

**OSASTOINTI JA ALIPAINIESTUS
PÖLYNHALLINTAMENETELMINÄ SANEERAUKSESSA**

Vuokko Lappalainen
Pro Gradu -tutkielma
Ympäristötiede
Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitos
Maaliskuu 2012

ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta

Ympäristöterveyden pääaine

Vuokko Lappalainen: Osastointi ja alipaineistus pölynhallintamenetelminä saneerauksessa

Pro Gradu -tutkielma 60 sivua, 5 liitettä (5 sivua)

Tutkielman ohjaajat: FM Vesa Asikainen, FM Anna Kokkonen, Prof. Pertti Pasanen

Maaliskuu 2012

avainsanat: pölynhallinta, osastointi, alipaineistus, saneeraus

TIIVISTELMÄ

Saneeraustyömaalla työterveyden ylläpidon yhtenä haasteena on taata puhdas hengitysilma rakennustyöntekijöiden lisäksi myös saneerauksen aikana työmaata ympäröivissä tiloissa työskenteleville tai oleskeleville henkilöille. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää osastoinnin ja alipaineistuksen toimivuutta saneeraustyömailla käytössä olevilla menetelmillä.

Mittauksia tehtiin neljässä kohteessa: sairaala, koulu, tutkimuslaitos ja kerrostalo. Sairaalamohteessa työvaiheiden aikana ympäröivän tilan PM₁₀-hiukkasten pitoisuudet vaihtelivat 0,01 mg/m³ ja 0,5 mg/m³ välillä ohjearvon ollessa 0,05 mg/m³ (PM₁₀-hiukkaset). Yhden työvaiheen aikana neljästä mitatusta työvaiheesta ympäröivän tilan pölypitoisuus pysyi alle ohjearvon. Mittausten aikana paine-ero oli noin -0,4 Pa, mikä ei tässä tapauksessa ollut riittävä, sillä lähes kaikki ympäröivän tilan pitoisuudet ylittivät annetun ohjearvon. Koulukohteessa sisäänkäynti osastoituun tilaan oli toteutettu kolmivaiheisella sulkutilalla ja saneerattu tila oli tehokkaasti alipaineistettu (ainakin -43 Pa). Tästä huolimatta ympäröivän tilan pölypitoisuudet ylittivät annetun ohjearvon lähes koko mittauksen ajan. Tutkimuslaitoskohteessa ympäröivän tilan pölypitoisuustaso oli kaikkina mittauspäivinä alhainen, alle 0,01 mg/m³ (ohjearvo 0,05 mg/m³), vaikka saneeratussa tilassa oli korkea pölypitoisuus. Saneerattu tila oli ajoittain ylipaineinen. Kerrostalokohteessa piikkauksen aikana ympäröivän tilan pölypitoisuudet vaihtelivat ilman osastointia 0,1 mg/m³ ja 1 mg/m³ välillä ja osastoinnin ollessa käytössä 0,08 mg/m³ ja 0,5 mg/m³ välillä. Paine-ero oli noin -0,2 Pa. Lattian sauhuksen aikana osastointina käytettiin pölynhallintaovea, jossa muovikalvon sijaan käytettiin muovilamelleja osastoivana elementtinä. Pölynhallintaoven käytön aikana pölypitoisuus ympäröivässä tilassa oli noin 1 mg/m³ ja ilman pölynhallintaovea 10 mg/m³. Paine-ero oli noin -0,5 Pa. Tulosten perusteella osastointi ja alipaineistus eivät olleet riittäviä.

Kolmessa kohteessa neljästä käytössä olleet osastointimenetelmät eivät estäneet rakennuspölyn leviämistä saneeratulta alueelta ympäröivään tilaan, ja ympäröivän tilan pölypitoisuudet ylittivät raja-arvot. Koulukohteen ympäröivän tilan korkea pölypitoisuus saattoi johtua saneeratun tilan liian suuresta alipaineesta, jolloin myös ympäröivä tila alipaineistui. Ympäröivän tilan suuri alipaine on voinut johtaa pölyn siirtymiseen esimerkiksi ulkoilmasta tai rakenteista. Tutkimuslaitoskohteessa sen sijaan ympäröivän tilan pölypitoisuus pysyi raja-arvojen alapuolella kaikissa mittauksissa, vaikka saneerattu tila oli ajoittain ylipaineinen. Alipaineen ylläpitäminen työskentelyn aikana oli vaikeaa osassa kohteista. Osastoinnin tiiviyn havaittiin olevan erityisen tärkeää alipaineen ylläpitämiseksi ja pölyn leviämisen estämiseksi. Näiden tulosten perusteella ei voida arvioida, mikä olisi riittävä alipaine estämään pölyn leviäminen.

UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND, Faculty of Science and Forestry
Degree Programme in Environmental Science, Environmental Health
Vuokko Lappalainen: Dust Control in Renovation by Using Regulated Area and Negative Pressure
Master thesis 60 pages, 5 appendices (5 pages)
Supervisors: MSc Vesa Asikainen, MSc Anna Kokkonen, Prof. Pertti Pasanen
March 2012

keywords: dust control, enclosure, negative pressure, renovation

ABSTRACT

On a construction site there are many work phases that generate dust into air of the breathing zone. One challenge for safety at work is to assure that workers have clean air to breathe. During a building renovation, persons using rooms surrounding the construction site must also have clean air to breathe. The goal of this study was to find out the functionality of negative pressure enclosure as a dust control technique in Finnish renovation sites.

In this study, measurements were made in four renovation sites: a hospital, a school, a research institute and an apartment building. In the hospital, renovation dust (PM₁₀) concentration in the surrounding area ranged between 0.01 mg/m³ and 0.5 mg/m³ during work phases (the reference value is 0.05 mg/m³). Hospital dust concentrations in the surrounding area were only below the reference value in one of the four measured work phases. Pressure difference was -0.4 Pa. In the school, the entrance of the renovation site from the hall was through a three-stage cut-off room. In this renovation site, dust was found to drift from the construction site to the school hall even though the site was under extremely high negative pressure (at least -43 Pa). The reference value for dust concentration in the surrounding area was exceeded. The dust concentrations in the renovation site of the research institute were below the reference value in all measured work phases, even though the construction site had high dust concentration and was occasionally under positive pressure. In the apartment building the bathrooms were renovated. During jack-hammering in the bathroom, dust concentrations in the surrounding area were 0.1-1 mg/m³ without enclosure and 0.08-0.5 mg/m³ with enclosure. Dust concentrations widely exceeded the reference value. The pressure difference was -0.2 Pa. During sawing a concrete floor, enclosure was created with dust control door, whereby plastic film in the doorway was replaced with plastic laminas. The dust concentrations in the surrounding area were approximately 1 mg/m³ with enclosure and 10 mg/m³ without enclosure. The pressure difference was -0.5 Pa.

In three of the four renovation sites a negative pressure enclosure did not prevent dust drifting from the site and dust concentrations exceeded the reference value. In the school renovation, a too extreme negative pressure could inconveniently affect the surrounding area and lead to dust drifting from the construction or outside of the building. On the other hand, dust concentrations resulting from the renovation of the research institute were under the reference value in the surrounding area, even though the site was occasionally under positive pressure. Maintaining the negative pressure in the renovation site was found to be difficult, possibly because of effective ventilation in the surrounding area and open doors in the renovation site. The compactness of the enclosure was found to be significant in maintaining the negative pressure and preventing dust drifting. The adequate pressure difference could not be evaluated through these results.

ESIPUHE

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää osastoinnin ja alipaineistuksen vaikutusta pölyn leviämisen estämiseen saneeraustyömaalta ympäröiviin tiloihin. Tutkielmaan liittyvät mittaukset tehtiin joulukuun 2010 ja heinäkuun 2011 välisenä aikana Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitoksen sisäilman ja työhygienian tutkimusryhmässä. Tämä tutkielma oli osa Puhdas ja turvallinen saneeraus -hanketta (PUTUSA- hanke). PUTUSA-hankkeen tavoitteena on luoda menettelytavat ja liiketoimintamallit, joiden avulla käytännön korjausrakentamisessa voidaan vähentää sekä rakennustyöntekijöiden altistumista epäpuhtauksille että rakentamisen aikana ja sen jälkeen rakennuksen käyttäjille epäpuhtauksista aiheutuvia terveys- ja viihtyvyyshaittoja. Hankkeessa olivat mukana Itä-Suomen yliopiston lisäksi Työterveyslaitos ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Lämpimät kiitokset mukana olleille tahoille yhteistyöstä.

PUTUSA-hanketta rahoittivat TEKES ja yhteistyöyritykset. Kiitokset rahoittajille tutkielman toteuttamisen mahdollistaneesta tuesta.

Haluan kiittää ohjaajiani Vesa Asikaista ja Pertti Pasasta mahdollisuudesta osallistua tähän hankkeeseen. Kiitokset myös ohjaajalleni Anna Kokkoselle ohjauksesta, tuesta ja käytännön opastuksesta mittauksissa ja tulosten käsittelyssä. Haluan kiittää myös Jarmo Laamasta ja Jukka Holopaista avusta mittauksissa. Kiitokset tutkielmani tarkastajille Markku Linnainmaalle ja Pertti Pasaselle.

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

HTP	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus
LVIS	Lämpö, vesi, ilmanvaihto, sähkö
PAH	Polyaromaattiset hiilivedyt
PCB	Polykloorattu bifenyyl
PM ₁	Hiukkaset, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 1 µm
PM ₁₀	Hiukkaset, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10 µm

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	8
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	9
2.1 RAKENNUSTYÖSSÄ ESIINTYVÄT PÖLYT JA NIIDEN TERVEYSVAIKUTUKSET.....	9
2.2 PÖLYALTISTUMINEN KORJAUSRAKENTAMISESSA.....	12
2.2.1 Altistuminen saneerattavalla alueella	12
2.2.2 Altistuminen saneerattavan alueen ulkopuolella	15
2.3 PÖLYNHALLINTAA KOSKEVAT NORMIT	16
2.3.1 Pölynhallinnan asiakirjat.....	17
2.4 PÖLYNHALLINTA RAKENNUSTYÖSSÄ.....	19
2.4.1 Osastointi ja painesuhteet.....	19
2.4.2 Muut pölynhallintamenetelmät	22
3 TAVOITTEET	25
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	26
4.1 MITTAUSMENETELMÄT.....	26
4.1.1 Paine-ero, ilman lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus	26
4.1.2 Alipaineistajan tilavuusvirta ja teoreettinen ilmanvaihtokerroin	27
4.1.3 Hiukkasmittaukset	28
4.2 KOHDEKUVAUKSET	30
4.2.1 Sairaala	30
4.2.2 Koulu.....	32
4.2.3 Tutkimuslaitos	33
4.2.4 Kerrostalo	34
5 TULOKSET	36
5.1 SAIRAALAKOHDE.....	36
5.2 KOULU.....	40
5.3 TUTKIMUSLAITOS	42
5.4 KERROSTALO	46
6 TULOSTEN TARKASTELU.....	50
7 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	55

LÄHTEET.....	56
LIITTEET	60

1 JOHDANTO

Korjausrakentamisessa, kuten kaikessa rakentamisessa, syntyy erilaisia pölyjä työvaiheesta, työmenetelmistä ja käsiteltävistä materiaaleista riippuen. Saneeraustyömaan työterveyden ylläpitämisen yhtenä haasteena on taata puhdas hengitysilma rakennustyöntekijöiden lisäksi myös saneerauksen aikana työmaata ympäröivissä tiloissa työskenteleville tai oleskeleville henkilöille. Pölyn leviämisen estämiseksi saneeraustyömaan pölypitoisuudet tulisi pitää mahdollisimman alhaisina ja alue tulisi osastoida omaksi ilmanvaihdolliseksi kokonaisuudeksi.

Lainsäädännöllisesti pölynhallintaa rakennustyössä säätelevät työturvallisuuslaki (738/2002) ja valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (205/2009). Sisäilmastoluokituksessa (2008) on annettu ohjeita terveellisten ja viihtyisien rakennusten rakentamiseen. Tätä luokitusta voidaan käyttää soveltuvin osin myös korjausrakentamisessa. Sisäilmastoluokitus (2008) ei ole sitova viranomaisohje, mutta sitä voidaan hyödyntää kunkin kohteen rakentamisen pölynhallinnan tavoitteiden asettamisessa. Rakennuttaja valitsee sisäilmaston tavoitetaso, ja liittää sen osaksi urakkasopimusta, jolloin tavoitteet muuttuvat kaikkia osapuolia sitoviksi.

Tutkielman kirjallisuusosiossa käsitellään pölyaltistumista rakennustyössä, pölynhallintaa koskevia ohjeita ja määräyksiä sekä pölynhallintamenetelmiä. Tutkimusosiossa tavoitteena oli selvittää rakennustyömailla käytössä olevien osastointi- ja alipaineistusmenetelmien toimivuutta pölynhallinnassa. Paine-ero- ja pölypitoisuusmittausten avulla pyrittiin selvittämään pölyn leviämistä saneeratussa tilassa ja sen ympäristössä sekä painesuhteiden vaikutusta pölyn leviämiseen osastoinnin ulkopuolelle.

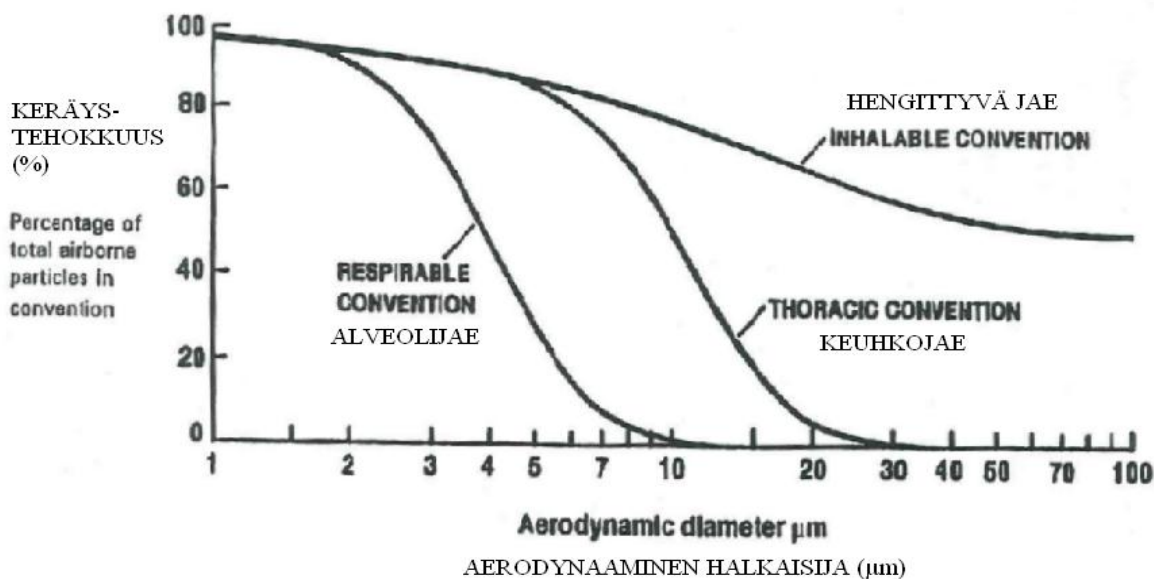
Tämä tutkielma tehtiin osana PUTUSA-hanketta (PUTUSA= Puhdas ja Turvallinen Saneeraus). PUTUSA:n tavoitteena on luoda menettelytavat ja liiketoimintamallit, joiden avulla käytännön korjausrakentamisessa voidaan vähentää sekä rakennustyöntekijöiden altistumista epäpuhtauksille että rakentamisen aikana ja sen jälkeen rakennuksen käyttäjille epäpuhtauksista aiheutuvia terveys- ja viihtyvyshaittoja.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään pölyaltistumista korjausrakentamiskohteissa rakennustyömaalla työskentelevien henkilöiden ja saneerausaluetta ympäröivissä tiloissa työskentelevien tai oleskelevien henkilöiden kannalta. Katsauksessa tarkastellaan myös pölynhallintaa koskevaa lainsäädäntöä ja eri tahojen vastuualueita pölynhallinnassa rakennustyön aikana. Lopuksi käsitellään osastoinnin ja alipaineistuksen ohjeistusta sekä muita pölynhallintamenetelmiä.

2.1 RAKENNUSTYÖSSÄ ESIINTYVÄT PÖLYT JA NIIDEN TERVEYSVAIKUTUKSET

Korjausrakentamisessa syntyy pölyä, jonka määrä ja hiukkaskoko riippuvat käsiteltävästä materiaaleista ja työstötavoista. Hiukkaskoko vaikuttaa pölyn kulkeutumiseen, laskeutumisnopeuteen sekä pölyn aiheuttamiin terveysvaikutuksiin. Eurooppalaisen standardin EN 481 (CEN 1993) mukaiset hiukkasten kokoluokat ovat hengittyvä jae sekä keuhko- ja alveolijae. Määritelmät perustuvat erikokoisten hiukkasten kykyyn tunkeutua hengitysteiden eri osiin. Kuvassa 1 on keräävillä menetelmillä mitattujen standardin mukaisten kokojakeiden keräystehokkuudet hiukkasen aerodynaamisen halkaisijan funktiona.



Kuva 1. Hengittyvän jakeen, keuhko- ja alveolijakeen keräystehokkuudet aerodynaamisen halkaisijan funktiona (CEN 1993).

Rakennustyömaalla pölyävää työtä tekevät henkilöt altistuvat eri työvaiheissa syntyville rakennuspölyille. Toisaalta työmaa-alueella työskentelevät vähemmän pölyävää työtä tekevät henkilöt voivat altistua myös pölyävästä työvaiheesta peräisin olevalle pölylle. Puutteellisesta pölynhallinnasta johtuen myös saneerattavia tiloja ympäröivien, normaalissa toiminnassa olevien tilojen henkilöstö voi altistua rakennuspölyille. Erityisen vaarallisia aineita, kuten esimerkiksi kvartsi, asbesti, kivihiilipiki, mikrobit, PCB ja lyijy, sisältäviä materiaaleja käsiteltäessä vaaditaan erityisiä pölynhallintatoimenpiteitä kuten saneerausalueen osastointi. Näitä osastointivaatimuksia käsitellään tarkemmin tutkielman pölynhallintaosiossa.

Kvartsi on piidioksidin kiteinen muoto ja sitä esiintyy runsaasti luonnon mineraaleissa kuten kvartsiitissa ja hiekkakivessä (lähes 100 %), harmaassa ja punaisessa graniitissa (20-40 %) sekä harjuhiekassa (5-15 %) (Tossavainen 2008a). Rakennustyössä muodostuvassa betoni-, kivi- ja tiilipölyssä on aina muutamia prosentteja (4-10 %) kvartsia riippuen käytetystä kivilaadusta (www.ttl.fi 2011). Suurina pitoisuuksina hengitysilmassa esiintyvä kvartsipöly voi aiheuttaa kivipölykeuhkosairauden eli silikoosin (Tossavainen 2008a). Tämä voi johtaa keuhkosyövän kehittymiseen ja munuaissairauteen sekä laukaista joitakin reumaattisia sairauksia (www.ttl.fi 2011).

Rakennustyössä puupölyä syntyy lähinnä puun sahauksessa ja hionnassa (Liukkonen ja Lindroos 2008). Sahauksessa muodostuva pöly on pääasiassa karkeaa ja jää ylempiin hengitysteihin, josta se poistuu liman mukana (www.ttl.fi 2011). Puun hionnassa sen sijaan muodostuu hyvinkin hienojakoista pölyä, joka voi kulkeutua aina keuhkoihin saakka (www.ttl.fi 2011). Suomessa rakennustyömailla käytettävä puumateriaali on yleensä havupuuta tai koivua, joista muodostuva pöly aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä, astmaa, pitkittynyttä nuhaa ja yskää (Liukkonen ja Lindroos 2008). Puupöly voi aiheuttaa myös ärsytysihottumaa ja silmän sidekalvon herkistymistä (Liukkonen ja Lindroos 2008). Kovapuulajeista, kuten tammi ja pyökki, muodostuvan pölyn on todettu olevan syöpävaarallista (IARC 2011).

Mineraalivilloja käytetään rakennusten lämpö- ja äänieristykseen, ja ne valmistetaan teollisesti eri mineraaleista. Mineraalivillatuotteita käytetään levyinä, mattoina ja kouruina sekä puhallusvillana suoraan eristettävään rakenteeseen. Äänieristeet ovat yleensä

akustiikkalevyjä tai ääniloukkuja. Kuitujen paksuus on noin 3-6 µm, joten suurin osa kuidusta jää ylähengitysteihin. Mineraalivillakuidut voivat aiheuttaa ihon, silmien ja hengitysteiden ärsytystä sekä altistaa ylähengitysteiden tulehduksille. (www.ttl.fi 2011)

Asbesti on luonnossa esiintyvä silikaattimineraali, jonka kuidut ovat kiteisiä ja muodostavat kuitukimppuja (Tossavainen 2008b). Asbestissa on useita hyvältä rakennusmateriaalilta vaadittavia teknisiä ominaisuuksia kuten mekaaninen lujuus, lämmöneristävyys, palamattomuus ja kemikaalikestävyys (Tossavainen 2008b). Rakennusalalla asbestia onkin käytetty esimerkiksi lämmön- ja paloneristeenä, seinä- ja kattolevyissä, tuulensuojalevyissä, vesi- ja viemäriputkissa, lattiamateriaaleissa, tasoitteissa, laasteissa ja julkisivumaaleissa (www.ttl.fi 2011). Asbestia löytyy useista nykyään peruskorjattavista rakennuksista, sillä 2/3 kaikesta Suomessa käytetystä asbestista (n. 200 000 t) on edelleen rakennuskannassa (Tossavainen 2008b). Asbestikuidut ovat kooltaan pieniä, jolloin ne pääsevät hengitysilman mukana keuhkorakkuloihin saakka (Tossavainen 2008b). Asbestipölylle altistuminen voi aiheuttaa asbestoosia, keuhkosityöpää, keuhkopussin tai vatsakalvon syöpää ja keuhkomuutoksia (Tossavainen 2008b).

Kivihiilipikeä eli kreosoottia on käytetty 1890-1950-luvuilla rakennetuissa rakennuksissa kosteuden- ja vedeneristeenä. Tyypilliset kivihiilipikeä sisältävät rakenteet ovat kellarikerrosten lattiarakenteet, muuratut seinät ja tiilisaumat. Kivihiilipikeä on tummaa ja pistävän hajuista, mutta kuivissa oloissa kivihiilipikeä saattaa muuttua sitkeäksi hauraaksi ja hajua vaikeammin tunnistettavaksi. Iholle joutuessaan kivihiilipikeä aiheuttaa välittömästi kirvelyä ja punoitusta (www.ttl.fi 2011). Kivihiilipikeä sisältävä pöly voi aiheuttaa hengitysteiden ärsytysoireita (www.ttl.fi 2011). Kivihiilipikeä sisältää polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH), jotka kuuluvat Suomessa syöpävaarallisten aineiden luetteloon. Sekä hiukkasmaisessa että höyrymäisessä muodossa esiintyvät PAH-yhdisteet imeytyvät ihon läpi ja kulkeutuvat hengitysilman mukana keuhkoihin, mikä asettaa suojautumiselle huomattavia vaatimuksia. Heikkilän (2001) mukaan naftaleenialtistumisesta 55-70 % ja pyreenealstistumisesta yli 99 % tapahtuu ihon kautta.

