääosin myös ulkoilmasta. Poikkeuksen muodostivat undekaani ja dodekaani, joita löytyi kolmen eri rakennuksen tuloilmasta puhdistuksen jälkeen, mutta ei kyseisten kohteiden ulkoilmasta. Adsorbtiota ja desorbtiota yhdistetäsoilla tarkasteltiin tuloilma-ulkoilmasuhteen avulla (S/O-ratio). 18:sta valitusta yhdisteestä kahdeksan yhdisteen osalta tuloilma-ulkoilmasuhde oli suurempi tai yhtä suuri kuin 1 ja kymmenen yhdisteen osalta pienempi kuin 1 ennen kanavistojen puhdistusta. Puhdistuksen jälkeen suurimmalla osalla yhdisteistä S/O-suhde oli suurempi tai yhtä suuri kuin 1. Suurimmat S/O-suhteet puhdistuksen jälkeen havaittiin etyylibentseenillä, etikkahapon butyyliesterillä ja β -pineenillä. Lukua 1 suurempi S/O-suhde viittaa desorbtiioon ja vastaavasti alle 1 oleva S/O-suhde adsorbtiioon ilman kulkiessa ilmanvaihtojärjestelmän läpi.

5.3 Työympäristötekijät ja oireilu

5.3.1 Taustatekijät, koettu työympäristö ja oireilu

Sisäilmastokyselyyn vastasi ennen puhdistusta 410 (64 %) henkilöä ja puhdistuksen jälkeen 389 (60 %) henkilöä. Ennen ja jälkeen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen vastanneet työntekijäryhmät eivät eronneet toisistaan keski-ikä, sukupuolijakauman, tupakoitsijoiden määrän tai atooppisten taipumusten suhteen (Taulukko 4, III). Myöskään psykososiaalisessa työympäristössä ei ollut tapahtunut muutosta puhdistuksen aikana. Sisäilmastomittausten mukaan tulo- ja sisäilman laatu oli hyvä jo ennen puhdistusta eikä ilman laadussa näin ollen tapahtunut mittauksin havaittavaa muutosta puhdistuksen seurauksena (Taulukko 3, III).

Kolme yleisintä työympäristötekijää ennen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistusta, joista koettiin olevan haittaa viikoittain, olivat tunkkainen ilma (33 %), kuiva ilma (27 %) ja havaittava pöly ja lika (21 %) (kuva 1, III). Seitsemän työympäristötekijän raportoitiin aiheuttavan vähemmän viikoittaista haittaa puhdistuksen jälkeen kuin ennen puhdistusta, ja viisi näistä muutoksista oli tilastollisesti merkittäviä. Suurin ja tilastollisesti merkitsevin muutos havaittiin ilman tunkkaisuuden kokemisen osalta ($p < 0,001$). Valitusten määrä väheni tilastollisesti merkittävästi myös heikon valaistuksen tai häikäisyn osalta ($p < 0,01$), kuivan ilman

($p < 0,01$), havaittavan pölyn ja lian ($p = 0,02$) sekä epämiellyttävän hajun kokemisen osalta ($p = 0,02$).

Yleisimmät työhön liitetyt oireet ennen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistusta, joista koettiin olevan haittaa joka viikko, olivat nenän ärsytysoireet (24 %), silmien ärsytysoireet (17 %) ja kasvojen ihon kuivuus (15 %) (kuva 2, III). Tilastollisesti merkittävin muutos viikoittain koetuissa työpaikkaan yhdistetyissä oireissa havaittiin nenän ärsytysoireiden osalta ($p < 0,01$). Keskittymisvaikeuksia ($p < 0,01$) ja päänanhan tai korvalehtien hilseilyä ($p < 0,01$) raportoitiin myös tilastollisesti merkittävästi vähemmän puhdistuksen jälkeen. Valitusten määrä väheni myös kasvojen ihon kuivuuden ($p = 0,02$), päänsäryn ($p = 0,02$), pään raskaalta tuntumisen ($p = 0,03$), ja äänen käheyden tai kurkun kuivuuden ($p = 0,03$) osalta.

5.3.2 Korrelaatio tuloilmakanaviston puhtauden, työolosuhteiden ja oireilun välillä

Tuloilmakanavistojen sisäpintojen pölykertymä korreloi positiivisesti ($p < 0,05$) nenän ärsytysoireiden kanssa ja negatiivisesti ($p < 0,05$) keskittymisvaikeuksien kanssa ennen kanavistojen puhdistusta (Taulukko 5, III). Puhdistuksen jälkeen korrelaatiota ei havaittu kyseisten tekijöiden välillä. Tunkkaisen ilman kokemisen ja päänanhan tai korvalehtien hilseilyn sekä pölykertymän välillä ei havaittu selvää yhteyttä.

Nenän ärsytysoireita raportoitiin eniten rakennuksissa, joissa tuloilmakanavistojen sisäpinnan pölykertymä ylitti 15 g/m^2 ennen kanavistojen puhdistusta (kuva 3, III). Puhdistuksen jälkeen nenän ärsytysoireita raportoi pääasiassa alle 20 % työntekijöistä. Puhdistuksen jälkeen tutkittujen toimistojen tuloilmakanavistojen pölykertymät olivat alle 4 g/m^2 .

5.3.3 Tulosten vertaaminen vertailuaineistoon

Sisäilmastokyselyn tuloksia verrattiin vertailuaineistoon ($n = 11\,154$), joka pohjautuu Uudenmaan aluetyöterveyslaitoksen sisäilmatutkimuksiin 122 suomalaisella työpaikalla vuosien 1996–1999 aikana (Sundman-Digert ja Reijula 2002). Tässä tutkimuksessa yleisimmin raportoidut työympäristötekijät olivat yhtä ylei-

sesti raportoituja myös vertailuaineistossa (Taulukko 6, III). Havaittuun pölyyn ja likaan liittyvät valitukset olivat yhtä yleisiä kuin vertailuaineistossa, mutta tunkkaista ilmaa ja kuivaa ilmaa raportoitiin tässä tutkimuksessa hiukan vähemmän. Kaksi yleisimmin raportoitua työpaikkaan yhdistettyä oiretta sekä tässä tutkimuksessa ennen kanavien puhdistusta että vertailuaineistossa olivat nenän ja silmien ärsytysoireet (Taulukko 7, III). Silmien ärsytysoireita raportoitiin tutkituissa toimistoissa yhtä paljon kuin vertailuaineistossa, mutta nenän ärsytysoireet olivat yleisempiä tämän tutkimuksen toimistoissa. Pään raskaalta tuntuminen, pahoinvointi, keskittymisvaikeudet, kurkun käheys tai kuivuus, yskä, kasvojen ihon kuivuus ja päänahan tai korvanlehtien hilseily olivat hiukan yleisempiä tässä tutkimuksessa vertailuaineistoon verrattuna. Kanavistojen puhdistuksen jälkeen kaikkia työympäristötekijöitä ja työhön liitettyjä oireita raportoitiin vähemmän kuin vertailuaineistossa.

6. Tulosten tarkastelu

6.1 Puhdistuksen vaikutus sisäilman laatuun, ilmanvaihtuvuuteen ja kanaviston hygieniaan

Tutkittujen toimistojen sisäilman lämpötilat olivat yleisesti melko korkeita. Reinikaisen ja Jaakkolan (2001) tutkimuksessa havaittiin, että 22 °C ylittävät lämpötilat lisäävät kuivuuden kokemista ja kuivuuteen liittyvää oireilua. Keskimääräinen ilmavirta ylitti selvästi ilmanvaihdon vähimmäismääräykset (Ympäristöministeriö 2003) ja oli yli 20 dm³/s henkilöä kohden sekä ennen että jälkeen ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen. Ilmavirtojen säätö pääasiassa lisäsi tutkittujen huoneiden ilmavirtoja. Ilmavirroissa havaittiin kuitenkin suurta vaihtelua tutkittujen huoneiden välillä jopa saman rakennuksen sisällä. Ilmavirrat henkilöä kohti vaihtelivat välillä 4,6–65,0 dm³/s ennen puhdistusta ja vastaavasti välillä 6,4–55,0 dm³/s puhdistuksen jälkeen. Ilmavirrat olivat 50 %:ssa mitausta huoneista alle 20 dm³/s ennen puhdistusta. Puhdistuksen ja ilmavirtojen säätötyön jälkeen enää 33 %:ssa huoneista ilmavirrat olivat alle 20 dm³/s. Helsingiläisten toimistojen ilmanvaihtoa selvittäneessä tutkimuksessa (n = 33) keskimääräinen ilmavirta henkilöä kohti oli 17,2 dm³/s. Tässäkin tutkimuksessa toimistojen välillä havaittiin suurta vaihtelua ilmavirroissa, ja useat työntekijät työskentelivät huoneissa, joissa ilmavirrat eivät olleet määräysten mukaan riittävät (Teijonsalo ym. 1996).

