

Tiitus Eloniemi

**PIENHIUKKASTEN MITTAUSMENETELMÄT JA VAIKUTUS SI-
SÄILMAN LAATUUN**

PIENHIUKKASTEN MITTAUSMENETELMÄT JA VAIKUTUS SI- SÄILMAN LAATUUN

Tiitus Eloniemi
Opinnäytetyö
Syksy 2021
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, rakennesuunnittelija

Tekijä: Tiitus Eloniemi

Opinnäytetyön nimi: Pienhiukkasten mittausmenetelmät ja niiden vaikutus sisäilman laatuun

Työn ohjaaja: Matti Toppi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2021

Sivumäärä: 45

Pienhiukkaset ovat terveydelle haitallisia hiukkasia, joita esiintyy ulko- ja sisäilmassa. Suurin osa niistä syntyy ulkona olevista lähteistä, mutta pääasiassa niille altistuminen tapahtuu sisätiloissa. Ulkoilman pienhiukkasten lähteistä merkittävimpiä ovat ulkomaan kaukokulkeuman lisäksi puun pienpoltto ja liikenteen päästöt. Sisätiloissa pienhiukkasten lähteitä ovat kynttilän polton epäpuhtaudet, ihminen, ruuan valmistus, huonepöly, rakenteet, sisustus sekä mikrobit. Pienhiukkaset ovat erityisen haitallisia niiden pienen koon takia, minkä ansiosta ne pääsevät kulkeutumaan sisäänhengityksen mukana keuhkorakkuloihin saakka. Pienhiukkasten on arvioitu aiheuttavan Suomessa jopa 1 800 ennenaikaista kuolemaa vuodessa.

Tämän opinnäytetyön aiheena olivat pienhiukkasten mittausmenetelmät ja niiden vaikutus sisäilman laatuun. Tavoitteena oli perehtyä pienhiukkasten mittausmenetelmiin ja selvittää, onko pienhiukkasten pitoisuuksien mittaus sisätiloissa syytä ottaa mukaan sisäilmatutkimusten rutiinimittauksiin.

Työssä mitattiin pienhiukkaspitoisuuksia pientalon, kerrostalon sekä julkisen rakennuksen sisätiloissa ja rakennusten pihamaalla. Mittausten tarkoituksena oli saada tietoa pienhiukkasten pitoisuuksista ja verrata ulko- ja sisätiloista saatuja mittaustuloksia keskenään.

Opinnäytetyössä tehtyjen mittausten perusteella rakennusten sisä- ja ulkotilojen pienhiukkaspitoisuudet eivät ylittäneet sallittuja raja-arvoja sisätiloissa, lukuun ottamatta kerrostalon asunnossa tehtyä toista mittausta. Ulkotiloissa pitoisuudet eivät olleet erityisen suuria. Työssä todettiin, että pienhiukkasten mittaukset voisi ottaa mukaan sisäilmamittausten rutiinimittauksiin, jos halutaan saada uutta tietoa rakennusten sisäilmasta.

Asiasanat: Pienhiukkanen, mittausmenetelmä, sisäilma, pitoisuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil engineering, Structural engineering

Author: Tiitus Eloniemi

Title of thesis: Particulate matter measurement methods and their effect to indoor air quality.

Supervisor: Matti Toppi

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2021

Pages: 45

Particulates are particles that are harmful to health and exist in outdoor- and indoor air. Most of the particles are from outdoor sources but mainly the exposure happens indoors. Primary sources of outdoor particulates are, besides foreign transboundary air pollution, burning wood and traffic emissions. Indoor sources are tobacco smoke, burning candles, human, cooking, dust, structures, decoration and microbes. Particulates are especially harmful due to their small size, they can be inhaled and can enter even to pulmonary alveolus. According to studies, particulates are estimated to cause as much as 1800 premature deaths in one year.

Title of this thesis is Particulate matter measurement methods and their effect to indoor air quality. The goal was to get familiarize with particulate matter measurement methods. The goal was also to study if particulate matter measurements should be included in routine examinations of indoor air.

In the thesis particulate matter concentration in detached house, apartment building and also public building indoors and yards of the buildings was measured. The purpose of the measurements was to get results from particulate matter concentration in outdoor and indoor air and compare these results between each other to figure out their interrelationship.

Buildings indoor and outdoor particulate matter concentration was measured. Based on the results particulate matter concentration did not exceed the permitted limited values, beside the second measurement made in the apartment. Concentrations outdoors were not especially big. The conclusion is that the particulate matter measurements could be included in routine examinations of indoor air, if you want to get some new information from buildings indoor air.

Keywords: Particulate, measurement method, indoor air, concentration

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	6
2 HIUKKASET JA NIIDEN LÄHTEET	7
2.1 Karkeat hengitettävät hiukkaset	7
2.2 Pienhiukkaset	7
2.3 Pienhiukkasten lähteet	9
2.3.1 Ulkoilmassa esiintyvät pienhiukkaset	9
2.3.2 Sisäilmassa esiintyvät pienhiukkaset	10
3 SISÄILMASTO	13
3.1 Yleistä sisäilmastosta	13
3.2 Sisäilmastoluokitukset	14
3.3 Sisäilman laadun tavoitearvot	15
4 HIUKKASPITOISUUKSIEN HALLINTA SISÄTILOISSA	17
4.1 Rakennuksen ilmatiiveys ja painesuhteet	17
4.2 Ilmanvaihto ja tuloilman suodatus	19
4.3 Sisäilmanpuhdistimet	24
4.4 Siivous	25
5 HIUKKASTEN MITTAUSMENETELMIÄ	27
5.1 Inertiaan perustuvat mittausmenetelmät	27
5.2 Optiset mittausmenetelmät	28
5.3 Sähkövaraukseen perustuvat mittausmenetelmät	30
6 PIENHIUKKASTEN KÄYTÄNNÖN MITTAUKSET	32
6.1 Mittauskohteet	32
6.2 Mittaustilanne ja käytetyt välineet	33
6.3 Mittaustulokset	34
7 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	39

1 JOHDANTO

Pienhiukkaset ovat hiukkasia, joita syntyy polttoprosesseista, kuten energian tuotannosta, puun pienpoltosta ja liikenteestä. Pienhiukkasten vaikutusta ihmisiin on tutkittu ja niiden on todettu vaikuttavan ihmisen terveydelle haitallisesti.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia pienhiukkasten mittausmenetelmiä ja vaikutusta sisäilman laatuun. Mittausmenetelmiä tutkitaan mittaamalla pienhiukkasten määrää pienhiukkasmittarilla ja vertaamalla tuloksia pienhiukkasten pitoisuudesta sisätilassa säädettyyn raja-arvoon. Mittauksia tehdään myös ulkoilmassa, jolloin pystytään tarkastelemaan pienhiukkasten määrää sisäilmassa suhteessa ulkoilmaan.

Työn tilaajana toimii IdeaStructura Oy, joka on suomalainen rakennusalan suunnittelutoimisto. Yritys suunnittelee taloyhtiöille ja kiinteistöalan ammattilaisille pitkäikäisiä, laadukkaita ja energiatehokkaita rakennuksia. Yrityksen osaaminen rakennetekniikan, korjausrakentamisen, rakennusfysiikan sekä sisäilmatekniikan saralla ovat palveluiden perusta. (Ideastructura, linkit yritys.)

2 HIUKKASET JA NIIDEN LÄHTEET

Hengitysilmassa esiintyvät hiukkaset voidaan jaotella karkeisiin hengitettäviin hiukkasiin, pienhiukkasiin ja ultrapienhiukkasiin. Opinnäytetyössä keskitytään hengitettäviin hiukkasiin ja pääpainona pienhiukkasiin. (Hiukkaset ja kaasumaiset aineyhdisteet. 2019.)

2.1 Karkeat hengitettävät hiukkaset

Karkeiksi hengitettäviksi hiukkasiksi kutsutaan hiukkasia, jotka ovat halkaisijaltaan 2,5 - 10 mikrometriä. Ne pääsevät tunkeutumaan keuhkoputkiin asti. Osa karkeista hengitettävistä hiukkasista on peräisin luonnosta. Tällaisia hiukkasia ovat esim. homeitiöt, siitepölyn osaset sekä tuulen kuljettama merisuola ja hiekkapöly. (Hiukkaset ja kaasumaiset aineyhdisteet. 2019.)

Kaupungeissa ja taajamissa suurin osa karkeista hengitettävistä hiukkasista on liikenteen nostattamaa katupölyä, jota syntyy hiekan ja asfaltin jauhautuessa autojen renkaiden alla. Katupöly aiheuttaa ilmanlaatuongelmia Suomessa niin suurissa kuin pienimmissäkin kaupungeissa. (Hiukkaset ja kaasumaiset aineyhdisteet. 2019.)

Karkeat hengitettävät hiukkaset likaavat ympäristöä, vähentävät viihtyisyyttä ja aiheuttavat terveyshaittoja: tyypillisiä oireita ovat silmien ja ylähengitysteiden ärsytysoireet. Uusimpien tutkimusten mukaan karkeat hengitettävät hiukkaset voivat myös pahentaa astmaa ja keuhkohtaumaa. (Hiukkaset ja kaasumaiset aineyhdisteet. 2019.)

