

Title                      Reaaliaikainen tuloilmasuodattimen  
                                 toimintakunnon mittausjärjestelmä

Author(s)                Kulmala, Ilpo; Kalliohaka, Tapio; Kataja, Jari;  
                                 Leppälä, Vesa

Citation                    Sisäilmastoseminaari, 11.3.2015, Helsinki  
                                 SIY Raportti : 33, Sisäilmayhdistys, 2015, sivut  
                                 277-282

Date                        2015

Rights                     This article may be downloaded for personal  
                                 use only.

VTT  
<http://www.vtt.fi>  
P.O. box 1000  
FI-02044 VTT  
Finland

By using VTT Digital Open Access Repository you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.

## REAALIAIKAINEN TULOILMASUODATTIMEN TOIMINTAKUNNON MITTAUSJÄRJESTELMÄ

Ilpo Kulmala <sup>1)</sup>, Tapio Kalliohaka <sup>1)</sup>, Jari Kataja <sup>1)</sup>, Vesa Leppälä <sup>2)</sup>

1)VTT 2) Oy Lifa Air Ltd

### TIIVISTELMÄ (SIY-otsikko 1 -tyyli)

Tuloilman suodatuksen tavoitteena on vähentää terveydelle haitallisia epäpuhtauksia ja suojata ilmanvaihtolaitteiston komponentteja likaantumiselta. Keskeisiä suodattimen toimintaa kuvaavia tekijöitä ovat erotusaste, painehäviö ja pölynvarauskyky. Suodattimien toimintakunnon valvomiseksi käyttöolosuhteissaan on kehitetty uusi langaton mittausjärjestelmä, joka mittaa ja lähettää tietoa suodattimen ominaisuuksista ja ympäristön olosuhteista reaaliajassa. Järjestelmää kokeiltiin kenttäkohteessa, missä seurattiin korkean erotusasteen suodattimen toimintaa pitkäaikaismittauksin. Mittausjärjestelmä osoittautui onnistuneeksi ja sen avulla saatiin yksityiskohtaista tietoa suodattimen toimintakunnosta sekä sisä- ja ulkoilman hiukkaspitoisuuksista todellisissa olosuhteissa.

### JOHDANTO

Rakennusten sisäilman laadun hallinnassa tuloilman suodatuksella on keskeinen osuus. Ulkoa otettu ilma suodatetaan ja käsitellään ennen johtamista sisätiloihin. Tuloilmassa käytetään yleensä F7 tason hienosuodatinta /1/. Tällainen suodatin poistaa hyvin suurikokoiset, yli 1 mikrometrin kokoluokan hiukkaset, mutta sen tehokkuus terveydelle haitallisille pienhiukkasille on huomattavasti heikompi.

Tuloilman suodatuksen erotuskykyä pienhiukkasille on periaatteessa mahdollista parantaa käyttämällä korkeamman suodatinluokan tuloilmasuodattimia. Ongelmana perinteisillä suodatinratkaisulla toteutettuna on kuitenkin lisääntynyt painehäviö, mikä johtaa korkeampiin suodatinkustannuksiin kasvaneen puhaltimen energiankulutuksen myötä. Eräs ratkaisu tähän on käyttää sähköisesti tehostettuja suodatinratkaisuja, jolloin erotuskykyä voidaan parantaa huomattavasti lisäämättä suodattimen painehäviötä. Näissä ratkaisuissa hiukkaset varataan sähköisesti erillisellä varaajalla ja kerätään elektreettimateriaalista valmistetuilla kuitusuodattimilla. Oikein mitoitettuna ratkaisulla saavutetaan huomattava parannus pienhiukkasten erotuskykyyn /2/.

Yleisilmanvaihdon tuloilmasuodattimia testataan nykyisen standardin EN779 mukaisesti kuormittamalla niitä testipölyllä ja mittaamalla erotusaste hiukkaskokoluokittain kuormitusjaksojen välillä /1/. Testipölynä käytetään synteettistä pölyä, jonka hiukkaskoko ja pitoisuus poikkeavat merkittävästi ulkoilman vastaavasta. Käytännössä suodattimen toimintaympäristön olosuhteet vaihtelevat huomattavasti eikä standardin mukaisia tuloksia voida luotettavasti käyttää suodattimen toiminnan arvioimiseen.