Tutkittujen toimistojen tulo- ja sisäilman hiukkasten, mikrobien ja CO₂:n pitoisuudet olivat matalia ja samalla tasolla aiempien toimistorakennusten sisäilmaa selvittäneiden tutkimusten kanssa (Bluyssen ym. 1996). Alle 1 µm:n hiukkasten lukumääräpitoisuus tuloilmassa oli korkeampi puhdistuksen jälkeen, mutta vastaavasti myös ulkoilman < 1 µm:n hiukkasten lukumääräpitoisuus oli korkeampi. Kulp ym. (1997) havaitsivat kanavien puhdistustutkimuksessaan ulkoilman hiukkaspitoisuuden kohoamisen vaikuttavan myös sisäilman hiukkaspitoisuuksiin. Erityisesti pienten hiukkasten ulko-sisäsiirtymä on merkittävää käytetyllä suodatustekniikalla (Jamriska ym. 1999; Jamriska ym. 2000). Toisaalta uusien tuloilmasuodattimien vaihtaminen kanaviston puhdistuksen jälkeen on saattanut vaikuttaa hiukkasten lukumääräpitoisuuteen, sillä uusien suodattimien ei ole todettu olevan yhtä tehokkaita kuin käytettyjen (Ottney 1993).

Tuloilmakanavien sisäpinnan pölykertymän havaittiin vähentyneen arvosta $8,4 \pm 9,1$ tasolle $1,9 \pm 2,1$ g/m². Puhdistus alensi keskimääräistä pölykertymää alle neljäsosaan alkuperäisestä, mutta puhdistuksella ei kuitenkaan saavutettu kaikissa kohteissa uusilta ilmanvaihtojärjestelmiltä vaadittavaa puhtaustasoa (Sisäilmayhdistys 2001). Suomalaisen ym. (1998) tutkimuksessa tuloilmakanavien sisäpinnoilta puhdistuksen jälkeen mitatut pölykertymät vaihtelivat välillä 0,1–1,9 g/m². Vastaavasti keskimääräinen mikrobikertymä kanavistojen pinnalla väheni, ja tulos on samansuuntainen kuin aiemmissa tutkimuksissa (Collet ym. 1999).

6.2 Puhdistuksen vaikutus haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin

Tulo- ja sisäilmasta mitatut TVOC-pitoisuudet olivat ennen ja jälkeen kanavistojen puhdistuksen selkeästi alle Sisäilmastoluokitus 2000:n (Sisäilmayhdistys 2001) S1-luokalle asetetun tavoitearvon 200 µg/m³. Tuloilman TVOC-pitoisuus ennen kanavistojen puhdistusta oli matalampi kuin vastaava ulkoilman pitoisuus, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Puhdistuksen jälkeen tulo- ja ulkoilman pitoisuudet olivat samalla tasolla. Ulkoilman TVOC-pitoisuuden pienentyminen havaittiin myös aiemmassa suomalaisessa kanaviston puhdistustutkimuksessa, kun ilma kulki ilmanvaihtojärjestelmän läpi (Holopainen 1998). Samassa tutkimuksessa toisessa tutkituista rakennuksista yhdisteitä jäi edelleen kanavistoon puhdistuksen jälkeen, mutta toisessa kiinteistössä ulkoilman ja tuloilman pitoisuudet olivat lähes samalla tasolla.

Puhdistuksen jälkeen tuloilman TVOC-pitoisuus oli matalampi kuin ennen puhdistusta mitattu pitoisuus. Saman suuntaisiin tuloksiin päädyttiin myös kahdessa japanilaisessa tutkimuksessa, joissa selvitettiin kanavistojen puhdistuksen vaikutusta TVOC-pitoisuuksiin (Ishikawa ym. 1996; Kumagai ym. 1994). Verrattaessa tuloilmasta ennen puhdistusta sekä sen jälkeen mitattuja pitoisuuksia toisiinsa täytyy huomioda se, että tuloilma koostuu ulkoilmasta ja muutokset ulkoilman koostumuksessa todennäköisesti vaikuttavat myös tuloilman koostumukseen. Ekberg (1994) havaitsi ulkoilman TVOC-pitoisuuksissa huomattavaa muuttumista ajan suhteen. Liikenne nosti TVOC-pitoisuutta ja muutos ulkoilman pitoisuudessa heijastui myös sisälle. Ulkoilman vaikutus sisäilman pitoisuuksiin havaittiin myös Bluysenin ym. tutkimuksessa (1995). Tutkittujen rakennusten sisäilman keskimääräiset pitoisuudet ennen ja jälkeen kanavistojen puhdistuksen

olivat korkeammat kuin tuloilman pitoisuudet. Korkeampi sisäilman pitoisuus viittaa sisälähteistä, kuten rakennusmateriaaleista (Bluyssen ym. 1995), toimistolaitteista (Black ja Worthan 1999; Bakó-Biró ym. 2002) ja ihmisen toimista (Hodgson ym. 1991a), peräisin oleviin emissioihin.

Ulkoilman kemiallisten yhdisteiden kulkeutumista ilmanvaihtojärjestelmien läpi selvitettiin rakennuksittain. TVOC-pitoisuuksissa ei havaittu säännönmukaista käyttäytymistä 15 tutkitussa rakennuksessa ulkoilman kulkiessa ilmanvaihtojärjestelmän läpi. TVOC-pitoisuuden pienentyminen rakennuksissa 5, 7 ja 14 ennen ilmanvaihtojärjestelmien puhdistusta ja rakennuksessa 12 puhdistuksen jälkeen olivat seurausta ulkoilman keskimääräistä korkeammasta pitoisuudesta. Rakennuksessa 9 tuloilman TVOC-pitoisuus nousi huomattavasti puhdistuksen jälkeen. Syynä tähän oli palautusilman käyttöönotto puhdistuksen jälkeen.

Tuloilmakanavien sisäpinnalle kertyneen pölyn ja TVOC-pitoisuuksien erotuksen (tuloilma-ulkoilma) välillä ei havaittu korrelaatiota. Tämä viittaa siihen, ettei ilmanvaihtojärjestelmässä oleva pöly merkittävästi adsorboi tai desorboi orgaanisia yhdisteitä muuttumattomina pysyvissä olosuhteissa. Holopaisen (1998) tutkimuksessa puolestaan havaittiin sekä likaisen että puhdistetun, öljyttömän suorakaidekanavan adsorboivan TVOC-yhdisteitä. Korkea pölykertymä ennen kanavistojen puhdistusta viittaa karkeaan ja epäorgaaniseen, rakennusajalta peräisin olevaan pölyyn (Pasanen 1998). Ennen kanavistojen puhdistusta joissakin pölynäytteissä havaittiin metallijauhetta, joka oli peräisin asennusajalta. Epäorgaanisen ja karkean pölyn adsorbtiokapasiteetti on alhainen, joten kemialliset reaktiot pölyn ja kaasumaisten yhdisteiden välillä ovat epätodennäköisiä (Hyttinen ym. 2001). Nielsen työryhmineen (1990) havaitsi, että kanavapölyn aiheuttama hajuemissio ja kemiallisten yhdisteiden (TVOC) emissio oli vähäinen, kun pöly oli kuivaa ja ilmanvaihto toiminnassa. Emissioita saattaa kuitenkin tapahtua, jos esimerkiksi suhteellinen kosteus nousee äkillisesti (Hyttinen ym. 2001). Ilmanvaihtokoneen pysäyttämisen on havaittu nostavan TVOC-pitoisuutta (Mølhav ja Thorsen 1991). Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Andersson ym. 1996) on havaittu ilmanvaihtojärjestelmässä tapahtuvien kemiallisten reaktioiden olevan mahdollisia, erityisesti jos otsonia on läsnä. Näiden reaktioiden seurauksena saattaa syntyä hapetustuotteita, jotka eivät ole havaittavia käytössä olleella analyysimenetelmällä.

Alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt olivat yleisimmin ulko-, tulo- ja sisäilmassa esiintyneet yhdisteryhmät sekä ennen että jälkeen ilmanvaihtojärjestelmän puh-

distuksen. Aromaattiset hiilivedyt ovat tyypillisiä liikenneperäisiä yhdisteitä. Tuloilman kemiallisen koostumuksen havaittiin seuraavan ulkoilman koostumusta. Siksi onkin tärkeää sijoittaa ulkoilman sisäänottoaukko riittävän kauas liikenne- ym. päästöistä. Sisälähteistä peräisin olevat emissiot nostivat sisäilman pitoisuutta, ja erityisesti sisälähteiden vaikutus havaittiin alifaattisten hiilivetyjen suhteen, joiden tyypillisiä lähteitä ovat muun muassa maalit ja liimat (Wallace 2001).

Tuloilmassa esiintyi sekä ennen että jälkeen puhdistuksen enemmän yksittäisiä yhdisteitä kuin ulkoilmassa. Kanavien sisäpinnalla oleva pöly saattoi toimia tilapäisesti yhdisteiden vähäisenä lähteenä, tai pölykerros osallistui kemiallisiin reaktioihin vaikkakin näiden emissioiden vaikutus on TVOC-pitoisuuden kannalta merkityksetön. Toisaalta ilmanvaihtojärjestelmissä käytettävien tiivisteiden, tiivistysaineiden ja kanavaeristeiden on todettu olevan joidenkin kemiallisten yhdisteiden lähteitä (Morrison ym. 1998). Käytettyjen suodattimien on myös todettu toimivan kemiallisten emissioiden lähteenä (Pasanen 1998; Schleibinger ja Rüden 1999; Hyttinen ym. 2001). Puhdistuksen jälkeen yksittäisten yhdisteiden lukumäärä väheni, joka saattaa osittain selittyä uusien tuloilmasuodattimien vaihtamisella.

Tutkitut ilmanvaihtojärjestelmät toimivat kahdeksan yhdisteen lähteenä ennen puhdistusta. Näistä yhdisteitä oktanaalia, undekaania ja dodekaania on havaittu emittoituvan ilmanvaihtojärjestelmästä kerätystä pölystä (Fransson ym. 1995). Ilmanvaihtojärjestelmän emittoimien yhdisteiden lukumäärä lisääntyi puhdistuksen jälkeen, ja emissiota havaittiin erityisesti etyylibentseenin, etikkahapon butyyliesterin ja β -pineenin osalta. Emissioiden lisääntyminen puhdistuksen jälkeen saattaa viitata siihen, että ilmanvaihtojärjestelmien sisäpinnoilla ennen puhdistusta ollut pölykertymä suojaasi öljyisiä pintoja sekä tiivistyskittejä ja rajoitti siten niiden emissioita. Morrison työryhmineen (1998) havaitsi uusien, pölyttömien tiivisteiden, tiivistysaineiden ja kanavaeristeiden aldehydien emissionopeuden kasvavan, kun kyseiset materiaalit joutuivat tekemisiin otsonin kanssa. Toisaalta undekaanin ja dodekaanin esiintyminen tuloilmanäytteissä puhdistuksen jälkeen saattaa viitata siihen, etteivät kanavistot olleet puhdistuneet riittävästi. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat joka tapauksessa erittäin matalia, mutta saattavat silti aiheuttaa epämiellyttäviä hajuja tuloilmaan.

6.3 Puhdistuksen vaikutus työympäristöön ja oireiluun

Ennen ja jälkeen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen sisäilmastokyselyyn vastanneet työntekijäryhmät olivat samanlaisia taustatekijöiden ja psykososiaalisen työympäristön suhteen, mutta heinänuhaa ja ihottumaa esiintyi hiukan vähemmän puhdistuksen jälkeen vastanneiden työntekijöiden joukossa. Todennäköisin syy tähän on se, että osittain eri henkilöt vastasivat kyselyyn ennen kanavistojen puhdistusta kuin sen jälkeen. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että sukupuolella, allergiataipumuksilla ja psykososiaalisilla tekijöillä on vaikutusta raportoituun oireiluun ja valitukseen työympäristötekijöistä (Zweers ym. 1992; Mendell 1993; Lahtinen ym. 2002; Sundman-Digert ja Reijula 2002).

Aiemmissa ilmanvaihtojärjestelmien puhdistustutkimuksissa ei kanavistojen puhdistuksella ole havaittu olevan vaikutusta oireisiin (Raw ym. 1993; Holopainen ym. 1999a). Tämä tutkimus osoitti, että kanavistojen puhdistuksen myötä työympäristötekijöihin ja oireiluun liittyvät valitukset vähenivät. Merkittävimmät muutokset työympäristötekijöiden suhteen havaittiin tunkkaisen ilman kokemisen, nenän ärsytysoireiden, keskittymisvaikeuksien ja päänahan tai korvanlehtien hilseilyn osalta. Mielenkiintoinen tulos oli, että työntekijät kokivat parannusta valaistuksessaakin, vaikka mitään puhdistustyötä tai säätöä valaisimiin ei kohdistettu.

Ennen kanavistojen puhdistusta tuloilmakanavistojen sisäpinnalla olevan pölykertymän ja nenän ärsytysoireiden välillä havaittiin voimakas korrelaatio. Kun kanavisto oli puhdistettu, myös nenä-ärsytys oli vähäisempää. Samansuuntaiseen tulokseen päätyi myös Sieber (1996) työryhmineen, joka havaitsi, että ilmanvaihtojärjestelmän likaisuudella on yhteys lisääntyneeseen oireiluun. Toisaalta kansainvälisessä asiantuntijatapaamisessa on päädytty esittämään, että syy-yhteyttä oireilun ja ilmanvaihtojärjestelmän likaisuuden välillä ei ole pystytty selkeästi vahvistamaan (Pasanen ym. 2000).

Sisäilmastokyselyn tulosten vertaaminen vertailuaineistoon (Sundman-Digert ja Reijula 2002) osoitti, että työympäristötekijöistä valitukset liittyen havaittuun likaan ja pölyyn ja suurin osa työhön liitetyistä oireista ennen kanavistojen puhdistusta olivat tässä tutkimuksessa yhtä yleisiä kuin vertailuaineiston sisäilma-ongelmakohteissa. Tämän perusteella voidaan päätellä, että myös ongelmattomissa kohteissa oireilu voi olla yllättävän yleistä. Ei-ongelmaisten rakennusten osalta on päädytty samansuuntaisiin tuloksiin aiemminkin Yhdysvalloissa teh-

dyssä tutkimuksessa (Nelson ym. 1995). Toisaalta toimistojen työntekijät olivat kyselyyn vastaamishetkellä tietoisia tulevasta kanavistojen puhdistusoperaatiosta ja saattoivat siten raportoida oireilevansa enemmän (Mikatavage ym. 1995).

6.4 Tulosten edustavuuteen ja luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä

Tässä tutkimuksessa sisäilmastomittaukset pyrittiin toteuttamaan tavanomaisissa toimistotyöhuoneissa. On kuitenkin mahdollista, että epäpuhtauksien esiintyminen huoneiden välillä saattoi vaihdella, ja tutkittujen huoneiden tilanne ei vastannut kyseisen työpaikan keskimääräistä tilannetta. Mittaukset kuitenkin tehtiin samoissa tiloissa samoilla menetelmillä sekä ennen että jälkeen puhdistuksen. Sisäilmamittaukset toteutettiin mitattujen huoneiden lukumäärästä riippuen joko yhden tai kahden päivän aikana. Näytteenkeräysajat olivat tyypillisiä sisäilmastomittauksissa käytettäviä aikoja, mutta saattoivat kuitenkin olla liian lyhyitä kuvaamaan esim. kemiallisten yhdisteiden käyttäytymistä ilmanvaihtojärjestelmässä tai huomioimaan ulkoilman pitoisuuksissa tai koostumuksessa tapahtuneita muutoksia. Tulosten edustavuus kemiallisten ja mikrobiologisten näytteiden sekä hiukkasten lukumääräpitoisuuksien osalta olisi parantunut, mikäli näytteet olisi käytännössä ollut mahdollista kerätä yhtä aikaa ulko-, tulo- ja sisäilmasta.