2.2 Pienhiukkaset

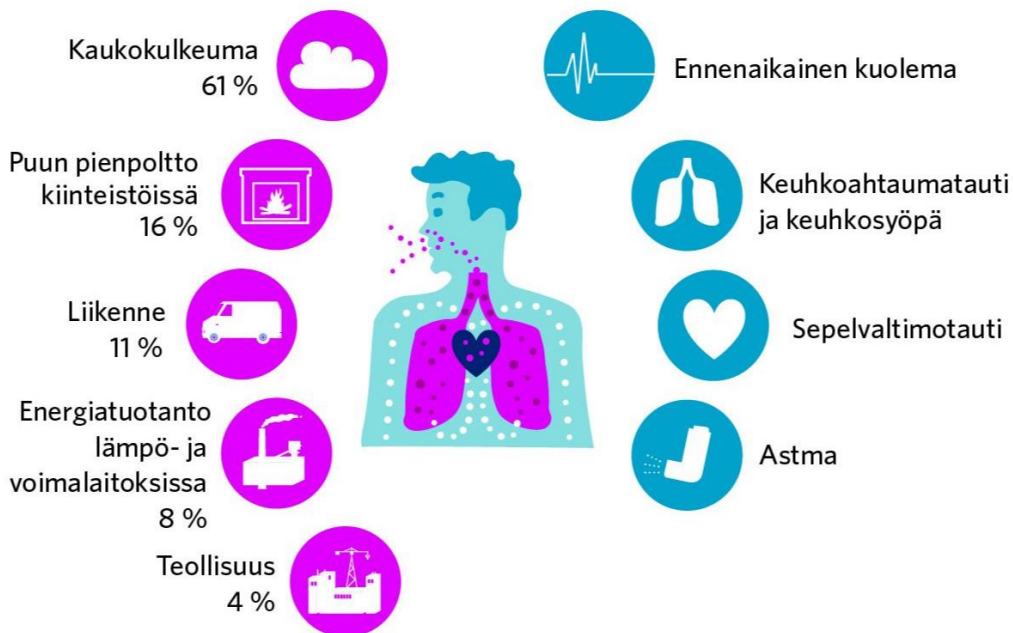
Pienhiukkasilla tarkoitetaan seosta, joka muodostuu kiinteistä hiukkasista ja nestemäisistä pisaroista, joita esiintyy hengitysilmassa. Tämä monimutkainen seos sisältää sekä orgaanisia että epäorgaanisia hiukkasia. (GreenFacts, linkit Themes -> Particulate Matter -> Level 2: Details -> Question 1.)

Pienhiukkaset ovat karkeita hengitettäviä hiukkasia pienempiä, niiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä. Pienhiukkaset pääsevät kulkeutumaan kehossa keuhkorakkuloihin saakka. Pienhiukkasia syntyy myös rakennusten sisätiloissa ihmisten toiminnasta ja osa niistä on peräisin itse rakennuksesta. (Hiukkaset ja kaasumaiset aineyhdisteet. 2019.)

Pienhiukkaset ovat peräisin useista eri lähteistä ja niistä terveydelle haitallisimpia syntyy epätäydellisessä palamisessa, kuten puun pienpoltosta ja liikenteestä. Pienhiukkasille altistuminen lyhytaikaisesti lisää hengitystieinfektioita ja pahentaa astmaa ja keuhkohtaumatautia karkeiden hengitettävien hiukkasten tavoin sekä näiden lisäksi sepelvaltimotautia. Pienhiukkasille pitkäaikaisesti altistumisen on todettu lyhentävän jopa elinikää. (Kuva 1.) (Hiukkaset ja kaasumaiset aineyhdisteet. 2019.)

PIENHIUKKASTEN LÄHTEET

TERVEYSVAIKUTUKSET



KUVA 1. Pienhiukkasten lähteet ja niiden terveysvaikutukset (Pienhiukkasten terveysvaikutuksia ja kustannuksia ei huomioida riittävästi – julkaistavissa 9.10.2015. 2015)

2.3 Pienhiukkasten lähteet

Puolet Suomen ulkoilmassa esiintyvistä pienhiukkasista on peräisin Suomen rajojen ulkopuolelta. Ilmiötä kutsutaan kaukokulkeumaksi. Toinen puoli syntyy polttoprosesseista, kuten energiantuotannosta, puun pienpoltosta ja liikenteestä. (Hiukkaset ja kaasumaiset aineyhdisteet. 2019.) Pienhiukkasia syntyy myös rakennusten sisätiloissa ihmisten toiminnasta ja osa niistä on peräisin itse rakennuksesta. Sisätiloissa pienhiukkasten lähteitä ovat kynttilän polton epäpuhtaudet, ihminen, ruuan valmistus, huonepöly, rakenteet, sisustus sekä mikrobit. (Poltto-peräiset pienhiukkaset huonontavat sisäilmaa – polta puuta ja kynttilöitä harkiten. 2019.)

2.3.1 Ulkoilmassa esiintyvät pienhiukkaset

Isoin osa ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksista johtuu kaukokulkeumasta, joka on pääosin peräisin Länsi-Euroopasta. Pienhiukkaset voivat kulkeutua jopa tuhansia kilometrejä ilmavirtausten mukana ja poistuvat ilmasta vasta sateiden mukana. Ilman merkittävien pienhiukkaspitoisuuksien kohoamisen syynä on yleensä Itä-Euroopasta peräisin oleva kaukokulkeuma. Kulkeumat sisältävät Venäjän, Baltian maiden, Valko-Venäjän, Ukrainan ja Puolan liikenteen, teollisuuden ja energiantuotannon sekä maastopalojen ja kulotuksen päästöjä. (Ilman pienhiukkaset merkittävä terveysongelma. 2008.)

Energiantuotanto ja teollisuus aiheuttavat erilaisia päästöjä mm. rikkidioksidi-, hiukas- ja typenoksidipäästöjä. Ne eivät kuitenkaan yleensä aiheuta korkeita pitoisuuksia hengityskorkeudella, koska päästöt purkautuvat korkeista piipuista. (Energiantuotanto ja teollisuus. 2020.)

Rikkidioksidi on hapan kaasu, joka on haitallista ihmisen terveydelle ja ympäristölle. Sitä pääsee ilmaan rikkipitoisten polttoaineiden palamisessa energiantuotannossa sekä teollisuusprosesseissa. Typen oksidissa palava typpi ei ole peräisin vain polttoaineesta vaan myös ilman tpestä. Polttolämpötila vaikuttaa olennaisesti sen syntymiseen. Palaessa syntyy pääasiassa typpioksidia (typpimonok-

sidia, No) ja hieman typpidioksidia (NO₂), näistä typpidioksidi on terveydelle haitallinen. Suuri osa typpioksidista on peräisin energiantuotannosta, mutta altistumiseen kaupunki-ilmassa vaikuttaa eniten liikenne. (Voiko ilma palaa? 2014.)

Liikenne aiheuttaa noin 30 % Suomen hiukkaspäästöistä mutta tästä määrästä vain noin 10 % on pienhiukkasia (Ympäristöministeriö 2019, 50). Merkittävin päästölähde liikenteessä on autojen renkaiden ja hiekoitushiekan aiheuttama tienpinnan hiertyminen. Keväisin leijuva katupöly muodostaa noin 20 % Suomen kokonaishiukkaspäästöistä. (Suomen hiukkaspäästöt. 2019.) Suurin osa katupölystä koostuu hienoksi jauhautuneesta asfaltista ja hiekasta. Katupöly sisältää myös maaperän mikrobeja, nokihiukkasia, autojen renkaista, jarruista ja muista osista irtoavaa materiaalia. (Katupöly. 2020.)

Puun pienpoltto on merkittävin pienhiukkasten päästölähde Suomessa. Asuntojen, mökkien ja saunojen tulipesät aiheuttavat nykyisin noin 40 % Suomen pienhiukkaspäästöistä. Puunpoltossa syntyy aina pienhiukkasia, soluille myrkyllisiä ja syöpävaarallisia PAH-yhdisteitä sekä muita yhdisteitä. Nämä vaikuttavat sydän- ja hengityssairauksien kehittymiseen ja oireisiin. Pientalojen runsaasta puulämmityksestä syntyvät pienhiukkasten korkeat vuorokausipitoisuudet voivat aiheuttaa vakavia oireita sydän- ja hengityssairaille ja lisätä pikkulasten hengityselinoireita- ja infektioita. (Puunpoltto. 2019.)

2.3.2 Sisäilmassa esiintyvät pienhiukkaset

Sisäilman merkittävin pienhiukkasten lähde on ulkoilma. Sisäilman hiukkaspitoisuudet ovat 65 – 90 % vastaavasta ulkoilman pitoisuudesta, jos jätetään huomioon ottamatta erityiset sisälähteet. Sisäilmassa yleisimmin esiintyvä pienhiukkasten lähde on pöly, jota syntyy ihmisen liikkumisesta ja fyysisestä aktiivisuudesta. (Mikä kaupunki-ilmassa mättää? 2014.)

Sisäilma ja huonepöly sisältävät sekä orgaanisia että epäorgaanisia hiukkasia. Epäorgaanisia kuitumaisia hiukkasia ovat mm. asbesti ja mineraalivillakuidut. Orgaanisia kuitumaisia hiukkasia ovat mm. homeitiöt ja bakteerit. (Hiukkasmaiset epäpuhtaudet. 2008.)

