



Etelä-Karjalan Allergia-
ja Ympäristöinstituutti

Sisäilman siitepölyt (SISSI) Loppuraportti

Juha Jantunen, Kimmo Saarinen, Mikko Myllynen, Tiina Vitikainen



Sisäilman siitepölyt (SISSI)

Loppuraportti

Juha Jantunen, Kimmo Saarinen, Mikko Myllynen, Tiina Vitikainen

Etelä-Karjalan Allergia- ja Ympäristöinstituutti



Etelä-Karjalan Allergia-
ja Ympäristöinstituutti

Lappeenranta, joulukuu 2009

ISSN : 1237–1807

ISBN : 978–952–5156–59–1

Etelä-Karjalan Allergia- ja Ympäristöinstituutti

Lääkäritie 15, 55330 Tiuruniemi

all.env@inst.inet.fi

Lisää Instituutin
toiminnasta

www.ekay.net

Tiivistelmä

Sisäilman siitepölyt (SISSI) -hankkeessa selvitettiin kuinka paljon siitepölyä tulee sisätiloihin ja miten hiukkasten sisällepääsyä voidaan vähentää.

Pahimmillaan tuuletuksen aikana voi sisälle tulla hyvin runsaasti siitepölyä. Usean keräimen samanaikaisissa mittauksissa sisällä havaittiin keskimäärin 24 % ulkoilman siitepölypitoisuudesta, mutta määrä vaihteli paljon etäisyyden ja olosuhteiden mukaan. Pitoisuus oli sisällä sitä suurempi mitä runsaammin siitepölyä oli ulkoilmassa ja mitä voimakkaammin ilmaa virtasi sisälle. Voimakkaassa sisällevirtauksessa huoneessa mitattiin enimmillään 1 400 koivun siitepölyä ilmakehässä, kun samaan aikaan ulkona oli 2 020 sp/m³. Myös männyn siitepölyä leijui helposti sisälle. Sisällä mitattiin lähes 2 600 sp/m³, kun ulkopitoisuus oli lähes 5 000 sp/m³. Lämpövedossa ilma vaihtuu tehokkaasti, mutta samalla siitepölyä pääsee runsaasti sisälle ja hiukkaset leviävät tehokkaasti huoneeseen. Lämpövedossa sisäilman pölyosuus laimeni ikkunan lähellä mitattua 35 %:sta huoneen perän 11 %:iin ulkopitoisuudesta. Ilman läpivetoa vastaavat pitoisuudet olivat 2,0 ja 0,4 %. Tuuletusikkunan hyttysverkot ja säleiköt eivät juuri vaikuttaneet siitepölyn sisällepääsyyn. Valoverhon läpi siitepölyä tuli kuitenkin vähemmän, koska tiheä kangas heikensi ilmavirtausta. Tuuletusikkunan suodatinhuopa ei päästänyt siitepölyä läpi, mutta samalla ilmavirtaus lähes pysähtyi.

Ilmavirta levittää siitepölyn huoneeseen. Päiväkodin eteistiloissa ulko-ovesta kulkeminen toi siitepölyä sisälle ja liikkuminen piti ilman ja hiukkaset liikkeessä. Suurimmat yli 100 sp/m³ pitoisuudet mitattiin keskipäivän jälkeen, jolloin lapset olivat sisällä ja osa lapsista haettiin kotiin. Ilmavirtauksen loputtua siitepölyhiukkaset laskeutuvat melko nopeasti. Asunhuoneistoissa siitepölyä kertyi runsaimmin lähelle tuuletusikkunoita ja ulko-ovea sijoitettuihin laskeumakeräimiin. Lattiatasolla oli kaksinkertainen siitepölymäärä verrattuna metrin korkeudella mitattuihin arvoihin. Ilmanvaihtokoneiden suodattimet poistivat tehokkaasti siitepölyä. Keskimäärin koneellisesti ilmastoiduissa tiloissa oli 1,5 siitepölyhiukkasta neliösentillä, kun samaan aikaan taloissa, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto, keräimiin päätyi 37 hiukkasta neliösentille.

Siitepölyä kulkeutuu myös vaatteiden ja lemmikkien mukana. Pihalle 3–5 tunnin ajaksi ripustettuihin paitoihin, takkeihin ja pyyhkeisiin tarttui koivun ja männyn kukkiessa keskimäärin seitsemän siitepölyhiukkasta neliösentille. Runsaimmin siitepölyä oli neule- ja fleeecepaidassa ja vähiten sileissä farkku- ja tuulipukukankaassa. Suoraan heinien kukinnoista vaatteisiin tarttui enemmän siitepölyä kuin ilmasta. Ulkoilijan vaatteissa hiukkasia oli runsaimmin kengissä, sukan varsissa ja housuissa ja vähiten paidassa, johon heinän kukinnot eivät ulottuneet. Karkeasti laskettuna ulos ripustetuissa vaatekappaleissa oli yli 10 000 ja niityllä kävelyn jälkeen housuissa peräti 150 000 siitepölyhiukkasta. Vaatteiden puistelu irrotti noin 70 % siitepölystä. Myös koiran turkkiin tarttuu siitepölyä. Koivun huippukaudella siitepölyä oli koirassa lähes kymmenkertainen määrä verrattuna ulkona tuuletettuihin vaatteisiin.

Asuinhuoneistoihin kertyvään siitepölymäärään vaikuttavat monet tekijät, joista tärkein on asukkaiden toiminta. Siitepölymäärää voi parhaiten vähentää pitämällä ovet ja ikkunat kiinni siitepölykaudella, huolehtimalla ilmanvaihtolaitteiden kunnosta, puistelemalla ulkovaatteet ennen sisälle menoa ja jättämällä ulkovaatteet eteiseen. Koska siitepölyä pääsee kuitenkin jonkin verran sisälle, siivousta tulisi tehostaa siitepölykaudella. Pölyt tulisi pyyhkiä tai imuroida erityisesti läheltä parvekeovea, tuuletusikkunoita ja ilmanvaihtventtiilejä sekä eteisestä, jossa siitepölyä on yleensä runsaimmin.

Sisällys

1. Johdanto	4
2. Tavoite.....	5
3. Menetelmät	
3.1. Aika ja mittauspaikat	6
3.2. Ilman siitepölymäärän mittaaminen	6
3.3. Siitepölylaskeumat	9
3.4. Siitepöly vaatteissa ja koiran turkissa	9
4. Siitepölykaudet 2008 ja 2009	
4.1. Lepän kukinta.....	11
4.2. Koivun kukinta.....	11
4.3. Männyn kukinta.....	12
5. Tulokset	
5.1. Ilmavirta tuo siitepölyä sisälle	13
5.1.1. Päiväkodin pukeutumistiloissa kohtalainen pitoisuus.....	15
5.2. Läpiveto vie siitepölyn huoneen perälle.....	16
5.3. Tuuletusikkunan esteet: vähemmän hiukkasia läpi vai heikompi ilmanvaihto	17
5.4. Siitepölyä runsaimmin lähellä ulko-ovea ja tuuletusikkunoita.....	18
5.4.1. Siivous kannattaa.....	19
5.5. Koneellinen ilmanvaihto vähentää sisäilman siitepölymäärää.....	20
5.6. Siitepöly tarttuu vaatteisiin.....	21
5.6.1. Heinän siitepölyä ulkoilijan lahkeissa.....	22
5.6.2. Siitepölyä myös koiran turkissa	23
6. Pohdinta	
6.1. Sisällä vaihtelevasti siitepölyä	24
6.2. Aiheuttaako sisätilojen siitepöly allergiaoireita?	25
6.3. Kuinka vähentää siitepölylle altistumista sisätiloissa	27
Kiitokset	28
Kirjallisuus.....	28

1. Johdanto

Koivun siitepöly on Pohjoismaiden tärkein allergian aiheuttaja. Pelkästään koivulle allergisia suomalaisia on 10–15 % väestöstä, toisin sanoen yli puoli miljoonaa. Huhti-toukokuussa koivuista vapautuu runsaasti siitepölyä, sillä jo yhdessä norkossa arvellaan kehittyvän kuusi miljoonaa hiukkasta (Haahtela & Sorsa 1999). Kun isossa puussa on tuhansia norkkoja, pihakoivusta voi vapautua suotuisissa oloissa miljardeja siitepölyhiukkasia. Pölyisimpinä päivinä koivun siitepölyä on mitattu yli kymmenen tuhatta hiukkasta ilmakeuutiometrissä.

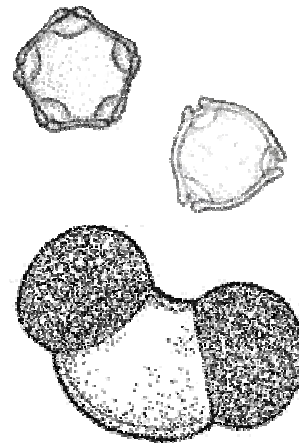
Myös mäntyjen kukinnoista vapautuu ilmaan erittäin paljon siitepölyä. Männyn siitepöly on kolme kertaa koivun hiukkasta suurempi ja siksi kukinnan huippuvaiheessa siitepölyn voi havaita paljain silmin. Touko-kesäkuun vaihteessa männyn siitepöly näkyy usein kellertävänä kerroksena ulkopinnoilla ja keltaisena puurona rantavedessä ja lammikoissa. Onneksi männyn siitepöly aiheuttaa oireita vain harvoille.

Leppä, heinät ja pujo ovat koivun ohella tärkeimpiä allergiakasveja. Ne eivät ole yhtä runsaita siitepölyn tuottajia kuin koivut mutta niidenkään kukkiessa ulkona ei voi välttyä siitepölylle altistumiselta. Entä sisällä? Ihmiset viettävät yli 20 tuntia vuorokaudesta sisätiloissa, joten ei ole samantekevää millaista ilmaa siellä hengitämme.

Siitepölyä pääsee sisälle ilmapirran mukana ovista, tuuletusikkunoista ja ilmanvaihtokanavista, mutta hiukkasia voi myös kulkeutua vaatteissa, hiuksissa ja lemmikkien turkissa. Sisätilojen siitepölymääriä ja hiukkasten kulkeutumista on tutkittu jonkin verran, mutta erilaisten alueellisten ja menetelmällisten erojen takia tulokset ovat olleet kovin erilaisia. Joidenkin tutkimusten mukaan siitepölyä kulkeutuu helposti sisälle ja hiukkasia löytyy myös huoneista, joiden puhtaudesta pidetään tarkasti huolta. Esimerkiksi Ranskassa laskeumakeräimistä havaittiin vuoden aikana lähes 60 kasvilajin siitepölyä ja hiukkasia oli myös ilmansuodattimilla varustetussa suljetussa huoneessa, jossa käytiin harvoin (Loublier 1998).

Usein sisältä ja varsinkin sisäilmasta on havaittu vähän siitepölyä, mutta tästä huolimatta siitepölyä voi olla lattialla suuriakin määriä (O'Rourke & Lebowitz 1984). Vaikka tuulipölytteisten kasvien siitepöly on tehty kukasta toiseen lentämistä varten, tyynessä sisäilmassa hiukkaset laskeutuvat melko nopeasti alas. Koivun ja lepän laskeutuvat nopeammin kuin männyn suuremmat ja painavammat hiukkaset, vaikka männyllä on tunnusomaiset leijumista parantavat ilmarakkulat (kuva 1).

Siitepölyä sanotaan tulevan sisälle ihmisten mukana, mutta siitepölynäytteitä ei juurikaan ole otettu suoraan vaatteista. Viitteitä löytyi vain Japanissa tehdyistä tutkimuksista. Siellä tärkein allergiakasvi on punasetri eli sugi (*Cryptomeria japonica*), joka tuottaa runsaasti oireita



Kuva 1. Lepän ja koivun siitepölyhiukkasen halkaisija on 23–30 μm , paino 6,1–6,8 $\times 10^{-9}$ g ja tyynessä ilmassa vajoamisnopeus 1,5 cm/s. Männyn siitepölylle luvut ovat vähintään kaksinkertaiset, sillä halkaisija on 65–80 μm , paino 18,4 $\times 10^{-9}$ g ja vajoamisnopeus 3,0 cm/s (Moore & Webb 1978, Richmond-Bryant ym. 2006).

aiheuttavaa siitepölyä (Kiyosawa & Yoshizawa 2002, Ishibashi ym. 2008, Takahashi ym. 2008).

Allergiset reagoivat erilaisiin siitepölymääriin ja siksi haitallisen pitoisuuden määrää sisällä on vaikea määrittää. Joissakin tutkimuksissa siitepölyä on havaittu sisäilmasta niin vähän, ettei sen uskota juuri aiheuttavan oireita allergisille (O'Rourke & Lebowitz 1984, Hugg & Rantio-Lehtimäki 2007). Burge (2002) pitää pieniäkin siitepölypitoisuuksia merkityksellisinä, koska sisätiloissa vietetään suurin osa vuorokaudesta. Yankova (1991) havaitsi heinäallergisen oireiden voimistuneen samaan aikaan kun siitepölymäärä sisällä lisääntyi. Tosin samalla heinänpölyä oli runsaasti myös ulkona.

2. Tavoite

Sisäilman siitepölyt (SISSI) -tutkimushankkeessa selvitettiin kuinka paljon siitepölyä tulee sisälle ja kuinka allerginen voi vähentää siitepölylle altistumista omassa asuinhuoneistossaan. Kaksivuotinen (2008–2009) tutkimus aloitettiin selvittämällä kuinka paljon siitepölyä tulee sisälle avoimesta tuuletusikkunasta ja ulko-ovesta. Toisena vuotena keskityttiin siitepölyjen kulkeutumiseen vaatteissa ja kuinka erilaiset ilmanvaihdon ratkaisut sekä tuuletusikkunan kankaat ja suodattimet vaikuttavat siitepölyjen kulkeutumiseen.

Erilaisilla koeasetteluilla ja käytännön esimerkeillä selvitettiin

- kuinka paljon siitepölyä tulee sisälle tuuletusikkunoista ja ovista?
- miten tuuletusaukon ilmavirtaus ja läpiveto vaikuttavat siitepölyn leviämiseen sisällä?
- kuinka paljon siitepölyä on käytännössä jatkuvassa käytössä olevissa asunnoissa ja tiloissa kuten päiväkodin eteisessä?
- kuinka tehokkaita ovat tuuletusikkunan suodatinkankaat ja vaikuttavatko tavallisimmat tuuletusikkunan esteet (mm. hyttysverkko) sisälle tulevan siitepölyn määrään?
- minne siitepölyt kerääntyvät asunnoissa?
- kuinka paljon lattiapölyssä on siitepölyä?
- onko siitepölymäärissä eroja huoneistoissa, joissa on koneellinen tai painovoimainen ilmanvaihto?
- tarttuvatko ilmassa leijuvat siitepölyt ulkona tuuletettuihin vaatteisiin?
- kuinka paljon heinän siitepölyä tarttuu luonnossa liikkuvan vaatteisiin?
- kulkeeko koiran turkissa siitepölyjä?