Rakennusten sisäilman laatuun vaikuttavat ilmanvaihdon ja suodatuksen lisäksi myös muut seikat kuten sisäiset päästölähteet ja hallitsemattomat vuotoilmavirrat, joiden suuruuksia ei yleensä tunneta.

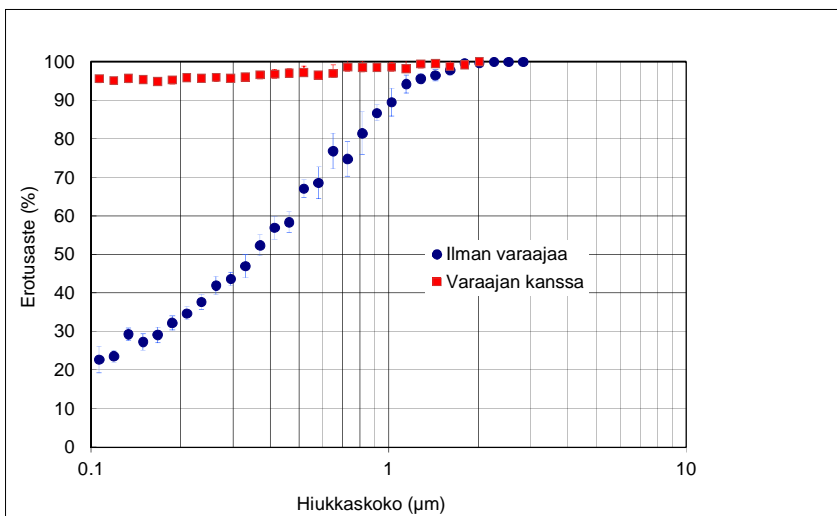
Näiden seikkojen vuoksi luotettavimman tiedon suodatuksen todellisesta tehokkuudesta ja sen vaikutuksesta sisäilman laatuun saadaan tapauskohtaisesti mittaamalla. Tämän hankkeen tavoitteena oli kehittää uusi mittausmenetelmä tuloilmasuodattimien toiminnan mittaamiseen ja valvontaan käyttöolosuhteissaan.

## KOESUODATIN

Suodattimien erotustehokkuutta varsinkin pienhiukkasille voidaan parantaa varaamalla kuidut suodatinmateriaalin valmistuksen yhteydessä. Sähköisten vuorovaikutusvoimien avulla pienhiukkaset kiinnittyvät suodatinkuituihin tehokkaammin kuin tavanomaisissa kuitusuodattimissa, jolloin erotuskykyä voidaan tehostaa ilman että suodattimen painehäviö kasvaa. Tällaisten elektreettisuodattimien ongelmana on kuitenkin sähköisen suodatusvaikutuksen heikkeneminen käytön aikana. Suodattimeen kertyvät hiukkaset ilmeisesti heikentävät kuitujen välisten sähkökenttien voimakkuutta suodattimen sisällä, jolloin sen erotusaste heikkenee nopeasti, jopa muutamien päivien käytön jälkeen /3,4/.

Viime aikoina on kehitetty yhdistelmäsuodatin, jossa hyödynnetään sekä mekaanisen kuitusuodattimen että sähköisen suodatuksen edut. Lifa 3G suodatin perustuu varaajan käyttöön, mutta keruuosana on elektreetti- ja aktiivihiilimateriaalin yhdistelmä. Näillä ratkaisuilla on mahdollista saavuttaa erittäin korkea erotusaste kaikille hiukkaskokoluokille ilman korkeaa painehäviötä /2/. Hiukkasten varaamisen ansiosta suodatustehokkuus säilyy korkeana suodattimen käyttöajan ajan.