Huonepöly eli leijuva ja laskeutuva pöly koostuu epäorgaanisista ja orgaanisista hiukkasista. Leijuvaa pölyä on kahdenlaista, hieno- ja karkeapölyä. Ilmanvaihdon avulla koitetaan poistaa leijuvaa pölyä ja laskeutunutta pölyä erilaisilla siivousmenetelmillä. (Hiukkasmaiset epäpuhtaudet. 2008.)

Tärkein pienhiukkasten sisälähde on tupakointi, sillä se voi keskimäärin kolminkertaistaa sisäilman pienhiukkasten määrän. Tupakansavu on savukkeeseen ja muiden tupakkatuotteiden poltosta muodostuvien hiukkasten, aerosolien ja kaasujen seos. Tupakansavu sisältää yli 4 000 yksittäistä yhdistettä, joista yli sata on ihmiselle haitallisia yhdisteitä. Haitallisista yhdisteistä ainakin neljäkymmentä on syöpää aiheuttavia. Tupakansavua voi kulkeutua sisätiloihin ulkoa tai muualta rakennuksesta rakenteiden vuotojen tai väärin toimivan ilmanvaihdon seurauksena. (Asuntojen tupakansavu. 2018.)

Kynttilöiden runsas poltto voi nostaa sisäilman pienhiukkaspitoisuuden jopa yli tunnin ajaksi vähintään vilkkaan liikenneympäristön tasolle, jos kynttilä sammutetaan puhaltamalla tai jos se savuttaa huonon laadun tai ilmapurkauksen seurauksena. (Polttoperäiset pienhiukkaset huonontavat sisäilmaa – polta puuta ja kynttilöitä harkiten. 2019.)

Ihminen on yksi sisäilman pienhiukkasten päästölähde, joka myös lisää pienhiukkasten määrää sisätiloissa mm. kynttilöiden ja tupakan poltolla sekä ruoanvalmistuksella (Mikä kaupunki-ilmassa mättää? 2014).

Ruonvalmistus, siivous ja kotityörutiinit tuottavat huomattavan paljon haihtuvia ja pienhiukkaskemikaaleja kotitalouksissa. Coloradon yliopiston tutkijoiden mukaan näiden vaikutus sisäilmanlaatuun on niin suurta, että sisäilma voi olla laadultaan yhtä huonoa kuin kaupungissa, jossa on saastunut ilmanlaatu. (Tavalliset kotityöt synnyttävät paljon ilmansaasteita, kertoo tutkimus – Paahtoleivän valmistus tuotti niin paljon hiukkasia, että mittalaitteet piti säätää uudestaan. 2019.)

Epäorgaanisia kuituja ovat mm. lasivillakuidut ja mineraalivillakuidut, kuten vuorivilla, lasivilla ja kuonavilla, jotka ovat halkaisijaltaan alle 3 µm:stä (0,1 – 3 µm lasimikrokuitu) noin 8 µm:iin. Mineraalivillakuidut aiheuttavat ylähengitysteiden, ihon ja silmien ärsytysoireita. (Hiukkasmaiset epäpuhtaudet. 2008.)

Rakennusten seinien tai katon eristeistä on mahdollista kulkeutua kuituja sisäilmaan, mikäli ilmaa kulkeutuu rakenteiden läpi hallitsemattomasti. Huonokuntoiset tai likaiset ilmanvaihtolaitteet ja -kanavat, eristeet sekä akustiikkalevyt voivat myös tuottaa sisäilmaan mineraalivillakuituja. (Sisäilman hiukkaset ja kuidut. 2016.)

Mikrobeja esiintyy aina rakennuksissa, rakenteissa ja sisäilmassa. Rakennuksessa esiintyvät mikrobit ovat luonnosta peräisin (maaperä, kasvien pinnat, ulkoilma). Rakennuksessa esiintyvistä mikrobeista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä home-, hiiva-, ja lahottajasieniä sekä bakteereja. Sisäilmassa esiintyvät suuret määrät homeita tai niiden itiöitä, aineenvaihduntatuotteita ja toksineja, ihmiset voivat saada niistä terveyshaittoja. (Mikrobit. 2020.)

3 SISÄILMASTO

3.1 Yleistä sisäilmastosta

Sisäilmalla tarkoitetaan sisätiloissa hengitettävää ilmaa, jossa ilman perusosien lisäksi saattaa olla eri lähteistä peräisin olevia hiukkasmaisia ja kaasumaisia epäpuhtauksia. Sisäilmalla tarkoitetaan tässä tapauksessa rakenteiden rajaamaa ilmaa tiloissa, joissa ei ole pääsääntöisesti tuotannollisesta tai muusta poikkeavasta toiminnasta johtuvia päästöjä. Sisäilmasto koostuu sisäilmasta ja siihen vaikuttavista fysikaalisista tekijöistä. Sisäilmastotekijöihin lukeutuvat sisäilman kaasumaiset yhdisteet, sisäilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet, lämpötila, kosteus, ilman liike, säteily, valaistus ja melu. (Perustietoa. 2008.)

Ihminen viettää noin 90 % kaikesta ajastaan sisätiloissa ja hengittää vuorokaudessa jopa 40 m³ ilmaa. Sisäilma on hyvää, jos suurin osa rakennuksen käyttäjistä on tyytyväisiä sisäilman laatuun, ja sisäilman haittatekijät eivät saisi aiheuttaa terveydellistä vaaraa. Sisäilman mahdolliset epäpuhtaudet voivat aiheuttaa tai pahentaa allergia- ja ärsytysoireita sekä keuhkosairauksia. (Perustietoa. 2008.)

Sisäilmasto on hyvä siinä tapauksessa, että rakennuksen käyttäjät eivät koe kyseisessä rakennuksessa mitään oireita (Perustietoa. 2008). Hyvä sisäilmasto on tärkeä, sillä se edistää rakennusten käyttäjien hyvinvointia, viihtyisyyttä ja työtehoa. Hyvän sisäilmaston luominen alkaa jo ennen itse rakentamista siten, että asetetaan rakennushankkeelle tietynlaiset tavoitteet. Hyvän sisäilmaston kannalta oleellisia tekijöitä ovat pätevät suunnitelmat, harkitut materiaalivalinnat sekä huolellinen rakentaminen. (Rakennuksen sisäilmasto. 2020.)

Terveellisen sisäilmaston varmistamiseksi rakennuksia ja laitteistoja tulee huoltaa ja kunnossapitää oikeaoppisesti. Laitteistojen käyttö tulee olla rakennukselle soveltuvaa. (Rakennuksen sisäilmasto. 2020.)

3.2 Sisäilmastoluokitukset

Sisäilmaluokitus 2018 on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna. Luokitusta voidaan käyttää uudisrakentamisen lisäksi soveltuvin osin myös korjausrakentamisessa. (RT 07-11299. 2018, 5.)

Sisäilmastoluokitus on jaettu kolmeen tasoon: laatuluokkiin S1, S2 ja S3. Sisäilmastoluokista S1 on paras ja S3 luokka on huonoin. S1 sisäilmastoluokan vaatimusten mukaisesti tehty rakennus on todennäköisesti käyttäjätuetytyväsyydeltään parempi kuin muissa luokissa. Asettamalla sisäilmastolle tavoitteen edesautetaan eri toimijoiden yhteistyötä ja siten vähennetään terveyttä tai viihtyvyyttä heikentävien ongelmien syntymisen riskiä. (RT 07-11299. 2018, 5.)

S1-sisäilmastoluokka tarkoittaa yksilöllistä sisäilmastoa. Tässä luokassa tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät ja viihtyisät eikä vetoa tai yllämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy hallitsemaan lämpöoloja yksilöllisesti. Tiloissa on lisäksi niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet, ja hyviä valaistusolosuhteita on tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus. (RT 07-11299. 2018, 5.)

S2-sisäilmastoluokka tarkoittaa hyvää sisäilmastoa. Kyseisessä luokassa tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat tässä luokassa hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllämpeneminen on mahdollista kesällä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. (RT 07-11299. 2018, 5.)

S3-sisäilmastoluokalla tarkoitetaan tyydyttävää sisäilmastoa. Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetut säädökset ja terveydensuojelulain perusteella asetetut vähimmäisvaatimukset. Asetusten vaatimusten täytyminen ei kuitenkaan välttämättä edellytä S3-luokan tavoitearvojen käyttämistä. (RT 07-11299. 2018, 5.)

3.3 Sisäilman laadun tavoitearvot

Sisäilmaluokitus 2018 ohjekortissa käsitellään sisäilmalle asetettuja tavoitearvoja. Pienhiukkasten tavoitearvo on keskimääräinen pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana. Hiukkaspitoisuudella PM_{2,5} tarkoitetaan huoneilmassa leijuvaa pölyä, jonka hiukkasten aerodynaaminen halkaisija on alle 2,5 µm. Hiukkaspitoisuus mitataan standardin SFS-EN 12341 mukaisesti rakennuksen normaalin käytön aikana ja mittaus kestää 24 tuntia. Sisäilmaluokissa S1 ja S2 PM_{2,5} – hiukkaspitoisuuksien tavoitearvo sisäilmassa on alle 10 µg/m³ ja luokassa S3 alle 25 µg/m³. Sisäilmaluokituksessa on myös tavoitearvo PM_{2,5} -hiukkaspitoisuuden suhde sisällä/ulkona luokassa S1 on alle 0,5 ja luokassa S2 alle 0,7. (Taulukko 1.) (RT 07-11299. 2018, 7.)