3. Menetelmät

3.1. Aika ja mittauspaikat

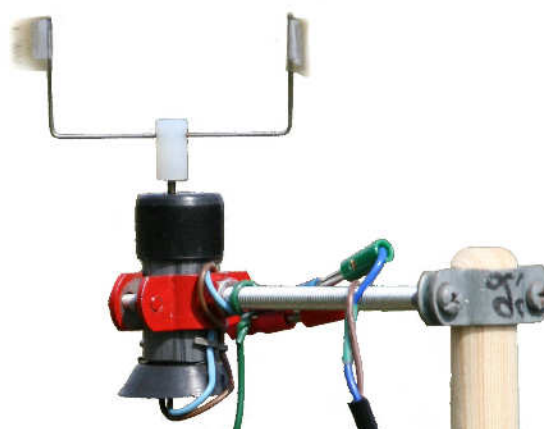
Sisäilman siitepölymääriä tutkittiin huhtikuussa lepän ja toukokuussa koivun kukinnan aikana vuosina 2008 ja 2009. Mittauksia täydennettiin vielä männyn kukkiessa kesäkuun alussa. Männyn siitepöly aiheuttaa harvoille allergioireita, mutta runsaasti siitepölyä tuottavana se soveltuu hyvin siitepölytutkimuksiin. Vaatteista tutkittiin myös heinän siitepölyn tarttumista.

Mittauksia tehtiin Kaakkois-Suomessa pääosin Lappeenrannan ja Imatran alueella. Siitepölyn leijumista sisälle tuuletusilman välityksellä tutkittiin Etelä-Karjalan Allergia- ja Ympäristöinstituutissa Lappeenrannan Tiuruniemessä. Kaksikerroksinen kivitalo (567 m²) oli toimistokäytössä, eikä talossa ole koneellista ilmanvaihtoa. Ilman siitepölymääriä mitattiin myös Tainionkosken päiväkodin tiloissa Imatralla. Siitepölyn keräytymispaikkoja asuinhuoneistoissa, painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon eroja sekä lattiapölyn siitepölymääriä tutkittiin 14 asuinhuoneistossa ja viidessä toimistotilassa Lappeenrannan, Imatran, Rautjärven ja Puumalan alueella. Vaatteisiin siitepölyt tarttuivat Lappeenrannan Tiuruniemessä ja Korvenkylässä. Koiran turkista pölynäytteitä imuroitiin Rautjärvellä ja Imatralla.

3.2. Ilman siitepölymäärän mittaaminen

Ilman siitepölypitoisuutta mitattiin pienillä ja helposti siirrettävillä rotorod-tyyppisillä hiukkaskeräimillä (kuva 2) (Rantio-Lehtimäki 1991, Di-Giovanni 1998). Usean keräimen avulla oli mahdollista järjestää erilaisia mittaussarjoja lähelle ovia ja tuuletusikkunoita. Tavallisesti keräimiä oli asetettu metrin tuuletusikkunan ulkopuolelle, tuuletusikkunaan ja eri etäisyyksillä huoneen sisälle. Sisällä oli vähintään kaksi keräintä joko metrin korkeudella tai lattian tasolla (15 cm korkeus).

Tunnin mittausjaksolla siitepölyt tarttuivat metallihaarukassa pyöriville liimanauhoille, joilta siitepölyt laskettiin mikroskoopilla. Hiukkasmäärät muutettiin pitoisuudeksi kertomalla luku keräysalaa vastaavalla ilmamäärällä. Nauhojen pyörimisnopeus oli keskimäärin 2 300 kierrosta minuutissa (säde 0,04 m), jolloin 60 minuutin aikana siitepölyjä keräävä ala (0,019 m x 0,0019 m) käsittelee 1,252 m³ ilmaa (keräysala x 0,08 m x pii x 2 300 x 60 min). Jos nauhalla havaitaan yksi siitepöly, yhdessä kuutiometrissä ilmaa on 0,80 siitepölyhiukkasta (1 /1,252). Tuloksena käytettiin kahden samassa haarukassa pyörineen nauhan keskiarvoa. Jos haarukan nauhojen tulokset erosivat yli 40 %, pienemmän arvon saanut nauha katsottiin vialliseksi (esim. epätasainen liimapinta) ja käytettiin vain suurempaa lukua. Burkard- ja rotorod-keräimillä mitatut ilman siitepölypitoisuudet ovat sellaisinaan vertailukelpoisia (Jantunen & Saarinen 2007, Jantunen & Saarinen 2008).



Kuva 2. Tutkimuksessa käytetty Rotorod-tyyppinen keräin.

Mittausten aikana seurattiin ilmavirtauksen voimakkuutta ja suuntaa. Ilman virtausnopeutta mitattiin 10–20 kertaa kunkin mittauksen aikana. Puolet virtausmittauksista tehtiin minuutin välein jakson alkupuolella ja puolet loppupuolella. Mittari sijoitettiin ikkuna- tai oviaukon keskele 30 cm korkeuteen. Myös ulko- ja sisälämpötilat kirjattiin muistiin.

Vertailuaineistona käytettiin myös Kaakkois-Suomen siitepölyseurannan tuloksia. Suomessa siitepölymääriä seurataan maaliskuulta syyskuulle yhdeksällä paikkakunnalla, joista yksi oli tutkimuksen aikana Lappeenrannan Tiuruniemessä entisen Rauhan sairaalan katolla (19 m korkeudella). Siitepölymäärää seurataan jatkuvatoimisella Burkard-keräimellä, joka imee ilmaa noin 10 litraa minuutissa. Ilman mukana siitepölyt kulkeutuvat laitteen sisälle ja tarttuvat kellolaitteen avulla pyörivään liimapintaiseen nauhaan (Hirst 1952, Käpylä & Penttinen 1981). Siitepölyhiukkaset tunnistetaan ja lasketaan mikroskoopilla. Pitoisuus ilmoitetaan siitepölyhiukkasina kuutiometrissä ilmaa (sp/m^3). Tavallisesti käytetään vuorokausipitoisuutta, jossa mikroskoopilla havaitut siitepölyt muutetaan pitoisuudeksi vuorokautta vastaavan nauhan pinta-alan ja keräimeen imetyn ilmamäärän avulla.

Siitepölytiedotuksessa siitepölypitoisuus luokitellaan pieneksi, kohtalaiseksi tai suureksi. Lepällä ja koivulla pieni pitoisuus tarkoittaa alle 10, kohtalainen 10–100 ja suuri yli 100 sp/m^3 . Pienessä siitepölypitoisuudessa tavallisesti vain herkimvät, kohtalaisessa monet ja suuressa pitoisuudessa useimmat ko. siitepölylle allergiset saavat oireita.

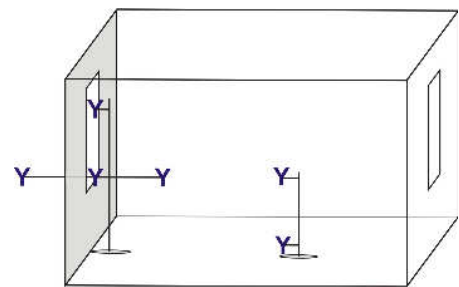
Sisäilman siitepölymääriä tutkittiin kolmella koeasettelulla ja lisäksi siitepölyjä mitattiin päiväkodin pukeutumistiloissa. Tarkemmin vuoden 2008 menetelmistä on kerrottu väli raportissa (Jantunen ym. 2008).

Mittaussarjat ulkoa sisään

Tuuletusilman mukana sisälle tulevaa siitepölymäärää mitattiin Instituutin kolmessa huoneessa vuonna 2008. Tuulensuunnan mukaan mittauksia tehtiin joko talon etu- tai takapihan puolella. Kaikissa huoneissa voitiin mitata myös kahden auki olevan ikkunan tai oven läpivedossa.

Mittaushuoneiden tuuletusaukot olivat erikokoisia. Pienimmät aukot olivat toisen kerroksen näyttelyhuoneen (0,35 m x 0,72 m) ja työhuoneen ikkunat (0,42 m x 1,30 m). Suurin aukko oli alakerran ovissa (etuovi: 1,07 m x 2,07 m, takaovi: 0,80 m x 2,40 m).

Siitepölyjä mitattiin samanaikaisesti 6–7 keräimellä, joista tuuletusaukossa oli kaksi ja sisällä 3–4 keräintä (kuva 3). Keräimet asetettiin linjaan ilmavirtauksen suuntaisesti. Mittaussarjoja oli kaikkiaan 26 (179 mittausta), joista viisi oli lepän (2.4. ja 3.4.2008), 18 koivun (3.5.–11.5.2008) ja kolme männyn kukintakaudella (3.6. ja 5.6.2008). Sarjojen välillä näyttely- ja työhuone imuroitiin.



Kuva 3. Keräinten paikat mittaussarjoissa.

Siitepölyn leviäminen huoneeseen

Siitepölyn liikkumista sisäilmassa selvitettiin instituutin näyttelyhuoneeseen (4 m x 8 m) asennetun keräinverkoston avulla vuonna 2008. Samanaikaisesti mitattiin seitsemällä tai kahdeksalla rotorod-keräimellä, joista yksi oli tuuletusikkunan alaosassa ja kuusi oli sijoitettu tasavälein huoneen sisälle. Siitepölyjä mitattiin yhden avoimen tuuletusikkunan tai talon vastakkaisilla seinillä auki olevien ikkunoiden läpivedossa. Kaikkiaan mitattiin yhdeksän sarjaa (70 mittausta) 12.5.–6.6.2008. Mittauskertojen välillä huone imuroitiin.

Päiväkoti

Sisäilman siitepölypitoisuutta mitattiin myös Tainionkosken päiväkodin eteistilassa (8 m x 6 m) yli viikon ajan (5.5.–14.5.2008). Kokonaisia mittauspäiviä kertyi kahdeksan. Pitoisuutta seurattiin samanlaisella jatkuvatoimisella Burkard-keräimellä, jota käytetään myös valtakunnallisessa siitepölyseurannassa.

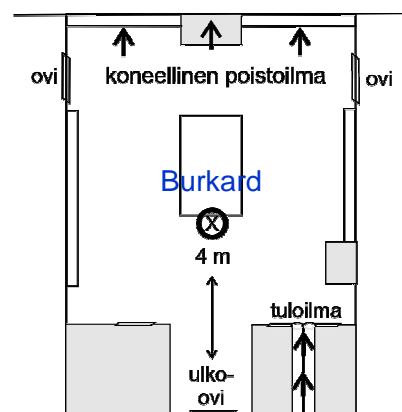
Keräin sijaitsi lasten pukeutumiseen käytetyn huoneen keskellä noin neljän metrin etäisyydellä ulko-ovesta ja 50 cm korkeudella lattiasta (kuva 4). Huoneessa oli koneellinen poistoilmavaihto, joka toimii päivisin voimakkaammalla teholla kuin yöllä. Siitepölyt pääsevät eteistilaan ulko-ovesta tai ulko-oven vieressä noin kahden metrin korkeudella sijainneista ulkoilmaventtiileistä. Eteistilan molemmilla puolilla oli huoneet, joiden välillä liikutaan ahkerasti päivän aikana.

Sisäilmanäytteet tutkittiin mikroskoopilla tarkemmin kuin siitepölyseurannan näytteet yleensä. Satunnaisten näkökenttien (48 kpl = 2,2 %) lisäksi siitepölyt laskettiin kahdelta vuorokauden mittaiselta ja mikroskoopin näkökentän levyiseltä alueelta, jolloin vuorokauden näytteestä tutkittiin 11,1 %. Ulkonäytteistä tutkittiin satunnaiskenttien lisäksi yksi vuorokauden mittainen alue (yhteensä 6,6 %).

Tuuletusikkunan esteet

Vuonna 2009 Instituutin näyttelyhuoneessa tutkittiin kuinka paljon sisälle tulevaa siitepölymäärää vähentävät 1) hyttysverkko, 2) ikkunasäleikön ja hyttysverkon yhdistelmä, 3) valoverho ja 4) tuuletusikkunaan tarkoitettu suodatinhuopa. Tuloksia verrattiin ikkunaan, jossa ilma pääsi vapaasti vaihtumaan. Hyttysverkon rakojen koko oli 1,2 mm ja valoverhon 0,2 mm. Suodatinhuopa oli lähes kaksi senttimetriä paksu ja sen suodatusluokka oli EU5, jonka pitäisi pysäyttää siitepölyn kokoiset hiukkaset.

Siitepölyjä pyrittiin mittaamaan saman päivän aikana esteettömässä ikkunassa ja kaikilla neljällä tuuletusikkunan esteellä varustetussa ikkunassa. Mittaukset tehtiin samassa ikkunassa, johon mittauskertojen välillä vaihdettiin eri kankaalla tai suodattimella varustettu kehys. Samanaikaisesti mitattiin viidellä keräimellä, joista yksi oli huoneen ulkopuolella ja lopun kehysten sisäpuolella ikkunan ylä- ja alaosassa sekä puolen ja yhden metrin etäisyydellä ikkunasta. Kaikkiaan siitepölyä mitattiin 11 päivänä (250 mittausta) 24.4.–9.6.2009. Sarjojen välillä ikku-



Kuva 4. Keräimen sijainti Tainionkosken päiväkodin pukeutumistilassa.

nakarmit ja lattia imuroitiin.

Siitepölymittausten aikana seurattiin myös ilmavirtausta. Lisäksi virtausta mitattiin erikseen kahdessa sarjassa, joissa jokaisen ikkunavaihtoehdon aikana kirjattiin kymmenen virtausnopeutta 15 sekunnin välein (yhteensä 200 mittausta).

3.3. Siitepölylaskeumat

Asuinhuoneistojen siitepölylaskeuman määrää ja hiukkasten kerääntymispaikkoja tutkittiin mikroskoopin objektilaseista ja petrimaljoista kehitetyillä yksinkertaisilla liimapintaisilla keräimillä. Tutkimuksessa oli mukana viisi toimistohuoneistoa ja 14 asuinhuoneistoa, joista 11 oli omakotitalossa ja kolme kerrostalossa.

Vuonna 2008 tutkittiin minne siitepölyt päätyvät asunnoissa. Mukana oli 14 asuntoa, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto. Huoneistoihin asetettiin keskimäärin 10 keräintä, joista yksi pyrittiin sijoittamaan ulos sateelta suojassa olevaan avoimeen paikkaan kuten parvekkeelle. Sisällä suurin osa keräimistä oli lattialla ja osa noin metrin korkeilla tasoilla. Siitepölyjen annettiin laskeutua kolmen viikon ajan joko huhtikuussa, toukokuussa tai touko-kesäkuun vaihteessa. Keräyksen aikana taloissa asuttiin ja huoneita tuuletettiin normaalisti. Siivouksen aikana keräimet siirrettiin väliaikaisesti pois paikaltaan. Kaikkiaan keräimiä oli 184.

Vuonna 2009 verrattiin siitepölylaskeumia kymmenessä huoneistossa, joista viidessä oli koneellinen ja viidessä painovoimainen ilmanvaihto. Huoneistoihin asetettiin keskimäärin kymmenen keräintä kolmen viikkoa ajaksi (30.4.–20.5.2009). Yhteensä keräimiä oli 99. Näytteistä tutkittiin mikroskoopilla 1,48 cm² alue (5 cm x 0,099 cm x 3), jolloin yksi mikroskoopilla löydetty siitepölyhiukkanen vastaa 0,67 hiukkasta neliösenttimetrillä.

