










## **Sisäilmahaittojen vähentäminen alentamalla oleellisesti rakennusten sisäilman hiukkaspitoisuutta**

Kirjoittajat: Hannu Salmela, Seppo Enbom, Pia Nynäs

Luottamuksellisuus: julkinen

Julkaistu Työsuojelurahaston avustuksella

<b>Raportin nimi</b> Sisäilmahaittojen vähentäminen alentamalla oleellisesti rakennusten sisäilman hiukkaspitoisuutta				
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b> Työsuojelurahasto Annankatu 34-36 B 00100 Helsinki	<b>Asiakkaan viite</b> TSR-rahoitussopimus, hankenumero 113101			
<b>Projektin nimi</b> Sisäilmahaittojen vähentäminen toimisto-, koulu- yms. rakennuksissa alentamalla oleellisesti sisäilman hiukkaspitoisuutta	<b>Projektin numero/lyhytnimi</b> 100888 TSR-CLEANAIR			
<b>Raportin laatija(t)</b> Hannu Salmela, Seppo Enbom, Pia Nynäs	<b>Sivujen/liitesivujen lukumäärä</b> 29/			
<b>Avainsanat</b> Ilmastointi, sisäilman laatu, ilmansuodatus, ilmanjakolaite	<b>Raportin numero</b> VTT-R-05799-15			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Hankkeen tavoitteena oli oleellisesti alentaa sisäilmaongelmallisten rakennusten sisäilman hiukkaspitoisuuksia ja vähentää merkittävästi etenkin herkistyneiden työntekijöiden altistumista sisäilman hiukkasmaisille epäpuhtauksille. Hanke toteutettiin pääosin kenttätutkimuksena hyödyntäen patentoitua sisäilmaa puhdistavaa ilmanjakolaiteratkaisua. Toteutukseen sisältyi koekohteiden ilmastoinnin päätelaitteiden muutokset sekä muutostöiden vaikuttavuuden analysoinnit mm. hiukkaspitoisuusmittausten ja sisäilmastokyselyjen avulla. Kenttätarkasteluja tuettiin laboratoriomittauksin.</p> <p>Sisäilmaa puhdistavat ilmanjakolaitteet vähensivät merkittävästi kaikkien kolmen koekohteen (avokonttori, toimistosiipi ja kirjaston kirjojen lajitteluhuone) sisäilman hiukkaspitoisuutta. Hiukkaspitoisuus (<math>\geq 0.3 \mu\text{m}</math>) väheni kohteesta, laiteratkaisusta ja olosuhteista riippuen 48 % - 63 %. Alenema oli hieman pienempi kuitenkin vastaavissa laboratoriomittauksissa (65 % - 73 %). Ero laboratorio- ja kenttämittausten välillä johtuu vuotoilmanvaihdoista sekä tarpeesta käyttää ei-optimaalisia asetuksia osalle kenttäkohteisiin asennetuista laitteista. Sisäilmastokyselyjen perusteella ei voi tulkita, ovatko koettu työympäristö ja sen ilmanlaatu parantuneet tarkastellun puhdistusratkaisun myötä.</p> <p>Puhdistusratkaisun suorituskykyä voidaan parantaa kehittämällä ilmanjakolaitteen rakennetta, ilmavirtausta ja suodatuksen tehokkuutta kenttätutkimuksessa käytettyihin laitteisiin verrattuna. Sisäilman puhdistamiseen optimoidulla ratkaisulla voidaan todennäköisesti alentaa sisäilman hiukkaspitoisuutta jopa 80 % todellisessa käyttöympäristössä. Hankkeessa hyödynnetyillä puhdistusratkaisulla ja niitä edelleen kehittämällä voidaan ilmastointijärjestelmän avulla toteuttaa huomattavasti nykykäytäntöjä puhtaampia osastoja mm. toimisto- ja koulurakennuksiin.</p>				
<b>Luottamuksellisuus</b>	julkinen			
Tampere 18.12.2015 <table border="0"> <tr> <td><b>Laatija</b>  Hannu Salmela Tutkija</td> <td><b>Tarkastaja</b>  Aimo Taipale Erikoistutkija</td> <td><b>Hyväksyjä</b>  Johannes Hyrynen Tutkimusalueen päällikkö</td> </tr> </table>		<b>Laatija</b>  Hannu Salmela Tutkija	<b>Tarkastaja</b>  Aimo Taipale Erikoistutkija	<b>Hyväksyjä</b>  Johannes Hyrynen Tutkimusalueen päällikkö
<b>Laatija</b>  Hannu Salmela Tutkija	<b>Tarkastaja</b>  Aimo Taipale Erikoistutkija	<b>Hyväksyjä</b>  Johannes Hyrynen Tutkimusalueen päällikkö		
<b>VTT:n yhteystiedot</b> VTT, Tekniikankatu 1, 33101, Tampere				
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b> Työsuojelurahasto 4 kpl, VTT, 1 kpl				
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>				

## Alkusanat

---

Tämä julkaisu on Työsuojelurahaston ja yhteistyöorganisaatioiden rahoittaman tutkimuksen ”*Sisäilmahaittojen vähentäminen toimisto-, koulu- yms. rakennuksissa alentamalla oleellisesti sisäilman hiukkaspitoisuutta*” loppuraportti.

Tutkimuksen vetäjänä toimi VTT (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy) yhteistyössä Työterveyslaitoksen kanssa. Hankkeen johtoryhmään kuuluivat Anne-Marie Kurka (Työsuojelurahasto), Jani Moberg (Sandbox Oy), Teppo Malm (Senaatti-kiinteistöt), Jari Pere (Helsingin kaupunki), Juhani Pirinen (Ympäristöministeriö), Karoliina Viitamäki (Ympäristöministeriö), Rauno Holopainen (Työterveyslaitos) sekä Johannes Hyrynen (VTT). Hankkeen projektipäällikkönä toimi aluksi Seppo Enbom ja loppuvaiheessa Hannu Salmela.

Tutkimuksen toteutuksesta ovat vastanneet pääosin Seppo Enbom ja Hannu Salmela. Sisäilmastokyselyjen toteutuksesta vastasi Pia Nynäs Työterveyslaitokselta. Kokeelliseen työhön ovat osallistuneet VTT:ltä lisäksi Matti Niemeläinen, Satu Salo ja Tapio Kalliohaka sekä Työterveyslaitokselta Kari Salmi. Senaatti-kiinteistöt, Helsingin kaupunki ja KJ-Ilmastointi Oy toimivat aktiivisesti tutkimuksen kannalta tärkeiden koekohteiden kartoittamisessa, valinnassa sekä muutostöiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Kenttätarkasteluja tehtiin myös VTT:n toimipisteessä.

Tutkimuksen tekijät esittävät parhaimmat kiitokset johtoryhmän jäsenille sekä kaikille hankkeen toteutuksessa mukana olleille ja hankkeen etenemistä tukeneille henkilöille, mm. Riitta Katajamaa, Kari Laakso ja Pasi Hoffren (KJ-Ilmastointi Oy), Juha Mutttilainen ja Jaana Kulju (Senaatti-kiinteistöt), Anne Pölkki (Tukes), Hanna Hovi ja Kim Kuusisto (Työterveyslaitos), Hannu Kaunonen (Taltec Oy), Seppo Savolainen (Secon Oy), Hannu Mattheiszen (Helsingin kaupunki), Pekka Lumme (PL Valmistus- ja Monitoimipalvelu), Jari Heinovaara ja Jaakko Kurki (Sandbox Oy) sekä Aimo Taipale (VTT).

Tampere 21.12.2015

Tekijät

## Sisällysluettelo

---

Alkusanat .....	2
Sisällysluettelo .....	3
1. Johdanto.....	4
1.1 Sisäilman hiukkasten aiheuttamia ongelmia.....	4
1.2 Nykyisiä keinoja sisäilman hiukkasten hallintaan .....	5
1.3 Ilmanjakolaiteratkaisu .....	5
1.4 Alhaisen hiukkaspitoisuuden tilaratkaisuja .....	6
2. Tavoite, hyödyntäminen ja rajaukset.....	7
3. Koekohteet ja laiteratkaisut .....	7
3.1 Koekohteet .....	7
3.2 Laiteratkaisut .....	9
4. Menetelmät.....	10
4.1 Laboratoriomittaukset .....	11
4.2 Mittaukset koekohteissa.....	11
4.3 Sisäilmastokyselyt .....	12
5. Laboratoriomittausten tulokset .....	12
6. Tulokset koekohteista .....	13
6.1 Avokonttori (kohde A) .....	13
6.1.1 Virtausnopeudet.....	13
6.1.2 Hiukkaspitoisuudet.....	14
6.1.3 Tulosten tarkastelu.....	17
6.2 Toimistosiiپی (kohde B).....	17
6.3 Kirjaston kirjojen lajitteluhuone (kohde C) .....	17
6.3.1 Painesuhteet, ilmavirrat ja lämpöolot.....	19
6.3.2 Hiukkaspitoisuudet.....	20
6.3.3 Tulosten tarkastelu.....	24
7. Sisäilmastokyselyjen tulokset.....	25
8. Johtopäätökset .....	26
9. Yhteenveto .....	27
Lähdeviitteet.....	28

## 1. Johdanto

---

### 1.1 Sisäilman hiukkasten aiheuttamia ongelmia

Sisäilman epäpuhtauksista etenkin home- yms. mikrobiperäiset ilman epäpuhtaudet aiheuttavat ammattitauteja ja ammattitautiepäilyjä sekä lievempiä työympäristöhaittoja, joilla on merkitystä työn sujuvuuteen. Aiheeseen on kiinnitetty erityistä huomiota myös Eduskunnan ja Valtioneuvoston toimesta (Reijula ym. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012 ja Valtioneuvoston politiikkariihi 24.2.2009 – Kosteus- ja hometalkoot).

Kosteus- ja homevauriorakennuksissa työskentelevillä henkilöillä esiintyy mm. ammattiastmaa. Suomessa raportoidaan vuosittain yli 300 ammattiastma epäilyä. Ammattitaudit ovat vain murto-osa kaikista kosteusvaurioihin liittyvistä sairauksista Suomessa (Reijula ym. 2012).

Osa rakennusten sisäilmaa kuormittavista epäpuhtauksista tulee rakennuksen rakenteista ja sisätiloissa tapahtuvan toiminnan seurauksena. Lisäksi osa tulee vuotoilman ja ilmaston kautta ulkoa. Etenkin vuotoilman ja ilmaston kautta tulee pienhiukkasia, joille altistumisen ulkoilmassa on todettu lisäävän sairastavuuden ja ennenaikaisen kuoleman riskiä (Hänninen ym., 2010, CAFE, 2005).

Sisäilman epäpuhtaudet voivat olla hiukkas- tai kaasufaasissa. Hiukkasfaasissa vain osa hiukkasista on haitallisia (homeet, bakteerit ja toksiineja sisältävät hiukkaset). Sisäilman haitallisuutta on pyritty arvioimaan analysoimalla pölynäytteitä, mm. pölyn toksiineja. Käytössä olevilla menetelmillä huonepölyn toksisuutta ei voida kuitenkaan käyttää terveyshaitan arvioinnissa (Salin ym. 2012, Hirvonen ym. 2013). Voidaan epäillä, että ainakin hiukkasfaasissa esiintyy henkilöiden oireiluun vaikuttavia aineita. Kaasufaasiin sisältyvien aineiden osalta on vaikeampaa päätellä niiden haitallisuutta ko. pitoisuuksissa. On mahdollista, että ainakin osittain kaasufaasissa esiintyvät aineet eivät ko. pitoisuuksissa ole sinällään haitallisia, vaan osoitus siitä, että rakennuksessa on esim. kosteusvaurio.

Sisäilman vaikutukset henkilöiden oireiluun ovat hyvin yksilöllisiä. Osa henkilöistä tulee toimeen hyvinkin epäpuhtaissa ympäristöissä (vrt. teollisuus). Osa on jo syntyperäisesti herkempiä saamaan oireita verraten puhtaassakin ympäristössä. Pitkäaikainen altistuminen esim. homeille voi johtaa henkilöiden pysyvään herkistymiseen siinä määrin, että he eivät pysty työskentelemään edes korjatuissa tiloissa. Tilanne voi olla niin hankala, että henkilöiden on siirryttävä toisiin tiloihin, mutta kaikkien henkilöiden ongelmia ei tämäkään toimenpide ratkaise (Reijula ym. 2012).

Hyvällä syyllä voidaan todeta, että työelämässä on paljon henkilöitä, jotka tarvitsisivat keskimääräistä selvästi paremman sisäilmaston pystyäkseen työskentelemään oireettomasti. Nykyään kuitenkin rakennukset rakennetaan pääosin niin, että kaikkiin tiloihin tulee sama sisäilman laatu. Erityisryhmiä ei oteta riittävästi huomioon. Jossain määrin yksilöllisiin tarpeisiin on vastattu rakennusmateriaalien valinnoin, mutta esim. ilmaston suhteen näin ei menetellä.

Rakennusten sisäilmaongelmien analysointiin, mittausmenetelmiin yms. kohdistuvaa tutkimusta on tehty ja tehdään runsaasti. Rakennusten sisäilmaolosuhteiden parantamiseen kohdennettua tutkimusta tehdään melko vähän, liittyen lähinnä rakennusmateriaaleihin ja esim. kosteusvaurioiden varhaisen havaitsemistapojen kehittämiseen. Hieman kärjistäen voidaan todeta, että ongelmaa tutkitaan paljon, mutta ongelman ratkaisukeinoja verraten vähän.

## 1.2 Nykyisiä keinoja sisäilman hiukkasten hallintaan

Rakennusten sisäilmaan tulevien hiukkasten määrää voidaan vähentää rakennus- ja ilmastointiteknisin keinoin. Mm. kosteusvaurioiden seurauksena rakennusten rakenteista irtoaa esim. homeitiöitä sisäilmaan. Ensisijainen toimenpide on luonnollisesti korjata syntyneet vauriot ja lisäksi mahdollisesti parantaa rakennuksen tiiveyttä. Tiiveyden parantaminen vähentää myös vuotoilman mukana ulkoa tulevaa hiukkaskuormaa.

Rakennusten ilmastoinnilla voidaan hallita merkittävimmin ilmastointijärjestelmän kautta ulkoa tulevien hiukkasten määrää. Sisäilmaan muita reittejä tulevien hiukkasten pitoisuuteen nykyisillä ilmastointiratkaisuilla voidaan vaikuttaa verraten vähän, jos ilmastoinnin ilmavirrat vastaavat kohtuudella nykyajan vaatimuksia. Oikeastaan ainoa keino alentaa sisälähteistä peräisin olevien sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ilmastoinnin avulla on ilmanvaihdon lisääminen. Ilmastoinnin ilmavirtojen oleellinen lisääminen on todennäköisesti kuitenkin hyvin vaikeaa kustannus- ja ympäristökuormituksen (energia) sekä lämpöviihtyvyyteen vaikuttavien tekijöiden johdosta.