Kosteusvaurioituneen rakenteen purkamisessa voi altistua vaurioituneesta materiaalista peräisin oleville mikrobeille ja niiden aineenvaihduntatuotteille. Rakennuksen kosteus- tai mikrobivaurio voi johtua laite- tai putkivuodosta tai kosteuden kulkeutumisesta rakenteeseen.

Vaurio tulee korjata heti sen toteamisen jälkeen, koska jatkuva kosteus lisää mikrobien kasvua ja laajentaa vauriota. Korjaamaton kosteusvaurio homehduttaa rakenteita ja huonontaa sisäilmanlaatua vapauttamalla sinne terveydelle haitallisia mikrobeja tai niiden aineenvaihduntatuotteita. Kosteusvauriomikrobien aiheuttamia yleisoireita ovat huonovointisuus, päänsärky ja erilaiset ärsytysoireet. Mikrobit voivat aiheuttaa allergisia sairauksia ja toistuvia hengitystieinfektioita sekä silmien, ylä- ja alahengitysteiden ärsytysoireita. (www.ttl.fi 2011)

Julkisivujen elementtirakenteiden polysulfidisaumoissa käytettiin PCB:tä eli polykloorattuja bifenyylejä ja lyijyä 1950-1970-luvuilla (www.ttl.fi 2011). Rakenteiden uusintasaumauksessa vanha saumausmassa poistetaan poralla ja kulmahiomakoneella, ja uusitaan sauma nykyaikaisemmalla massalla (www.ttl.fi 2011). PCB on luokiteltu mahdollisesti syöpää aiheuttavaksi yhdisteeksi (IARC 2011). Rasvaliukoisena aineena PCB kertyy ihmisiin ja muihin nisäkkäisiin sekä lintuihin (www.ttl.fi 2011). Ihmisillä on havaittu esimerkiksi klooriaknea, näköhäiriöitä, vatsavaivoja, silmätulehduksia, jäsenten turpoamista ja hermosto- oireita PCB-altistuksen yhteydessä (www.ttl.fi 2011).

2.2 PÖLYALTISTUMINEN KORJAUSRAKENTAMISESSA

2.2.1 Altistuminen saneerattavalla alueella

Rakennustyömaalla työskentelevien henkilöiden altistumista työssä muodostuville epäpuhtauksille arvioidaan Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 1213/2011 mukaisten haitallisiksi tunnettujen pitoisuuksien (HTP-arvot) avulla. HTP-arvot on määritetty pääasiassa hengittyvälle jakeelle ja tiettyjen altisteiden kohdalla alveolijakeelle. Hengittyvän epäorgaanisen pölyn HTP_{8h}-arvo on 10 mg/m³ (1213/2011 taulukko 1). Alveolijakeiselle epäorgaaniselle pölylle ei ole Suomessa raja-arvoa. Altistumisen eri tasoja voidaan arvioida HTP-arvon perusteella seuraavasti: altistuminen on vähäistä, jos pitoisuus on alle 10 % HTP-arvosta; altistuminen on kohtalaista, jos pitoisuus on 10-50 % HTP-arvosta; altistuminen on merkittävää, jos pitoisuus on 50-100 % HTP-arvosta; altistuminen on liiallista, jos HTP-arvo ylittyy (Riihimäki ym. 2008).

Kansainvälinen työjärjestö (International Labour Organization ILO) on listannut eri maiden työhygieeniset raja-arvot (occupational exposure limits, OELs) (ILO2011). Esimerkiksi

Belgiassa, Iso-Britanniassa, Ranskassa, Ruotsissa ja Saksassa hengittyvän pölyn raja-arvo on sama kuin Suomessa 10 mg/m^3 (ILO2011). Alveolijakeisen pölyn raja-arvo vaihtelee näissä maissa 3 mg/m^3 ja 5 mg/m^3 välillä (ILO2011). Yhdysvalloissa raja- ja ohjearvoja työympäristön altisteille antaa esimerkiksi OSHA (Occupational Safety & Health Administration), joka on työministeriön alainen kansallinen työturvallisuuden ja -terveyden virasto. OSHA:n raja-arvot ovat kokonaispölylle 15 mg/m^3 ja alveolijakeelle 5 mg/m^3 (ILO2011).

Korjausrakentamisessa betonipölylle altistavat käytännössä kaikki työvaiheet, joissa betonia käsitellään. Erityisen altistavia työvaiheita ovat purku, hionta- ja tasoitetyöt sekä työvaiheiden jälkeinen siivous (www.ttl.fi 2011). Kivi- ja tiilipölyä muodostuu eniten kivi- ja tiilirakenteiden purkamisessa (www.ttl.fi 2011). Taulukossa 1 on esitetty aiemmissa tutkimuksissa mitattuja alveolijakeisen pölyn pitoisuuksia betoni- ja tasoitetöissä.

Taulukko 1. Alveolijakeisen pölyn pitoisuudet aiemmissa tutkimuksissa.

TYÖVAIHE	PITOISUUS (mg/m^3)	HUOMIOT	VIITE
Betonin hionta	866	testikammio, henkilökohtainen altistuminen	Akbar-Khanzadeh ym. 2007
Betonin hionta	250	testikammio	Akbar-Khanzadeh ym. 2010
Piikkaus ja betonin hionta	6	henkilökohtainen altistuminen	Asikainen ym. 2009
	2	työskentelyalueen pitoisuus	
Seinä- ja kattotasoitteen ruiskutus	7	henkilökohtainen altistuminen	Asikainen ym. 2009
	2	työskentelyalueen pitoisuus	
Lattiatasoitteen hionta	1	henkilökohtainen altistuminen	Asikainen ym. 2009
	1	työskentelyalueen pitoisuus	
Betonitiilen katkaisu	44	testikammio	Carlo ym. 2010
Betonin hionta	27	vaihteluväli suuri (2-84)	Echt ja Shulman 2002
Betoniharkon leikkaus	56	henkilökohtainen altistuminen, vaihteluväli suuri (21-115)	Echt ym. 2007
Piikkaus	1	henkilökohtainen altistuminen	Echt ym. 2004
Laastin hionta	11	henkilökohtainen altistuminen	Heitbrink 2000

Lähes kaikissa taulukon 1 tutkimuksissa alveolijakeisen pölyn pitoisuudet ylittivät useiden maiden raja-arvot. Esimerkiksi Akbar-Khanzadeh ym. 2007 ja 2010 ovat tutkineet pölyaltistumista betonin hionnan aikana hallituissa olosuhteissa testikammiossa ja saaneet varsin korkeita pölypitoisuuksia. Carlon ym. (2010) mukaan betonitiilen katkaisun aikana pölypitoisuus oli lähes yhdeksän kertainen raja-arvoihin nähden testikammio-olosuhteissa. Asikainen ym. (2009) tarkastelivat henkilökohtaisen altistumisen ja työskentelyalueen pitoisuuksien eroa. Henkilökohtainen altistuminen oli hieman suurempaa kuin työskentelyalueella, mutta työskentelyalueen pitoisuudet olivat varsin korkeita ajatellen muiden kuin pölyävää työtä tekevien altistumista. Asikainen ym. (2009) toteavat myös henkilökohtaisten suojainten käytön olevan vähäistä tai olematonta lukuun ottamatta piikkausta, eristystyötä, ruiskumaalausta ja tasoitteen hiontaa (Asikainen ym. 2009).

Asikainen ym. (2009) tutkivat alveolijakeisen pölyn lisäksi myös halkaisijaltaan alle 10 µm (PM₁₀) hiukkasten pitoisuutta työskentelyalueen ilmassa. Taulukossa 2 on esitetty PM₁₀-hiukkasten pitoisuuksia eri työvaiheiden aikana.

Taulukko 2. PM₁₀-hiukkasten pitoisuuksia eri työvaiheiden aikana työskentelyalueen ilmassa (Asikainen ym. 2009).

TYÖVAIHE	TYÖSKENTELEYALUEEN PÖLYPITOISUUS (mg/m ³)	
	KESKIARVO	SUURIN PITOISUUS
Betonin hiontaa kohdepoistolaitteella, jonka pölypussi täynnä	1,1	11,4
Piikkaus ilman tehostettua tuuletusta	2,8	10,8
Piikkaus tehostettua tuuletusta käyttäen	1,4	4,7
Lattiatasoitteen hionta ilman kohdepoistoa	19,5	71,8

Mineraalivillakuiduille altistavia työvaiheita ovat vanhojen mineraalivilloja sisältävien rakenteiden purkaminen ja uusien villaeristeiden asentaminen (www.ttl.fi 2011). Villaeristeiden asennuksessa mineraalivillakuitujen pitoisuudet ovat yleensä olleet alle ohjearvon (1 kuitu/cm³), mutta hengitysteiden ärsytystä voi siitä huolimatta esiintyä (www.ttl.fi 2011). Esimerkiksi altistustaso 1 kuitu/cm³ on tutkimusten mukaan ylittynyt vain erikoistilanteissa, esimerkiksi puhallusvillan asennuksessa (Tossavainen 2008c). Villojen

asennustyössä altistuminen on ollut keskimäärin $0,1$ kuitua/cm³ (Tossavainen 2008c). Kivihiiliempien poistamisessa piikkaamalla hiukkasmaisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet ilmassa voivat olla moninkertaisesti yli HTP-arvojen (www.ttl.fi 2011). Myös höyrymäisille yhdisteille altistuminen voi olla merkittävää (www.ttl.fi 2011). PCB-pitoisen maalin poistaminen hiekkapuhaltamalla betonipinnoilta on yleisesti käytössä oleva työmenetelmä (Kuusisto ym. 2007). Siinä muodostuu suuria määriä pölyä hengitysilmaan, mikä voi aiheuttaa terveyshaittaa (Kuusisto ym. 2007). Erityisesti PCB-pitoisten maalien poistamisessa hiekkapuhaltamalla muodostuu suuria määriä PCB-pitoista pölyä (Kuusisto ym. 2007). Muodostuneen pinnoille laskeutuneen pölyn määrä aiheuttaa riskin työmaalla työskenteleville henkilöille (Kuusisto ym. 2007). Myös PCB:tä sisältävän materiaalin hionta on erittäin pölyävä työvaihe, jossa tehokkaimmalkaan kohdepoistot eivät välttämättä pysty estämään pölyn leviämistä (www.ttl.fi 2011).

Asbestipitoisten rakenteiden purussa syntyvässä pölyssä on runsaasti asbestikuituja (www.ttl.fi 2011). Asbestipurkutyötä saa tehdä ainoastaan työsuojeluviranomaisen valtuuttama työnantaja tai itsenäinen työn suorittaja (1380/1994 § 16). Valtuutuksen saamiseksi työn johtajien ja työntekijöiden tulee saada asbestipurkutyökoulutus, heille tulee tehdä tarvittavat terveystarkastukset ja heillä tulee olla käytössään asianmukaiset laitteet ja muut varusteet (1380/1994 § 16). Ennen asbestipurkutyön aloittamista valtuutetun työnantajan tai itsenäisen työn suorittajan tulee tehdä työsuunnitelma ja toimittaa se työpaikkaa tarkastavalle työsuojeluviranomaiselle vähintään viikkoa ennen työn aloittamista (1380/1994 § 19). Asbestipitoisia materiaaleja käsiteltäessä tuleekin työntekijän käyttää tavanomaisen rakennustyömaavaatetuksen lisäksi aina tehokkaita hengityksensuojaimia, pölytiivittä kertakäyttöisiä suojahaalareita, tiiviitä suojakäsineitä ja kumisaappaita (Ratu 82-0347).

2.2.2 Altistuminen saneerattavan alueen ulkopuolella

Korjausrakentaminen tapahtuu useimmiten jo käytössä olevassa rakennuksessa, jolloin on otettava huomioon myös työmaata ympäröivissä tiloissa olevat henkilöt. Rakennustyömaata ympäröivissä tiloissa työskentelevien ja oleskelevien henkilöiden pölyaltistumisen arviointiin voidaan soveltaa Suomen rakentamismääräyskokoelman D2-osaa, jossa PM₁₀-hiukkasten ohjearvona on $0,05$ mg/m³ (RakMK D2). Muiden ilman epäpuhtauksien pitoisuus tavallisissa

tiloissa saa olla enintään 10 % HTP-arvosta, jos yhden aineen vaikutus on selvästi hallitseva (RakMK D2). Useiden haitallisten aineiden seoksen katsotaan ylittäneen hyväksyttävän pitoisuuden rajan, kun summataan kaikkien pitoisuuksien suhde kunkin HTP-arvoon ja saatu luku ylittää arvon 0,1 (RakMK D2). Asumisterveysohjeessa (STM 2003) PM₁₀-pitoisuuden ohjearvoksi on annettu 0,07 mg/m³ (24 tunnin keskiarvo).

Sisäilman asbestikuitupitoisuuden tulee olla alle 0,01 kuitua/cm³, ja asbestikuitujen esiintyminen pinnoille laskeutuvassa pölyssä ei ole hyväksyttävää. Hyväkuntoiset ja ehjät asbestimateriaalit eivät aiheuta haittaa rakennuksen normaalissa käytössä, mutta kaikissa asbestimateriaaleja sisältävien rakenteiden purku- ja korjaustöissä voi terveyshaitta olla mahdollinen. Asbestipitoisten materiaalien purkamisen aikana voi olla tarpeen mitata asbestikuitupitoisuus huoneilmasta, mikäli kuituja voi kulkeutua saneerausalueelta ulkopuolisiin tiloihin (STM 2003).

PCB:n osalta Kuusisto ym. (2007) toteavat, ettei hiekkapuhallus ole pölyn muodostumisen kannalta hyvä menetelmä PCB-pitoisen maalin poistoon betonipinnoilta. Hiekkapuhalluksessa muodostuvan ja pinnoille laskeutuvan pölyn määrä ei ole hyväksyttävällä tasolla ja aiheuttaakin näin riskin työntekijöiden lisäksi myös tilojen käyttäjille saneerauksen jälkeen. Tämän vuoksi PCB-pitoisuus tulisikin varmistaa ennen tilojen luovutusta käyttöön. (Kuusisto ym. 2007)

2.3 PÖLYNHALLINTAA KOSKEVAT NORMIT

Sisäilmastoluokituksessa (2008) annetaan ohjeita terveellisten ja viihtyisien rakennusten rakentamiseen, ja luokitusta voidaan käyttää soveltuvin osin myös korjausrakentamisessa. Sisäilmastoluokitus ei kuitenkaan ole viranomaisohje, vaan siinä mainitut asiat muuttuvat osapuolia sitoviksi vasta, mikäli ne on otettu osaksi yksilöityihin sopimusasiakirjoihin. Tällöin sisäilmastoasiat otetaan rakennushankkeessa huomioon samalla tavalla kuin muutkin rakennustyön vaatimukset. Sisäilmastoluokat ovat yksilöllinen sisäilmasto (S1), hyvä sisäilmasto (S2) ja tyydyttävä sisäilmasto (S3). S1- ja S2-luokissa sisäilman laadun tulee olla hyvä eikä tiloissa tai rakenteissa ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. S3-luokan tilan olosuhteet täyttävät vähintään rakentamismääräysten vaatimukset.

Rakennustöiden puhtausluokilla P1 ja P2 pyritään varmistamaan rakennettujen tilojen puhtaus. P1-luokkaan kuuluvat työ- ja asuintilat, joissa pyritään S1- tai S2-luokan mukaiseen hyvään sisäilman laatuun. Näille tiloille on annettu toteutusohjeet, joissa kiinnitetään erityistä huomiota rakennustarvikkeiden kuljettamiseen, varastointiin ja suojaukseen, ilmanvaihtolaitteiden toimintakoevalmiudessa olevien tilojen osastointiin, tilojen siivoukseen sekä puhtausluokituksesta tiedottamiseen ja koulutukseen. P2-luokkaan kuuluvat tavanomaiset työ- ja asuintilat, joissa pyritään sisäilmastoluokan S3 mukaiseen sisäilman laatuun.

Lainsäädännöllisesti pölynhallintaa rakennustyössä säätelevät työturvallisuuslaki (738/2002) ja valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (205/2009). Työturvallisuuslaissa (738/2002) on säädetty työnantajan ja työntekijän velvollisuuksista (luvut 2 ja 4), joissa työnantaja on velvollinen järjestämään työntekijälle turvalliset ja terveelliset työolot, ja työntekijä on puolestaan velvollinen noudattamaan työnantajan antamia ohjeita työn turvallisuuden ja terveellisyyden ylläpitämiseksi ja mm. käyttämään henkilösuojaimia. Työntekijällä on oikeus pidättäytyä työstä, jos se aiheuttaa vakavaa vaaraa hänen omalle tai muiden työntekijöiden hengelle (738/2002, 23 §).

Valtioneuvoston asetuksen rakennustyön turvallisuudesta (205/2009) mukaan rakennuttaja nimeää päätoteuttajan, jolla on riittävä pätevyys ja toimivalta huolehtia päätoteuttajalle säädettyistä tehtävistä. Jos hankkeelle ei ole nimetty päätoteuttajaa, vastaa rakennuttaja päätoteuttajalle kuuluvista tehtävistä. Rakennuttajan on nimettävä jokaiseen rakennushankkeeseen pätevä ja hankkeen vaativuutta vastaava turvallisuuskoordinaattori, joka huolehtii turvallisuutta ja terveellisyyttä koskevista asioista hankkeessa. Rakennuttajan on huolehdittava turvallisuuskoordinaattorin riittävästä pätevyydestä ja toimivaltuudesta kussakin rakennushankkeessa sekä siitä, että turvallisuuskoordinaattori huolehtii tälle kuuluvista tehtävistä. Turvallisuuskoordinaattorin tulee osallistua rakentamisen turvallisuutta koskevaan suunnitteluun ja toteutukseen yhdessä päätoteuttajan kanssa. (205/2009)

2.3.1 Pölynhallinnan asiakirjat

Rakennuttajan on laadittava rakennushankkeelle turvallisuusasiakirja, kirjalliset turvallisuussäännöt, kirjalliset menettelyohjeet sekä kirjalliset käyttö- ja huolto-ohjeet.

Turvallisuusasiakirjassa on selvitetty rakennushankkeen vaara- ja haittatekijät, työmaahan liittyvä teollinen toiminta sekä tiedot toteutuksen työturvallisuudesta ja työterveydestä. Kirjalliset turvallisuussäännöt sisältävät turvallisuushallinnan tavoitteet ja toimenpiteet sekä ohjeita muiden muassa turvallisuusseurantaan, yhteistoimintaan ja kulkulupiin. Kirjallisissa menettelyohjeissa on töiden ajoitus, eritysten työmenetelmien vaatimukset, aliurakoinnin järjestäminen ja työhygieenisiä mittauksia koskeva menettely. Rakennuttaja laatii rakennuskohteen ylläpitoa, huoltoa ja korjaamista koskevat kirjalliset käyttö- ja huolto-ohjeet ennen rakennushankkeen päättymistä. Käyttö- ja huolto-ohjeiden tulee sisältää riittävät työturvallisuus- ja terveystiedot. (Vna 205/2009 7 §, 8 §)

Päätoteuttaja tekee rakennuttajan turvallisuusasiakirjan perusteella kirjallisesti työturvallisuutta koskevat suunnitelmat sekä kirjallisen rakennustyömaa-alueen käytön suunnitelman (Vna 205/2009 10 §, 11 §). Päätoteuttaja vastaa edellä mainittujen suunnitelmien täytäntöönpanosta, toteutuksesta ja seurannasta sekä huolehtii työnantajien ja itsenäisten työsuorittajien yhteistyöstä ja tehtävän jaosta turvallisuutta ja terveyttä uhkaavien vaarojen estämisessä ja mahdollisista vaaroista tiedottamisessa yhteisellä työmaalla (Vna 205/2009 13 §). Kirjallisten työturvallisuutta koskevien suunnitelmien (Vna 205/2009 10 §) mukaan työt, työvaiheet ja niiden ajoitus on järjestettävä mahdollisimman turvallisiksi työmaalla työskenteleville ja muille työn vaikutuspiirissä oleville henkilöille. Työmaan yleisistä työtehtävistä, työolosuhteista ja työympäristöstä aiheutuvat rakennustyön vaara- ja haittatekijät tulee selvittää ja tunnistaa. Mikäli vaara- ja haittatekijöitä esiintyy, täytyy ne poistaa asianmukaisesti. Jos vaara- ja haittatekijöiden poistaminen on mahdotonta, niiden merkitys työmaalla työskentelevien ja työn vaikutuspiirissä olevien terveydelle on arvioitava. Valtioneuvoston asetuksessa rakennustyön turvallisuudesta (205/2009) 10 § tarkoitetuissa suunnitelmissa on erityisesti otettava huomioon pölyn vähentäminen ja leviämisen estäminen, turvallisuus- tai terveysvaaraa aiheuttaville kemiallisille tai biologisille aineille altistavat työt sekä rakenteiden ja materiaalien purkutyöt. Rakennustyömaan käytön kirjallisessa suunnitelmassa (Vna 205/2009 11 §) tulee kiinnittää huomiota erityisesti tapaturmavaaraan ja terveyshaitan poistamiseen ja vähentämiseen muiden muassa pölynhallinnan ja –torjunnan, tarvittavien rakenteiden ja laitteiden sijoituksen sekä palontorjunnan keinoin.

2.4 PÖLYNHALLINTA RAKENNUSTYÖSSÄ

Saneerattavan tilan pölynhallinnassa on ensisijaisesti pyrittävä estämään pölyn syntyminen työmenetelmien ja työstettävien materiaalien valinnan avulla (Ratu 1225-S). Mikäli pölyn syntymistä ei voida estää, tulee käyttää vähemmän pölyäviä materiaaleja ja menetelmiä, ja pölyn leviäminen tulee rajata käyttämällä pölyä tuottavissa työkoneissa asianmukaisia kohdepoistolaitteita (Ratu 1225-S). Työkoneiden valinnassa tulisi huomioida kohdepoistolaitteiden laatu, suodattimien tehokkuus ja huollon helppous (www.ttl.fi 2011).

2.4.1 Osastointi ja painesuhteet

Korjausrakentamisen pölynpölynhallintamenetelmien kehitys on lähtenyt liikkeelle asbestipölynhallinnasta, josta pölynhallintamenetelmiä on otettu käyttöön myös muuhun rakentamiseen. Osastointimenetelmä on päätyömenetelmä esimerkiksi asbestia sisältävien tai kosteus- ja mikrobivaurioituneiden materiaalien purkamisessa. Asbestia sisältävien materiaalien purkaminen tehdään aina kohteen asbestikartoituksen perusteella laaditun työsuunnitelman mukaan (Ratu 82-0347). Rakenteet puretaan vähiten pölyävällä tavalla mahdollisimman ehjinä ja työvälineissä käytetään kohdepoistolaitteita, jotta työtilan pölypitoisuus pysyy mahdollisimman alhaisena (Ratu 82-0347).

