

**KIRSI SÄKKINEN**

# *Pienhiukkaset sisäilmassa*



Opinnäytetyö  
Rakennusterveysasiantuntija  
RTA 2017 – 2018  
Helsinki 2019

<b>Tekijä(t)</b> Kirsi Säkkinen	<b>Ryhmä</b> RTA 2017 - 2018
<b>Opinnäytetyön nimi</b> Pienhiukkaset sisäilmassa	<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b> 51
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kuvata sisäilman pienhiukkasten lähteitä, mittausmenetelmiä, terveysvaikutuksia ja raja-arvoja. Työssä käydään läpi sisäilman pienhiukkaspitoisuuden vaikuttavat päätekijät.</p> <p>Sisäilman hiukkaspitoisuuteen ja -koostumukseen vaikuttavat ulkoilmasta sisään kulkeutuvat hiukkaset ja ihmisen toiminta rakennuksissa sekä vähäisemmässä määrin rakennusmateriaalit ja kalustus. Ulkolähteistä merkittävimpiä Suomessa on ulkomaisen kaukokulkeuman lisäksi puun pienpoltto ja liikenteen päästöt. Sisälähteitä ovat mm. tupakansavun ja kynttilän polton epäpuhtaudet, ruoan valmistus, ihminen, huonepöly, rakenteet ja sisustus sekä mikrobit.</p> <p>Huomattava osa sisäänhengitysilman pienhiukkasista tarttuu hengityselimiin ja osa hiukkasista tai niiden sisältämästä aineista siirtyvät siirtyä verenkiertoon. Siksi pienhiukkaset ovat haitallisia erityisesti hengityselimistöille sekä sydän- ja verenkiertoelimistöille. Hiukkasille ei ole pystytty määrittelemään terveydelle turvallista pitoisuustasoa.</p> <p>Sisäilman pienhiukkasia voidaan vähentää hyvällä tuloilman suodatuksella. Mitä tiiviimpi rakennus on ja mitä pienempi paine-ero rakennuksessa on ulkoilmaan nähden, sitä vähemmän epäpuhtauksia ulkoilmasta ja rakenteista kulkeutuu sisäilmaan. Lisäksi ilmanvaihdon tulee toimia oikein. Pienhiukkaspitoisuuden sisäilmassa voidaan vaikuttaa myös poistamalla ja rajoittamalla pienhiukkasten sisälähteitä. Sisäilman pienhiukkasten terveysvaikutuksiin ja hiukkasten rooliin oireiden aiheuttajana sekä sisälähteiden merkitykseen pienhiukkasaltistumisessa tulisi kohdentaa lisää tutkimuksia.</p> <p>Koska ulkoilman pienhiukkasilla on suuri merkitys sisäilmaan ja sen laatuun, voidaan ulkoilman pitoisuustasoa alentamalla, mm. kiinnittämällä huomiota puun pienpolttoon sekä liikenteen päästöihin, vähentää myös sisäilmapitoisuuksia, altistumista ja haitallisia terveysvaikutuksia.</p>	
<b>Avainsanat</b> pienhiukkaset, sisäilma, hiukkaspitoisuus, ulkolähde, sisälähde	<b>Luottamuksellisuus</b> julkinen

<b>Author(s)</b> Kirsi Säkkinen	<b>Class</b> RTA 2017 - 2018
<b>Title</b> Fine particles in indoor air	<b>Number of pages and annexes</b> 51
<p>The aim of this thesis is to describe the sources, measurement methods, health effects and limit values for indoor fine particulate matter. The main factors affecting indoor fine particulate matter content are reviewed.</p> <p>The particulate content and composition of indoor air is mainly influenced by particles entering from outdoor and human activities in building and to a lesser extent by construction materials and furnishings. In Finland, the most significant sources of external sources are, in addition to foreign long-range transport, wood burning and traffic emissions. Internal sources include impurities in cigarette smoke and burning candle, food preparation, room dust, structures and decor, and microbes.</p> <p>A significant part of the small particles of the inspiratory air grab to the respiratory system and some of the particles or parts of them pass into the bloodstream. Therefore, small particles are harmful to the respiratory system and to the cardiovascular system. There is no minimum limit value for harmful health effects of fine particles. Fine particles of indoor air can be reduced by good supply air filtration. When the building is tight and there is no underpressure the impurities from the outside air and structures will not pass into the indoor air. In addition, ventilation should work properly. Removing and limiting the internal sources of fine particles can have a significant effect on the concentration of small particles of indoor air. The importance of internal sources of fine particle for exposure and health effects should be further investigated. Since fine particles of outdoor air have a great importance for indoor air and its quality, the outdoor concentration levels should reduce. Paying attention to wood burning and traffic emissions also affect fine particles content in indoor air.</p>	
<b>Keywords</b> <b>fine particles, indoor, particle concentration, external source, internal source</b>	<b>Confidentiality</b> public

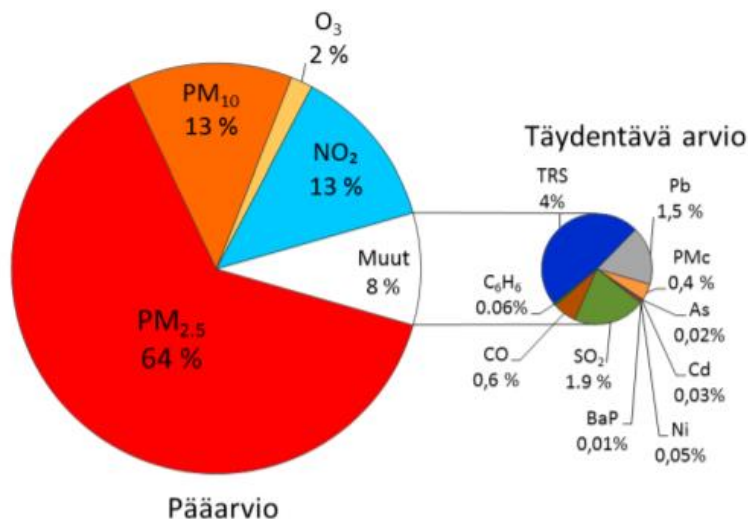
## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	5
2.	HIUKKASTEN KOKOLUOKAT JA JAOTTELU.....	7
3.	PIENHIUKKASTEN LÄHTEET .....	8
3.1.	Ulkoilman pienhiukkaset.....	10
3.1.1.	Puun pienpoltto .....	11
3.1.2.	Liikenne ja katupöly.....	15
3.1.3.	Teollisuus ja energiantuotanto .....	17
3.1.4.	Kaukokulkeuma .....	17
3.1.5.	Muut lähteet.....	18
3.2.	Rakennuksen sisälähteistä peräisin olevat hiukkaset.....	18
3.2.1.	Rakennus- ja sisustusmateriaalit .....	19
3.2.2.	Huonepöly .....	20
3.2.3.	Mikrobit.....	21
3.2.4.	Tupakanpoltto.....	21
3.2.5.	Kynttilöiden polttaminen.....	22
3.2.6.	Ruoan valmistus .....	23
4.	HIUKKASTEN TERVEYSVAIKUTUKSET .....	23
5.	HIUKKASTEN MITTAUSMENETELMiä .....	25
6.	PIENHIUKKASTEN RAJA-ARVOT .....	27
6.1.	Ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot .....	27
6.2.	Sisäilman pienhiukkaspitoisuuksia koskevat ohjearvot .....	27
7.	SISÄILMAN HIUKAASPITOISUUDEN HALLINTA .....	28
7.1.	Ilmanvaihto ja tuloilman suodatus.....	30
7.1.1.	Tuloilman suodatusluokat .....	32
7.2.	Rakennuksen painesuhteet ja ilmatiiveys .....	38

7.3. Ilmanpuhdistimet .....	39
7.3.1. Ilmanpuhdistimien suodatintekniikat .....	41
7.4. Siivous .....	43
8. Johtopäätökset .....	44
9. KIITOKSET .....	46
10. LÄHDELUETTELO.....	46

## 1. JOHDANTO

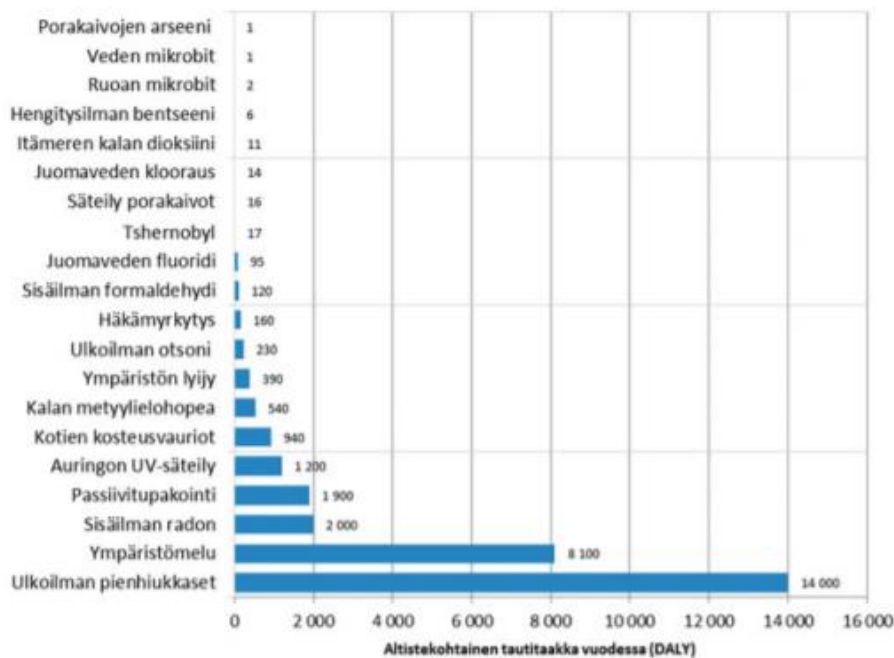
Ulkoilman ilmansaasteet, erityisesti pienhiukkaset ovat merkittävä ympäristöterveydellinen haitta ja kansanterveydellinen ongelma ja nykypäivän suurin ympäristöterveysongelma, kun huomioidaan altistuvien ihmisten määrä ja altistumisesta aiheutuvien haittojen yleisyys ja vakavuus. Ulkoilman pienhiukkasten on arvioitu aiheuttavan Suomessa 1600-4000 ennenaikaista kuolemaa vuosittain, ja lievempien haittojen määrä on moninkertainen (Lehtomäki ym. 2018, Lelieveld ym. 2019). Ilman epäpuhtauksien osuudet terveyshaitoista Suomessa vuonna 2013 on esitetty kuvassa 1 (Ympäristöministeriö 2016).



**Kuva 1.** Ilman epäpuhtauksien Suomessa vuonna 2013 aiheuttaman tautitaakan jakautuminen eri epäpuhtauksien kesken. TRS= pelkistyneet rikkiyhdisteet, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>=bentseeni, PMc = karkeat hiukkaset (Ympäristöministeriö 2016).

Vaikka pienhiukkasten lähteet ovat useimmiten ulkona, tapahtuu altistuminen niille pääasiassa sisätiloissa. (Hänninen ym. 2017) Tämä johtuu siitä, että vietämme nykyisin jopa 90 % ajastamme sisätiloissa ja erityisesti asuinrakennuksien tuloilmansuodatuksessa on puutteita. Nykypäivän mukaan sisäilman pienhiukkaset aiheuttavat radonin ja passiivisen tupakoinnin ohella eniten sisäilmaan liittyvää tautitaakkaa Suomessa. (kuva 2) Tautitaakka kuvaa väestön terveyden menetyksiä eli terveiden elinvuosien menetystä verrattuna keskimääräiseen

eliniänodotteeseen. Tautitaakan avulla eri altisteiden terveysvaikutuksia voidaan vertailla keskenään. (Asikainen ym. 2013, Hänninen ym. 2018, Lehtomäki ym. 2016, Lehtomäki ym. 2018).



**Kuva 2.** Ympäristöaltisteiden aiheuttaman tautitaakan suuruusluokat Suomessa vuonna 2010 (Asikainen ym. 2013, lukuarvot diskontattu).

Hiukkasten terveysvaikutukset ovat siis suuria ja niiden torjuntaan on edelleen kiinnitettävä huomiota. Tämän työn tarkoitus on kirjallisuuskatsauksen avulla kuvata nykyistä tietämystä sisäilman pienhiukkasten lähteistä, koostumuksesta, mittausmenetelmistä, terveysvaikutuksista sekä käytössä olevia ohje- ja raja-arvoja. Työssä käydään läpi sisäilman pienhiukkaspitoisuuden vaikuttavat päätekijät ja esitellään toimenpiteitä, joita voidaan käyttää altistuksen ja haittojen alentamiseen.

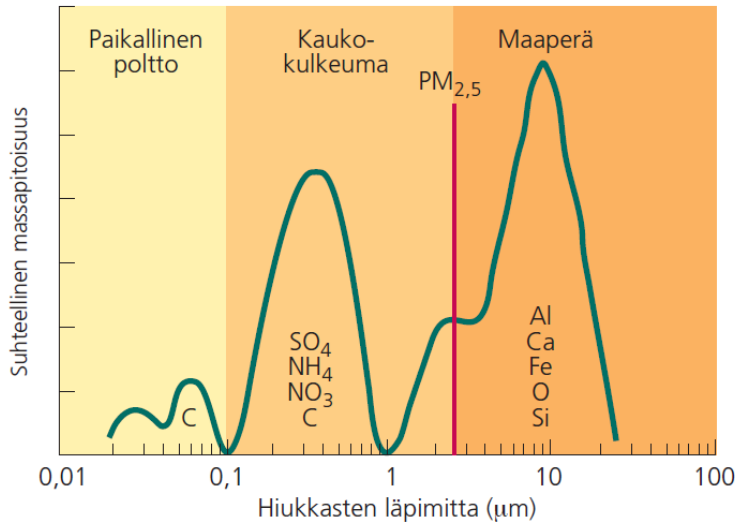
## 2. HIUKKASTEN KOKOLUOKAT JA JAOTTELU

Hengitysilman hiukkaset voidaan jaotella eri ryhmiin koon mukaisesti: karkeat hengitettävät hiukkaset (2,5-10  $\mu\text{m}$ ), pienhiukkaset ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ) ja ultrapienet hiukkaset ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ). Karkeiksi hiukkasiksi luokitellaan usein myös hiukkaset, joiden halkaisija on yli 10  $\mu\text{m}$ . Hengitettäväksi hiukkasiksi ( $\text{PM}_{10}$ ) kutsutaan halkaisijaltaan alle 10 mikrometrin ( $\mu\text{m}$ ) hiukkasia. Pienhiukkasiin ( $\text{PM}_{2,5}$ ) kuuluvat halkaisijaltaan alle 2,5  $\mu\text{m}$  hiukkaset mukaan lukien alle 0,1  $\mu\text{m}$  ultrapienet hiukkaset ( $\text{PM}_{0,1}$ ) ja nk. akkumulaatio- eli kertymähiukkaset, joiden halkaisija on 0,1-1  $\mu\text{m}$  (Pekkanen 2004).

Ultrapieniä hiukkasia mitataan tavallisesti lukumääränä kuutiosenttimetriä kohden ( $1/\text{cm}^3$ ). Pienhiukkasia ja karkeita hengitettäviä hiukkasia mitataan yleensä massapitoisuuksina mikrogrammaa kuutiometriä kohden ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Massapitoisuus merkitään lyhenteiden  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  ja  $\text{PM}_{10-2,5}$  jälkeen. (PM = **P**articulate **M**atter). (Salonen ym. 2006)

Primäärihiukkasilla tarkoitetaan ilmaan suoraan hiukkasmuodossa päästölähteistä päässeitä hiukkasia. Sekundäärihiukkasilla tarkoitetaan hiukkasia, jotka syntyvät vasta ilmakehässä polttoaasujen ja hiukkasten vuorovaikutuksessa ja tiivistymällä erilaisista kaasuista kuten sulfaateista, nitraateista, ammoniumioneista ja orgaanisista yhdisteistä. Kaupunki-ilman hiukkasten koko- ja koostumusjakauma on esitetty kuvassa 3. Ultrapienet hiukkaset ovat kemialliselta koostumukseltaan pääosin hiiliyhdisteitä (C), kaukokulkeuma koostuu rikin ( $\text{SO}_4$ ) ja typen ( $\text{NO}_3$ ) oksideista ja hiiliyhdisteistä (C), ja karkeat hiukkaset ovat maaperän alkuaineita, kuten piitä (Si) ja alumiinia (Al).