Merkittävimmin sisäilman epäpuhtauspitoisuuteen voidaan ongelmatapauksissa vaikuttaa nykyään ongelmatiloihin sijoitettavilla ilmanpuhdistimilla. Niiden ongelmana ovat mm. melupäästöt, jotka usein estävät niiden käytön täydellä teholla. Jotteri ilmanpuhdistimien käyttöpaikalla ylitetä LVI-laitteille asetettuja melutasovaatimuksia (Annon 2011), on huoneilmanpuhdistimia käytettävä usein osateholla.

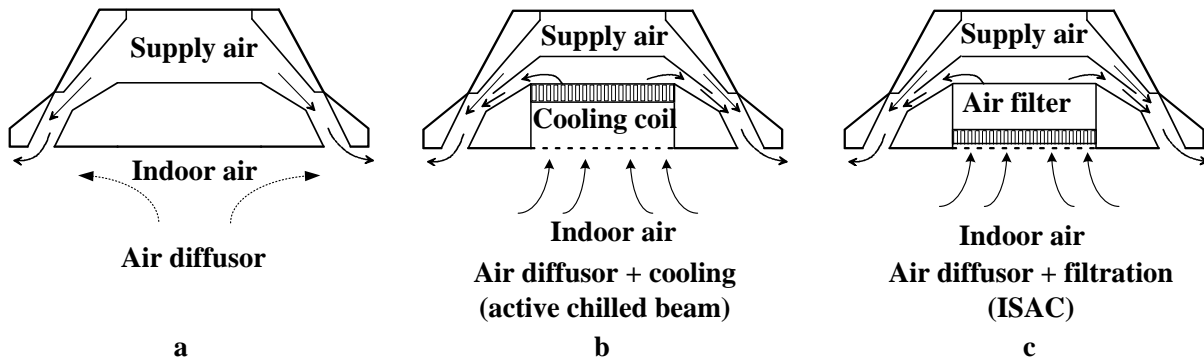
Huoneilmanpuhdistimien tehokkuutta puhdistaa sisäilmaa parhaiten kuvaava suure on laitteen tehollinen ilmavirta (TIV), joka on laitteen ilmavirran ja suodatusosan erotusasteen tulo. Kun tunnetaan ilmanpuhdistimen tehollinen ilmavirta ja käyttöpaikan ilmanvaihtuvuus (ilmavirta), voidaan arvioida ilmanpuhdistimen vaikutus sisäilmaan. Esim. ilmanpuhdistimen tehollisen ilmavirran ollessa sama kuin käyttöpaikan muun ilmanvaihdon, voidaan käyttöpaikan sisäilman hiukkaspitoisuus alentaa alkuperäisestä puoleen. Etenkin herkistyneiden henkilöiden osalta altistumisen puolittaminen ei välttämättä ole riittävä toimenpide. Ruotsin Astma och Allergie Förbundet (1999) onkin esittänyt, että riittävän puhdistusvaikutuksen vuoksi huoneilmanpuhdistimien tehollisen ilmavirran tulisi olla nelinkertainen käyttöpaikan ilmastoinnin ilmavirtaan verrattuna. Näin ko. laitteilla voitaisiin alentaa sisäilman hiukkaspitoisuutta 80 %. Yhdessä ajallisesti lyhytkestoisessa tutkimuksessa todettiin 60 % sisäilman hiukkaspitoisuuden alenemisen vaikuttavan myönteisesti ikääntyneiden henkilöiden mikrovaskulaaritoimintaan, millä ajateltiin olevan myönteinen vaikutus sydän- ja verisuonitautisairastavuuden vähenemiseen (Bräuner et al. 2008).

Huoneilmanpuhdistimien käyttömahdollisuuksien tarkasteluissa ei ole otettu huomioon laitteiden lämpökuormaa ja siitä johtuvaa lisääntyvää jäähdystarvetta. Jos huoneilmanpuhdistimilla pyritään alentamaan sisäilman epäpuhtauspitoisuutta em. 80 %, on syytä selvittää niiden sähkötehotarve suhteessa teholliseen ilmavirtaan. Markkinoilla on laitteita, joiden aiheuttama lämpökuorma on niin suuri, ettei niillä voida käytännössä alentaa sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia em. 80 % (Sultan ym. 2011).

## 1.3 Ilmanjakolaiteratkaistu

Ilmastointijärjestelmään kuuluvat tuloilman päätelaitteina käytetään nykyään etenkin toimistoissa ns. aktiivipalkkeja, jotka huolehtivat tuloilman jaon ohella myös sisäilman jäähdytyksestä. Vastaavalla toimintaperiaatteella voidaan tuloilman päätelaitteet varustaa myös sisäilman puhdistuslaittein (kuva 1) (Taipale ym. 2009).



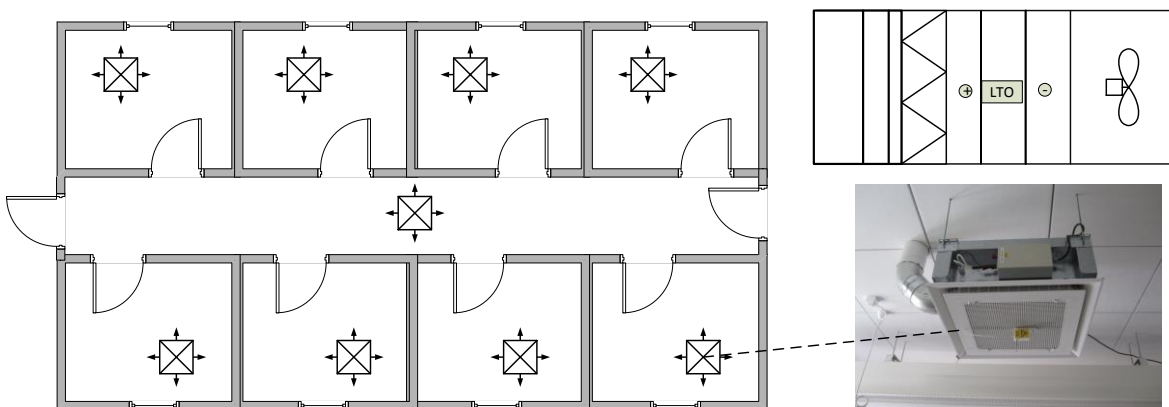


Kuva 1. Erilaisten tuloilman jakolaitteiden toimintaperiaatteita. a) perinteinen tuloilmalaite (huoneilma sekoittuu tuloilmaan jakolaitteen ulkopuolella), b) sisäilmaa jäähdyttävä aktiivipalkki (jäähdytettävä huoneilma sekoittuu laitteen sisällä tuloilmaan), c) huoneilmaa puhdistava tuloilmalaite (puhdistettava huoneilma sekoittuu tuloilmaan laitteen sisäpuolella).

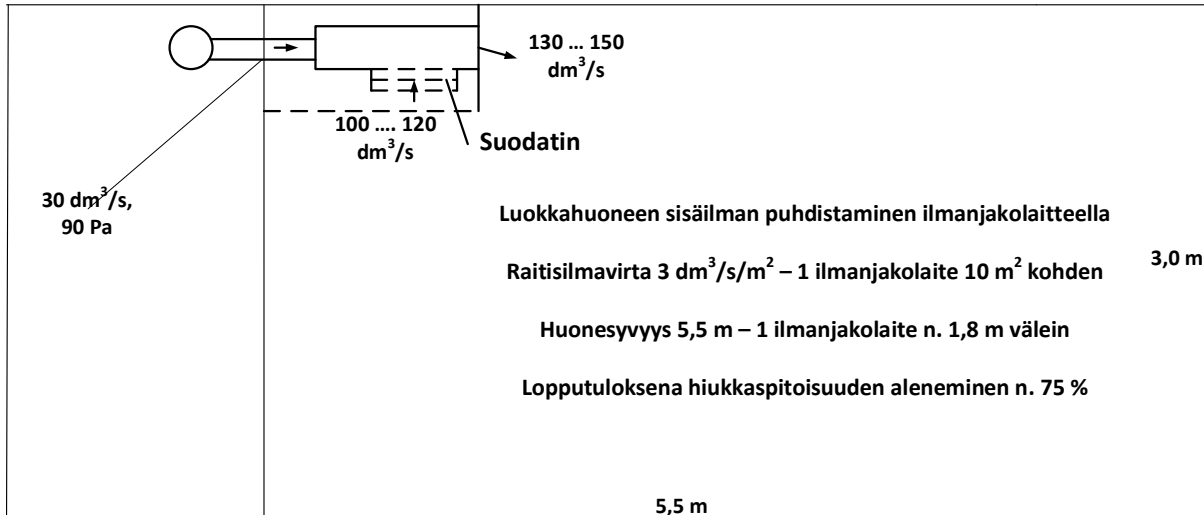
Kuten aktiivipalkin jäähdytysosankin, niin myös tuloilmalaitteeseen integroidun suodatusosan toimivuuden edellytyksenä on hyvin alhainen painehäviö. Tästä syystä tuloilmalaitteen suodatusosan on käytännössä toimittava sähkösuodatusperiaatteella. Sisäilmaa puhdistavasta tuloilmalaitteesta (patentit CN101730824 B ja US 8491703 B2, patenttihakemus PCT/FI 2008 050160) on VTT:n toimesta tehty kaksi prototyyppiä, joiden ominaisuuksia on mitattu laboratoriossa. Ensimmäisen prototyypin tehollinen ilmavirta oli kolminkertainen tuloilmavirtaan verrattuna (alensi koehuoneen hiukkaspitoisuutta 75 %). Prototyyppi siis nelinkertaisti ilmastointijärjestelmän tehokkuuden sisäilman hiukkaspitoisuuden hallinnan osalta. Toisella prototyypillä saavutettiin 77 % alenema koehuoneen hiukkaspitoisuudessa.

#### 1.4 Alhaisen hiukkaspitoisuuden tilaratkaisuja

Ilmastointijärjestelmän hiukkasuodatusratkaisut antavat mahdollisuuden saada aikaan selvästi nykytasoa puhtaampia sisäympäristöjä pelkästään ilmanvaihtojärjestelmän avulla. Parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi tuloilman jakolaitteiden lisäksi myös tuloilmakoneet tulisi varustaa kehittyneemmillä ilmansuodatusratkaisuilla. Esimerkkejä puhtaan sisäilman tilaratkaisuista on esitetty oheisissa kuvissa (Enbom, ym. 2014).



Kuva 2. Alhaisen hiukkaspitoisuuden toimisto-osasto toteutettuna sisäilmaa puhdistavalla ilmanjakolaitteella



Kuva 3. Alhaisen hiukkaspitoisuuden luokkahuoneen toteutettuna sisäilmaa puhdistavalla ilmanjakolaitteella

## 2. Tavoite, hyödyntäminen ja rajaukset

Hankkeen tavoitteena oli oleellisesti alentaa sisäilmaongelmallisten rakennusten sisäilman hiukkaspitoisuuksia ja vähentää merkittävästi etenkin herkistyneiden työntekijöiden altistumista sisäilman hiukkasmaisille epäpuhtauksille sisäilmaa puhdistavan ilmanjakolaitteen avulla.

Hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää, kun toteutetaan mm. herkistyneille henkilöille paremmin soveltuvia työympäristöjä. On mahdollista, että ainakin osa herkistyneistä henkilöistä voi pysyä työelämässä jos heidän työympäristönsä laatu paranee huomattavasti.

Hankkeen tuloksia voidaan soveltaa kohteissa, joissa on nykyaikainen koneellinen tuloilmanvaihto.

Hankkeessa keskityttiin sisäilman hiukkasmaisten epäpuhtauksien puhdistamiseen ilmanjakolaitteella. Hankkeessa ei käsitelty sisäilman kaasumaisten epäpuhtauksien, kuten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC), puhdistamista.

## 3. Koekohteet ja laiteratkaisut

### 3.1 Koekohteet

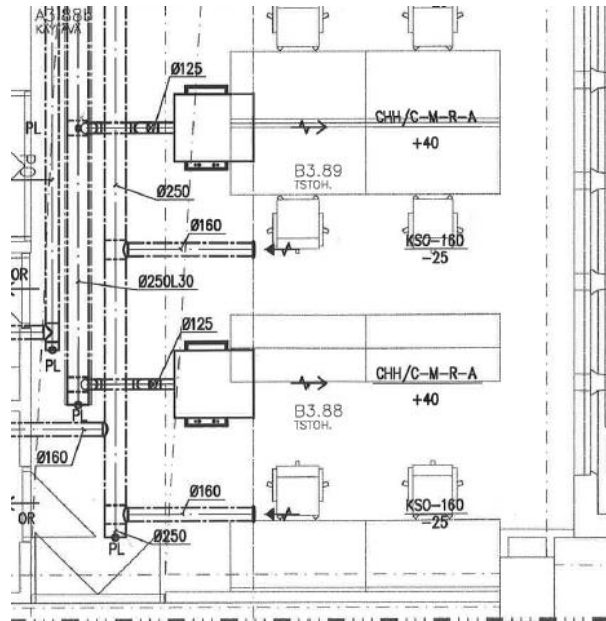
Tutkimuksen koekohteiden valinta tehtiin yhteistyössä hankkeeseen osallistuvien tahojen kanssa. Valintaprosessissa otettiin huomioon kohteiden saneeraussuunnitelmat tai uudistuotannon suunnitelmat sekä kohteiden ilmastointijärjestelmän muutostöiden toteutusmahdollisuudet (päätelaitteiden vaihtomahdollisuudet). Lisäksi huomioitiin mahdollisuus saada aikaan laajempia osastoja herkistyneille henkilöille.

Tutkimuksessa tarkasteltiin kahta toimisto-osastoa (kohteet A ja B) sekä kirjaston kirjojen lajittelutilaa (kohde C). Kaikki kohteet olivat saneerauskohteita.

Tutkimuksen sisältö ja tavoitteet esiteltiin koekohteiden työskenteleville henkilöille ennen tutkimusten aloittamista.



**Kohde A** oli kaksiosainen **avokonttori**, jonka pinta-ala oli yhteensä n. 2x170 m<sup>2</sup> (kuva 4). Kohteessa työskenteli n. 13 työntekijää. Tilaan asennettiin rakennusurakan yhteydessä 10 ilmansuodatuksella varustettua Halton CHH-tuloilmalaitetta, joiden tuloilmavirta oli yhteensä 315 l/s. Laitteet asennettiin alas lasketun katon sisään siten että ilmanjakolaitteen paluuilmaan tuli 15.5 cm pituinen suorakaidekanava, jonka alapäähän tuli säleikkö. Lisäksi tutkimuksen aikana tilassa käytettiin neljää tai viittä hiukkas- ja kaasusuodatuksella varustettua ilmanpuhdistinta (Electrolux Z9124).



Kuva 4. Kohde A (ote ilmanvaihdon pohjapiirustuksesta)

**Kohde B** oli kolmesta huoneesta koostuva pieni **toimistosiipi**. Huoneisiin asennettiin neljä ilmansuodatuksella varustettua Swegon Parasol C –tuloilmalaitetta (kuva 8). Laitteasennusten yhteydessä toimistosiiven huoneiden ilmanvaihto säädettiin vastaamaan nykyisiä ilmanvaihtomääryksiä. Uusien ilmanjakolaitteiden vaatima suurempi kanavapaine voitiin saavuttaa avaamalla tuloilmakanavan säätöpeltiä.