Lisäksi kolmen asunnon lattialta imuroitiin pölynäytteitä 20.5.–22.5.2008. Näytteet imuroitiin suodattimelle noin kahden neliömetrin alueelta ja kolmen minuutin aikana. Vertailualueina oli parvekkeelta ja ulkokuistin lattialta imuroitu alue. Yhteensä näytteitä oli 15. Kahdessa huoneistossa oli siivottu noin viikkoa aikaisemmin ja yhdessä aikaisemmin näytteenottopäivänä.

Pölynäyte siirrettiin teipin avulla suodatinpaperista objektilasille. Näytteistä tutkittiin mikroskoopilla 20 satunnaista näkökenttää ja hiukkasmäärä suhteutettiin imuroituun pinta-alaan. Tällöin yksi mikroskoopilla havaittu siitepölyhiukkanen vastaa lattialla 0,032 hiukkasta neliösenttimetrillä (suodattimen ala (pii x 3,5²) / mikroskoopilla tutkittu ala (pii x 0,0311² x 20) / imuroitu ala 20 000 cm²).

3.4. Siitepöly vaatteissa ja koiran turkissa

Siitepölyn tarttumista vaatteisiin selvitettiin kahdella tapaa. Kankaista etsittiin siitepölyjä, jotka olivat tarttuneet joko ilmasta tuuletuksen aikana tai suoraan kukkivista kasveista niityllä ja joutomaalla kävelyn yhteydessä.

Vaatteita tuuletettiin ulkona 3–5 tunnin ajan yhdeksänä päivänä 4.5.–9.6.2009. Henkareihin ripustettiin seitsemän vaatekappaletta, jotka olivat tuulipuvun takki, farkkutakki, puuvillainen poolopaita ja t-paita, froteepyyhe, akryylineule ja fleecepaita. Vuoropäivinä joko poolo- tai t-paita kostutettiin ennen ulosvientiä. Tuuletuksen jälkeen vaatteet kannettiin henkareissa sisälle, jonka jälkeen niistä otettiin ensin teippinäytteet ja sitten imuroitiin hartiaosat (30 cm x 50

cm) suodatinpaperille (63 näytettä). Teipit siirrettiin heti mikroskoopin objektilaseille ja niistä tutkittiin kolme teipin levyistä (19 mm) ja mikroskoopin näkökentän levyistä aluetta (0,99 mm). Koska yhdelle teipille otettiin pölynäyte viidestä kohtaa hartioiden päältä, tutkitun alueen koko oli $2,82 \text{ cm}^2$ ($1,9 \text{ cm} \times 0,099 \text{ cm} \times 3 \times 5$). Tällöin yksi mikroskoopilla havaittu siitepölyhiukkanen vastaa 0,35 hiukkasta neliösenttimetrillä. Suodatinpaperista (säde 3,5) katsottiin mikroskoopilla kaksi tai kolme reunasta keskustaan suuntautunutta $2,5 \text{ cm} \times 0,099 \text{ cm}$ aluetta. Hiukkasmäärät suhteutettiin pinta-aloihin, jolloin yksi mikroskoopilla havaittu siitepöly vastaa 156 hiukkasta hartioilla ($(\text{pii} \times 3,5^2) / (2,5 \times 0,099)$) ja 0,1 hiukkasta neliösenttimetrillä ($(\text{pii} \times 3,5^2) / (2,5 \times 0,099) / (30 \times 50)$).

Kävelylenkit tehtiin kahdella kasvillisuudeltaan erilaisella alueella. Toinen oli joutomaata ja metsää Tiuruniemessä (27.6.2008) ja toinen niittymäinen valtatie liittymäalue Korvenkylässä (2.7.2008). Molemmilla alueilla käveltiin noin 500 metrin kierros, jonka jälkeen vaatteista ja kengistä otettiin teipillä pölynäytteitä (yhteensä 28). Niittyreitien jälkeen näytteet otettiin paidat rinnuksesta (3 eri paitaa), kengistä (3), sukan varresta (3) ja housujen tasaiselta pinnalta lahkeista ja reisistä (5) sekä saumoista ja polvitaiepeesta (5). Housuista otettiin uudet näytteet pölyjen puistelukin jälkeen (4 tasapinnoilta ja 4 saumoista). Teipit käsiteltiin ja tutkittiin samalla tavoin kuin ulkona tuuletetuissa vaatteista otetut.

Koiran turkkiin tarttuneita siitepölyjä imuroitiin kuudesti toukokuussa ja kahdesti heinäkuussa 2009. Pölyjä imuroitiin läpi vuorokauden ulkona olleesta "ulkokoirasta" ja 2–3 kertaa päivässä ulkoilutetusta "sisäkoirasta". Näytteet tutkittiin samalla tavoin kuin ulkona tuuletetuista vaatteista otetut.



Hyttysverkko, säleikkö, valoverho ja siitepölysuodatin mittauksia varten kehystettynä.

4. Siitepölykaudet 2008 ja 2009

4.1. Lepän kukinta

Kaakkois-Suomessa lepän siitepölykaudet 2008 ja 2009 jäivät keskimääräistä heikommiksi. Molempina vuosina siitepölyjä havaittiin lähes saman verran. Suuren pitoisuuden raja 100 siitepölyhiukkasta ilmakuutiossa ylitettiin yhdeksänä päivänä vuonna 2008 ja seitsemänä päivänä vuonna 2009.

Lepän kukintakaudet olivat eri aikaan. Vuonna 2008 lauhan alkutalven jälkeen suuria siitepölypitoisuuksia mitattiin poikkeuksellisen varhain. Jo maaliskuun puolivälin alla vuorokauden keskipitoisuudet ylittivät ensimmäistä kertaa 200 siitepölyhiukkasta kuutiometrissä ilmaa. Tämä johtui pääosin kaukokulkeutuneesta siitepölystä. Lumisateiden ja pakkasten myötä paikallinen lepän kukinta käynnistyi maaliskuun viime päivinä. Siitepölykauden huippu oli 3.4., jolloin ilmassa oli keskimäärin 440 lepän siitepölyhiukkasta kuutiometrissä. Viimeiset suuret pitoisuudet (yli 100 sp/m³) mitattiin huhtikuun puolivälin paikkeilla.

Vuonna 2009 kahdesta edellisvuodesta poiketen maaliskuussa ei juuri havaittu lepän siitepölyjä. Vähäisiä kaukokulkeumia todettiin vasta huhtikuun alkupäivinä. Maan lounaisosista saapunut siitepöly nosti vuorokausipitoisuuden suureksi ensimmäisen kerran 10.4. Paikallinen lepän kukinta alkoi huhtikuun puolivälissä peräti kuukautta myöhemmin kuin kahtena edellisellä vuotena. Siitepölykauden huippu oli vasta 26.4., jolloin ilmassa oli keskimäärin 570 siitepölyhiukkasta kuutiometrissä. Viimeiset suuret vuorokausipitoisuudet, joissa useimmat leppäalergikot oireilevat, ajoittuivat huhtikuun lopulle.

4.2. Koivun kukinta

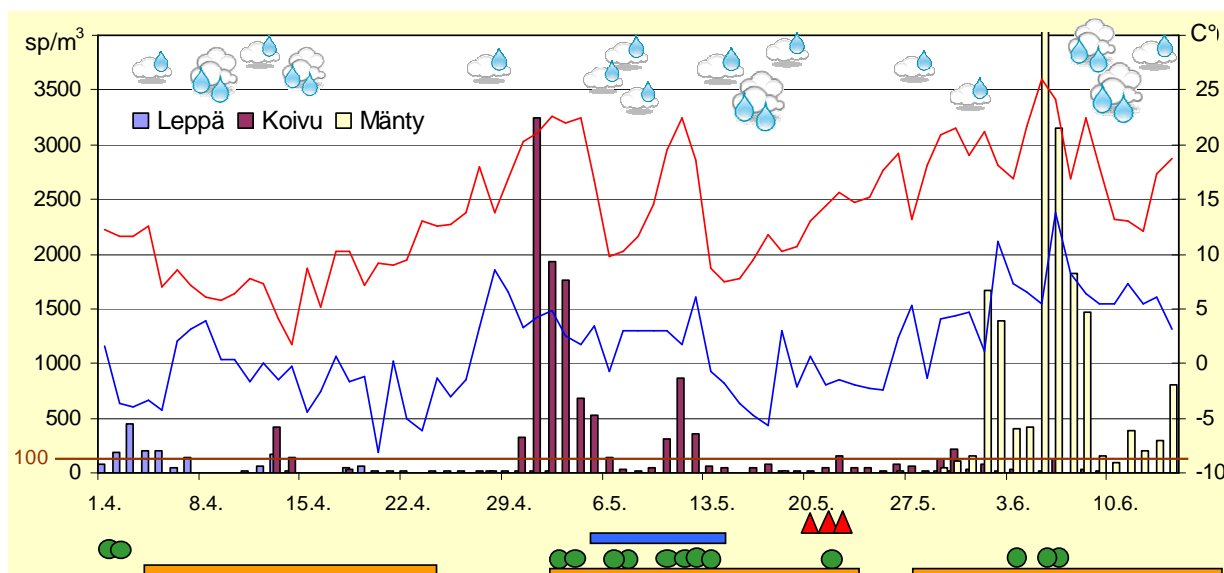
Koivut siitepölykaudet olivat lepän tavoin vaisuja. Vuonna 2008 keräysnauhoille kertyi vain kolmannes keskivertovuoden määrästä ja vuonna 2009 päästiin lähelle keskiarvoja. Siitepölyä oli runsaasti 13 päivänä vuonna 2008 ja 23 päivänä vuonna 2009.

Vuonna 2008 ensimmäiset koivun siitepölyt havaittiin jo 13.–14.4., jolloin Kaakkois-Suomeen kaukokulkeutui suuria määriä siitepölyä. Maakunnan koivut heräsivät kukkimaan Vapun lämpöaallon myötä. Siitepölykauden huippupäivä oli heti toukokuun alussa, helatorstaina ilmassa oli keskimäärin 3 200 koivun siitepölyhiukkasta kuutiometrissä. Toinen vähäisempi huippu ajoittui toukokuun puolivälin alle, jolloin pitoisuudet kohosivat joihinkin satoihin hiukksiin ilmakuutiossa. Viimeiset suuret pitoisuudet mitattiin toukokuun viimeisinä päivinä, mutta se oli pääosin tuulten mukana pohjoisesta kaukokulkeutunutta siitepölyä.

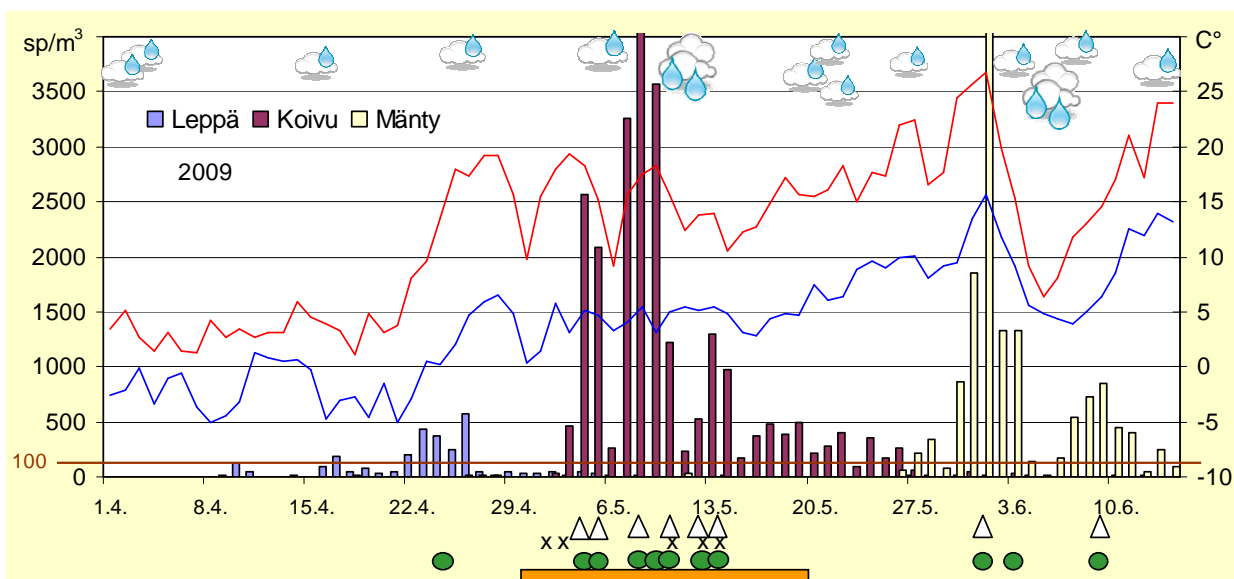
Vuonna 2009 siitepölykausi oli kahta edellistä pahempi, vaikka alkoikin niitä myöhemmin. Huhtikuun alkupuolella ei tänä vuonna havaittu lainkaan koivun siitepölyä, sillä tuulten mukana tulleet kaukokulkeumat puuttuivat tyystin. Sen sijaan paikallinen kukinta alkoi melko tarkasti aikataulussaan, sillä ensimmäiset hiukkaset havaittiin 25.4. Myös siitepölykauden huippu osui kohdalleen, kun Äitienpäivän alla 8.5. ilmassa oli keskimäärin lähes 7 000 koivun siitepölyhiukkasta kuutiometrissä. Viimeiset suuret pitoisuudet mitattiin toukokuun 26. päivänä.

4.3. Männyn kukinta

Männyn kukinta oli vuosina 2008 ja 2009 lähellä keskiarvoja. Siitepölypitoisuus nousi yli tuhan-teen hiukkaseen ilmakehässä 4–6 päivänä. Sadan ja tuhaten hiukkasen välillä pitoisuus oli 12–13 päivänä. Kesäkuun ensimmäisenä päivänä vuonna 2009 mitattiin 8 900 sp/m³, joka on Kaakkois-Suomen ennätys. Siitepölykaudet, mittaukset, sadejaksot ja vuorokauden lämpötilat (Ilmatieteenlaitos 2008 ja 2009) on koottu kuviin 5 ja 6.



Kuva 5. Vuoden 2008 siitepölymääriä (pylväät), vuorokauden maksimi- ja minimilämpötilat (käyrät), sadejaksot sekä siitepölyjen mittauspäivät vuonna 2008 (sisäilma = ympyrät, laskeumat = alempi palkki, päiväkodin siitepölyt = ylempi palkki, lattiapöly = kolmiot).