TAULUKKO 1. Sisäympäristön laadun tavoitearvot (RT 07-11299. 2018, 7)

Taulukko 1.3.3. Sisäympäristön laadun tavoitearvot.

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuuslisä* [ppm]	< 350	< 550	< 800
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	< 100	< 100	< 200
PM _{2,5} [µg/m ³]	< 10	< 10	< 25
PM _{2,5} sisällä/ulkona	< 0,5	< 0,7	–
Ilman suhteellinen kosteus [% RH]	–	–	–
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	–
asunnot	90 %	80 %	–

*suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus.

Asumisterveysasetus on sosiaali- ja terveysministeriön terveydensuojelulain nojalla asetus asunnon tai muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista. (Asumisterveys. 2016.) Asetuksessa on määritetty hiukkasten raja-arvot sisäilmassa. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään 50 µg/m³. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään 25 µg/m³. (Taulukko 2.) (Sisäilman hiukkaset ja kuidut. 2016.)

TAULUKKO 2. Hiukkasten raja-arvot sisäilmassa (Sisäilman hiukkaset ja kuidut. 2016)

		Aerodynaaminen halkaisija	Enimmäispitoisuus sisäilmassa (24 h)
Hengitettävät hiukkaset	PM10	< 10 µm	≤ 50 µg/m ³
Pienhiukkaset	PM2.5	< 2,5 µm	≤ 25 µg/m ³

4 HIUKKASPITOISUUKSIEN HALLINTA SISÄTILOISSA

Pienhiukkasista pääosa syntyy ulkona olevista lähteistä mutta suurin osa niille altistumisesta tapahtuu sisätiloissa. Pienhiukkaset pääsevät kulkeutumaan sisätiloihin ilmanvaihdon kautta ja rakennuksissa olevien epätiiveyksiä kautta. (Polttoperäiset pienhiukkaset huonontavat sisäilmaa – polta puuta ja kynttilöitä harkiten. 2019.)

Sisäilman laatua voivat huonontaa merkittävästi polttoperäiset pienhiukkaset. Lähtienä pientalojen puulämmityksestä syntyvät savut kulkeutuvat rakennusten sisäilmaan ilmanvaihdon ja rakenteiden aukkojen kautta. Rakennuksissa, joissa on tulisija, pienhiukkasia pääsee edellä mainittujen asioiden lisäksi sisäilmaan suoraan tulisijasta. (Polttoperäiset pienhiukkaset huonontavat sisäilmaa – polta puuta ja kynttilöitä harkiten. 2019.)

Pienhiukkasten määrään sisätiloissa voi vaikuttaa merkittävästi omalla toiminnalla asuinrakennuksissa. Määrään voi vaikuttaa välttämällä tupakointia sisätiloissa, polttamalla kynttilöitä harkiten, käyttämällä liesituuletinta ruuanvalmistuksessa ja suosimalla siivouksessa pölyä sitovia menetelmiä, kuten nihkeäpyyhintää. (Polttoperäiset pienhiukkaset huonontavat sisäilmaa – polta puuta ja kynttilöitä harkiten. 2019.)

Yleisesti pienhiukkasten määrään ja hyvään sisäilmaan vaikuttaa rakennuksen hyvä ilmanvaihto sekä tuloilman suodatus. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus on tärkeä, koska se vaikuttaa suoraan myös pienhiukkasten määrään sisätiloissa. (Polttoperäiset pienhiukkaset huonontavat sisäilmaa – polta puuta ja kynttilöitä harkiten. 2019.)

4.1 Rakennuksen ilmatiiveys ja painesuhteet

Uuden rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat mitoitetaan yleensä yhtä suuriksi ja ilmavirtoja säädettäessä pitää varmistaa, ettei rakennus ole ilmanvaihdon vaikutuksesta ylipaineinen eikä merkittävästi alipaineinen. (Opas asuinrakennus-

ten ilmanvaihdon mitoitukseen. 2019, 5.) Aiemmin voimassa olleen rakentamismääräyksen mukaan rakennus tuli suunnitella hieman alipaineiseksi, mutta alipaine sai olla korkeintaan 30 Pa. (D2 (2012). 2011, 19.)

Rakennuksen painesuhteet ja rakenteiden ilmatiiveys vaikuttavat rakennuksen ilmavirtauksiin. Ilma virtaa korkeammasta paineesta matalampaan paineeseen eli ylipaineesta alipaineeseen. Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaa ilmanvaihto, ilman lämpötilaerot ja tuuli. Painesuhteet vaihtelevat eri vuorokauden- ja vuodenaikoina. Painesuhteet voivat muuttua vuorokauden aikana hyvinkin nopeasti ja voimakkaasti ilmanvaihtolaitteiston ja tuulen vaikutuksesta. Rakennuksen painesuhteet muuttuvat myös vuodenaikojen mukaan ilman lämpötilaerojen eli savupiippuvaikutuksen takia. Kokonaispaine-erosta aiheutuva ilman virtaaminen aiheuttaa kosteusvaurioriskin, jos ilma jäähtyy virratessaan rakenteen läpi, mikä tapahtuu, kun rakennus on ylipaineinen. (Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008.)

Rakennuksessa olevan alipaineen takia korvausilma kulkee sieltä, mistä sen on helpointa, kuten lattiakaivosta, avoimesta ikkunasta tai rakennuksen epätiiveyskohdista, joita ovat ikkunaliittymät, seinän ja lattian liittymät, halkeamat ja läpiviennit. Näiden korvausilmareittien takia sisäilmaan voi mahdollisesti päästä epäpuhtauksia. Alipaine ei välttämättä aiheuta sisäilman laadun heikkenemistä ja siitä johtuvaa oireilua, mutta se on mahdollista, jos korvausilma tuo mukanaan sisäilmaan kivipölyä, eristevillakuituja, maaperän tai kosteusvaurioituneiden rakenteiden mikrobiepäpuhtauksia. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019, 18.)

Ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen painesuhteisiin riippuu ilmanvaihtojärjestelmästä, järjestelmän säädöistä ja sen kunnosta. Ilmanvaihtojärjestelmänä voi olla painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto tai koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Rakennuksen tuloilman määrän ollessa suurempi kuin poistoilman määrä, rakennus on ylipaineinen. Kun taas poistoilman määrä on suurempi kuin tuloilman määrä, rakennus on alipaineinen. (Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008.)

Ilman lämpötilaerot vaikuttavat rakennuksen painesuhteisiin ulko- ja sisälämpötilojen eron mukaan. Mitä kylmempi ulkolämpötila on, sitä voimakkaammin se vaikuttaa. Tätä ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttamaa paine-eroa kutsutaan

savupiippuvaikutukseksi. Paine-ero syntyy, kun lämmin ilma nousee kylmää ilmaa kevyempänä ylöspäin. Tasatiiviissä rakennuksessa savupiippuvaikutus aiheuttaa rakennuksen ulkoseinään painejakauman, jossa ulkoilmaa lämpimämmän rakennuksen sisäpuolella sen alaosiin kohdistuu alipaine ja yläosiin ylipaine ulkoilmaan verrattuna. Alapohjarakenteiden kautta voi siten tapahtua ilmavirtauksia huonetilaan ja yläpohjarakenteiden kautta huonetilasta ulospäin. (Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008.)

Tuulen vaikutus rakennuksen painesuhteisiin on luonnollisesti erittäin vaihtelevaa. Paine, jonka tuuli aiheuttaa rakennukseen, riippuu tuulen suunnasta ja rakennuksen geometriasta. Rakennuspaikan vallitseva tuulen suunta ja rakennuksessa olevien aukkojen sijainti vaikuttavat rakennuksen sisäpuoliseen paineeseen. Tapauksessa, jossa rakennuksen tuulenpuoleinen seinä on muita seiniä epätiivimpi, rakennuksen sisälle muodostuu ylipaine. Rakennuksen sisäpuolelle muodostuu alipaine, kun suurin osa aukoista on suojan puoleisella seinällä. (Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008.)

Rakennuksen ilmatiiviyys vaikuttaa rakennuksessa tapahtuviin ilmavirtauksiin. Rakenteissa/rakennuksissa on oltava virtausreittejä, joita pitkin ilmaa voi virrata. Tyypillisiä ilman virtausreittejä ovat rakenteiden saumat, halkeamat, läpiviennit sekä tarkistus- ja kulkuluukut. Ilman kulkureitteinä voi myös toimia rakennuksessa olevat LVIS-asennuskuilut ja putkikanaalit. (Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008.) Rakennuksen vaipan tiiviyys vaikuttaa siihen, kuinka suureksi paine-ero muodostuu vaipan yli, kun ilmanvaihto, tuuli tai savupiippuilmio aiheuttavat alija/tai ylipaineisuutta. Epätiivisiin rakennuksen sisävaipan tiivistyskorjaukset alipaineistavat rakennusta, jos ilmanvaihtoa ei säädetä tasapainoon korjausten jälkeen. Tiivissäkin rakennuksessa voi olla joitain yksittäisiä ilmanvuotokohtia, jotka voivat olla merkittäviä ilmanvuotoreittejä isolla paine-erolla. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019, 19.)