Kohteessa B laiteasennukset ja mittaukset olivat jo pääosin tehty, joten tässä hankkeessa keskityttiin kohteessa työskentelevien henkilöiden kokemaan sisäilman laatuun ja tarkistusmittauksiin.

**Kohde C** oli **kirjaston kirjojen lajitteluhuone** (kuva 5). Huone sijaitsi kirjastotalon pohjakerroksessa lastaussillan ja pysäköintihallin vieressä. Tilan pinta-ala oli 163 m<sup>2</sup>. Kohteessa työskenteli keskimäärin neljä työntekijää. Tilaan asennettiin ilmanvaihtourakan yhteydessä kahdeksan ilmansuodatuksella varustettua Halton CHH-ilmanjakolaitetta, joiden tuloilmavirta oli yhteensä 302 l/s (n. 1.9 l/s/m<sup>2</sup>, n. 38 l/s/laitte). Lisäksi tilassa käytettiin kattoon asennettua ilmanpuhdistinta (Filtec).



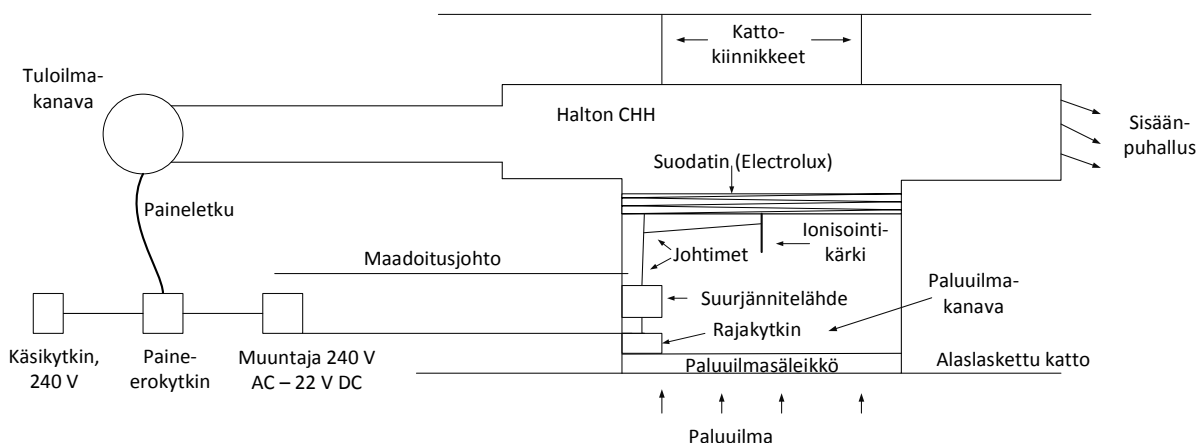
Kuva 5. Kirjaston kirjojen lajitteluhuone (kohde C)

### 3.2 Laiteratkaisut

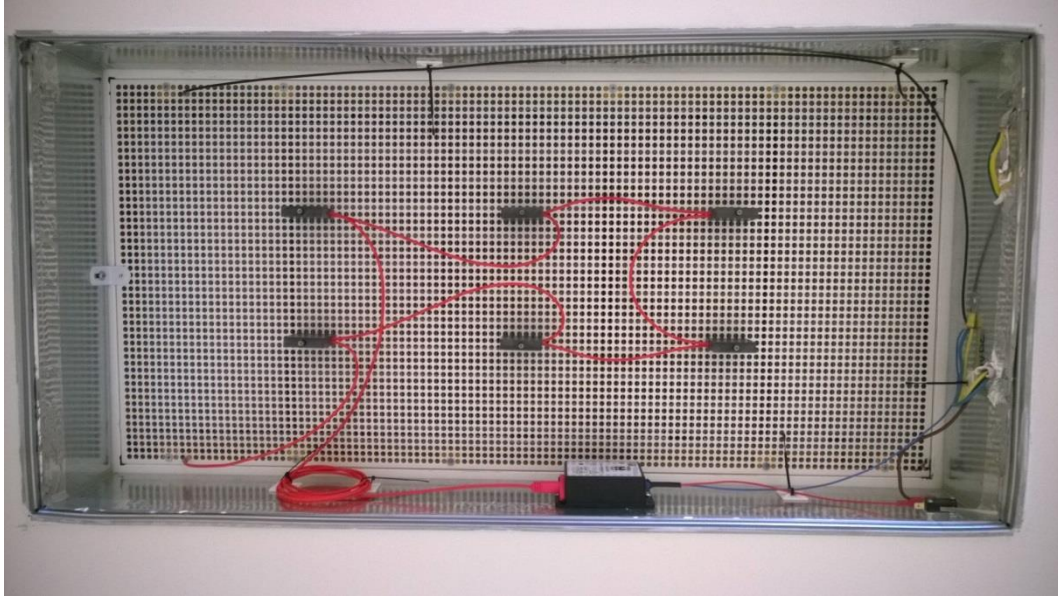
Tuloilmalaitteiden valinta toteutettiin yhdessä koekohteiden edustajien kanssa. Kohteisiin valittiin sellaiset laitteet, jotka soveltuivat kohteen ilmanvaihtoon ja voitiin varustaa sähköisellä ilmanpuhdistustekniikalla. Käytettävä ilmanpuhdistustekniikka perustui hiukkasten keräysosan osalta huoneilmanpuhdistimissa käytettyyn keräysosaan (Electrolux). Sähkösuodatusratkaisun suodattimet kiinnitettiin ilmanjakolaitteen sisäpuolelle rei'itettyyn pohjalevyyn. Tuloilmalaitteet jakoivat ilmaa koekohteisiin koko ajan, mutta mittauksen ja tarkastelujen ajan niiden sähkösuodatusratkaisu kytkettiin tarpeen mukaan päälle tai pois päältä. Laitteissa ei käytetty jäähdytyspatteria.

Kohteissa A ja C käytettiin laiteratkaisuna Halton CHH-tuloilmalaitetta, joka oli varustettu sähköisellä ilmanpuhdistusratkaisulla. Laitteen periaatekuva kytkentöineen on esitetty oheisessa kuvassa (kuva 6). Muokattu laite soveltuu esimerkiksi kookkaampien toimisto- tai koulutilojen ilman puhdistukseen.

Seuraavassa kuvassa (kuva 6) on esitetty sähkösuodatusratkaisu asennettuna koekohteeseen. Hiukkassuodattimet (5 kpl) ovat kuvassa näkyvän rei'itetyn pohjalevyn takana.



Kuva 6. Periaatekuva Halton CHH-laitteeseen rakennetusta sisäilmaa puhdistavasta ilmanjakolaitteesta tarvikkeineen (koekohteet A ja C)



*Kuva 7. Sähkösuodatusratkaisu asennettuna koekohteeseen*

Kohteessa B käytettiin laiteratkaisuna Swegon Parasol C –tuloilmalaitetta (kuva 8). Hiukkasten keräyskennot (Electrolux, 2 kpl) asennettiin reikälevyn sisäpuolelle ja yksi hiukkasten koronavaraajakärki reikälevyn ulkopuolelle. Muokattu laite soveltuu esimerkiksi pienempien toimistotilojen tai -huoneiden ilman puhdistukseen.



*Kuva 8. Sisäilmaa puhdistava Ilmanjakolaite asennettuna toimistohuoneeseen (koekohde B, Swegon Parasol C)*

## 4. Menetelmät

Hanke toteutettiin **pääosin kenttätutkimuksena**, jossa käytännön rakentelu- ja asennustyö oli merkittävässä roolissa. Hankkeen toteuttamiseen sisältyi koekohteiden ilmastoinnin päätelaitteiden muutokset sekä muutostöiden vaikuttavuuden analysoinnit. Sisäilman puhdistustekniikan vaikuttavuuden määrittäminen edellytti, että koekohteita mitattiin myös ilmastoinnin toimintaparametrit (ilmavirrat, painesuhteet).

## 4.1 Laboratoriomittaukset

Tuloilmalaitteiden muutostöiden jälkeen niiden tehokkuus (puhtaan ilman tuotto) mitattiin laboratoriossa olevassa mittaushuoneessa (233 m<sup>3</sup>). Mittauksen pääperiaate oli seuraava:

- Mitattava ilmanjakolaite (suodatusvarustuksella) asetettiin tiiviiseen mittaushuoneeseen ja mittaushuoneeseen johdettiin ko. ilmanjakolaitteen kautta sama ilmavirta kuin kenttäkohteeseen oli suunniteltu.
- Ilmanjakolaitteeseen menevä ilmavirta suodatettiin (hiukkaset, otsoni) ensin ja suodatuksen jälkeen ilmavirtaan sekoitettiin testihiukkasia (DEHS).
- Mittaushuoneen poistoilman hiukkaspitoisuutta mitattiin jatkuvasti optisella hiukkaskokoanalysaattorilla (PMS LAS-X2) hiukkaskokoalueella 0.1 - 2 µm.
- Kun poistoilman hiukkaspitoisuus oli noussut sopivalle tasolle, hiukkasten syöttö lopetettiin.
- Mittaushuoneen poistoilman hiukkaspitoisuuden mittausta jatkettiin, kunnes pitoisuus oli laskenut alle 1/10 -osaan.
- Suodatusratkaisun tehollinen ilmavirta määritettiin hiukkaspitoisuuden alenemäkäyrästä: mitatusta poistumasta vähennettiin ilmanjakolaitteen tuloilmavirta ja mittaushuoneen luonnollinen poistuma (mitatun poistuman ja tuloilmavirran ero, kun laitteen suodatus ei ole päällä).
- Määrittämisessä oletettiin, että mittaushuoneen ilmanvaihto toimii täydellisen sekoittumismallin mukaisesti. Sekoittumista tehostettiin mittaushuoneeseen sijoitetulla tuulettimella.
- Hiukkaspitoisuuden alenemaodote  $C_s$  laskettiin kaavan 1 mukaisesti

$$C_s = 100 \% - \frac{q_{in}}{q_{in} + TIV} * 100 \% \quad (1)$$

, jossa  $q_{in}$  on ilmanjakolaitteen tuloilmavirta ja  $TIV$  on laitteen tehollinen ilmavirta.

## 4.2 Mittaukset koekohteissa

Sisäilmaa puhdistavien ilmanjakolaitteiden **asennus** tehtiin yhteistyössä koekohteiden edustajien kanssa. Samalla tarkistettiin ilmastointijärjestelmän toimivuus ja tehtiin tarvittavat säädöt sekä ilmanvaihtomittaukset. Kohteiden ilmastoinnin **ilmavirrat** mitattiin balometrillä tulo- ja poistoilmalaitteista. Kohteiden **painesuhteet** viereisiin tiloihin ja ulkoympäristöön mitattiin mikromanometrillä.

Kaikissa kenttäkohteissa tutkittiin sisäilmaa puhdistavien ilmanjakolaitteiden vaikutusta sisäilman hiukkaspitoisuuteen kohteissa esiintyvillä **elottomilla hiukkasilla**. Lisäksi kahdessa kohteessa tutkittiin puhdistusratkaisun vaikutusta kohteen **eloperäisiin ja elollisiin hiukkasiin**. Näissä kohteissa tarkasteltiin myös ratkaisun vaikutusta **nanohiukkasten** (10-420 nm) pitoisuuteen. Hiukkasmittausten aikana seurattiin toimintaa koekohteessa (esim. henkilöiden määrä ja liikkuminen kohteessa, ovien avaukset).

Sisäilman hiukkaspitoisuutta mitattiin optisilla hiukkaslaskureilla (MetOne 237, MetOne 3313, TSI 3330, Climet 500/550), kun sisäilman puhdistusratkaisu oli tai ei ollut käytössä. Mittauksiin käytettiin myös kahta eloperäisten hiukkasten laskuria (BioVigilant IMD ja BioLaz). Nanohiukkasia mitattiin NanoScan 3910-laskurilla. Hiukkasmittauksissa



hyödynnettiin tietokoneohjattuja venttiilikoneistoja, joiden avulla voitiin mitata vuorotellen koekohteen sisäilman, tuloilman, ilmanjakolaitteesta puhallettavan ilman, viereisten tilojen sisäilman ja ulkoilman hiukkaspitoisuutta.

Elottomien hiukkasten mittauksilla saatiin luotettavin kokonaiskäsitys ilmanpuhdistusratkaisun toimivuudesta. Vertailun vuoksi verrattiin elottomien hiukkasten avulla saatua tulosta myös elollisilla hiukkasilla saatuihin tuloksiin, kun sisäilman puhdistusratkaisu oli tai ei ollut käytössä. Elollisten hiukkasten ilmanäytteet kerättiin MAS-100 ja Klotz FH5-keräimillä elatusalustoille (PCA ja PDA). Ilmanäytteistä analysoitiin aerobiset bakteerit ja homeet VTT:n laboratoriossa.

Yhdessä kohteessa toteutettiin sisäilman **virtausnopeuksien** mittauksia. Mittalaitteena käytettiin sisäilma-analysaattoria B&K 1213. Tavoitearvona oli sisäilmastoluokituksen S2 mukainen ilman virtausnopeus 0.17 m/s (21 °C).

Yhdessä kohteessa toteutettiin suppea haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittaus. Näytteet kerättiin Tenax TA-Carbograph 5TD-absorptioputkiin ja analysoitiin Työterveyslaitoksella kaasukromatografisesti käyttäen termodesorptiota ja massaselektiivistä ilmaisinta (TD-GC-MS). Näytteistä määritettiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) tolueeniekvivalenttina. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet määritettiin joko puhtaiden vertailuaineiden avulla tai tolueeniekvivalenttina. Yksittäisiä yhdisteitä kvantifioitiin enimmillään 40 kpl.

### 4.3 Sisäilmastokyselyt

Koekohteiden **sisäilman koettua laatua** selvitettiin Työterveyslaitoksen sisäilmastokyselyn avulla. Kysely toteutettiin kunkin koekohteen henkilöstölle muutostöiden jälkeen (ilmastointijärjestelmän mahdolliset muutokset, ilmanjakolaitteiden asennus tiloihin sekä ilmanvaihdon säätö). Kyselyissä ilmanjakolaitteiden suodatus oli kytketty tarkastelujakson ajaksi joko päälle tai pois päältä. Tyypillisesti n. 2-3 viikkoa ennen yksittäisen koekohteen ensimmäistä kyselyä ja ensimmäisen kyselyn ajan (n. 2 viikkoa) ilmanjakolaitteiden suodatus oli kytketty pois päältä (lähtötilanne). N. 2-3 viikkoa ennen toista kyselyä ja toisen kyselyn ajan (n. 2 viikkoa) laitteiden suodatus oli päällä (muutos lähtötilanteeseen). Tämän jälkeen kysely toistettiin mahdollisuuksien mukaan 1-2 kertaa. Kohteessa B ilmanjakolaitteiden suodatus oli kytketty päälle kaikkien kyselyiden aikana, sillä kohteessa työskenteli sisäilmalle herkistyneitä henkilöitä eikä tiloissa käytetty muita ilmanpuhdistimia.