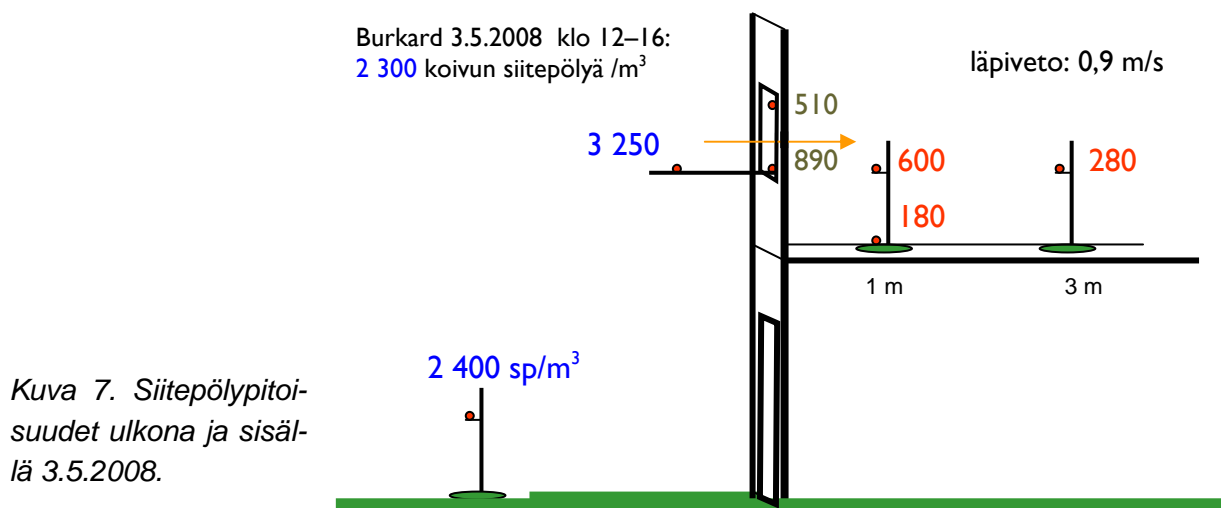
Kuva 6. Vuoden 2009 siitepölymääriä (pylväät), vuorokauden maksimi- ja minimilämpötilat (käyrät), sadejaksot sekä siitepölyjen mittauspäivät (sisäilma = ympyrät, laskeumat = palkki, koiranturkki = rastit, vaatteet = kolmiot).

5. Tulokset

5.1. Ilmavirta tuo siitepölyä sisälle

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa mitattiin kuinka paljon siitepölyä tulee sisälle, kun ilma pääsee vapaasti virtaamaan tuuletusikkunassa tai ulko-ovessa. Siitepölyä tuli helposti sisälle ilmavirran mukana, sillä lähes jokaisesta sisänäytteestä löytyi siitepölyä. Sisäilmasta havaittiin keskimäärin 24 % ulkona mitatusta siitepölypitoisuudesta, mutta määrä vaihteli paljon etäisyyden ja olosuhteiden mukaan. Pitoisuus oli sisällä sitä suurempi mitä runsaammin siitepölyä oli ulkoilmassa ja mitä voimakkaammin ilmaa virtasi sisälle.

Kun ulkoilman pitoisuus oli pieni, silloin myös sisällä havaittiin vähän siitepölyä. Ulkopitoisuuden nousu vaikutti suoraan sisälle tulevan siitepölyn määrään ja pahimmillaan avoimesta ikkunasta tai ulko-ovesta sisälle leijuu hyvin runsaasti siitepölyä. Kun koivun siitepölypitoisuus ulkona oli suurimmillaan $3\,250\text{ sp/m}^3$ (3.5.), samaan aikaan sisällä mitattiin 600 siitepölyhiukkasta ilmakehiössä (kuva 7). Luku ylittää kuusinkertaisesti siitepölytiedotuksessa käytetyn suuren pitoisuuden rajan (100 sp/m^3), jolloin useimmat koivuallergiset voivat saada oireita. Luku olisi voinut olla vieläkin suurempi, sillä saman vuorokauden pitoisuus Rauhan mittauspisteellä oli "vain" $1\,760\text{ sp/m}^3$. Useimpina vuosina tämä ylitetään moninkertaisesti, sillä suurimmat vuorokausikeskiarvot ovat yli $10\,000\text{ sp/m}^3$. Kevään 2008 koivun heikon kukinnan vuoksi suurimmat pitoisuudet mitattiin mäntykaudella, jolloin ikkunan ulkopuolella huippupitoisuus oli $5\,080\text{ sp/m}^3$ ja huoneen sisällä lähes $2\,000\text{ sp/m}^3$. Keväällä 2009 voimakkaassa sisälle virtauksessa siitepölyä tuli sisälle vielä enemmän. Koivun siitepölymäärä sisällä oli suurimmillaan $1\,400\text{ sp/m}^3$ ja männyn $2\,600\text{ sp/m}^3$.

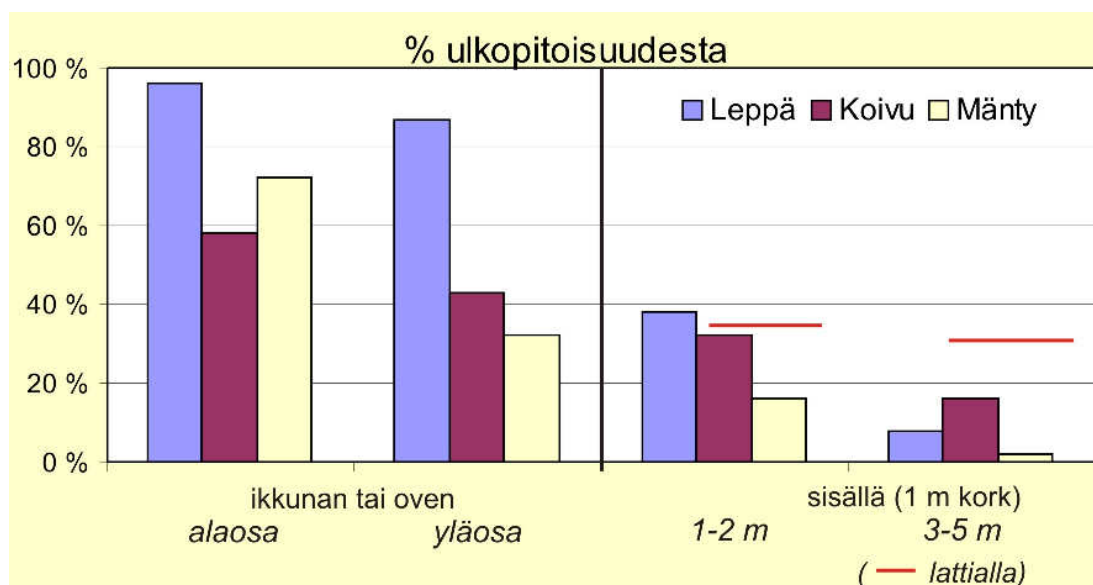


Tuuletusikkunan tai oven alaosassa sisälle virtaavassa ilmassa siitepölyä havaittiin keskimäärin 69 % ja aukon yläosassa 50 % verrattuna tuuletusaukon ulkopuolella mitattuun pitoisuudesta. Lepän hiukkasia (91 %) oli tuuletusaukossa enemmän kuin koivua (51 %) ja mäntyä (52 %). Tämä voi johtua ulko- (10 °C) ja sisäilman (21 °C) noin kymmenen asteen lämpötilaerosta, joka aiheutti ilman pyörteilyä tuuletusaukossa vaikka virtaus oli mittarin mukaan vähäistä. Männyn (18 °C) ja koivun (16 °C) mittauksissa ulko- ja sisäilman lämpöero oli $3\text{--}6\text{ °C}$.

Männyn siitepölyhiukkasten suuri koko näkyi leppää ja koivua suurempina pitoisuuseroina tuuletusaukon ylä- ja alaosan välillä. Männyn hiukkaset leijuivat todennäköisesti suoraviivai-

semmin sisälle kuin pienemmät leppä ja koivun siitepölyt. Erityisesti ero näkyi oviaukon mitauksissa, jossa männyn siitepölyä oli alaosassa 80 % ja yläosassa vain 1 % ulkopitoisuudesta. Myös koivulla suurin ero tuuletusaukon ylä- ja alaosan välillä mitattiin ovelta.

Sisäilman siitepölymäärä väheni etäisyyden kasvaessa tuuletusaukosta (kuva 8). Tuuletusaukkoa lähimmässä mittauspaikassa (1–2 m) siitepölyä oli keskimäärin 30 % ulkopitoisuudesta ja kauempana huoneen sisällä 20 % (3–5 m). Pitoisuuksina ilmaistuna lähellä tuuletusaukkoa oli mitauksissa keskimäärin 182 sp/m³ ja kauempana 82 sp/m³. Erikokoisten ikkunoiden ja oven välillä ei juuri ollut eroja siitepölymäärissä, mutta oletettavasti suuresta aukosta tulee sisälle enemmän ilmaa ja samalla myös enemmän siitepölyä.



Kuva 8. Siitepölymäärät ikkunan tai oven ala- ja yläosassa sekä sisällä huoneessa verrattuna ulkopitoisuuteen.

Sisä- ja ulkopitoisuuden suhde pieneni hiukan ulkopitoisuuden kasvaessa, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Kun ulkona oli alle 100 sp/m³, lähimmässä mittauspaikassa (1–2 m) siitepölyä oli keskimäärin 38 % ulkopitoisuudesta. Ulkopitoisuuden noustessa 100–500 hiukkasen välille sisällä oli 31 % ja yli 500 hiukkasen pitoisuudessa 23 %. Vastaavasti kauempana sisällä (3–5 m) suhdeluku pysyi 23 %:ssa alle 500 sp/m³ ja laski 14 % yli 500 sp/m³ pitoisuudessa.

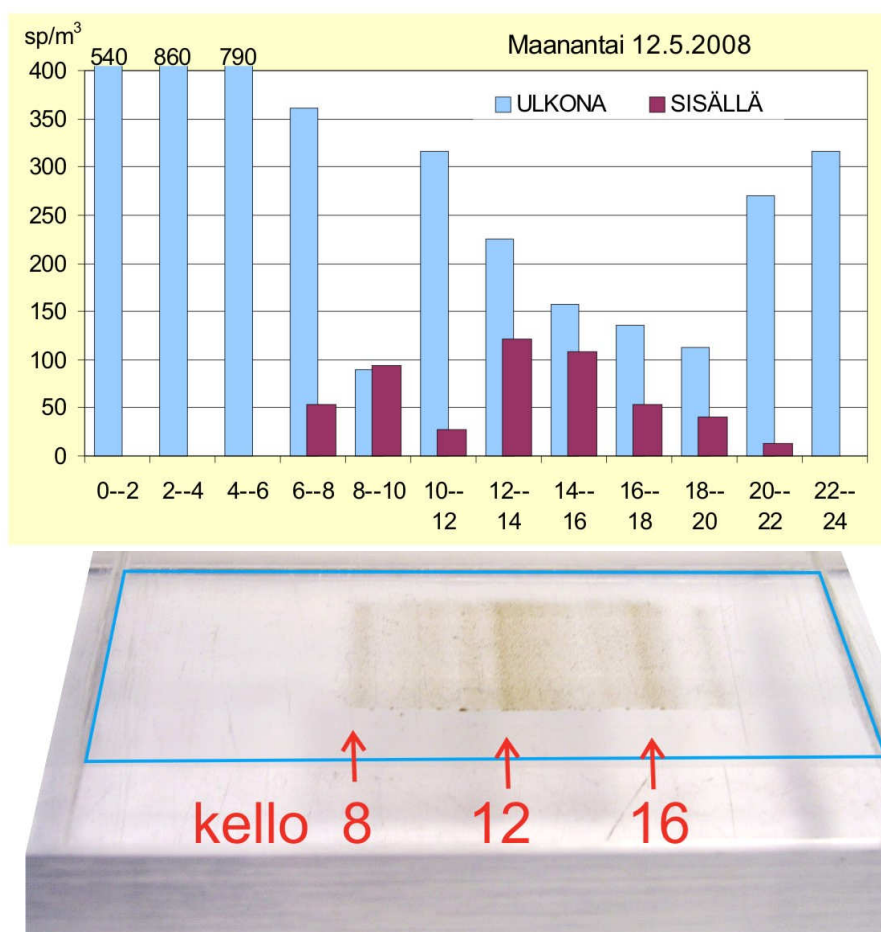
Ilmavirtauksen voimistuminen lisäsi sisälle tulevan siitepölyn määrää (Spearmanin korrelaatiokerroin 0,465, $p < 0.001$). Voimakkaassa ilmavirtauksessa ($>0,35$ m/s) huoneiden sisältä löytyi siitepölyä 30 % ulkopitoisuudesta kun heikossa virtauksessa ($\leq 0,35$ m/s) määrä oli 17 %. Selvin ero oli alakerrassa 3–5 metrin etäisyydellä ovesta, jossa metrin korkeudella heikossa virtauksessa oli 6 % ja voimakkaassa virtauksessa 39 % ulkopitoisuudesta ($p < 0.05$). Lattiatasolla molemmissa virtauksissa oli noin 60 % ulkopitoisuudesta. Useimmat voimakkaat ilmanvirtaukset mitattiin, kun huoneessa oli kaksi ikkunaa tai ovea auki. Siksi läpivedossa sisäilman siitepölypitoisuus oli usein suurempi (0,384, $p < 0.01$) kuin vedottomassa huoneessa.

Siitepölyhiukkaset putoavat alas ilmanvirtauksen heikentyessä. 1–2 metrin etäisyydellä lattian tasolla siitepölyä oli yli kaksinkertainen määrä kuin samassa paikassa metrin korkeudella (Wilcoxonin testi, 6 parin vertailu $p = 0.753$). Ero korostui kauempana tuuletusaukosta, sillä 3–5 metrin etäisyydellä lattian tasolla oli lähes seitsemän kertaa enemmän hiukkasia kuin metrin korkeudella (17 paria, $p = 0.044$).

5.1.1. Päiväkodin pukeutumistiloissa kohtalainen pitoisuus

Tainionkosken päiväkodin pukeutumishuoneessa ei ollut tuuletusikkunaa, vaan ilma tulee sisälle ulkoilmaventtiileistä ja ulko-ovesta kuljettaessa. Sisällä koivun siitepölyä havaittiin päivittäin melko tasaisesti koko mittausjakson ajan (5.5.–14.5.2008), vaikka ulkoilman pitoisuus vaihteli paljon. Arkipäivinä sisäilman vuorokausikeskiarvo oli 19–43 sp/m³ eli pitoisuus oli kohtalainen. Samaan aikaan siitepölypitoisuus ulkona vaihteli 9–350 sp/m³. Sisällä oli alimmillaan noin 10 % ulkopitoisuudesta. Kun ulkoilmassa oli vähän siitepölyä (8.5.= 9 sp/m³), sisällä pitoisuus (25 sp/m³) oli jopa suurempi kuin ulkona. Vaikka viikonloppuna päiväkodissa ei ollut toimintaa, ilmanvaihto toi sisälle vähäisiä määriä siitepölyä (8 ja 15 sp/m³).

Arkipäivinä liike piti ilmavirran ja siitepölyt liikkeessä. Sisällä siitepölymäärässä oli selvä vuorokausivaihtelu, joka näkyi jo paljain silmin keräysnauhalle kertyneen pölyn ja hiukkasten värjäämistä raidoista (kuva 9). Myös siitepölyä havaittiin runsaimmin heti keskipäivän jälkeen, vaikka suuri osa nauhalla näkyvästä väristä oli muita hiukkasia. Päivän aikana (klo 6–18) havaittiin 82 % kaikista siitepölyhiukkasista. Hetkellinen siitepölypitoisuus ylitti runsaan rajan kolmesti, torstaina 8.5. kello 12–14 (148 sp/m³) ja maanantaina 12.5. kello 12–14 (121 sp/m³) sekä 14–16 (108 sp/m³).