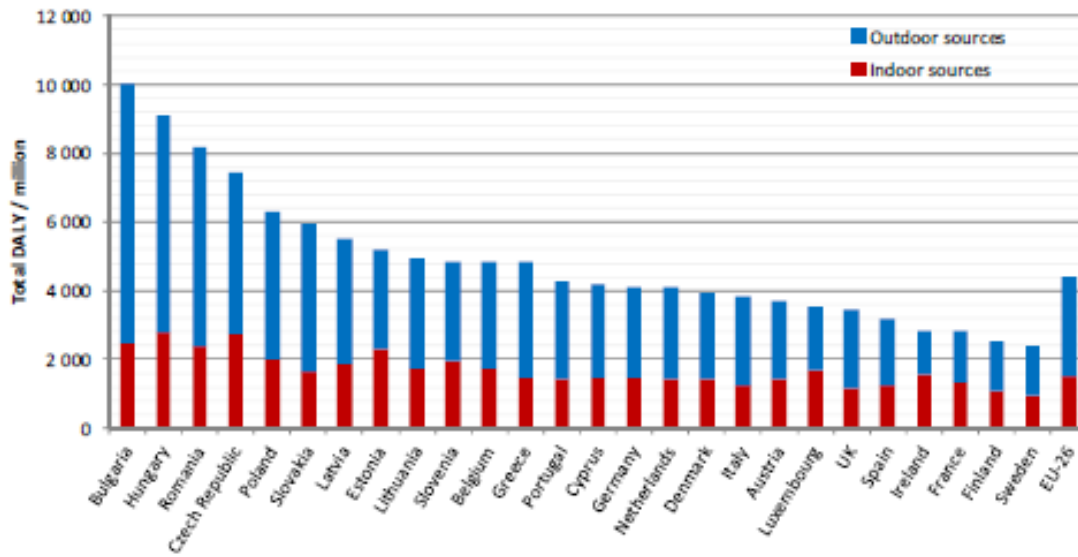


**Kuva 3.** Periaatteellinen kaavio kaupunki-ilman hiukkasten massapitoisuuksista ja niiden lähteistä (Pekkanen 2004).

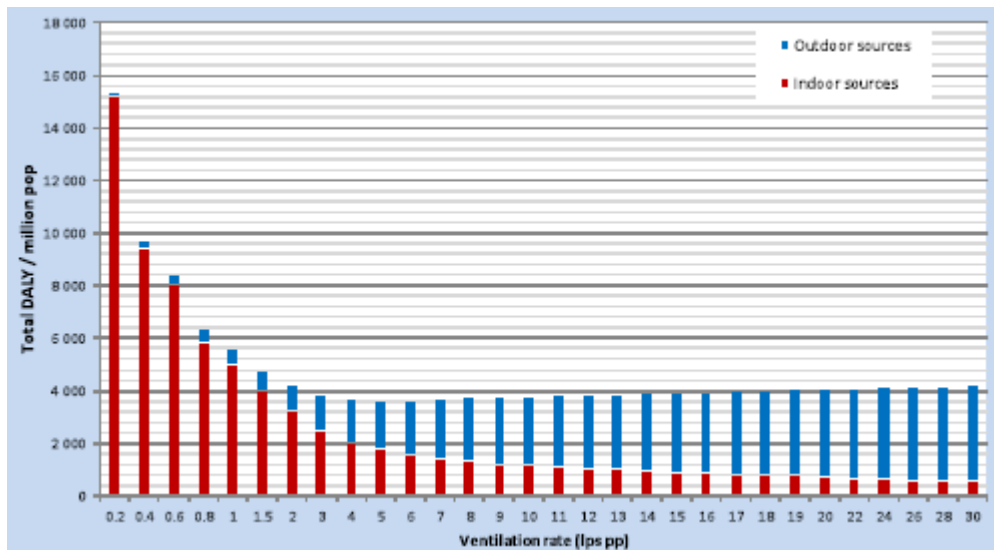
### 3. PIENHIUKKASTEN LÄHTEET

Osa sisäilman pienhiukkaset ovat peräisin ulkoilmasta. Pienhiukkaset kulkeutuvat ilmanvaihdon mukana helposti sisätiloihin ja vaikuttavat siten merkittävästi altistumiseen (Siponen ym. 2019). Yhdyskuntailman pienhiukkaset ja ultrapienet hiukkaset kulkeutuvat hyvin rakennusten sisäilmaan, mikäli ilmanvaihdon tuloilmaa ei suodateta tehokkaasti. Karkeat hengitettävät hiukkaset kulkeutuvat ilmanvaihdon kautta sisäilmaan huomattavasti huonommin kuin pienhiukkaset. (Salonen ym. 2006, Korhonen 2011, Hänninen ym. 2013)

Ilmansaasteiden aiheuttamaa tautitakkaa rakennusten sisäilmassa eri Euroopan maissa on verrailtu siten, että on huomioitu ulkolähteiden (outdoor sources) ja sisälähteiden (indoor sources) vaikutus erikseen. Kuvassa 4 yksikkönä on käytetty haittapainotettua elinvuotta miljoonaa asukasta kohden (total DALY/million). Kokonaistautitakkaa vaihtelee 2000 ja 10000 välillä ja ulkoilman osuus vaihtelee 46 % - 75% välillä. (Hänninen ym. 2013) Kun rakennusten ilmanvaihtoa lisätään siten, ettei tuloilman suodatusta lisätä eikä ulko- ja sisälähteiden määrään puututa, voidaan sisäilman terveyshaittoja vähentää tiettyyn pisteeseen asti. Sisälähteiden vaikutus vähenee ilmanvaihtoa lisättäessä. Ilmanvaihdon lisääminen kasvattaa ulkolähteiden vaikutusta. (kuva 5) Tautitakka on pienimillään, kun ilmanvaihto on 4-5 l/s per henkilö (lps pp). (Hänninen ym. 2013)



**Kuva 4.** Ilmansaasteiden ulko- ja sisälähteiden vaikutus kokonaistautitaakkaan EU-maissa (Hänninen ym. 2013, lukuarvot diskontattu).



**Kuva 5.** Keskimääräisen ilmanvaihdon vaikutus tautitaakan sisä- ja ulkoilmaosuuksiin Euroopassa (Hänninen ym. 2013, lukuarvot diskontattu).

### 3.1. Ulkoilman pienhiukkaset

Ulkoilman hiukkaset ovat peräisin monista lähteistä, osa niistä on luonnon ja osa ihmisen tuottamia (taulukko 1). Luonnon tuottamia ulkoilman pienhiukkasia ovat metsä- ja maastopalojen sekä tulivuoren purkausten nokipäästöt ja kaasupäästöistä muodostuvat orgaaniset ja epäorgaaniset hiukkaset. Lisäksi luonnossa puiden ja muun kasvillisuuden hiilivetyypäästöistä muodostuu orgaanisia hiukkasia (Salonen ym. 2006). Luonnon pienhiukkaslähteitä ovat myös mikrobit, kasvit ja maaperä ja merisuola.

**Taulukko 1.** Ihmisen ja luonnon ilmakehään tuottamat hiukkaset (Salonen ym. 2006).

Hiukkasten koko	Ihmisen toiminnasta syntyvät hiukkaset	Luonnossa syntyvät hiukkaset
Karkeat hengitettävät hiukkaset (2,5-10 µm)	Liikenteen jarru-, rengas- ja nastapöly, asfalttipöly Hiekoitushiekan ja tiesuolan pöly Maansiirtopöly Teollisuuden, energiantuotannon, satamien jne. materiaalikäsittely	Tuulen kuljettama hiekkapöly Merisuola Kasvijäänteet, siitepölyosaset Homeitiöt, maaperän bakteerikomponentit (esim. endotoksiini)
Pienhiukkaset (< 2,5 µm)	Pienpolton ja liikenteen pakokaasujen nokipäästöt Energialaitosten lentotuhka Teollisuusprosessien suorat hiukkaspäästöt Monien lähteiden kaasumaisista hiilivedyistä muodostuvat orgaaniset hiukkaset, rikkidioksidista ja typenoksideista muodostuvat epäorgaaniset hiukkaset	Metsä- ja maastopalojen ja tulivuoren purkausten nokipäästöt ja kaasupäästöistä muodostuvat orgaaniset ja epäorgaaniset hiukkaset Puiden ja muun kasvillisuuden hiilivetyypäästöistä muodostuvat orgaaniset hiukkaset

Ihmisen toiminnasta muodostuvia pienhiukkasten primääripäästöjä, ovat pienpolton ja liikenteen pakokaasujen nokipäästöt sekä energialaitosten lentotuhka ja teollisuusprosessien suorat päästöt. Pienhiukkaset voivat sisältää myös epätäydellisessä palamisessa syntyneitä nokea sekä noen pinnalle kiinnittyneitä muita haitta-aineita. Myös ilmaan päätyneet teollisuudesta ja liikenteestä peräisin olevat rikkidioksidi- ja typpidioksidikaasut muodostavat epäorgaanisia hiukkasia ja reagoivat ilmakehässä erilaisten orgaanisten höyryjen kanssa. Lisäksi monien eri lähteiden kaasumaisista hiilivedyistä muodostuu orgaanisia hiukkasia. Orgaanisia höyryjä ilmakehään pääsee sekä luontaisesti kasvillisuudesta että ihmisen toiminnan seurauksena. Osa reaktioiden tuottamista höyrymolekyyleistä tiivistyy ilmakehässä hiukkasiksi. Näitä ilmakehässä kaasumaisista yhdisteistä muodostuvia pienhiukkasia kutsutaan sekundäärihiukkasiksi. Pienhiukkasten muodostuminen ilmakehässä on monimutkainen prosessi. Ilmakehässä on tuhansia

erilaisia orgaanisia yhdisteitä, mutta vain osa niistä pystyy muodostamaan hiukkasia. (Salonen ym. 2006, STT 2019)

Erilaisen palamisen seurauksena syntyy myös ultrapieniä hiukkasia Kertymähiukkaset syntyvät ultrapienistä hiukkasista pysyen ilmakehässä viikkoja. Suomen ulkoilman kertymähiukkasten tärkein lähde on kaukokulkeuma (Pekkanen 2004). Pienhiukkaset voivat kulkeutua ilmamassojen mukana jopa tuhansia kilometrejä ja poistuvat ilmakehästä tehokkaasti vasta sateen mukana. Vaikka pienhiukkasten massamääräinen materiaali on melko vähäinen, niiden lukumäärä ja yhteinen pinta-ala ovat paljon suuremmat kuin karkeilla hiukkasilla.

### ***3.1.1. Puun pienpoltto***

Kotitalouksien puun pienpoltto on suurin primaaristen pienhiukkasten päästölähde Suomessa. Puun pienpolton osuus koko pienhiukkaspäästöistä Suomennä on noin 47 % (Korhonen ym. 2019). Tämä johtuu siitä, että Suomessa on runsaasti sekä omakotitaloissa että loma-asunnoissa tulisijoja, joissa poltetaan puuta. On arvioitu, että pääkaupunkiseudulla tiiviisti rakennetuilla omakotitaloalueilla jopa 60 prosenttia ilmassa olevista pienhiukkasista voi olla talvisin peräisin puunpoltosta (Tekniikka ja Talous 2018). Puun pienpolton hiukas- ja hiilivetyypäästöt ovat merkittäviä suhteutettuna niiden kokonaispäästöihin Suomessa ja pääkaupunkiseudulla (Haaparanta ym. 2003). On arvioitu, että altistuminen puun pienpolton hiukkasille aiheuttaa Suomessa noin 200 ennenaikaista kuolemaa vuosittain (Ympäristöministeriö 2019, Korhonen ym. 2019).

Erityisesti puun epätäydellinen palaminen aiheuttaa suuria päästöjä. Kaasumaisista aineista muodostuu eniten hiilidioksidia ja hiilimonoksidia eli häkää sekä metaania ja lukuisia muita haihtuvia hiilivetyjä, kuten esimerkiksi formaldehydiä. Hiukkasmaisista epäpuhtauksista tärkeimpiä ovat orgaaniset hiilyhdisteet, rikkihappo, hienojakoinen alkuainehiili eli noki sekä puun sisältämistä mineraaleista koostuva lentotuhka. Valtaosa päästöhiukkasista on halkaisijaltaan alle 1 µm. (Aalto 2008)

Puun pienpolton pienhiukkaspäästöihin vaikuttavat suuresti polttoaineen laatu ja käytetty lämmityslaite. Poltossa syntyneet hiukkaset ovat kemialliselta koostumukseltaan erilaisia, jolloin myös terveysvaikutukset ovat erilaisia. (Alakangas ym. 2007)

**Panospolto**ssa pienhiukkaspäästöjä aiheuttavat pääasiassa epätäydellisessä palamisessa syntyvä noki ja orgaaniset yhdisteet etupäässä hiilivedyt, joista terveydelle haitallisimpia pienhiukkasia ovat noki- ja hiilivetyhiukkaset. (Alakangas ym. 2007) Panospoltoilla tarkoitetaan polttoa, jossa koko polttoaine-erä laitetaan samalla kertaa palamaan. Panospoltoon perustuvia lämmityslaitteita ovat kotitalouksien yleisesti käyttämät tulisijat, uunit, takat ja saunan kiukaat. Panospoltoissa poltto-olosuhteiden säätö on vaikeaa. Lisäksi puun pienpolton yhteydessä epätäydellisen palamisen seurauksena syntyy syöpää aiheuttavia polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä, joista osa esiintyy hiukkasmuodossa. (Salonen ym. 2006)

**Jatkuvassa polto**ssa kuten pellettipolttimissa, stokeripolttimissa ja pellettikamiinoissa pienhiukkaslähteitä ovat pääasiassa polttoaineen alkalimetallit, jotka höyrystyvät suhteellisen alhaisessa lämpötilassa ja muodostavat pienhiukkasia kondensoitumalla ulkoilmassa. Nämä pienhiukkaset ovat luonteeltaan hyvin erilaisia eikä niiden mahdollisia terveyshaittoja tunneta niin tarkasti kuin panospolton pienhiukkasten vaikutuksia (Alakangas ym. 2007)

### **Puun polton vaikutukset**

Puun pienpolto on vaikeasti arvioitava ja hallittava pienhiukkaslähte. Puun polttaminen aiheuttaa vaihtelevan määrän päästöjä; pienhiukkasia, häkää, hiilivetyjä ja muita terveydelle haitallisia yhdisteitä. Päästöjen määrää ja laatu riippuvat mm. polttoaineesta, tulisijasta ja polttotavasta. Erityisesti taajaan asutuilla alueilla pienpolto häiritsee ja alentaa viihtyvyyttä sekä aiheuttaa terveyshaittoja (Haaparanta ym. 2003). Asuinalueilla puun polton päästöillä on merkittävä vaikutus ilmanlaatuun ja ihmisten terveydelle, koska päästöt purkautuvat matalalle ja puuta poltetaan yleensä silloin, kun ollaan kotona. Lisäksi päästöt laimenevat heikosti ennen kuin asuinalueen asukkaat altistuvat niille ulkona tai asuntojen sisätiloissa. (Alakangas ym. 2007, Salonen 2004) Pientulisijojen päästöt johdetaan suoraan ulkoilmaan laimentumattomina ja suodattamattomina yleensä matalista piipuista, joten ne huonontavat merkittävästi ulkoilman laatua. Pientaloalueiden savuongelmat ovat yleensä pahimmillaan kylminä, tyyninä pakkaspäivinä, jolloin tulisijoja lämmitetään runsaasti ja päästöt jäävät säätötilan vuoksi leijumaan matalalle. (Hengitysliitto 2018, Haaparanta ym. 2003). Ulkoilmassa leijuvat polttoperäiset pienhiukkaset kulkeutuvan tehokkaasti asuntojen sisäilmaan rakennuksen iästä ja ilmanvaihtotavasta riippumatta. (Salonen ym. 2015, Salonen ym. 2016)

Asunnon ja muun oleskelutilan sisäilman tulee olla puhdasta ja laadultaan sellaista, ettei siitä aiheudu asunnossa tai muussa sisätilassa oleskeleville terveyshaittaa. Jos asunnossa tai muussa oleskelutilassa esiintyy esimerkiksi hajua tai savua siten, että siitä voi aiheutua terveyshaittaa asunnossa oleskeleville, kunnan terveydensuojeluviranomainen voi velvoittaa haitan aiheuttajan ryhtymään toimenpiteisiin terveyshaitan poistamiseksi tai sen rajoittamiseksi (Terveydensuojelulaki 1994). Terveydensuojelulain tarkoittamana terveyshaittana voidaan pitää muun muassa savun tunkeutumista asuinhuoneistoon siten, että savun haju ylittää usein tai pitkäkestoisesti hajukynnyksen. Puunpoltolle tyypillinen savun haju ilmentää epäsuorasti kohonneita kaasumaisten ja hiukkasmaisten epäpuhtauksien pitoisuuksia huoneilmassa (Aalto 2008)

### **Puun polton päästöjen vähentäminen**

Puun pienpolton pienhiukkas- ja kokonaispäästöjä voidaan vähentää merkittävästi kehittämällä polttoprosessia, polttolaitteita ja palamisen laatua sekä käyttämällä hyvälaatuista polttoainetta. Päästöjä voidaan alentaa tiedottamalla ja opastamalla puun pienpolttajia. (Alakangas ym. 2017) Savuhaittoja saadaan vähennettyä asukasneuvonnalla, kieltämällä puun ja roskien ulkopoltto ja huonojen puukattiloiden käyttö taajamissa sekä antamalla ympäristösuosituksia vähäpäästöisille pientulisijoille. Savuvalitusten käsittelyyn kunnissa pitäisi saada valtakunnalliset ohjeet. (Salonen 2004) Puun pienpolton päästöjä voidaan vähentää polttamalla vain kuivaa ja puhdasta puuta. Roskia ja jätettä ei tulisijassa saa polttaa. Tuli on sytytettävä oikein. Polttotapahtuman kriittisimmät vaiheet päästöjen kannalta ovat tulen sytyttäminen ja palamisen alkuvaihe. Paras sytytystapa useimmissa tulisijoissa on sytyttää puut päältä, jolloin puusta kaasuuntuneiden yhdisteiden palaminen on täydellisempää. Myös riittävästä korvausilman saannista tulee huolehtia polton aikana ja erityisesti sytytysketkellä. Onnistuneessa poltossa puu ensin kaasuuntuu tulipesässä ja syntyneet palokaasut palavat eivätkä haihdu päästöinä ilmaan. Savun tulee olla vaaleaa, tumma savu kertoo aina suuresta hiukkasmäärästä. (Hengitysliitto 2018) Uusia vähäpäästöisiä varaavia takkoja on kehitetty ja kehitellään. Niissä polttotekniikkaa on kehitetty vähemmän päästöjä tuottaviksi mm. lisäämällä ilmaa voimakkaan pyrolyysin aikana ja kohdistamalla sekä jakamalla ilmaa oikeisiin kohtiin palamisen eri vaiheissa. (Alakangas ym. 2007) Nykyaikaisten tulisijojen palamisprosessissa on tavoitteena mahdollisimman puhdas palaminen ja pienet päästöt sekä parempi hyötysuhde. Pienempi polttoainemäärä palaa tehokkaammin ja korkeammalla hyötysuhteella, jolloin epätäydellisen palamisen päästöt pienenevät merkittävästi. Tulisijojen valmistajat hyödyntävät ensiöilman ja toisioilman suhteiden erilaisia painotuksia sekä johtamistapoja. Usein ensiöilma johdetaan panoksen alle arinan läpi ja toisioilma panoksen

päälle esimerkiksi suuluukun yläreunan aukoista. Toisiopalo polttaa erittäin kuumassa lämpötilassa ensiöpalon puusta irrottamat kaasut. Kehitteillä on myös erilaisia suodatintekniikoita mm. sähkösuodattimien ja erilaisia katalysaattoreiden käyttöä tulisijojen päästöjen vähentämiseen.