Työterveyslaitoksen sisäilmastokysely perustuu Ruotsissa kehitettyyn MM40-kyselyyn (Örebro) (Andersson 1993). Kyselyn avulla voidaan ryhmätasolla selvittää sisäilmasto-ongelmiin liittyvien oireiden yleisyyttä ja laatua. Kyselyn tulos kertoo, onko ryhmätason sisäilmasto-ongelmaa olemassa. Tulos voi antaa viitteitä ongelman aiheuttajasta. Kysely sopii käytettäväksi silloin, kun epäillään henkilöstön oireiden ja koettujen haittojen johtuvan sisäilmasta, jolloin spesifiä syytä ei yleensä tiedetä. Sisäilmastokyselyä voidaan käyttää toimistotyypisissä työpaikoissa, joissa ei esiinny mainittavia tuotannosta johtuvia ilman epäpuhtauksia (mm. pölyjä ja käryjä). Lausunnoissa käytetään vertailuarvoja, jotka perustuvat Työterveyslaitoksen keräämään aineistoon (Reijula, Sundman-Digert, 2004).

## 5. Laboratoriomittausten tulokset

---

Laboratoriomittaukset tehtiin pääsääntöisesti ennen koekohteiden asennuksia. Mittauksia jatkettiin tarvittaessa koekohteista saatujen tarkentavien tietojen ja muutostarpeiden perusteella.

Ilmapuhdistusratkaisulla varustetun Halton CHH-laitteen mittaukset on esitetty oheisessa taulukossa (taulukko 1). Koekohteissa A ja C käytettiin laitteen suutintyyppiä C sekä tuloilmaritilän suuntaussäätöä. Koekohteessa A pystysäleet oli säädetty n. 40° sivulle ja kaksi vaakasäleettä n. 40° ylöspäin. Koekohteen A mukainen tuloilmasäleikön säätö heikensi järjestelmän sisäilman puhdistuskykyä 18.7 l/s eli 22 %.

*Taulukko 1. Ilmapuhdistusratkaisulla varustetun Halton CHH-laitteen laboratoriomittaukset*

Tuloilma- virta (l/s)	Kanava- paine (Pa)	Tehollinen ilmavirta (l/s)	Hiukkas- pitoisuuden alenemaodote ( $\geq 0.25 \mu\text{m}$ )	Huomautukset
32		105	77 %	Suuttimet B, 2 hiukkasten koronavaraukärkeä
32	120	112	78 %	Suuttimet B, 6 varaukärkeä
32		87	73 %	Suuttimet C, 6 varaukärkeä
31.8	62	82	72 %	Suuttimet C, 6 varaukärkeä
31.8		66	67 %	Suuttimet C, tuloilmasäleikön suuntaussäädön jälkeen (vrt. koekohte A)

Puhdistusratkaisun tehonkulutus avoimessa tilassa oli 8 mW. Kohteiden A ja C mukaisessa järjestelyssä tehonkulutus oli 40 mW (15.5 cm suorakaidekanava ja paluuilmasäleikkö). Suurjännitelähteen (HiTek) tehonkulutukseksi mitattiin n. 1 W. Ratkaisun tehonkulutus on käytännössä merkityksetön normaalilla verkkosähkön syötöllä.

Swegon Parasol C -laitteen (kohde B) laboratoriomittauksissa puhdistusratkaisulla arvioitiin saavutettavan käyttökohteessa 65 – 67 % hiukkaspitoisuuden alenema, jos vuotoilmanvaihdoilla ei ole merkitystä.

Kohteeseen C alustavasti suunniteltu ilmanjakolaitetyyppi Swegon Parasol PF osoittautui puhtaan ilman tuotoltaan vaatimattommaksi kuin kohteessa A käytetyt Halton CHH-laitteet. Viidellä Electroluxin keruukennolla varustetun Swegon Parasol PF -laitteen hiukkaspitoisuuden alenemaodote oli 44 % (hiukkaskoko  $\geq 0.23 \mu\text{m}$ , tuloilmavirta 78 l/s). Tämän vuoksi myös kohteessa C päätettiin hyödyntää ilmapuhdistusratkaisulla varustettuja Halton CHH-laitteita.

## 6. Tulokset koekohteista

### 6.1 Avokonttori (kohde A)

Koekohteen sisäilmamittaukset toteutettiin syys-lokakuussa 2014 ja maaliskuussa 2015. Sisäilmastokyselyt toteutettiin lokakuun 2014 ja helmikuun 2015 välisenä aikana.

#### 6.1.1 Virtausnopeudet

Muutostöiden jälkeen tuloilma suuntautui koekohteessa ilmanjakolaitteista ulkoseinää kohden ja aiheutti käyttäjien palautteen mukaan vetoa etenkin ulkoseinän läheisyydessä. Ongelmaa laajuutta kartoitettiin sisäilman virtausnopeuksien mittauksilla 2.9.2014.



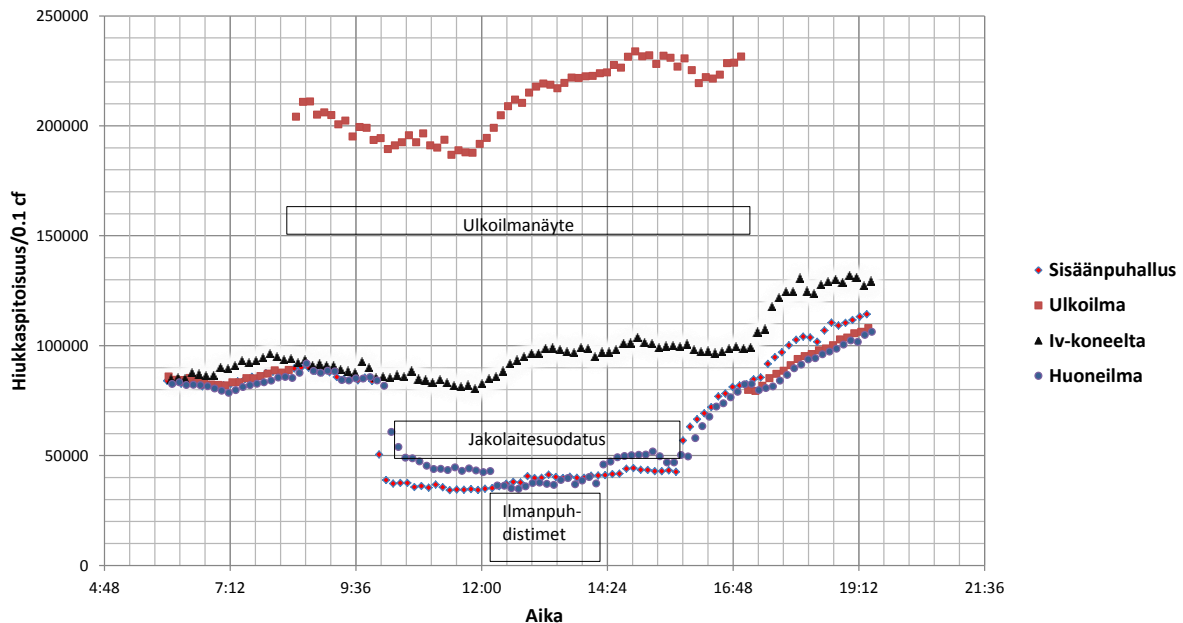
Ilman virtausnopeudet ja lämpötilat mitattiin eri työpisteistä tietokonenäppäimistön molemmilta puolilta 10 ja 30 cm pöytätason yläpuolelta. Lisäksi yksi mittauskohta sijoitettiin kummankin toimisto-osan keskelle.

Mittausten perusteella oleskeluvyöhykkeellä todettiin vetohaittaa: 56 mittauskohdasta kymmenessä tavoitearvo 0.17 m/s ylittyi. Vetoa vähennettiin ilmanjakolaitteiden tuloilmasäleikköjen puhalluskuvion säädöllä. Uusintamittauksissa 16.9.2014 virtausnopeuden ohjearvo ylittyi lievästi kahdessa mittauspisteessä. Vetohaittakokemuksia oli silti edelleen myös kohdissa, joissa virtausnopeus oli korkeintaan 0.05 m/s.

### 6.1.2 Hiukkaspitoisuudet

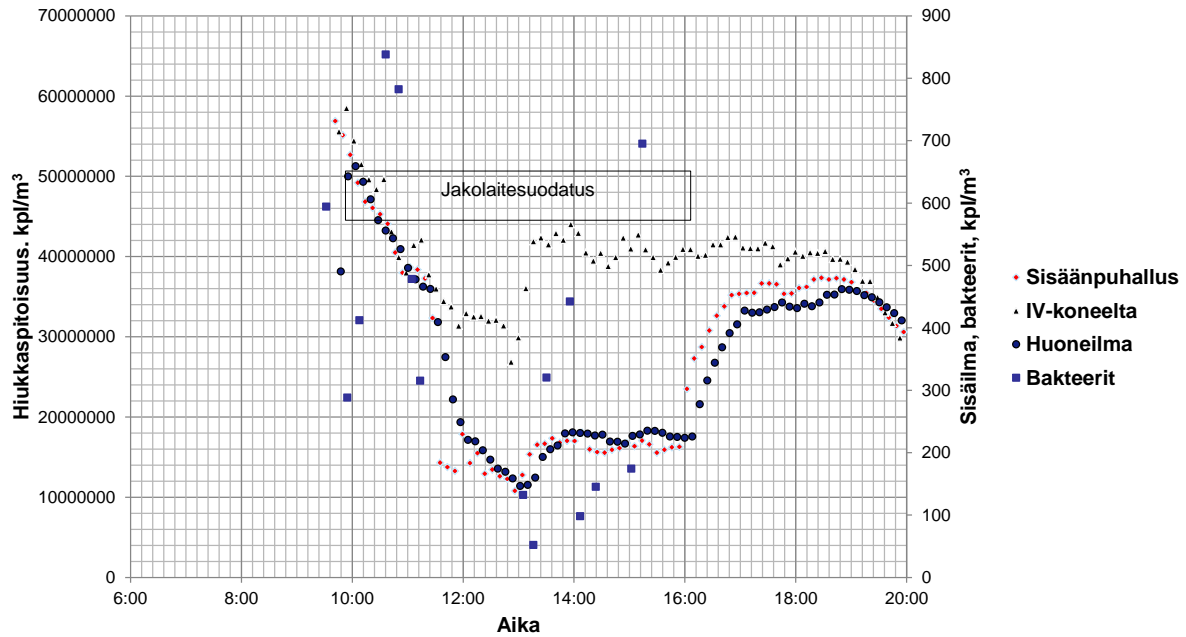
Henkiöiden määrä mittauksen kohteena olleissa työpistealueissa vaihteli runsaasti. Tyypillisesti alueissa työskenteli 2-8 henkilöä ja enimmillään 13 henkilöä.

Seuraavassa kuvassa (kuva 9) on esitetty hiukkaspitoisuuden vaihtelu 8.10.2014. Mittauksen aikana kolmen ilmanjakolaitteen puhdistusratkaisu kytkettiin päälle (jakolaitesuodatus). Rajakytkinvian takia kahden laitteen suodatus ei ollut päällä. Tästä huolimatta huoneilman hiukkaspitoisuuden alenema lähtötilanteeseen verrattuna oli 50 %. Ilmanjakolaitteiden tehollinen ilmavirta oli 161 l/s (54 l/s/laitte). Kun ilmanjakolaitteiden suodatuksen lisäksi kytkettiin päälle tilassa olleet ilmanpuhdistimet, alenema kasvoi 56 % lähtötilanteeseen verrattuna (ilmanpuhdistimien TIV n. 11 l/s/laitte).



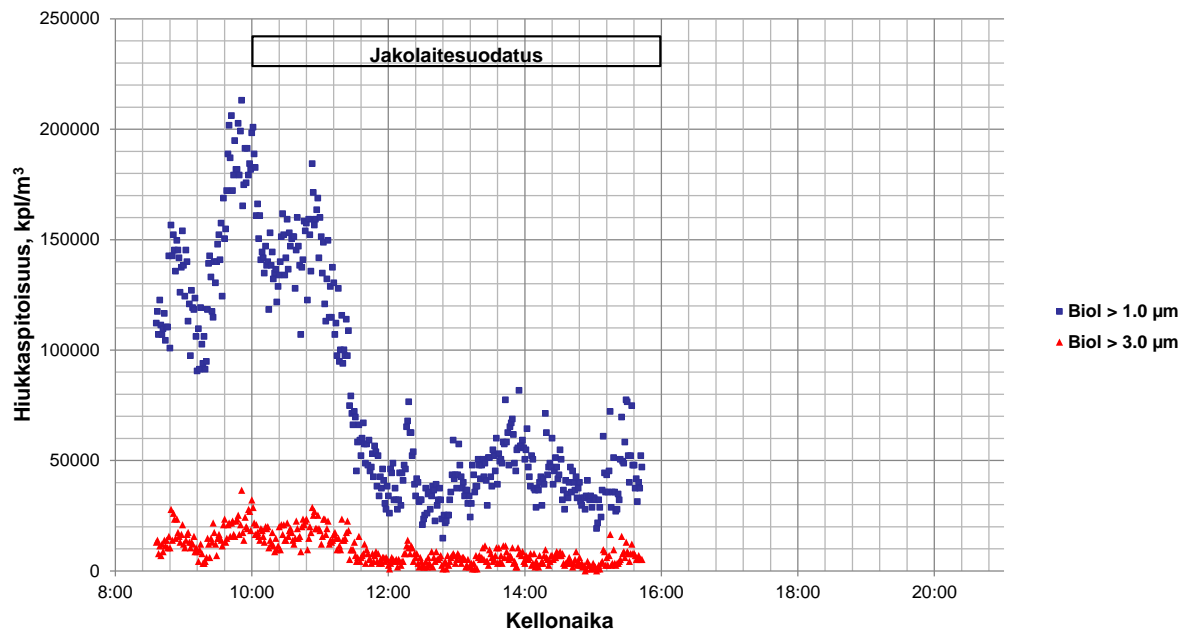
Kuva 9. Hiukkaspitoisuus 8.10.2014. (MetOne 237 ja venttiilikoneisto, hiukkaskokoluokka  $\geq 0.3 \mu\text{m}$ ). Hiukkaspitoisuus on esitetty lukumääräpitoisuutena kymmenesosakuutiojalassa (n. 2.83 l).

9.10.2014 hiukkasmittauksen aikana työpistealueen viiden ilmanjakolaitteen suodatus oli toiminnassa, jolloin hiukkaspitoisuuden alenema oli 56 % (kuva 10). Laitteiden tehollinen ilmavirta oli 205 l/s (41 l/s/laitte). Kuvassa on esitetty myös ilmanäytteistä mitattu sisäilman bakteerien pitoisuus.