Kuva 9. Päiväkodin pukeutumishuoneessa siitepölyisin päivä oli 12.5.2008. Runsaimmin siitepölyä oli huoneilmassa puolenpäivän jälkeen (yläkuva), jolloin myös muita hiukkasia tarttui eniten keräimen nauhalle (alakuva).

5.2. Läpiveto vie siitepölyn huoneen perälle

Ilmavirtauksen voimakkuus tuuletusikkunassa vaikutti sisälle tulevaan siitepölymäärään, mutta myös hiukkasten leviämiseen huoneen sisällä. Huoneeseen asennetussa keräinverkostossa pitoisuus pieneni tuuletusikkunasta kauemmaksi sisälle siirryttäessä ja ilmavirtauksen vähentyessä.

Mittausten aikana ulkopitoisuus oli keskimäärin 590 sp/m^3 ja ikkuna-aukossa 210 sp/m^3 . Siitepölymäärä väheni etäisyyden kasvaessa. Lähellä ikkunaa oli seitsemänkertainen määrä siitepölyä verrattuna huoneen perällä mitattuun. Metrin etäisyydellä ikkunasta mitattiin keskimäärin 130 sp/m^3 ja kolmen metrin päässä 70 sp/m^3 . Pahimmillaan myös huoneen keskellä oli lähes 100 sp/m^3 .

Siitepölyä tuli runsaimmin sisälle kun ikkunassa oli voimakas ilmavirtaus. Lähellä ikkunaa oli läpivedossa keskimäärin 35 % ja vedottomassa huoneessa 2 % ulkona mitatusta. Huoneen perällä vastaava luku oli läpivedossa 11 % ja vedottomassa huoneessa 0,4 %. Läpivedossa sisällä oli keskimäärin 92 sp/m^3 ja vedottomassa huoneessa $8,2 \text{ sp/m}^3$.

Männyn kukkiessa mitatut pitoisuudet tiivistivät hyvin tärkeimmät havainnot siitepölyjen kulkeutumisessa ilmavirran mukana sisälle (kuva 10). Mittaukset ovat keskenään vertailukelpoisia, koska kaikissa ulkopitoisuudet olivat $1\ 000$ – $1\ 500 \text{ sp/m}^3$ välillä. Kun ulkona oli runsaasti siitepölyä, voimakkaassa läpivedossa myös sisällä mitattiin suuria, yli 500 sp/m^3 pitoisuuksia. Läpivedossa pitoisuus metrin korkeudella väheni ikkunan lähellä mitatusta 33 % huoneen taakasan 3 % kun taas vedottomassa huoneessa hiukkasmäärä pysyi myös lähellä ikkunaa alle 1 % ulkopitoisuudesta. Yhtä mittausta paikkaa lukuun ottamatta siitepölyhiukkasia oli lattian tasossa enemmän kuin metrin korkeudella. Silti vedottomassa huoneessa havaittiin lattian tasolakin enimmillään vain 4 % ulkopitoisuudesta.



Kuva 10. Männyn siitepölymäärät ulko- ja sisäilmassa 3.6. ja 6.6.2008. Vasemmalla mitattiin vedottomassa huoneessa ja oikealla kahden ikkunan läpivedossa.

5.3. Tuuletusikkunan esteet:

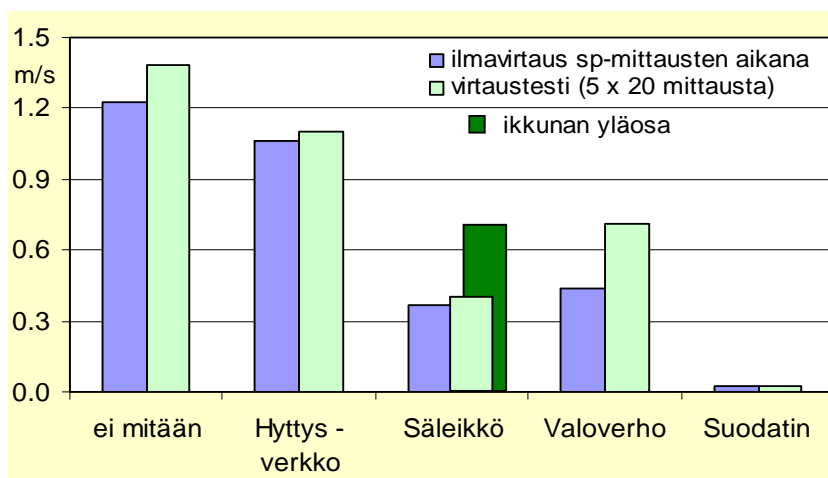
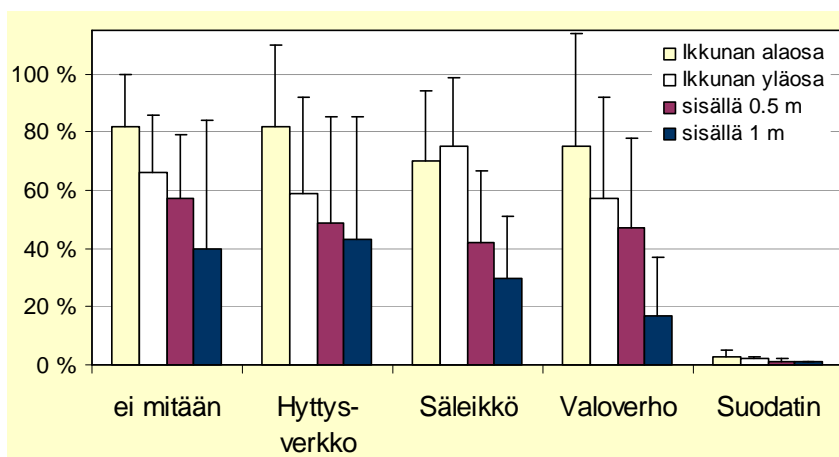
vähemmän hiukkasia läpi vai heikompi ilmanvaihto?

Tuuletusikkunan hyttysverkot ja säleiköt eivät juuri vaikuttaneet siitepölyn sisällepääsyyn. Selvästi tiheämpi valoverho (reiät 0,2 mm) vähensi hiukkasten määrää, koska kangas heikensi ilmavirtausta ikkunassa. Suodatin pysäytti hiukkaset ja lähes ilmavirtauksenkin.

Esteettömän ikkunan alaosassa sekä samassa paikassa hyttysverkon, säleikön ja valoverhon sisäpuolella mitattiin lähes sama määrä koivun siitepölyä (70–82 %). Ainoastaan suodattimen varustetusta ikkunasta siitepölyä havaittiin vähän (3 %). Todennäköisesti siitepöly ei kuitenkaan tullut suodattimen läpi, vaan suodatinkehyyksen raosta tai siitepöly oli jo valmiiksi ikkunan sisäpuolella.

Suodattimella varustettua ikkunaa lukuun ottamatta mittaussarjat olivat myös kokonaisuudessaan samankaltaisia (kuva 11). Suodatinikkunaa lukuun ottamatta mittauspaikoissa ei ikkunoiden välillä ollut merkittäviä eroja (Anova + Duncanin post hoc testi). Säleikkö poikkesi hiukan muista ohjaamalla tuloilmaa ja siitepölyä enemmän ikkunan yläosaan ja valoverhoikkunassa siitepölymäärä oli hieman muita pienempi metrin etäisyydellä ikkunasta. Suodattimella varustettu ikkuna erosi esteettömästä ja hyttysverkkoikkunasta kaikilla etäisyyksillä ($p < 0.05$) ja säleikkö- ja valoverhoikkunastakin lukuun ottamatta metrin etäisyyttä.

Valoverho ei estänyt siitepölyn sisällepääsyä, sillä siitepölyt ovat huomattavasti pienempiä kuin kankaan reiät. Koivun siitepölyhiukkanen on kooltaan 0,025 mm eli yhteen kankaan reikään mahtuu samanaikaisesti noin 60 koivun siitepölyhiukkasta. Siitepölyä tuli kuitenkin vähemmän sisälle, koska tiheä kangas heikensi ilmavirtausta. Esteettömässä ikkunassa ilma virtasi keskimäärin metrin sekunnissa, kun valoverhon läpi virtaus laski 0,4 metriin sekunnissa. Suodatinhuopa pysäytti siitepölyt ja samalla myös ilmavirtauksen. Kahden senttimetrin paksuisen huovan läpi kulkeva ilma sai vain harvoin tuulimittarin pyörimään, joten keskimääräinen virtausnopeus jäi 0,02 metriin sekunnissa.



Kuva 11. Siitepölymäärät verrattuna ulkopitoisuuteen (yläkuva) ja ilmavirtaus esteettömässä ja erilaisilla verkoilla ja kankailla varustetussa ikkunassa (alakuva). Säleikön testissä virtaus mitattiin sekä ikkunan ala- että yläosassa.

Vaikka männyn siitepöly on kolme kertaa suurempi kuin koivun, tulokset olivat kuitenkin lähes samat. Erot tuuletusikkunan esteiden välillä olivat yleensä jopa hiukan pienemmät kuin koivulla. Esimerkiksi metrin etäisyydellä ikkunasta siitepölymäärä vaihteli 16–28 % ulkopitoisuudesta kun koivumittauksissa luvut olivat 11–46 %. Metrin etäisyydellä suodatinikkunasta koivun ja männyn siitepölyä oli 1 % ulkopitoisuudesta.

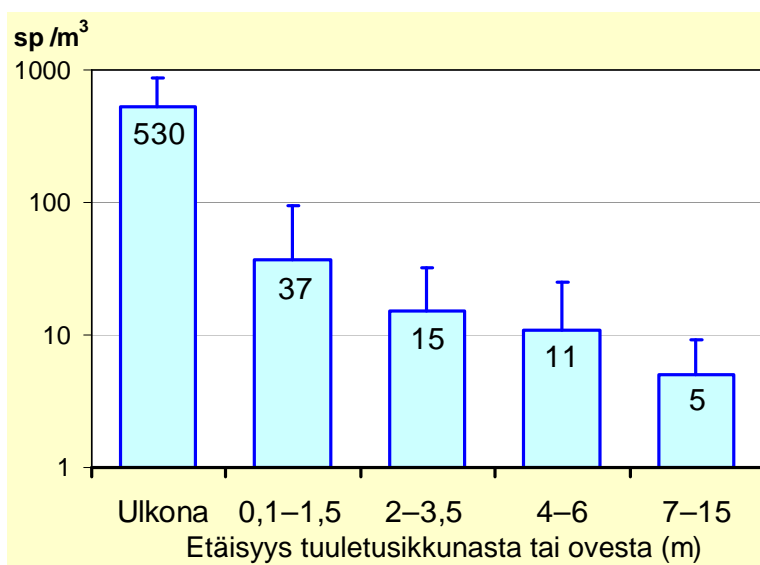
Ilmavirtaus tuuletusikkunassa oli usein voimakkaampi kuin edellisen vuoden mittauksissa. Ilmavirtauksen keskiarvo koivun kukkiessa oli 1,2 m/s kui vuonna 2008 jäätiin 0,6 m/s. Voimakkaan virtauksen takia myös siitepölyä tuli runsaasti sisälle. Koivun suurin siitepölymäärä sisällä metrin etäisyydellä ikkunasta oli 1 400 sp/m³ kun ilma virtasi sisälle 1,9 m/s ja ulkona oli 2 020 sp/m³. Männyn huippu sisällä oli 2 560 sp/m³, joka mitattiin 1,1 m/s virtauksessa ja 4 990 sp/m³ ulkopitoisuudessa.

5.4. Siitepölyä runsaimmin lähellä ulko-ovea ja tuuletusikkunoita

Asuinhuoneistojen siitepölymäärää ja keräytymispaikkoja tutkittiin lattialle ja tasolle asetettujen laskeumakeräinten avulla vuonna 2008. Asunnoissa, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto, siitepölyä löytyi yleensä runsaimmin läheltä tuuletusikkunoita ja ulko-ovea.

Siitepölyhiukkasilla oli kolme viikkoa aikaa laskeutua keräimen liimapinnalle. Leppäkaudella keräimissä oli ulkona keskimäärin 108 ja koivukaudella 590 siitepölyhiukkasta neliösentillä (sp/cm²). Sisällä määrä yleensä väheni kauemmaksi tuuletusaukosta siirryttäessä. Lepän siitepölyä oli sisällä keskimäärin 2,4 sp/cm² ja koivun kukkiessa 20 sp/cm². Asuntojen sisällä siitepölymäärä vaihteli 1–10 % ulkopitoisuudesta (keskimäärin 3,1 %).

Sisällä siitepölymäärä oli sitä suurempi mitä lähempänä tuuletusikkunaa tai ovea keräin sijaitsi (kuva 12). Poikkeuksia sääntöön aiheuttivat keräyskorkeus ja ilmaa ohjaavat rakenteet sekä ilmavirtaukset. Keräyskorkeutta tutkittiin 16 keräinparilla, joista toinen keräin oli lattialla ja toinen 0,4–1 metriä sen yläpuolella. Siitepölyä oli lattialla 1,8 kertaa enemmän kuin yläpuolella (Wilcoxonin testi, parivertailu p=0.003). Lähekkäisissäkin keräimissä siitepölymäärät saattoivat olla selvästi erilaisia, jos välissä oli ilmavirtaa suuntaavia esteitä. Toisaalta keskellä huonetta voi olla runsaasti siitepölyä, jos keräin sijoitettiin ilmavirtauksen reitille. Esimerkiksi Lappeenrannassa makuuhuoneen ikkunan ja olohuoneen parvekeoven läpivedossa siitepölyä kertyi runsaasti huoneita yhdistävään käytävään (kuva 13). Muualla huoneistossa siitepölyä oli enemmän vain alle metrin etäisyydellä tuuletusikkunasta ja parvekkeen ovesta.

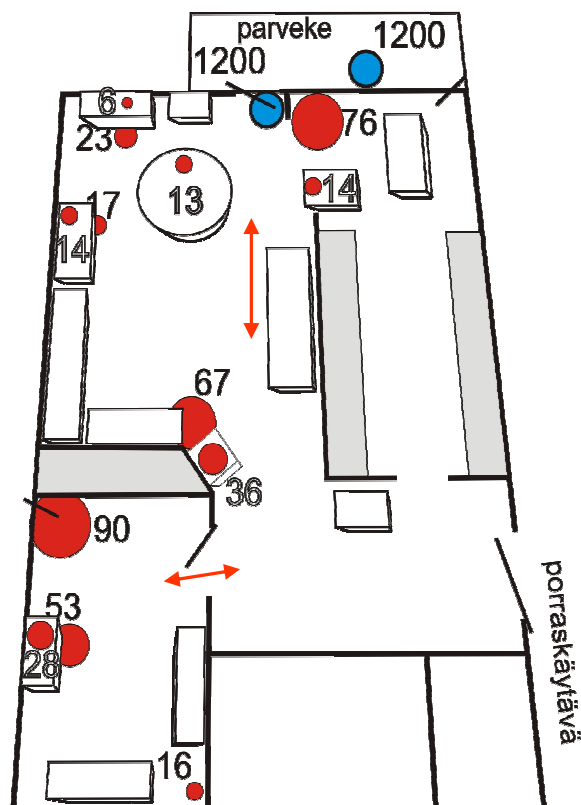


Kuva 12. Siitepölylaskeumat ulkona ja sisällä.