4.2 Ilmanvaihto ja tuloilman suodatus

Ilmanvaihto tuo huoneisiin puhdasta ilmaa ja poistaa sieltä hiukkasmaisia ja kaasumaisia epäpuhtauksia. Hyvän sisäilman perusta on toimiva ilmanvaihto. Ilman-

vaihdon tarkoitus on viihtyisän ja terveellisen sisäilman ylläpitäminen rakennuksessa. Ilmanvaihto tulisi toimia siten, että puhdasta ilmaa tuodaan oleskelutiloihin ja se poistetaan likaisten tilojen ja märkätilojen kautta. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voidaan toteuttaa painovoimaisena, koneellisella poistoilmanvaihdolla tai koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Ilmanvaihtojärjestelmän tulisi olla riittävän tehokas, meluton, helposti huollettavissa ja säädettävissä. Järjestelmä ei saisi aiheuttaa vedon tunnetta eikä terveys- tai viihtyvyyshaittaa. (Ilmanvaihdon vaikutus. 2008.)

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaudesta on syytä pitää huolta, riippumatta siitä, millä tavalla se on toteutettu, sillä likaantunut järjestelmä ei tuota puhdasta ilmaa sisätiloihin. Likaantuneet, kostuneet, ja mikrobeja kasvavat suodattimet ja äänieristeet voivat aiheuttaa sisäilman hajujen ja mikrobien lisääntymistä. (Ilmanvaihdon vaikutus. 2008.) Ilmansuodattimet tulisi vaihtaa säännöllisesti, sillä tukkeutunut suodatin vaikuttaa ilmanvaihtoon ja vähentää korvausilman virtausta (Jopa 1,5 miljoonaa suomalaista kotia on ilman toimivaa ilmanvaihtoa).

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa rakennuksen ilmanvaihto perustuu sisä- ja ulkotilojen lämpötilaeroon ja tuulen aiheuttamaan paine-eroon. Korvausilmaventtiilit asennetaan oleskelutilojen seiniin, tuuletusluukkuihin tai ikkunan karmeihin. Poistoilmaventtiilit sijoitetaan likaisiin tiloihin, kuten keittiöön ja kylpyhuoneeseen. Painovoimaisen ilmanvaihdon heikkouksia ovat ilmanvaihtuvuus (erityisesti kesällä ulko- ja sisäilman lämpötilan ollessa lähes sama), korkea energiankulutus ja vedon tunne. (Ilmanvaihtojärjestelmät. 2020.)

Koneellinen poistoilmanvaihto perustuu painovoimaiseen ilmanvaihtoon mutta rakennuksen ilmanvaihtoa on tehostettu koneellisesti esimerkiksi huippuimurilla tai suoraan poistoilmaventtiilien päälle asennetulla puhaltimella. Puhallin voi toimia jatkuvasti tai vaihtoehtoisesti kytkeytyä päälle valokatkaisimesta: kun valot laitetaan päälle, puhallin käynnistyy. Hyviä puolia on painovoimaiseen ilmanvaihtoon verrattuna ilmanvaihtuvuuden tasaisuus ja kesähelteilläkin ilmaa saadaan vaihdettua paremmin. Koneellisessa ilmanvaihdossa on erityisen tärkeää huolehtia riittävästä korvausilman saannista, muuten koneellinen poistoilmanvaihto

imee likaista korvausilmaa rakenteiden ja liitosten kautta. (Ilmanvaihtojärjestelmät. 2020.)

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa sekä tulo- että poistoilma vaihtuu koneellisesti rakennuksessa. Tällöin saadaan paras tasainen ilmanvaihtuvuus rakennuksessa. Järjestelmän etuna on hyvän ilmanvaihtuvuuden lisäksi sen energiatehokkuus. Energiatehokkuutta parantaa se, että poistoilman lämpöenergiällä saadaan lämmitettyä tuloilmaa lämmöntalteenoton avulla. (Ilmanvaihtojärjestelmät. 2020.)

Tuloilman suodatus tulee suunnitella sellaiseksi, että sisäilman laadulle asetetut tavoitteet täyttyvät käytävissä olevilla ulkoilman laadulla ja ulkoilmavirralla. Suodatuksen suunnittelussa tulee huomioida ulkoilmavirran lisäksi myös muut ilmapvirrat, joiden kautta tuloilmaan tulee epäpuhtauksia, kuten suodatinten ohivuodot, lämmöntalteenoton vuodot ja mahdollinen palautusilmavirta. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2019.)

Tuloilmaluokkien SUP 1-3 raja-arvot ovat matalammat kuin STM:n (Sosiaali- ja terveysministeriö) asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisäilman hiukkaspitoisuudelle. SUP 4 luokassa raja-arvot ovat samat ja SUP 5 luokan raja-arvot ovat korkeammat kuin asumisterveysasetuksen toimenpidearvot. Tuloilmaluokat SUP 4 ja SUP 5 voivat johtaa liian korkeaan sisäilman hiukkaspitoisuuteen ilman muita puhdistusratkaisuja. SUP 1 luokka on ainoa luokka, jossa hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvo alittaa sisäilmaluokituksen luokkien S1 ja S2 mukaiset rajat. Sisäilmaluokat S1 ja S2 edellyttävät suodatusta, koska niissä on määritelty vaatimus sisäilmassa ja ulkoilmassa olevien PM_{2,5} pienhiukkasten suhteelle. (Taulukko 3.) (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2019.)

TAULUKKO 3. Tuloilman (SUP) luokitus (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2019)

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

Tarvittava suodatustehokkuus voidaan saavuttaa joko yksi- tai useampivaiheista suodatinratkaisua käyttämällä. Yleensä hiukkassuodatus toteutetaan käyttämällä yksi- tai kaksivaiheista suodatusta. Yksiportaisessa tuloilman suodatuksessa tuloilmasuodatin sijoitetaan ilmanvaihtojärjestelmässä yleensä ulkoilmalaitteen jälkeen ulkoilmasuodattimeksi. Kaksivaiheisessa suodatuksessa ulkoilmasuodatin sijoitetaan yleensä ulkoilmalaitteen läheisyyteen ja se siten suodattaa ulkoilmasta isoimmat hiukkasmaiset epäpuhtaudet. Varsinainen tuloilmasuodatin sijaitsee ilmankäsittelykoneen painepuolella viimeisenä toimintona, viimeistellen tuloilman laadun tuloilman vaatimusten mukaiseksi. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2019.)

Ulkoilman laatuluokat hiukkaspitoisuuden suhteen (ODA P = outdoor air, particulate matter) jaotellaan kolmeen luokkaan. Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetuksen toimenpidearvot sisäilman 24 tunnin hiukkaspitoisuuksille ovat PM2,5 ja PM10 (25 µg/m³ ja 50 µg/m³). Ulkoilma täyttää nämä raja-arvot vain luokassa ODA 1, kun taas luokissa ODA 2 ja ODA 3 täytyy arvioida ilmansuodatuksen tai muiden ilmanpuhdistusratkaisujen käyttämistä. (Taulukko 4.) (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2019.)

TAULUKKO 4. Ulkoilman (ODA) luokitus (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2019)

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 ³	50 µg/m ³ (24h) 40 µg/m ³ (vuosi)
ODA 2 (P)	Ulkoilma, jossa on suuria hiukkasmaisia ja/tai kaasumaisia epäpuhtauspitoisuuksia.	37,5 µg/m ³	75 µg/m ³ (24h) 60 µg/m ³ (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 ³	yli 75 µg/m ³ (24h) yli 60 µg/m ³ (vuosi)

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

Taulukossa 5 on esitetty ulko- ja tuloilmasuodattimien suositeltavat minimisuodatusluokat suodatinluokitus SFS-EN ISO 16890-1:2016 mukaan. Suunniteltu kokonaishiukkaserotusaste voidaan saavuttaa useilla erilaisilla suodatinyhdistelmillä, joista taulukossa on esitetty yhdet mahdolliset esimerkit kullekin ulkoilma/tuloilma kombinaatiolle. (RT 07-11299. 2018, 17.)

TAULUKKO 5. Ulkoilmaluokkaan perustuva vähimmäissuodatusteho (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2019)

	Tuloilmaluokka				
Ulkoilmaluokka	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%	*)

Tuloilmaluokan lisäksi suodattimen valintaan vaikuttaa ulkoilman laatu. Suomessa ulkoilma on yleensä tasoa ODA 1. Ilmanvaihtojärjestelmän suodattimien suodatusteho tulee suunnitella siten, että sisäilmaluokassa S1 tuloilmaluokka on SUP1 ja luokassa S2 tuloilmaluokka on SUP2. (RT 07-11299. 2018, 17.)

4.3 Sisäilmanpuhdistimet

Yleisesti pienhiukkasten määrään ja hyvään sisäilmaan vaikuttaa rakennuksen hyvä ilmanvaihto sekä tuloilman suodatus. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus on tärkeä, koska se vaikuttaa suoraan myös pienhiukkasten määrään sisätiloissa. (Polttoperäiset pienhiukkaset huonontavat sisäilmaa – polta puuta ja kynttilöitä harkiten. 2019.) Puhtaimman sisäilman saa yhdistämällä hyvän tuloilman suodatuksen ja ilmanpuhdistimen, joka poistaa pienimmätkin hiukkaset. Ilmanpuhdistimia on saatavilla kahdella eri toimintaperiaatteella, eli kuitu- ja HEPA-suodattimilla toimiva sekä sähköisellä suodatustekniikalla toimiva. (Genano, linkit tietopankki -> mitä me hengitämme sisäilmassa ja kuinka voimme suojautua hiukkasilta.)