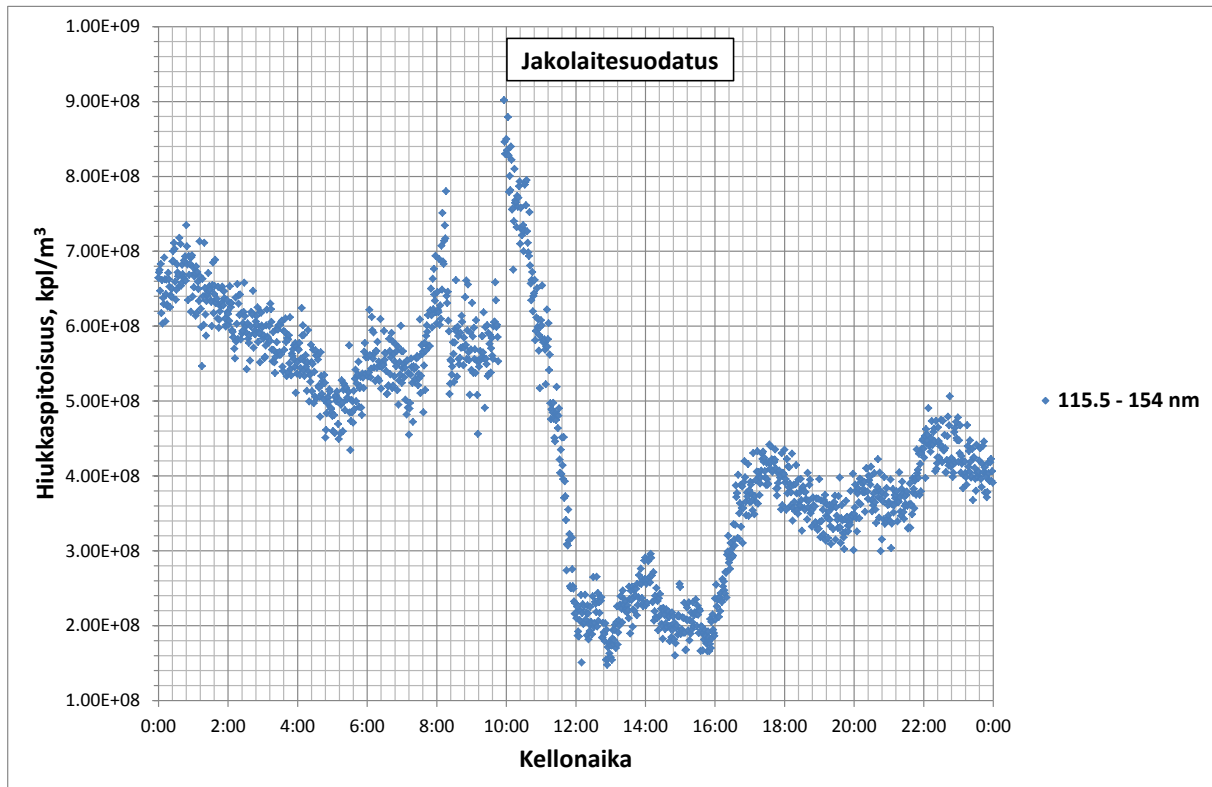
Kuva 10. Hiukkaspitoisuus 9.10.2014. (MetOne 237 ja venttiilikoneisto, hiukkaskokoluokka  $\geq 0.3 \mu\text{m}$ ). Hiukkaspitoisuus on esitetty lukumääräpitoisuutena kuutiometrissä.

Seuraavassa kuvassa (kuva 11) on esitetty esimerkki eloperäisten hiukkasten pitoisuuden vaihtelusta 9.10.2014.

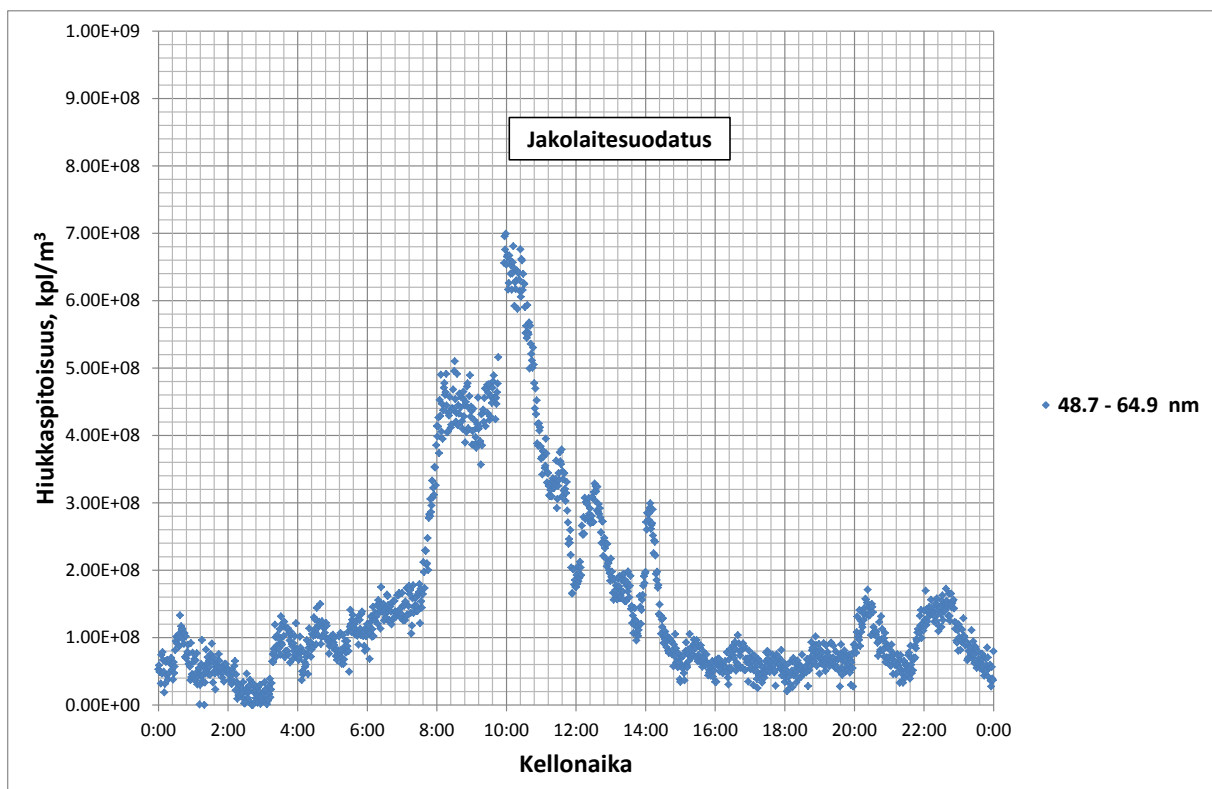


Kuva 11. Eloperäisten hiukkasten pitoisuus 9.10.2014 (IMD-hiukkaslaskuri, hiukkaskokoluokat  $\geq 1 \mu\text{m}$  ja  $\geq 3 \mu\text{m}$ )

Nanohiukkasten pitoisuuden muutosta tarkasteltiin kahdessa eri hiukkaskokoluokassa (kuva 12, kuva 13). Yli 100 nm hiukkasilla suodatuksen vaikutus on selvästi havaittavissa. Myös 50-60 nm hiukkaskokoluokassa pitoisuus alenee, mutta ei ole varmuutta johtuuko tämä pääasiassa ilmanjakolaitteiden suodatuksesta.



Kuva 12. 115.5 – 154 nm hiukkasten mittaus 9.10.2014 (NanoScan 3910)



Kuva 13. 48.7 – 64.9 nm hiukkasten mittaus 9.10.2014 (NanoScan 3910)

Maaliskuussa 2015 koekohteessa tehtiin suppea VOC-mittaus, jolla saatiin karkea käsitys haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudesta kohteen sisäilmassa. Näytteitä otettiin yhteensä 9 kappaletta. Näytteiden perusteella kohteen sisäilma oli normaalin toimistoympäristön sisäilman tasolla.

### 6.1.3 Tulosten tarkastelu

Vetohaitan torjunta tuloilmasäleikköjä säätämällä alensi laitteiden tehollista ilmavirtaa koekohteessa A merkittävästi (laboratoriomittausten perusteella 22 %). Ilmanjakolaitteilla saavutettu hiukkaspitoisuuden alenema oli kohteessa 50-56 %, mikä oli hieman alempi laboratoriomittauksiin verrattuna (67 %). Ilmanjakolaitteen tehollinen ilmavirta koekohteessa oli tilanteesta riippuen 41-54 l/s, kun se laboratoriomittauksissa oli 66 l/s.

Vuotoilmanvaihdoilla oli todennäköisesti merkitystä koekohteen laboratoriomittauksia pienempään hiukkaspitoisuuden alenemaan. Ovia ympäröiviin tiloihin pyrittiin pitämään kiinni ilmoituksilla sekä kehotuksin mittausten aikana. Lokakuussa 2014 tehtyjen mittausten aikana työpistealueiden alipaine ulkoilmaan nähden oli 15 Pa. Maaliskuussa 2015 tehtyjen mittausten aikana tilat olivat alipaineisia ympäröiviin tiloihin nähden 0-5 Pa. Esimerkiksi 10 % vuotoilmanvaihdoilla ilmanjakolaitteiden teholliseksi ilmavirraksi koekohteessa saataisiin 59 l/s, mikä on lähempänä laboratoriomittausten tulosta.

Eloperäisten ja elollisten hiukkasten mittausten (IMD, BioLaz, keräimet) tulos jäi epäselväksi. Hiukkaset syntyivät sisällä ja ilmeisesti hiukkasten päästö vaihteli voimakkaasti. Samoin pienten nanohiukkasten (<50 nm) suodatus jäi epäselväksi. Nanohiukkasten tulosten tulkintaa heikensi tuloilmareferenssin puuttuminen.

## 6.2 Toimistosiipi (kohde B)

Koekohteessa saavutettiin 63 % hiukkaspitoisuuden alenema, joka oli hieman pienempi kuin laboratoriomittausten perusteella saatu alenemaodote (65 – 67 %).

Tulokset on esitetty yksityiskohtaisemmin julkaisussa (Enbom ym., 2014).

## 6.3 Kirjaston kirjojen lajitteluhuone (kohde C)

Sisäilmamittaukset lajitteluhuoneessa toteutettiin 1.-4.9.2015 Työterveyslaitoksen ja VTT:n yhteistyönä. Ilmanäytteitä (bakteerit ja homeet) kerättiin 3.9.2015.

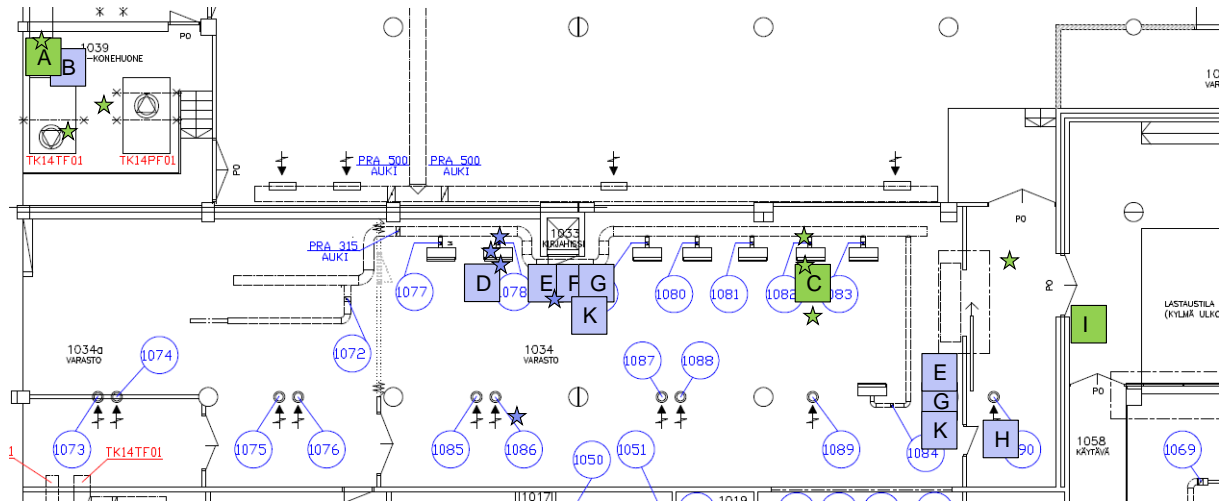
Lajitteluhuoneessa ja sen ympäristössä tehdyt mittaukset ja niissä hyödynnetyt mittalaitteet ja näytteenottopisteet on esitetty oheisessa taulukossa (taulukko 2) ja kuvassa (kuva 14). Tähdet kuvassa kuvaavat venttiilikoneistoilla ohjattujen hiukkasmittausten näytteenottopisteitä. Päähuomio mittauksissa oli hiukkaspitoisuuksien muutoksissa kirjojen lajittelun aikana.

Lajitteluhuoneen sisäänkäyntinä oli kaksi liukuovea, jotka johtivat kapeaan eteis-/aulatilaan. Työvuoron aikana liukuovia avattiin useita kertoja kuljetettaessa kirjalaatikoita lajitteluun ja sieltä pois. Eteistilasta johti ovet ulos lastaussillalle sekä viereiseen pysäköintihalliin.

*Taulukko 2. Mittauksissa hyödynnetyt laitteet ja mittauspisteet*

Tunniste	Mittaus	Mittalaite	Mittauspisteet	Mittaaja
A	Hiukkaset	Climet 500/550 ja venttiilikoneisto	1. ulkoilma (tuloilmakanava ennen hienosuodatinta) 2. hienosuodattimen jälkeen 3. IV-konehuone	TTL
B	Hiukkaset	MetOne 237 ja laimennin	Ulkoilma	VTT

	(0.3-5 µm)	(laimennussuhde 1:10)		
C	Hiukkaset (10 nm-10 µm)	NanoScan 3910, TSI 3330 ja venttiilikoneisto	1. tuloilma laitteeseen 1082 2. ulospuhallus laitteesta 3. lajitteluhuoneen ilma 4. eteistilan huoneilma	TTL
D	Hiukkaset (0.3-10 µm)	TSI 3330 ja venttiilikoneisto	1. tuloilma laitteeseen 1078 2. ulospuhallus laitteesta 3. lajitteluhuoneen ilma 4. lajitteluhuoneen ilma (2) 5. paluuilma laitteeseen	VTT
E	Eloperäiset hiukkaset	PMS BioLaz	Lajitteluhuoneen ilma 1. keskellä huonetta 2. lajittelupisteessä	VTT
F	Eloperäiset hiukkaset	BioVigilant IMD	Lajitteluhuoneen ilma	VTT
G	Hiukkaset (0.3-10 µm)	MetOne 3313	Lajitteluhuoneen ilma 1. keskellä huonetta 2. lajittelupisteessä	VTT
H	Paine-ero	Swema 60	Lajitteluhuone - eteinen	VTT
I	Paine-ero	Swema 3000md	Lajitteluhuone - ulkotila (lastaussilta)	TTL
J	Lämpötila, kosteus	Tinytag Plus Vaisala HM34C	1. lajitteluhuone 2. eteinen	TTL VTT
K	Ilmanäytteet (bakteerit ja homeet)	MAS-100, Klotz FH5	1. lajitteluhuoneen ilma keskellä huonetta 2. lajitteluhuoneen ilma lajittelupisteessä 3. ulkoilma 4. tuloilmakanava ennen hienosuodatinta 5. hienosuodattimen jälkeen	VTT

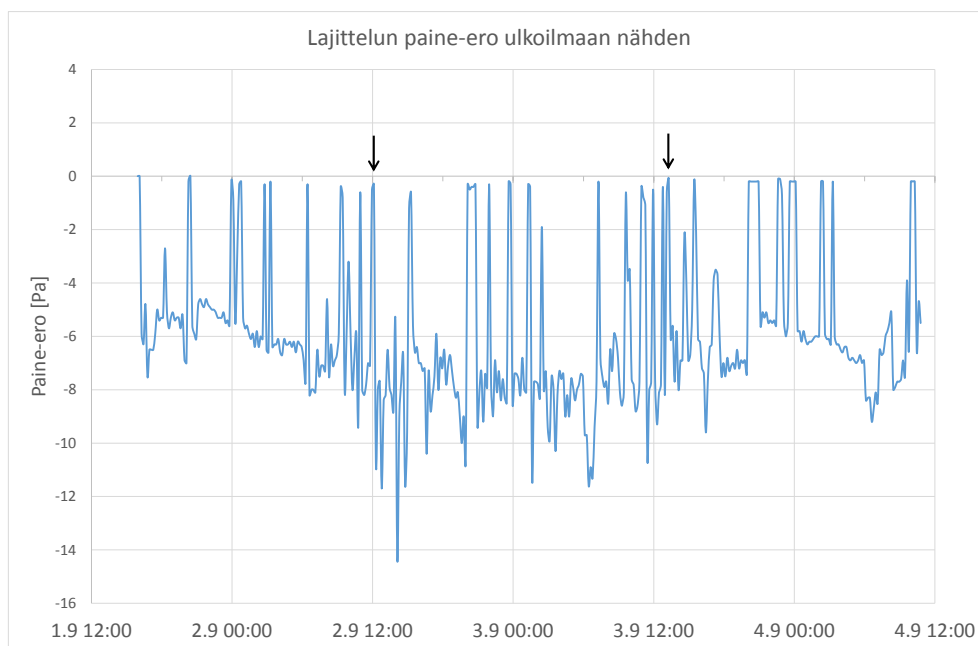


Kuva 14. Mittalaitteiden ja näytteenottopisteiden sijoittelu lajitteluhuoneessa ja sen ympäristössä

### 6.3.1 Painesuhteet, ilmavirrat ja lämpöolot

Mittausten aikana lajitteluhuoneen lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Lämpötila oli keskimääräinen 21,9 °C (20.5–23.4 °C) ja suhteellinen kosteus lajittelun aikana keskimäärin 46 %. Mittausten aikana lajitteluhuoneessa oli päällä kaksi tuuletinta.