Ennen asentamista koekohteeseen Lifa 3G suodattimen erotusasteet hiukkaskokoluokittain mitattiin laboratorioissa ilman varaajaa ja sen kanssa. Tulokset on esitetty kuvassa 2. Kuvasta nähdään kuinka varaajan käyttäminen parantaa erotusastetta: ilman varaajaa suodatinluokka on tasoa F7-F8 kun taas varaajan kanssa se nousee E10 – E 11 luokkaan (Efficient Particulate Air Filter) /5/. Tehokkuuden parantuminen on merkittävää, sillä se on saavutettu ilman painehäviön lisäystä.



Kuva 1. Koesuodattimen mitatut erotusasteet. Ilmavirta 0.94m<sup>3</sup>/s, painehäviö 120 Pa.

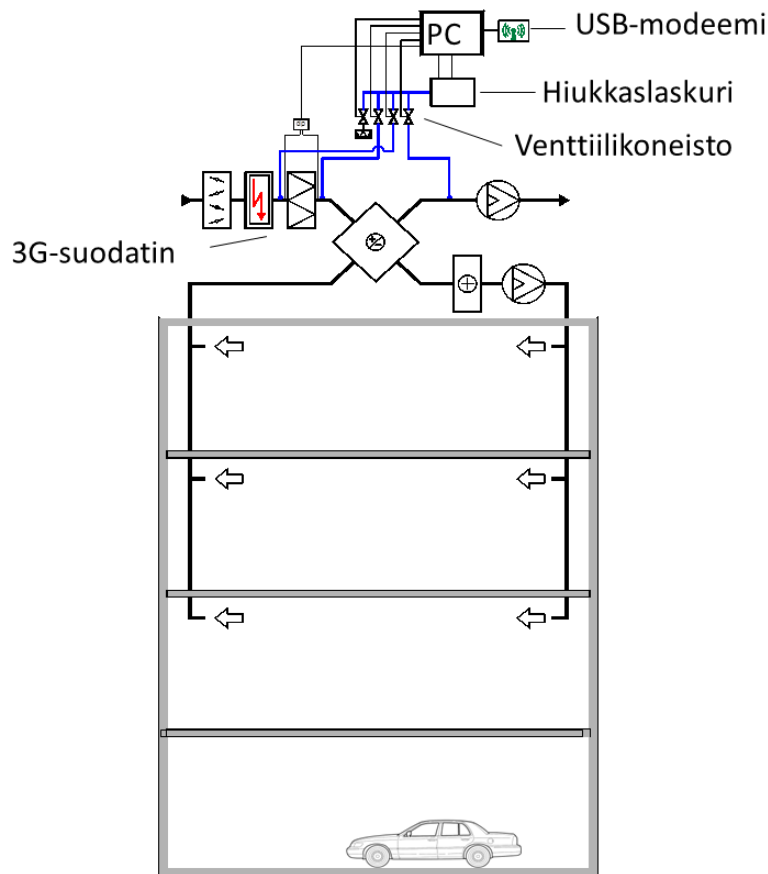
## MITTAUSJÄRJESTELYIDEN PERIAATE

Kehitetty suodattimien toimintakunnon mittausjärjestelmä mittaa ja lähettää tietoa suodattimen ominaisuuksista ja ympäristön olosuhteista reaaliajassa. Järjestelmä koostuu näytteenotosta, venttiilikoneistosta, hiukkaslaskurista ja tietokoneesta joka ohjaa laitteistoa ja tallentaa mittausdataa. Hiukkasten lisäksi mitattiin tuloilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja suodattimen painehäviötä. Tulokset lähetettiin langattomasti USB modeemin kautta palvelimelle tarkempaa analysointia varten.

Mittauslaitteiston avulla saadaan yksityiskohtaista tietoa suodattimen erotuskyvystä hiukkaskoon funktiona sekä painehäviön muuttumisesta kuormituksen myötä käyttöolosuhteissaan. Tulo- ja poistoilmasta mitattujen pienhiukkaspitoisuuksien avulla voidaan myös arvioida rakennusten sisäilman epäpuhtauksien I/O suhdetta.