Siitepölylaskeumia on vaikea vertailla huoneistojen välillä, koska arkkitehtuuri, sisustus ja asukkaiden toiminta olivat erilaisia. Siitepölymääristä voi päätellä mitä kautta siitepölyt ovat tulleet sisälle. Asunnoissa, joissa tuuletetaan vähän, siitepölyä oli runsaimmin lähellä ulko-ovea ja siitepölyä oli kaikkiaan sisällä keskimääräistä vähemmän. Runsaimmin siitepölyä oli asunnoissa, joissa on tapana pitää ikkunoita tai parvekkeen ovea auki. Suurin määrä mitattiin Lappeenrannassa, jossa 20 cm päässä parvekkeen ovesta sijainneessa keräimessä oli 1 200 sp/cm² (kuva 13). Luku on lähes viisi kertaa suurempi kuin toiseksi suurin arvo (ei mukana keskiarvoissa). Aurinkoisessa etelään suuntautuvassa huoneistossa parvekkeen ovea pidettiin useasti auki ja lisäksi oviaukon verho ohjasi siitepölyä suoraan keräimeen.

Instituutin rakennuksessa laskeumakeräimiä oli myös männyn kukintakaudella. Männyn tuottavat runsaasti siitepölyä ja se näkyi myös laskeumanäytteissä. Ulkona parvekkeella männyn siitepölyä oli 5 100 sp/cm², kun koivun kukkiessa vain yhdessä paikassa Lappeenrannassa ja Imatralla päästiin yli 1 000 sp/cm². Sisälle lepän, koivun ja männyn siitepölyä tuli lähes samassa suhteessa. Samoilla paikoilla sijainneisiin keräimiin lepän siitepölyä tuli 6,2 % (6,2 sp/cm²), koivun 6,6 % (43 sp/cm²) ja männyn 5,4 % (277 sp/cm²) ulkona mitatusta.

Kuva 13. Siitepölylaskeumia (hiukkasia /cm²) kerrostaloasunnossa, jossa parvekke-ovea (ylhäällä) ja makuuhuoneen ikkunaa (vasemmalla seinässä) pidetään usein auki. Runsaimmin siitepölyä on lähellä tuuletusaukkoja sekä ilmapirran reitillä. Lattiala pölyä on enemmän kuin tasoilla.



5.4.1. Siivous kannattaa

Lattiapölyn hetkellistä siitepölypitoisuutta tutkittiin kolmesta asunnosta suodatinpaperille imuroiduista näytteistä. Erilaisen keräysjakson ja menetelmän takia siitepölyä havaittiin huomattavasti vähemmän kuin laskeumissa. Kolmen viikon laskeumatutkimuksen aikana huoneita siivottiin normaalisti, jolloin lattiapölyn siitepölymäärä pieneni mutta laskeumakeräimissä hiukkasmäärä kasvoi koko ajan.

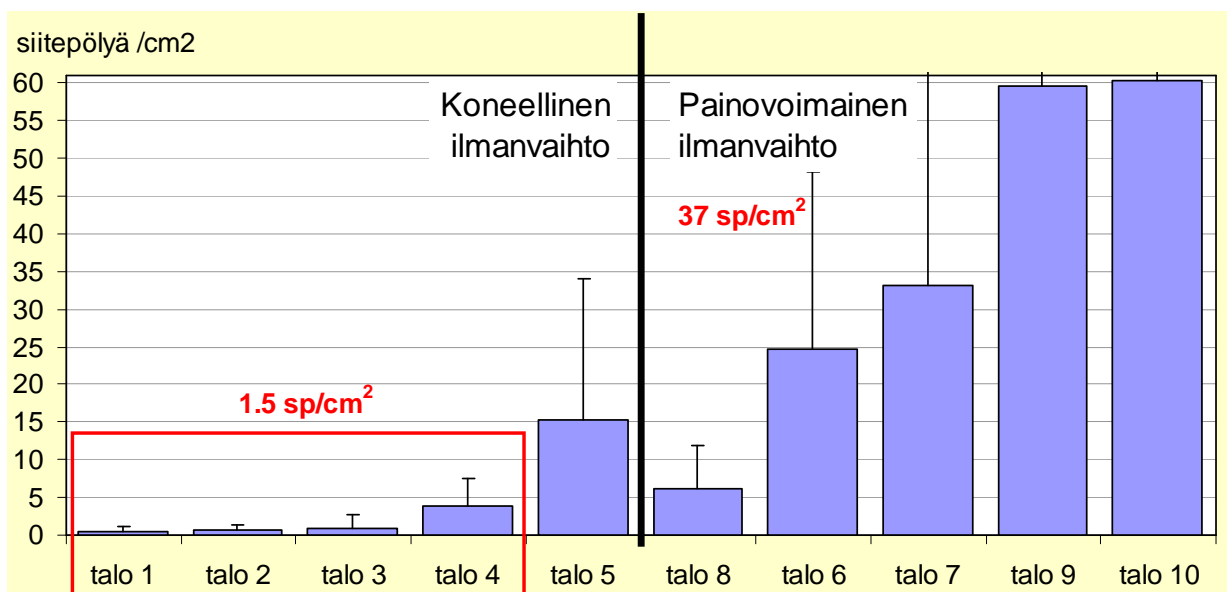
Suurin pitoisuus imuroitiin parvekkeen matolta (17 sp/cm²), jossa siitepölyä oli vain murtoosa samassa paikassa laskeumakeräimellä mitatusta (1 200 sp/cm²). Sisätiloissa lattialla oli alle yksi siitepölyhiukkanen neliösenttimetrillä. Koivun siitepölyä laskettiin sisältä keskimäärin 0,17 sp/cm² ja pölyisimmästä eteisestä 0,36 sp/cm². Parvekkeen ja eteisen pölynäytteet asetettiin samaan suuruusjärjestykseen kuin laskeumat. Olohuoneista siitepölyä oli odotettua vähemmän asunnossa, jossa oli imuroitu vain joitakin tunteja ennen pölynäytteenottoa.

5.5. Koneellinen ilmanvaihto vähentää sisäilman siitepölymäärää

Koneellisen ilmanvaihdon merkitystä sisätilojen siitepölylaskeumaan tutkittiin koivun kukintakaudella 2009. Vaikka vertailussa oli vain kymmenen huoneistoa, joissa viidessä oli koneellinen ja viidessä painovoimainen ilmanvaihto, tulos oli selvä. Ilmanvaihtokoneiden suodattimet poistivat tehokkaasti tuloilman siitepölyjä.

Siitepölyä oli koneellisesti ilmastoiduissa tiloissa keskimäärin $1,5 \text{ sp/cm}^2$, kun samaan aikaan painovoimaisen ilmanvaihdon taloissa keräimiin päätyi 37 sp/cm^2 (Mann-Whitneyn U-testi: $p=0.016$). Huoneistojen 10 keräimestä laskuista on jätetty pois lähimpänä ulko-ovea ja tuuletusikkunaa olleet keräimet, joissa painovoimaisen ilmanvaihdon taloissa hiukkasmäärä nousi useisiin satoihin hiukkasiin neliösentillä. Lisäksi keskiarvosta on poistettu suurimman siitepölymäärän saanut koneellisesti ilmastoitu huoneisto (kuvassa 14 talo 5), koska ainakin yhdessä huoneessa oli pidetty ikkunaa auki.

Pienin siitepölymäärä painovoimaisen ilmanvaihdon taloista oli Instituutin rakennuksessa, jossa mittausaikana oli vähän toimintaa eikä ikkunoita pidetty auki. Suurin siitepölymäärä oli ulko-ovella, jossa keräimeen kertyi 760 sp/cm^2 . Vuosien väliset erot koivun kukinnassa vaikuttivat myös sisällä havaittuun siitepölymäärään. Samoilta paikoilta asetettuihin laskeumakeräimiin kertyi keskimääräisellä kukintakaudella 2009 noin kolminkertainen määrä siitepölyä verrattuna heikkoon kukintavuoteen 2008. Esimerkiksi vuonna 2008 Instituutin ovella siitepölyä oli vain $170 \text{ hiukkasta /cm}^2$.



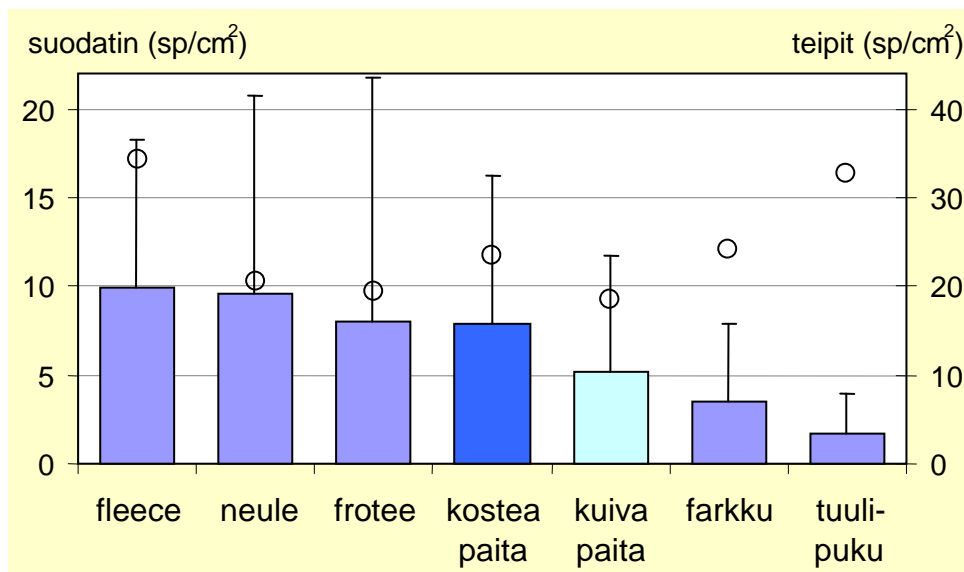
Kuva 14. Siitepölylaskeumat taloissa, joissa oli joko koneellinen tai painovoimainen ilmanvaihto. Koneellisesti ilmastoidussa talossa 5 oli muita suurempi siitepölymäärä, koska ainakin yhdessä mittaushuoneessa oli pidetty ikkunoita auki. Poikkeavan pieni siitepölymäärä painovoimaisen ilmanvaihdon talossa 8 oli Instituutin rakennuksessa, jossa mittausjaksolla ikkunoita ei pidetty auki ja osa keräimistä oli salissa, jossa oli vähän toimintaa.

5.6. Siitepöly tarttuu vaatteisiin

Siitepölyä leijuu helposti sisälle ilmvirran mukana, mutta hiukkasia kulkeutuu myös vaatteiden mukana. Koivun siitepölyn tarttumista tutkittiin pihalle 3–5 tunnin ajaksi ripustetuista paidoista, takeista ja pyyhkeistä.

Teippinäytteiden perusteella vaatteiden päälle oli laskeutunut keskimäärin 26 siitepölyhiukkasta neliösentille. Laajemmalta alueelta imuroimalla hiukkasluku putosi seitsemään hiukkaseen neliösentillä, jonka mukaan hartioilla oli kaikkiaan 10 000 siitepölyhiukkasta. Vaatteista imuroitu siitepölymäärä vaihteli ulkoilman siitepölypitoisuuden mukaan 0,3–20,5 sp/cm². Suurin siitepölymäärä 40,2 hiukkasta /cm² imuroitiin froteepyyhkeestä 1.6.2009, jolloin männyn siitepölyä oli ilmassa ennätyselliset 8 900 hiukkasta/m³.

Myös kangaslaatu vaikutti siitepölyn määrään (kuva 15). Runsaimmin siitepölyä oli hyvän tarttumapinnan omaavissa neule- ja fleeecepaidassa ja vähiten sileässä farkku- ja tuulipukunkankaassa. Kostutetussa paidassa oli yleensä enemmän siitepölyä kuin kuivassa, mutta erot ryhmien välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Teippinäytteiden perusteella kankaat asetuivat eri järjestykseen. Kiiltäväpintaisista vaatteista oli enemmän siitepölyä, koska teippi todennäköisesti painautui paremmin tasaista pintaa vasten ja irrotti siitä enemmän hiukkasia kuin huokoisemmasta kankaasta, jossa hiukkaset olivat uponneet syvemmälle.



Kuva 15. Erilaisista kankaista imuroituja siitepölymääriä. Vaatteita tuuletettiin touko-kesäkuussa ulkona 3–5 tuntia. Pylväät ovat imuroinnin tulosta ja pallot teippinäytteiden.



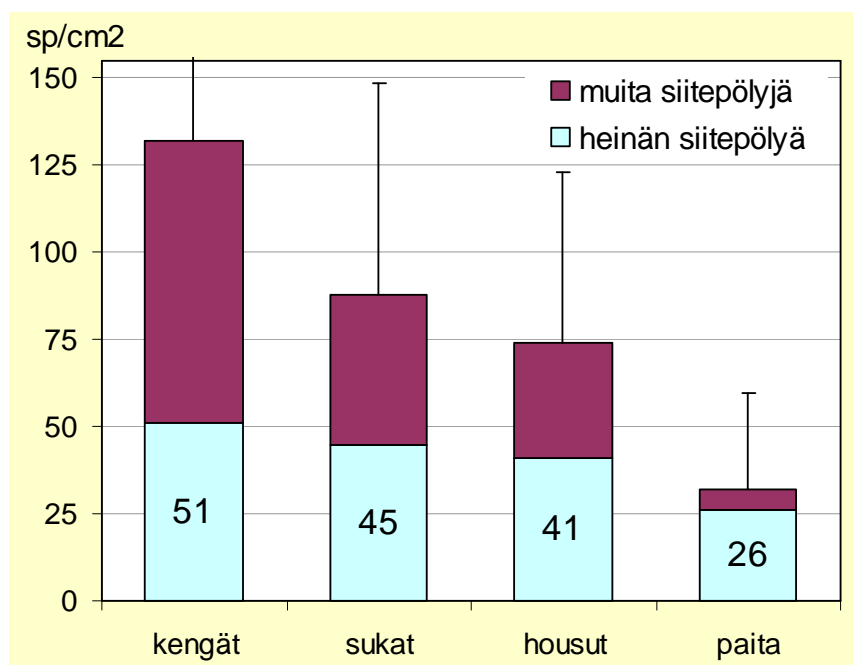
5.6.1. Heinän siitepölyä ulkoilijan lahkeissa

Siitepölyjen kulkeutumista ihmisten mukana tutkittiin kesä-heinäkuun vaihteessa vuonna 2008 ottamalla vaatteista siitepölynäytteitä puolen kilometrin maastolenkin jälkeen. Suoraan kukista vaatteisiin tarttui enemmän siitepölyä kuin ilmasta.

Heinäkuun alussa niityllä kävelyn jälkeen heinän siitepölyä oli vaatteissa keskimäärin 41 hiukkasta neliösentillä. Runsaimmin hiukkasia oli kengissä, sukan varsissa ja housuissa ja vähiten paidassa, johon heinän kukinnot eivät ulottuneet (kuva 16). Paidassa oli kuitenkin saman verran siitepölyä kuin keväällä tuuletetuissa vaatteissa.