Lajitteluhuone oli ulkoilmaan nähden 5-10 Pa alipaineinen (keskimäärin -6 Pa, vaihteluväli -14 Pa – 0 Pa, kuva 15). Lajitteluhuoneen ja eteisen välinen paine-ero oli keskimäärin -0.6 Pa (vaihteluväli -3 Pa – 1 Pa), eikä tilojen välisten liukuovien avaaminen vaikuttanut paine-eroon. Lajitteluhuoneen ja eteisen paine-ero ulos oli siten käytännössä lähes yhtä suuri. Paine-erokuvaajaan on merkitty nuolilla kaksi ajankohtaa, jolloin sekä lajitteluhuoneen että eteistilan ovet ovat auki ulos lastaussillalle saakka. Näiden tilanteiden aiheuttamat päästöt lajitteluhuoneeseen ovat nähtävissä myös hiukasmittauksissa (kuva 16 - kuva 20).



Kuva 15. Lajitteluhuoneen paine-ero ulkoilmaan nähden 1.-4.9.2015 (laitteisto I, Swema 3000md, näyteväli 10 s)



Myös yhden ilmanjakolaitteen (laite 1082) tuloilmavirtaa mitattiin jatkuvasti. Kyseiselle laitteelle säädetty arvo 35 l/s pysyi tasaisena mittauksen ajan.

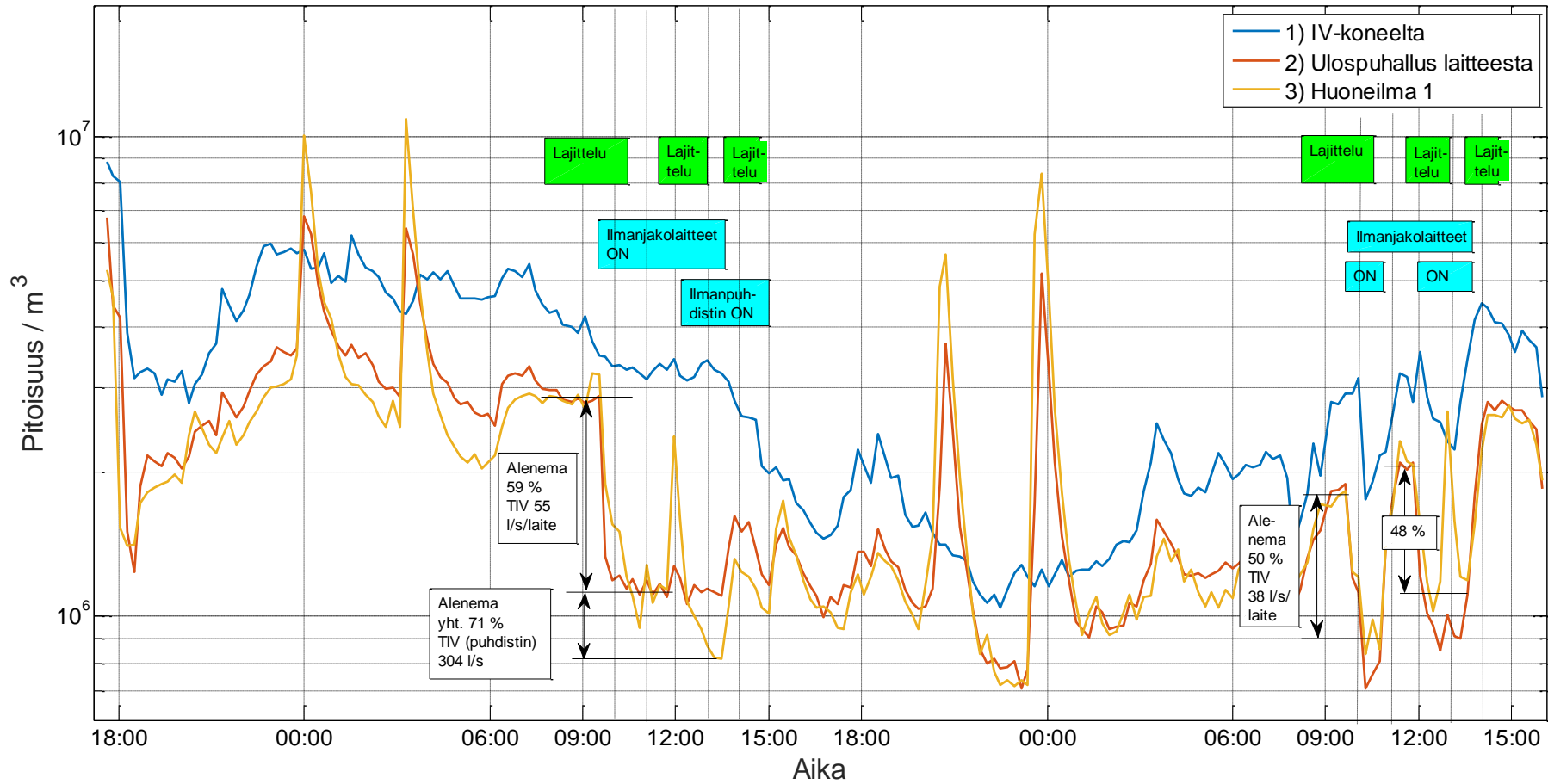
### 6.3.2 Hiukkaspitoisuudet

Seuraavassa kuvassa (kuva 16) on esitetty hiukkaspitoisuuden vaihtelu lajitteluhuoneessa 1.-3.9.2015. Työvuoro lajittelussa jakaantui kolmeen jaksoon. Mittauksissa ilmanjakolaitteiden suodatus kytkettiin päälle, kun lajittelua oli tehty n. 1 tunnin ajan (laitteet syöttivät tuloilmaa huoneeseen koko ajan). Huoneilman hiukkaspitoisuuden alenema lähtötilanteeseen verrattiin tilanteessa, jossa lajittelujakso oli päättymässä. 2.9.2015 mitattiin myös ilmanjakolaitteiden ja ilmanpuhdistimen (Filtec) yhteisvaikutus. Ilmanpuhdistinta käytettiin sen päällä ollessa maksimiteholla.

Ilmanjakolaitteiden suodatusratkaisu alensi lajittelun aikaista hiukkaspitoisuutta huoneessa 48-59 %. Laitteiden tehollinen ilmavirta vaihteli 302-439 l/s välillä (38-55 l/s/laite). Kun myös ilmanpuhdistin oli päällä, hiukkaspitoisuuden alenema oli yhteensä 71 %. Ilmanpuhdistimen tehollinen ilmavirta oli 304 l/s.

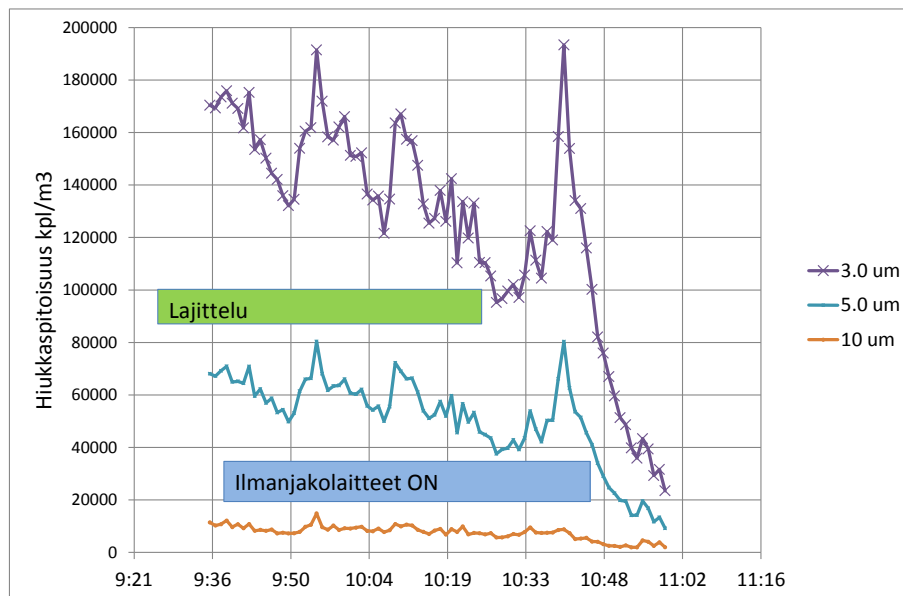
Työvuoron ulkopuolella 2.9.2015 ja 3.9.2015 lajitteluhuoneen ilman hiukkaspitoisuudessa esiintyi hetkellisesti kohonneita tasoja. Tähän voi olla syynä ilta- ja yöaikaan tehtävät kirjojen kuljetukset. Ulkoilmassa ei samaan aikaan esiintynyt kohonneita hiukkaspitoisuuksia. Ilmanjakolaitteen tuloilmavirtamittauksen perusteella myöskään tilan ilmanvaihtokoneen käytössä ei ole ollut ajastettuja muutoksia.

Mittauspisteet 1-3, 0.3  $\mu\text{m}$ , kumulatiivinen



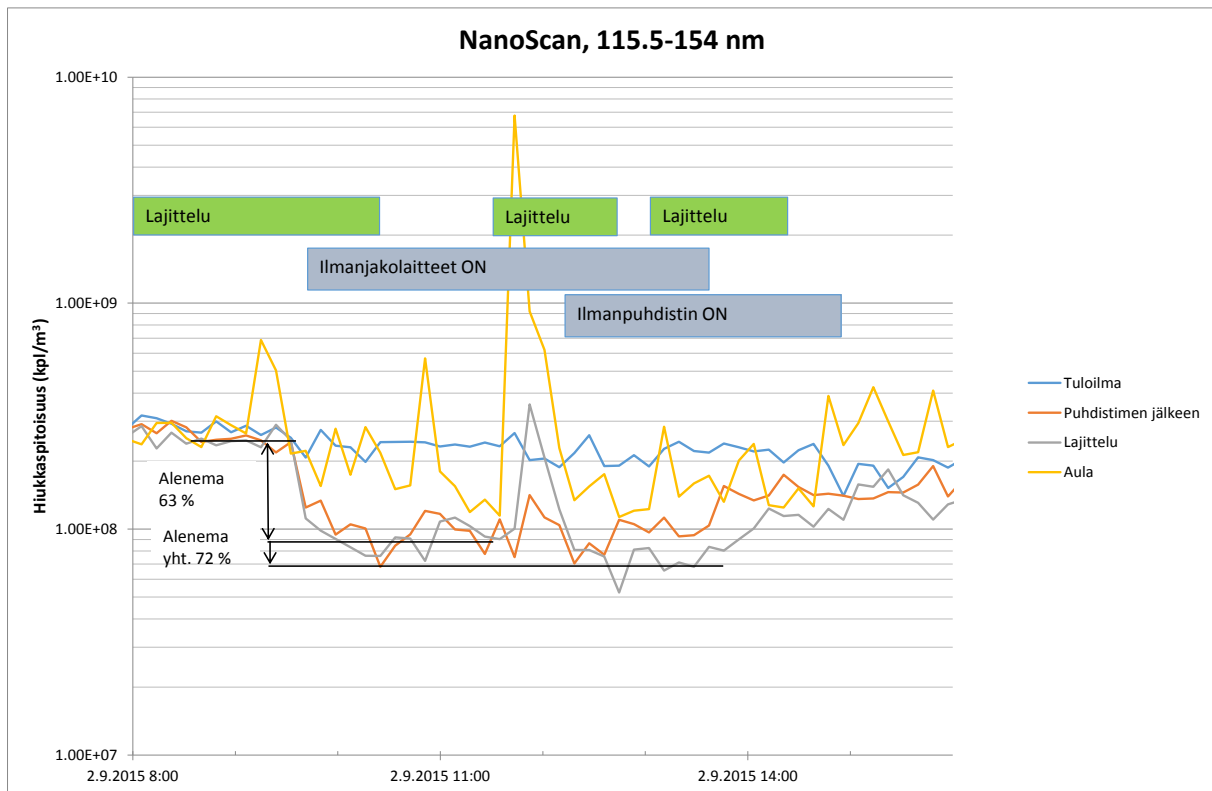
Kuva 16. Hiukkaspitoisuus lajitteluhuoneessa 1.-3.9.2015 (laitteisto D, TSI 3330 ja venttiilikoneisto, hiukkaskokoluokka  $\geq 0.3 \mu\text{m}$ )

Esimerkki ilmanjakolaitesuodatuksen vaikutuksesta suurempien ( $\geq 3 \mu\text{m}$ ) hiukkasten pitoisuuteen on esitetty seuraavassa kuvassa (kuva 17). Tässä kokoluokassa sisälähteillä (kirjojen lajittelulla) on huomattavasti suurempi merkitys. Mittaukset tehtiin MetOne 3313-hiukkaslaskurilla, jonka näyteilmavirta oli 28.3 l/min. Myös tässä kokoluokassa hiukkasten pitoisuus aleni, enimmillään 40 %. Koska sisälähteiden hiukkaspäästöt vaihtelivat kohteessa satunnaisesti ja runsaasti (esim. kuvassa voimakas päästö lajittelun jälkeen), ei ole täyttä varmuutta johtuuko hiukkaspitoisuuden aleneminen pääasiassa ilmanjakolaitteiden suodattuksesta. Asian tarkempi todentaminen vaatisi runsaasti mittausten toistoja.