Kuitu- ja HEPA-suodattimilla toimivissa sisäilmanpuhdistimissa on samanlaiset suodattimet kuin ilmanvaihtokoneissa, jotka suodattavat tuloilman. Näiden suodattimien teho perustuu siihen, että mekaaniset hiukkaset ja osa pienhiukkasista kiinnittyy suodattimen pintaan. Sähköisellä suodatustekniikalla toimivat sisäilmanpuhdistimet pakottavat hiukkaset hallitusti sähkövirtauskentän lävitse, jolloin

kaikenkokoiset hiukkaset varautuvat negatiivisesti ja kiinnittyvät positiivisesti varautuneeseen keruuseinämään tai kennoon. (Genano, linkit tietopankki -> mitä me hengitämme sisäilmassa ja kuinka voimme suojautua hiukkasilta.)

4.4 Siivous

Laadukkaalla siivouksella voidaan vaikuttaa hiukkasten määrään pinnoilla ja hiukkaspitoisuuksiin ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sisäilmassa ja siten parantaa sisäympäristön laatua (Korhonen 2011, 192). Huonetilasta poistuu hiukkasia eri tavoilla, kuten ilmanvaihdon kautta. Ilmanvaihdon kautta osa leijuvista hiukkasista poistuu ulkoilmaan ja osa deponoituu (hiukkanen poistuu ilmasta tarttumalla johonkin pintaan) huonetilan pinnoille. (Korhonen 2011, 31.)

Siivotessa epäsystemaattinen työskentely ja työliikkeet, jotka eivät ole tarkoituksenmukaisia, voivat lisätä ilman hiukkaspitoisuutta (Korhonen 2011, 23). Siivouksella voidaan vaikuttaa merkittävästi laskeutuvien hiukkasten (alle $1,0 \mu\text{m}$) määrään sisätiloissa. Hiukkaset voivat pinnoille laskeuduttuaan irrota uudelleen ilmaan ja siirtyä ilmavirtojen mukana tiloissa. Hiukkaset, jotka ovat halkaisijaltaan yli $1,0 \mu\text{m}$, laskeutuvat pinnoille ja näiden määrään voidaan hyvin vaikuttaa siivouksella. Pienemmät hiukkaset kuin $1,0 \mu\text{m}$ voivat laskeutua hitaasti pinnoille, varsinkin niiden kiinnittyessä toisiinsa muodostaen suurempia hiukkasia. Tämän kokoluokan hiukkasiin voidaan myös vaikuttaa siivouksella, mutta pelkkä imurointi ei vaikuta kovin tehokkaasti vaan tarvitaan esim. nihkeäpyyhintää. (Korhonen 2011, 47.) Tehokas tuloilman suodatus on hyvä keino vähentää sisätilojen pinnoille laskeutuvan pölyn määrää ja siten siivouksen tarve voi vähentyä (Korhonen 2011, 38).

Pölyn määrään sisäilmassa voidaan vaikuttaa tehokkaasti pölyä sitovilla siivousmenetelmillä, kuten mikrokuitupyhinnällä, nihkeillä pyyhintämenetelmillä ja imuroinnilla. Pölyä ilmaan nostavilla siivousmenetelmillä (yleensä kuivat siivousmenetelmät), kuten lakaisemisella voidaan huonontaa sisäilman laatua. (Ympäristöosaava, linkit puhdistuspalveluala -> 1.opiskele -> puhdistuspalveluala ja ympäristö -> siivous ja sisäympäristö.)

Imuroinnin tarkoitus on imeä pölyt ja pienet roskat pois pinnoilta. Hyvä pölynimuri poistaa edellä mainitut asiat mutta huono imuri lähinnä siirtää hienojakoisen pölyn sisäilmaan. (Pölynimurit. 2020.)

Pölynimureissa on joko mikrosuodatin tai Hepa-suodatin. Hepa-suodatin (high efficiency particulate air) suodattaa pienimmätkin hiukkaset. Paraskaan suodatin ei kuitenkaan auta, jos imurin poistoilma pääsee kulkemaan suodattimen ohi. Yleisimmät vuotokohtat ovat suodattimen ja sen kehyksen tai koneen rungon välissä. (Ostajan opas:pölynimurit. 2015.)

5 HIUKKASTEN MITTAUSMENETELMIÄ

Hiukkasten ominaisuudet, kuten niiden koko, muoto, koostumus ja pitoisuus vaihtelevat huomattavasti, mikä tekee niiden mittaamisesta haastavaa. Mittauslaitteen valintaan vaikuttaa se halutaanko tietoa esimerkiksi hiukkasten pitoisuudesta, kokojakaumasta, massasta vai lukumäärästä. (Kainulainen 2017, 14.)

Hiukkasten koon, lukumäärä- ja massapitoisuuden, koostumuksen ja muodon määrittämiseen on olemassa kaksi menetelmää. Toinen on hiukkasten keräykseen perustuva menetelmä, jolloin näytteen analysointi tapahtuu laboratoriossa, ja toinen on paikan päällä suoritettavat mittaukset. (Korhonen 2011, 69.)

Hiukkasten määrä voidaan ilmoittaa lukumäärän tai massan (joskus pinta-alan avulla tilavuusyksikössä. Viranomaismittauksissa määritetään hiukkasten massapitoisuutta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). (Pulkkinen 2012, 13.)

Mittalaitteet hyödyntävät erilaisia fysikaalisia ominaisuuksia, joita ovat inertia, valon sironta, diffuusio, kondensaatiotekniikka, sähkövaraus ja sähköinen liikkuvuus. Hiukkasten koko on vaikea määrittää, yleensä määritetään aerodynaaminen, optinen tai liikkuvuushalkaisija mittaustavasta riippuen. Tästä johtuen eri mittaustavoilla määritetyt hiukkasten halkaisijat eivät ole verrannollisia keskenään. (Kimpanpää 2011, 19.)

5.1 Inertiaan perustuvat mittausmenetelmät

Inertia tarkoittaa kappaleen taipumusta vastustaa liikettä, eli hiukkasista puhuttaessa se tarkoittaa, että mitä suurempi hiukkasen massa on, sitä hitaammin se reagoi ilmvirran muutoksiin. Hiukkasten inertiaa voidaan hyödyntää hiukkasten koon mittaamisessa ja niiden keräämisessä. Syklonit, impaktorit sekä lentoaikalaitteistot ovat mittauslaitteita, jotka perustuvat inertiaan. (Kainulainen 2017, 14.)

Sykloni on yksi yleisimmistä mekaanisista pölynerottimista. Syklonit eivät erottele kovin tehokkaasti $5\ \mu\text{m}$ pienempiä hiukkasia. Syklonissa pölyinen ilma saatetaan pyörivään liikkeeseen, jolloin hiukkaset ajautuvat keskipakovoimasta johtuen

syklonin seinämään ja siitä ne putoavat pohjalle. Puhdistunut ilma imetään laitteen keskeltä pois. (6.6 Poistoilman puhdistus. 2004.)

TOF-spektrometrissä eli lentoaikalaitteistossa hiukkasten koon saa määriteltä niiden käyttämän kulkuajan tiettyyn matkaan. Useimmiten hiukkaset saatetaan kiihtyvään liikkeeseen, josta johtuen erikokoiset hiukkaset käyttäytyvät eri tavalla. (Pietilä, 2012, 20.)

Impaktori on hiukkaskeräin, jossa ilmavirran suunta muuttuu täysin keräimen keräyslevyn yläpuolella. Inertiasta johtuen tiettyä rajakokoa suuremmat hiukkaset eivät ehdi kääntyä ilmavirran mukana, vaan ne törmäävät keräyslevyn pintaan. Impaktorin tarkoituksena on jakaa hiukkaset niiden koon perusteella kahteen osaan. Impaktoriin voidaan asettaa useita keräysasteita, jolloin saadaan tietoa hiukkasten kokojakaumasta. Impaktorissa olevat keräyslevyt vaihdetaan yleensä muutaman tunnin tai päivän välein. Keräyslevyjä vaihdettaessa käytetyt levyt punnitaan, jolloin saadaan selville hiukkasten massapitoisuus. (Kainulainen 2017, 14.)

Inertiaan perustuva analyysimenetelmä on halpa ja yksinkertainen tapa erotella eri kokoluokan hiukkaset omiin osioihinsa. Kyseiseen menetelmään tarvitaan keräin, suodatinalustoja ja ilmapumppu, joka pumppaa ilmaa keräimen läpi halutulla nopeudella. Inertiaan perustuvaa analyysimenetelmää voidaan hyödyntää terveysvaikutusten tutkimisessa siten, että monivaiheisen impaktorin vaiheet erottelevat hiukkasia samalla tavalla kuin ihmisen hengityselimistö. Täten voidaan esimerkiksi tarkastella monivaiheisen impaktorin viimeisen vaiheen suodatinta ja keskittää tutkimus vain niihin hiukkasiin, jotka pääsevät kaikista syvimmälle hengityselimistöön ja ovat siten kaikkein haitallisimpia ihmiselle. (Nygård 2013, 32.)