Puun pienpolton hiukkaspäästöjä rajoitetaan ensimmäinen kerran lainsäädännön keinoin, kun ekosunnitteludirektiivi määrää uusille markkinoilla oleville pienkattiloille ja tulisijoille enimmäispäästörajat vuosista 2020 ja 2022 alkaen. Asetus ei koske puukiukaita, jotka aiheuttavat tällä hetkellä arviolta 40 % puun pienpolton PM<sub>2,5</sub> -päästöistä. (Ympäristöministeriö 2019) Kansallinen ilmansuojeluohjelmassa on esitetty useita toimenpiteitä puun pienpolton haittojen vähentämiseksi. Ohjelmassa lisätään kansalaisten tietoisuutta puun pienpolton haitoista sekä lisätään tiedotusta ja opetusta tulisijojen oikeista käyttötavoista. Vähennetään saastuttavien puukiukaiden haittoja selvittämällä mahdollisuudet teknisten vaatimusten asettamisesta kiukaille. Lisäksi selvitetään kannusteiden käyttöönottoa kiukaiden uudistamisessa. (Ympäristöministeriö 2019) Juuri päättyneessä Itä-Suomen yliopiston Kiuas-hankkeessa on kehitetty mittauskonsepti, joka sisältää sekä päästömittaukset että kiukaan toiminnan saunassa. Konsepti on tehokas, nopea ja luotettava tapa verrata kiukaiden toimintaa, tehokkuutta ja päästöjä ja antaa realistisen kuvan kiukaiden pienhiukkas- ja kaasupäästöistä. Hiukkasten mittaustekniikka toimii erinomaisesti kiuasmittauksissa ja sitä ehdotetaan kansalliseksi polttoprosessien pienhiukkaspitoisuuksien mittaustandardiksi. (Tissari ym. 2019) Lisäksi kansallisessa ilmansuojeluohjelmassa tavoitteena on päivittää puun pienpoltoa koskevat terveydelliset ohjeet (STTV 2008) terveyden- ja ympäristönsuojeluviranomaisen työkaluksi nykyistä paremmin soveltuvaksi. Kehitetään käytännössä sovellettavaa mittausteknologiaa savuhaittojen valvontaan liittyvien mittausten luotettavuuden takaamiseksi. Kannustetaan vaihtamaan vanhat tulisijat ja kattilat sekä vesivaraajattomat kattilat vähäpäästöisiin laitteisiin ja selvitetään kannustimien käyttöönottomahdollisuuksia. Tehdään malli ja pilotoidaan hyviä käytäntöjä puunpolton savuhaittojen ehkäisemiseksi rakennusjärjestyksessä, rakentamistapaohjeessa ja tontinluovutusehdoissa. Suositellaan puuvaraston rakentamista kiinteistöihin, joissa on puulämmitteinen tulisija tai kattila. (Ympäristöministeriö 2019)

### **3.1.2. Liikenne ja katupöly**

Liikenne on merkittävä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, typenoksidien, hiukkasten ja hiili-dioksidin päästölähde. Lisäksi liikenne tuottaa mustaa hiiltä eli nokea. Liikenteen tuottamat karkeat hiukkaset ovat peräisin maaperän kiviaineista, hiekoitushiekasta ja nastarenkaiden pölystä (Pekkanen 2004). Ajoneuvoliikenteen pienhiukkaspäästöt koostuvat sekä ajoneuvojen moottorien päästöistä että katupölystä. (Salonen ym. 2006)

#### **Ajoneuvojen polttoperäiset päästöt**

Ajoneuvojen polttoperäisistä hiukkaspäästöistä suurin osa on pienhiukkaskokoalueella ja massajakauman huippu on noin 100 nanometrin kokoluokassa. Dieselin poltosta peräisin olevien pienhiukkasten on todettu olevan karsinogeenisia ja dieselikäyttöisten ajoneuvojen pakokaasujen kokonaisuus on suurempi kuin bensiinikäyttöisillä autoilla. Toisaalta bensiinikäyttöisten autojen pakokaasut sisältävät joidenkin tutkimusten mukaan korkeampia pienhiukkasten lukumääriä verrattuna dieselajoneuvoihin. (Ohlström ym. 2005) Ajoneuvojen moottori-peräisiä pienhiukkaspäästöt ovat alentuneet moottori- ja suodatinteknologian ja uusien polttoaineiden ansiosta. Suomen kansallisen ilmansuojeluohjelmassa tuetaan toimenpiteitä ja ehdotuksia, jotka koskevat autokannan uudistumisen nopeuttamista ja nolla ja vähäpäästöisten ajoneuvojen osuuden lisäämistä liikenteessä sekä henkilöautoliikenteen suoritetta vähentäviä toimenpiteitä kaupunkiseuduilla. (Ympäristöministeriö 2019)

#### **Katupölypäästöt**

Katupölypäästö koostuvat tien, jarrujen, renkaiden ja hiekoitussoran hiukkasista. Suurin osa katupölystä on hienoksi jauhautunutta asfalttia ja hiekoitushiekkaa, mutta se sisältää myös nokihiukkasia, autojen renkaista, jarruista ja muista osista irtoavaa materiaalia sekä maaperän mikrobeja. Erityisesti nastarenkaat kuluttavat voimakkaasti asfaltin pintaa, mikä näkyy selkeästi ilmanlaadussa etenkin vilkasliikenteisillä kaupunkialueilla, joissa saasteiden laimeneminen on heikkoa. Kevätkaudella katupölyn seassa on myös siitepölyä. Kun ilma lämpenee ja tienpinnat kuivuvat, hiukkaset nousevat ilmaan. Hiukkaspitoisuudet voivat kasvaa hetkittäin jopa kymmenkertaisiksi normaaliin verrattuna. Katupölyhiukkasista suurin osa kuuluu hengitettävien hiukkasten karkeaan kokoluokkaan ( $PM_{10-2,5}$ ), mutta seassa on myös pienhiukkasia. Päästöt ovat suurimmat kaupunkiympäristössä. Katupölylle altistutaan kaupunkien keskustojen lisäksi myös vilkkaasti liikennöityjen väylien varrella. Talven ja kevään sääolot sekä katujen



kunnossapito vaikuttavat siihen, kuinka paljon katupölyä kertyy kaduille ja milloin pöly nousee ilmaan. Pölykausi on tyypillisesti pahimmillaan Suomessa maalisi–huhtikuussa. Pölyisyys vähenee katujen puhdistuksen edetessä.

Katupölyn määrää ilmassa voidaan vähentää aloittamalla katujen puhdistuksen ripeästi heti sään salliessa sekä käyttämällä vettä hiekanpoistossa pölyämisen estämiseksi. Pölyämisen estoon voidaan tarvittaessa käyttää kalsiumkloridiliuosta. Talviaikainen hiekoitus tulisi kohdentaa oikeisiin paikkoihin ja hiekoituksessa käyttää hyvälaatuista pestyä hiekkamursketta. (Hengitysliitto 2018). Myös alennetut nopeusrajoitukset esim. päiväkotien, koulujen ja vanhustenhoidolaitosten lähellä voisivat olla perusteltuja katupölyaikaan.

Keväisin katupöly altistaa lyhytaikaisesti suurille pitoisuuksille karkeita hengitettäviä hiukkasia aiheuttaen ihmisille suuria määriä lieviä terveydellisiä haittoja. (Salonen ym. 2006) Katupölyn aiheuttamat terveyshaitat ovat hyvin samanlaisia kuin ne, joita syntyy liikenteen pakokaasuille ja puunpolton savuille altistumisessa. Erityisen haitallista katupölylle altistuminen on riskiryhmille kuten astmaatikoiden, pienille lapsille, iäkkäille sekä sepelvaltimo- tai keuhkohtaumatautia sairastaville. Katupöly voi pahentaa sydän- ja hengityssairaiden oireita. THL:n mukaan katupöly on talvikauden puulämmityksen savujen jälkeen yksi pahimpia terveyshaittoja aiheuttavista paikallisista ilmansaasteista kaupungeissa. Katupölyn pienhiukkasten on arvioitu aiheuttavan Suomessa vuosittain jopa 50–60 ennen aikaista kuolemaa.

Asunnoissa katupölyn haittoja voidaan estää pitämällä ikkunat kiinni ja välttää ikkunatuuletusta, kun katupölyaika on pahimmillaan ja ilmanlaatu on huono. Katupölyn kulkeutumista asuntoihin estetään tehokkaalla tuloilmansuodatuksella ja suodattimien säännöllisellä vaihtamisella. Suositeltavaa on vaihtaa suodattimet vähintään kaksi kertaa vuodessa ja ajoittaa vaihtajuuri ennen katupölykauden alkua. Katupölyaikaan pyykkiä kannattaa mahdollisuuksien mukaan kuivattaa sisällä, pölyn kulkeutumisen estämiseksi sisätiloihin. Kansallisen ilmansuojeluohjelman tavoitteena on mm. tehostetaan katujen puhtaana ja kunnossapidon parhaiden käytäntöjen leviämistä kuntiin ja urakoitsijoille sekä lisätä informaatio-ohjausta autoilijoille ilmanlaadun ja turvallisuuden kannalta parhaista rengasvalinnoista. Lisäksi selvitetään nastarenkaiden käyttörajoituksia tietyillä alueilla (Ympäristöministeriö 2019).

### ***3.1.3. Teollisuus ja energiantuotanto***

Teollisuus ja energiantuotanto ovat pienhiukkasten, rikkidioksidin ja typenoksidien sekä orgaanisten yhdisteiden päästölähteitä. Hiukkaset syntyvät yleensä epätäydellisen palamisen seurauksena. Osassa teollisuuden päästöistä hiukkasissa on mukana myös raskasmetalleja, kuten metalliteollisuudessa ja jätteenpolttolaitoksissa. Suomessa energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset on nykyään varustettu puhdistimilla ja tehokkailla hiukkasvähennyslaitteilla, pääasiassa piippuihin asennettavilla sähkösuodattimilla, joiden avulla pienhiukkaspäästöjä on pystytty vähentämään. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöjä ilmaan voidaan vähentää myös lisäämällä vähäpäästöisten tai päästöttömien energiantuotantomuotojen osuutta. Myös energiatehokkuustoimenpiteillä on mahdollista vähentää energiantuotannon päästöjä. Kun energiatehokkuutta parannetaan, niin tarve tuottaa energiaa vähenee (Ympäristöministeriö 2019).

### ***3.1.4. Kaukokulkeuma***

Suomessa ulkoilmassa leijuvasta pienhiukkasmassasta suurin osa on kaukokulkeumaa Suomen rajojen ulkopuolelta, erityisesti Länsi- ja Keski-Euroopasta, Baltian maista ja Venäjältä. On arvioitu, että pääkaupunkiseudun vilkasliikenteisillä alueilla keskimäärin jopa 50-70 prosenttia pienhiukkasista on kaukokulkeumaa. Kevyet pienhiukkaset voivat kulkeutua ilmapvirtausten mukana jopa tuhansia kilometrejä ja poistuvat ilmasta vasta sateiden mukana. (Hengityслиitto 2018, Tilastokeskus 2008) Kaukokulkeutuneet hiukkaset voivat ajoittain nostaa pienhiukkaspitoisuudet korkeiksi ja vuorokausipitoisuudet nousevat tällöin pääkaupunkiseudulla yli kolminkertaisiksi verrattuna vuosikeskiarvoon. Tällaisten kaukokulkeumaepisodien aikaan taso ylittää Maailman terveysjärjestön WHO:n ohjearvon ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24 h) (WHO 2018). Säätekijöillä on suuri vaikutus ilmansaasteiden kulkeutumiseen ja avopalojen määrään ja siksi kaukokulkeumaepisodien määrä, kesto ja voimakkuus vaihtelevat voimakkaasti vuosittain. Kaukokulkeutuneet pienhiukkaset sisältävät mm. orgaanisia hiiliyhdisteitä, nokea, sulfaattia, ammoniumia, nitraattia ja metalleja. Avopaloista peräisin olevat hiukkaset sisältävät erityisen paljon orgaanisia hiiliyhdisteitä, mm. syöpäriskiä lisääviä polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH), sekä nokea. Pienhiukkasten lisäksi ilmapirtaukset kuljettavat mukanaan ajoittain pitkiä matkoja karkean kokuokan hiukkasia, mm. merisuola hiukkasia aaltojen pärskeistä, maaperäpölyä kuivilta alueilta, lentotuhkaa voimalaitosten savupiipuista ja siitepölyä sekä itiöitä kasvillisuudesta. (HSY 2019).

### **3.1.5. Muut lähteet**

Karkeita hengitettäviä yhdisteitä muodostuu ilmaan paikallisista lähteistä kuten rakennus- ja louhintatöissä, materiaalien käsittelyssä ja maansiirrossa teollisuuslaitoksissa ja energiaa tuottavissa laitoksissa sekä satamissa. (Salonen ym. 2006)

### **3.2. Rakennuksen sisälähteistä peräisin olevat hiukkaset**

Vaikka rakennusten sisäilman hiukkasista suurin osa kulkeutuu ulkoilmasta, on sisäilmassa myös rakennuksesta peräisin olevia hiukkasia. Sisäilma ja huonepöly sisältävät sekä orgaanisia että epäorgaanisia hiukkasia. Epäorgaanisia kuitumaisia hiukkasia ovat mm. rakennusmateriaaleista peräisin oleva sementti- ja betonipöly, kipsipöly ja lämmön- ja ääneneristeistä peräisin olevat teolliset mineraalivillakuidut sekä asbesti. Orgaanisia hiukkasmaisia epäpuhtauksia ovat mm. homeitiöt, bakteerit, virukset ja punkit. (Sisäilmayhdistys 2008, Ympäristöopas 2016) Lisäksi sisäilman hiukkasia syntyy ihmisen toiminnan seurauksena Pienhiukkasia sisäilmaan tuottavaa toimintaa ovat mm. ruoanlaitto, tupakointi, kynttilöiden poltto, erilaiset avotulilähteet, kaasuhellat ja siivous sekä imurit. Myös kopiokoneet ja erilaiset tulostimet kuten lasertulostimet ja 3D-tulostimet tuottavat hiukkasia sisäilmaan, joista osa on erittäin pieniä nanokokoluokkaa. Myös ihmisestä itsestään, pääasiassa ihon uloimmasta kerroksesta, irtoaa jatkuvasti partikkeleita ja niiden mukana mikrobeja.

Sisäilman epäpuhtauspäästöt ja -pitoisuudet vaihtelevat ajallisesti ja niihin vaikuttavat ihmisen toiminta sekä monet olosuhdetekijät. Epäpuhtauksien torjunnassa olisi päähuomio kiinnitettävä epäpuhtauslähteiden poistamiseen ja vähentämiseen sekä hyvästä ilmanvaihdosta ja ilman-suodatuksesta huolehtiminen. Huoneilman laatua voidaan parantaa myös monilla rakennussuunnitteluun, rakentamiseen ja kalustukseen liittyvillä keinoilla.

### **3.2.1. Rakennus- ja sisustusmateriaalit**

Osa sisäilman hiukkasista on peräisin rakennus- ja sisustusmateriaaleista. Suurin osa näistä hiukkasista on karkeaa ja hengitettävää kokoluokaltaan (PM<sub>10</sub>). Lisäksi materiaaleihin voi myös absorboitua erilaisia epäpuhtauksia, kuten tupakansavua, jotka myöhemmin uudelleen ilmaan vapautuessaan aiheuttavat ilman laadun huononemista. Sisäilmaan saattaa kulkeutua hiukkasia myös rakenteista, mikäli ilmaa kulkeutuu rakenteiden läpi hallitsemattomasti. Likaiset tai huonokuntoiset ilmanvaihtolaitteet ja -kanavat voivat myös tuottaa hiukkasia sisäilmaan.

#### **Rakennuspöly**

Rakennuspölyä tulee sisäilmaan sekä uudisrakentamisessa että korjausrakentamisessa. Korjausrakentamisessa pölyä syntyy erityisesti vanhoja rakenteita purettaessa. Uudisrakentamisessa pölyongelmat syntyvät enimmäkseen hionta- ja tasoitetöissä ja myös siivouksessa. Rakennuspölyn sisältämä betonipöly, kivi- ja tiilipöly sekä puupöly vaikuttavat terveyteen. Suurin osa rakennuspölystä on betonipölyä, jota leviää sisäilmaan korjaus- ja rakennustöissä tai pinnoittamattomilta betonipinnoilta. Betonipöly ärsyttää limakalvoja korkean alkalisuutensa takia. Betonipöly sisältää kvartseja, joka pitkäaikaisessa altistuksessa lisää keuhkosairauksien riskiä. (Ympäristöopas 2016).

#### **Mineraalivillakuidut**

Epäorgaanisia kuituja ovat mm. lasikuidut (tekniset lasikuidut) ja mineraalivillakuidut kuten vuorivilla, lasivilla ja kuonavilla, jotka voivat esiintyä sisäilmassa leijuvina ja pinnoille laskeutuvina. Mineraalivillakuituja käytetään rakennusten ulkoseinien ja ylä- ja alapohjarakenteiden lämmöneristemateriaaleissa, ilmanvaihtokanavien lämpö-, äänen- ja paloeristemateriaaleissa, ilmanvaihtosuodattimissa ja huonetilojen äänenvaimennusmateriaaleissa kuten akustiikkalevyissä ja -paneeleissa. Mineraalivillakuidut ovat halkaisijaltaan alle 3 µm:stä noin 8 µm:iin. Kuituja irtoaa materiaaleista niiden ikääntyessä ja haurastuessa sekä mekaanisen rasituksen, ilmavirtausten ja tärinän irrottamina. Mineraalivillakuidut ärsyttävät ihoa, silmiä ja limakalvoja. (Hengityслиitto 2019, Sisäilmayhdistys 2008, Ympäristöopas 2016) Teollisten mineraalikuitujen toimenpideraja kahden viikon aikana pinnoille laskeutuneessa pölyssä on 0,2 kuitua/cm<sup>2</sup>. (Asumisterveysasetus 2015)

## **Asbesti**

Asbesti on yhteisnimitys tietyille silikaattikuitumateriaaleille. Asbestikuituja on käytetty Suomessa useissa eri rakennusmateriaaleissa 1920-1990 luvuilla. Asbestikuituja pääsee sisäilmaan, kun asbestipitoisia materiaaleja käsitellään esimerkiksi vanhojen rakenteiden korjausten ja purkamisen yhteydessä ilman asianmukaista suojausta. Terveydelle vaarallisimpia ovat asbestikuidut, joiden pituus on 5-10 µm ja halkaisija 0,3-1 µm. Kuidut pääsevät pienimpien keuhkoputkien ja -rakkuloiden seinämiin vaurioittaen soluja. Osa kuiduista kulkeutuu ylemmistä hengitysteistä puhdistusmekanismien mukana nielun kautta vatsaan. (Hengityслиitto 2019, Sisäilmayhdistys 2008) Asumisterveysasetuksen mukaan sisäilman asbestin kuitupitoisuus ei saa ylittää 0,01 kuitua/cm<sup>3</sup>. (Asumisterveysasetus 2015). Asbestikuituja ei myöskään saa olla pinnoille laskeutuneessa pölyssä.