Sisäilmamittausten mukaan ilman laatu oli yleisesti hyvä, mutta kuitenkin työntekijät oireilivat yllättävän paljon ennen puhdistusta. Työntekijöiden mielikuva ilman laadusta on todennäköisesti ”summa” tietyn aikavälin kokemuksista. Sisäilmamittaukset tehtiin pääasiassa yhden päivän aikana, ja siten saattaa olla mahdollista, että tilanne ei vastannut tyypillistä tilannetta. Tämä harha on yleinen tutkimusasetelmissa, joihin sisältyy runsaasti työtä vaativia mittauksia ja pidemmällä aikavälillä tapahtuvaa terveystietojen keruuta (Schneider ym. 2002). Tutkimuksessa ei ollut mukana ongelmarakennuksia, koska huolestuminen terveydestä saattaa lisätä oireiden raportointia ja vaikuttaa siten tulosten luotettavuuteen. Sekä ennen että jälkeen puhdistuksen 31 % työntekijöistä ei vastannut kyselyyn. On mahdollista, että vastaamatta jättäneet henkilöt olivat terveempiä eivätkä siten katsoneet tarpeelliseksi vastata kyselyyn. Toisaalta osa eniten oireilevista henkilöistä voi olla poissa kyselyn tekemisajankohtana (Coggon ym. 1997; Hernberg 1998).

Sisäilmastokysely toteutettiin noin kuukausi kanavistojen puhdistuksen jälkeen. Työntekijät ovat mahdollisesti voineet aliarvioida työhön liittyneitä oireita puhdistustyön aiheuttaman positiivisen psykologisen vaikutuksen vuoksi. Jotta tämäntyyppiset psykologiset vaikutukset voidaan välttää, ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen vaikutusten seuranta-aika täytyy olla pidempi. Tässä tutkimuksessa kyselyn vastauksia ei ollut mahdollista analysoida yksilötasolla, joten osittain eri työntekijät ovat todennäköisesti vastanneet kyselyyn ennen ja jälkeen kanavistojen puhdistuksen. Ryhmätasolla tarkasteltuna ryhmät kuitenkin olivat samantaisia taustatekijöiden suhteen. Tutkimuksen validiteetti olisi lisääntynyt, mikäli tarkastelu olisi voitu tehdä yksilötasolla, jolloin osa sekoittavista tekijöistä olisi voitu eliminoida, kun esimerkiksi persoonallisuuden ja työhön liittyvät tekijät olisivat pysyneet vakiona.

Vaihtoehtoinen tapa tarkastella kanavistojen puhdistuksen vaikutuksia on kaksoissokkokontrolloitu interventio, jossa on mukana interventioryhmä ja kontrolliryhmä. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä kanavistojen puhdistus on laaja operaatio, jota on vaikea olla huomaamatta. Tämän lisäksi mittaukset ja kysely tulisi toteuttaa samana vuodenaikana, jolloin vuodenaikaisvaihtelun aiheuttama vaikutus voitaisiin eliminoida.

7. Johtopäätökset

Tutkimus osoitti, että kanavistojen puhdistuksen vaikutuksia tulo- ja sisäilman laatuun on vaikea osoittaa mittauksin sisäilmaongelmattomissa kiinteistöissä. Toimistojen tulo- ja sisäilman laatu oli tavoitearvoihin verrattuna hyvä jo ennen puhdistusta ja ilmavirtojen säätöä eikä puhdistuksella havaittu merkittävää vaikutusta hiukkasten, mikrobien tai CO₂-pitoisuuksiin. Tutkittujen toimistojen keskimääräiset ilmavirrat ylittivät selvästi ilmanvaihdon vähimmäismääräykset ja olivat yli 20 dm³/s henkilöä kohden jo ennen puhdistusta. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistus ja säätö pääasiassa lisäsivät ilmanvaihtuvuutta. Huoneiden välillä havaittiin suuria eroja ilmavirroissa, jopa saman rakennuksen sisällä. Käytetty kanaviston puhdistusmenetelmä oli tehokas, koska tuloilmakanavien sisäpinoilta mitattu pölykertymä väheni huomattavasti. Pölyn ohella kanavien mikrobikertymä väheni.

Tulo- ja sisäilman TVOC-pitoisuudet olivat selvästi alle Sisäilmastoluokitus 2000:n S1-luokan tavoitearvon sekä ennen että jälkeen kanavistojen puhdistuksen ja ilmavirtojen säädön. Tuloilman TVOC-pitoisuus oli 31 % pienempi puhdistuksen jälkeen, mutta tämä johtui todennäköisesti muutoksista ulkoilman TVOC-pitoisuuksissa; tuloilman TVOC-pitoisuus ei poikennut tilastollisesti merkittävästi ulkoilman pitoisuudesta ennen tai jälkeen kanavistojen puhdistuksen. Myös tuloilman koostumus seurasi pääasiassa ulkoilman koostumusta. Tuloilmakanavien sisäpintojen pöly ei merkittävästi adsorboinut tai desorboinut kemiallisia yhdisteitä. Ilmanvaihtojärjestelmä osoittautui joidenkin yksittäisten yhdisteiden lähteeksi ja joidenkin yhdisteiden emissio oli hiukan voimakkaampi puhdistuksen jälkeen, mutta pitoisuustasot olivat kuitenkin matalia.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksella oli myönteinen vaikutus työntekijöiden kokemaan työympäristöön ja oireiluun tutkimuksen kohteena olleissa toimistoissa. Työntekijät kokivat työympäristöolosuhteet puhdistuksen jälkeen paremmiksi useimpien tekijöiden suhteen, mutta tilastollisesti merkittävimmät muutokset havaittiin tunkkaisen sekä kuivan ilman kokemisen osalta. Myös työntekijöiden oireilu väheni ja tilastollisesti merkittävimmät muutokset oireissa havaittiin nenä-äräytysoireiden ja keskittymisvaikeuksien osalta. Tutkitut toimistot sijaitsivat sisäilmaongelmattomissa kiinteistöissä, mutta silti oireita raportoitiin yllättävän yleisesti.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen ja säädön vaikutuksia tulo- ja sisäilman laatuun on vaikea osoittaa mittauksin, joten työntekijöiden raportoimat tunteukset ja oireet jäävät ilmanlaadun arviointiparametreiksi. Epäpuhtauspitoisuuksien ja ihmisten vasteiden välinen yhteys on monimutkainen, ja pelkät mittaukset eivät välttämättä kerro siitä, millaiseksi työntekijät kokevat olosuhteet tai ilman laadun. Vaikka ilman laatu olisikin mittausten mukaan ohjearvojen mukainen, saattavat työntekijät olla silti tyytymättömiä työolosuhteisiinsa ja oireilla työpaikkaan liittyen.

Kanavistojen puhdistusta ja säätöä voidaan suositella osaksi ilmanvaihtojärjestelmän säännöllistä ylläpito- ja huoltokäytäntöä. Puhdistuksen yhteydessä voidaan sekä havaita vikoja ja puutteita että korjata ne samalla. Puhdistuksen jälkeen tehtävä ilmavirtojen säätö vaikuttaa osaltaan järjestelmän optimaalisen toimintaan varmistuen riittävän ilmanvaihtuvuuden. Puhdas ilmanvaihtojärjestelmä toimii tehokkaammin, mikä puolestaan vähentää energiakustannuksia. Hyvin huolletut mekaaniset osat kestävät todennäköisesti pidempään vähentäen näin korjaus- ja vaihtokuluja. Kanavistojen puhdistusta ja säätöä voidaan suositella osaksi ylläpitoa myös siksi, että puhdistuksella näyttäisi olevan positiivinen vaikutus koettuun työympäristöön ja oireiluun. Viihtyisämpi työympäristö ja terveemmät työntekijät vähentävät työstä poissaoloja ja sitä kautta muodostavat tuottavamman työyhteisön.

Lähdeluettelo

Ahmad, I., Tansel, B. & Mitrani, J.D. 2001. Effectiveness of HVAC duct cleaning procedures in improving indoor air quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 72, s. 265–276.

Andersson, B., Andersson, K., Nilsson, C.A., Sandström, M., Stjernberg, N. & Sundell, J. 1996. Chemical reactions in ventilation ducts. *Proceedings of Indoor Air 1996*, Vol. 3, S. 947–952. Nagoya, Japan.