5.2 Optiset mittausmenetelmät

Optisia mittausmenetelmiä käytetään, kun halutaan mitata hiukkasten pitoisuutta ja niiden kokojakaumaa. Menetelmien etuna on niiden herkkyyys ja se, että ne ovat lähes reaaliaikaisia. Valon sironnan tai vaimenemisen avulla voidaan ha-

vainnoida hiukkasia laajallakin pitoisuusalueella. Optisten mittalaitteiden rajoittavana tekijänä on hiukkasten valon aallonpituus. Mitattavien hiukkasten koon alarajana on noin 100 nm. (Kainulainen 2017, 15.)

Optinen hiukkaslaskuri mittaa sekä hiukkasten kokoa että hiukkasten lukumääräpitoisuutta. Optisessa hiukkaslaskurissa hiukkaset kulkevat fokusoidun valonsäteen läpi sirottaen samalla valoa. Sironneet valopulssit ohjataan ilmaisimelle, josta saadaan valopulssien saapumistaajuus ja korkeus. Pulssien saapumistaajuus kertoo hiukkasten pitoisuuden ja pulssien korkeus kertoo hiukkasten koon. (Kainulainen 2017, 15.)

Laservaloa käyttämällä voidaan mitata pienempiä hiukkasia verrattuna valkoisen valon käyttöön. Pienempiä hiukkasia mitattaessa mittausepävarmuutta aiheuttavat esimerkiksi muutokset hiukkasten muodossa ja taitekertoimessa. Suurilla pitoisuuksilla mittausepävarmuutta aiheuttaa puolestaan se, että useampi hiukkanen saapuu havaintotilavuuteen samanaikaisesti tai liian pienen väliajan sisään, jolloin laskuri tulkitsee ne yhdeksi hiukkaseksi. Optinen hiukkaslaskuri on laajasti käytössä oleva mittalaite sen helppokäyttöisyyden ja halvan hintansa vuoksi. Laitetta käytetään yleensä esimerkiksi hiukkasten tutkimuksissa ja pitoisuuksien valvonnassa. (Kainulainen 2017, 15.)

Koko hiukkaspopulaatiosta sirovan valon määrän mittaamiseen käytetään fotometriä tai nefelometriä. Fotometri mittaa tiettyyn kulmaan sironneen valon. Nefelometrissä puolestaan hiukkasista siroava valo kerätään kaikissa sirontakulmissa yhden tai useamman aallonpituuden avulla. Nefelometriä ja fotometriä voidaan käyttää hiukkasten pitoisuuden määrittämiseen tai hiukkasten valonsiront ominaisuuksien tutkimiseen, mikä on tärkeää, esimerkiksi hiukkasten ilmastovaiikutusten arvioimisen kannalta. (Kainulainen 2017, 16.)

Trotec PC220 -hiukkaslaskuria voidaan käyttää ilman hiukkasten seurantaan, kaasujen havaitsemiseen ja ilmastotietojen keräämiseen. Laite mittaa sisätilojen ilmanlaatua kuuden hiukkaskoon 0,3 – 10 µm avulla ja lisäksi formaldehydin ja hiilidioksidin kaasupitoisuuksia sekä sellaisia määreitä, kuten ilman lämpötila, ilman kosteus, kastepistelämpötila ja märkälämpötila. Laite soveltuu lisäksi kvanti-

tatiivisiin hengitettävän pölyn (PM10) ja pienhiukkasten (PM2,5) pitoisuusmittauksiin, sillä mittauslaite näyttää hiukkasmäärät suoraan ilman massaosuutena mikrogrammoina kuutiometriä kohti. PC220 -hiukkaslaskurilla pölyjakeet havaitaan PM-standardin mukaisesti arvoina PM10 ja PM2,5, ja niiden määrä näytetään kuutiometriä kohden laitteen värinäytöllä. Hiukkasten havaitseminen perustuu kansainvälisesti käytettyyn Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviraston EPA PM-luokitteluun, jossa ilmassa olevat hiukkaset erotellaan niiden aerodynaamisen halkaisijan mukaan, joka on alle 10 mikrometriä (PM10) ja 2,5 mikrometriä (PM2,5). (Kuva 2.) (Trotec, linkit tuotteet ja palvelut -> mittauslaitteet -> ilmanlaadun -> hiukkaslaskuri -> PC220 hiukkaslaskuri.)



KUVA 2. Trotec PC220 –hiukkaslaskuri (Trotec, linkit tuotteet ja palvelut -> mittauslaitteet -> ilmanlaadun -> hiukkaslaskuri -> PC220 hiukkaslaskuri)

5.3 Sähkövaraukseen perustuvat mittausmenetelmät

Ioneja eli sähköisesti varautuneita hiukkasia voidaan havaita niiden kuljettaman sähkövarauksen avulla. Sähköisesti varautuneiden hiukkasten liikkeitä voidaan ohjailta sähkökentän avulla. Sähköisiä mittausmenetelmiä voidaan käyttää esimerkiksi ultrapienhiukkasten, jotka ovat kooltaan liian pieniä optisille tai inertiaan perustuville mittausmenetelmille, mittauksessa. (Kainulainen 2017, 17.)

Ionispektrometrillä on mahdollista mitata ilmakehässä olevien luontaisesti varautuneiden hiukkasten kokojakaumaa. Hiukkaset jaotellaan mittauksessa koon mukaan eri elektrodeille jännitteen avulla. Hiukkasten pitoisuus havaitaan sähkövirrana. Ionispektrometrillä voidaan havainnoida jopa alle 1 nm:n kokoisia hiukkasia. (Kainulainen 2017, 17.)

6 PIENHIUKKASTEN KÄYTÄNNÖN MITTAUKSET

Opinnäytetyössä tehtiin mittauksia, jotta voitiin selvittää ja vertailla ulkona ja rakennusten sisällä olevia hiukkaspitoisuuksia keskenään. Pienhiukkasten mittaukset suoritettiin kohteissa pienhiukkasmittarilla. Mittarina käytettiin Trotec PC220 -hiukkaslaskuria. Mittauksissa mitattiin pienhiukkasten määrää $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sisätiloissa ja ulkona. Mittauksessa saatuja tuloksia vertailtiin keskenään, koska juuri näiden suhde on tärkeä.

Mittausten tavoitteena oli selvittää sisätilojen pienhiukkasten määrää suhteessa ulkoilmaan. Mittauksilla haluttiin selvittää, kannattaisiko hiukkasmittauksia alkaa tehdä rutiinimittauksina sisäilmamittausten yhteydessä.

Mittausten kohteina olivat pientalo, kerrostalo ja julkinen rakennus. Kohteissa ei ollut aiempia havaintoja sisäilmaongelmista, lukuun ottamatta julkista rakennusta.

6.1 Mittauskohteet

Pienhiukkasten mittauskohteena oli Keski-Pohjanmaalla Kokkolan kaupungissa sijaitseva pientalo. Tutkimuksen kohteena ollut rakennus on rakennettu 1960-luvulla. Kohde on kaksikerroksinen, jossa on lisäksi kellari. Kohteessa on painovoimainen ilmavaihto. Rakennus sijaitsee alueella, jossa on pääosin pientaloja mutta myös muutamia julkisia rakennuksia sekä kerrostaloja. Rakennuksen ympärillä olevilla tonteilla on pientaloja ja rakennuksen yhden sivun ohi menee suhteellisen vilkas tie. Pientalojen puun pienpoltto lisää ilman pienhiukkaspitoisuuksia ja nämä pienhiukkaset voivat kulkeutua mittauksen kohteena olevan rakennuksen sisäilmaan (Puunpoltto. 2019). Aukkaat eivät ole havainneet rakennuksessa sisäilmaongelmiin viittaavia asioita.

Toisena mittauskohteena oli Pohjois-Pohjanmaalla Oulun kaupungissa sijaitseva kerrostalo ja kerrostalon asunto. Tutkimuksen kohteena ollut rakennus on rakennettu 1960-luvulla. Kohde on neljäkerroksinen ja kohteessa on painovoimainen ilmanvaihto. Rakennus sijaitsee alueella, jossa on pääosin kerrostaloja, pientaloja sekä puistoalueita. Rakennuksen ympärillä olevilla tonteilla on kerrostaloja,

yhden sivun ohi menee suhteellisen vilkas tie ja toisen sivun ohi menee vähemmän liikennöity tie. Aluetta reunustavat vilkkaat tiet, joista voi kulkeutua pienhiukkasia mittausten kohteena olevan rakennuksen sisäilmaan (Ympäristöministeriö 2019, 50). Aukkaat eivät ole havainneet asunnossa sisäilmaongelmiin viittaavia asioita.