### **3.2.2. Huonepöly**

Huonepöly on leijuvaa ja laskeutuvaa pölyä, joka koostuu epäorgaanisista ja orgaanisista hiukkasista ja kuiduista. Pölyn lähteitä ovat esimerkiksi ulkoilma ja rakennuksen ulkoympäristö, ihminen, kotieläimet, vaatteet ja tekstiilit, rakennus- ja sisustusmateriaalit, elintarvikkeet ja mikrobitoiminta rakennuksessa. Pöly voi olla lähtöisin myös materiaalien ja suojauskäsittelyjen kulumisesta. Leijuva pöly jaetaan hieno- ja karkeapölyyn. Leijuvaa pölyä poistetaan ilmanvaihdon avulla ja laskeutunutta pölyä erilaisilla siivousmenetelmillä. (Sisäilmayhdistys 2008, Väisänen 2014)

Pinnoille laskeutuneen pölyn ja terveysoireiden välillä on yhteys. Erityisesti kauan pinnalla ollut pöly sitoo itseensä ilmasta kaasuja ja orgaanisia haihtuvia yhdisteitä. Nämä aineet saattavat aiheuttavat ärsytysoireita ja hajuhaittoja. Myös pölyn sisältämät homeet ja bakteerit voivat aiheuttaa haitallisia terveysvaikutuksia, erityisesti jos ne ovat peräisin kosteusvaurioista. (Puhdistusala 2019) On todettu, että pintojen hiukkaspitoisuus voi aiheuttaa limakalvo-oireita, silmien ja nenän ärsytystä ja kuivumista, nenän tukkoisuutta, väsymistä ja päänsärkyä.

### **3.2.3. Mikrobit**

Mikrobeja esiintyy rakennuksissa, rakenteiden pinnoilla ja sisällä sekä sisäilmassa. Rakennuksessa esiintyvät mikrobit ovat osittain peräisin luonnosta kuten maaperästä, kasvien pinnoilta ja ulkoilmasta. Ulkoilmasta mikrobit voivat kulkeutua sisäilmaan ilmanvaihdon, ovien, ikkunoiden sekä ihmisten vaatetuksen ja jalkineiden kautta. Jos rakennuksen sisäpinnat tai rakenteet ovat riittävän kauan kosteudelle alttiina, alkavat tavalliset sisäilman mikrobit lisääntyä ja sisäilmaan leviää ajoittain tavallista suurempia määriä itiöitä. Kosteusvauriokohtiin alkaa myös muodostua sellaisten homesienten kasvustoja, joita ei yleensä esiinny sisätiloissa. Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen, ravinteita, kosteutta sekä lämpöä. Hapetta ja ravinteita rakenteissa on lähes aina riittävästi. Usein myös lämpötila on riittävän korkea (yleensä yli +5...+10°C) etenkin rakenteiden sisällä, jotta mikrobien kasvaminen on mahdollista. Tärkein kasvua rajoittava tekijä onkin usein riittävä kosteus. Tavanomaisesti kasvu on mahdollista, kun ilman tai rakenteiden pinnan suhteellinen kosteus RH ylittää 75–80 %. Mikrobien itiöiden koko vaihtelee välillä 1–120 µm. Useimpien kosteusvauriorakennuksille tyypillisten homeiden itiöt ja monet mikrobit ovat kooltaan <5 µm, joten ne leijuvat hyvin ilmassa ja pääsevät limakalvoille ja hengitysteihin, pienimmät myös keuhkorakkuloihin. (Hengityслиitto 2019, Sisäilmayhdistys 2008, Vouti 2018)

Sisäympäristön bakteeri- ja sieni-itiöpitoisuuksille ei ole olemassa terveysperusteisia raja-arvoja. Asumisterveysasetuksen mukaan taajamassa sijaitsevien asuntojen sisäilman sienipitoisuudet 100–500 pmy/m<sup>3</sup> ovat poikkeavan suuria talviaikaan. Jos myös näytteen mikrobilajisto on tavanomaisesta poikkeava, mikrobikasvun esiintyminen on todennäköistä. Alle 100 pmy/m<sup>3</sup>:n mikrobipitoisuus voi viitata mikrobikasvustoon asunnossa, mikäli näytteen lajistossa esiintyy kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja eli ns. kosteusvaurioindikaattoreita. Taajamassa sijaitsevan asunnon talviaikainen sienipitoisuus yli 500 pmy/m<sup>3</sup> on mikrobikasvustoon viittaava. (Asumisterveysasetus 2015)

### **3.2.4. Tupakanpoltto**

Ympäristön tupakansavu on savukkeen ja muiden tupakkatuotteiden poltosta muodostuvien hiukkasten, aerosolien ja kaasujen seos. Sisätiloissa tapahtuva tupakointi on merkittävä pienthiukkasten lähde. Osa tupakoinnin ja passiivisen tupakoinnin aiheuttamista terveyshaitoista

johtuu tupakansavun sisältämistä PM<sub>2,5</sub> -hiukkasista. Tupakansavu kulkeutuu asuntojen sisäilmaan myös ulkoa sekä naapurien parvekkeilta ja asunnoista ilmanvaihdon ja rakennevuotojen seurauksena.

Asumisterveysasetuksen mukaan sisäilmassa ei saa toistuvasti esiintyä aistinvaraisesti tunnistettavaa tupakansavua, joka on kulkeutunut asuntoon tai muuhun oleskelutilaan ulkoa tai muualta rakennuksesta. Sisäilman tupakansavu ei saa ylittää nikotiinipitoisuutena mitattuna 0,05 µg/m (Asumisterveysasetus 2015)

### *3.2.5. Kynttilöiden polttaminen*

Kynttilöiden polttaminen sisätiloissa tuottaa sisäilmaan pienhiukkasia ja ultrapieniä hiukkasia, nokea sekä PAH-yhdisteitä. Pienhiukkasia muodostuu erityisesti epätäydellisestä palamisesta. Mitä enemmän kynttilä käryttää tai sen liekki lepattaa sitä epätäydellisempää palaminen on ja enemmän päästöjä syntyy. Päästöihin vaikuttavat palamisolosuhteiden ja kynttilöiden lukumäärän lisäksi mm. kynttilöiden sydänlangan ominaisuudet sekä kynttilän raaka-aineet. Pitoisuustasoon asunnossa vaikuttavat merkittävästi myös ilmanvaihdon tehokkuus ja asunnon tilavuus. Kynttilöiden vaikutus sisäilman laatuun johtuu siitä, että polttopäästöjä ei johdeta minkäänlaiseen savujenpoistohormiin, kuten esimerkiksi takkaa poltettaessa. Kynttilänpolton pienhiukkaset ja kaasumaiset päästöt tulevat suoraan huoneessa oleskelevien hengitysilmaan.

Tuoreen Suomessa tehdyn tutkimuksen mukaan runsas kynttilänpoltto kohotti erityisesti ultrapienien hiukkasten lukumääräpitoisuutta omakotitalon sisäilmassa useiden tuntien ajaksi kynttilöiden sytytys- ja sammutustavasta riippumatta. Tutkimuksen mukaan sisäilman pitoisuustaso vastasi vilkkaan liikenneympäristön pitoisuustasoa. Myös pienhiukkasten ja mustan hiilen masapitoisuudet nousivat tavanomaisia liikenneympäristöjä korkeammalle tasolle. Pitoisuustasoa nosti erityisesti kynttilän sammuttaminen puhaltamalla ja kynttilän savuttaminen. Tutkimuksessa kynttilöitä poltettiin tulo- ja poistoilmanvaihdon omakotitalon erikokoisissa huoneissa. (Pasanen ym. 2019)

Kynttilöiden polton aiheuttamien terveyshaittojen arviointi perustuu epäsuoriin menetelmiin, koska kattavia seurantalutkimuksia ei kynttilöiden osalta Suomessa ole tehty. Asunnoissa, joissa ilmanvaihto on huono, vähäinenkin kynttilän poltto voi aiheuttaa terveydelle haitallisia

pitoisuuksia sisäilmaan. Terveyshaittojen arviointi on vaikeaa, koska altistumispitoisuuksiin ja asukkaisen altistumiseen vaikuttavat useat samanaikaiset tekijät kuten kynttilöiden laatueroat, huoneen koko ja asunnon ilmanvaihto. Kynttilöiden tuottamat pienhiukkaset voivat aiheuttaa mm. nuhaa, ärsytystä kurkussa ja ahdistaa hengitysteitä. Herkät väestöryhmät kuten vanhukset, pienet lapset sekä allergikot ja astmaatikoit reagoivat usein jo kymmenesosapitoisuuksiin verrattuna terveisiin henkilöihin. On arvioitu, että useiden kynttilöiden samanaikainen poltto sisällä tuottaa ilmaan pienhiukkasmäärän, joka vastaa passiivista tupakointia (HS 2018).

### ***3.2.6. Ruoan valmistus***

Ruoan laitto varsinkin liedellä vapauttaa ilmaan pienhiukkasia, joten liesituuletinta tulee käyttää ruokaa laitettaessa ja liesituulettimen suodatin puhdistaa säännöllisesti. Ruoan valmistus kaasuliedellä tuottaa enemmän hiukkasia sisäilmaan kuin valmistus sähköliedellä. Mitä korkeampaa lämpötilaa käytetään ruoan valmistuksessa sitä suuremmat ovat syntyvät hiukkaspäästöt. Erityisen paljon hiukkasia sisäilmaan tuottaa rasvaisen ruoan paistaminen öljyssä (Buonanno ym. 2009). Ruotsalaistutkimuksen mukaan tutkimuksiin osallistuneissa ruotsalaiskodeissa pääasialliset ultrapienien hiukkasten lähteet sisäilmassa olivat peräisin sekä ruoan valmistuksesta ja kynttilöiden poltosta (Isaxon ym. 2015)

## **4. HIUKKASTEN TERVEYSVAIKUTUKSET**

Huomattava osa sisäänhengitysilman pienhiukkasista tarttuu hengityselinten eri osiin; ylähengitysteihin, keuhkoputkiin ja keuhkorakkuloihin. Osa hiukkasista tai niiden osista siirtyvät verenkiertoon.

Vaikka viime vuosina on saatu runsaasti uutta tietoa hiukkasten todennäköisistä vaikutusmekanismeista, eri mekanismien yksityiskohtia ja suhteellista merkitystä ei vielä tunneta tarkasti. Nykykäsityksen mukaa hiukkasten vaikutukset välittyvät todennäköisesti tulehduksen ja autonomisen hermoston kautta hengityselimistöstä verenkiertoelimistöön ja sydämeen. Hiukkasten tiedetään olevan haitallisia hengityselimistölle sekä sydän- ja verenkiertoelimistölle. Yleisimpiä haittoja ovat ärsytysoireet ja lievät hengityselinoireet, kuten kurkun ja silmien kutina, nuha



ja yskä. Erityyppisille ärsytysoireille herkimpiä ovat hengityselinsairaat ja pienet lapset. Riskiryhmiin kuuluvat erityisesti henkilöt, jotka kärsivät kroonisista hengityselin- sekä sydän- ja verisuonisairauksista kuten sepelvaltimotaudista, sydämen vajaatoiminnasta, keuhkohtaumataudista tai astmasta. Astmasta ja keuhkohtaumataudista kärsivien sairaus saattaa pahentua heikon ilmanlaadun vuoksi jopa niin, että vaaditaan sairaalahoitoa. (THL 2016).

Hiukkasille ei ole pystytty määrittämään pitoisuutta, jonka alapuolella ei terveyshaittoja enää esiintyisi eikä pienhiukkasten ja sairastuvuuden väliselle yhteydelle ole havaittu mitään kynnyspitoisuutta, joten myös Suomen matalien pitoisuuksien on todettu olevan yhteydessä terveyshaittoihin (Hänninen ym. 2010, THL 2016). Terveyshaittojen kannalta on ratkaisevaa, kuinka kauan ihminen altistuu korkeille pienhiukkaspitoisuuksille. Pitkäaikaisen altistumisen, joka kestää vuosia tai vuosikymmeniä, on todettu olevan haitallisempaa kuin lyhytaikainen altistuminen (THL 2016). Pitkäaikainen pienhiukkasaltistus lisää riskiä sairastua sydän- ja hengitystiesairauksiin sekä keuhkosityöpään ja täten se lisää ennenaikaisen sairastuvuuden ja kuolleisuuden riskiä. Lisäksi pienhiukkasten päivittäinen vaihtelu lisää sydän- ja hengitystieoireita, mikä johtaa lisääntyneeseen lääkkeiden käyttöön sekä sairaalahoitoihin, alentuneeseen toimintakykyyn ja kuolleisuuteen. Pienhiukkasilla on esitetty olevan vaikutuksia lisäksi mm. vastasyntyneiden terveyteen sekä astman puhkeamiseen. (Hänninen ym. 2010).

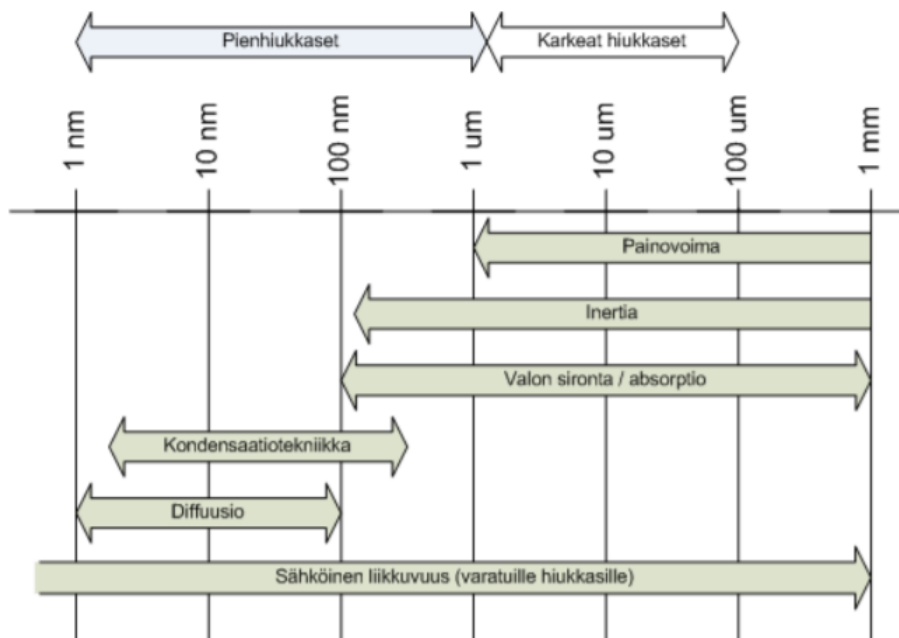
Pienhiukkasten lukumäärän ja massapitoisuuden lisäksi niiden vaarallisuuteen vaikuttavat erittäin paljon hiukkasten kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet, joten pienhiukkasten terveyshaittoja arvioitaessa tulee selvittää pienhiukkasten laatuerot. (Alakangas ym. 2007) Terveydelle haitallisimpia ovat epätäydellisestä palamisesta syntyvät hiukkaset. Eniten terveydellistä haittaa Suomessa aiheutuu pitkäaikaisesta altistumisesta liikenteen ja puun pienpolton pienhiukkasille. (Salonen ym. 2006) Pientalojen puulämmitys tuottaa sekä Suomessa että koko Euroopassa suuret pienhiukkasten, haihtuvien hiilivetyjen ja polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen (PAH) päästöt. Suomessa tapahtunut kaupungistuminen, yhdyskuntarakenteen tiivistyminen, väestön ikääntyminen sekä hengitystieallergioiden ja astman esiintyvyyden voimakas nousu lisäävät näiden epäpuhtauksien aiheuttamia terveysriskejä. (Salonen 2004)

Kuolleisuusriskin on arvioitu kohoavan lineaarisesti jokaista hiukkasipitoisuuden  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :n nousua kohden kuusi prosenttia vuosialtistumisena ja noin yksi prosenttia vuorokausialtistumisena ilmaistuina. Hyvin lyhyet, minuutteja tai tunteja kestävät kohonneet altistumiset voivat myös olla haitallisia sekä sydän- että keuhkosairaille. (Lanki ym. 2008) Lyhytaikainen

altistuminen pienhiukkasille voi lisätä hengitystieinfektioita ja pahentaa astmaa, keuhkoah-  
taumatautia sekä sepelvaltimotautia (Hengitysliitto 2018).