Saneerattavan tilan osastoinnilla tarkoitetaan tilan ilmanvaihdollista eristämistä ympäröivistä tiloista korjaustyön ajaksi. Osastointi toteutetaan tarvittavilla seinä-, katto- ja lattiarakenteilla sekä tilojen välisiä painesuhteita säätelemällä (ali- tai ylipaineistus). Osastoinnissa pyritään käyttämään rakennuksen olemassa olevaa huonejakoa ja tarvittaessa rakennetaan väliaikaisia seinärakenteita rimojen ja muovikalvon tai vanerin avulla. Yleensä saneerattava tila pyritään alipaineistamaan puhaltamalla ilmaa tilasta ulos. Tämän tarkoituksena on ohjata hallitusti puhtaita ilmavirtoja saneerattavaan tilaan, ja puhaltaa likaisempaa rakennustyömaan ilmaa suodattimien läpi ulkoilmaan. Alipaineistuslaite ja tuloilmareitit tulisi sijoittaa eri puolille saneerattavaa tilaa, jotta ilma vaihtuisi mahdollisimman suurelta alueelta. Osastoidun tilan tulisi säilyä alipaineisena kaikissa olosuhteissa. Tämän takia paine-eroa osastoidun tilan ja ympäröivän tilan välillä tulisi seurata alipaineistajan paine-eromittarista tai jatkuvatoimisesta tallentavasta mittarista. Aistinvaraisesti paine-ero voidaan havaita esimerkiksi osastoinnin

muovikalvoseinistä, jotka painuvat alipaineiseen tilaan päin. (Ratu 1225-S) Ylipaineistuksella voidaan suojata esimerkiksi saneerattavan tilan sisäpuolelle jääviä puhtaita tiloja kuten laboratoriohuoneita tai sähkökaappeja.

Osastoinnin tiiviys on erityisen tärkeää alipaineen ylläpitämiseksi sekä pölyn leviämisen estämiseksi. Osaston ja sitä ympäröivän tilan väliset ovet suljetaan, tiivistetään ja niihin laitetaan ilmoitus työmaa-alueesta. Sisäänkäynti osastoon järjestetään 3-osaisen sulkutilan kautta. Osastointi tulee purkaa vasta, kun rakennustyö on päättynyt ja osaston sisällä pölypitoisuudet ovat tilan vaatimusten mukaisia. (Ratu 82-0240)

Alipaineistajat on suositeltavaa sijoittaa tilan ulkopuolelle niiden likaantumisen välttämiseksi. Imuletkut johdetaan purkutilaan ja tiivistetään läpiviennit teipeillä (Ratu 82-0347). Alipaineen tulee säilyä purkutilassa kaikissa olosuhteissa, mikä voidaan varmistaa käyttämällä kahta eri virtapiireihin kytkettyä alipaineistajaa (Ratu 82-0347). Alipaineistus on toteutettava riittävän tehokkailla alipaineistajilla. Tavanomaisissa purkutöissä alipaineistus tulisi mitoittaa siten, että ilmanvaihtuvuus olisi 6-10 1/h (Ratu 82-0240). Vaarallisia aineita sisältävien materiaalien purkamisen aikana ilman vaihtuvuus saneerattavassa tilassa tulisi olla 6-20 1/h (Ratu 82-0239, 82-0347, 82-0237). Poistoilma puhdistetaan karkea- ja mikro- tai hienosuodattimilla (Ratu 82-0240). Hienosuodattimella varustetun alipaineistajan poistoilma tulee johtaa ulkoilmaa, kun taas mikro-suodattimen (HEPA) läpi ulkenut poistoilma voidaan johtaa myös ympäröivään tilaan (Ratu 82-0240). Useimmiten on kuitenkin suotavaa johtaa poistoilma aina ulos ympäröivässä tilassa olevan laskeutuneen pölyn nostattamisen välttämiseksi (Ratu 82-0240). Alipaineistajien tehoa ja sen suodattimien kuormittumista tulee seurata koko purkutyön ajan (Ratu 82-0240).

Euroopan johtavien työsuojelutarkastajien komitea (SLIC) on julkaissut ”Hyvien toimintatapojen käytännön oppaan asbestiin liittyvien riskien ehkäisemiseksi tai minimoimiseksi työssä, jossa esiintyy (tai saattaa esiintyä) asbestia: työnantajille, työntekijöille ja työsuojelutarkastajille”. Oppaan mukaan osastoinnin tiiviys tulee tarkastaa merkkisavun avulla. Tarkastus tulee tehdä myös alipaineistajan ollessa suljettuna, jotta vuotokohdat mahdollisen alipaineistajan toimintahäiriön aikana havaitaan. Lisäksi jokaisen työvuoron aikana tulee tarkastaa osastointi, HEPA-suodattimella varustetut imurit ja pölyntorjuntalaitteet ja tarkastuksista tulisi pitää kirjaa. Tarkastuksessa on tutkittava mm.

laitteiden kuluminen ja suodattimien vaihdon tarve. Osastoinnin sisäpuolella tulee olla lievä alipaine, jonka vähimmäisvaatimus vaihtelee 5 ja 10 Pa välillä EU:n jäsenvaltioissa. Kuitenkin 5 Pa alipaine on alhainen ja siihen voivat vaikuttaa ulkoiset tekijät kuten voimakkaat tuulet rakennuksen ulkopuolella. Ilmanvaihtokertoimen tulee olla vähintään 8 1/h. (SLIC)

Yhdysvaltojen työministeriön alainen kansallinen työturvallisuuden ja -terveyden virasto OSHA (Occupational Safety & Health Administration) on antanut ohjeita esimerkiksi asbestia sisältävien materiaalien poistamisen turvallisuudesta. Ohjeiden mukaan asbestipurkualue tulee osastoida ja eristää ilmanvaihdollisesti sekä peittää kaikki osastoinnin sisäpuolelle jäävät tavarat läpäisemättömällä materiaalilla. Osastoinnin tiiviyden ja ilmavirtojen suunnan havainnointiin suositellaan käytettäväksi merkkisavua tai vastaavaa menetelmää. Alipaineistajassa ja siivoukseen käytettävässä imurissa tulee olla HEPA-suodattimet. Paine-eroa tulee seurata tallentavalla ja hälyttävällä paine-eromittarilla. Alipaineen tulee olla vähintään 5 Pa ja ilman tulee vaihtua 4-15 1/h. (OSHA 2011)

Tutkimustietoa osastoinnin ja alipaineistuksen vaikutuksesta epäpuhtauksien leviämiseen työmaa-alueelta ympäröiviin tiloihin on varsin vähän verrattuna esimerkiksi kohdepoiston tai vesivoitelun käyttöön rakennustyömaan pölynhallinnassa. Erityisesti alipaineen riittävästä suuruudesta korjausrakentamisessa ei löytynyt tieteellisiä tutkimustuloksia. Overberger ym. (1995) toteavat osastoinnin ja alipaineistuksen toimivan hyvin hiukkasten ja itiöiden leviämisen estämisessä sairaalan korjauksessa. Rautiala ym. (1998) tutkivat pölynhallintamenetelmien vaikutusta mikrobien leviämiseen saneeratusta tilasta ympäröivään tilaan kosteusvaurioituneen rakenteen purkamisen aikana. Osastoinnin ja alipaineistuksen ollessa käytössä saneeratusta tilasta mikrobipitoisuudet olivat lähes 100-kertaisia ympäröivään tilaan verrattuna. Ympäröivän tilan pitoisuudet olivat kuitenkin hieman korkeammat kuin ennen saneerausta mitatut pitoisuudet. Osastoinnin ja kohdepoiston ollessa käytössä saneeratun tilan mikrobipitoisuudet olivat noin 10-kertaisia ympäröivän tilan pitoisuuksiin nähden, ja ympäröivän tilan pitoisuudet pysyivät ennen saneerausta mitattujen pitoisuuksien tasolla. (Rautiala ym. 1998)

Pölynhallinnassa ja osastoinnissa tulee ottaa huomioon tilojen paloturvallisuus. Tärkeä osa palo-osastointia on rakenteiden läpivientien tiivistäminen, jolla pyritään samaan

palonkestävyysaikaan kuin ympäröivällä rakenteella. Jos korjauksen yhteydessä poistetaan läpivietyjä putkia tai johtoja, läpiviennit tulee tukkia asianmukaisesti. Hätäpoistumistiet tulee järjestää turvallisesti korjausrakentamisen aikana. Jos poistumisalueelta on vain yksi uloskäynti, on alueelta järjestettävä myös varauloskäynti. (YM 1998)

2.4.2 Muut pölynhallintamenetelmät

Aiemmissa tutkimuksissa kohdepoistolaitteiden on havaittu vähentävän selvästi työmaa-alueen pölypitoisuuksia. Esimerkiksi Asikainen ym. (2009) havaitsivat kohdepoistolla olevan ratkaisevan vaikutuksen ilman pölypitoisuuksiin betonipintojen hionnassa, kun pitoisuus oli ilman kohdepoistoa 130 mg/m^3 ja kohdepoiston ollessa käytössä $1,7 \text{ mg/m}^3$. Samansuuntaisiin lopputuloksiin päädyttiin myös muissa tutkimuksissa, joissa havaittiin pölypitoisuuden vähenevän yli 90 % käytettäessä betonin hionnassa kohdepoistolaitetta (Echt ja Shulman 2002, Croteau ym. 2004, Akbar-Khanzadeh ym. 2007, Akbar-Khanzadeh ym. 2010). Kuitenkin esimerkiksi Croteau ym. (2004) toteavat, että vaikka kohdepoisto vähentää tehokkaasti ilman pölypitoisuutta, tulee betonin hionnan aikana käyttää hengityksen suojainta. Vesivoitelulla tarkoitetaan veden ohjattua johtamista työkalun terälle tai työstettävälle pinnalle. Tällä pyritään sitomaan muodostuvaa pölyä veteen. Työkalun vesivoitelun tarkoituksena on myös jäähdyttää kuumentuvaa terää.

Vesivoitelun pölynhallintamenetelmänä on havaittu vähentävän 80-99 % ilmassa olevasta pölystä, kun veden syöttö oli yli 1,4 l/min (Echt ym. 2002, Akbar-Khanzadeh ym. 2007, Echt ym. 2007, Akbar-Khanzadeh ym. 2010, Carlo ym. 2010). Thrope ym. (1999) tutkivat veden käyttöä betonin sahausessa syntyvän pölyn hallintamenetelmänä laboratoriossa. Tutkimuksessa havaittiin, että veden oikealla syöttömäärällä voidaan vähentää pölyä tehokkaasti (Thrope ym. 1999). Veden virtausnopeuksista optimaalisin oli 0,5 l/min, jolloin pölypitoisuus väheni 97 % kontrolloimattomaan työvaiheeseen verrattuna (Thrope ym. 1999). Virtausnopeudella 1 l/min ei saavuteta enää merkittävää pölypitoisuuden vähenemistä (Thrope ym. 1999). Veden käyttöön rakentamisessa liittyy kuitenkin myös ongelmia. Esimerkiksi Meeker ym. (2009) ovat huolissaan työturvallisuudesta käytettäessä juoksevaa vettä virtalähteiden läheisyydessä. Lisäksi rakennustyömaan alhainen lämpötila voi aiheuttaa liukastumisia veden jäädyttyä. Carlo ym. (2010) toteavat veden käytön nostavan vesivahinkoriskiä, lisäävän siivousvaatimuksia ja materiaalien laajenemista.

Rakennussiivouksella tarkoitetaan rakennustyön aikana tehtävää siivousta sekä loppusiivousta valmiissa rakennuskohteessa. Molempia voidaan pitää erityisen tärkeinä työmaan siisteyden, viihtyvyyden ja turvallisuuden sekä tilaajan laatutavoitteiden täyttymisen kannalta. Rakennussiivouksen huomioiminen rakennushankkeen kaikissa vaiheissa voidaan taata liittämällä työmaan puhtautta ja rakennussiivousta koskevat laatuvaatimukset osaksi urakka-asiakirjoja (Andersson 2004). Rakennussiivouksessa huomiota tulee kiinnittää pölysäiliöiden muodostumisen estämiseen, ilmassa olevien hiukkasten vähentämiseen sekä lian ja kosteuden kantautumiseen ulkotiloista (Andersson 2004). Pölysäiliöillä tarkoitetaan suojaisia paikkoja, joihin laskeutuva pöly pääsee työmaa-alueella kulkeutumaan (Andersson 2004). Työmaan siivous on tärkeää myös työvaiheiden välissä, sillä aiemmassa työvaiheessa muodostunut ja laskeutunut pöly nousee seuraavassa työvaiheessa ilman liikkeen mukana takaisin hengitysilmaan (Ratu 1225-S). Loppusiivouksessa käytetään myös nihkeä- ja kosteapyyhintää sekä peseviä menetelmiä (Andersson 2004).

Riala (1988) on tutkinut rakennustyömaasiivoojan altistumista betonipölylle eri työvaiheissa. Suurin altistuminen oli kuivaharjauksen aikana, jolloin kokonaispölypitoisuus ilmassa oli keskimäärin 32 mg/m^3 (Riala 1988). Pienin pölyaltistuminen oli imuroinnin aikana (kokonaispölypitoisuus 7 mg/m^3) (Riala 1988). Rakennustyömaan siivouksessa tulisikin välttää kuivaharjausta ja suosia imurointia (Riala 1988). Riala toteaa myös, että rakennustyömaan siivouksessa tulisi käyttää henkilökohtaisia suojaimia (Riala 1988). Asikaisen ym. (2009) mukaan henkilökohtainen altistuminen rakennustyömaan siivouksen aikana oli 4 mg/m^3 ja altistuminen työmaa-alueella 3 mg/m^3 .

Rakennustyömaajätteen poisvienti työmaa-aluetta ympäröivän tilan kautta voi aiheuttaa rakennuspölyn leviämistä. Vanhojen rakenteiden purkamisessa syntyvä jäte tulisi poistaa rakennuksesta esimerkiksi tiiviitä putkistoja pitkin suoraan suojattuun säiliöön, jolloin vältetään pölyn leviäminen (Ratu 1225-S). Puhtaan lopputuloksen aikaan saamiseksi saneerauksessa huomiota tulee kiinnittää myös työmaalogistiikkaan (Ratu 2010). Vaarallisia aineita sisältävien purkujätteen kuljetukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota, jottei niitä pääse leviämään ympäristöön (Ratu 2010).

Saneerattavassa tilassa voidaan käyttää ilmanpuhdistinta työmaalla olevien ilman epäpuhtauksien vähentämiseksi. Käyttöä suositellaan lähinnä silloin, kun työmaan tehostettu tuulettaminen on mahdotonta esimerkiksi kaupungin järjestyssääntöjen tai ulkoilman olosuhteiden takia (Ratu 1225-S). Työmaa-alueen ilmanvaihtoa voidaan tehostaa esimerkiksi pitämällä rakennuksen ovia ja ikkunoita auki (Ratu 1225-S). Tehostettua tuuletusta pidetään jopa tehokkaampana kuin ilmanpuhdistinta pölypitoisuuksien ollessa suuria työmaa-alueen ilmassa (Ratu 1225-S). Toisaalta, jos rakennustyömaalla käytetään alipaineistusta pölynhallintamenetelmänä, painesuhteiden hallinta vaikeutuu tehostetun tuuletuksen aikana. Työskentelytilan ilman pölypitoisuutta voidaan vähentää myös käyttämällä tehostettua yleisilmanvaihtoa (Ratu 1225-S). Kuitenkin korjausrakentamisessa harvoin voidaan käyttää saneerattavan rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmää tässä tarkoituksessa järjestelmän likaantumisen takia.

Asikainen ym. (2009) havaitsivat tehostetun tuuletuksen parvekkeen oven kautta vähentävän työskentelyalueen pölypitoisuutta jopa 49 % piikkaustyön aikana. Kuitenkin henkilökohtainen altistuminen kasvoi samanaikaisesti lähes 20 % (Asikainen ym. 2009). Akbar-Khazadeh ym. (2010) mukaan yleinen ilmastointi vaikutti henkilökohtaiseen altistumiseen. Kvartsipölyä oli 66 % vähemmän ja alveolijakeista pölyä 70 % vähemmän ilmanvaihdon ollessa päällä kuin pois päältä (Akbar-Khazadeh ym. 2010). Karjala (2008) on tarkastellut ilmanpuhdistimien puhdistustehoa kolmen eri rakennustyövaiheen aikana. Kaikissa mitatuissa työvaiheissa ilmanpuhdistimien erotusaste oli yli 90 %, kun käytössä oli uudet laitteet ja puhtaat suodattimet (Karjala 2008). Hyvin pölyisissä työvaiheissa ja suurissa tiloissa ilmanpuhdistajat eivät puhdistaneet huoneilmaa riittävästi (Karjala 2008). Tällöin tehostetun tuuletuksen havaittiin olevan tehokkaampi pölypitoisuuden alentaja työmaa-alueella kuin ilmanpuhdistaja (Karjala 2008).

Henkilökohtaisia suojaimia tulee käyttää silloin, kun muiden menetelmien avulla pölypitoisuutta ilmassa ei voida riittävästi vähentää (Ratu 1225-S). Pölyn leviämistä ympäröiviin tiloihin tulee estää osastoimalla pölyävä työvaihe tai saneerattava tila (Ratu 1225-S).

3 TAVOITTEET

Tutkielman tavoitteena oli selvittää saneerauksessa käytössä olevien osastointi- ja alipaineistusmenetelmien toimivuutta pölyhallinnassa. Pölypitoisuus- ja paine-eromittausten avulla pyrittiin selvittämään pölyn leviämistä saneerattavassa tilassa ja sen ympäristössä sekä löytämään syitä pölyn mahdolliseen leviämiseen. Tavoitteena oli myös laatia saatujen tulosten perusteella ohjeita osastoinnin ja alipaineistuksen parantamiseksi.

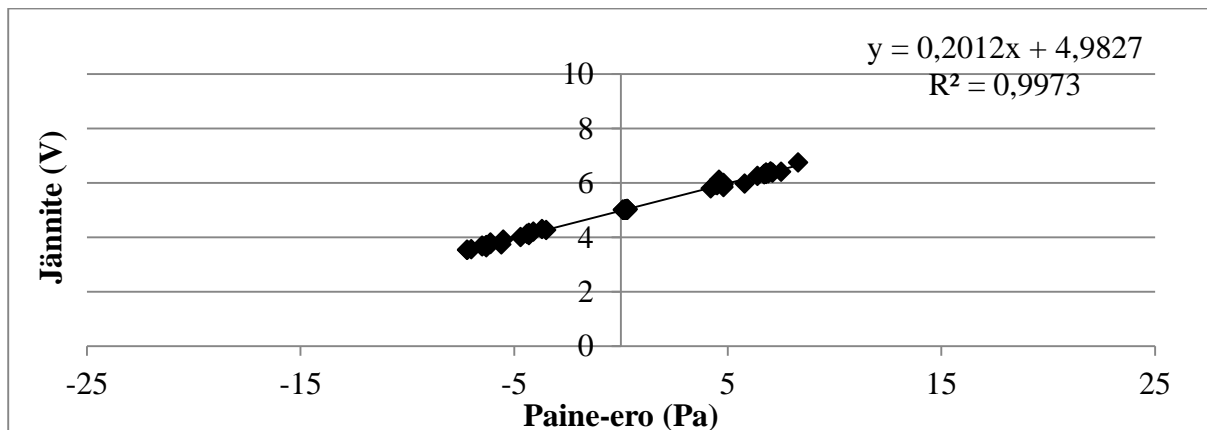
4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 MITTAUSMENETELMÄT

4.1.1 Paine-ero, ilman lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus

Paine-eroa mitattiin saneeratun tilan ja sitä ympäröivän tilan välillä jatkuvatoimisesti Dwyer Magnesense –paine-eroanturilla (mittausvirhe ± 2 %) ja tiedot tallennettiin HOBO U12 –tallentimelle. Pölyisten työvaiheiden aikana tallennusväliksi asennettiin 30 sekuntia tai 1 minuutti. Joissakin kohteissa tehtiin myös pitkäaikaista paine-eroseurantaa, jolloin tallennusväli oli 3 minuuttia muulloin kuin pölyisten työvaiheiden aikana. Tallennetut paine-erotiedot purettiin tietokoneelle HOBOWare-tiedonkäsittelyohjelmalla. Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin Vaisala HMI41 -lämpötila-kosteusmittarilla.

Dwyer Magnesense –paine-eroanturit säädettiin pienimmälle paine-eroalueelle ± 25 Pa. Paine-erotiedot tallentuivat HOBO-tallentimelle jännitteenä (V) siten, että 0 V vastasi paine-eroa -25 Pa ja 10 V paine-eroa +25 Pa. Muunnoskerroimen (V \rightarrow Pa) määrittämiseksi tallentimeen kytketyllä paine-eromittarilla tehtiin 20 min mittaus, jonka aikana kahden tilan välille luotiin erilaisia paine-erotilanteita. Mittauksen aikana paine-eroanturin näytöltä luettiin paine-erolukema (Pa) 10 sekunnin välein. Näytön lukemia verrattiin tallentuneisiin jännitelukemiin (V). Kalibrointi tehtiin mahdollisia läpivientejä varten sekä kupariputken kanssa että ilman putkea. Kuvassa 2 on yhden paine-eromittarin ja tallentimen välinen kalibrointikuvaaja. Kalibrointipäivät olivat 3.5.2011, 12.5.2011 ja 23.5.2011.



Kuva 2. Paine-eromittarin lukeman ja jänniteulostulon välinen kalibrointikuvaaja.

4.1.2 Alipaineistajan tilavuusvirta ja teoreettinen ilmanvaihtokerroin

Alipaineistajien ja kanavapuhaltimien tilavuusvirrat mitattiin monipistemenetelmällä. Pyöreistä puhallinaukoista ilman nopeus mitattiin viidestä pisteestä, joista yksi oli keskellä ja neljä lähempänä reunoja. Neliskulmaisista puhallinaukoista ilman nopeus mitattiin joko yhdeksästä tai kahdestatoista pisteestä, jotka olivat tasaisin välein ilmanottoaukossa. Mitatuista arvoista laskettiin ilman nopeuden keskiarvo. Ilman nopeuden keskiarvon ja mitatun alueen pinta-alan avulla saatiin puhaltimen tilavuusvirta (kaava 1):

$$Q = v * A * 3600, \quad (1)$$

missä

Q = alipaineistajan tilavuusvirta [m^3/h]

v = ilman keskimääräinen virtausnopeus [m/s] monipistemenetelmällä mitattuna

A = otsapinta-ala [m^2].

Mittaukset tehtiin Swema 3000-mittarilla, johon oli liitetty ilman nopeutta mittaava anturi. Nopeusanturin mittaustarkkuudet ovat taulukossa 3. Swema-paine-eroanturin tarkkuus oli $\pm 0,2$ Pa.

Taulukko 3. Swema 3000 -nopeusanturin mittaustarkkuus.

ILMAN VIRTAUSNOPEUSALUE (m/s)	MITTAUSTARKKUUS (m/s)
0,07-0,5	$\pm 0,02$
0,5-3,0	$\pm 0,03$
3,0-12	$\pm 0,04$

Saneeratun alueen teoreettinen ilmanvaihtokerroin kuvaa kyseisillä alipaineistuksella tilan ilman vaihtuvuuden tunnin aikana. Teoreettinen ilmanvaihtokerroin laskettiin kaavan 2 mukaisesti:

$$n = \frac{Q}{V}, \quad (2)$$

missä

n = ilmanvaihtokerroin [$1/h$]

Q = alipaineistajan tilavuusvirta [m^3/h]

V = alipaineistettavan tilan tilavuus [m^3].

Swema-nopeusanturi oli kalibroitu 1.12.2010 ja paine-eroanturi 22.12.2010.