Andersson, K., Fagerlund, I., Bodin, L. & Ydreborg, B. 1988. Questionnaire as an instrument when evaluating indoor climate. *Proceedings of Healthy Buildings 1988*, Vol. 3, S. 139–145. Stockholm, Sweden.

Andersson, K., Fagerlund, I., Stridh, G. & Larsson, B. 1993. The MM-questionnaires, a tool when solving indoor climate problems. Department of Occupational and Environmental Medicine in Örebro, Sweden. 17 s.

Andersson, K. 1998. Epidemiological approach to indoor air problems. *Indoor Air*, supplement 4, s. 32–39.

Auger, M. 1994. Efficiency of residential duct cleaning. Project report, Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Kanada. 45 s.

Bakó-Biró, Z.S., Wargocki, P., Wecshler, C. & Fanger, P.O. 2002. Personal computers pollute indoor air: effects on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices. *Proceedings of Indoor Air 2002*, Vol. 2, S. 249–254. Monterey, USA.

Björkroth, M., Torkki, A. & Seppänen, O. 1997a. Effect of pollution from ducts on supply air quality. *Proceedings of Healthy Buildings/IAQ 1997*, Vol. 1, S. 581–586. Washington DC, USA.

Björkroth, M., Torkki, A. & Seppänen, O. 1997b. Components of the air handling unit and air quality. *Proceedings of Healthy Buildings/IAQ 1997*, Vol. 1, S. 599–603. Washington DC, USA.

Black, M.S. & Worthan, A.W. 1999. Emissions from office equipment. *Proceedings of Indoor Air 1999*, Vol. 2, S. 454–459. Edinburgh, Scotland.

Bluyssen, P.M., de Oliveira Fernandes, E., Groes, L., Clausen, G., Fanger, P.O., Valbjørn, O., Bernhard, C.A. & Roulet, C.A. 1995. European audit study in 56 office buildings: conclusions and recommendations. *Proceedings of Healthy Buildings 1995*, Vol. 3, S. 1287–1292. Milano, Italy.

Bluyssen, P.M., de Oliveira Fernandes, E., Groes, L., Clausen, G., Fanger, P.O., Valbjørn, O., Bernhard, C.A. & Roulet, C.A. 1996. European indoor air quality audit project in 56 office buildings. *Indoor Air*, Vol. 6, s. 221–238.

Bluyssen, P.M., Cox, C., Seppänen, O., de Oliveira Fernandes, E., Clausen, G., Müller, B. & Roulet, C.A. 2003. Why, when and how do HVAC-systems pollute the indoor environment and what to do about it? the European AIRLESS project. *Building and Environment*, Vol. 38, s. 209–225.

Bolsaitis, P., Ludwig, J.F. & McCarthy, J.F. 1993. A scoping report on air duct cleaning and related issues. *Proceedings of Indoor Air 1993*, Vol. 6, S. 333–338. Helsinki, Finland.

Brightman, H.S. & Moss, N. 2001. Sick building syndrome and the compilation of the normative and comparative values. Kirjassa: *Indoor Air Quality Handbook*. Toim. Spengler, J.D., Samet, J.M. & McCarthy, J.F. The McGraw-Hill Companies Inc. New York. USA.

Brosseau, L.M., Vesley, D., Kuehn, T., Melson, J. & Han, H.S. 2000a. Methods and criteria for cleaning contaminated ducts and air-handling equipment. *ASHRAE Transactions*, Vol. 106, s. 188–199.

Brosseau, L., Vesley, D., Kuehn, T., Melson, J., & Han, H.S. 2000b. Duct cleaning: A review of associated health effects and results of company and expert surveys. *ASHRAE Transactions*, Vol. 106, s. 180–187.

Burge, S., Hedge, A., Wilson, S., Bass, J.H. & Robertson, A. 1987. Sick building syndrome: A study of 4373 office workers. *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 31, s. 494–504.

Coggon, D., Rose, G. & Barker, D.J.P. 1997. *Epidemiology for the Uninitiated*. BMJ Publishing Group, fourth edition.

Collett, C.W., Nathanson, T., Scott, J.A., Baer, K. & Waddington, J. 1999. The impact of H.V.A.C system cleaning on levels of surface dust and viable fungi in ductwork. *Proceedings of Indoor Air 1999*, Vol. 3, S. 56–61. Edinburgh, Scotland.

Crandall, M.S. & Sieber, W.K. 1996. The NIOSH indoor environmental evaluation experience, part one: building environmental evaluations. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 11(6), s. 533–539.

ECA. 1989. COST Project 613: Strategy for sampling chemical substances in indoor air. EUR 12617 EN, Report No 6, Commission of the European communities Directorate General for Science, Research and Development Joint Research Centre – Institute for the Environment, 30 s.

ECA. 2000. Risk assessment in relation to indoor air quality. EUR 19529/EN, Report No 22. European commission joint research centre, Environment Institute, Air Quality Unit. 128 s.

Ekberg, L. 1994. Volatile organic compounds in office buildings. *Atmospheric Environment*, Vol. 28, s. 3571–3575.

Engdahl, F. 1998. Evaluation of Swedish ventilation systems. *Building and Environment*, Vol. 33, s. 197–200.

Fransson, J.I., Ruud, S.H. & Rosell, L. 1995. Rena ventilationskanaler. Sveriges Provnings- och Forskningsinst. Energiteknik/Kemisk Analys. SP Rapport 1995:38. 62 s.

Funk, L. 1999. New guideline VDI 6022: hygienic standards for ventilation and air-conditioning systems. *Proceedings of Indoor Air 1999*, Vol. 3, S. 49–53. Edinburgh, Scotland.

Groes, L., Raw, G.J. & Bluysen, P.M. 1995. Symptoms and environmental perceptions for occupants in European office buildings. *Proceedings of Healthy Buildings 1995*, Vol. 3, S. 1293–1298. Milano, Italy.

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 sick building syndrome. *Indoor Air*, Vol. 4, s. 223–238.

Haghighat, F. & Donnini, G. 1999. Impact of psycho-social factors on perception of the indoor air environment studies in 12 office buildings. *Building and Environment*, Vol. 34, s. 479–503.

Hall, H.I., Leaderer, B.P., Cain, W.S. & Fidler, A.T. 1993. Personal risk factors associated with mucosal symptom prevalence in office workers. *Indoor Air*, Vol. 3, s. 206–209.

Halonen, R., Reiman, M., Seuri, M., Lehtinen, L., Kesikuru, T. & Kokotti, H. 1999. Transport of microbes via supply ventilation ducts. *Proceedings of Indoor Air 1999*, Vol. 2, S. 214–219. Edinburgh, Scotland.

Hernberg, S. 1998. *Epidemiologia ja työterveys. Työterveyslaitos, MIKTOR*, Helsinki. 311 s.

Hodgson, A.T., Daisey, J.M. & Grot, R.A. 1991a. Sources and source strengths of volatile organic compounds in a new office building. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 41, s. 1461–1468.

Hodgson, M.J., Frohlinger, J., Permar, E., Tidwell, C., Traven, N.D. Olenchock, S.A. & Karpf, M. 1991b. Symptoms and microenvironmental measures in nonproblem buildings. *Journal of Occupational Medicine*, Vol. 33, s. 527–533.

Holopainen, R. 1998. Erilaisten ilmastointijärjestelmän puhdistusmenetelmien vaikutus tulo- ja sisäilman laatuun. *Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikka, Espoo*. 99 s.

Holopainen, R., Palonen, J., & Seppänen, O. 1999a. The effect of duct cleaning on perceived air quality in two office buildings. *Proceedings of Indoor Air 1999*, Vol. 3, S. 37–42. Edinburgh, Scotland.

Holopainen, R., Palonen, J., & Seppänen, O. 1999b. Cleaning technology of the HVAC Systems. *Proceedings of Indoor Air 1999*, Vol. 3, S. 97–102. Edinburgh, Scotland.

HVCA. 1998. Guide to Good Practise, Cleanliness of Ventilation systems. Heating and Ventilating Contractors' Association, TR/17, 23 s.

Hyttinen, M., Pasanen, P. & Kalliokoski, P. 2001. Adsorption and desorption of selected VOCs in dust collected on air filters. *Atmospheric Environment*, Vol. 35, s. 5709–5716.