Koesuodatin ja mittausjärjestelmä asennettiin toimistorakennuksen tuloilmakoneeseen osoitteessa Vellamonkatu 30, Helsinki. Tuloilmakoneelta johdetaan ilmaa toimistohuoneisiin. Rakennuksen alakerrassa on autohalli, jolla on oma ilmanvaihtonsa. Mittausjärjestelmän ja koeobjektin ilmanvaihdon periaate on esitetty kuvassa 2.

Mittaukset aloitettiin heinäkuun 2014 alussa ja niitä jatkettiin neljän kuukauden ajan. Kokeiden aikana ilmanvaihto oli käynnissä jatkuvasti.



Kuva 2. Mittausjärjestelmän periaate

## TULOKSET KENTTÄMITTAUKSISTA

Kokeissa mitattiin hiukkaspitoisuutta jatkuvasti ennen suodatusta (ulkoilman pitoisuus) sekä suodatuksen jälkeen. Näiden avulla laskettiin erotusaste hiukkaskokoluokittain kaavasta

$$E(d) = (1 - N_j(d)/N_e(d)) \cdot 100 (\%)$$

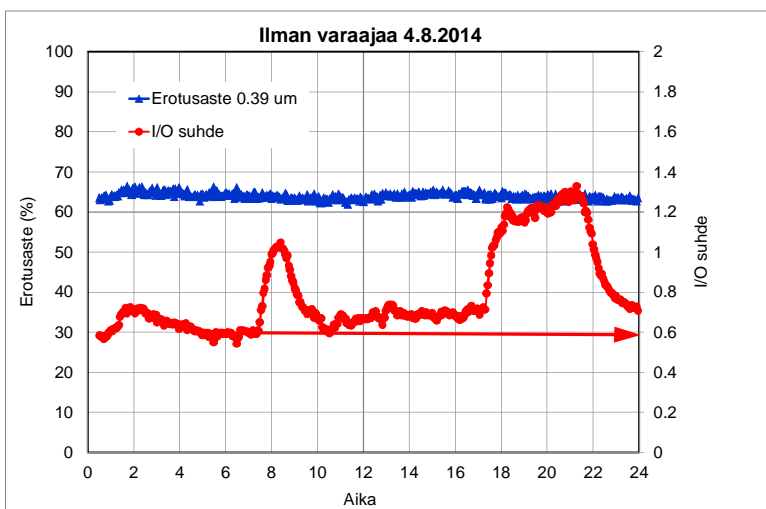
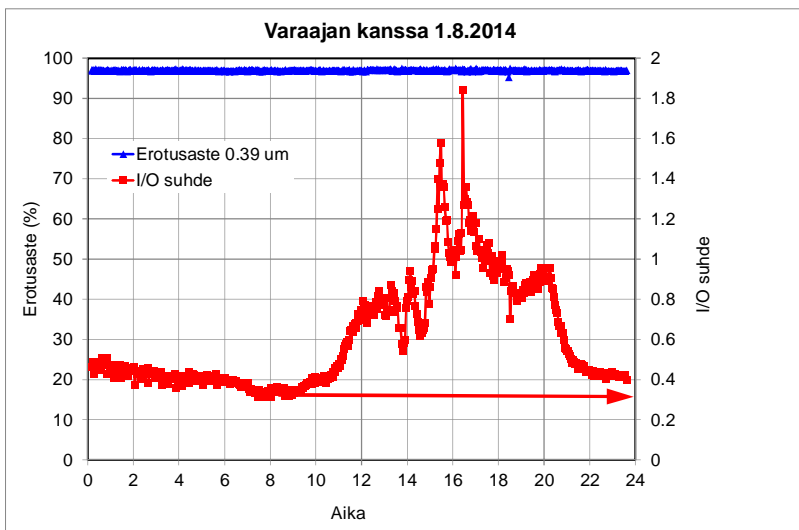
Missä  $d$  on hiukkaskoko,  $N_e(d)$  hiukkasten lukumäärä ennen suodatinta ja  $N_j(d)$  suodattimen jälkeen.