Niityn ja metsäisen joutomaan kasvillisuuden erot näkyivät vaatteista löytyneistä siitepölyistä. Niityllä kävelyn jälkeen vaatteista löytyi niittykasvien kuten suolaheinien, mataroiden (*Galium*), kellojen (*Campanula*), ja kohokkikasvien (*Caryophyllaceae*) pölyä. Metsäisemmän reitin jäljiltä vaatteissa oli runsaasti nokkosen siitepölyä. Molemmissa paikoissa oli sarjakukkaisten, todennäköisesti koiranputken (*Anthriscus sylvestris*) siitepölyä. Matalien niittykasvien siitepölyä ei löytynyt paidasta ja toisaalta korkeamman koiranputken siitepölyä oli runsaimmin housuissa ja vähän myös paidassa. Metsäreitiltä siitepölyjä (keskiarvo 38 sp/m²) jäi vaatteisiin vähemmän kuin niityltä (68 sp/m²), jossa heiniä ja kukkakasveja oli myös enemmän.

Housun siitepölymääriä tutkittiin tarkemmin kuin muiden vaatteiden. Housujen etupuolen tasaisilla pinnoilla heinää oli (51 sp/cm²) enemmän kuin sivusaumoissa sekä polvitaipteen rypyissä (31 sp/cm²). Tämän perusteella housun lahkeissa olisi karkeasti laskien kulkenut 150 000 heinän siitepölyhiukkasta. Kopistelun jälkeen housuista otetuista näytteissä siitepölyä oli keskimäärin lähes 70 % vähemmän. Toisin sanoen kopistelemalla housuista irtosi 100 000 siitepölyhiukkasta.



Kuva 16. Siitepölymäärät niityllä ja joutomaalla kävelleen vaatteista otetuissa teippinäytteissä.

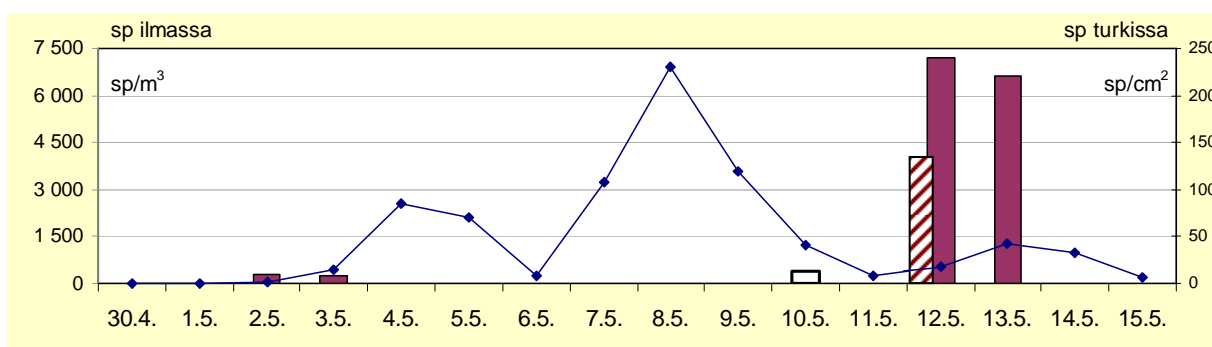
5.6.2. Siitepölyä myös koiran turkissa

Pihalla viihtyvä koira kanto selässään isoa siitepölylastia. Siitepölyä oli selvästi enemmän kuin samana päivänä ulkona tuuletetuissa vaatteissa.

Lepän kukinnan loppuessa toukokuun alussa 2009 pihakoiran turkista imuroitiin noin kymmenen siitepölyhiukkasta neliösentiltä, mutta koivun huippukauden loppupuolella siitepölyä oli peräti yli 200 hiukkasta neliösentillä (kuva 17). Samaan aikaan toukokuun 13. päivänä ulkona tuuletetuissa fleec- ja neulepaidasta imuroitiin noin 25 hiukkasta neliösentiltä. Läpi vuorokauden ulkona olleen koiran turkissa oli paljon myös muita hiukkasia ja multaa, jotka vaikeuttivat siitepölyjen tunnistamista ja laskentaa mikroskoopilla.

Sisäkoirasta imuroitiin yksi näyte toukokuussa. Puolen tunnin iltalenkin jälkeen siitepölyä laskettiin 13 hiukkasta neliösentiltä, joka sekin on enemmän kuin vaatteista keskimäärin havaittu määrä.

Heinäkuun kahtena päivänä ulkokoiran turkissa oli 15 ja 51 sp/cm², joista heinän siitepölyä oli 2–3 sp/cm².



Kuva 17. Siitepölymäärät koiran turkista (pylväät) ja ilmassa (käyrä). Ruskeat pylväät ovat tulos ulkokoiran imuroinnista ja valkoinen on sisäkoiran siitepölymäärä. Viivoitetun pylvään hiukkaset on imuroitu aamulla ulkokoirasta.



6. Pohdinta

6.1. Sisällä vaihtelevasti siitepölyä

Tuulipölytteisten kasvien siitepölyn tehtävänä on leijua ilmavirtojen mukana hedekukasta emilile ja kuljettaa sinne koiraspuolinen sukuaines käynnistämään siemenen kehitys. Jotta edes pieni osa hiukkasista toteuttaisi tehtävän, siitepölyä muodostuu valtavia määriä ja sitä kulkeutuu lähes kaikkialle, myös sisälle asuntoihin (Loublier 1998, Holmquist ym. 2001, Ishibashi ym. 2008). Siitepölyhiukkasia löytyi lähes jokaisesta SISSI-tutkimuksessa otetusta noin 500 näytteestä.

Tuuletettaessa sisälle voi pahimmillaan tulla hyvin runsaasti siitepölyä. Suurin siitepölypitoisuus sisällä oli $2\,600\text{ sp/m}^3$, joka siitepölytiedotuksessa tarkoittaisi erittäin suurta pitoisuutta. Sisälle tulevan siitepölyn määrään vaikutti ennen kaikkea ulkoilman pitoisuus ja ilmavirran voimakkuus tuuletusikkunassa. Samaan aikaan suurimman sisäpitoisuuden kanssa ulkona havaittiin $5\,000\text{ sp/m}^3$. Tulokset mitattiin männyn siitepölyllä, vaikka sen leijuntaominaisuudet eivät ole niin hyvät kuin pienemmän ja kevyemmän koivun siitepölyhiukkasen. Ilma- tai laskeumanäytteissä puulajilla ei kuitenkaan ollut merkitystä sisälle tulevan siitepölyn määrään. Suurin koivun sisäpitoisuus oli $1\,400\text{ sp/m}^3$, joka saavutettiin jo $2\,020\text{ sp/m}^3$ ulkopitoisuudessa kun hiukkasia kuljetti sisälle lähes kaksi metriä sekunnissa virrannut ilma.

Sisäilmasta havaittiin keskimäärin 24 % ulkona mitatusta siitepölypitoisuudesta. Keskiarvo ei kuitenkaan kuvaa kovin hyvin sisälle tulevan siitepölyn määrää, koska se vaihteli paljon mittauspaikan ja -olosuhteiden mukaan. Lähellä ikkunoita ja ovia siitepölyä oli enemmän kuin huoneen perällä. Heikossa virtauksessa siitepölyä oli sisällä vain prosentti kun taas voimakkaassa virtauksessa mitattiin lähes ulkopitoisuuteen verrattavia arvoja varsinkin kun ulkona oli vähän siitepölyä. Vaikka tutkimushuone imuroitiin mittausten välillä, sisälle jäänyt siitepöly vaikutti todennäköisesti tulokseen pienissä pitoisuuksissa (Loublier 1998). Kun ulkona oli runsaasti siitepölyä, hiukkasia tuli sisälle niin paljon ettei siivouksessa huoneeseen jäänyt pöly vaikuttanut tulokseen.

Suodattimet vähensivät tehokkaasti ilmanvaihdon mukana sisälle tulevaa siitepölyä (Solomon ym. 1980). Koneellisesti ilmastoiduissa rakennuksissa oli vähän siitepölyä ja myös tuuletusikkunan suodatin pysäytti hiukkaset. Suodattimella varustetun ikkunan sisäpuolella havaittiin kuitenkin pieniä tai kohtalaisia siitepölypitoisuuksia, mutta hiukkaset olivat todennäköisesti tulleet sisälle suodattimen kehiksen raoista tai imuroinnista huolimatta ne olivat jo valmiiksi sisällä.

Sisäilman pitoisuudet olivat suurempia kuin useimmissa muissa tutkimuksissa. Yleensä sisällä on havaittu 2–6 % ulkopitoisuudesta (Spiegelman ym. 1963, Yankova 1991, Lee ym. 2006, Hugg & Rantio-Lehtimäki 2007, Ishibashi ym. 2008). Vertailu on vaikeaa, koska tutkimuksissa on käytetty erilaisia keräimiä, mittausaikoja, -paikkoja ja -olosuhteita. Useimmissa muissa mittauspaikat ovat olleet kauempana huoneessa kuin SISSI-hankkeessa, jossa mitattiin lähinnä sisälle virtaavan ilman siitepölymäärää.

Enimmillään asuinhuoneistojen sisä- ja ulkoilman pitoisuuden suhteeksi on Yhdysvalloissa mitattu 30 % (Stock & Morandi 1988) ja jatkuvassa käytössä olleessa asuntovaunussa keskiarvo oli peräti 53 %, suurimman arvon ollessa 91 % (Sterling & Lewis 1998). Näissä tutkimuksissa ei ole kerrottu kuinka kaukana ovista tai ikkunoista on mitattu, mutta ainakin asuntovaunuissa mittauspaikat lienevät olleet lähellä ovea.

Parhaiten vertailukelpoisia ovat samalla alueella Lappeenrannassa ja Rautjärvellä samantyyppisillä keräimillä tehdyt mittaukset (Hugg & Rantio-Lehtimäki 2007). Omakotitalossa mitattiin enimmillään 16–22 % ulkopitoisuudesta. Suuren osuuden aiheutti ennemminkin ulkoilman pieni siitepölymäärä (6,8 sp/m³) kuin kohonnut sisäpitoisuus (1,1–1,5 sp/m³), sillä kahdessa muussa mittauspaiassa ulkopitoisuudet vaihtelivat 25–96 sp/m³ kun sisäpitoisuus pysyi 1,1–3,4 sp/m³ välillä.

Laskeumatutkimuksen tulokset vastasivat aikaisemmin havaittuja. Sisä- ja ulkolaskeuman suhde oli 3,1 %, kun samantyyppisillä keräimillä suhde on vaihdellut 1–8 % (Yankova 1991: 2–8 %, Kiyosawa & Yoshizawa 2001: 1–4 %, Ishibashi ym. 2008: 4,1 %). Imurilla otetuilla pölynäytteillä koivun hetkelliseksi siitepölymääräksi saatiin 0,17 sp/cm². Neliometrillä hiukkasia oli keskimäärin 1 700 sp/m² ja pölyisimmässä eteisessä 3 600 sp/m². Tulokset olivat samaa suuruusluokkaa kuin Japanissa punasetrin eli sugin (*Cryptomeria japonica*) siitepölyllä havaitut. Sisällä oli enimmillään 9 300 sp/m², kun suurin osa näytteistä sisälsi 2 000–7 000 sp/m² (Enomoto ym. 2004). Toisessa tutkimuksessa siitepölyä kertyi viikossa 450 sp/m² (Enomoto ym. 2001).

Siitepölyä leijui helposti sisälle, mutta hiukkasia kulkeutui runsaasti myös vaatteiden mukana. Niityllä kävelyn jälkeen vaatteissa oli heinän siitepölyä keskimäärin 41 sp/cm². Kankaan laatu vaikutti tarttumiseen. Sileässä uudessa kankaassa oli vähemmän hiukkasia kuin karheassa. Näytteiden perusteella housuihin tarttuneena oli kaikkiaan 150 000 hiukkasta. Jos housujen pölyt puistellaan ja sekoitetaan 30 m² huoneen ilmaan, pitoisuudeksi tulisi 2 000 sp/m³. Pitoisuus olisi erittäin suuri, sillä heinän siitepölylle suuren pitoisuuden rajaksi on luokiteltu 30 sp/m³.

Heinikossa kävellessä siitepölyn tarttumista lisäsi kukkien osuminen suoraan kankaaseen, mutta myös ilmassa leijuvat hiukkaset tarttuivat vaatteisiin. Pihalla tuuletetuissa vaatteissa oli keskimäärin seitsemän sp/cm², mutta enimmillään viiden tunnin tuuletuksen jälkeen kankaasta laskettiin 40 sp/cm². Japanin punasetrin pölyä kertyi ulkona liikkuneen vaatteisiin 9,4–14,5 sp/cm² tunnissa ja ulkona kuivatettuihin paitoihin 10,2 ja pyyhkeisiin 18,9 sp/cm²/h (Takahashi ym. 2008). Vaatteet kannattaa kopistella huolella ennen sisälle menoa, sillä puistelu irrotti suurimman osan siitepölystä. Housuista irtosi 70 % heinän pölystä kun japanilaiset puistelivat pois puolet tai kolmasosa punasetrin pölystä (Kiyosawa & Yoshizawa 2001, Takahashi ym. 2008).

6.2. Aiheuttaako sisätilojen siitepöly allergiaoireita?

Ilmassa leijuvan siitepölyn merkitystä allergiselle voidaan arvioida siitepölytiedotuksessa käytetyllä asteikolla (<10, 10–100, >100 sp/m³). Laskeumakeräimen tuloksille vastaavaa asteikkoa ei ole. Kuinka paljon 20 hiukkasta neliösentille on verrattuna ilmasta mitattuun 20 hiukkaan kuutiossa? 20 sp/cm² tarkoittaa, että neliometrillä on 200 000 hiukkasta (100 cm x 100 cm x 20 sp). Silloin 30 neliometrillä huoneessa hiukkasia olisi kuusi miljoonaa (200 000 x 30), jos siitepölyä on samalla tiheydellä koko lattian alalla. Ilmassa 20 sp/m³ puolestaan tarkoittaa, että huoneessa (korkeus 2,5 m) olisi vain 1 500 siitepölyhiukkasta (30 m² x 2,5 m x 20 sp).

Laskelman perusteella 20 sp/cm² on siis iso luku, mutta ilman siitepölypitoisuuden ja laskeuman vertaaminen ei käytännössä ole näin yksinkertaista. Ensinnäkin hiukkaset jakautuvat epätasaisesti huoneessa. Suurin osa keräimistä sijoitettiin seinustoille ja huonekalujen vierustalle, jossa siitepölyä on enemmän kuin keskellä huonetta. Myös mittausaika tekee vertaami-

sen vaikeaksi. Kolmen viikon aikana keräimeen päätyy lattian tasolla ilmavirran mukana liikkuvia siitepölyhiukkasia vaikka uutta pölyä ei ulkoa tulisikaan. Lisäksi mittausjaksolla huoneita siivottiin monta kertaa, mutta keräimessä hiukkasmäärä lisääntyi koko ajan.