Ishikawa, K., Iwata, T., Ito, H., Kumagai, K., Kimura, K. & Yoshizawa, S. 1996. Field investigation on the effects of duct cleaning on indoor air quality with measured results of TVOC and perceived air quality. *Proceedings of Indoor Air 1996*, Vol. 2, S. 809–814. Nagoya, Japan.

Ito, H., Yoshizawa, S., Kumagai, K. & Shizaka, K. 1996. Dust deposit evaluation of air conditioning duct. *Proceedings of Indoor Air 1996*, Vol. 3, S. 965–969. Nagoya, Japan.

Jaakkola, J.J.K., Heinonen, O.P. & Seppänen, O. 1991. Mechanical ventilation in office buildings and the sick building syndrome. An experimental and epidemiological study. *Indoor Air*, Vol. 2, s. 111–121.

Jaakkola, J.J.K. & Miettinen, P. 1995a. Type of ventilation system in office buildings and sick building syndrome. *American Journal of Epidemiology*, Vol. 141, s. 755–765.

Jaakkola, J.J.K. & Miettinen, P. 1995b. Ventilation rate in office buildings and sick building syndrome. *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 52, s. 709–714.

Jamriska, M., Thomas, S., Morawska, L. & Clark, B.A. 1999. Relation between indoor and outdoor exposure to fine particles near a busy arterial road. *Indoor Air*, Vol. 9, s. 75-84.

Jamriska, M., Morawska, L. & Clark, B.A. 2000. Effect of ventilation and filtration on submicrometer particles in an indoor environment. *Indoor Air*, Vol. 10, s. 19-26.

Kalliokoski, P., Kujanpää, L., Pasanen, A-L. & Pasanen, P. 1995. Cleaning of ventilation systems and its effects on air exchange rates in single-family houses. Proceedings of Healthy Buildings 1995. Vol. 3, S. 1525–1529. Milano, Italy.

Kulp, R., Fortmann, R., Gentry, C., Van Osdell, D., Foarde, K., Hebert, T., Krell, R. & Cochrane, C. 1997. Evaluation residential air duct cleaning and IAQ: results of a field study conducted in nine single family dwellings. Proceedings of Healthy Buildings/IAQ 1997, S. 605–610. Washington DC, USA.

Kumagai, K., Yoshizawa, S., Itoh, H. & Kanazawa, D. 1994. Measurement on airborne particles and adhesive particles from air duct system. Proceedings of 12th International symposium on contamination control, S. 307–310. Yokohama, Japan.

Lahtinen, M., Sudman-Digert, C. & Reijula, K. 2002. Psykososiaalinen työympäristö ja sisäilmaongelmat, kokemuksia sisäilmastokyselyn käytöstä. Suomen lääkärilehti, Vol. 11, s. 1363–1366.

Lavoie, J. & Lazure, L. 1994. Guide for the prevention of microbial growth in ventilation systems. IRSST - Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec. Quebec.

Light, E & Nathanson, T. 2001. Strategies and methodologies to investigate buildings. Kirjassa: Indoor Air Quality Handbook. Toim. Spengler, J.D., Samet, J.M. & McCarthy, J.F. The McGraw-Hill Companies Inc. New York. USA.

Luoma, M., Pasanen, A-L. & Pasanen, P. 1993. Ilmastointilaitosten puhdistustekniikka. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 59 s. VTT Tiedotteita 1492.

Luoma, M. 2000. Protecting ventilation ducts and accessories against dirt during the construction work. Proceedings of Healthy Buildings 2000, S. 145–150. Helsinki, Finland.

Lysne, H.N., Ahlen, C., Stang, J., Kristianssen, O., Haugen, E., Frydenlund, F. & Hanssen, S.O. 1999. Hygienic conditions in ventilation systems and the possible impact on indoor air microbial flora. Proceedings of Indoor Air 1999, Vol. 2, S. 220–224. Edinburgh, Scotland.

Mendell, M.J. 1993. Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiologic literature, *Indoor Air*, Vol. 3, s. 227–236.

Mendell, M., Naco, G.M., Wilcox, T.G. & Sieber, W.K. 2002. Building-related risk factors and work-related lower respiratory symptoms in 80 office buildings. *Proceedings of Indoor Air 2002*, Vol. 1, S. 103–108. Monterey, USA.

Menzies, D., Tamblyn, R.M., Nunes, F., Hanley, J. & Tamblyn, R.T. 1996. Exposure to varying levels of contaminants and symptoms among workers in two office buildings. *American Journal of Public Health*, Vol. 86, s. 1629–1633.

Mikatavage, M.A., Rose, V.E., Funkhouser, R.K., Oestenstad, K., Dillon, K. & Reynolds, K.D. 1995. Beyond air quality- factors that affect prevalence estimates of sick building syndrome. *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 56, s. 1141–1146.

Morrison, G.C., Nazaroff, W.W., Cano-Ruiz, J.A., Hodgson, A.T. & Modera, M.P. 1998. Indoor air quality impacts of ventilation ducts: Ozone removal and emissions of volatile organic compounds. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 48, s. 941–952.

Møhlhave, L. & Thorsen, M. 1991. A model for investigations of ventilation systems as a sources for volatile organic compounds in indoor climate. *Atmospheric Environment*, Vol. 25 A, s. 241–249.

NADCA Standard 1992-01. 1992. Mechanical cleaning of nonporous air conveyance system components. National Air Duct cleaners Association, Washington DC, USA. 11 s.

NADCA Standard ACR 2002. 2001. Assessment, cleaning, and restoration of HVAC systems. National Air Duct cleaners Association, Washington DC, USA. 30 s.

Nelson, N.A., Kaufman, J.D., Burt, J. & Karr, C. 1995. Health symptoms and work environment in four nonproblem United States office buildings. *Scandinavian Journal of Work and Environmental health*, Vol. 21, s. 51–59.

Nielsen, J.B., Valbjørn, O., Gravesen, S. & Mølhav, L 1990. Støv i ventilationsanlæg. SBI- Rapport 206. Statens byggeforskningsinstitut, Kööpenhamina, Tanska. 34 s.

Ottney, T.C. 1993. Particle management for HVAC systems. ASHRAE Journal, Vol. 35, s. 26–34.

Pasanen, A-L., Kujanpää, L., Pasanen, P., Kalliokoski, P. & Blomqvist, G. 1997. Culturable and total fungi in dust accumulation in air ducts in single-family houses. *Indoor Air*, Vol. 7, s. 121–127.

Pasanen, P., Nevalainen, A., Ruuskanen, J. & Kalliokoski, P. 1992. The composition and location of dust settled supply air ducts. Proceedings of 13th AIVC Conference, Ventilation for Energy Efficiency and optimum Indoor air Quality, S. 481–488. Nice, France.

Pasanen, P., Pasanen, A-L. & Jantunen, M. 1993. Water condensation promotes fungal growth in ventilation ducts. *Indoor Air*, Vol. 3, s. 106–112.

Pasanen, P. 1994. Toimistorakennusten ilmanvaihtokanavien epäpuhtaudet. Lisensiaattityö. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitos. 88 s.

Pasanen, P. 1998. Emissions from Filters and Hygiene of Air Ducts in the Ventilation Systems of Office Buildings, Doctoral dissertation, Department of Environmental Sciences, University of Kuopio, Kuopio, Finland. 77 s.

Pasanen, P. & Mattila, M. 2000. The effect of duct cleaning and rebalancing of the exhaust ventilation system on air exchange rates in block of flats. Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 2, S. 203–204. Helsinki, Finland.

Pasanen, P., Offermann, F., Holopainen, R. & Björkroth, M. 2000. WS 18 criteria for cleaning of air handling systems. Healthy Buildings 2000, Work Shop summaries, S. 87–92. Helsinki, Finland.

Puhakka, E., Kääriäinen, J. & Jyrkiäinen, J. 1992. Tuloilmakanaviston puhdistustyön seuranta esimerkki tapauksen avulla. Sisäilmastoseminaari 4.6.1992, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio, Raportti 14, LVIS 2000. S. 82–88. Espoo.

Raunio, A. 1998. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistus. LVI tietopäivä 24.4.1998. Suomen LVI-liitto ry., SuLVI julkaisu 8., S. 95–98. Helsinki.

Raw, G., Roys, M.S. & Whitehead, C. 1993. Sick building syndrome: cleanliness next to healthiness. *Indoor Air*, Vol. 3, s. 237–245.