4.1.3 Hiukkasmittaukset

Ilman hiukkaspitoisuutta mitattiin saneeratusta tilasta ja ympäröivästä tilasta TSI DustTrak DRX -pölypitoisuusmittareilla. Osassa mittauksista käytettiin myös TSI DustTrak 8520-hiukkasmittaria. TSI DustTrak DRX on optinen hiukkasmittari, joka voi lukea yhtä aikaa viittä eri hiukkaskokoluokkaa: alle 1 µm, alle 2,5 µm, alle 4 µm, alle 10 µm ja kokonaispöly. TSI DustTrak 8520-hiukkasmittarilla voitiin mitata ainoastaan alle 10 µm hiukkasia. Hiukkaspitoisuudet mitattiin 160 cm korkeudelta Tygon-letkulla (sisähalkaisija 5 mm). Kerrostalokohteessa käytettiin laitteeseen liitettyä 1,5 metrin mittaista kupariputkea (sisähalkaisija 2 mm), koska mittalaitetta ei saneeratun tilan pienuuden vuoksi voitu sijoittaa kyseiseen tilaan, vaan se jouduttiin pitämään tilan ulkopuolella. Tässä tutkielmassa tarkasteltaviksi kokoluokiksi valittiin alle 10 µm (PM₁₀) ja alle 1 µm (PM₁) hiukkasten pitoisuudet. Tutkielman tarkoituksena oli tarkastella hiukkasten kulkeutumista saneeratusta tilasta ympäröivään tilaan. Tuloksia verrattiin Rakentamismääräyskokoelman D2 - ohjearvoon, joka on annettu PM₁₀-hiukkasille. PM₁- ja PM₁₀-hiukkasten pitoisuuksia vertailemalla saatiin tietoa erikokoisten hiukkasten kulkeutumisesta.

TSI DustTrak DRX -hiukkasmittarin optiset mittaustulokset korjattiin vertaamalla optisesti määritettyä hiukkasten massapitoisuutta laitteen gravimetrisen suodattimeen kertyneeseen hiukkasmassaan kaavan 3 mukaisesti:

$$k = \frac{c_g}{c_o}, \quad (3)$$

missä

k = korjauskerroin

c_g = pölypitoisuus gravimetrisesti määritettynä [mg/m³]

c_o = pölypitoisuus optisesti määritettynä [mg/m³]

Punnituille näytteille määritettiin havaitsemisrajat nollasuodattimien (3 kpl) avulla. Havaitsemisrajan alittaneeseen tulokseen ei käytetty korjauskerrointa. Havaitsemisraja määritettiin kaavan 4 mukaisesti:

$$R = \frac{3 \cdot s}{V}, \quad (4)$$

missä

R = näytteen havaitsemisraja [mg/m³]

s = nollasuodattimien massojen keskihajonta [mg]

V = näytteen tilavuus [m³]

Taulukossa 4 on esitetty DustTrak DRX -hiukkasmittarille gravimetrisen suodattimen massan avulla lasketut korjauskertoimet.

Taulukko 4. TSI DustTrak DRX -hiukkasmittarin tuloksille lasketut korjauskertoimet ja sulkujen sisällä korjauskertoimien havaitsemisrajat.

MITTAUSPÄIVÄ(T)	KORJAUSKERROIN	
	SANEERATTU TILA	YMPÄRÖIVÄ TILA
9.12.2010	*	*
10.12.2010	*	*
4.1.2011	alle havaitsemisrajan (1,6)	alle havaitsemisrajan (0,64)
24.2.-8.3.2011	**	**
26.5.-9.6.2011	**	**
16.5.2011	1,2 (0,24)	0,38 (0,08)
16.5.2011	1,2 (0,24)	0,38 (0,08)
17.5.2011	-	0,49 (0,14)
18.5.2011	-	0,61 (0,22)
5.5.2011	1,6 (0,11)	alle havaitsemisrajan (0,12)
6.5.2011	0,67 (0,12)	***
12.7.2011	**	0,78 (0,13)

*) Ei nollasuodattimia

***) Ei suodattimia käytössä

****) Kontaminoitunut suodatin

DustTrak DRX -hiukkasmittareiden kalibrointipäivät olivat 7.9.2010, 22.11.2010, 14.11.2011 ja 3.6.2011.

Ultrapienten hiukkasten (<0,1 µm) pitoisuutta ilmassa mitattiin TSI P-Trak 8525-hiukkaslaskurilla. Näiden mittausten tarkoituksena oli selvittää osastointirakenteissa mahdollisesti olevia hiukkasvuotopaikkoja tarkastelemalla hiukkaslukumäärän vaihtelua tilan eri osissa.

Osastoinnin toimivuutta testattiin kahdessa kohteessa merkkisavun (Dräger Air Current Tube CH 216, ARRF-5311) avulla. Merkkisavua lisättiin osastoinnin sisäpuolelle ja mitattiin DustTrak-laitteilla osastoinnin sisäpuolista ja ulkopuolista hiukkaspitoisuutta ilmassa. Lisäksi merkkisavun kulkeutumisreittejä etsittiin P-Trak-hiukkaslaskurin avulla.

Laskeutuneen pölyn määrää mitattiin saneerattuun tilaan ja sitä ympäröivään tilaan pystytetyiltä keräyslevyiltä (koko 50cm x 50 cm). Keräyslevyjen pinnat pyyhittiin keräyksen alussa. Pölypitoisuus analysoitiin levyiltä otetusta geeliteippinäytteestä (BM Dustlifters) BM Dustdetector-laitteella, jonka toiminta perustuu geeliteippinäytteen läpi kulkevan laser-valon määrän havaitsemiseen (Schneider ym. 1996). Geeliteippien keräystarkkuus oli 87-97 % (Schneider ym. 1996). Jokaiselta keräyslevyltä analysoitiin kaksi geeliteippinäytettä, joiden tuloksista laskettiin keskiarvo. Laskeutuneen pölyn kertymänopeus laskettiin BM Dustdetector -laitteen antaman lukeman (%) ja keräysajan perusteella kaavan 5 mukaisesti:

$$S = \frac{P}{t}, \quad (5)$$

missä

S = laskeutuneen pölyn kertymänopeus [%/h]

P = pölypeitto [%]

t = keräysaika [h]

4.2 KOHDEKUVAUKSET

Tutkielman mittaukset tehtiin neljässä eri kohteessa: sairaala, koulu, tutkimuslaitos ja asuinkerrostalo.

4.2.1 Sairaala

Kohde oli sairaalarakennuksen yhden osaston saneeraustyömaa (255 m²). Työmaata ympäröivät toiminnassa oleva osasto sekä henkilökunnan ja potilaiden käytössä olevat käytävät. Suoraa yhteyttä ulkoilmaan ei saneerausalueelta ollut. Purkujäte kuljetettiin potilaiden ja henkilökunnan käytössä olevia käytäviä pitkin ulos.

Osastointi oli toteutettu käyttämällä osaston paikalleen jääviä seiniä sekä rakentamalla väliaikaisia seiniä vanerista. Työmaalle oli kolme sisäänkäyntiä ympäröivistä tiloista. Saneerausalueella ja ympäröivillä tiloilla oli yhteinen alas laskettu katto, minkä takia osastoinnista oli mahdotonta tehdä tiivistä. Myös ilmanvaihtojärjestelmä oli yhteinen saneerausalueella ja ympäröivällä tilalla, eikä sitä voitu sulkea vaan ilmanvaihtokanavien päät tulpattiin saneeratulta alueelta. Saneeraustyömaan alipaineistamiseksi käytettiin kahta siirreltävää haitariletkullista kanavapuhallinta (teho 190 W), joiden poistoilma johdettiin ulos. Niiden tarkoituksena oli toimia sekä alipaineistajina että pölyn poistajina pölyvässä työvaiheessa. Lisäksi työmaalla oli käytössä kolme ilmanpuhdistinta (teho 385 W).

Pölypitoisuusmittauksia tehtiin kipsikaton ja lyijyseinän purkamisen aikana sekä lattiakaakelien piikkauksen ja seinä- ja lattiahionnan aikana. Pölypitoisuuksia mitattiin pölyvästä työvaiheesta sekä saneeratusta tilasta ulos johtavan oven sisä- ja ulkopuolelta mahdollisuuksien mukaan. Laskeutuneen pölyn määrän mittaamista varten keräyslevyjä sijoitettiin saneerattavaan tilaan kolme, joista yksi pölyvässä työvaiheessa ja saneerattavan tilan ulkopuolelle kolme (kaikkien uloskäyntien viereen). Piikkauksesta muodostuvan pölyn leviämistä mitattiin kohdepoiston ollessa käytössä sekä ilman kohdepoistoa. Taulukossa 5 ovat mittauspäivien tiedot. Paine-eromittauksia tehtiin jatkuvatoimisesti 8.-22.12.2010 ja 28.12.2010 -28.1.2011. Kanavapuhaltimien tilavuusvirrat mitattiin (Swema) ja teoreettinen ilmanvaihtokerroin laskettiin. Mittauspäivien ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin (Vaisala).

Taulukko 5. Sairaalakohteen mitatut työvaiheet ja pölynhallintamenetelmät.

MITTAUS- PÄIVÄ	TYÖVAIHE(ET)	PÖLYNHAL- LINTA	PÖLYPITOISUUS ILMASSA (sisä/ulko)	LASKEUTU- NUT PÖLY
9.12.2010	Kipsikaton purku	Rakennusimuri	X / X	X
10.12.2010	Lyijyseinän purku	Rakennusimuri	X / X	X
14.12.2010	WC-lattiakaake- leiden irrotus piikkaamalla	Kohdepoisto- imuri ja ilman- puhdistin	- / -	X
		Kanavapuhalti- men imuletku 2- 3 m etäisyydellä	- / -	X
4.1.2011	Betonilattian hionta	Rakennusimuri	X / X	X
	Seinän hionta	Kohdepoisto- imuri	X / X	X

4.2.2 Koulu

Kohde oli noin 100-vuotias koulurakennus, jonka eräässä luokkahuoneessa oli aistittu poikkeavaa hajua ja epäilty sitä mikrobiperäiseksi. Luokkahuoneen katossa oli nähtävissä veden aiheuttama vuotojälki, minkä vuoksi myös yläpuolella olevan luokan lattiarakenteet tutkittiin. Tehtyjen selvitysten perusteella yläpuolisessa luokassa vuotanut vesiputki oli aiheuttanut mikrobivaurion myös alapuolisen luokan lattiarakenteisiin. Saneerauksessa molempien luokkien lattiarakenteet ja eristeet uusittiin, ja alemman luokan katon vaurioituneet osat vaihdettiin. Alemman luokan lattiassa puurakenteiden alla tiiliholvauksen pinnalla eristeenä ollut kivihiiplikipinnoite poistettiin lattiarakenteiden purkamisen jälkeen erillisenä työvaiheena.

Luokkahuoneet saneerattiin yksi kerrallaan. Rakenteellisena osastona toimivat huoneen seinät ja sisäänkäyntinä koulun käytävän puolelle rakennettu vanerinen sisääntulo huone, jossa oli kolme muovikalvolla toisistaan erotettua sulkutilaa. Sulkutilat olivat tarpeen saneerauksessa käsiteltävien mikrobivaurioituneiden materiaalien ja kivihiipliin käsittelyssä syntyneiden epäpuhtauksien pääsyn estämiseksi sulkutilojen ulkopuolella olevalle käytävälle, jossa oleskeli oppilaita. Luokkahuoneiden ilmanvaihtokanavat oli tulpattu. Luokassa 1 alipaineistus oli toteutettu kahdella alipaineistajalla (teho 1100 W). Luokassa 2 alipaineistajan teho oli 550 W. Purkujäte siirrettiin suoraan jätelavalle huoneen ikkunan kautta suljetussa kuilussa.

Saneerattavien luokkien ja ympäröivien tilojen välistä paine-eroa mitattiin luokan 1 saneerauksen aikana 24.2.-8.3.2011 ja luokan 2 saneerauksen aikana 26.5., 31.5. ja 1.6.2011 (SwemaAir300+SWA10, kalibroitu 26.8.2010 ja 24.5.2011, VTT). Pölypitoisuudet mitattiin samanaikaisesti luokkahuoneesta ja käytävältä DustTrak DRX-hiukkasmittareilla. Pölypitoisuus- ja paine-eromittaukset teki Jarmo Laamanen (VTT). Laskeutuneen pölyn pitoisuus mitattiin luokan 2 saneerauksen yhteydessä yhdeltä keräyslevyltä saneerausalueella ja kahdelta keräyslevyltä ympäröivästä tilasta. Luokan 2 saneerauksen aikana 26.5.2011 etsittiin sulkutiloista mahdollisia vuotokohtia merkkisavulla ja P-Trak-hiukkasmittarilla. Saneeratun tilan ja ympäröivän tilan (käytävä) ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin luokassa 1 25.2.2011 ja luokassa 2 26.5.2011. Taulukossa 6 on esitetty koulukohteessa tehdyt mittaukset.

Taulukko 6. Koulukohteen mittatut työvaiheet ja pölyhallintamenetelmät.

MITTAUS- PÄIVÄ	TYÖVAIHE(ET)	PÖLYNHAL- LINTA	PÖLYPITOISUUS ILMASSA (sisä/ulko)	LASKEUTU- NUT PÖLY
23.2.- 8.3.2011	Alakaton ja lattian purku, lattiaeristeiden poisto suurtehoimurilla	Alipaineistaja	X / X	-
26.5.- 9.6.2011	Lattian purku, purkujätteen imurointi suurtehoimurilla, putkitöitä	Alipaineistaja	X / X	X *

*) Mittauspäivä 26.5.2011

Pölypitoisuusmittausten lisäksi saneerausalueilta ja niiden ulkopuolelta olevilta käytäviltä otettiin mikrobinäytteitä ilmasta, pinnoilta ja materiaaleista sekä luokasta 1 kivihiilipien poiston aikana PAH-näytteet ilmasta. Tässä työssä käsitellään kuitenkin vain pölymittausten tuloksia.

4.2.3 Tutkimuslaitos

Tutkimuslaitoskohteeseen tehtiin perusteellista sisäilmasaneerausta. Saneeraukseen sisältyi mm. väliseinien ja lattian purkamista sekä rakennuksen alla olevan maa-aineksen (hiekkä) vaihtoa. Lyhytkestoisempia työvaiheita olivat betonin sahaus, hionta ja piikkaus. Osastoivina rakenteina oli käytetty tilan paikalleen jääviä seiniä ja uloskäynnin yhteydessä olevassa porraskäytävässä väliaikaisia rimoista ja muovikalvoista rakennettuja seiniä. Ympäröiviin tiloihin johtavat ovet oli tiivistetty teipeillä. Ulko-ovia pidettiin työpäivän aikana avoinna, joten niihin asennettiin 4.5.2011 muovilamellit saneeratun tilan tiivistämiseksi. Alipaineistus oli toteutettu viidellä paikalleen asennetulla (teho 254 W), ja 1-2 siirrettävällä alipaineistajalla. Taulukossa 7 on esitetty tutkimuslaitoskohteessa tehdyt mittaukset.

Taulukko 7. Tutkimuslaitoskohteen mitatut työvaiheet ja pölyhallintamenetelmät.

MITTAUS- PÄIVÄ	TYÖVAIHE(ET)	PÖLYNHAL- LINTA	PÖLYPITOISUUS ILMASSA (sisä/ulko)	LASKEUTU- NUT PÖLY
5.5.2011	Betonilaattojen ja rakennusjätteiden kuljetus ulos	5 alipaineistajaa	X / X	X
6.5.2011		5 alipaineistajaa	X / X	X
12.7.2011	Betonin piikkaus/ hionta	7 alipaineistajaa	X / X	X
15.7.2011	Savukoe	7 alipaineistajaa	X / X	-

4.2.4 Kerrostalo

Neljäs kohde oli nelikerroksinen kerrostalo, johon tehtiin putkisaneerausta. Osastointia työmaalla käytetään normaalisti vain seinälaattojen irrotusvaiheessa, jolloin se toteutetaan alipaineistajalla ja yläreunastaan kiinnitetyllä muovikalvolla. Korvausilma tilaan tulee muovikalvon kiinnityskohdan yläpuolelle jätetystä noin 10 cm raosta sekä muovikalvon reunoilta. Muissa työvaiheissa ei käytetä osastointia, koska työkoneisiin liitettyjen kohdepoistolaitteiden katsotaan olevan riittäviä pölynhallintaan.

Mittauksia tehtiin viidessä pienessä kylpyhuoneessa neljänä päivänä. Taulukossa 8 on tarkempia tietoja mitatuista tiloista, työvaiheista ja käytetyistä osastointitavoista.

Taulukko 8. Kerrostalokohteen mittatut työvaiheet ja pölynhallintamenetelmät.

MITTAUS- PÄIVÄ	TYÖVAI- HE(ET)	PÖLYNHAL- LINTA	PÖLYPITOISUUS ILMASSA (sisä/ulko)	LASKEUTU- NUT PÖLY
13.5.2011	Savukoe	Muovikalvo + alipaineistaja	X / X	-
16.5.2011	Betonilattian piikkaus	-	X / X	X
16.5.2011		Muovikalvo + alipaineistaja	X / X	X
17.5.2011	Betonilattian	-	- / X	X
18.5.2011	sahaus	Pölynhallintaovi	- / X	X

Ensimmäisenä mittauspäivänä testattiin työmaalla käytettävän osastoinnin toimivuutta savukokeella. Ilman hiukkaspitoisuutta mitattiin saneeratusta tilasta ja ympäröivästä tilasta kahdella DustTrak DRX -mittarilla, joihin oli liitetty 1,5 m kupariputket. Lisäksi tilojen välistä paine-eroa mitattiin jatkuvatoimisesti 1 min tallennusvälillä (Dwyer Magnesense/HOBO U12). Mittausten aikana merkkisavua syötettiin osastoituun ja alipaineistettuun saneerattuun tilaan kahdessa lyhyessä jaksossa, joiden välissä pitoisuuksien annettiin tasaantua. Osastoinnin vuotokohtia etsittiin P-Trak-hiukkasmittarilla. Osastointi oli tehty oviaukon yläosaan kiinnitetyllä muovikalvolla ja alipaineistajalla (teho 270 W).

Osastoinnin merkitystä varsinaisissa työvaiheissa mitattiin kahdesta työvaiheesta kahdella osastointiratkaisulla. Mitatut työvaiheet olivat viemäriurien piikkaus ja betonilattian sahaus veden kanssa. Viemäriurien piikkauksessa syntyvän pölyn leviämistä mitattiin saneeratusta tilasta ja sitä ympäröivästä tilasta ilman osastointia (KH1), mikä oli työmaan normaalitilanne

kyseisessä työvaiheessa. Samaa työvaihetta mitattiin osastoidusta ja alipaineistetusta saneeratusta tilasta ja sitä ympäröivästä tilasta (KH2). Osastointi ja alipaineistus oli toteutettu samoin kuin työmaalla yleensä seinälaattojen irrotuksessa (muovikalvo + alipaineistaja). Tässä työvaiheessa paine-ero mitattiin Swema-mittarilla. Molemmissa tilanteissa laskeutuvan pölyn pitoisuus mitattiin kolmelta (3) keräyslevyltä ympäröivästä tilasta.

Betonilattian sahauksen synnyttämän pölyn (myös paljon vesiaerosolia mukana) pitoisuutta mitattiin ilman osastointia (KH3). Hiukkasmittauksessa käytössä oli vain yksi mittalaite, joten mittaus tehtiin aivan oviaukolta. Toisessa mittaustilanteessa (KH4) saneerattava tila oli osastoitu pölynhallintaovella, jossa osastoivana elementtinä oli muovilamellit ja puhaltimena alipaineistaja (teho 340 W). Paine-ero tilojen välillä mitattiin jatkuvatoimisesti (Dwyer/HOBO). Molemmissa tilanteissa laskeutuvan pölyn pitoisuus mitattiin kolmelta (3) keräyslevyltä ympäröivästä tilasta.

5 TULOKSET

Hiukkasmittarin toiminnassa esiintyi häiriöitä useita kertoja mittausten aikana. Sairaalakohteessa laite ei saanut virtaa verkkovirtaan kytkennästä huolimatta. Samassa kohteessa laite ei pystynyt tekemään nollauskalibrointia loppuun optisen kammion likaantumisen takia. Sama ongelma toistui myös tutkimuslaitoskohteen ja kerrostalokohteen mittauksissa. Näiden ongelmien takia kohteessa 1 pölypitoisuusmittauksia ilmasta ei voitu tehdä WC-lattiakaakeleiden poiston yhteydessä. Tutkimuslaitoskohteessa nollauskalibrointiongelman ilmettyä laite korvattiin DustTrak 8520-hiukkasmittarilla, jolla voitiin mitata ainoastaan yhtä hiukkaskokoluokkaa. Kerrostalokohteessa lattiansahaustyövaiheen mittaukset tehtiin yhdellä DustTrak DRX-laitteella.

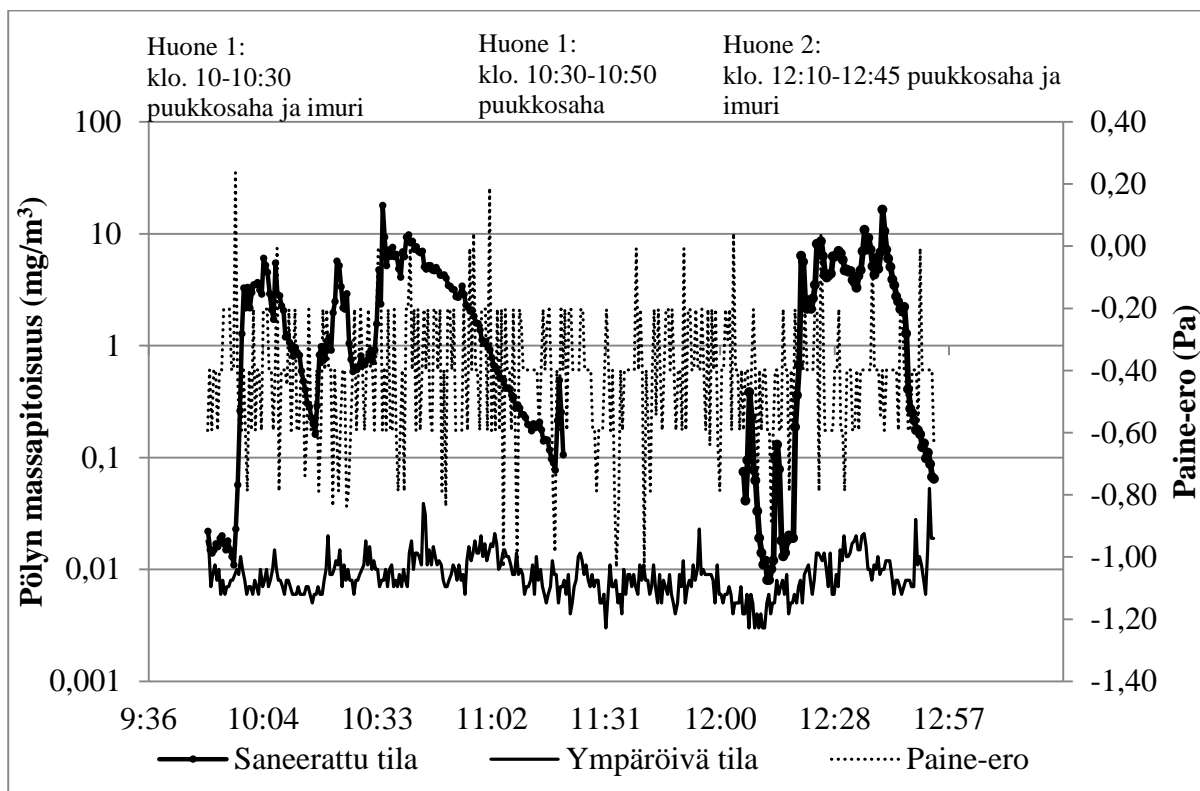
5.1 SAIRAALAKOHDE

Sairaalakohteen ilmanvaihtokertoimeksi saatiin 3 l/h. Pitkäaikaisessa paine-eroseurannassa havaittiin lievää alipaineisuutta. Taulukossa 9 on esitetty pitkäaikaisen paine-eroseurannan tuloksia.