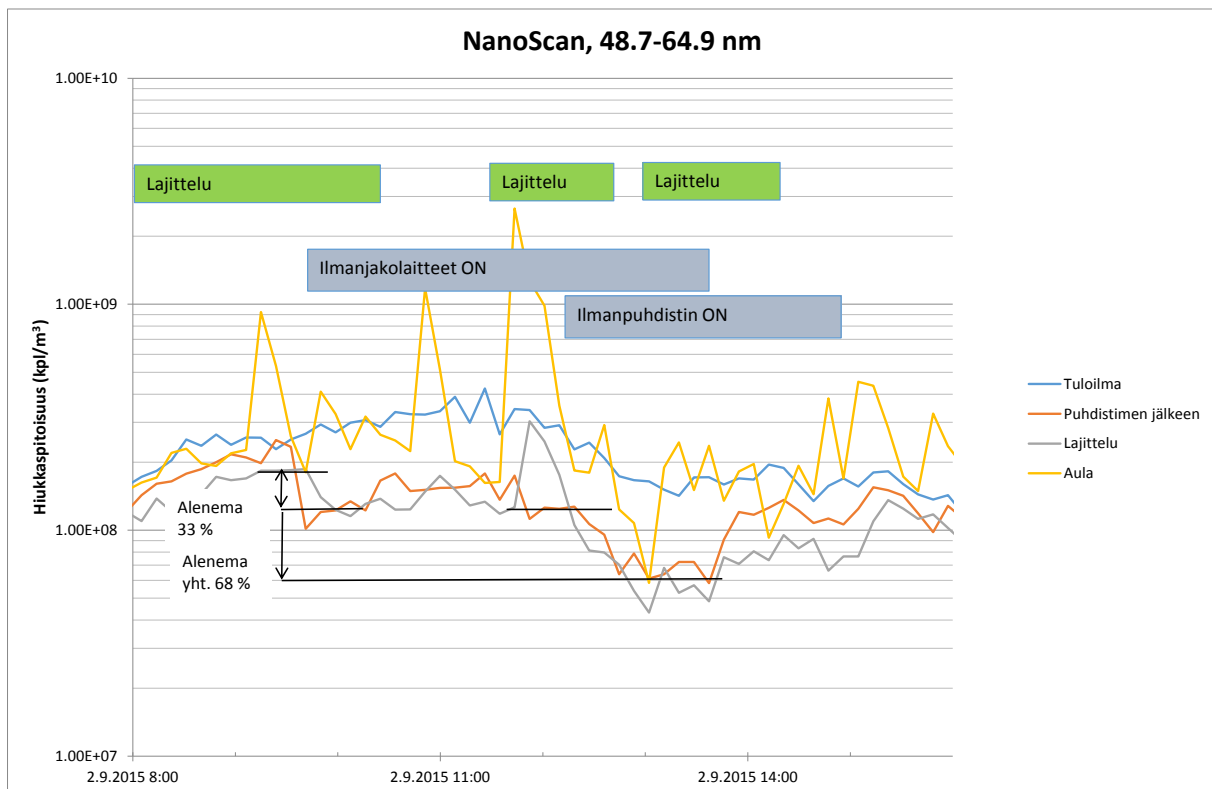


Kuva 17. Esimerkki 3-10  $\mu\text{m}$  hiukkasten pitoisuuden vaihtelusta 3.9.2015 (laitteisto G, MetOne 3313)

Seuraavissa kuvissa (kuva 18 ja kuva 19) on esitetty nanohiukkasten pitoisuuden vaihtelu 2.9.2015, kun tuloilman hiukkaspitoisuus oli kohtalaisen tasainen. Yli 100 nm hiukkasilla suodatuksen vaikutus on selvästi havaittavissa. Myös 50-60 nm hiukkaskokoluokassa pitoisuus alenee, erityisesti kun myös tilassa ollut ilmanpuhdistin kytkettiin päälle. Molemmissa hiukkaskokoluokissa suurin pitoisuus mitattiin tilanteessa, jossa lajitteluhuoneen ovet olivat auki lastaussillalle saakka, ja keräilyauto oli käynnissä kuorman purkamisen ajan.

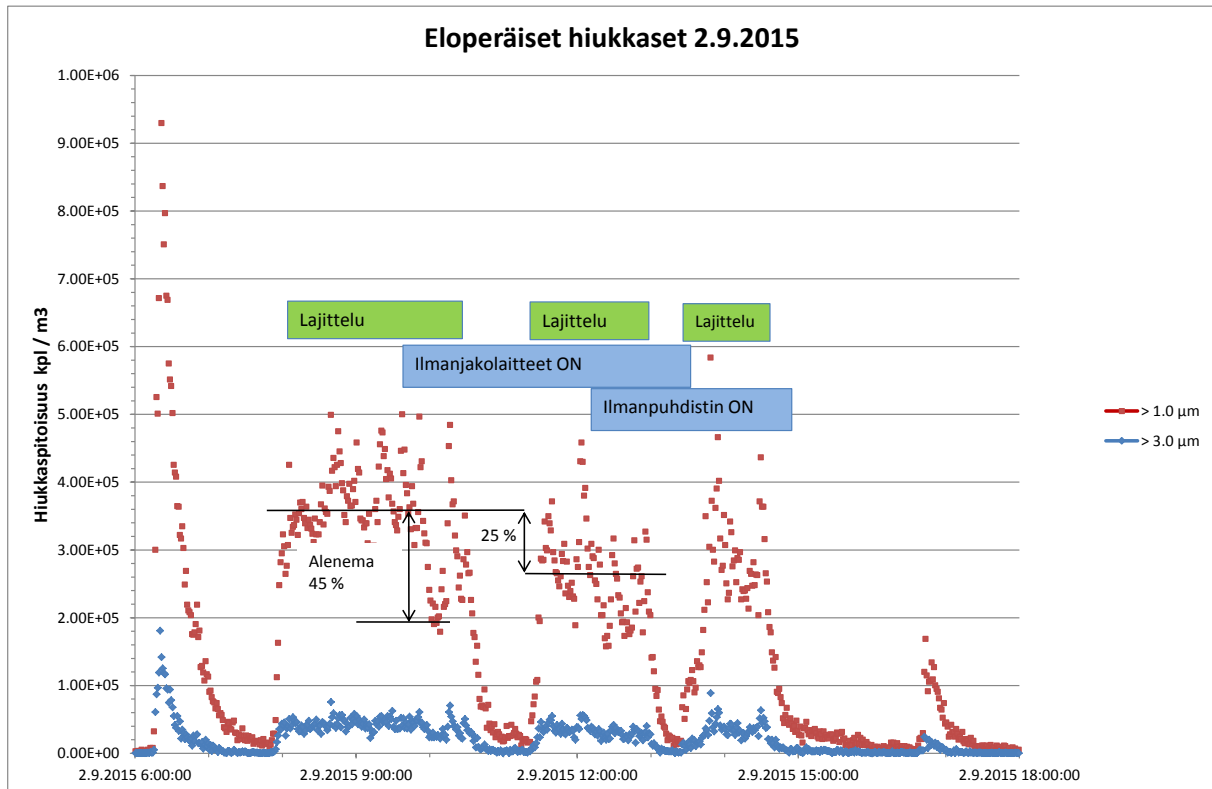


Kuva 18. 115.5 – 154 nm hiukkasten mittaus 2.9.2015 (Laitteisto C, NanoScan ja venttiilikoneisto)



Kuva 19. 48.7 – 64.9 nm hiukkasten mittaus 2.9.2015 (laitteisto C, NanoScan ja venttiilikoneisto)

Työpäivän kolme lajittelujaksoa olivat selvästi havaittavissa eloperäisten hiukkasten pitoisuuden kohoamisina (kuva 20). Ilmanjakolaitteiden suodatuksen kytkeminen päälle ensimmäisen lajittelun aikana alensi  $\geq 1 \mu\text{m}$  eloperäisten hiukkasten pitoisuutta enimmillään 45 %. Toisen ja kolmannen lajittelujakson, jolloin ilmanjakolaitteet ja/tai ilmanpuhdistin oli päällä, keskimääräinen hiukkaspitoisuus oli ensimmäistä jaksoa n. 25 % alaisempi. Eloperäisten ja elollisten hiukkasten päästöt vaihtelivat runsaasti lajittelun aikana.



Kuva 20. Eloperäisten hiukkasten pitoisuus lajitteluhuoneessa 2.9.2015 (laitteisto F, BioVigilant IMD)

### 6.3.3 Tulosten tarkastelu

Mittauksen eri aikoina koetuissa olosuhteissa (lämpötila, kosteus) ei todennäköisesti ollut suurta eroa, pois lukien mahdollinen vedon tunne ovien avausten yhteydessä. Samoin lajitteluhuoneen tuloilman määrän vaihtelulla ei ollut vaikutusta tuloksiin. Hiukkasmittausten perusteella tuloilman hiukkaspitoisuus seurasi ulkoilman pitoisuuden vaihteluja.

Lajitteluhuoneen hiukkaspitoisuus (elottomat, eloperäiset ja elolliset hiukkaset) vaihteli runsaasti sekä ulkoilmapitoisuuden, vuotoilmavirtojen että sisälähteiden (kirjojen lajitteluun liittyvä toiminta) osalta, mikä teki tulosten analysoinnista haastavan. Yli  $0.3 \mu\text{m}$  hiukkasten osalta ilmanjakolaitteet alensivat lajitteluhuoneen hiukkaspitoisuutta 48-59 %. Muutos oli samaa tasoa kuin kohteessa A (alenema 50-56 %) ja hieman alaisempi kuin laboratoriomittauksessa (67 %). Laitteiden tehollinen ilmavirta vaihteli keskimäärin 38-55 l/s/laitte välillä (kohde A 41-54 l/s/laitte, laboratoriossa 66 l/s/laitte).

Myös kohteessa C laitteiden tuloilmasäleiköt oli suunnattu alaspäin ja sivuille, mikä heikensi laitteen tuottamaa tehollista ilmavirtaa. Useassa tapauksessa ilmanjakolaitteen tuloilmasuihkua ei suunnattu suoraan eteenpäin, koska suihkun edessä oli esteitä kuten viemäriputkia, sähkövetoja tai muita rakenteita.

Viereisten tilojen vuotoilmanvaihdolla oli merkittävä vaikutus lajitteluhuoneen hiukkaspitoisuuteen. Liukuovet eteistilaan olivat usein auki, toisinaan aina lastaussillalle

saakka, jossa pahimmillaan pidettiin keräilyautoa käynnissä lastin purkamisen tai lastauksen ajan. Lajitteluhuone oli ulkoilmaan nähden 5-10 Pa alipaineinen.

100 nm hiukkaskokoluokassa ilmanjakolaitteiden suodatuksen vaikutus oli jälleen selvästi havaittavissa (alenema enimmillään 65 %). Myös 50 nm hiukkaskokoluokassa pitoisuuden alenema oli havaittavissa. Tulokset ovat linjassa tutkimuksen kanssa, jossa sähkösuodattimen erotusaste on todettu olevan korkeampi yli 30 nm hiukkaskokoluokassa (Saari et al. 2015). Tulosten tulkintaa vaikeutti nanohiukkasten pitoisuuden vaihtelu tuloilmassa sekä päästöt viereisistä tiloista.

Suodatusratkaisun kyvystä alentaa eloperäisten ja elävien hiukkasten pitoisuutta saatiin myös viitteitä. Enimmillään pitoisuus aleni hetkellisesti n. 45 % ja keskimääräinen lajittelujaksojen välillä n. 25 %. Eloperäiset hiukkaset syntyivät lajittelutoiminnasta. Tulosten tulkintaa heikensi päästöjen voimakas vaihtelu ja satunnaisuus.

## 7. Sisäilmastokyselyjen tulokset

Sisäilmastokyselyt toteutettiin seitsemänä eri ajankohtana (taulukko 3). Vertailuaineistona käytettiin toimistoympäristöstä kerättyä tausta-aineisto, joka edustaa keskimääräistä toimistokohdetta ja joissa on mukana myös ongelmakohteita. Vertailuaineistossa naisten osuus on 71 %, päivittäin tupakoivien osuus 21 % ja astmaa sairastavien osuus 8 %.

*Taulukko 3. Sisäilmastokyselyiden taustatiedot*

Kysely	Vertailu- aineisto	10-11/ 2014	12 / 2014	2 / 2015	4-5 / 2015	9 / 2015	11 / 2015	12 / 2015
Kohteet		A, B	A, B	A, B	B	C	C	C
Vastanneiden lukumäärä	>20	14	11	9	4	4	3	1
Vastausprosentti	>80	82	65	56	80	100	75	25
Ilmanjakolaitteiden suodatus		A: OFF B: ON	A: ON B: ON	A: OFF B: ON	ON	OFF	ON	ON

Kolmessa ensimmäisessä kyselyssä vastaajina olivat kohteissa A ja B työskentelevät henkilöt. Neljännessä kyselyssä vastaajina olivat vain kohteessa B työskentelevät henkilöt, koska kohteen A henkilöt olivat muuttaneet toisiin tiloihin.

Kohteiden A ja B vastaajista naisten määrä oli vertailuaineistoa pienempi. Tupakoivia oli vähemmän kuin vertailuaineistossa. Astmaa sairastavia oli saman verran, heinänuhasta kärsiviä jonkin verran enemmän kuin vertailuaineistossa.

Ensimmäisen kyselyn (10-11/2014) vastauksissa haittaavista työympäristötekijöistä vertailuaineistoa enemmän koettiin tunkkaista ilmaa, vaihtelevaa huonelämpötilaa ja melua. Työhön liittyvinä oireina raportoitiin vertailuaineistoa enemmän väsymystä, pään raskauden tuntua ja keskittymisvaikeuksia sekä limakalvojen ja ylähengitysteiden oireita. Tulokset viittaavat ongelmiin ilmanvaihdon riittävyydessä ja lämpöolosuhteiden hallinnassa. Limakalvojen ja ylähengitysteiden ärsytysoireiden taustalla voivat olla mineraalivillakuidut tai materiaaliemissiöt.



Toisessa kyselyssä (12/2014) edelliseen kyselyyn verrattuna useampi raportoi muita epämiellyttäviä hajuja, harvempi raportoi melua. Useampi raportoi päänsärystä, käheydestä tai kurkun kuivuudesta, yskästä, iho-oireista ja niveleoireista. Koska vastausprosentti oli pienempi kuin edellisessä kyselyssä, tuloksista ei voitu päätellä onko muutosta koetuissa ympäristötekijöissä ja oireissa todella tapahtunut.

Kolmannessa kyselyssä (02/2015) aiempiin kyselyihin verrattuna hieman useammat raportoivat keskittymisvaikeuksista. Edelliseen kyselyyn verrattuna harvemmat raportoivat liian matalasta huonelämpötilasta ja muista epämiellyttävistä hajuista. Koska vastausprosentti oli edelleen pienentynyt, tuloksista ei voitu päätellä onko muutosta koetuissa ympäristötekijöissä ja oireissa todella tapahtunut.