Raw, G. 2001. Assessing occupant reaction to indoor air quality. Kirjassa: *Indoor Air Quality Handbook*. Toim. Spengler, J.D., Samet, J.M. & McCarthy, J.F. The McGraw-Hill Companies Inc. New York. USA.

Reinikainen, L. & Jaakkola, J.J.K. 2001. Effects of temperature and humidification in the office environment. *Archives of Environmental Health*, Vol. 56, s. 365–368.

Ripatti, H. & Jalo, T. 1998. Asuinkerrostalon ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja säätö. *Ympäristöopas 34*, Rakennustieto Oy, Tampere. 23 s.

Schleibinger, H. & Rüden, H. 1999. Air filters from HVAC system as possible source of volatile organic compounds (VOC) – laboratory and field assays. *Atmospheric Environment*, Vol. 33, s. 4571–4577.

Schneider, T., Skov, P. & Valbjorn, O. 1999. Challenges for indoor environment research in the new office. *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, Vol. 25, s. 574–579.

Schneider, T., Sundell, J., Bischof, W., Bohgard, M., Cherrie, J.W., Clausen, P.A., Dreborg, S., Kildensø, J., Kjærgaard, S.K., Løvik, M., Pasanen, P. & Skyberg, K. 2002. 'EUROPART'. Airborne particles in the indoor environment. A European interdisciplinary review of scientific evidence on association between exposure to particles in buildings and health effects. (hyväksytty julkaistavaksi *Indoor Air* -lehdessä).

Seppänen, O.A., Fisk, W.J. & Mendell, M.J. 1999. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, Vol. 9, s. 226–252.

Seppänen, O. & Fisk, W.J. 2002. Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers. *Indoor Air*, Vol. 12, s. 98–112.

Sieber, W.K., Stayner, L.T., Malkin, R., Petersen, M.R., Mendell, M.J., Wallingford, K.M., Crandall, M.S., Wilcox, T.G. & Reed, L. 1996. The national institute of occupational safety and indoor environmental evaluation experience. Part Three: Associations between environmental factors and self reported health conditions. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 11 (12), s. 1387–1392.

Sieber, W.K., Petersen, M.R., Stayner, L.T., Malkin, R., Mendell, M.J., Wallingford, K.M., Wilcox, T.G., Crandall, M.S. & Reed, L. 2002. HVAC characteristics and occupant health. *ASHRAE Journal*, Vol. 44. s. 49–53.

Sisäasiainministeriö. 1980. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E7, Ilmanvaihtolaitoksen paloturvallisuus, ohjeet 1980.

Sisäasiainministeriö. 2001. Sisäasiainministeriön asetus ilmanvaihtokanavien ja -laitteistojen puhdistamisesta, N:o 802. Suomen säädöskokoelma.

Sisäilmayhdistys. 2001. Sisäilmastoluokitus 2000. Sisäilmayhdistys julkaisu 5. Espoo. 32 s.

Skov, P., Valbjørn, O. & DISG. 1987. The sick building syndrome in the office environment: the Danish town hall study. *Environmental International*, Vol. 13, s. 339–349.

Stenberg, B., Mild, H.K., Sandström, M., Sundell, J. & Wall, S. 1993. A prevalence study of the sick building syndrome and (SBS) facial skin symptoms in office workers. *Indoor Air*, Vol. 3, s. 71–81.

Sundell, J., Andersson, B., Andersson, K. & Lindvall, T. 1993. Volatile organic compounds in ventilating air in buildings at different sampling points in the buildings and their relationship with the prevalence of occupant symptoms. *Indoor Air*, Vol. 3, s. 82–93.

Sundell, J. 1994. On the association between building ventilation characteristics, some indoor environmental exposures, some allergic manifestations and subjective symptom reports. *Indoor Air*, supplement 2, s. 1–148.

Sundman-Digert, C. & Reijula, K. 2002. Sisäilmaongelmien tutkiminen työpaikoilla kyselyn avulla. Suomen lääkäri-lehti, Vol. 11, s. 1235–1240.

Suomalainen, T., Huikko, R. & Puhakka, E. 1998. Tuloilmakanavistojen sisäpintojen pölykertymä ja pölyn koostumus toimistorakennuksissa – kanavapuhdistuksen vaikutukset pölykertymään. Sisäilmastoseminaari 18–19.1998, Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio. SIY raportti 11. S. 271–275. Espoo.

Teijonsalo, J., Jaakkola, J.J.K. & Seppänen, O. 1996. The Helsinki office environment study: Air Change in mechanically ventilated buildings. *Indoor Air*, Vol. 6, s. 111–117.

VDI 6022, Part 1. 1998. Hygienic standards for ventilation and air-conditioning systems, Offices and assembly rooms. Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf. 44 s.

Wallace, L.A., Nelson, C.J., Hingsmith, R. & Dunteman, G. 1993. Association of personal and workplace characteristics with health, comfort and odor: a survey of 3948 office workers in three buildings. *Indoor Air*, Vol. 3, s. 193–205.

Wallace, L.A. 2001. Assessing human exposure to volatile organic compounds. Kirjassa: *Indoor Air Quality Handbook*. Toim. Spengler, J.D., Samet, J.M. & McCarthy, J.F. The McGraw-Hill Companies Inc. New York. USA.

Wargocki, P., Wyon, D.P., Sundell, J., Clausen, G. & Fanger, P.O. 2000. The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity. *Indoor Air*, Vol. 10, s. 222–236.

Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P.O., Gyntelberg, F., Hanssen, S.O., Harrison, P., Pickering, A., Seppänen, O. & Wouters, P. 2002. Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European multidisciplinary scientific consensus meeting (EUROVEN). *Indoor Air*, Vol. 12, s. 113–128.

Ympäristöministeriö. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2003, luonnos.

Zweers, T., Preller, L., Brunekreef, B. & Boleij, J.S.M. 1992. Health and indoor climate complaints of 7043 office workers in 61 buildings in the Netherlands. *Indoor Air*, Vol. 2, s. 127–136.