## 5. HIUKKASTEN MITTAUSMENETELMIÄ

Ilmasta voidaan mitata hiukkasten pitoisuutta, kokojakaumaa, massakonsentraatiota tai luku-  
määrää. Koska hiukkaset poikkeavat toisistaan kokonsa, koostumuksensa ja muotonsa osalta ja  
niiden pitoisuudet ilmassa voivat vaihdella, tarvitaan eri parametrien havainnointiin erilaisia  
mittalaitteita. Erilaiset mittalaitteet hyödyntävät eri fysikaalisia ominaisuuksia, joita ovat pai-  
novoima, inertia, valon sironta, kondensaatiotekniikka, diffuusio ja sähköinen liikkuvuus. (Kimpanpää 2011, Kainulainen 2017) (Kuva 6) Hiukkasten koon, lukumäärä- ja  
massapitoisuuden, koostumuksen ja muodon määrittämiseen on olemassa kaksi päämenetel-  
mää; hiukkasten keräykseen perustuvat menetelmät, jolloin analysointi tapahtuu laboratoriossa  
ja tutkimuskohteessa tehtävät jatkuvatoimiset mittaukset. (Korhonen 2011)



**Kuva 6.** Hiukkasien mittausalueet kokoluokittain, eri mittaustavoilla (Kimpanpää 2011).

Optisilla hiukkaslaskureilla voidaan mitata primäärisesti ilman hiukkasten kokojakaumaa ja lukumääräpitoisuutta sekä välillisesti hiukkasten massapitoisuutta. Optinen hiukkaslaskuri on helppokäyttöisyytensä vuoksi laajasti käytössä oleva mittalaite, jota käytetään yleisesti esimerkiksi hiukkasten tutkimuksessa sekä pitoisuuksien valvonnassa (Kainulainen 2017). Menetelmä perustuu valon sirontaan eli valon osumiseen kappaleeseen, josta se jatkaa edelleen matkaa, heijastuu tai taittuu. Kuinka paljon valo imeytyy hiukkaseen, riippuu hiukkasen koosta ja koostumuksesta (Kimpanpää 2011). Laskureilla pystytään mittaamaan hiukkaskokoja välillä 0,3 – 10  $\mu\text{m}$ , joten ne soveltuvat hyvin mm. siivouksella poistettavien hiukkasten tutkimiseen. (Korhonen 2011)

Suomen ulkoilmanlaadun seurantamittausohjeen mukaiset hengitettävien ja pienhiukkasten ( $\text{PM}_{10}$  ja  $\text{PM}_{2,5}$ ) massapitoisuudet määritetään menetelmällä, joka on kuvattu standardissa SFS-EN 12341:2014 (Ambient air – Standard gravimetric measurement method for the determination of the  $\text{PM}_{10}$  or  $\text{PM}_{2.5}$  mass concentration of suspended particulate matter). Tällä hiukkasten gravimetrisellä vertailumenetelmällä erotetaan ulkoilman hiukkasten koko niiden aerodynaamisten ominaisuuksien avulla kahteen eri kokoluokkaan eli fraktioon: aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 2,5  $\mu\text{m}$  ja alle 10  $\mu\text{m}$  hiukkaset. Menetelmällä saadaan mitattua käytännössä vain vuorokausipitoisuuksia. Vertailumenetelmää yleisempi menetelmä ilmanlaadun seurannassa ovat erilaiset jatkuvatoimiset analysaattorit, joilla saadaan tietoa hiukkasten tuntipitoisuuksista. (Komppula ym. 2017) Myös sisäilmastoluokituksen pienhiukkashiukkaspitoisuudet ( $\text{PM}_{2,5}$ ) mitataan standardin SFS-EN-12341 mukaisesti rakennuksen normaalin käytön aikana mittauksen kestäessä 24 tuntia. (Sisäilmastoluokitus 2018)

Pintapölyä sisäpinnoilta voidaan mitata BM Dustdetector-mittalaitteella, joka on kehitetty 1991 Tanskassa. Dustdetector-menetelmässä pölynäyte kerätään geeliteipin pinnalle painamalla geeliteippi vakiovoimalla (telan avulla) tutkittavaan pintaan. Geeliteippiin tarttuneen pölyn määrä mitataan optisesti (laser). Mittalaite ilmoittaa suoraan pölypeittoprosenttina, kuinka suuri osa teipin pinnasta (pinta-ala noin 6  $\text{cm}^2$ ) on pölyn ja lian peitossa. (Korhonen 2011)

## 6. PIENHIUKKASTEN RAJA-ARVOT

Ulkoilman (WHO 2018) ja sisäilman hiukkaspitoisuuksille on asetettu ohje- ja raja-arvoja (Asumisterveysasetus 2015, Sisäilmastoluokitus 2018). (Taulukko 2)

**Taulukko 2.** Ulkoilman ja sisäilman hiukkaspitoisuuksien raja-arvoja.

			PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
			vuosi	24 h	vuosi	24 h
WHO asumisterveysohje (WHO, 2018)			10	25	20	50
Asumisterveysasetus 2015				25		50
Sisäilmastoluokitus 2018	Luokka	S1		< 10		
	Luokka	S2		< 10		
	Luokka	S3		< 25		

### 6.1. Ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot

WHO:n vuorokausiohjearvo pienhiukkasille (PM<sub>2,5</sub>) on 25 µg/m<sup>3</sup> ja vuosiohjearvo on 10 µg/m<sup>3</sup>. Vastaavasti WHO:n vuorokausiohjearvo hengitettäville hiukkasten (PM<sub>10</sub>) on 50 µg/m<sup>3</sup> ja vuosiohjearvo on 20 µg/m<sup>3</sup>. (WHO 2018). EU:ssa (PM<sub>2,5</sub>) pienhiukkasten vuotuinen raja-arvo on 25 µg/m<sup>3</sup> (EU 2008). Terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) pitoisuudet ulkoilmassa eivät saa Suomessa ylittää raja-arvoa 25 µg/m<sup>3</sup> (Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 2017).

### 6.2. Sisäilman pienhiukkaspitoisuuksia koskevat ohjearvot

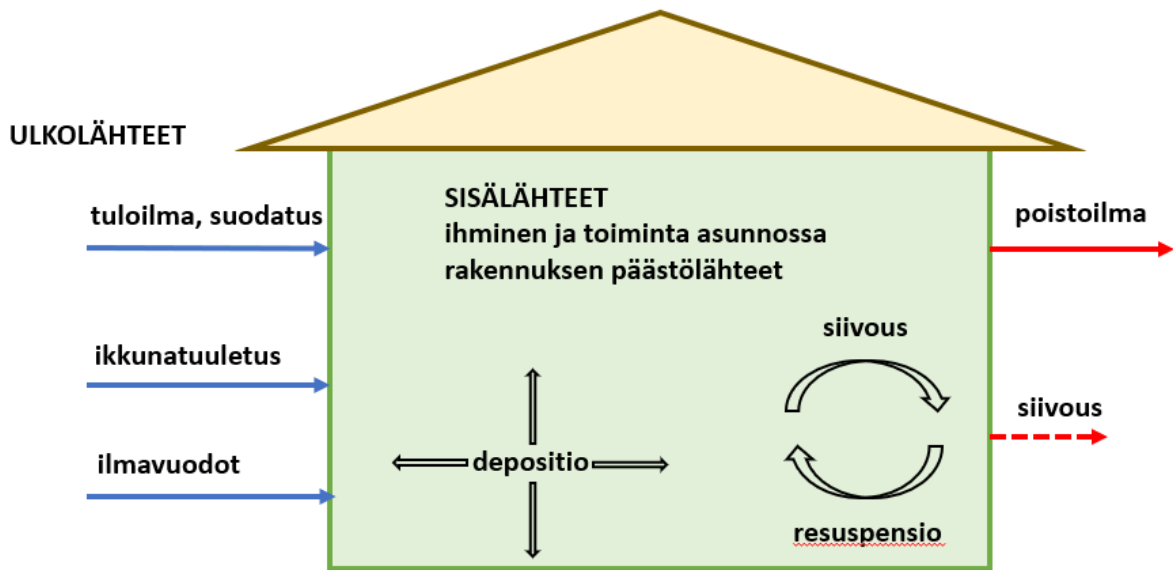
Asumisterveysasetus on Sosiaali- ja terveysministeriön terveydensuojelulain nojalla asetus asunnon tai muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista. Asumisterveysasetuksen mukaan hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään 50 µg/m<sup>3</sup>. Pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään 25 µg/m<sup>3</sup>. (Asumisterveysasetus 2015)

Sisäilmastoluokitus on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna. Luokitusta voidaan käyttää uudisrakentamisen lisäksi soveltuvin osin myös korjausrakentamisessa. Sisäilmastoluokitus on kolmitasoinen; laatuluokat S1 (yksilöllinen sisäilmasto), S2 (hyvä sisäilmasto) ja S3 (tydyttävä sisäilmasto). Sisäilmastoluokituksen mukaan PM<sub>2,5</sub> –hiukkaspitoisuuksien tavoitearvot sisäympäristössä ovat S1- ja S2-luokissa alle 10 µg/m<sup>3</sup> ja S2-luokassa alle 25 µg/m<sup>3</sup>. Tämän lisäksi sisäilmastoluokituksessa on asetettu tavoitearvoksi, että PM<sub>2,5</sub>-hiukkaspitoisuuden suhde sisällä/ ulkona on alle 0,5 µg/m<sup>3</sup> S1-luokassa ja alle 0,7 µg/m<sup>3</sup> S2-luokassa. (Sisäilmastoluokitus 2018).

## **7. SISÄILMAN HIUKKASPITOISUUDEN HALLINTA**

Rakennuksen sisäilman hiukkaspitoisuuteen vaikuttavat ulkoilmasta kulkeutuvat hiukkaset sekä sisäiset päästölähteet. Sisäilman hiukkaspitoisuuteen vaikuttaa lisäksi hiukkasten laskeumanopeus, johon vaikuttaa hiukkasten koko, muoto ja tiheys. (Wallace 1996) Ulkoilmasta kulkeutuu hiukkasia sisäilmaan ilmanvaihdon puutteellisen tuloilmansuodatuksen sekä hallitsemattomien rakenteellisten vuotojen kautta. Lisäksi rakenteelliset ilmavuodot kuljettavat hiukkasmaisia epäpuhtauksia rakenteista ja rakennusmateriaaleista sisäilmaan. Hiukkasia poistuu rakennuksesta ilmanvaihdon kautta. Rakennuksen sisällä hiukkasia laskeutuu huonetilan pinnoille (depositio) sekä irtoaa pinnoilta takaisin huonetilaan (resuspensio). (kuva 7)

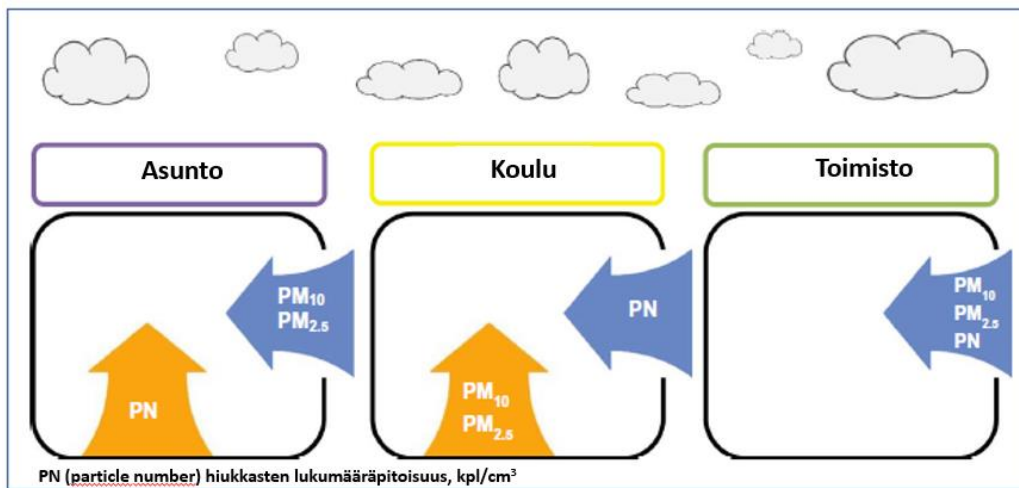
Suomessa pientaloalueella talviaikaan toteutetun tutkimuksen mukaan ulkoilman pienhiukkaset kulkeutuvat tehokkaasti asuntojen sisäilmaan. Tutkimuksessa seurattiin viiden vanhan ja kahden uuden pientalon sisäilmaa ja ulkoilman laatua talojen lähistöllä. PM<sub>2,5</sub>-hiukkasten sisäilman ja ulkoilman pitoisuuksien suhteen keskiarvo oli 38% ja polttoperäisiä pienhiukkasia kuvaavan mustan hiilen vastaava suhde oli 48 %. (Salonen ym. 2016)



**Kuva 7.** Sisäilman hiukkaspitoisuuteen vaikuttavat tekijät (perustuen Morawska ym. 2017).

Pienhiukkasille altistuminen sisätiloissa on yleensä pienempää asuinrakennuksissa, joissa on koneellinen tulo-poistoilmanvaihto sekä riittävä tuloilman suodatuksen taso. Edellytyksenä on, että ilmanvaihtokoneen suodattimet vaihdetaan riittävän usein ja ilmanvaihtokoneiston ja -kanaviston puhtaudesta huolehditaan. Ilmanvaihtojärjestelmän kanavapinnat ja suodattimet keräävät epäpuhtauksia ja erityisesti jo likaantuneet ja puhdistustarpeessa olevat kanavistot voivat toimia epäpuhtauslähteinä. Mikäli tuloilman suodattimet eivät ole tiiviisti paikoillaan suodatinkehysissä, tapahtuu ohivirtausta suodattimien ohi ja ilmanvaihtokanavistoon kertyy ulkoilman hiukkasmaisia epäpuhtauksia, jotka voivat kulkeutua myös sisäilmaan. Ilmanvaihto tulee myös säätää oikein. Myös tuloilman sisäänoton oikealla sijoittamisella, voidaan vähentää sisäilmaan kulkeutuvien pienhiukkasten määrää. Kaupunkiympäristössä ulkoilman laatu on parempaa sisäpihojen puolella sekä kattotasoilla verrattuna katutasoon. Tuloilman sisäänotto tulisikin tällöin järjestää riittävän ylhäältä ja etäältä raskaasta liikenteestä.

Hiukkaspitoisuustasoihin ja -lähteisiin vaikuttaa myös rakennuksen käyttö. Asunnoissa  $PM_{10}$ - ja  $PM_{2,5}$ -hiukkasten massapitoisuuksien päälähteiden on ulkoilma ja PN-hiukkaset (ultrapienten,  $< 0,1 \mu m$ , hiukkasten hiukkaslukumääräpitoisuutena ilmoitettuna) ovat pääosin peräisin sisälähteistä. Kouluissa  $PM_{10}$ - ja  $PM_{2,5}$ -hiukkasten pääasiallinen alkuperä on sisälähteet ja PN-hiukkaset tulevat pääosin ulkoilmasta. Toimistosisäilma on puhtaampaa ja sisälähteitä vähemmän kuin kodissa ja koulussa, joten toimistossa kaikkien kolmen hiukkaskokoluokan päälähteiden on ulkoilma. (Kuva 8) (Morawska ym. 2017)



**Kuva 8.** Sisäilman hiukkasten alkuperä asunnossa, koulussa ja toimistossa (Morawska ym. 2017).

### 7.1. Ilmanvaihto ja tuloilman suodatus

Ilmanvaihdolla sisäilmasta poistetaan hiukkasmaisia ja kaasumaisia epäpuhtauksia ja kosteutta sekä tuodaan ulkoilmaa korvausilmaksi. Ilmanvaihdon lisääminen pienentää sisälähteiden aiheuttamia pitoisuuksia, mutta samalla lisää ulkoilman saasteiden kulkeutumista sisälle, mikäli tuloilmaa ei suodateta tehokkaasti (kuva 5). Puutteellisesti toimiva tai riittämätön ilmanvaihto on usein sisäilmaongelmien aiheuttaja. Ilmanvaihdon oikean toiminnan edellytyksenä on, että poisto- ja tuloilmavirrat on säädetty suunnitelmien ja rakennuksen käyttötärpeiden mukaisiksi. Ilmanvaihto tulisi suunnitella siten, että puhdasta raitisilmaa johdetaan ns. puhtaisiin tiloihin eli oleskelutiloihin, kuten olo- ja makuuhuoneisiin ja poistettava ilma poistetaan ns. likaisista tiloista, kuten pesuhuoneesta, keittiöstä ja vaatehuoneista. Ilmanvaihdon tulee asunnoissa olla toiminnassa jatkuvasti. Ilmanvaihtojärjestelmänä asunnoissa voi olla painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto tai koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Riippumatta siitä, mikä ilmanvaihtojärjestelmä on, asunnossa tulee olla tulo- ja poistoilmaventtiilit, joiden kautta ilma hallitusti johdetaan. Lisäksi ilmanvaihtuvuus tulee varmistaa riittävien siirtoilmareittien avulla siten, että ilma pääsee kulkemaan asunnon sisällä tulolta poistolle. Pölyiset ja likaiset venttiilit heikentävät ilmanvaihtoa ja sisäilman laatua, joten niiden säännöllisestä puhdistamisesta on huolehdittava. Ilmanvaihtokanaviston puhdistus tulee tehdä asuinrakennuksissa 5-10 vuoden välein. Puhdistustyön jälkeen ilmavirrat tarkastetaan ja tarvittaessa säädetään.

Myös ilmanvaihtojärjestelmän suodattimet tulee vaihtaa vähintään pari kertaa vuodessa tai valmistajan ohjeen mukaan.

Suomen rakentamismääräysasetusten mukaan rakennuksiin tulevan ulkoilmavirran määrä mitoitetaan ensisijaisesti henkilöperusteen mukaan. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen mukaan ulkoilmavirran tulee kuitenkin olla pinta-alaperusteisen mitoituksen mukaisesti vähintään  $0,35 \text{ (dm}^3/\text{s)}/\text{m}^2$ , joka vastaa ilman vaihtuvuutta vähintään 0,5 kertaa tunnissa huoneessa, jonka vapaa korkeus on 2,5 m. Henkilöperusteinen mitoitus on vähintään  $6 \text{ dm}^3/\text{s}$  henkilöä kohti. (Asumisterveysasetus 2015, Mattila 2018)

**Painovoimaisen ilmanvaihdon** toimintaperiaate perustuu ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamaan paine-eroon. Siksi painovoimainen ilmanvaihto on herkkä sääolosuhteiden vaikutuksille, kuten tuulen ja ulkolämpötilan muutoksille. Sääolosuhteiden vaihtelusta johtuu, että ilmavirtojen suuruus painovoimaisessa ilmanvaihdossa vaihtelee ja ilmavirtoja on vaikea säätää. Mitä suurempi lämpötilaero ulko- ja sisäilman välillä on, sen paremmin painovoimainen ilmanvaihto toimii. Esimerkiksi kesäisin, kun ulkoilman lämpötila on lähellä sisäilman lämpötilaa, eivätkä tuuliolot tehosta ilmanvaihtoa, ilmanvaihdon toiminta heikkenee tai pahimmillaan ilma virtaa jopa väärään suuntaan poistohormissa tuoden sisäilmaan epäpuhtauksia.

**Koneellisessa poistoilmanvaihdossa** rakennuksesta poistetaan ilmaa poistohormiin asennettujen poistoventtiilien kautta erillisen puhaltimen, huippuimurin avulla. Ulkoilma tulee ulkoseinien korvausilmaventtiilien kautta sekä ilmavuotoina rakennusvaipan epätiivetyyskohtien kautta, mikäli rakennuksen tiiveydessä on puutteita.