Taulukko 9. Alipaineistuksen onnistuminen pitkäaikaisessa seurannassa.

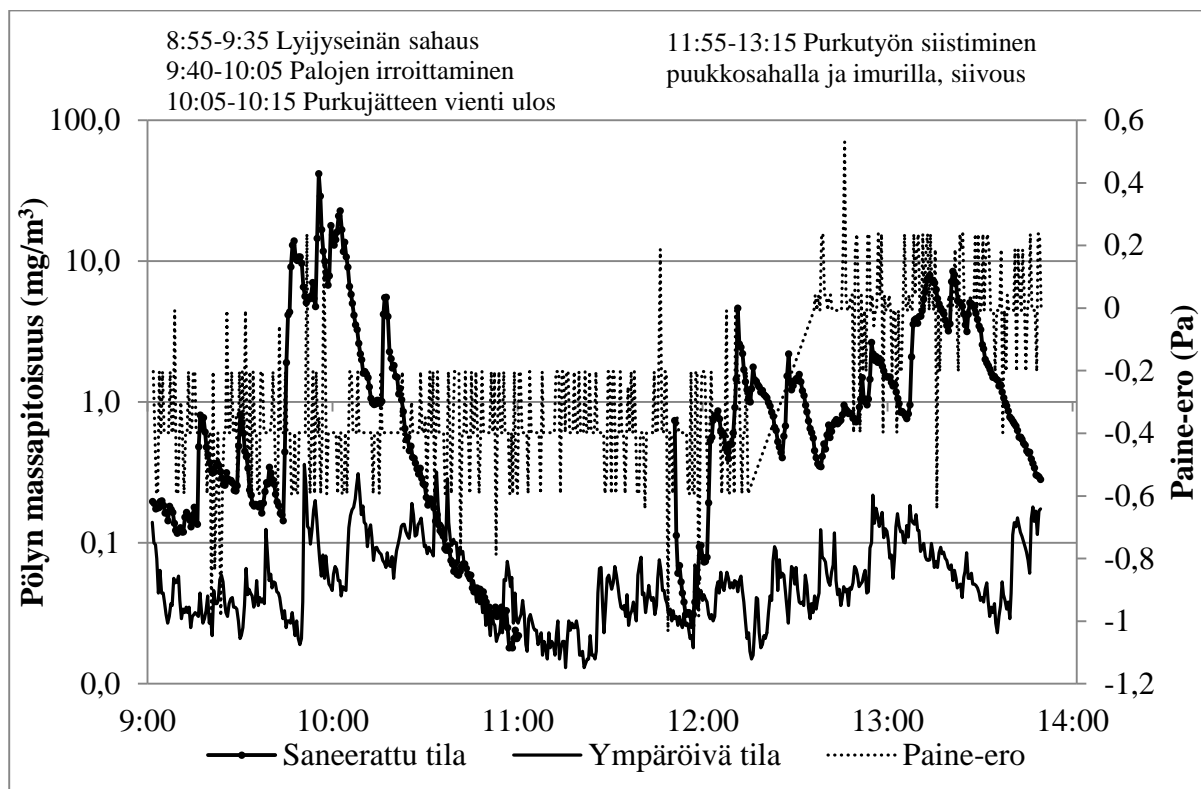
MITTAUSJAKSO	YLIPAINEISENA (%)	PAINE-ERO KA (Pa)
8.-22.12.2010	33	-0,05
28.12.2010-28.1.2011	12	-0,4

Ensimmäinen tutkittu pölyävä työvaihe oli kipsikaton purkaminen. Saneeratun tilan ja ympäröivän tilan ilman hiukkaspitoisuudet ja niiden välinen paine-ero ajan funktiona on esitetty kuvassa 3. Saneeratun tilan mittauspiste oli sijoitettu pölyävän työvaiheen välittömään läheisyyteen. Kipsikattoa purettiin kahdessa eri huoneessa, jolloin saneeratusta tilasta tehtiin kaksi perättäistä mittausta. Testauksen aikana toinen rakennustyöntekijä sahasi katon kipsilevyä ja toinen piti imurin suulaketta mahdollisimman lähellä sahattavaa kohtaa.



Kuva 3. PM₁₀-hiukkaspitoisuudet ja paine-ero kipsikaton purkamisen aikana.

Toinen sairaalakohteessa mitattu työvaihe oli lyijyseinän purkaminen, joka tehtiin sahaamalla seinä ensin suuriksi paloiksi, jotka irrotettiin paikaltaan kaatamalla. Tämän työvaiheen PM₁₀-pitoisuudet ja paine-erot ovat kuvassa 4. Seinän palojen irrottamisen aikana ilmassa oli huomattavasti enemmän pölyä kuin sitä edeltäneen sahaamisen aikana. Seinärakenteen palojen kaataminen nostatti lattialle laskeutuneen pölyn takaisin ilmaan. Myös purkutyön siistimisessä pölypitoisuudet olivat korkeita.

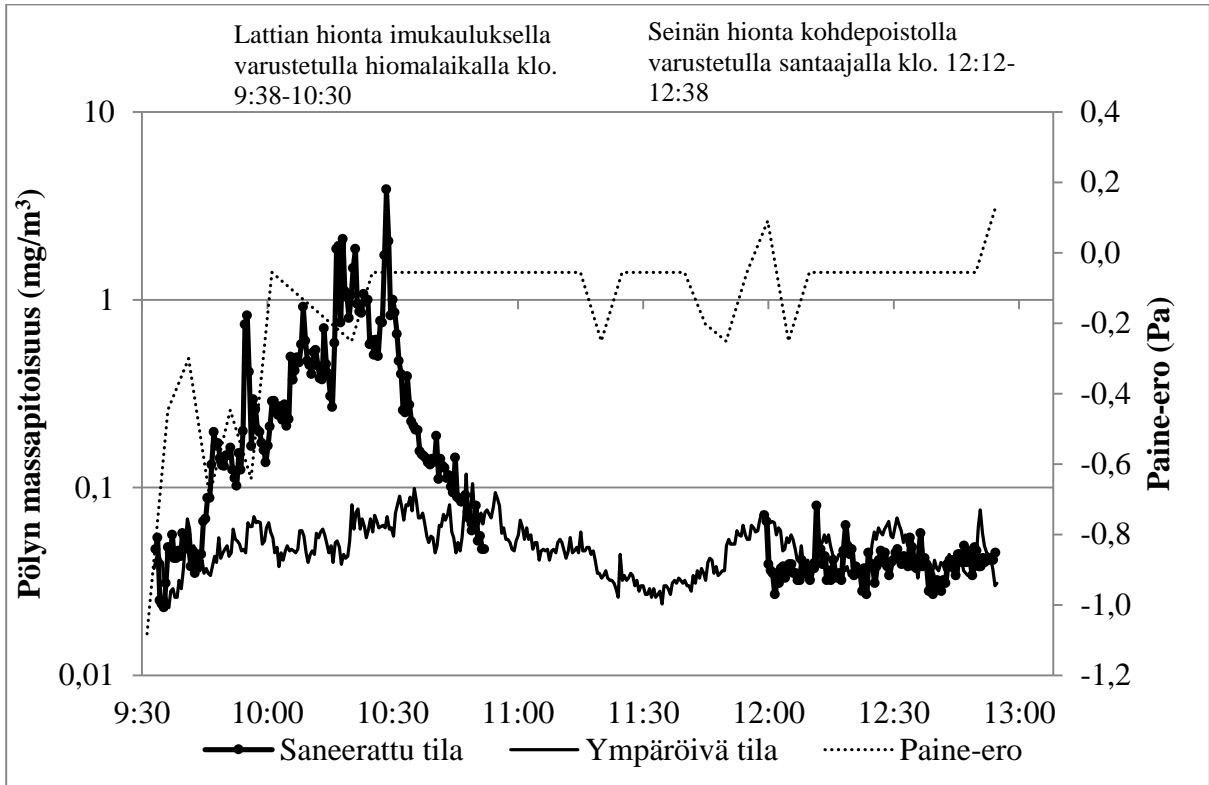


Kuva 4. PM₁₀-hiukkaspitoisuudet ja paine-ero lyijyseinän purkamisen aikana.

Lyijyseinän kaatamisen jälkeen purkujätteet kuljetettiin ulkona sijaitsevalle jätelavalle ympäröivän tilan kautta kannettomalla kärryllä. Pölypitoisuus kohosi jätteiden viennin aikana ympäröivässä tilassa. Myös iltapäivällä tapahtuneen purkualan siistimisen aikana ympäröivän tilan pölypitoisuus oli hieman korkeampi kuin sitä edeltäneen lounastauon aikana. Samanaikaisesti paine-ero oli lähellä nollaa ja iltapäivällä jopa ylipaineen puolella.

Liitteen 2 kuvassa 1 on PM₁-hiukkasten prosentiosuus PM₁₀-hiukkasista lyijyseinän purkamisen aikana. Tuloksista huomataan, että sekä saneeratussa tilassa että ympäröivässä tilassa noin 30 % PM₁₀-hiukkasista oli PM₁-kokoluokan hiukkasia. Ympäröivässä tilassa oli ajoittain hieman suurempi osuus PM₁-hiukkasista kuin saneeratussa tilassa.

Kolmantena mitattavana työvaiheena sairaalakohteessa oli hiontatyöt. Aamupäivällä betonilattiaa hiottiin kohdepoistolla varustetulla hiomalaikalla, ja iltapäivällä vaneriseinää hiottiin kohdepoistolla varustetulla santaajalla. Kuvassa 5 on esitetty hiontatöiden aikana tehtyjen mittausten tulokset.



Kuva 5. PM₁₀-hiukkaspitoisuudet ja paine-ero hiontatöiden aikana.

Hiontatöiden aikana mitattujen PM₁-hiukkasten osuus PM₁₀-hiukkasista on esitetty liitteessä 2 (kuva 2). Saneeratussa tilassa PM₁-hiukkasia oli 30-40 % kaikista alle 10 µm hiukkasista, kun taas ympäröivässä tilassa vastaava luku oli 40-80 %.

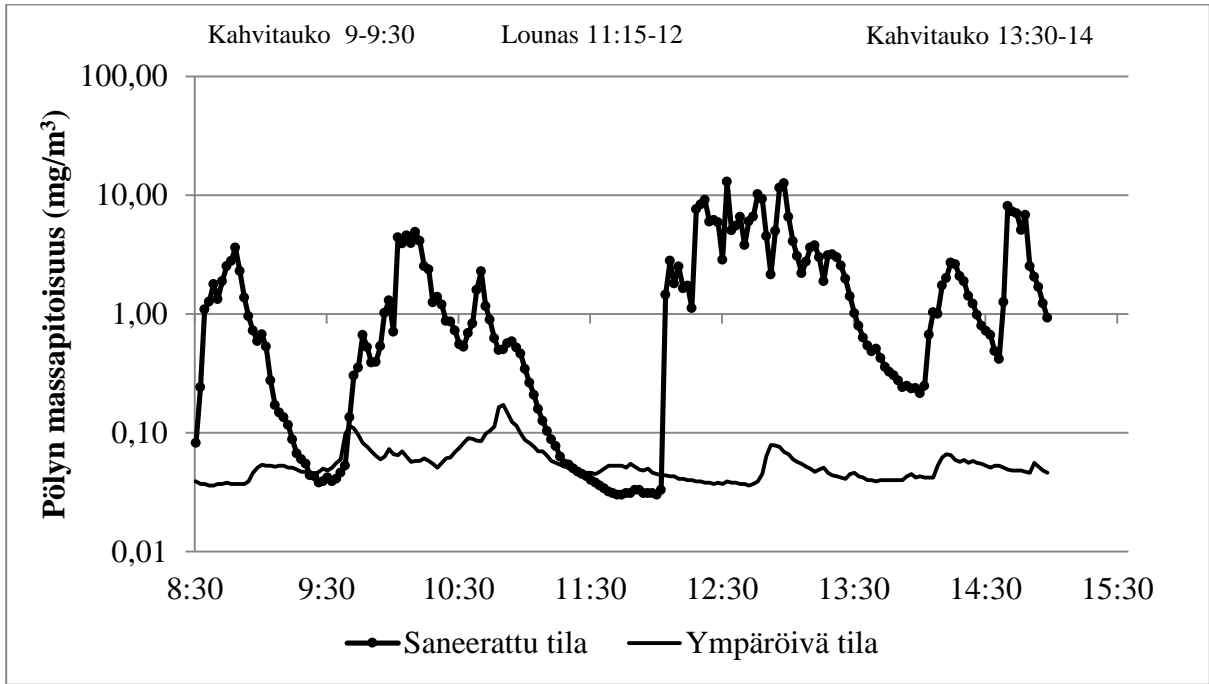
Taulukossa 10 on sairaalakohteen laskeutuneen pölyn mittausten tulokset kaikista työvaiheista. Mittauspiste S1 oli saneerausalueen pääoven sisäpuolella ja U1 pääoven ulkopuolella kaikissa mitatuissa työvaiheissa. Mittauspiste U2 oli ympäröivässä tilassa saneeraustilaan johtavan oven vieressä ja mittauspiste U3 oli saneeraustilan vieressä olevalla osastolla, saneeraustilaan johtavan oven vieressä. Mittauspisteiden U2 ja U3 vieressä olevia saneerausalueelle johtavia ovia käytettiin vähemmän kuin pääovea. Kipsikaton purkamisen aikana mittauspiste S2 oli osastolle johtavan oven sisäpuolella ja S3 työvaiheen välittömässä läheisyydessä huoneessa 2. Huoneen 1 keräyslevyltä ei voitu ottaa näytettä. Lyijyseinän purkamisen aikana mittauspiste S2 oli työvaiheen välittömässä läheisyydessä ja S3 oli osastolle johtavan oven sisäpuolella. WC-lattiakaakelien purkamisen aikana mittauspiste S2 oli työvaiheen läheisyydessä ja S3 oli kauempana samalla käytävällä. Lattian hionnan aikana mittauspiste S2 oli työvaiheen vieressä ja S3 viereisessä huoneessa. Seinän hionnan aikana mittauspiste S4 oli työvaiheen vieressä ja S5 viereisessä huoneessa.

Taulukko 10. Laskeutuneen pölyn kertymänopeudet.

TYÖVAIHE	MITTAUS-PISTE	KERÄYS-AIKA (h)	KERTYMÄNOPEUS (%/h)	PAINE-ERO KA (Pa)
Kipsikaton purku	S1	3,9	0,2	-0,4
	S2	1,5	3,9	
	S3	3,4	3,0	
	U1-U3	2,9	0,4	
Lyijyseinän purku	S1	4,6	0,6	-0,3
	S2	5,6	2,8	
	S3	4,7	0,5	
	U1 -U3	27,1	0,1	
WC-lattia-kaakelien purku	S1	5,1	0,9	0,1
	S2	4,9	3,3	
	S3	3,9	2,5	
	U1-U3	5,5	0,2	
Hiontatyöt	S1	5,1	0,7	-0,2
	S2	1,3	3,8	
	S3	1,3	1,4	
	S4	1,4	1,2	
	S5	1,8	2,0	
	U1-U3	5,8	0,4	

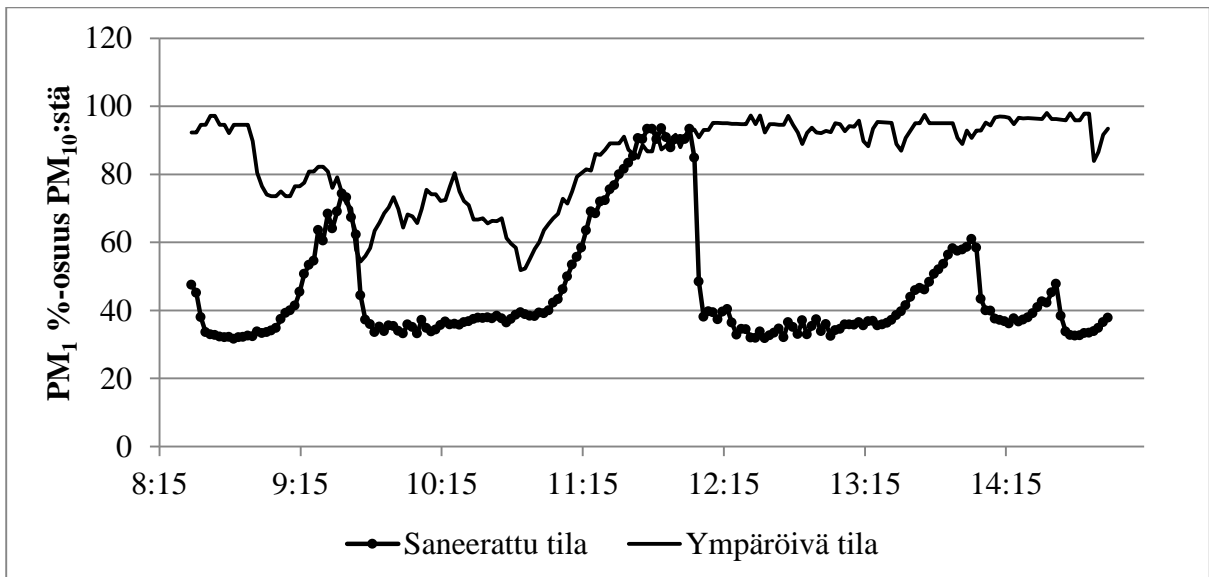
5.2 KOULU

Koulukohteessa mittauksia tehtiin kahdessa eri luokkahuoneessa kahtena päivänä. Molemmista luokkahuoneissa oli samanlainen kolmen sulkutilan sisäänkäynti, mutta erilaiset alipaineistajat ja painesuhteet. Luokassa 1 teoreettinen ilmanvaihtokerroin oli 11 1/h ja luokassa 2 kerroin oli 2 1/h. Kuvassa 6 on ensimmäisen mittauspäivän (25.2.2011) pölypitoisuustulokset saneeratusta tilasta ja ympäröivästä tilasta, joka tässä kohteessa oli koulun käytävä.



Kuva 6. PM₁₀-hiukkasten pitoisuudet saneeratussa tilassa ja sen ympärillä lattian purun aikana 25.2.2011. Paine-ero oli koko mittauksen ajan suurempi kuin -43 Pa.

Kuvassa 7 on PM₁-hiukkasten osuus PM₁₀-hiukkasista koulukohteen ensimmäisen luokkahuoneen mittauksissa.



Kuva 7. PM₁-hiukkasten prosentiosuus PM₁₀-hiukkasista koulukohteessa lattian purun aikana.

Laskeutuneen pölyn kertymänopeutta mitattiin ainoastaan toisen luokkahuoneen mittausten yhteydessä. Tulokset ovat taulukossa 11. Mittauspiste S1 oli luokkahuoneen sisällä ja pisteet U1 ja U2 olivat ympäröivässä tilassa. Laskeutuneen pölyn näytteiden keräysaika oli noin klo. 7:30-14:50, kun paine-eroa mitattiin vain viiden tunnin ajan (klo 8:51-13:51).

Taulukko 11. Laskeutuvan pölyn kertymänopeudet.

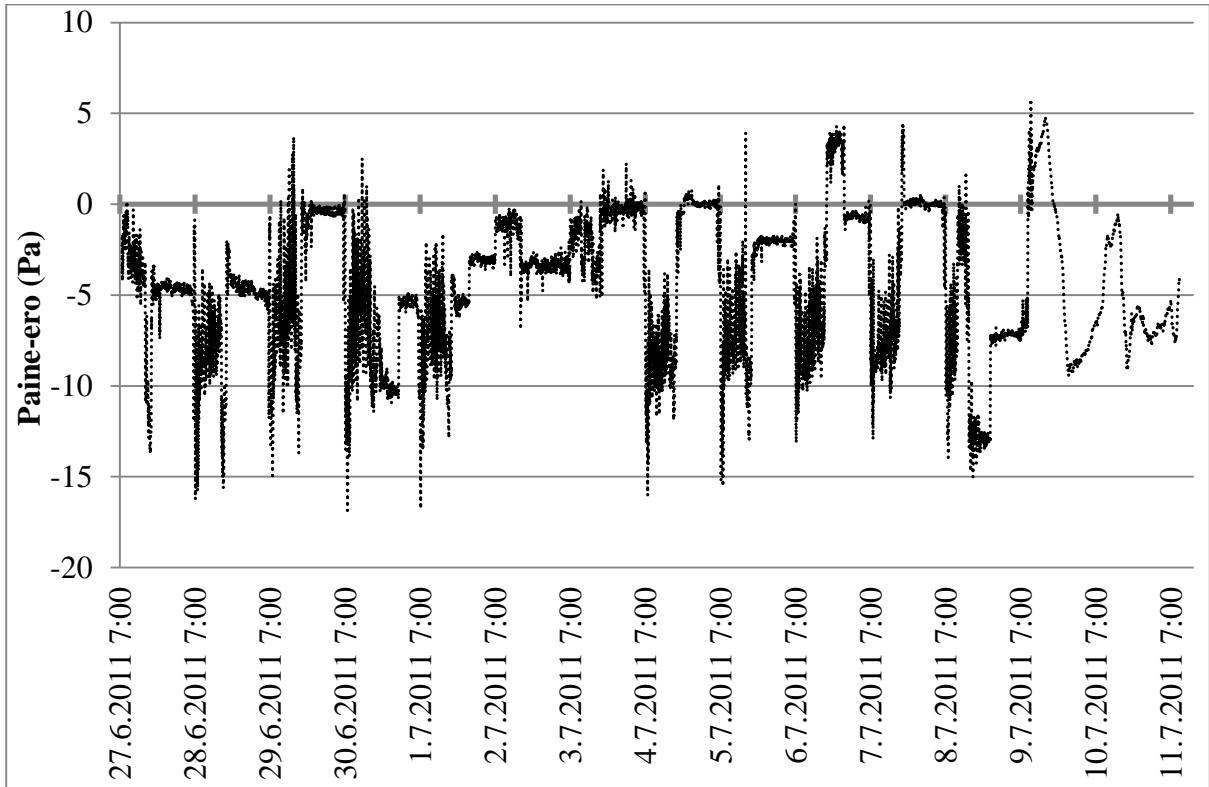
TYÖVAIHE	MITTAUS-PISTE	KERÄYS-AIKA (h)	KERTYMÄ-NOPEUS (%/h)	PAINE-ERO KA (Pa)
Lattian purku	S1	7,0	4,5	-20
	U1	7,3	0,3	
	U2	7,4	0,1	

5.3 TUTKIMUSLAITOS

Tutkimuslaitoskohteen alipaineistajien tilavuusvirrat mitattiin kahtena päivänä, joista ensimmäisenä (19.4.2011) teoreettinen ilmanvaihtokerroin oli 1 1/h ja toisena päivänä (11.7.2011) kerroin oli 3 1/h. Kohteessa tehtiin pitkäaikaista paine-eroseurantaa, jonka tulokset ovat taulukossa 12. Paine-erojen vuorokausirytmissä oli paljon vaihtelua (kuva 8).