Poistoilman ja tuloilman hiukkaspitoisuuksien avulla voidaan arvioida myös sisäilman ja ulkoilman pitoisuuksien (I/O) suhdetta hiukkaskokoluokittain. Tulokset eivät ole kuitenkaan aivan yksiselitteisiä, sillä poistoilman mukana kulkeutuu myös rakennuksen sisällä

olevien päästölähteiden tuottamia hiukkasia. Luotettavimman kuvan I/O suhteesta saadaankin yöajan mittaustuloksista, jolloin aktiviteetti rakennuksessa on alhaisimmillaan.

Tuloksia erotusasteen mittauksista on esitetty kuvassa 3. Yläkuvasta nähdään kuinka erotusaste pienhiukkasille on korkealla tasolla (yli 95%). Vastaava I/O suhde alhaisimmillaan eli yöaikaan on noin 0.3. Huolimatta korkeasta erotusasteesta on I/O suhde melko suuri, mikä viittaisi siihen että rakennuksessa on vuotoilmavirtoja joiden mukana sisätiloihin kulkeutuu ulkoilman epäpuhtauksia. Alakuvassa on esitetty erotusaste ilman varaajaa, jolloin erotusastekin on selvästi huonompi (keskimäärin 64%), ja vastaava I/O suhde on 0.6.

Tuloksia arvioitaessa on huomattava, että poistoilma kuvaa pelkästään keskimääräistä pitoisuutta eikä siitä saada tietoa yksittäisten huoneiden pitoisuuksista, jotka voivat rakennuksen erilaisista vuodoista johtuen poiketa merkittävästikin keskimääräisistä arvoista.



Kuva 3 Erotusaste ja I/O suhde  $0.39 \mu\text{m}$ :n kokoisille hiukkasille. Yläkuvassa varaaja on päällä ja alakuvassa pois päältä

Kaikkiaan suodattimen toimintakunnon mittausjärjestelmä toimi luotettavasti. Paineilmakäyttöinen venttiilikoneisto ei jumittanut missään vaiheessa ja hiukkaslaskurikin toimi pitkäaikaiskäytössä. USB modeemissa oli takeltelua niin että yhteys katkesi toisinaan. Mittausdata talletettiin kuitenkin mittaustietokoneelle niin että yhteyden muodostuessa uudelleen data pystyttiin lähettämään palvelimelle. Tältä osin luotettavuutta voisi kehittää esimerkiksi käyttämällä kiinteää internetyhteyttä.

## YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokeiden perusteella voidaan todeta, että kehitetty suodattimen toimintakunnon mittausjärjestelmä on onnistunut ja toimiva. Tuloilmasuodattimien ominaisuuksien mittauskäyttöolosuhteissaan puolestaan antaa luotettavimman tiedon suodattimien toiminnasta: suodattimia kuormitetaan juuri niillä epäpuhtauksilla ja pitoisuuksilla joita ulkoilmassa on. Lisäksi verkon kautta tapahtuva tiedonsiirto mahdollistaa reaaliaikaisen etäseurannan.

Tulosten avulla voidaan arvioida tuloilmasuodatuksen tehokkuutta, sisäilman laatua sekä suodatuksen energiankulutusta. Painehäviöstä aiheutuvan energiakustannusten perusteella voidaan myös laskea suodattimen optimaalinen vaihtoajankohta tarkasti. Järjestelmä osoittautui erityisen hyödylliseksi uudenlaisten, nykyisiä merkittävästi tehokkaampien tuloilmasuodattimien toimintakunnon valvonnassa.

Mittausjärjestelmä osoittautui pääosin toimivaksi, mutta kehitettävää on vielä tiedonsiirtojärjestelmässä. On todennäköistä että kiinteällä verkkoyhteydellä vähennettäisiin langattoman verkkoyhteyden tiedonsiirtokatkoksia.