**Koneellisella tulo- ja poistoilmajärjestelmällä** tarkoitetaan järjestelmää, jolla ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla ja tilalle tuodaan lämmitettyä ja suodatettua ulkoilmaa puhaltimen avulla. Järjestelmän säädettävyys on hyvä.



### *7.1.1. Tuloilman suodatusluokat*

Rakennusten sisäilman laadun hallinnassa tuloilman suodatuksella on keskeinen rooli. Hyvällä tuloilman suodatuksella voidaan tehokkaasti estää ulkoilman epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan. Sisäilman hiukkaspitoisuuden vaikuttavat rakennusten sisäiset päästölähteet sekä ulkoilmasta kulkeutuvat hiukkaset. Näitä ovat hallitsemattomien vuotojen kautta tulevat epäpuhtaudet sekä ilmanvaihtojärjestelmän kautta suodattimet läpäisseet ulkoilman hiukkaset. Ulkoilman pienhiukkaset ja ultrapienet hiukkaset kulkeutuvat erityisen hyvin rakennusten sisäilmaan, jossa on painovoimainen ilmanvaihto tai koneellinen poistoilmanvaihto ilman korvausilman suodatusta tai joissa hallittua korvausilman saantia ei ole lainkaan järjestetty korvausilmaventtiilien puuttuessa. Korvausilmaventtiilien puuttuessa korvausilma tulee hallitsemattomasti rakenteiden kautta tuoden ulkoilman epäpuhtauksien lisäksi sisäilmaan rakenteissa mahdollisesti olevia ja rakennusmateriaaleista lähteviä epäpuhtauksia ja pienhiukkasia.

Suodattamalla rakennukseen tuleva ilma voidaan huomattavasti vähentää ulkoilmasta sisäilmaan kulkeutuvien pienhiukkasten määrää. Kymmeniä vuosia ilmanvaihdon suodatuksessa käytettiin SFS-EN 779 standardin mukaista suodatinluokitusta (G1, G2, G3, G4, M5, M6, F7, F8 ja F9), joista varsinaisia hienosuodatin luokkia ovat F5-F9. F7-luokan suodattimet ja sitä paremmat suodattimet alentavat huomattavasti sisäilmaan kulkeutuvien pienhiukkasten ja ultrapienien hiukkasten pitoisuuksia. (Salonen ym. 2006). F7-luokan suodattimet poistavat hyvin suurikokoiset yli 1 mikrometrin kokoluokan pienhiukkaset ja suodattavat siten noin 40-60 % pienhiukkasista, mutta niiden tehokkuus pienemmille hiukkasille on huomattavasti heikompi. Tuloilman suodatuksen erotuskykyä pienhiukkasille voidaan parantaa käyttämällä korkeamman suodatinluokan tuloilmasuodattimia. F9-luokan suodattimet poistavat jopa 80 % pienhiukkasista. Suodatuksen tehostamisen vaikutus riippuu vuotoilmavirtojen suhteellisesta osuudesta koneelliseen ilmanvaihtuvuuteen verrattuna. Parhaimmat tulokset saavutetaan silloin kun vuotoilmavirrat ovat mahdollisimman vähäisiä.

Ongelmana perinteisillä suodatinratkaisulla toteutettuna on kuitenkin lisääntynyt painehäviö, mikä johtaa korkeampiin suodatinkustannuksiin kasvaneen puhaltimen energiankulutuksen myötä. Eräs ratkaisu tähän on käyttää sähköisesti tehostettuja suodatinratkaisuja, jolloin erotuskykyä voidaan parantaa huomattavasti lisäämättä suodattimen painehäviötä. Näissä ratkaisuissa suodattimeen menevät hiukkaset varataan sähköisesti erillisellä varaajalla ja kerätään

elektreettimateriaalista valmistetuilla kuitusuodattimilla. Oikein mitoitettuna ratkaisulla saavutetaan huomattava parannus pienhiukkasten erotuskykyyn (Kulmala 2015)

Tuloilman suodatus suunnitellaan sellaiseksi, että sisäilman laadulle asetetut tavoitteet täyttyvät käytettävissä olevalla ulkoilman laadulla ja ulkoilmavirralla. Suodatuksen suunnittelussa otetaan ulkoilmavirran lisäksi huomioon myös muut ilmavirrat, joiden kautta tuloilmaan tulee epäpuhtauksia. Näitä ovat esimerkiksi suodatinten ohivuodot, lämmöntalteenoton vuodot ja mahdollinen palautusilmavirta. Tuloilman laatuluokkia (SUP) hiukkaspitoisuuden suhteen on viisi, jotka on esitetty taulukossa 3. Tuloilmaluokkien 1-3 raja-arvot ovat matalammat kuin STM:n asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisäilman hiukkaspitoisuudelle. Luokan neljä raja-arvot ovat samat ja luokan viisi raja-arvot ovat korkeammat kuin asumisterveysasetuksen toimenpidearvot. Tuloilmaluokat neljä ja viisi saattavat johtaa liian korkeaan hiukkaspitoisuuteen ilman muita puhdistusratkaisuja. Vain tuloilmaluokan yksi hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvo alittaa sisäilmaluokituksen luokkien S1 ja S2 mukaiset rajat ( $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sisäilmaluokat S1 ja S2 edellyttävät suodatusta, koska niissä on määritelty vaatimus sisäilmassa ja ulkoilmassa olevien  $\text{PM}_{2.5}$  pienhiukkasten suhteelle. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas 2018)

**Taulukko 3.** Sisäilman puhtauteen vaikuttava tuloilman (SUP) luokitus, SFS-EN 16798-3:2017 (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas 2018)

Luokka	Kuvaus	Hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvot	
		PM2,5	PM10
SUP 1	Tuloilma - erittäin pienet hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	6 µg/m <sup>3</sup>	12,5 µg/m <sup>3</sup>
SUP 2	Tuloilma - pienet hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	12,5 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>
SUP 3	Tuloilma - keskimääräiset hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	18 µg/m <sup>3</sup>	37,5 µg/m <sup>3</sup>
SUP 4	Tuloilma - suuret hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	25 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>
SUP 5	Tuloilma - erittäin suuret hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	32,5 µg/m <sup>3</sup>	75 µg/m <sup>3</sup>

Ulkoilman laatuluokkia (ODA(P)= outdoor air, particulate matter) hiukkaspitoisuuden suhteen on kolme. (taulukko 4) Suomessa ulkoilma on useimmiten ODA 1-tasoa lukuun ottamatta vilkkaampia katualueita. (Sisäilmastoluokitus 2018). Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetuksessa ilmoitetaan toimenpidearvot sisäilman 24 tunnin PM<sub>10</sub>- ja PM<sub>2,5</sub>-hiukkaspitoisuuksille (50 µg/m<sup>3</sup> ja 25 µg/m<sup>3</sup>). Ulkoilma täyttää nämä raja-arvot vain luokassa yksi. Luokissa kaksi ja kolme on arvioitava ilmansuodatuksen tai muiden ilmanpuhdistusratkaisujen käyttämisestä. Asumisterveysasetuksen esitetyt sisäilman epäpuhtauksien raja-arvot eivät ole suunnitteluarvoja vaan ehdottomia toimenpiderajoja. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas 2018)

Taulukossa 5 on esitetty ulko- ja tuloilmasuodattimien suositeltavat minimisuodatusluokat, SFS-EN 16798-3:2017, suodatinluokitus SFS-EN 779:2012 mukaan.

**Taulukko 4.** Ulkoilman (ODA) luokitus, SFS-EN 16798-3:2017 (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas 2018)

Luokka	Kuvaus ja esimerkki	Hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvot (24 tunnin keskiarvo ja vuosikeskiarvo)	
		PM2,5	PM10
ODA 1 (P) *)	Ulkoilma, jossa on pölyä ainoastaan tilapäisesti (esim. siitepölyä kesäisin). Esim. maaseudun ulkoilmaa	25 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup> (24h) 40 µg/m <sup>3</sup> (vuosi)
ODA 2 (P)	Ulkoilma, jossa on suuria hiukkasmaisia ja/tai kaasumaisia epäpuhtauspitoisuuksia.	37,5 µg/m <sup>3</sup>	75 µg/m <sup>3</sup> (24h) 60 µg/m <sup>3</sup> (vuosi)
ODA 3 (P)	Ulkoilma, jossa on erittäin suuria hiukkasmaisia ja/tai kaasumaisia epäpuhtauspitoisuuksia. Esim. Suuri osa isompien kaupunkien keskusta-alueista sekä teollisuusalueiden ympäristöistä	yli 37,5 µg/m <sup>3</sup>	yli 75 µg/m <sup>3</sup> (24h) yli 60 µg/m <sup>3</sup> (vuosi)

\*) luokan ODA1 hiukkaspitoisuus vastaa valtioneuvoston ilmanlaadusta antaman asetuksen raja-arvoja.

**Taulukko 5.** Ulko- ja tuloilmasuodattimien suositeltavat minimisuodatusluokat, SFS-EN 16798-3:2017, suodatinluokitus SFS-EN 779:2012 mukaan (standardin voimassaolo lakkasi 2018). (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas 2018)

Ulkoilmaluokka	Tuloilmaluokka				
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA (P) 1	M5 + F7	F7	F7	F7	
ODA (P) 2	F7 + F7	M5 + F7	F7	F7	*)
ODA (P) 3	F7 + F9 **)	F7 + F7	M6 + F7	F7	*)

\*) SUP 5 tuloilmaluokan hiukkaspitoisuus on suurempi kuin asumisterveysasetuksen toimenpideraja huoneilmalle.

\*\*\*) Pyrittäessä ODA3 -ulkoilmaympäristössä (isompien kaupunkien keskusta-alueet sekä teollisuusalueiden ympäristöt) parhaaseen tuloilmaluokkaan SUP1 suositellaan käytettäväksi hiukkassuodatuksen lisäksi myös kaasusuodatusta (SFS-EN16798-3:2017).

Ilmansuodattimia koskeva testaus- ja luokitusstandardi SFS-EN 779:2012 on korvattu vuonna 2018 uudella SFS-EN ISO 16890- standardilla. SFS-EN779:2012 luokittelee ilmansuodattimet niiden 0,4µm kokoisten pienhiukkasten erotuskyvyn mukaan. Uudessa standardissa (SFS-EN ISO 16890) tarkastellaan tämän hiukkaskoon sijaan koko hiukkaskokoaluetta 0,3–10 µm. Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen tutkimuksessa ilmoitetaan toimenpidearvot sisäilman PM<sub>10</sub>- ja PM<sub>2,5</sub>-hiukkaspitoisuuksille. Uudessa standardissa suodattimet testataan ja luokitellaan koko hiukkaskokoalueeseen ja standardissa huomioidaan ulkoilman laatu ja sen PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub> epäpuhtausarvot. Uusi standardi tekee mahdolliseksi arvioida ilmansuodattimen vaikutusta sisäilman laatuun, kun tunnetaan paikallisen ulkoilman hiukkasmaisen aineksen arvot. Uudessa ilmansuodatinstandardissa SFS-EN ISO 16980 vanhat suodatinluokat (G, M ja F-luokat) poistuvat ja suodattimet mitataan ja luokitellaan hiukkaskokoluokissa ePM<sub>1</sub>, ePM<sub>2,5</sub>, ePM<sub>10</sub> ja ISO Coarse (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas 2018). Taulukossa 6 on esitetty suuntaa antava vertailu uuden ja vanhan standardin suodatinluokkien keskinäisestä vastaavuudesta.

**Taulukko 6.** Suuntaa antava suodatinluokkien vertailu vanhan suodatinstandardin SFS-EN 779 ja uuden vuoden 2018 alussa tulleen Standardi SFS-EN ISO 16890 välillä (Mattila 2018).

SFS-EN 779 Luokka	SFS-EN ISO 16890			
	ISO ePM <sub>1</sub>	ISO ePM <sub>2,5</sub>	ISO ePM <sub>10</sub>	ISO Course
G3	-	-	-	> 80 %
G4	-	-	-	> 90 %
M5	-	-	> 50 %	-
M6	-	50 - 60 %	> 60 %	-
F7	50 - 60 %	65 - 80 %	> 85 %	-
F8	65 - 80 %	> 80 %	> 90 %	-
F9	> 80 %	> 95 %	> 95 %	-

Se, mihin luokkaan nykyisen luokituksen mukaiset suodattimet kuuluvat uudessa standardissa, on tapauskohtaista ja riippuu niiden ominaisuuksista. Taulukossa 7 on esitetty uuden standardin mukaiset suodatinluokituksen pääluokat ja taulukossa 8 on ulko- ja tuloilmasuodattimien suositeltavat minimisuodatusluokat, suodatinluokitus SFS-EN ISO 16890-1:2016 mukaan.

**Taulukko 7** Suodattimien luokittelun pääluokat standardissa SFS-EN ISO 16890 (Kuntien sisäilmaverkosto 2019).

Pääluokka	Mittausväli (µm ja luokitus)	Määritelmä PM <sub>x</sub> -hiukkasille
ePM <sub>1</sub>	0,3 ... 1 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 1 µm:n aukon 50-prosenttisesti
ePM <sub>2,5</sub>	0,3 ... 2,5 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 2,5 µm:n aukon 50-prosenttisesti
ePM <sub>10</sub>	0,3 ... 10 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 10 µm:n aukon 50-prosenttisesti
Coarse	0,3 ... 10 ja erotusaste < 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 10 µm:n aukon alle 50-prosenttisesti

**Taulukko 8.** Ulko- ja tuloilmasuodattimien suositeltavat minimisuodatusluokat, suodatinluokitus SFSEN ISO 16890-1:2016 mukaan. Suunniteltu kokonaishiukkaserotusaste voidaan saavuttaa useilla erilaisilla suodatinyhdistelmillä, joista taulukossa on esitetty yhdet mahdolliset esimerkit kullekin ulkoilma/tuloilmakombinaatiolle (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas 2018).

Ulkoilmaluokka	Tuloilmaluokka				
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA (P) 1	ePM10 50% + ePM1 50%	ePM1 50%	ePM1 50%	ePM1 50%	
ODA (P) 2	ePM2.5 65% + ePM1 50%	ePM10 50% + ePM1 50%	ePM1 50%	ePM1 50%	*)
ODA (P) 3	ePM2.5 65% + ePM1 80% **)	ePM2.5 65% + ePM1 50%	ePM10 50% + ePM1 50%	ePM1 50%	*)

\*) SUP 5 tuloilmaluokan hiukkaspitoisuus on suurempi kuin asumisterveysasetuksen toimenpideraja huoneilmalle.

\*\*\*) Pyrittäessä ODA3 -ulkoilmaympäristössä parhaaseen tuloilmaluokkaan SUP1 suositellaan käytettäväksi hiukkassuodatuksen lisäksi myös kaasusuodatusta (SFS-EN16798-3:2017).

Suodattimen valintaan vaikuttaa tuloilmaluokan lisäksi ulkoilman laatu. Ilmanvaihtojärjestelmän suodattimien suodatusteho suunnitellaan siten, että sisäilmaluokassa S1 tuloilmaluokka on SUP1 ja SUP2 sisäilmaluokassa S2 (SFS-EN 16798-3). Tuloilmaluokkiin SUP 1 ja SUP 2 päästään yleensä suodatustasolla ePM1 50–60 %, joka yleensä vastaa vanhan standardin (SFS-EN779:2012) mukaan F7-suodatin tasoa. Sisäilmastoluokassa S1 suositellaan käytettäväksi kaksiportaista suodatusta. (Sisäilmastoluokitus 2018, Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas 2018)

## 7.2. Rakennuksen painesuhteet ja ilmatiiveys

Uuden rakennuksen kokonaistulo- ja poistoilmavirrat säädetään siten tasapainoon, ettei rakennusvaipan yli synny merkittäviä paine-eroja. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2017). Aiemmissä rakentamismääräyksissä rakennus suunniteltiin yleensä hieman alipaineiseksi (maksimissaan 30 Pa) ulkoilmaan nähden. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2).

Kun ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmavirrat ovat suuremmat kuin tuloilmavirrat, rakennukseen muodostuu alipaine. Alipainetta rakennukseen aiheuttaa terminen paine-ero, joka syntyy ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen vaikutuksesta, kun ilma virtaa korkeammasta paineesta matalampaan. Terminen paine-ero korostuu korkeissa rakennuksissa, joissa rakennuksen alaosaan muodostuu alipaine ja yläosaan ylipaine. Myös tuulen paine aiheuttaa paine-eroja rakennuksen eri osiin. Alipaineen vaikutuksesta rakennukseen tulee korvausilmaa sieltä, mistä ilma helpoimmin pääsee sisälle mm. rakennuksen epätiiveyskohdista kuten läpivienneistä, ikkunarakenteista, lattian ja seinän liittymäkohdista sekä halkeamista. Alipaine ei välttämättä aiheuta sisäilman laadun heikkenemistä ja siitä johtuvaa oireilua, mutta se on mahdollista, jos korvausilma tuo mukanaan sisäilmaan eristevillakuituja, kivipölyä, maaperän tai kosteusvaurioituneiden rakenteiden mikrobiepäpuhtauksia tai epämiellyttäviltä haisevia viemärikaasuja. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019)

Rakennuksen riittävä tiiveys ehkäisee rakenteen läpi tapahtuvia ilmavirtauksia, jolloin mahdolliset mikrobivaurioiden epäpuhtaudet eivät pääsisi sisäilmaan. Lisäksi esimerkiksi hiukkasten pääsy rakenteista sisäilmaan saadaan estettyä. Rakennuksen vaipan tiiveydellä on siten merkitystä ilmanvaihdon toimintaan ja epäpuhtauksien ja pienhiukkasten kulkeutumiseen rakennuksen sisäilmaan. Tiiviissä rakennuksessa ilmavirtojen tasapainotus on helpompaa kuin epätiivissä. Toisaalta, mitä tiiviimpi rakennus on, sitä suurempi on paine-ero vaipan yli, jos ilmanvaihto ei ole tasapainossa. Hyvin epätiivissä rakennuksessa ei pääse muodostumaan suuria paine-eroja ulkoilmaan nähden, koska ilmaa virtaa hallitsemattomasti rakenteiden kautta. Siksi onkin erityisen tärkeää, että tiivistettäessä vanhojen talojen rakenteita, tulee ilmanvaihto tasapainottaa korjausten jälkeen. Rakennuksen korkeus, koko, muoto, sijainti ja ilmastolliset seikat voivat lisätä vuotoilman määrää. Myös rakennuksen käyttö ovien ja ikkunoiden aukomisineen voi lisätä puhdistamattoman ilman pääsyä sisätiloihin.