Tekijä(t) Kolari, Sirpa			
Nimeke Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutus toimistorakennusten sisäilman laatuun ja työntekijöiden työoloihin			
Tiivistelmä <p>Tutkimuksessa selvitettiin ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutukset toimistorakennusten tulo- ja sisäilman laatuun, tuloilmakanaviston hygieniaan sekä työntekijöiden viihtyvyyteen ja oireiluun. Tutkimuksessa oli mukana 15 toimistorakennusta, joissa ei ollut tiedossa merkittäviä sisäilmaongelmia. Kohteissa tehtiin sisäilmatutkimus, jossa selvitettiin ilmanvaihtoparametrit, hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuus, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja mikrobin pitoisuudet sekä CO₂-pitoisuudet. Tuloilmakanavistojen hygieenisyyttä tarkasteltiin pöly- ja mikrobikertymänäytteiden avulla. Työntekijöiden viihtyvyyttä ja oireilua selvitettiin sisäilmastokyselyllä (MM-40-FIN). Mittaukset ja kysely toteutettiin muutamaa päivää ennen kanavistojen puhdistusta ja vähintään kuukausi puhdistuksen jälkeen.</p> <p>Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksella ei havaittu olevan vaikutusta käytetyillä mittausten menetelmillä tutkittujen toimistojen tulo- ja sisäilman epäpuhtauspitoisuuksiin. Keskimääräinen ilmavirta ylitti selvästi ilmanvaihdon vähimmäismääräykset ja oli yli 20 dm³/s henkilöä kohden sekä ennen että jälkeen ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen. Tuloilmakanavistojen pölykertymä väheni merkittävästi puhdistuksen ansiosta (ennen puhdistusta 8,4 ± 9,1 g/m², puhdistuksen jälkeen 1,9 ± 2,1 g/m²). Tuloilmakanaviston keskimääräinen mikrobikertymä väheni mallasuuteagarilla noin 70 % ja dikloranglyseroliagarilla 90 %.</p> <p>Tuloilman TVOC-pitoisuus oli 31 % pienempi kanaviston puhdistuksen jälkeen, mutta tämä johtui todennäköisesti muutoksista ulkoilman TVOC-pitoisuuksissa. Tuloilmakanavien pinnalla ollut pöly ei merkittävästi adsorboinut tai desorboinut kemiallisia yhdisteitä TVOC-tasolla. Ilmanvaihtojärjestelmä osoittautui joidenkin yksittäisten yhdisteiden lähteeksi ja joidenkin yhdisteiden emissio oli hiukan voimakkaampi puhdistuksen jälkeen, mutta pitoisuustasot olivat kuitenkin matalia.</p> <p>Työntekijät kokivat työympäristöolosuhteet puhdistuksen jälkeen paremmiksi useimpien tekijöiden suhteen ja myös oireilu oli vähentynyt. Merkittävin parannus työympäristötekijöissä havaittiin tunkkaisen ilman kokemisen osalta (p < 0,001), ja oireissa nenän ärsytysoireiden osalta (p < 0,01). Vaikka tutkituissa rakennuksissa ei ollut tiedossa merkittäviä sisäilmaongelmia, työhön liitettuja oireita raportoitiin ennen puhdistusta yllättävän yleisesti.</p> <p>Tutkimus osoitti, että ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen vaikutuksia tulo- ja sisäilman laatuun on vaikea osoittaa mittauksin. Työntekijät kuitenkin kokivat parannusta työympäristötekijöissä ja oireilussa puhdistuksen myötä. Ilmanvaihtokanavistojen puhdistusta ja ilmavirtojen tasapainotusta voidaan suositella osaksi koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän säännöllistä ylläpitoa myös sellaisissa kohteissa, joissa sisäilman laatu on mittausten perusteella kunnossa. Kun työntekijät kokevat työympäristönsä paremmaksi ja oireilu vähenee, vähenevät myös työstä poissaolot ja työn tuottavuus mitä todennäköisemmin lisääntyy.</p>			
Avainsanat HVAC, ventilation, office buildings, ducts, indoor air, cleaning, working environment, volatile organic compounds, supply air			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6048-5 (nid.) 951-38-6222-4 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)			Projektinumero RTE3SU00129
Julkaisu-aika Toukokuu 2003	Kieli Suomi	Sivuja 62 s. + liitt. 43 s.	Hinta C
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t) Työsuojelurahasto, Valtiokonttori, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka	
Avainnimeke ja ISSN VTT Publications 1235-0621 (nid.) 1455-0849 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Author(s) Kolari, Sirpa			
Title The effect of ventilation system cleaning on indoor air quality and perceived work environment in office buildings			
Abstract The effects of ventilation system cleaning on supply and indoor air quality, duct hygiene, perceived work environment and symptoms were studied in 15 non-problem office buildings. Mass and number concentrations of particles, concentration of volatile organic compounds, microbes and CO ₂ were measured. Samples of accumulated dust and microbial count were taken from inner duct surfaces, and ventilation rate and air flows were measured. A questionnaire survey (MM-40-FIN) of work environment and possible symptoms among office workers was carried out. The measurements and the survey were conducted a few days before the duct cleaning and at least one month after the cleaning. Duct cleaning had no detectable effect on measured supply and indoor air quality. The average air flows exceeded 20 L/s per person before and after duct cleaning. The average amount of dust on the inner duct surfaces decreased significantly from 8.4 ± 9.1 g/m ² to 1.9 ± 2.1 g/m ² . The viable microbial count on the inner duct surface on malt extract agar decreased about 70% and on dichloran glycerol agar 90%. TVOC concentration in supply air decreased about 31%, but this may have been caused by the changes in outdoor air TVOC concentrations. Settled dust on inner surfaces of ventilation systems did not significantly adsorb or desorb chemical compounds. The ventilation system acted as a source for some individual compounds and for some of them the source strength was even higher after the cleaning. However, the emissions of these VOCs were low. Duct cleaning had a positive impact on perceived work environment and prevalence of the work-related symptoms in studied offices. The most significant improvements in work environment factors due to duct cleaning were detected with stuffy "bad" air (p < 0.001) and work-related nasal symptoms (p < 0.01). Although the studied offices were located in non-problem buildings, the prevalence of work-related symptoms was frequent before duct cleaning. This study showed that effects of ventilation system cleaning on indoor air quality are difficult to measure in non-problem buildings. However, the employees experienced improvement in the work environment and showed fewer symptoms after duct cleaning. It is suggested that duct cleaning and re-balancing of air flows should be performed as part of regular maintenance of mechanical supply and exhaust ventilation systems, also in office buildings in which indoor air quality follows guideline values. Thus, a more comfortable work environment may provide a more productive work environment.			
Keywords HVAC, ventilation, office buildings, ducts, indoor air, cleaning, working environment, volatile organic compounds, supply air			
Activity unit VTT Building and Transport, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6048-5 (soft back ed.) 951-38-6222-4 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Project number RTE3SU00129	
Date May 2003	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 62 p. + app. 43 p.	Price C
Name of project		Commissioned by The Finnish Work Environment Fund, State Treasury, VTT Building and Transport	
Series title and ISSN VTT Publications 1235-0621 (soft back ed.) 1455-0849 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

VTT PUBLICATIONS

- 481 Wirtanen, Gun, Langsrud, Solveig, Salo, Satu, Olofson, Ulla, Alnås, Harriet, Neuman, Monika, Homleid, Jens Petter & Mattila-Sandholm, Tiina. Evaluation of sanitation procedures for use in dairies. 2002. 96 p. + app. 43 p.
- 482 Wirtanen, Gun, Pahkala, Satu, Miettinen, Hanna, Enbom, Seppo & Vanne, Liisa. Clean air solutions in food processing. 2002. 93 p.
- 483 Heikinheimo, Lea. *Trichoderma reesei* cellulases in processing of cotton. 2002. 77 p. + app. 37 p.
- 484 Taulavuori, Anne. Component documentation in the context of software product lines. 2002. 111 p. + app. 3 p.
- 485 Kärnä, Tuomo, Hakola, Ilkka, Juntunen, Juha & Järvinen, Erkki. Savupiipun impakti-
vaimennin. 2003. 61 s. + liitt. 20 s.
- 486 Palmberg, Christopher. Successful innovation. The determinants of commercialisation and break-even times of innovations. 2002. 74 p. + app. 8 p.
- 487 Pekkarinen, Anja. The serine proteinases of *Fusarium* grown on cereal proteins and in barley grain and their inhibition by barley proteins. 2003. 90 p. + app. 75 p.
- 488 Aro, Nina. Characterization of novel transcription factors ACEI and ACEII involved in regulation of cellulase and xylanase genes in *Trichoderma reesei*. 2003. 83 p. + app. 25 p.
- 489 Arhippainen, Leena. Use and integration of third-party components in software development. 2003. 68 p. + app. 16 p.
- 490 Vaskivuo, Teemu. Software architecture for decentralised distribution services in spontaneous networks. 2003. 99 p.
- 491 Mannersalo, Petteri. Gaussian and multifractal processes in teletraffic theory. 2003. 44 p. + app. 109 p.
- 492 Himanen, Mervi. The Intelligence of Intelligent Buildings. The Feasibility of the Intelligent Building Concept in Office Buildings. 2003. 497 p.
- 493 Rantamäki, Karin. Particle-in-Cell Simulations of the Near-Field of a Lower Hybrid Grill. 2003. 74 p. + app. 61 p.
- 494 Heiniö, Raija-Liisa. Influence of processing on the flavour formation of oat and rye. 2003. 72 p. + app. 48 p.
- 495 Räsänen, Erkki. Modelling ion exchange and flow in pulp suspensions. 2003. 62 p. + app. 110 p.
- 496 Nuutinen, Maaria, Reiman, Teemu & Oedewald, Pia. Osaamisen hallinta ydinvoimalaitoksessa operaattoreiden sukupolvenvaihdostilanteessa. 2003. 82 s.
- 497 Kolari, Sirpa. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutus toimistorakennusten sisällmän laatuun ja työntekijöiden työoloihin. 2003. 62 s. + liitt. 43 s.

Tätä julkaisua myy	Denna publikation säljs av	This publication is available from
VTT TIETOPALVELU	VTT INFORMATIONSTJÄNST	VTT INFORMATION SERVICE
PL 2000	PB 2000	P.O.Box 2000
02044 VTT	02044 VTT	FIN-02044 VTT, Finland
Puh. (09) 456 4404	Tel. (09) 456 4404	Phone internat. +358 9 456 4404
Faksi (09) 456 4374	Fax (09) 456 4374	Fax +358 9 456 4374