Neljännessä kyselyssä (4-5/2015) vastaajina oli vain 5 henkilöä, joten tuloksia ei voitu verrata aiempiin kyselyihin. Koska jo yhden henkilön myönteinen vastaus riitti ylittämään vertailuaineiston arvon, oli ryhmä kaiken kaikkiaan liian pieni tulkittavaksi.

Kohteessa C (kirjaston kirjojen lajitteluhuone) tehtiin sisäilmastokyselyt syyskuussa, marraskuussa ja joulukuussa 2015. Ryhmässä oli neljä henkilöä. Sekä syyskuun että marraskuun kyselyssä raportoitiin tunkkaisesta ilmasta ja riittämättömästä ilmanvaihdosta, marraskuussa myös kuivasta ilmasta ja havaittavasta pölystä tai liasta. Marraskuun kyselyn tuloksiin voi vaikuttaa kirjojen lajittelumäärän lisääntyminen järjestelmämuutosten myötä. Ryhmän pienuuden vuoksi ei kuitenkaan voitu tehdä johtopäätöksiä siitä, onko todellista muutosta koetuissa olosuhteissa tapahtunut.

Yleisesti avovastauksista nousi esiin kommentteja, kuten ”Kyselyitä on viime vuosina tehty paljon eivätkä ne ole johtaneet toimenpiteisiin”. Jotkut vastaajat kertoivat työskentelevänsä ”erityisen puhtaassa tilassa”. Osa oli tunnistanut mineraalikuitulähteitä työtiloissa. Remontin jälkeisen puutteelliseen siivoukseen esiintyi tyytymättömyyttä. Lisäksi esiintyi pysyvän terveyden menettämisen pelkoa.

## 8. Johtopäätökset

---

Sisäilmaa puhdistavalla ilmanjakolaitteella voitiin vähentää sisäilman hiukkaspitoisuutta merkittävästi kaikissa kolmessa koekohteessa. Yli 0.3 µm hiukkasten pitoisuus väheni koekohteesta, laiteratkaisusta ja olosuhteista riippuen 48 - 63 %. Alenema oli hieman pienempi kuitenkin vastaavissa laboratoriomittauksissa (65 - 73 %). Ero laboratorio- ja kenttämittausten välillä johtuu vuotoilmanvaihdosta sekä tarpeesta käyttää ei-optimaalisia asetuksia osalle kenttäkohteisiin asennetuista laitteista. Kirjaston kirjojen lajitteluhuoneessa (kohde C) vuotoilmanvaihto ympäröivistä tiloista ja ulkoa oli merkittävää. Tuloilmasäleikön suuntaus vedon tunteen vähentämiseksi tai rajallisen tilan vuoksi vähensivät laitteen puhtaan ilman tuottokykyä. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että laboratoriokeiden perusteella voidaan kohtuullisella tarkkuudella ennakoida, millaisia tuloksia käytännössä voidaan saavuttaa. Tarkkuutta voitaisiin todennäköisesti parantaa laskentamalleilla, joissa sisäilmälähteitä on huomioitu.

Puhdistusratkaisun kyvystä vähentää myös sisäilman nanohiukkasia (50-100 nm), eloperäisiä ja eläviä hiukkasia saatiin viitteitä. Tulosten tulkintaa heikensi hiukkaspäästöjen vaihtelu ja satunnaisuus sekä päästöt viereisistä tiloista. Mittausten toistaminen laboratoriossa antaisi tarkemman kuvan ratkaisun puhdistustehokkuudesta näiden hiukkasten osalta.

Sisäilmastokyselyjen perusteella ei voi tulkita, ovatko koettu työympäristö ja sen ilmanlaatu parantuneet sisäilmaa puhdistavan ilmanjakolaitteen myötä. Tulkintaongelmaa aiheuttivat pienet ryhmäkoot ja osassa kyselyistä myös matalat vastausprosentit. Luotettavuuden ja vertailukelpoisuuden vuoksi sisäilmastokyselyn ryhmäkoon tulisi olla ainakin 20 henkilöä ja vastausprosentin yli 80%. Ryhmätason kyselyn perusteella ei voida toisaalta poissulkea sitä,

että merkittäviä muutoksia olisi tapahtunut yksittäisten työntekijöiden osalta. Suuremmat ryhmäkoot ja pidempi seuranta-aika voisivat tehdä sisäilmastokyselyn käyttökelpoisemmaksi vastaavissa tutkimuksissa.

Osassa kohteista vastaajat olivat oireettomia henkilöitä, kun taas osassa kohteista vastaajat olivat sisäilmalle herkistyneitä. Osassa kohteista vastaajat saattoivat peilata tutkimusta kriittisesti aikaisempiin tutkimuksiin ja muutostöihin. Tutkimuksessa ei myöskään tutkittu kaasumaisia epäpuhtauksia. Myös vaihtuvuus vastaajissa oli varsin suurta. Tutkimuksen luotettavuuden kannalta tarkasteltuna ilmastoinnin parannustoimenpiteiden olisi tullut kohdistua riittävän suuriin, n. 30 henkilön työympäristöihin. Tällaisia koekohteita ei ollut tällä kertaa mahdollista sisällyttää hankkeeseen.

Olemassa oleviin ilmanjakolaitteisiin rakennetut prototyyppilaitteet eivät olleet optimoituja sisäilman puhdistamiseen, vaan niissä käytettiin valmiita kaupallisia komponentteja. Puhdistusratkaisun suorituskykyä voidaan parantaa huomattavasti kehittämällä ilmanjakolaitteen rakennetta, ilmavirtausta ja suodatuksen tehokkuutta. Hyvällä syyllä voidaan olettaa, että sisäilman puhdistamiseen optimoidulla ilmanjakolaiteratkaisulla voidaan alentaa sisäilman hiukkaspitoisuutta todellisessa käyttöympäristössä jopa 80 % eli viisinkertaistaa ilmastointijärjestelmän kyky hallita sisäilman hiukkaspitoisuutta. Tämä vastaisi myös Ruotsin Astma- ja allergialiiton esittämää riittävää puhdistusvaikutusta (Andersson et al. 1999).

Hankkeen aikana nousi esiin kysymys kaasusuodatuksen lisäämisestä laitteeseen hiukkassuodatuksen ohella. Hyvin alhaisella painehäviöllä toimiva kaasusuodatus on haastava, mutta periaatteessa toteutettavissa oleva ominaisuus, joka vaatisi oman tutkimus- ja kehityssponnituksensa. Myös ilman jäähdytyksen lisääminen laitteeseen on täysin mahdollista. Suodatus estäisi jäähdytysosion likaantumista ja huollon tarvetta, mikä voi olla haasteena nykyisissä jäähdytyspalkeissa esim. sairaalaympäristössä (Holopainen 2010, Salmela 2013).

Vaikka sisäilmaa puhdistavien ilmanjakolaitteiden suorituskyvyn osoittamisessa kentällä esiintyi haasteita, kaikissa koekohteissa laitteet toimivat asianmukaisesti. Esitetyillä puhdistusratkaisuilla ja niitä edelleen kehittämällä voidaan ilmastointijärjestelmän avulla toteuttaa huomattavasti nykykäytäntöjä puhtaampia osastoja mm. toimisto- ja koulurakennuksiin. Sisäilmaa puhdistavalla ilmanjakolaitteella voidaan allergikoiden ja herkistyneiden altistumista sisäilman hiukkasille alentaa kohtuullisin kustannuksin. Vastaavaa tulosta on todennäköisesti vaikea saavuttaa sisäilmanpuhdistimilla mm. ylittämättä LVI-laitteille asetettuja melutasovaatimuksia.

## 9. Yhteenveto

---

Hankkeen tavoitteena oli oleellisesti alentaa sisäilmaongelmallisten rakennusten sisäilman hiukkaspitoisuuksia ja vähentää merkittävästi etenkin herkistyneiden työntekijöiden altistumista sisäilman hiukkasmaisille epäpuhtauksille sisäilmaa puhdistavan ilmanjakolaitteen avulla. Hanke toteutettiin pääosin kenttätutkimuksena, jossa käytännön rakentelu- ja asennustyö oli merkittävässä roolissa. Hankkeen toteuttamiseen sisältyi koekohteiden ilmastoinnin päätelaitteiden muutokset ilmastointijärjestelmän säätöineen ja tarkistuksineen sekä muutostöiden vaikuttavuuden analysoinnit. Sisäilmaa puhdistavien ilmanjakolaitteiden vaikutusta sisäilman hiukkaspitoisuuteen tarkasteltiin mittaamalla koekohteissa esiintyvien elottomien, eloperäisten, elollisten ja nanohiukkasten pitoisuuksia. Koekohteiden sisäilman koettua laatua selvitettiin sisäilmastokyselyn avulla. Kenttätarkasteluja tuettiin mittaamalla ilmanpuhdistusratkaisun suorituskykyä laboratoriossa.

Sisäilman hiukkaspitoisuus väheni merkittävästi kaikissa kolmessa koekohteessa (avokonttori, toimistosiipi ja kirjaston kirjojen lajitteluhuone). Yli 0.3 µm hiukkasten pitoisuus väheni kohteesta, laiteratkaisusta ja olosuhteista riippuen 48 % - 63 %. Alenema oli hieman

pienempi kuitenkin vastaavissa laboratoriomittauksissa (65 % - 73 %). Ero laboratorio- ja kenttämittausten välillä johtuu vuotoilmanvaihdosta sekä tarpeesta käyttää ei-optimaalisia asetuksia osalle kenttäkohteisiin asennetuista laitteista. Myös puhdistusratkaisun kyvystä vähentää sisäilman nanohiukkasia (50-100 nm) ja eloperäisiä hiukkasia saatiin viitteitä.

Sisäilmastokyselyjen perusteella ei voi tulkita, ovatko koettu työympäristö ja sen ilmanlaatu parantuneet sisäilmaa puhdistavan ilmanjakolaitteen myötä. Tutkimuksen luotettavuuden kannalta tarkasteltuna ilmastonin parannustoimenpiteiden olisi tullut kohdistua riittävän suuriin, n. 20 henkilön työympäristöihin. Vastaavia koekohteita ei kuitenkaan ollut tällä kertaa mahdollista sisällyttää hankkeeseen. Ryhmätason kyselyn perusteella ei voida toisaalta poissulkea sitä, että merkittäviä muutoksia olisi tapahtunut yksittäisten työntekijöiden osalta. Suuremmat ryhmäkoot ja pidempi seuranta-aika voisivat tehdä sisäilmastokyselyn käyttökelpoisemmaksi vastaavissa tutkimuksissa.

Olemassa oleviin ilmanjakolaitteisiin rakennetut prototyyppilaitteet eivät olleet optimoituja sisäilman puhdistamiseen, vaan niissä käytettiin valmiita kaupallisia komponentteja. Puhdistusratkaisun suorituskykyä voidaan parantaa huomattavasti kehittämällä ilmanjakolaitteen rakennetta, ilmavirtausta ja suodatuksen tehokkuutta. Hyvällä syyllä voidaankin olettaa, että sisäilman puhdistamiseen optimoidulla ilmanjakolaiteratkaisulla voidaan alentaa sisäilman hiukkaspitoisuutta todellisessa käyttöympäristössä jopa 80 %.

Hankkeessa hyödynnetyillä puhdistusratkaisuilla ja niitä edelleen kehittämällä voidaan ilmastointijärjestelmän avulla toteuttaa huomattavasti nykykäytäntöjä puhtaampia osastoja mm. toimisto- ja koulurakennuksiin. Sisäilmaa puhdistavalla ilmanjakolaitteella voidaan allergikoiden ja herkistyneiden altistumista sisäilman hiukkasille alentaa kohtuullisin kustannuksin. On mahdollista, että ainakin osa herkistyneistä henkilöistä voi pysyä työelämässä jos heidän työympäristönsä laatu paranee huomattavasti.

## Lähdeviitteet

---

Andersson, K., Fagerlund, I., Strindh, G. & Larsson, B. (1993). The MM-questionnaires. Department of Occupational and Environmental Medicine in Örebro, Sweden.

Annon (2011). Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö 2011. 34 s.

Annon (2009). Valtioneuvoston periaatepäätös toimenpiteistä rakennusten kosteusvaurioiden ja niiden aiheuttamien terveyshaittojen vähentämiseksi. Valtioneuvoston politiikkariihi 2009. 5 s.

Annon 1999. Kriterier för rekommendation av luftrenare, LRV1. Astma och Allergi Förbundet. Ruotsi 1999, 4 s.

Bräuner, E., et al. (2008), Indoor Particles Affect Vascular Function in the Aged An Air Filtration-based Intervention Study, American Journal of Respiratory and Critivcal Medicine, Vol 177, 2008

CAFE (2005). CAFE CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020. AEAT/ED51014/Baseline Issues 5.

Enbom, Seppo ja Lehtimäki, Matti (2009). Sisäilman puhdistaminen ilmanjakolaitteessa – ratkaisu sisäilmaongelmiin. Sisäilmastoseminaari 2009, 6 s.

Hirvonen ym. (2013). Toksikologisen menetelmän kehittämissuunnitelma TOXTEST 2010-2012. Loppuraportti. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Helsingin yliopisto, Työterveyslaitos, Turun yliopisto.

Holopainen, R., ym. (2010), Ilmanvaihtojärjestelmien puhtaus ja puhdistaminen sairaaloiden vuodeosastoilla, Loppuraportti, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 50, Työterveyslaitos, Helsinki

Hänninen O, Leino O, Kuusisto E, Komulainen H, Meriläinen P, Haverinen-Shaugnessy U, Miettinen I, Pekkanen J. (2010). Elinympäristön altisteiden terveysvaikutukset Suomessa. Ympäristö ja Terveys -lehti 3:2010, 12-35.

Enbom, S., Heinonen, K., Kalliohaka, T., Lehtimäki, M., Niemeläinen, M. & Salmela, H. (2014), Uusilla suodatusratkaisuilla ilmastointijärjestelmien kyky hallita sisäilman hiukkaspitoisuutta moninkertaiseksi, Sisäilmastoseminaari 2014, 6 s.

Reijula ym. (2012). Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. 205 s.

Reijula K, Sundman-Digert C (2004). Assessment of indoor air problems at work with questionnaire. Occup Environ Med 2004;61:33-38)

Saari, S. Karjalainen, P., Kalliohaka, T., Taipale, A., Rönkkö, T., (2015), Generation of characteristic traffic emission aerosol and particulate filter collection efficiency tests 741, Proceedings of the 11th International Conference on Industrial Ventilation (Ventilation 2015)

Salin ym. (2012). Sisätilanäytteiden toksisuus ja terveyshaittaoireet kouluissa. Sisäilmastoseminaari 2012. 6 s.

Salmela, H., Kulmala, I., Salo, S. & Haapalainen, K. (2013), Ilmastointipalkkien ja ilmanvaihtokanavien puhdistaminen ja desinfiointi terveydenhuollossa, Sisäilmastoseminaari 2013, 6 s.

Sultan M. ym. (2011) removal of ultrafine particles in indoor air: Performance of various portable air cleaner technologies. HVAC&R Research, 17(4):513 – 525, 2011.

Taipale ym. (2009). ISAC: a novel air cleaning technique for controlling indoor air quality – Utilization of the induced air flow in the supply air diffuser. Healthy Buildings 2009. 4 s.