Paine-eron vaikutusta sisäilman hiukkaspitoisuuksiin on tutkittu opinnäytetyössä, jossa mitattiin huoneilman hiukkaspitoisuuksia eri alipainetilanteissa. Tutkimusten tavoitteena oli testata, kuinka paljon hengitettävään huoneilmaan kulkeutuu hiukkasia ja ulkoseinän lämmöneristeenä käytetystä mineraalivillasta irtoavia kuituja seinärakenteen huonosti tiivistetyn pistorasian kautta. Opinnäytetyössä on tutkittu erityisesti 1970 – 1990 -luvuilla rakennetuille puurunkoisille pientaloille tyypillistä tilannetta, jossa kosteussulkuna toimiva muovi on rikottu tekemällä siihen reikä pistorasiaa varten. Tutkittiin uutta lasivillaa ja vanhaa mineraalivillaa puuseinä-rakenteessa. Hiukkaspitoisuuksien mittaamisessa ilmeni, että sisätilojen alipaineen kasvaessa lievästi suositeltua suuremmaksi, myös erityisesti pienhiukkasten määrä sisäilmassa kasvaa merkittävästi. Seinärakenteen sisältä villatilasta tehdyt mittaukset selkeästi osoittavat, että vanhan villan hiukkaspitoisuus on käyttämättömään vastaavaan verrattuna huomattavasti suurempi. Esimerkiksi pienhiukkasten 0,3 – 2,5  $\mu\text{m}$  määrä seinärakenteen sisältä mitattuna oli vanhalla villalla lähes 5,5-kertainen verrattuna uuden villan vastaaviin pitoisuuksiin. Mittaustuloksista voidaan päätellä, että erityisesti pienhiukkasten pitoisuus ilmassa lisääntyy huomattavasti, kun alipainetta kasvatetaan nolasta -12 Pascaliin saakka. Tämä hiukkasten määrän kasvaminen hengitettävässä sisäilmassa voidaan ehkäistä tekemällä rakennuksen ulkovaippa mahdollisimman tiiviiksi, jolloin paine-eron vaikutuksesta hiukkaset eivät pääse virtaamaan vaipan vuoto-kohdista sisätiloihin. (Niemelä 2017)

### **7.3. Ilmanpuhdistimet**

Ilmanvaihdon tarkoituksena on tuoda tiloihin puhdasta ilmaa ja samalla poistaa sisäilman hiukkasmaisia ja kaasumaisia epäpuhtauksia. Toimiva yleisilmanvaihto, jossa tuloilma suodatetaan tehokkaasti, luo lähtökohdan hyvälle sisäilmalle. Jos rakennuksessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, tuloilman suodatus on helppo järjestää valitsemalla suodattimet niin, että ne suodattavat pienhiukkasia. Kun rakennuksessa on vain painovoimainen ilmanvaihto tai pelkkä koneellinen poisto, on hyvä tuloilman suodatus vaikeammin järjestettävissä. Etenkin koneellisen poiston tapauksessa voidaan tuloilman suodatusta kuitenkin parantaa ja sisäilman pienhiukkaspitoisuutta merkittävästi pienentää käyttämällä tuuletusluokkuun tai -venttiileihin sijoitettuja riittävän erotuskykyisiä suodattimia. Tuloilman suodatuksen vaikutus on riippuvainen talon tiiveydestä eli siitä kuinka paljon ulkoilmaa pääsee sisään tuloilman suodatuksen ohitse. Tiiviissä talossa suodatuksen vaikutus on suurempi. Mikäli tuloilman hyvän suodatuksen järjestäminen ei ole mahdollista, sisäilmaa voidaan puhdistaa haitallisista hiukkasista huoneessa



sijaitsevalla puhallin-/suodatinlaitteistolla eli huonekohtaisella ilmanpuhdistimella. Kierrätysilmalla toimivia huoneilman puhdistimia on hyvin erihintaisia ja toimintaperiaatteiltaan erilaisia ja siten niiden vertailu on vaikeaa. Jotta puhdistimesta on hyötyä, tulee puhdistimen puhtaan ilman tuoton olla tilan kokoon ja ilmanvaihtoon nähden riittävää. Riippumatta ilmanpuhdistimessa käytetystä tekniikasta ja laitteen kyvystä poistaa ilman epäpuhtaudet, kaikkien ilmanpuhdistimien vaikutus laskee ilmanvaihdon tehon kasvaessa. Huonekohtaisen ilmanpuhdistimen suorituskyvyn kattavan arvioinnin tulisi sisältää puhdistimen tehokkuuden arviointi tilan kokoon ja ilmanvaihtoon nähden. Tällöin voidaan todeta, onko puhdistimella edellytyksiä vaikuttaa tilan ilmanlaatuun parantavasti. Riittävän mitoituksen lisäksi on varmistettava, että ilmanpuhdistin ei tuota sivutuotteena haitallisia epäpuhtauksia, kuten hiukkasia, mikrobeja, otsonia tai muita käytetystä tekniikasta aiheutuvia ilman epäpuhtauksien kanssa syntyviä reaktiotuotteita. (Mattila 2018)

### 7.3.1. Ilmanpuhdistimien suodatintekniikat

Ilmanpuhdistimissa yleisimmin käytetyt epäpuhtauksien suodatustekniikat ovat: mekaaninen suodatus, sähköinen suodatus, adsorptio (esim. aktiivihiili) kemialliseen suodatus, ultraviolettisäteily (UV-lamppu), fotokatalyyttinen oksidaatio, plasma (sähköinen varaus) ja otsonointi. (taulukko 9) Näistä hiukkasmaisia epäpuhtauksia poistavat erityisesti mekaaniseen ja sähköiseen suodatukseen perustuvat menetelmät. (Hyvärinen 2017, Mattila 2018)

**Taulukko 9.** Ilmanpuhdistimissa käytetyt tekniikat (Mattila 2018).

<b>Tekniikka</b>	<b>Epäpuhtaus</b>
Mekaaninen suodatus (kuitusuodatus)	hiukkaset
Sähköinen suodatus	hiukkaset
Adsorptio (esim. aktiivihiili)	orgaaniset ja epäorgaaniset kaasut
Ultraviolettisäteily (UV-lamppu)	bioaerosolit
Fotokatalyyttinen oksidaatio (UV-lamppu ja fotokatalyytti)	orgaaniset ja epäorgaaniset kaasut
Plasma (sähköinen varaus)	orgaaniset kaasut
Otsonointi (UV- tai koronavarauksengenerointi)	orgaaniset kaasut
Kasvillisuusjärjestelmät (esim. kasvit ja aktiivihiili)	orgaaniset ja epäorgaaniset kaasut

Mekaaninen suodatus on yksinkertainen ja laajasti käytetty ilmanpuhdistustekniikka, jossa hiukkasmaisia epäpuhtauksia kuten siitepölyä, huonepölyä, homeitiöitä, bakteereita, eläinten hilsettä ja pienhiukkasia sidotaan suodattimeen. Suodattimet tulee vaihtaa riittävän usein kontaminaation estämiseksi. Ilma johdetaan suodattimien läpi puhallinmoottorin avulla. Suodattimen läpi kulkevassa ilmavirrassa olevat hiukkaset jäävät kiinni suodattimeen kosketuksen, törmäyksen, diffuusion tai sähköisen voiman vaikutuksesta. Esisuodatin poistaa karkeamman pölyn, jonka jälkeen ilma kulkee edelleen pääsuodattimeen. Pääsuodattimen tyyppi vaikuttaa ratkaisevasti siihen, minkä kokoisia hiukkasia pystytään poistamaan. Ilman hiukkasmaisten epäpuhtauksien mekaaninen suodatus perustuu yleisimmin kuitupohjaiseen suodattimeen. Kuitusuodattimet voivat olla tasomaisia, pussisuodattimia tai vekattuja laajapintasuodattimia. Ilmansuodattimet luokitellaan hiukkaserotusasteeseen perustuen standardien SFS-EN ISO 16890 ja SFS-EN 1822 mukaan (taulukko 7). Luokittelun avulla voidaan valita tarpeeseen soveltuva

suodatin. Standardissa SFS-EN ISO 16890 suodattimet luokitellaan neljän luokan avulla: ePM1, ePM2,5, ePM10 sekä ISO Coarse. Taulukossa 6 on esitetty suuntaa-antavan vertailun uuden vuoden 2018 alussa voimaantulleen standardin SFS-EN ISO 16890 ja vanhan SFS-EN 779 standardin suodatinluokkien keskinäisestä vastaavuudesta. (Hyvärinen 2017, Mattila 2018).

Sähköinen suodatus perustuu hiukkasten varautumiseen sähköisesti ja varautuneiden hiukkasten keräämiseen joko suodattimeen tai huoneen pinnoille. Sähkösuodattimien painehäviö on hyvin pieni ja keräyskapasiteetti saadaan suureksi, joten niitä voidaan käyttää hyvinkin korkeissa pölypitoisuuksissa. Hiukkaserotusaste on korkea hiukkasille, joihin saadaan aiheutettua sähköinen varaus. Hyvin pienet nanopartikkelit ovat vaikeampia varattavia pienen kokonsa tähden ja sähkösuodattimien nanohiukkasten erotusasteen onkin todettu olevan alhaisempi. Ionisaatioon perustuvassa ilmanpuhdistuksessa, ilmassa olevat hiukkaset varataan koronavaraajan tai UV-valon avulla. Hiukkasia ei kerätä hallitusti, vaan varatut hiukkaset hakeutuvat sähköisen voiman ajamana tilan pinnoille tai muodostavat isompia hiukkasia, jotka laskeutuvat ilmasta pinnoille nopeammin kuin pienhiukkaset. Sähkösuodattimet voivat tuottaa pieniä määriä otsonia tai muita sivutuotteita. (Hyvärinen 2017, Mattila 2018)

Tutkittaessa kolmen erityyppisen ilmanpuhdistimen vaikutusta hiukkaspitoisuuksiin kuudessa helsinkiläisessä koulussa, todettiin, että ilmanpuhdistimet alensivat keskimääräistä pienhiukkaspitoisuutta noin 50 %. Tutkimuksessa havaittiin, että PM<sub>2,5</sub>-pitoisuuksien ajalliset vaihtelut korreloivat voimakkaasti kaupunkitausta-asevilla mitattuihin ulkoilman pitoisuuksiin. (Pennanen ym. 2017)

Ilmanpuhdistimien ongelmana on usein riittämätön kapasiteetti suodatettaville hiukkasille. Lisäksi ilmanpuhdistimissa on usein voimakas ääni, jonka takia laitetta ei käytetä riittävällä teholla. Myös laitteen kunnosta ja huollosta on huolehdittava ja eri suodatintyypeissä on käytännössä suuria eroja. Mekaanisten lasikuitusuodattimien erotuskyky säilyy tai jopa paranee käyttöolosuhteissa. Suodattimet tulee kuitenkin vaihtaa riittävän usein kontaminaation estämiseksi. Sähköisesti varatuille kuitusuodattimille taas on ominaista hyvä alkuerotusaste, mutta sähköisen suodatusvaikutuksen heikentyessä erotuskyky voi romahtaa. Sähkösuodatinten etuna on niiden pieni virtausvastus ja puhdistettavuus, mutta haittapuolena on muun muassa korkea hankintahinta. (Hyvärinen 2017, Sisäilmauutiset 2012) Ilmanpuhdistimet eivät poista varsinaista epäpuhtauslähdettä, korvaa toimivaa ilmanvaihtoa eikä huolellista siivousta. Ilmanpuhdistimet

eivät myöskään poista rakenteissa olevia kosteus- ja homevaurioita eivätkä ne pysty vähentämään tupakansavun terveyshaittoja. (Hengitysliitto 2019)

Valtioneuvoston Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) – yhteenvetoraportin mukaan tarvitaan lisää tutkimusta ilmanpuhdistimien tehokkuudesta vähentää erilaisia sisäilman epäpuhtauksia ja niistä aiheutuvia terveyshaittoja. Tämänhetkiset kokeelliset tutkimukset ovat puutteellisia osoittamaan ilmanpuhdistimien hyötyjä allergioita ja astmaa sairastaville henkilöille. Ilmanpuhdistimien käyttö voi auttaa vähentämään ilmassa olevia allergeeneja ja hiukkasia ja joissakin tapauksissa vähentää allergia- ja astmaoireita. (Hyvärinen ym. 2017)

#### **7.4. Siivous**

Hiukkasmaiset epäpuhtaudet ovat keskeinen sisäilman laatuun vaikuttava tekijä ja niihin voidaan vaikuttaa poistoilman lisäksi siivouksen keinoin (Väisänen 2014). Oikein toteutetulla siivouksella voidaan vähentää hiukkasten, bakteerien ja homesienten määrää pinnoilla ja hiukkasten massapitoisuutta sisäilmassa ja siten parantaa sisäympäristön laatua (Korhonen 2011). Huoneilman hiukkaset ovat erikokoisia ja ne käyttäytyvät eri tavoin. Hiukkaset saattavat laskeuduttuaan irrota pinnoilta uudelleen ja siirtyä ilmavirtojen mukana toiseen paikkaan. Ilmanvaihdon kautta osa leijuvista hiukkasista poistuu takaisin ulkoilmaan. Suuremmat kuin 1 µm hiukkaset yleensä laskeutuvat pinnoille. Laskeutuneet hiukkaset voidaan poistaa siivoamalla. Osa hiukkasista (n. 0,1–1,0 µm hiukkaset) deponoituu eli laskeutuu huonetilan pinnoille vähitellen tai kiinnittyvät toisiin hiukkasiin ja laskeutuvat siten pinnoille. Myös pinnoille laskeutuneiden alle 1,0 µm:n hiukkasten määrää voidaan vähentää siivouksen avulla. (Korhonen 2011) Pintojen pölykertymään vaikuttavat lukuisat tekijät, kuten rakennuksen käyttötarkoitus, piha-alue, kaupunki vai maaseutu, ihmiset ja ihmisen toiminta, vuodenaika jne. Tehokkaalla tuloilman suodatuksella voidaan vähentää sisätilojen pinnoille deponoituvien hiukkasten määrää ja siten myös siivouksen tarvetta.

Säännöllinen ja tehokas kaikkien tasopintojen puhdistaminen kauttaaltaan alentaa sisäilman hiukkaspitoisuutta. Pintojen (ja ilman) hiukkasmäärät kasvavat jatkuvasti, ellei niitä poisteta. Tehokas siivous vie pölyn pinnoilta eikä nostata sitä ilmaan. Tähän sopivat parhaiten pölyä sitovat mikrokuituiset pyyhkeet ja mopit joko kuivana tai vedellä nihkeytettynä. Ohuet mikro-kuidut poistavat pinnalta pienetkin pölyhiukkaset. Hyvään tulokseen päästään, kun likaantuneet

pyyhkeet ja mopit vaihdetaan riittävän usein pesukoneessa pestyihin puhtaisiin pyyhkeisiin. Vaikka siivous hetkellisesti lisää leijuvien hiukkasten määrää sisäilmassa, vähentää siivous hiukkasten kokonaismäärää pinnoilta. (Puhtausala 2019)

Pölynimuri poistaa pölyn ja pienet roskat pinnoilta. Tähän tarvitaan tehokas imuri, oikein muotoiltu suulake ja hyvä poistoilmansuodatus. Keskuspölynimurin ja erityissuodattimella varustetun tavallisen pölynimurin on todettu alentavan pölytasoa. Vaikka keskuspölynimuria pidetään sisäilman kannalta hyvänä, sen on todettu muiden imureiden tapaan aiheuttavan imuroinnin aikana pölyn leijailua. Imuletkun liikuttaminen ja imurin siirtäminen saavat aikaan liikettä ja sen mukana pölyn siirtymistä ilmaan. (Aulanko ym. 2000) Imurin poistoilman laadulla on suuri merkitys. Parhaissa pölynimureissa käytetään HEPA-suodattimia (HEPA=High Efficiency Particulate Air filter), jotka poistavat 99 % 0,3 µm:n hiukkasista. Parhaastakaan suodattimesta ei ole hyötyä, jos poistoilma pääsee kulkemaan suodattimen ohi. Mahdollisia vuotokohtia ovat suodattimen ja kehyksen väli tai kehyksen ja rungon välissä. (Puhtausala 2019)

Tilojen siivottavuus on keskeisessä roolissa hyvän siivouksen toteutuksessa. Liiallinen tavaroiden ja kalusteiden määrä vaikeuttaa siivousta. Pölyjen kerääntymisen vähentämiseksi ja siivouksen helpottamiseksi paperit kannattaa säilyttää kansioissa ja tavarat ovellisissa kaapeissa. Tasopinnat ja pöydät tulisi pitää vapaina siivouksen helpottamiseksi. Esimerkiksi paperipinot pöydillä toimivat nk. pölysäilöinä, joista hiukkaset siirtyvät ilmaan, mikäli niihin kosketaan. (Aulanko ym. 2008)

## **8. JOHTOPÄÄTÖKSET**

Vaikka merkittävä osa sisäilman pienhiukkasista on ulkoilmasta lähtöisin, tapahtuu altistuminen niille pääasiassa sisätiloissa. Ulkoilman epäpuhtaudet kulkeutuvat tehokkaasti rakennusten sisäilmaan. Ulkoilman pienhiukkaslähteistä merkittävimpiä Suomessa on kaukokulkeuman lisäksi puun pienpoltto ja liikenteen päästöt. Puun pienpoltto on suurin primaaristen pienhiukkasten lähde Suomessa. Sisäilman hiukkaspitoisuustasoihin ja -lähteisiin vaikuttaa myös rakennuksen käyttö. Osa sisäilman hiukkasista on peräisin rakennuksen sisältä ja ihmisen toiminnasta rakennuksessa. Pienhiukkas päästöjä syntyy mm. tupakoinnista, kynttilöiden polttamisesta ja ruoan valmistuksesta. Pienhiukkaslähteitä ovat myös huonepöly, rakenteet ja sisustus, mikrobit

ja niiden hiukkasiin sitoutuneet aineenvaihduntatuotteet. Ulkoilman (WHO 2018) ja sisäilman hiukkaspitoisuuksille on asetettu ohje- ja raja-arvoja (Asumisterveysasetus 2015, Sisäilmasto-luokitus 2018).