Siitepöly aiheuttaa allergiaoireita pääasiassa joutuessaan hengitysteiden ja silmän limakalvoille. Siksi huoneilmassa leijuvat siitepölyhiukkaset ovat tärkeämmässä asemassa kuin lattialle laskeutuneet. Tavallisesti huoneilmassa on hyvin vähän siitepölyä, koska hiukkaset putoavat nopeasti alas ilmavirtauksen loputtua. Lattialla pysyvät hiukkaset eivät aiheuta oireita, mutta jos siitepölyä on paljon, todennäköisyys hiukkasten nousemisesta hengityskorkeudelle ilmavirran mukana kasvaa. Näin kävi päiväkodissakin, jossa siitepölyä ja muita hiukkasia oli ilmassa runsaimmin kun sisällä liikuttiin paljon.

Allergisia kannustetaan yleensä huolehtimaan siivouksesta erityisesti pahimpana siitepölyaikana (Yli-Panula & Rantio-Lehtimäki 1995, Fahlbusch ym. 2001, Enomoto ym. 2001, Enomoto ym. 2004, Takahashi ym. 2008, Vural & Ince 2008). Siivotessa on vältettävä pölyttämistä siitepölyä uudelleen ilmaan, sillä siellä missä on pölyä, on todennäköisesti myös siitepölyä. Siitepöly voi aivastuttaa talvellakin, sillä kuivassa sisäilmassa hiukkaset säilyvät pitkään toimintakykyisinä (Yli-Panula & Ahlholm 1998). Huoneilmassa säilyneet hiukkaset tulivat esiin myös hankkeen ensimmäisessä mittauksessa. Huhtikuun 2008 alussa ulkoilmassa oli vain vähän lepän ja pähkinäpensaän siitepölyä, mutta talven käyttämättömänä olleessa huoneessa läpiveto nosti ilmaan lepän ja pähkinän lisäksi männyn, koivun, kuusen ja pajun pölyä.

Kostealla pinnalla tai kosteassa ilmassa siitepölyhiukkasen sisältämä allergeeninen aines purkautuu ulos samalla tavoin kuin siitepölyhiukkasen laskeutuessa kukan emille (Holmquist & Vesterberg 1999). Siitepölystä jää jäljelle tyhjä kuori, joka ei enää aiheuta allergiaoireita. Tämän takia satoja kilometrejä kaukokulkeutunut siitepöly ei välttämättä aiheuta oireita vaikka siitepölyä olisi ilmassa runsaasti ja toisaalta oireita voi saada allergeenisistä pienhiukkasista vaikka siitepölyä ei ilmassa olisikaan (Rantio-Lehtimäki 2009).

Pienhiukkasia kulkeutuu myös sisälle ja niitä löytyy asunnoista kauan siitepölykauden jälkeen (Yli-Panula & Rantio-Lehtimäki 1995, D'Amato ym. 1996, Yli-Panula 1997, Ohashi ym 2005). Allergeeniset pienhiukkaset ovat 1–2 μm :n kokoisia, joten ne pysyvät kauemmin ilmassa ja nousevat helpommin uudelleen ilmaan. Siitepölyt ovat niin isoja (yli 20 μm), että ne jäävät ylempiin hengitysteihin, mutta pienhiukkaset tunkeutuvat syvemmälle ja voivat aiheuttaa astmaoireita (Haahtela & Sorsa 1999).



6.3. Kuinka vähentää siitepölylle altistumista sisätiloissa

Allergiakasvien kukkiessa on vaikea välttyä siitepölylle altistumiselta, koska näkymättömän pieniä hiukkasia on lähes kaikkialla, myös sisällä. Asuinhuoneistoihin kertyvään siitepölymäärään vaikuttavat monet tekijät, joista tärkein on asukkaiden toiminta. Siitepölymäärää sisällä voi vähentää seuraavilla keinoilla:

- Pidä ikkunat ja ovet kiinni pahimpaan siitepölyaikaan. Tuuletettaessa siitepölyä pääsee sisälle ikkunoista ja ovista. Mitä enemmän ilmaa virtaa sisälle sitä enemmän myös siitepölyhiukkasia tulee huoneilmaan, jos ulkoilmassa on siitepölyä. Siitepölytiedotteita seuraamalla tiedät milloin siitepölyn sisälle kulkeutumista tulisi varoa. Ulkoilman siitepölypitoisuus vaihtelee säätilan mukaan. Runsaimmin hiukkasia on usein aurinkoisella ja tuulisella poutasäällä, mutta pahimpaankin kukinta-aikaan pitoisuus laskee sateella.
- Huolehdi ilmansuodattimien kunnosta koneellisesti ilmastoidussa huoneistossa. Oikeanlainen ja tiiviisti asennettu tuloilmasuodatin ei päästä siitepölyhiukkasia läpi. Suodattimet voi asentaa myös ilmanvaihtoventtiileihin ja tuuletusikkunoihin.
- Puistele ulkovaatteet ja kopistele kengät ennen sisälle menoa, koska siitepölyä tarttuu kankaaseen. Puistelun jälkeen siitepölyä jää jonkin verran vaatteisiin, joten ne on hyvä riisua jo eteisessä. Käytä ulkoillessa sileäpintaisia ja vältä karheita tai porroisia vaatteita, joihin tarttuu helpommin siitepölyä.
- Muista puhdistaa myös lemmikki! Heinikossa kulkevan koiran tai kissan turkkiin voi tarttua runsaasti siitepölyä.
- Älä kuivaa pyykkejä ulkona pahimpaan siitepölyaikaan. Edes vaatteiden puistelu sisälle tuotaessa ei irrota kaikkia siitepölyhiukkasia.
- Tehosta siivousta siitepölykaudella ja heti sen jälkeen. Runsaimmin siitepölyä kertyy lähelle tuuletusaukkoa ja ulko-ovea. Pyyhi pölyt kostealla liinalla ja huolehdi myös imurin suodattimen kunnosta.
- Älä päästä siitepölyä makuuhuoneeseen. Vuoteessa siitepöly on jo päässyt iholle ja tyynyiltä on enää lyhyt matka hengitysteihin. Siitepölymäärän vähentämiseksi sänkyä ei kannata sijoittaa tuuletusikkunan alle eikä kuivata vuodevaatteita ulkona siitepölyaikaan. Makuuhuoneeseen ei kannata tuoda ulkovaatteita tai päästää koiraa siitepölyaikaan. Sängyn petaus ja siitepölykaudella hiuksien sekä kasvojen pesu ulkoilun jälkeen tai viimeistään illalla vähentävät myös siitepölyjen pääsyä vuoteeseen.

Kiitokset

Kiitämme yksityisiä ja yrityksiä, joiden tiloissa saimme mitata siitepölyjä. Laitteiden hankinnassa auttoivat Turun yliopiston aerobiologian yksikkö sekä Metsäntutkimuslaitoksen Haapastensyrjän jalostusasema. Hanketta on taloudellisesti tukenut Suomen kulttuurirahaston Etelä-Karjalan rahasto.

Kirjallisuus

Sisäilman siitepölyt (SISSI)- hankkeen julkaisut:

- Jantunen J, Saarinen K, Myllynen M. (2008). Sisäilman siitepölyt (SISSI). Hiukkasten kulkeutuminen ja määrän vähentäminen. – Väliraportti. Etelä-Karjalan Allergia- ja Ympäristöinstituutti. Joutseno.
- Jantunen J, Saarinen K. (2009). Intrusion of airborne pollen through open windows and doors. – *Aerobiologia* 25: 193–201.
- Jantunen J. (2009). Siitepölyjen kulkeutuminen sisäilmaan. – Kirjassa: Jantunen J. (toim), Siitepölyjen uudet tuulet: 12–14.
- Jantunen J. (2009). Siitepölyjen matkassa sisätiloihin. – *Allergia & Astma* 39(2): 18–19.
- Jantunen J. (2009). Siitepöly tarttuu vaatteisiin. – *Allergia & Astma* 39(3–4): 20–21.
- Jantunen J. (2009). Siivoa siitepölyt nurkista. – *Allergia & Astma* 39(5): 24–25.

Tekstin viitteet:

- Burge HA. 2002. An update on pollen and fungal spore aerobiology. – *J Allergy Clin Immunol* 110: 544–552.
- D’Amato G, Liccardi G, Saggese M, Mistrello G, D’Amato M, Falagiani P. 1996. Comparison between outdoor and indoor airborne allergenic activity. – *Ann Allergy Asthma Immunol* 77: 147–152.
- Di-Giovanni F. 1998. A review of the sampling efficiency of rotating-arm impactors used in aerobiological studies. – *Grana* 37: 164–171.
- Enomoto T, Onishi S, Dake Y, Sakoda T, Saito Y, Sogo H, Seno S, Fujiki Y, Fujimura S. 2001. Japanese cedar pollen in house dust. – *Japanese Journal of Allergology* 50: 535–539. (in Japanese, Abstract in English)
- Enomoto T, Onishi S, Sogo H, Dake Y, Ikeda H, Funakoshi H, Shidano A, Sakoda T. 2004. Japanese cedar pollen in floating indoor house dust after pollinating season. – *Allergology International* 53: 279–285.
- Fahlbusch B, Hornung D, Heinrich J, Jäger L. 2001. Predictors of group 5 grass-pollen allergens in settled house dust: comparison between pollination and nonpollination seasons. – *Allergy* 56: 1081–1086.
- Haahtela T. & Sorsa P. 1999: *Allergiakasvit*. – Kirjayhtymä, Helsinki.
- Hirst JM. 1952. An automatic volumetric spore trap. – *Annals of Applied Biology* 39: 257–265.
- Holmquist L, Vesterberg O 1999. Quantification of birch and grass pollen allergens in indoor air. – *Indoor Air* 9: 85–91.
- Holmquist L, Weiner J, Vesterberg O. 2001. Airborne birch and grass pollen allergens in street-level shops. – *Indoor Air* 11: 241–245.

- Hugg T, Rantio-Lehtimäki A. 2007. Indoor and outdoor pollen concentrations in private and public spaces during the *Betula* pollen season. – *Aerobiologia* 23: 119–129.
- Ilmatieteenlaitos 2008 ja 2009. Ilmastokatsaus. – Ilmatieteenlaitos, Helsinki.
- Ishibashi Y, Ohno H, Oh-ishi S, Matsuoka T, Kizaki T, Yoshizumi K. 2008. Characterization of pollen dispersion in the neighborhood of Tokyo, Japan in spring of 2005 and 2006. – *Int J Environ Res Public Health* 5: 76–85.
- Jantunen J, Saarinen K. 2007. Pujo taajama-alueiden allergiakasvina. Ensimmäisen vuoden 2006 tulokset. – Etelä-Karjalan Allergia- ja Ympäristöinstituutti, Joutseno.
- Jantunen J, Saarinen K. 2008. Pujo taajama-alueiden allergiakasvina. Loppuraportti. – Etelä-Karjalan Allergia- ja Ympäristöinstituutti, Joutseno.
- Kiyosawa H, Yoshizawa S. 2001. Study on the control of indoor pollen exposure. Part 1. Intrusion of airborne pollen into indoor environment and exposure dose. – *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering* 548: 63–68. (in Japanese, Abstract in English)
- Kiyosawa H, Yoshizawa S. 2002. Brought-in pollen into indoor environment by residents' activities. Study on the control of indoor pollen exposure. Part 2. – *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering* 558: 37–42. (in Japanese, Abstract in English)
- Käpylä M. & Penttinen A. 1981. An evaluation of the microscopical methods of the tape in Hirst-Burkard pollen and spore trap. – *Grana* 20: 131–141.
- Lee T, Grinshpun SA, Martuzevicius D, Adhikari A, Crawford CM, Luo J, Reponen T. 2006. Relationship between indoor and outdoor bioaerosols collected with a button inhalable aerosol sampler in urban homes. – *Indoor Air* 16: 34–47.
- Loublier Y. 1998. Evaluation of indoor passive pollen sedimentation over 1 year: a possible source of contamination? – *Aerobiologia* 14: 291–298.
- Moore PD, Webb JA. 1978. An illustrated guide to pollen analysis. – Hodder and Stoughton, Lontoo.
- Ohashi E, Yoshida S, Ooka R, Miyazawa H. 2005. Indoor airpollution by Japanese cedar pollen. – *Journal of Environmental Engineering* 594: 39–43. (in Japanese, Abstract in English)
- O'Rourke MK, Lebowitz MD. 1984. A comparison of regional atmospheric pollen with pollen collected at and near homes. – *Grana* 23: 55–64.
- Rantio-Lehtimäki A. 1991. Sampling airborne pollen and pollen antigens. – Kirjassa: D'Amato G, Spiekma FThM, Bonini S. (toim.). Allergenic pollens and pollinosis in Europe. s. 18–23. Blackwell Scientific Publications.
- Rantio-Lehtimäki A. 2009. Koivun siitepölyn allergeenipitoisuuden vaihtelu ja muuttuminen. – Kirjassa: Jantunen J. (toim), Siitepölyjen uudet tuulet: 6–8.
- Richmond-Bryant J, Eisner AD, Brixey LA, Wiener RW. 2006. Transport of airborne particle within a room. – *Indoor Air* 16: 48–55.
- Schwendemann AB, Wang G, Mertz ML, McWilliams RT, Thatcher SL, Osborn JM. 2007. Aerodynamics of saccate pollen and its implications for wind pollination. – *American Journal of Botany* 94: 1371–1381.
- Solomon WR, Burge HA, Boise JR. 1980. Exclusion of particulate allergens by window air conditioners. – *J Allergy Clin Immunol* 65: 305–308.
- Spiegelman J, Friedman H, Blumstein GI. 1963. The effects of central air conditioning on pollen, mold, and bacterial concentrations. – *J Allergy Clin Immunol* 34: 426–431.
- Sterling DA, Lewis RD. 1998. Pollen and fungal spores indoor and outdoor of mobile homes. – *Ann Allergy Asthma Immunol* 80: 279–285.

- Stock TH, Morandi MT. 1988. A characterization of indoor and outdoor microenvironmental concentrations of pollen and spores in two Houston neighbourhoods. – *Environmet International* 14: 1–9.
- Takahashi Y, Takano K, Suzuki M, Nagai S, Yokosuka M, Takeshita T, Saito A, Yasueda H, Enomoto T. 2008. Two routes for pollen entering indoors: ventilation and clothes. – *J Investig Allergol Clin Immunol* 18: 382–388.
- Vural C, Ince A. 2008. Pollen grains in the house dust of Kayseri, Turkey. – *International Journal of Natural and Engineering Sciences* 2: 41–44.
- Yankova R. 1991. Outdoor and indoor pollen grains in Sofia. – *Grana* 30: 171–176.
- Yli-Panula E. 1997. Allergenicity of grass pollen in settled dust in rural and urban homes in Finland. – *Grana* 36: 306–310
- Yli-Panula E, Ahlholm J. 1998. Prolonged antigenic activity of birch and grass pollen in experimental conditions. – *Grana* 37: 180–184.
- Yli-Panula E, Rantio-Lehtimäki A. 1995. Birch-pollen antigenic activity of settled dust in rural and urban homes. – *Allergy* 50: 303–307.