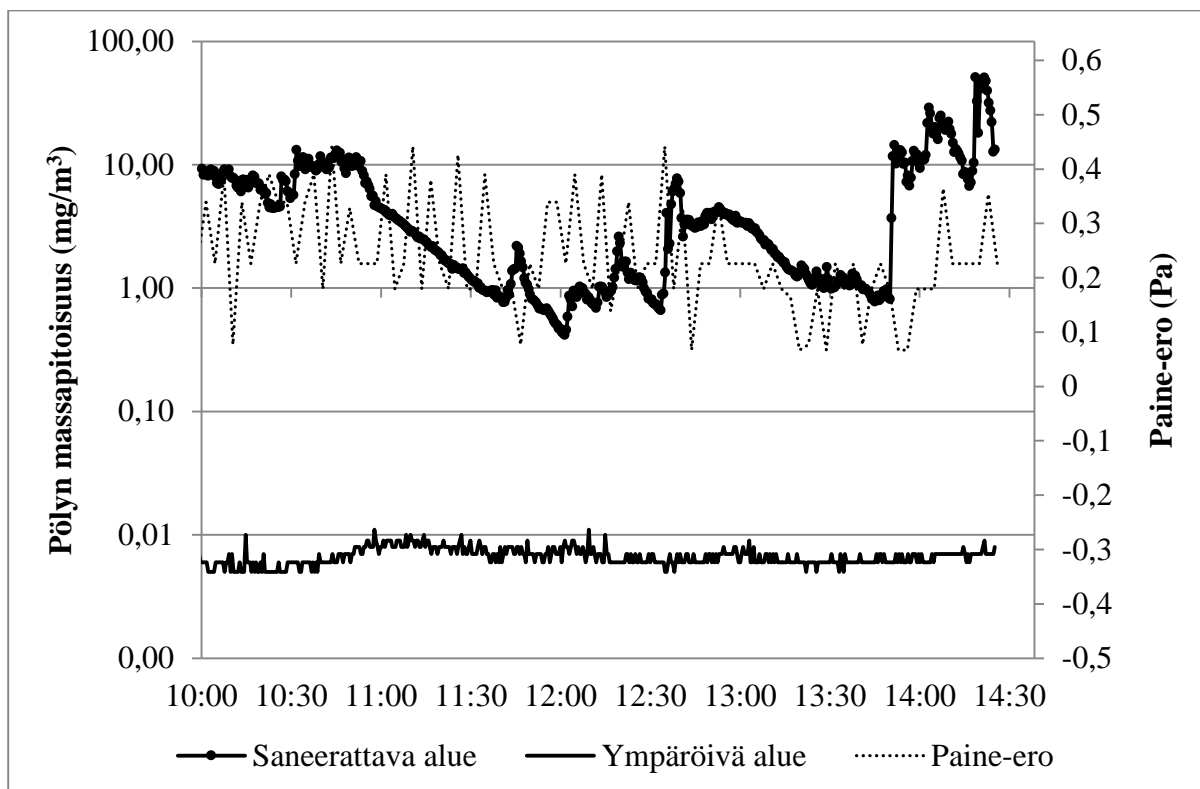
Taulukko 12. Alipaineistuksen onnistuminen pitkäaikaisessa seurannassa.

MITTAUSJAKSO	YLIPAINEISENA (%)	PAINE-ERO KA (Pa)
4.5.-12.5.2011	55	-2
23.5.-1.6.2011	5	-5
6.6.-23.6.2011	3	-7
27.6.-11.7.2011	10	-4
11.7.-15.7.2011 (mittari 1)	44	-2
11.7.-15.7.2011 (mittari 2)	54	-2



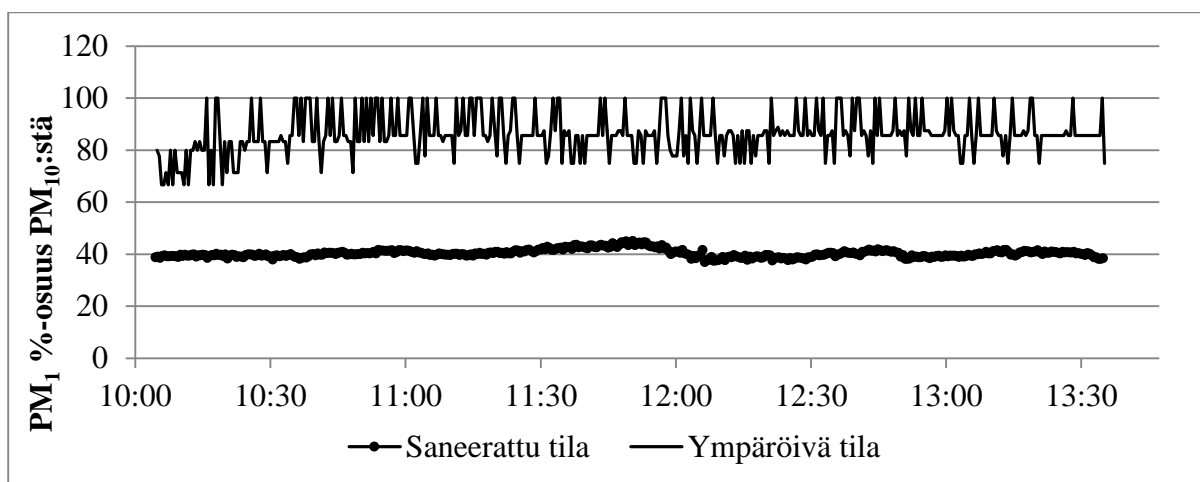
Kuva 8. Paine-eroseuranta 27.6.-11.7.2011 tutkimuslaitoskohteessa.

Tutkimuslaitoskohteen ensimmäisen mittauspäivän PM₁₀-hiukkaspitoisuudet ja paine-ero on esitetty kuvassa 9. Saneeratussa tilassa pölypitoisuudet olivat varsin korkeita, mutta laskivat taukojen aikana. Ympäröivässä tilassa pölypitoisuudet pysyivät alhaisina, alle 0,01 mg/m³, saneerausalueen pitoisuusvaihteluista huolimatta koko mittauspäivän ajan. Paine-ero oli koko mittauspäivän ajan ylipaineen puolella. Toisen mittauspäivän (6.5.2011) tulokset olivat samansuuntaisia ja ne ovat liitteessä 3.



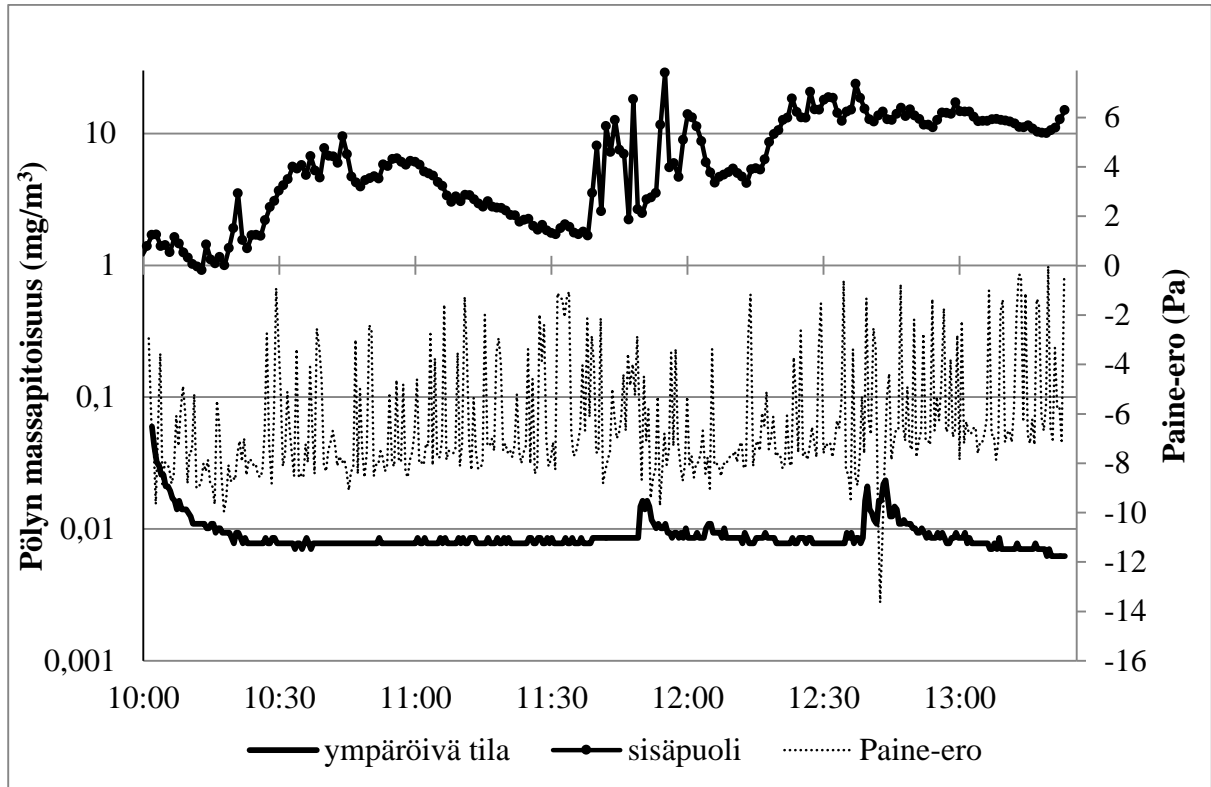
Kuva 9. PM₁₀-hiukkasten pitoisuudet saneeratussa tilassa ja sitä ympäröivässä tilassa 5.5.2011.

Kuvassa 10 on tutkimuslaitoskohteen ensimmäisen mittauspäivän PM₁-hiukkasten osuus PM₁₀-hiukkasista. Saneeratun tilan PM₁₀-hiukkasista 30-40 % oli halkaisijaltaan alle 1 µm, kun taas ympäröivässä tilassa niiden osuus oli 70-100 %.



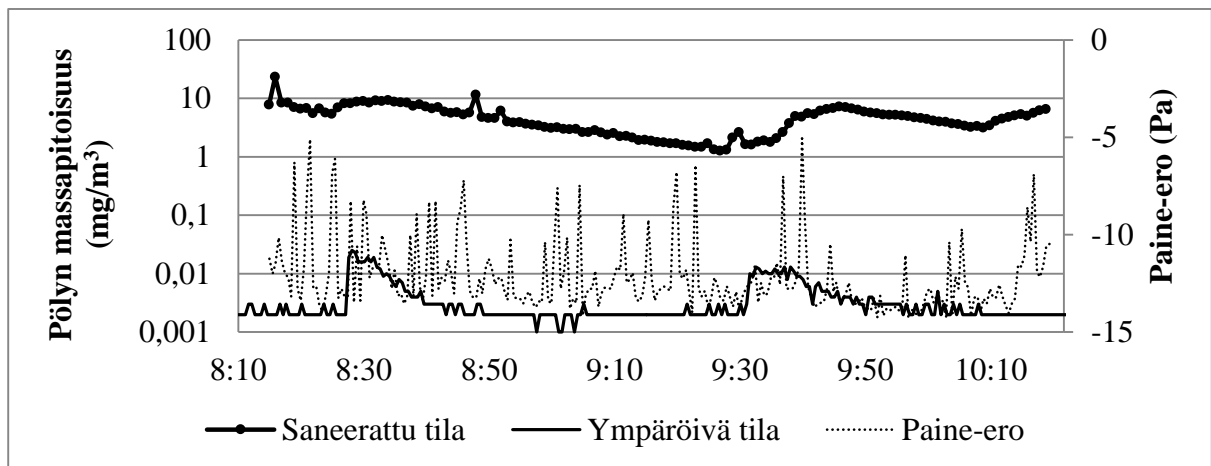
Kuva 10. PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista 5.5.2011.

Tutkimuslaitoskohteessa 12.7.2011 tehtyjen mittausten tulokset ovat kuvassa 11.



Kuva 11. Mittauspäivän 12.7.2011 PM_{10} -hiukkaspitoisuudet saneerausalueelta ja sen ulkopuolelta.

Osastointia testattiin tutkimuslaitoskohteessa 15.7.2011 merkkisavun avulla, ja nämä tulokset on esitetty kuvassa 12. Merkki savua lisättiin kahdessa erässä, jotka erottuivat pitoisuuskuvajasta.



Kuva 12. Osastoinnin testaus merkkisavun avulla.

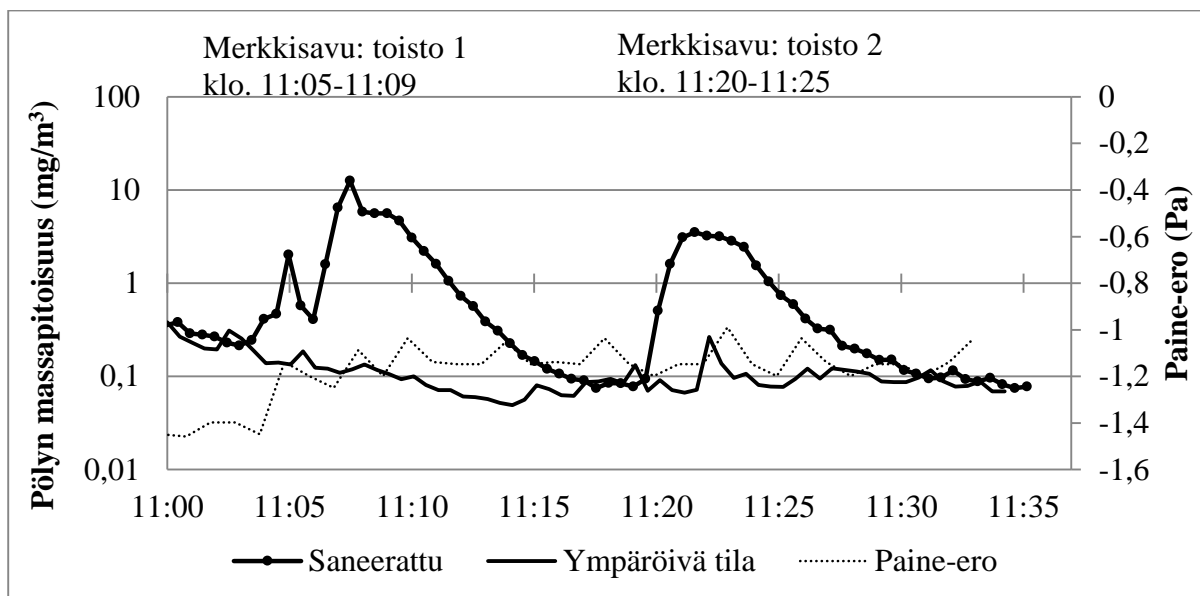
Taulukossa 13 on esitetty tutkimuslaitoskohteen laskeutuneen pölyn mittaustulokset. Mittauspiste S1 mittauspäivinä 5.-6.5.2011 oli lähellä pölyävää työtä ja S2 oli lähellä saneerauksen ajaksi käytöstä poistettua ovea, johon myös paine-eromittari oli asennettu. 12.7.2011 tehdyissä mittauksissa piste S1 oli lähellä paine-eromittaria ja S2 lähellä pölyävää työtä. Kaikkina mittauspäivinä piste U1 oli ympäröivässä tilassa lähellä paine-eromittaria.

Taulukko 13. Laskeutuneen pölyn kertymänopeudet.

TYÖVAIHE	MITTAUS-PISTE	KERÄYS-AIKA (h)	KERTYMÄ-NOPEUS (%/h)	PAINE-EROKA (Pa)
Betonilaattojen ja rakennusjätteiden kuljetus ulos (5.5.2011)	S1	6,3	2,1	0,3
	S2	6,5	0,4	
	U1	6,5	alle määrittäysrajan	
Betonilaattojen ja rakennusjätteiden kuljetus ulos (6.5.2011)	S1	4,2	2,5	0,2
	S2	4,1	0,7	
	U1	29,8	0,02	
Betonin piikkausta ja hiontaa (12.7.2011)	S1	4,1	1,4	-6,5
	S2	3,9	5,8	
	U1	4,3	0,6	

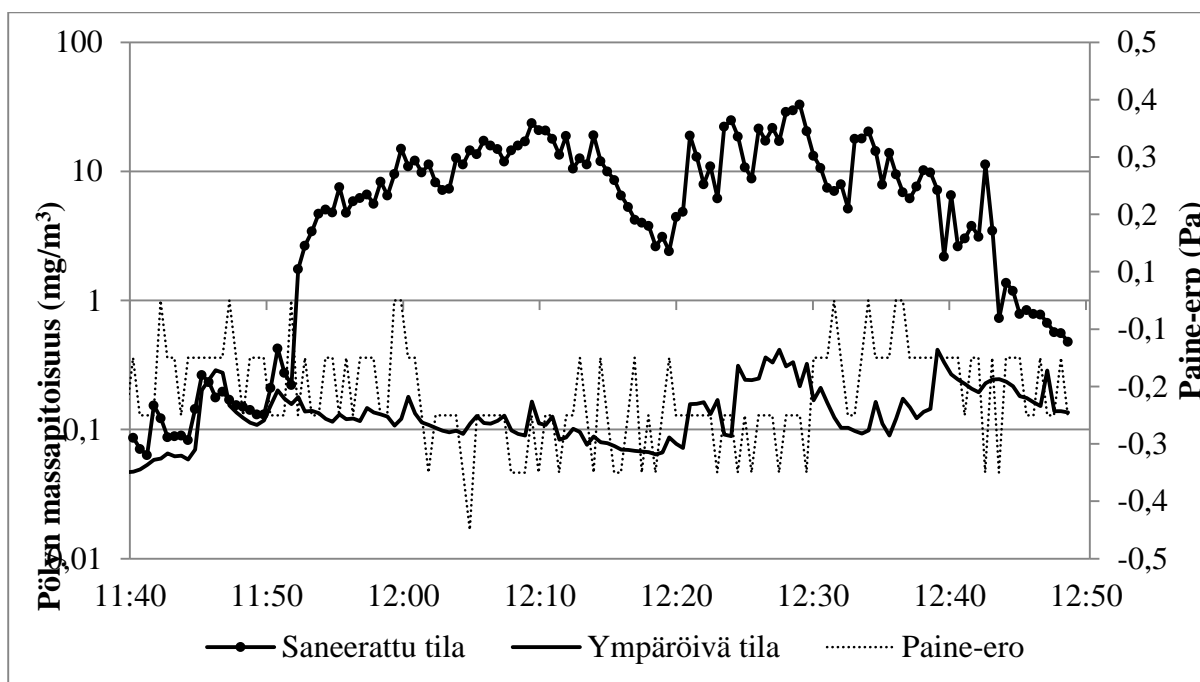
5.4 KERROSTALO

Osastoinnin testauksessa merkkisavukokeessa alipaineistajan virtaus oli 124,9 l/s (5-pistemenetelmä) ja halkaisija 160 cm, jolloin teoreettiseksi ilmanvaihtokertoimeksi saatiin 64 l/h. Merkkisavua lisättiin saneeratun tilan ilmaan kahden toiston aikana. Ilman hiukkaspitoisuudet ja paine-ero on esitetty kuvassa 13. Merkkisavun lisääminen näkyi selvästi saneeratun tilan pitoisuuksissa, mutta ympäröivän tilan tuloksiin sillä ei näyttänyt olevan vaikutusta. Paine-ero oli mittauksen aikana alle -1 Pa.



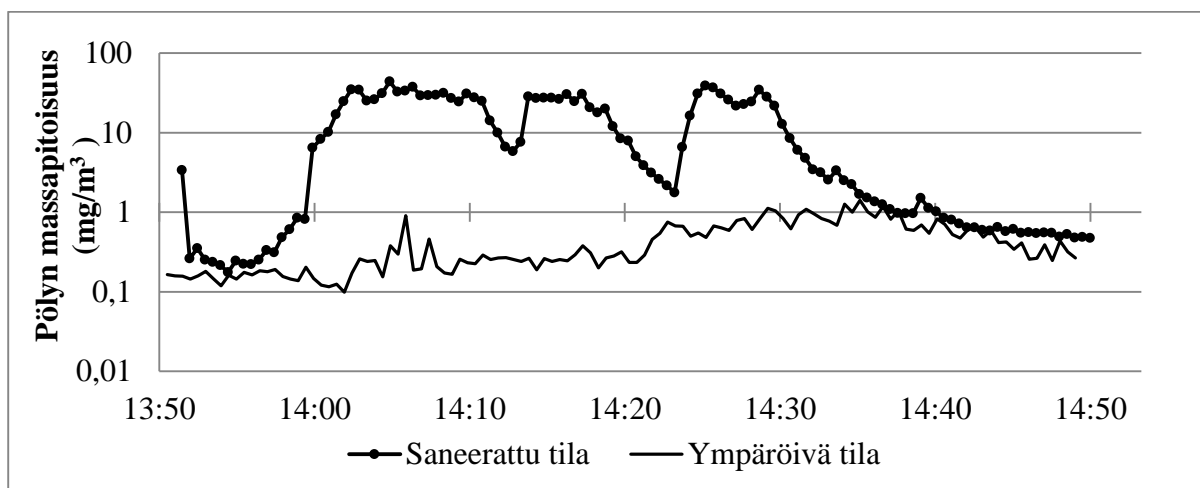
Kuva 13. Osastoinnin testaus 13.5.2011 merkkisavun avulla.

Kerrostalokohteessa mittauksia tehtiin kahdesta eri työvaiheesta. Ensimmäinen työvaihe oli viemäriurien piikkaus. Osastoidun kylpyhuoneen pölypitoisuuksien mittaustulokset ja paine-ero ovat kuvassa 14. Liitteessä 4 (kuva 1) on esitetty PM_{10} -hiukkasten osuus PM_{10} -hiukkasista.



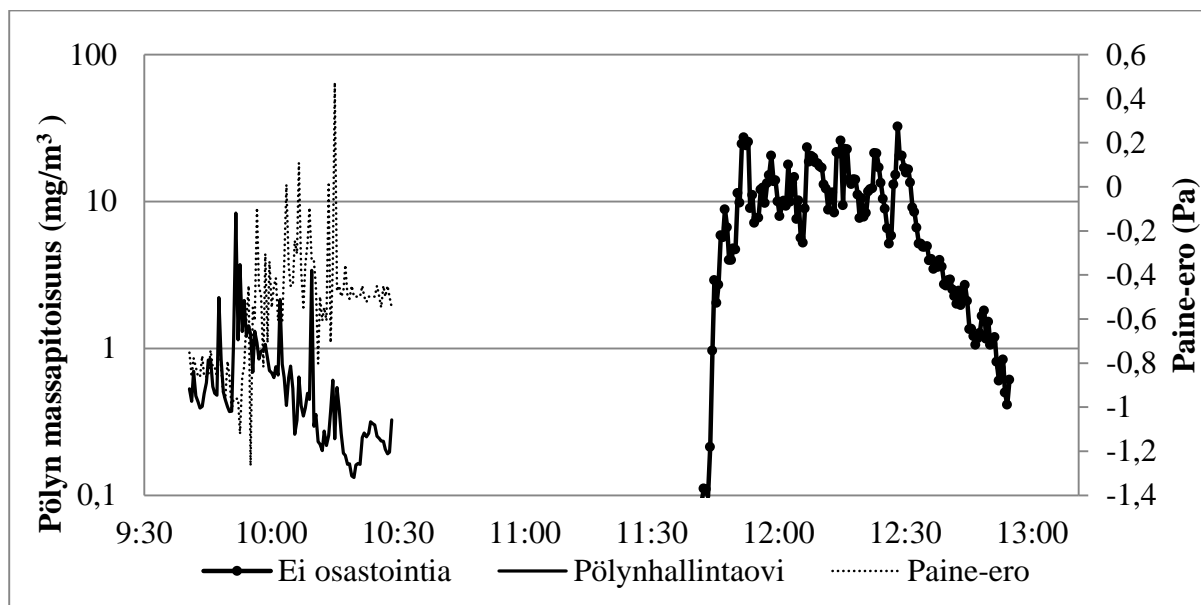
Kuva 14. PM_{10} -hiukkaspitoisuudet ja paine-ero kylpyhuoneen viemäriurien piikkauksen aikana 16.5.2011 osastoinnin ollessa käytössä.