Huomattava osa sisäänhengitysilman pienhiukkasista tarttuu hengityselinten eri osiin; ylähengitysteihin, keuhkoputkiin ja keuhkorakkuloihin. Osa hiukkasista tai niiden osista siirtyvät verenkiertoon. Hiukkasille ei ole pystytty määrittelemään pitoisuutta, jonka alapuolella terveyshaittoja ei esiinny. On arvioitu, että pienhiukkaset aiheuttavat Suomessa vuositasolla jopa 1600-4000 ennen aikaista kuolemaa. Haitallisimpia pienhiukkaset ovat hengityselin-, sydän- ja verisuonisairaille sekä vanhuksille ja lapsille. Pienhiukkasten haitallisuuteen vaikuttavat lukumäärän ja massapitoisuuden lisäksi niiden kemialliset ominaisuudet. Terveydelle haitallisimpina pidetään epätäydellisestä palamisesta syntyviä hiukkasia.

Sisäilman pienhiukkasia voidaan vähentää estämällä ulkoilman epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan hyvällä tuloilman suodatuksella. Ilmanvaihdon suodattamia valittaessa tulee huomioida sekä ulkoilman laatu että tavoiteltu sisäilman laatu. Myös rakennuksen tiiveydellä ja paine-erolla ulkoilmaan nähden on merkitystä. Kun rakennus on tiivis ja rakennuksen paine-ero ulkoilmaan nähden pieni, riski epäpuhtauksien kulkeutumisesta ulkoilmasta ja rakenteista sisäilmaan on vähäinen. Edellytyksenä on, että ilmanvaihto on oikein toteutettu eli rakennuksen tulo- ja poistoilmavirrat on säädetty suunnitelmien ja rakennuksen käyttötarpeiden mukaisiksi.

Pienhiukkaspitoisuuteen sisäilmassa voidaan merkittävästi vaikuttaa poistamalla ja rajoittamalla pienhiukkasten sisälähteitä mm. käyttämällä liesituuletinta ruoan valmistuksessa ja välttämällä tupakointia ja runsasta kynttilöiden polttoa sisätiloissa.

Mikäli tuloilman suodatuksen järjestäminen asuntoon ei ole mahdollista, sisäilmasta voidaan puhdistaa haitallisia hiukkasia huonekohtaisen ilmanpuhdistimen avulla. Jotta puhdistimesta on hyötyä, puhdistimen puhtaan ilman tuoton tulee olla tilan kokoon ja ilmanvaihtoon nähden riittävää. Lisäksi tulee varmistaa, ettei puhdistin tuota sivutuotteena haitallisia epäpuhtauksia sisäilmaan. Ongelmina ilmanpuhdistimien käytössä on usein puhdistimen riittämätön kapasiteetti suodatettaville hiukkasille, voimakas ääni sekä laitteiston vaatimat säännölliset huolto ja puhdistustoimenpiteet.

Koska ulkoilman pienhiukkasilla on paljon merkitystä sisäilmaan ja sen laatuun, voidaan ulkoilman pitoisuustasoja alentamalla vähentää myös sisäilmapitoisuuksia, altistumista ja haitallisia terveysvaikutuksia. Suomessa ulkoilman pienhiukkasipitoisuuteen vaikutetaan kiinnittämällä huomiota puun pienpolttoon ja sen oikeaan toteutukseen sekä liikenteen päästöjen rajoittamiseen erityisesti taajaan asutuilla alueilla. Koska myös sisälähteet tuottavat epäpuhtauspäästöjä ja pienhiukkasia sisäilmaan, tulisi sisälähteiden merkitykseen pienhiukkasaltistumisessa ja terveysvaikutusten näkökulmasta kohdentaa lisää tutkimuksia.

## **9. KIITOKSET**

Kiitokset ohjaajilleni Otto Hänniselle ja Timo Kujalalle sekä työnantajalleni Hengitysviikille, joka mahdollisti osallistumiseni RTA-koulutukseen.

## **10. LÄHDELUETTELO**

Aalto P. 2008. Puun pienpolttua koskevat terveydelliset ohjeet. Sosiaali- ja terveydenhuollon tuotevalvontakeskus (STTV).

Alakangas E, Erkkilä A, Flyktman M, Helynen S, Hillebrand K, Kallio M, Lappalainen I, Marjaniemi M, Nystedt Å, Oravainen H, Puhakka A, Virkkunen M. 2007. Puupolttoaineiden pienkäyttö. Tekes.

Asikainen A, Hänninen O, Pekkanen J. 2013. Ympäristöaltisteisiin liittyvä tautitaakka Suomessa. Ympäristö ja Terveys-lehti, 44(5), 68-74.

Asumisterveysasetus. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015.

Aulanko M, Kakko L, Pesonen-Leinonen E. 2000. Siivous ja sisäilma, Tutkimuksia toimistokiinteistöissä ja laboratoriossa. Koti- ja laitekoneologian julkaisuja 4, Helsinki.

Buonanno G, Morawska L, Stabile L. 2009. Particle emission factors during cooking activities. Atmospheric Environment 43: 20: 3235-3242.

EU 2008. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/50/EY

Haaparanta S, Myllynen M, Koskentalo T. 2003. Pienpoltto pääkaupunkiseudulla. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2003:18. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV).

Hengityслиitto 2018. Hengityслиiton www-sivusto, lähdeä käytetty 4.10.2018  
<https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/ulkoilma/ilmanlaatua-heikentavia-tekijoita/katupoly>

Hengityслиitto 2018. Hengityслиiton www-sivusto, lähdeä käytetty 4.10.2018  
<https://www.hengityслиitto.fi/fi/terveys-hyvinvointi/ulkoilma-ilmanlaatu/pienpoltto-ja-puunpoltto>

Hengityслиitto 2018. Hengityслиiton www-sivusto, lähdeä käytetty 4.10.2018  
[https://www.hengityслиitto.fi/sites/default/files/oppaat/polta\\_puuta\\_puhtaasti.pdf](https://www.hengityслиitto.fi/sites/default/files/oppaat/polta_puuta_puhtaasti.pdf)

Hengityслиitto 2019. Hengityслиiton www-sivusto, lähdeä käytetty 31.3.2019  
<https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/materiaalit>

Hengityслиitto 2019. Hengityслиiton www-sivusto, lähdeä käytetty 19.4.2019  
<https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/ilmanpuhdistin>

Hengityслиitto 2019. Hengityслиiton www-sivusto, lähdeä käytetty 31.3.2019  
<https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/kosteus-ja-homevauriot/nain-homevaurio-synty>

HS 2018. Helsingin sanomien www-sivusto 17.12.2018, lähdeä käytetty 13.3.2019  
<https://www.hs.fi/hyvinvointi/art-2000005935123.html>

HS 2019. Helsingin sanomien www-sivusto 12.3.2019, lähdeä käytetty 13.3.2019  
<https://www.hs.fi/tiede/art-2000006032775.html>

HSY 2019. Helsingin seudun ympäristöpalvelujen www-sivusto , lähdeä käytetty 16.3.2019  
<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/ilmansuojelu/tietoilmasta/Sivut/Pienhiukkaset.asp>

Hyvärinen A, Marttila T, Kero P, Pekkanen J, Ung-Lanki S, Lampi J, Leppänen H, Jalkanen K, Turunen M, Haverinen-Shaughnessy U, Annala P, Suonketo J, Niemi J: Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) – Yhteenvetoraportti, Valtioneuvoston kanslia, 2017

Hänninen O, Asikainen A. 2013. Efficient reduction of indoor exposures , Health benefits from optimizing ventilation, filtration and indoor source controls, Report 2/2013, National Institute for Health and welfare.

Hänninen O, Leino O, Kuusisto E, Komulainen H, Meriläinen P, Haverinen-Shaughnessy U, Miettinen I, Pekkanen J. 2010. Elinympäristön altisteiden terveysvaikutukset Suomessa. Ympäristö ja Terveys-lehti, 41(3), 12-35.

Hänninen O, Reinikainen J, Asikainen A. 2018. Sisäilma ja tautitaakka, Missä mennään? Ympäristö ja Terveys-lehti, 49(1), 46-48.  
<http://www.julkari.fi/handle/10024/136221>

Hänninen O, Rumrich I, Asikainen A. 2017. Challenges in estimating health effects of indoor exposures to outdoor particles: Considerations for regional differences. Science of the Total Environment, 589, 130–135.



Hänninen O, Sorjamaa R, Lipponen P, Cyrus J, Lanki T, Pekkanen J. 2013. Aerosol-based modelling of infiltration of ambient PM<sub>2.5</sub> and evaluation against population-based measurements in homes in Helsinki Finland, *Journal of Aerosol Science*, 66, 111–122.

Ilmatieteen laitoksen WWW-sivusto, lähdettä käytetty 1.10.2018

[http://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedotarkisto/-/journal\\_content/56/30106/286500336](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedotarkisto/-/journal_content/56/30106/286500336)

Isaxon C, Gudmundsson A, Nordin E.Z, Lonnblad L, Dahl A, Wieslander M, Bohgard M, Wierzbicka A. 2015. Contribution of indoor-generated particles to residential exposure. *Atmospheric Environment*, 106, 458-466.

Kainulainen J. 2017. Opinnäytetyö. Liikenteen ja puun pienpolton aiheuttamat hiukkaspäästöt Mikkelin taajama-alueella. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Kimpanpää M. 2011. Opinnäytetyö. Ilmanlaadun mittaaminen passiivisesti keskittyen pölyyn. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Komppula B, Waldén J, Lusa K, Kyllönen K, Saari H, Vestenius M, Salmi J, Latikka J. 2017. Ilmanlaadun mittaushje 2017, Ilmatieteenlaitoksen raportteja 6/2017.

Korhonen A, Lehtomäki H, Rumrich I, Karvosenoja N, Paunu V-V, Kupiainen K, Sofievv M, Palamarchuk Y, Kukkonen J, Leena Kangas L, Karppinen A, Hänninen O. 2019. Influence of spatial resolution on population PM<sub>2.5</sub> exposure and health impacts, *Air Quality, Atmosphere & Health*.

Korhonen, E. 2011. Väitöskirja. Puhtauspalvelut ja työympäristö, Ostettujen siivouspalveluiden laadun mittausmenetelmät ja laatu sekä siivouksen vaikutukset sisäilman laatuun, tilojen käyttäjien kokemaan terveyteen ja työn tehokkuuteen toimistorakennuksissa. Jyväskylän yliopisto.

<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/36586>

Kulmala I, Kalliohaka T, Kataja J, Leppälä V. 2015. Reaaliaikainen tuloilmasuodattimen toimintakunnon mittausjärjestelmä, Sisäilmastoseminaari 2015. SIY Raportti 33: 277-281. Sisäilmayhdistys.

Kuntien sisäilmaverkosto 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuuisto, 14.3.2019.

Lanki T, Pekkanen J. 2008. Kaupunki-ilman hiukkaset ja sydänsairaudet. *Suomen Lääkärilehti*, 63(11), 1060–1065.

Lehtomäki H, Korhonen A, Asikainen A, Hänninen O. 2016. Ulkoilman saasteiden aiheuttamat terveyshaitat Suomessa. *Ympäristö ja Terveys-lehti*, 47(8), 22-27.

Lehtomäki H, Korhonen A, Asikainen A, Karvosenoja N, Kupiainen K, Paunu V-V, Savolahti M, Sofiev M, Palamarchuk Y, Karppinen A, Kukkonen J, Hänninen O. 2018. Health Impacts of Ambient Air Pollution in Finland, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 736, 1-16.

Lelieveld J, Klingmüller K, Pozzer A, Pöschl U, Fnais M, Daiber A, Münzel T. 2019. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European Heart Journal*, 0, 1–7.

Mattila I. 2018. Diplomityö. Huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskyvyn mittaussuomen-  
telmät. Tampereen teknillinen yliopisto.

Morawska L, Ayoko G, Bae, G, Buonanno G, Chao C, Clifford S, Fu S, Hänninen O, He C, . Isaxon C, Mazaheri M, Salthammer T, Waring M, Wierzbicka A. 2017. Airborne particles in indoor environment of homes, schools, offices and aged care facilities: The main routes of exposure. *Environment International*, 108, 75-83.

Niemelä J. 2017. Opinnäytetyö. Paine-eron vaikutus sisäilman hiukkaspitoisuuteen. Vaasan ammattikorkeakoulu.

Ohlström M, Tsupari E, Lehtilä A, Raunemaa T. 2005. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. VTT.

Pasanen K, Taimisto P, Salonen R.O 2019. Maltillisen kynttilänpolton välittömät vaikutukset omakotitalon sisäilman ja toimistotalon työhuoneen hiukkaspitoisuuteen. Sisäilmastoseminaari 2019. SIY raportti 37:311-316. Sisäilmayhdistys.

Pekkanen J. 2004. Kaupunki-ilman pienhiukkasten terveysvaikutukset. *Duodecim*, 120, 1645-1652.

Pennanen A, Taubel M, Pulkkinen A-M, Leppänen H, Valkonen M, Vepsäläinen A, Hovi H, Hyvärinen A, Salonen R.O. 2017. Ilmanpuhdistimien vaikutukset pienhiukkas-, mikrobi- ja VOC-altistumiseen sekä oppilaiden oireisiin koululuokissa (PUHHO). Sisäilmastoseminaari 2017. SIY raportti 35:383-388. Sisäilmyhdistys.

Puhtausala 2019. Puhtausala ry:n www-sivusto, lähdettä käytetty 18.4.2019  
[https://puhtausala.fi/sites/default/files/sisailmakasitteet\\_ja\\_siivouksen\\_rooli.doc](https://puhtausala.fi/sites/default/files/sisailmakasitteet_ja_siivouksen_rooli.doc)

Salonen R. O. 2004. Puun pienpolton terveyshaitat. *Ympäristö ja Terveys-lehti*, 35(4) 4-9.

Salonen R. O, Pasanen K, Pulkkinen A-M, Pennanen A, Pärjälä E, Koskentalo T, Pukkala E. 2016. Puun pienpolton savuja ulkoa sisälle ja pitkäaikaisesta altistumisesta syöpiä, *Ympäristö ja Terveys-lehti*, 47(8), 28-39.

Salonen R. O, Pasanen K, Pulkkinen A-M, Pennanen A, Sokura M, Pärjälä E, Pukkala E. 2015. Puun pienpolton savut, Uutta tietoa altistumisesta ja terveyshaitoista. *Ympäristö ja Terveys-lehti*, 46(6), 4-11.

Salonen R. O, Pennanen A. 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Tuloksia ja päätelmiä teknologiaohjelmasta FINE Pienhiukkaset – Teknologia, ympäristö ja terveys, Tekes.

Siponen T, Yli-Tuomi T, Tiittanen P, Taimisto P, Pekkanen J, Salonen R, Lanki T. 2019. Wood stove use and other determinants of personal and indoor exposures to particulate air pollution and ozone among elderly persons in a Northern Suburb. *Indoor Air*, 1–10.

Sisäilmasto- ja ilmanvaihto-opas 2018. Talotekniikkainfo.  
<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>

Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäilmayhdistyksen julkaisu.

Sisäilmautiset 2012. Sisäilmautisen Sisäilmautisten www-sivusto, lähdeä käytetty 14.4.2019  
<https://www.sisailmautiset.fi/tutkimus/ilmanpuhdistimissa-on-suuria-eroja/>

Sisäilmayhdistys 2008. Sisäilmayhdistyksen www-sivusto, lähdeä käytetty 31.3.2019  
<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Hiukkasmaiset-epapuhtaudet>

STT infon www-sivusto, lähdeä käytetty 10.3.2019  
<https://www.sttinfo.fi/tiedote/tutkijat-loivat-tutkimuskammioon-borealisen-metsan-olosuhteet-ja-kaasukoostumuksen-ilmansaasteiden-merkitys-hiukkasten-muodostumiselle-ilmakemialla-tarkentui?publisherId=3747&releaseId=69848463>

STTV 2008. Sosiaali- ja terveydenhuollon tuotevalvontakeskuksen oppaita 6:2008.  
[https://www.valvira.fi/documents/14444/22511/Puun\\_poltto-opas.pdf](https://www.valvira.fi/documents/14444/22511/Puun_poltto-opas.pdf)

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto Määräykset ja ohjeet 2003 Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Helsinki 2002.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017.  
[http://www.ym.fi/fi/FI/Maankaytto\\_ ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ ja\\_ohjeet/Rakentamismääräyskokoelma/Terveellisyys/](http://www.ym.fi/fi/FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismääräyskokoelma/Terveellisyys/)

Tekniikka ja Talous 2018. Tekniikka ja Talous-lehden WWW-sivusto, lähdeä käytetty 4.1.2019

Terveydensuojelulaki (763/1994).  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajatas/1994/19940763#L7P26>

THL 2016. (Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen) www-sivusto, lähdeä käytetty 1.10.2018  
<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet/pienhiukkasten-vaikutusmekanismit>

Tilastokeskuksen www-sivusto, lähdeä käytetty 12.2.2019  
[https://www.stat.fi/artikkelit/2008/art\\_2008-05-30\\_007.html?s=4](https://www.stat.fi/artikkelit/2008/art_2008-05-30_007.html?s=4)

Tissari J, Leskinen J, Lamberg H, Nieminen V, Väätäinen S, Koponen H, Myllynen M, Savolahti M, Karvosenoja N. 2019. Kiukaiden päästöt ja niiden vähentäminen (Kiuas), Loppuraportti, Itä-Suomen yliopisto.

Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta, VN asetus 79/2017.

Vouti Erno. 2018. Opinnäytetyö. Sisäilmatutkijan ilmanvaihto-opas. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Väisänen A. 2014. Opinnäytetyö. Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät ja siivouskäytäntöjen laadunvarmistus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Wallace L. 1996. Indoor Particles: A Review. Journal of the Air & Waste Management Association, 46:2, 98-126.

WHO Asumisterveysohje. Housing and health guidelines 2018. World Health Organization.

Ympäristöministeriö 2016. Ilmansaasteiden terveystvaikutukset. YM raportti 16/2016.

Ympäristöministeriö 2019. Kansallinen ilmansuojeluohjelma 2030. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:7, Helsinki 2019.

Ympäristöopas 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Toim. Pitkäranta M. Helsinki 2016. Ympäristöministeriö.  
[http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO\\_2016\\_Kuntotutkimus-opas.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimus-opas.pdf)