Ilman hiukkaspitoisuutta mitattiin koekohteessa optisella hiukkaslaskurilla, mikä on mahdollista korvata myös jollain muulla hiukkasmittarilla. Järjestelmään on mahdollista lisätä muitakin ilman laadun analysaattoreita kuten esimerkiksi kaasumaisten epäpuhtauksien mittausantureita. Keskeisten komponenttien kuten hiukkaslaskurin ja tiedonsiirron kustannusten alentuessa reaaliaikaisella mittausjärjestelmällä voi tulevaisuudessa olla merkittävä rooli suodattimien valvonnassa ja toimintakunnon todenmukaisessa määrittämisessä.

Tuloilmasuodatuksen tehokkuutta pienhiukkasille voidaan merkittävästi parantaa suhteellisen vähäisillä muutoksilla: koekohteessa tuloilmakoneeseen asennettiin lankavaraaja, mutta itse suodatin oli normaalikokoinen 600x600 mm pussisuodatin joka vaihdettiin perinteisen hiukkassuodattimen tilalle. Varaajan asennuksen työmäärä oli noin puoli työpäivää. Koska ratkaisun painehäviö on samaa luokkaa kuin normaalien hienosuodattimien, ei ilmanvaihtolaitteistoon tarvinnut tehdä mitään muita muutoksia.

Pitkäaikaismittausten tulokset osoittivat että uudenlainen korkean erotusasteen hiukkasuodatin toimi käytännön olosuhteissa melko hyvin: suodattimen erotusaste pysyi suhteellisen korkeana mittausjakson ajan. Erillisen varaajan käyttö elektreettisuodattimen yhteydessä parantaa siten suodattimen erotuskykyä ja toiminta-aikaa huomattavasti tavanomaisiin elektreettisuodattimiin verrattuna /3,4/.

Sisäilman hiukkaspitoisuuteen vaikuttavat rakennusten sisäiset päästölähteet sekä ulkoilmasta kulkeutuvat hiukkaset. Näitä ovat hallitsemattomien vuotojen kautta tulevat epäpuhtaudet sekä ilmanvaihtojärjestelmän kautta suodattimet läpäisseet ulkoilman hiukkaset. Koekohteessa sisäisiä päästöjä olivat todennäköisesti autohallista vuotojen kautta kulkeutuvat ajoneuvojen emissiot jotka näkyivät selvästi poistoilman hiukkaspitoisuuksissa.

Ulkoilmasta sisäilmaan kulkeutuvia hiukkasia voidaan vähentää pienentämällä hallitsemattomia vuotoja rakennuksen vaipan ja avoimien ovi- ja ikkuna-aukkojen kautta sekä parantamalla tuloilman suodatusta. Suodatuksen tehostamisen vaikutus riippuu vuotoilmavirtojen suhteellisesta osuudesta koneelliseen ilmanvaihtuvuuteen verrattuna. Parhaimmat tulokset saavutetaan silloin kun vuotoilmavirrat ovat mahdollisimman vähäisiä. Erityistilanteissa kuten terveydelle vaarallisten aineiden levitessä ulkoilmassa tulisi rakennukset tiivistää vuotojen minimoimiseksi ja ihmisten suojaamiseksi.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The research leading to these results has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme ([FP7/2007-2013]) under grant agreement n° 313077 within the EDEN Project (End-user driven DEMo for cbrNe).

## LÄHDELUETTELO

1. SFS-EN 779 Particulate air filters for general ventilation. Determination of the filtration performance. Vahvistettu 2012-05-21 (EN 779:2011).
2. Kulmala, I., A. Taipale, T. Jalonen, and V. Mäkipää. 2003. Development of an advanced supply air filter. Proceedings of Healthy Buildings 2003, pp.788–93.
3. Raynor P and Chae S.(2003) Dust loading on electrostatically charged filters in a standard test and a real HVAC system. Filtration & Separation, 40: 35-39.
4. Kun Li and Young Min Jo (2010) Dust Collection by a Fiber Bundle Electret Filter in an MVAC System, Aerosol Science and Technology, 44: 578-585.
5. SFS-EN 1822-1 Korkean erotusasteen ilmansuodattimet (EPA, HEPA ja ULPA). Osa 1: Luokitus, testaus, merkintä. Vahvistettu 2010-06-21 (EN 1822-1:2009)