Viemäriurien piikkausta mitattiin myös toisessa kylpyhuoneessa, jota ei osastoitu. Tämän mittauksen pölypitoisuudet ovat kuvassa 15. Työvaiheen aikana saneeratun tilan pölypitoisuus nousi jopa 50 mg/m^3 ja ympäröivän tilan pölypitoisuus 5 mg/m^3 . Saneeratussa tilassa noin 60 % PM_{10} -hiukkasista oli alle $1 \mu\text{m}$ kokoisia, kun taas ympäröivässä tilassa sama luku oli hieman yli 30 % (liite 4 kuva 2).



Kuva 15. PM_{10} -hiukkaspitoisuudet kylpyhuoneen viemäriurien piikkauksen aikana 16.5.2011 ilman osastointia.

Toisena mitattavana työvaiheena kerrostalokohteessa oli betonilattian sahaus. Kuvassa 16 on betonilattian sahausajan aikana mitatut pölypitoisuudet ja paine-ero osastoidun tilan osalta. Pölynhallintaoven käytön aikana pölypitoisuudet olivat noin kymmenesosan luokkaa ilman pölynhallintaovea tehdyn työn aikana mitattuun pölypitoisuuteen nähden. Molempien työvaiheiden aikana PM_{10} -hiukkasista noin 35 % oli PM_1 -hiukkasia (liite 5).



Kuva 16. PM₁₀-hiukkaspitoisuudet 17.-18.5.2011 betonilattian sahauksen aikana.

Taulukossa 14 on esitetty kerrostalokohteen laskeutuneen pölyn kertymänopeudet työvaiheittain. Viemäriurien piikkauksen aikana molemmissa mittauksissa mittauspiste U2 oli saneeratun tilan oven edustalla ja U1 ja U3 kauempana samassa huoneistossa. Lattian sahauksen aikana tehdyissä mittauksissa mittauspiste U3 oli saneeratun tilan oven ulkopuolella, U1 ja U2 olivat kauempana samassa huoneistossa.

Taulukko 14. Laskeutuneen pölyn kertymänopeudet.

TYÖVAIHE	MITTAUS-PISTE	KERÄYS-AIKA (h)	KERTYMÄ-NOPEUS (%/h)	PAINE-EROKA (Pa)
Viemäriurien piikkaus (ei osastointia)	U1	1,2	3,4	-
	U2	1,3	13,1	
	U3	1,4	5,0	
Viemäriurien piikkaus (osastointi)	U1	4	0,6	-0,1
	U2	3,7	4,9	
	U3	3,5	3,0	
Lattian sahaus (ilman osastointia)	U1	1,7	6,5	-
	U2	1,3	15,6	
	U3	1,4	20,1	
Lattian sahaus (Pölynhallintaovi)	U1	1,0	1,5	-0,6
	U2	1,0	2,8	
	U3	1,2	0,5	

6 TULOSTEN TARKASTELU

TSI DustTrak DRX -hiukkasmittarin korjauskertoimet olivat vaihtelevia ja niiden vaikutus tuloksiin oli varsin suuri. Kaikki korjauskertoimet vahtelivat 0,38 ja 1,6 välillä. Korjauskerrointen perusteella voidaan sanoa optisten hiukkasmittausten tuloksien olevan ilman korjauskertoimen huomioon ottamista varsin epäluotettavia. Tämän takia optisen mittauksen tulos tulisivin korjata suodatinnäytteestä määritetyllä tuloksella. Toisaalta korjauskerrointen määrittämisessä suodatimien vakiointiolosuhteiden vaihtelu voi olla virhelähteenä punnituksessa.

Sairaalakohteessa kipsikaton purkamisen aikana saneeratun tilan pölypitoisuudet kohosivat selvästi pölyävän työvaiheen aikana ja laskivat työvaiheen loputtua. Saneeratussa tilassa huoneen 1 pölypitoisuus oli alhaisempi käytettäessä puukkosahan rinnalla imuria kuin työskentelyssä pelkällä puukkosahalla. Huoneen 2 kipsikaton purkamisen aikana pölypitoisuus työvaiheen lähellä oli korkeampi kuin huoneessa 1. Saneerattua tilaa ympäröivän tilan pölypitoisuudet vaihtelivat 0,005-0,05 mg/m³ välillä ja kohosivat hieman pölyisen työvaiheen aikana, mutta pysyivät kuitenkin alle Rakentamismääräyskokoelman ohjearvon 0,05 mg/m³ (RakMK D2). Paine-ero oli mittauspäivänä lievästi alipaineinen, noin -0,4 Pa. Mittaustulosten perusteella -0,4 Pa alipaine oli riittävä, sillä ympäröivän tilan pölypitoisuus pysyi annettujen raja-arvojen alapuolella. Saneeratun tilan pitoisuudet olivat noin 100-kertaisia ympäröivän tilan pitoisuuksiin nähden. Laskeutuneen pölyn kertymänopeus oli suurin työvaiheen välittömässä läheisyydessä ja viereisessä saneerausalueen sisäpuolella olevassa tilassa.

Sairaalakohteessa lyijyseinän sahaaminen tuotti ilmaan pölyä alle 1 mg/m³, kun taas seinän kaatamisen aikana saneeratun tilan pölypitoisuudet olivat noin 10 mg/m³. Samanaikaisesti myös ympäröivän tilan pölypitoisuudet nousivat jopa 0,5 mg/m³ ohjearvon ollessa 0,05 mg/m³. Aamupäivän mittausten aikana paine-ero oli noin -0,4 Pa, mikä ei tässä tapauksessa ollut riittävä, sillä ympäröivän tilan pitoisuudet ylittivät annetut ohjearvot. Ympäröivän tilan ilman pölypitoisuudet olivat korkeita myös purkujätteen kuljetuksen aikana, vaikka saneeratussa tilassa pölypitoisuudet laskivat nopeasti. Koko työpäivän ajan ympäröivän tilan pölypitoisuudet olivat pääasiassa yli annetun ohjearvon. Pölypitoisuudet kohosivat molemmissa tiloissa purkutyön siistimisen aikana iltapäivällä, jolloin paine-ero oli ajoittain

jopa ylipaineen puolella. Pölyävän työvaiheen aikana saneeratussa tilassa pölypitoisuus oli 100-kertainen ympäröivään tilaan nähden. PM_1 -hiukkasten osuus PM_{10} -hiukkasista oli saneeratussa tilassa noin 30 % ja ympäröivässä tilassa 30-40 % ja tauon aikana jopa 50 %. Tämä tarkoittaa, että ympäröivässä tilassa ilmassa olevista hiukkasista oli hieman suurempi osa pieniä kuin saneeratussa tilassa. Tauon aikana pienten hiukkasten osuus kasvoi, sillä pienet hiukkaset lejuvat ilmassa suuria hiukkasia pidempään. Luonnollisesti laskeutuneen pölyn kertymänopeus oli suurin työvaiheen välittömässä läheisyydessä. Wc-lattiakaakeleiden piikkauksen aikana laskeutuvan pölyn kertymänopeus oli työvaiheen vieressä yli 3 %/h ja hieman kauempana samassa tilassa 2,5 %/h. Ympäröivässä tilassa laskeutuvan pölyn kertymänopeus vaihteli 0,1 ja 0,4 %/h välillä kaikkien sairaalakohteessa mitattujen työvaiheiden aikana.

Lattian hionta sairaalakohteessa tuotti huomattavasti enemmän pölyä saneeratun tilan ilmaan kuin seinän hionta. Molemmissa hiontalaitteissa käytettiin kohdepoistolaitetta. Lattian hionnan aikana saneeratun tilan pölypitoisuudet olivat 0,1-5 mg/m^3 ja ne olivat noin kymmenkertaisia ympäröivän tilan pitoisuuksiin nähden. Asikaisen ym. (2009) mittaama PM_{10} -hiukkasten pitoisuus lattiatasoitteen hionnan aikana oli keskimäärin 1,1 mg/m^3 ja enimmillään 11,4 mg/m^3 , kun hiomalaitteeseen liitetyn kohdepoistoimurin pölypussi oli täynnä. Tässä tutkimuksessa pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa Asikaisen ym. (2009) tulosten kanssa.

Sairaalakohteessa seinän hionnan aikana pölypitoisuudet olivat 0,05-0,08 mg/m^3 sekä saneeratussa että ympäröivässä tilassa. Paine-ero oli koko mittauspäivän ajan lähellä nollaa, kuitenkin alipaineen puolella. Heikko alipaine ei estänyt pölyä leviämästä ympäröivään tilaan, sillä ympäröivän tilan pölypitoisuus oli lähes koko mittausajan yli annetun 0,05 mg/m^3 ohjearvon. PM_1 -hiukkasten osuus PM_{10} -hiukkasista oli saneeratussa tilassa noin 30-40 % ja ympäröivässä tilassa 40-60 % ja tauon aikana osuus kohosi yli 70 %. Ympäröivässä tilassa pienten hiukkasten osuus oli siis suurempi kuin saneeratussa tilassa. Laskeutuneen pölyn kertymänopeus oli pölyävän työvaiheen läheisyydessä 2-4 %/h ja ympäröivässä tilassa alle 1 %/h kaikissa työvaiheissa.

Koulukohteessa työvaiheiden aikana pölypitoisuudet saneeratussa tilassa nousivat jopa 5-10 mg/m^3 , mutta laskivat nopeasti taukojen aikana. Ympäröivän tilan pölypitoisuudet ylittivät

annetun ohjearvon $0,05 \text{ mg/m}^3$ lähes koko mittauksen ajan. Tulosten perusteella ympäröivään tilaan levisi pölyä työvaiheiden aikana suuresta paine-erosta (vähintään -43 Pa) huolimatta. Pitoisuuskuvaajan perusteella ympäröivän tilan pitoisuudet kohosivat pölyävän työvaiheen jälkeen jopa tunnin viiveellä. Suuren paine-eron, kolmivaiheisen sulkuutilan ja pitkän viiveen perusteella onkin epätodennäköistä, että pöly olisi levinnyt suoraan saneeratusta tilasta. Ympäröivässä tilassa havaittu pöly voi olla peräisin ulkoilmasta tai muusta ulkopuolisesta lähteestä. Saneeratun tilan pölypitoisuudet olivat 10-100-kertaisia ympäröivän tilan pitoisuuksiin nähden. Saneeratun tilan PM_{10} -hiukkasista 30-40% oli alle $1 \mu\text{m}$ hiukkasia, mutta taukojen aikana PM_1 -hiukkasten osuus kohosi selvästi, mikä johtuu suurten hiukkasten laskeutumisesta pinnoille työskentelyn loputtua. Ympäröivässä tilassa puolestaan suurten hiukkasten osuus kasvoi aamupäivän työvaiheiden aikana, mutta lounastauon jälkeen PM_1 -hiukkasten osuus oli noin 90 %. Laskeutuneen pölyn kertymänopeus oli saneeratussa tilassa $4,5 \text{ \%}/\text{h}$ ja ympäröivässä tilassa alle $0,3 \text{ \%}/\text{h}$ paine-eron ollessa keskimäärin -20 Pa .

Tutkimuslaitoskohteen saneeratun tilan pitoisuudet olivat 5.5.-6.5.2011 ja 12.7.2011 tehdyissä mittauksissa työvaiheiden aikana korkeita. Ympäröivässä tilassa pölypitoisuustaso oli kuitenkin kaikkina mittauspäivinä alhainen, alle $0,01 \text{ mg/m}^3$ (ohjearvo $0,05 \text{ mg/m}^3$). Vaikka mittauspäivinä 5.5.-6.5.2011 saneerattu tila oli ylipaineinen, ympäröivän tila pölypitoisuudet olivat selvästi alle raja-arvon. Mittauspäivän 12.7.2011 ympäröivän tilan pitoisuuksissa oli kaksi korkeamman pitoisuuden piikkiä. Havaittu pöly saattoi olla peräisin myös ulkopuolisesta lähteestä. Paine-ero oli keskimäärin $-6,5 \text{ Pa}$. Saneeratun tilan pölypitoisuus oli jopa 100-1000-kertainen ympäröivän tilan pitoisuuksiin nähden. Mittauspäivinä 5.5.-6.5.2011 saneeratussa tilassa PM_{10} -hiukkasista noin 30 % oli alle $1 \mu\text{m}$ hiukkasia, mutta ympäröivässä tilassa PM_1 -hiukkasten osuus oli jopa 70-100 %. Saneeratun tilan hiukkasten kokosuhde oli aiempien mittausten kaltainen. Lähes kaikki ympäröivän tilan hiukkasista oli pieniä alle $1 \mu\text{m}$ hiukkasia. Mittauspäivän 12.7.2011 tuloksista ei voitu tehdä kokoluokkatarkastelua. Kaikkina mittauspäivinä laskeutuneen pölyn kertymänopeus oli varsin korkea työvaiheen läheisyydessä, mutta laskeutunutta pölyä ei juuri levinnyt saneeratun tilan toiseen päähän. Ympäröivässä tilassa laskeutuneen pölyn kertymänopeus oli enimmillään $0,6 \text{ \%}/\text{h}$. Osastoinnin testauksen aikana ympäröivän tilan kuvaajasta merkkisavun lisäyksen kaksi toistoa erottuivat terävästi, vaikka pitoisuus ei ollutkaan kovin suuri. Saneeratussa tilassa piikit olivat paljon loivempia, mikä voi johtua pitoisuuden

nopeasta laimenemisesta avarasta tilasta johtuen. Paine-ero vaihteli -6 ja -14 Pa välillä testauksen aikana.

Kerrostalokohteessa osastoinnin testauksessa merkkisavun avulla havaittiin käytössä oleva osastointimenetelmä toimivaksi. Paine-ero oli noin -1 Pa. Merkkisavun lisäyksien aikana ympäröivän tilan ilman hiukkaspitoisuuksissa ei havaittu selviä muutoksia. Kylpyhuoneen viemäriurien piikkauksen aikana ilman osastointia saneeratun tilan pitoisuus oli noin 50 mg/m^3 ja osastoinnin ollessa käytössä pitoisuus vaihteli 5 mg/m^3 ja 40 mg/m^3 välillä. Asikainen ym. (2009) saivat samansuuntaisia tuloksia piikkauksen aikana tehdyistä mittauksista. Heidän mittaamansa pitoisuudet olivat ilman tehostettua tuuletusta keskimäärin $2,8 \text{ mg/m}^3$ ja enimmillään $10,8 \text{ mg/m}^3$ ja tehostettua tuuletusta käyttäen keskimäärin $1,4 \text{ mg/m}^3$ ja enimmillään $4,7 \text{ mg/m}^3$ (Asikainen ym. 2009). Osastoinnin suuri ilmanvaihtokerroin 43 1/h laski saneeratun alueen pölypitoisuutta piikkauksen aikana ja toimi näin ilmanpuhdistajan tavoin. Ympäröivän tilan pölypitoisuudet kohosivat ilman osastointia jopa 1 mg/m^3 , ja osastoinnin ollessa käytössä ympäröivän tilan pitoisuus vaihteli $0,08 \text{ mg/m}^3$ ja $0,5 \text{ mg/m}^3$ välillä. Paine-ero oli noin -0,2 Pa. Tulosten perusteella osastointi ja alipaineistus eivät olleet riittäviä. Tosin ympäröivä tila ei ollut saneerauksen aikana asuinkäytössä, mutta siellä työskenteli muita töitä tekeviä rakennustyöntekijöitä. Ympäröivässä tilassa PM_{1-} hiukkasten osuus PM_{10} -hiukkasista oli molemmissa mittauksissa noin 30 %. Saneeratussa tilassa vastaava luku oli osastoinnin ollessa käytössä noin 60 % ja ilman osastointia noin 50 %. Piikkauksessa muodostuvan pölyn hiukkaskoko oli pienempää kuin muissa mittauksissa, koska PM_{10} -hiukkasista yli puolet oli PM_{1-} hiukkasia, kun vastaava luku muissa mittauksissa oli 30-40 %. Laskeutuneen pölyn kertymänopeus oli saneeratun tilan oven ulkopuolella ilman osastointia 13 %/h ja osastoinnin ollessa käytössä 5 %/h. Kauempana ympäröivässä tilassa laskeutuneen pölyn kertymänopeus oli ilman osastointia 3-5 %/h ja osastoinnin ollessa käytössä 1-3 %/h.

Betonilattian sahauksen aikana kerrostalokohteessa osastointimenetelmänä käytettiin pölynhallintaovea, jonka lisäksi sahassa käytettiin vesivoitelua. Työvaiheen aikana ilman osastointia pölypitoisuus oli noin $10\text{-}15 \text{ mg/m}^3$ saneeratun tilan oviaukon ulkopuolelta mitattuna. Pölynhallintaoven ollessa käytössä vastaavasta kohdasta mitattu pölypitoisuus vaihteli $0,5 \text{ mg/m}^3$ ja 5 mg/m^3 välillä. Paine-ero oli noin -0,5 Pa. Pölynhallintaoven käytön aikana pölypitoisuus ympäröivässä tilassa oli noin 1/10 ilman pölynhallintaovea mitattuun

pitoisuuteen verrattuna. Molemmissa mittauksissa PM_{1-} hiukkasten osuus PM_{10} -hiukkasista oli noin 30-35 %. Laskeutuneen pölyn kertymänopeus ilman osastointia oli 16-20 %/h lähellä saneerattua tilaa ja kauempana 7 %/h. Osastoinnin ollessa käytössä kertymänopeus oli 0,5-3 %/h eri puolilla ympäröivää tilaa. Pölyhallintaovi vähensi selvästi laskeutuneen pölyn määrää saneerattujen huoneistojen muissa tiloissa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkielman tavoitteena oli selvittää saneerauksessa käytössä olevien osastointi- ja alipaineistusmenetelmien toimivuutta pölyhallinnassa. Kolmessa kohteessa neljästä käytössä olleet osastointimenetelmät eivät estäneet rakennuspölyn leviämistä saneeratulta alueelta ympäröivään tilaan, ja ympäröivän tilan pölypitoisuudet ylittivät raja-arvot. Koulukohteen ympäröivän tilan korkea pölypitoisuus saattoi johtua saneeratun tilan liian suuresta alipaineesta, jolloin myös ympäröivä tila alipaineistui. Ympäröivän tilan suuri alipaine on voinut johtaa esimerkiksi hiukkasten irtoamiseen rakenteista tai niiden siirtymiseen ulkoilmasta. Tutkimuslaitoskohteessa sen sijaan ympäröivän tilan pölypitoisuus pysyi raja-arvojen alapuolella kaikissa mittauksissa, vaikka saneerattu tila oli ajoittain ylipaineinen.

Alipaineen ylläpitäminen työskentelyn aikana havaittiin ongelmaksi. Näiden tulosten perusteella havaittiin osastoinnin tiiviyden olevan erityisen tärkeää alipaineen ylläpitämiseksi ja pölyn leviämisen estämiseksi, mutta riittävän alipaineen suuruutta ei kuitenkaan voitu arvioida. Riittävän alipaineen arvioimiseksi tarvitaan lisää tutkimusta.

LÄHTEET

Akbar-Khanzadeh F., Milz S.A., Wagner C.D., Bisesi M.S., Ames A.L., Khuder S., Susi P. ja Akbar-Khanzadeh M. 2010. Effectiveness of Dust Control Methods for Crystalline Silica and Respirable Suspended Particulate Matter Exposure During Manual Concrete Surface Grinding. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 7: 700-711.

Akbar-Khanzadeh F., Milz S., Ames A., Susi P.P., Bisesi M., Khuder S.A. ja Akbar-Khanzadeh M. 2007. Crystalline Silica Dust and Respirable Particulate Matter During Indoor Concrete Grinding – Wet Grinding and Ventilated Grinding Compared with Uncontrolled Conventional Grinding. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 4: 770-779.

Andersson T. 2004. Rakennussiivous – Työn aikainen siivous ja loppusiivous osana rakentamisen puhtauden hallintaa. *Suomen Siivousteknisen liiton julkaisu* 2:10. Mikkeli.

Asikainen V., Damsten H., Ihalainen M., Kalliokoski P., Karjala M-M., Korpi A., Kurnitski J., Kuuspallo K., Naarala J., Palonen J., Pasanen P. ja Soininen V. 2009. Rakennuspölylle altistumisen vähentäminen uudisrakentamisessa. *Kuopion yliopiston ympäristötieteen laitoksen monistesarja* 3/2009.

Carlo R.V., Sheehy J., Feng H.A. ja Sieber W.K. 2010. Laboratory Evaluation to Reduce Respirable Crystalline Silica Dust When Cutting Concrete Roofing Tiles Using a Masonry Saw. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 7: 245-251.

CEN. 1993. Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles. *Eurooppalainen standardi* EN 481.

Croteau G.A., Flanagan M.E., Camp J.E. ja Seixas N.S. 2004. The Efficacy of Local Exhaust Ventilation for Controlling Dust Exposures During Concrete Surface Grinding. *The Annals of Occupational Hygiene* 48, nro 6, 509-518.

Echt A. ja Shulman S. 2002. In-Depth Survey Report of Control of Respirable Dust and Crystalline Silica from Grinding Concrete. NIOSH, Report No EPHB 247-21.

Echt A., Sieber W.K., Lefkowitz D., Meeker J., Susi P., Cardwell B. ja Heitbrink W.A. 2007. In-Depth Survey of Dust Control Technology for Cutting Concrete Block and Tuckpointing Brick. NIOSH, Report No EPHB 282-13.

Echt A., Sieber K., Jones A ja Jones E. 2002. In-Depth Survey Report: Control of Silica Exposure in Construction Scabbling Concrete. NIOSH, Report No EPHB 247-15d.

Echt A., Sieber K. ja Williams D. 2004. In-Depth Survey Report of a Water Spray Device for Suppressing Respirable and Crystalline Silica Dust from Jackhammers. NIOSH, Report No EPHB 282-11c-2.

Euroopan johtavien työsuojelutarkastajien komitea (SLIC). Hyvien toimintatapojen käytännön opas asbestiin liittyvien riskien ehkäisemiseksi tai minimoimiseksi työssä, jossa esiintyy (tai saattaa esiintyä) asbestia: työnantajille, työntekijöille ja työsuojelutarkastajille. Euroopan komissio, Työllisyys-, sosiaali- ja tasa-arvoasioiden pääosasto.

Heikkilä P. 2001. Respiratory and Dermal Exposure to Creosote. Kuopion yliopiston julkaisuja. C, Luonnontieteet ja ympäristötieteet, 1235-0486; 120.

Heitbrink W. 2000. In-Depth Survey Report: Control Technology for Crystalline Silica Exposures in Construction: Exposures and Preliminary Control Evaluation. NIOSH, Report No ECTB 247-12.

Karjala M-M. 2008. Pölynhallintamenetelmät rakentamisessa - Tekninen toteutus ja menetelmien tehokkuus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Kuusisto S., Lindroos O., Rantio T., Priha E. ja Tuhkanen T. 2007. PCB contaminated dust on indoor surfaces – Health risks and acceptable surface concentrations in residential and occupational settings. Chemosphere 67: 1194-1201.

Liukkonen T. ja Lindroos L. 2008. Puupölyt. Teoksessa Starck J, Kalliokoski P, Kangas J, Pääkkönen R, Rantanen S, Riihimäki V ja Karhula A-L. Työhygienia, 148-152. Työterveyslaitos. Keuruu.

Meeker J.D., Cooper M.R., Lefkowitz D. ja Susi P. 2009. Engineering Control Technologies to Reduce Occupational Silica Exposures in Masonry Cutting and Tuckpointing. Public Health Reports 124: 101-111.

Overberger P. A., Wadowsky R. M. ja Schaper M. M. 1995. Evaluation of Airborne Particulates and Fungi During Hospital Renovation. American Industrial Hygiene Association Journal, 56, 706-712.

Ratu: Korjaustöiden laatu 2011. 2010. Rakennustieto Oy. Tampere.

Ratu 82-0347: Asbestia sisältävien rakenteiden purku. 2009. Rakennustieto Oy.

Ratu 82-0237: Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku. 2000. Rakennustieto Oy.

Ratu 82-0239: Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku. 2000. Rakennustieto Oy.

Ratu 1225-S: Pölyntorjunta rakennustyössä. Suunnitteluohje, 2009. Rakennustieto Oy.

Ratu 82-0240: Tavanomaiset purkutyöt. 2000. Rakennustieto Oy.

Rautiala S., Reponen T., Nevalainen A., Husman T. ja Kalliokoski p. 1998. Control of Exposure to Airborne Viable Microorganisms During Remediation of Moldy Buildings; Report of Three Case Studies. American Industrial Hygiene Association Journal, 59, 455-460.

Riala R. 1988. Dust and Quartz Exposure of Finnish Construction Site Cleaners. Annals of Occupational Hygiene 32, nro. 2, 215-220.

Riihimäki V., Zitting A. ja Santonen T. 2008. Kemiallisten tekijöiden raja-arvot. Teoksessa Starck J, Kalliokoski P, Kangas J, Pääkkönen R, Rantanen S, Riihimäki V ja Karhula A-L. Työhygieniä, 41-60. Työterveyslaitos. Keuruu.

Schneider T., Petersen O. H., Kildesø J., Kloch N. P. ja Løbner T. 1996. Desing and Calibration of a Simple Instrument for Measuring Dust on Surfaces in the Indoor Environment. *Indoor Air*, 6, 204-210.

Sisäilmayhdistys ry. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008 - Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Sisäilmayhdistys julkaisu 5, 1. painos. Painorauma Oy.

Sosiaali- ja terveysministeriö (STM). 2003. Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Helsinki.

Thorpe A., Ritchie A.S., Gibson M.J. ja Brown R.C. 1999. Measurements of the Effectiveness of Dust Control on Cut-off Saws Used in the Construction Industry. *The Annals of Occupational Hygiene* 43, nro 7, 443-456.

Tossavainen A. 2008a. Mineraalipöly: kvartsi. Teoksessa Starck J, Kalliokoski P, Kangas J, Pääkkönen R, Rantanen S, Riihimäki V ja Karhula A-L. Työhygieniä, 119-121. Työterveyslaitos. Keuruu.

Tossavainen A. 2008b. Mineraalipöly: asbesti. Teoksessa Starck J, Kalliokoski P, Kangas J, Pääkkönen R, Rantanen S, Riihimäki V ja Karhula A-L. Työhygieniä, 122-126. Työterveyslaitos. Keuruu.

Tossavainen A. 2008c. Mineraalipöly: teolliset mineraalikuidut. Teoksessa Starck J, Kalliokoski P, Kangas J, Pääkkönen R, Rantanen S, Riihimäki V ja Karhula A-L. Työhygieniä, 126-128. Työterveyslaitos. Keuruu.

Ympäristöministeriö (YM). 2010. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMK): Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010.

Ympäristöministeriö (YM). 1998. Rakennusten paloturvallisuus & Paloturvallisuus korjausrakentamisessa. Ympäristöopas 39. Helsinki.

Internet:

ACGIH. 2011. American Conference of Governmental Industrial Hygienists -kotisivut. Saatavissa: <http://www.acgih.org/TLV/> [18.11.2011]

International Agency for Research on Cancer (IARC). 2011. Agents Classified by the IARC Monographs, Vol 1-102. Saatavissa: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php> [26.9.2011]

International Labour Organization (ILO). 2011. Chemical Exposure Limits. Saatavissa: http://www.ilo.org/safework/areasofwork/WCMS_118291/lang--en/index.htm [29.11.2011]

Occupational Safety & Health Administration (OSHA). 2011. Work practices and engineering controls for Class I Asbestos Operations - non-mandatory. Standardi 1926.1101 App F. Saatavissa: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=10868 [2.12.2011]

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista 29.11.2011/1213. Saatavissa: <http://www.edilex.fi/virallistieto/saaduskokoelma/20111213.pdf> [13.2.2012]

Työterveyslaitos. 2011. Rakennusalan Turvapakki: Vaaralliset aineet. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/turvapakki/vaaralliset_aineet/sivut/default.aspx [9.6.2011]

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738> [21.1.2011]

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 26.3.2009/205. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090205> [21.1.2011]

Valtioneuvoston päätös asbestityöstä 21.12.1994/1380. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19941380> [15.6.2011]

LIITTEET

Liite 1: Kaikkien kohteiden alipaineistajien tilavuusvirrat ja teoreettiset ilmanvaihtokertoimet

Liite 2: PM₁-hiukkasten prosenttiosuuksia PM₁₀-hiukkasista sairaalakohteessa 1

Liite 3: Tutkimuslaitoskohteen tulokset mittauspäivältä 6.5.2011

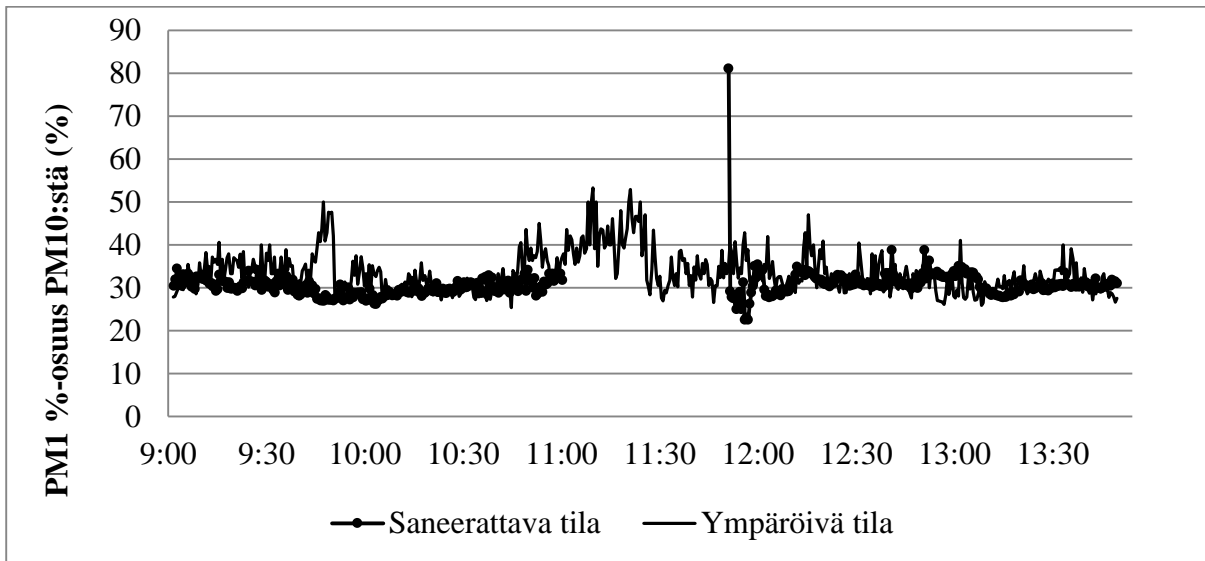
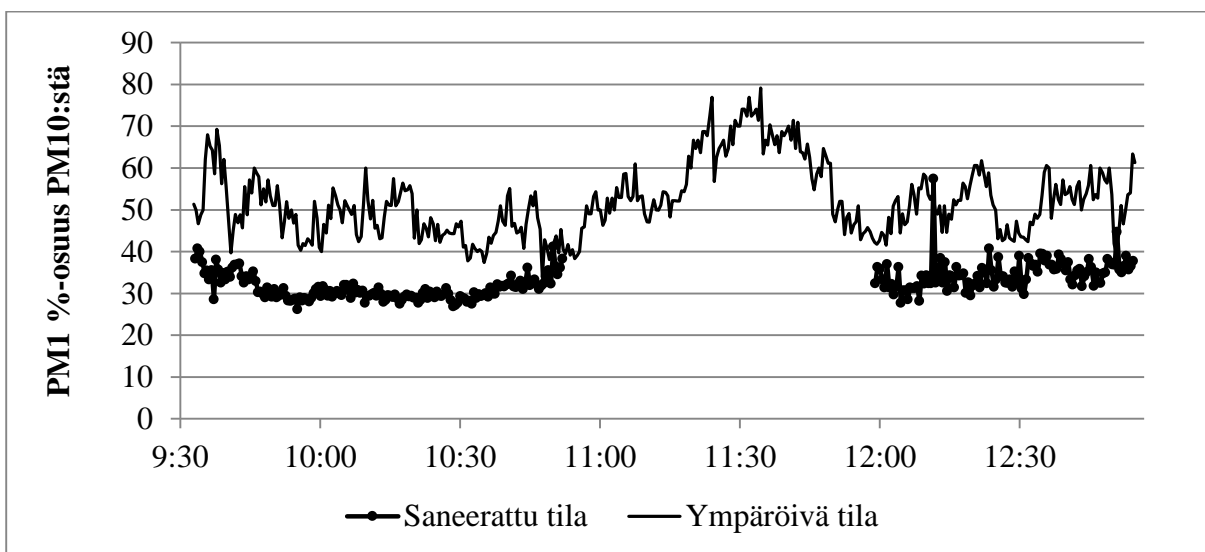
Liite 4: PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista kerrostalokohteessa 16.5.2011

Liite 5: PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista kerrostalokohteessa 17.-18.5.2011

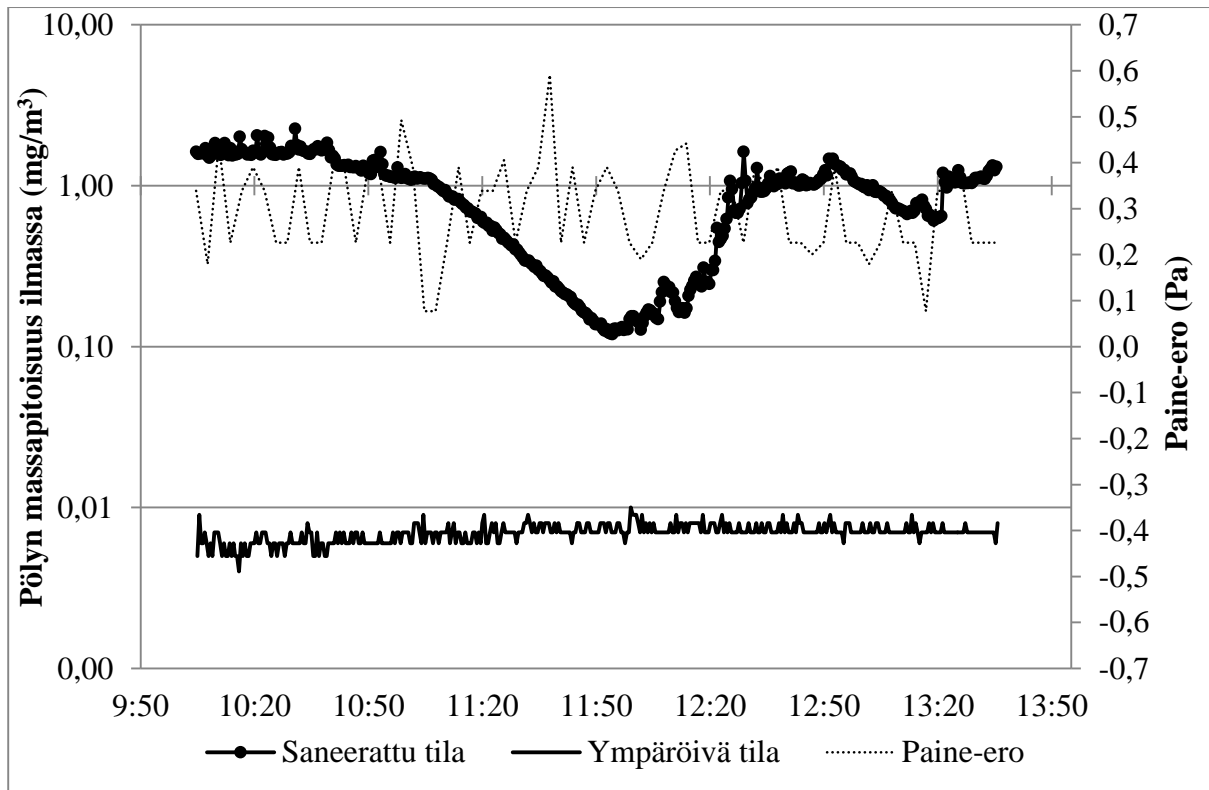
Kaikkien kohteiden alipaineistajien tilavuusvirrat ja teoreettiset ilmanvaihtokertoimet

Taulukko 1: Alipaineistajien tilavuusvirrat ja teoreettiset ilmanvaihtokertoimet.

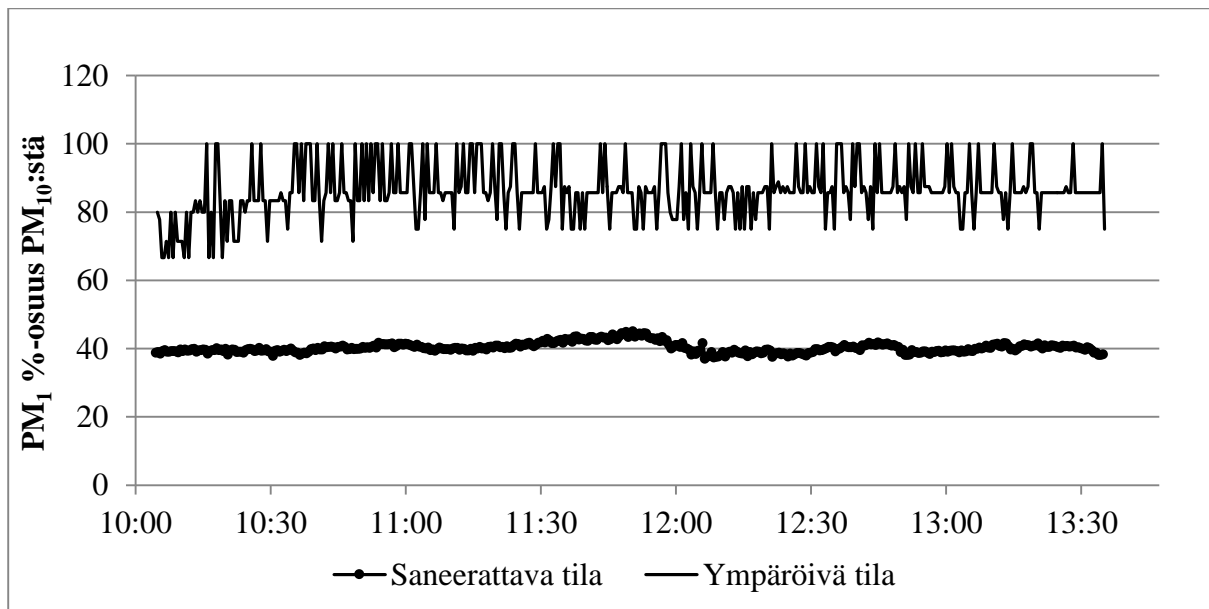
KOHDE	SANEERATUN ALUEEN PINTA-ALA (m ²)	SANEERATUN ALUEEN TILAVUUS (m ³)	ALIPAIN EISTAJIE N TILAVUUSVIRTA YHTEENSÄ (m ³ /h)	ILMAN- VAIHTO- KERROIN (1/h)
SAIRAALA 1	260	830	2530	3
KOULU: LK1	50	200	2100	11
KOULU: LK2	57	230	510	2
TUTKIMUS- LAITOS (19.4.2011)	930	3050	3360	1
TUTKIMUS- LAITOS (11.7.2011)	930	3050	8630	3
KERROSTALO: KH1	5	12	-	-
KERROSTALO: KH2	5	12	52	43
KERROSTALO: KH3	5	11	-	-
KERROSTALO: KH4	5	11	-	-
KERROSTALO: savukoe	3	7	450	64

PM₁-hiukkasten prosenttiosuuksia PM₁₀-hiukkasista sairaalakohteessa 1Kuva 1: PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista lyijyseinän purkamisen aikana.Kuva 2. PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista hiontatöiden aikana.

Tutkimuslaitoskohteen tulokset mittauspäivältä 6.5.2011

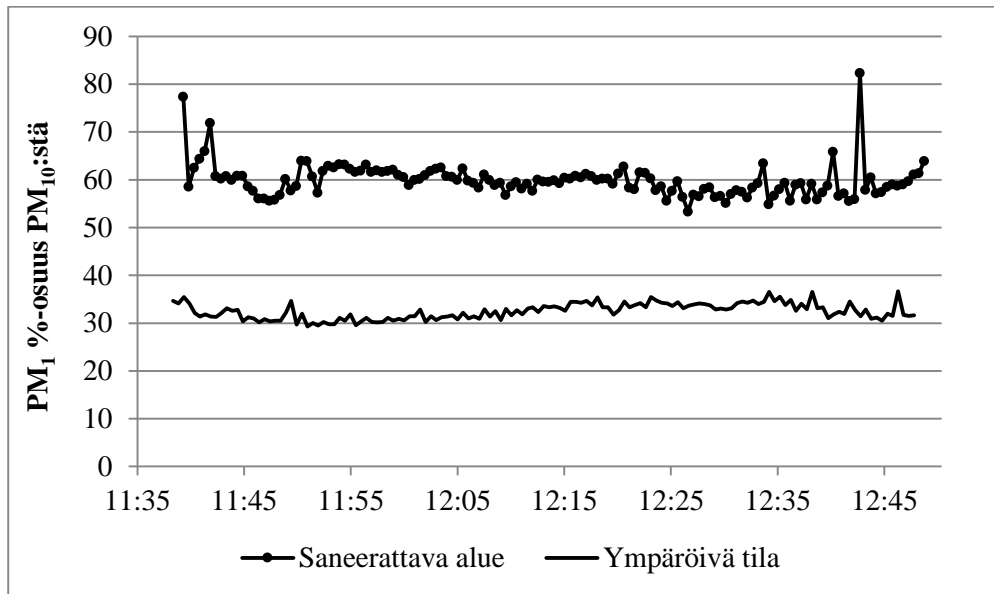


Kuva 1: Mittauspäivän 6.5.2011 PM₁₀-hiukkaspitoisuudet saneerausalueelta ja sen ulkopuolelta sekä paine-ero tilojen välillä.

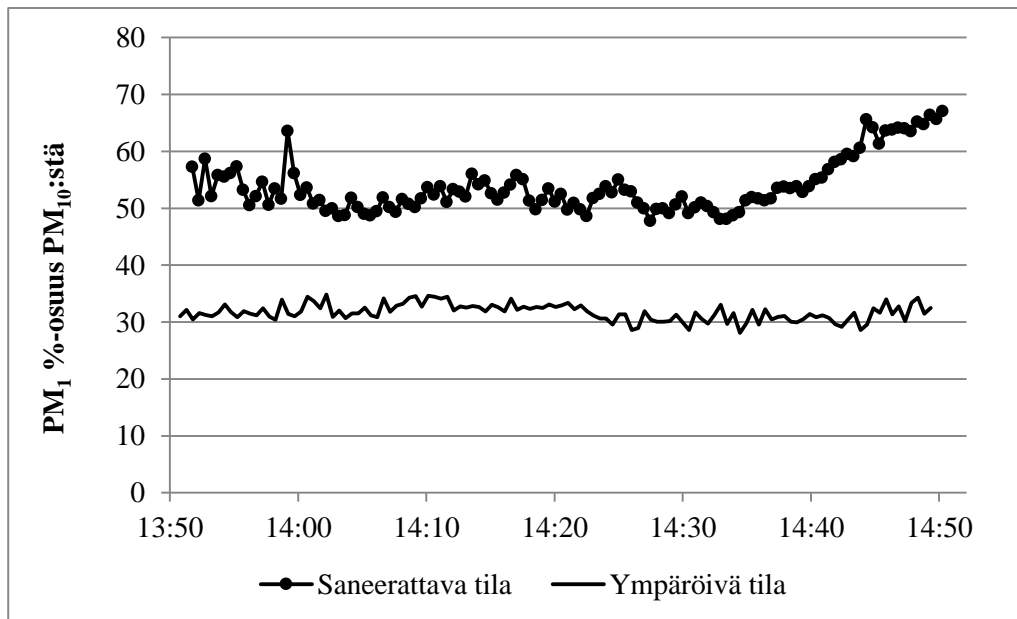


Kuva 2: Mittauspäivän 6.5.2011 PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista.

PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista kerrostalokohteessa 16.5.2011

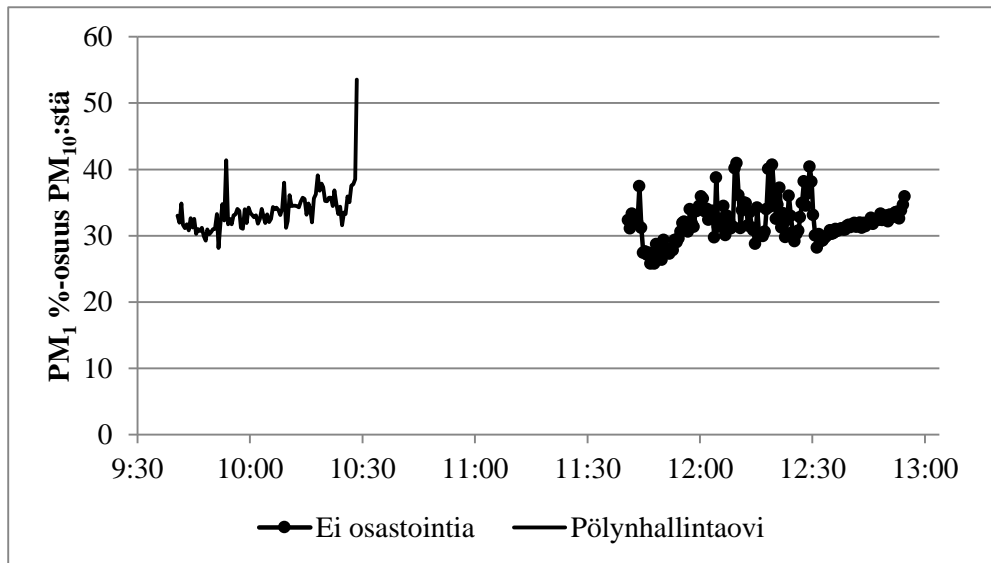


Kuva 1: PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista kylpyhuoneen lattian piikkauksen aikana osastoinnissa käytössä.



Kuva 2: PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista kylpyhuoneen lattian piikkauksen aikana ilman osastointia.

PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista kerrostalokohteessa 17.-18.5.2011



Kuva 1: PM₁-hiukkasten prosenttiosuus PM₁₀-hiukkasista betonilattian sahausajan aikana.