Kolmantena mittauskohteena oli Pohjois-Pohjanmaalla Oulun kaupungissa sijaitseva julkinen rakennus. Tutkimuksen kohteena ollut rakennus on rakennettu noin 2000-luvun alussa. Kohde on kaksikerroksinen, ja kohteessa on koneellinen tulo- ja poistoilman vaihto. Rakennus sijaitsee alueella, jossa on pääosin kaksikerroksisia julkisia rakennuksia. Rakennuksen ympärillä olevilla tonteilla on julkisia rakennuksia ja yhtä sivua reunustaa puistoalue. Aluetta reunustavat vilkkaat tiet, joista voi kulkeutua pienhiukkasia mittausten kohteena olevan rakennuksen sisäilmaan (Ympäristöministeriö 2019, 50). Käyttäjät ovat havainneet rakennuksessa mahdollisesti sisäilmaongelmiin viittavia asioita.

6.2 Mittaustilanne ja käytetyt välineet

Pientalon alustavia tietoja kysyttiin rakennuksen asukkailta ja ennen mittauksia suunniteltiin, missä tiloissa mittaukset tehdään. Mittauspäivänä oli hieman tuulinen keli (6 m/s) ja ulkolämpötila oli 6,2 °C. Pienhiukkasten mittauksia tehtiin neljästi, joista kolme tehtiin sisätiloissa ja yksi rakennuksen pihalla. Sisätiloissa mittaukset päätettiin tehdä jokaisen kerroksen keskiosassa, kerrosten avarista pohjaratkaisuista johtuen mittauksia tehtiin vain yksi jokaisessa kerroksessa. Ulkona pihan pienestä koosta johtuen tehtiin vain yksi mittaus.

Kerrostalon alustavat tiedot olivat valmiiksi tiedossa ja ennen mittauksia suunniteltiin, missä tiloissa mittaukset tehdään. Ensimmäisenä mittauspäivänä oli tuulinen keli (7,8 m/s) ja ulkolämpötila oli 4,5 °C. Pienhiukkasten mittauksia tehtiin neljästi, joista kolme tehtiin sisätiloissa ja yksi rakennuksen pihalla. Sisätiloissa mittaukset suoritettiin asunnon keskiosassa, asunnon ulkopuolella rappukäytävässä ja ala-aulassa. Toisena mittauspäivänä oli hieman tuulinen keli (5,1 m/s) ja ulkolämpötila oli 5,1 °C. Pienhiukkasten mittauksia tehtiin kolmesti, joista kaksi tehtiin sisätiloissa ja yksi rakennuksen pihalla. Sisätiloissa mittaukset suoritettiin asunnon keskiosassa ja asunnon ulkopuolella rappukäytävässä.

Julkisen rakennuksen alustavia tietoja kysyttiin yhdeltä rakennuksen käyttäjistä ja ennen mittauksia suunniteltiin, missä tiloissa mittauksia tehdään. Mittauspäivänä oli hieman tuulinen keli (4,6 m/s) ja ulkolämpötila oli 4,8 °C. Pienhiukkasten mittauksia tehtiin yhdeksästi, joista kahdeksan tehtiin sisätiloissa ja yksi rakennuksen pihalla. Sisätilojen mittaukset sijoittuivat rakennuksen molempien kerrosten työhuoneisiin, aulatiloihin ja käytäviin.

Mittauksissa käytettiin Trotec PC220 -hiukkaslaskuria. Mittarista saadaan hiukkasten määrä, niiden koko sekä hiukkasten pitoisuus mitattua tilavuutta kohti.

6.3 Mittaustulokset

Työssä mitattiin pienhiukkasten pitoisuuksia sisä- ja ulkoilmassa. Pitoisuudet eivät ylittäneet sallittua sisäilman raja-arvoa 25 µg/m³ mittauspisteissä. Kerrostalossa tehtiin kahdet mittaukset vertailun vuoksi. Ulkoilman pienhiukkasten pitoisuudet eivät olleet erityisen suuria.

Toisella mittauskerralla kerrostalon asunnossa mitattuun korkeaan pienhiukkasten pitoisuuteen mahdollisesti vaikutti ruoanlaitto, joka tapahtui muutamaa tuntia ennen asunnossa tehtyä mittausta. Asunnossa on painovoimainen ilmanvaihto ja liesituuletinta ei ole, joten sisäilman pienhiukkaspitoisuudella kestää jonkin aikaa pienentyä. (Kuva 3.)



KUVA 3. Kerrostaloasunnon toisen mittauksen tulokset

Sisäilman pienhiukkasten pitoisuudet olivat sisäilmaluokan S1 tasoa eli alle 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lukuun ottamatta kerrostalon asunnossa tehtyä mittausta. Asunnon pienhiukkasten pitoisuus oli korkeampi kuin sisäilmaluokan S3 taso eli 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sisäilmastoluokituksessa on myös tavoitearvo pienhiukkasten pitoisuuden suhteelle sisällä/ulkona, joka on luokassa S1 alle 0,5 ja luokassa S2 alle 0,7. Pientalon mittauksissa ulkoilman pienhiukkaspitoisuus oli 0 eli tässä kohteessa pienhiukkasten pitoisuuden suhdetta ei voi vertailla. Julkisen rakennuksen pienhiukkasten pitoisuus oli 0 kaikissa sisätilojen mittauspisteissä, joten tässä kohteessa pienhiukkasten pitoisuuden suhdetta ei voi vertailla. Kerrostalossa tehtyjen mitausten suhde oli pienimmillään 1,0 ja suurimmillaan 27,5, joten se on yli S2-luokan tavoitearvon.

Taulukoissa 6 – 9 on esitetty mittaustulokset pienhiukkasten pitoisuuksista. Pienhiukkasten pitoisuuden raja-arvo PM_{2,5} on sisäilmassa 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24 h. Sulkeissa on merkittynä hengitettävien hiukkasten pitoisuus, jonka raja-arvo PM₁₀ on 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24 h.

TAULUKKO 6. Pientalon mittaukset 15.5.2020

Mittauspisteet	Sisäilman pitoisuus	Ulkoilman pitoisuus
kpl	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Aulatila 2.krs	4 (16)	0 (3)
Eteinen 1.krs	3 (11)	
Aulatila kellari	0 (5)	

TAULUKKO 7. Kerrostalon mittaukset 7.5.2020

Mittauspisteet	Sisäilman pitoisuus	Ulkoilman pitoisuus
kpl	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Huoneiston keskellä 4.krs	2 (7)	2 (13)
Rappukäytävä 4.krs	5 (11)	
Aulatila 1.krs	5 (57)	

TAULUKKO 8. Kerrostalon mittaukset 13.5.2020

Mittauspisteet	Sisäilman pitoisuus	Ulkoilman pitoisuus
kpl	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Asunnon keskellä 4.krs	55 (82)	2 (6)

Rappukäytävä 4.krs	6 (10)	
--------------------	--------	--

TAULUKKO 9. Julkisen rakennuksen mittaukset 13.5.2020

Mittauspisteet	Sisäilman pitoisuus	Ulkoilman pitoisuus
kpl	µg/m ³	µg/m ³
Työhuone 2.krs pohjoinen pääty, länsiosa	0 (5)	2 (9)
Kahvihuone 2.krs	0 (3)	
Aulatila 2.krs pohjoinen pääty	0 (4)	
Aulatila 2.krs eteläinen pääty	0 (4)	
Aulatila 2.krs eteläinen pääty, länsiosa	0 (0)	
Aulatila 1.krs rakennuksen keskellä, länsiosa	0 (5)	
Työhuone 1.krs rakennuksen keskellä länsiosa	0 (3)	
Aulatila 1.krs rakennuksen keskellä, länsiosa	0 (2)	

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia pienhiukkasten mittausmenetelmiä ja vaikutusta sisäilman laatuun. Työssä käytiin läpi pienhiukkasia, niiden mittausmenetelmiä ja niiden vaikutusta sisäilmaan sekä terveyteen. Työssä mitattiin käytännössä pienhiukkasten määrää sisä- ja ulkotiloissa kolmessa eri kohteessa, joista yksi sijaitsi Kokkolassa ja kaksi Oulussa.

Ulko- ja sisäilmassa mitattuja tuloksia vertailtiin keskenään. Sisäilman tuloksia verrattiin sisäilmassa sallittuihin pienhiukkasten arvoihin ja tuloksia vertailtiin myös sisäilmassa sallittuihin hengitettävien hiukkasten arvoihin.

Mittaukset kohteissa onnistuivat hyvin ja niistä saatiin vertailukelpoisia tuloksia. Opinnäytetyössä tehtyjen mittausten perusteella todettiin, että mittausten kohteena olevien rakennusten sisätiloissa pienhiukkasten määrä ei ylittänyt asumisterveysasetuksessa säädettyä arvoa, yhtä mittauspistettä lukuun ottamatta. Sisätiloissa mitatut pienhiukkasten pitoisuudet eivät olleet erityisen korkeita. Ulkoilmassa mitatut pienhiukkasten pitoisuudet eivät olleet sisäilman tavoin erityisen korkeita. Yleisesti ottaen Suomessa ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet ovat aika pieniä.

Opinnäytetyöstä tilaajayritys IdeaStructura oy saa tietoa pienhiukkasista, niiden mittausmenetelmistä ja niiden vaikutuksesta sisäilman laatuun. Näiden tietojen avulla on mahdollista arvioida, kannattaako pienhiukkasten mittaukset sisällyttää jatkossa asioihin, jotka mitataan aina sisäilmamittausten yhteydessä. Pienhiukkasten mittaukset voisi ottaa mukaan sisäilmamittausten rutiinimittauksiin, jos halutaan saada uutta tietoa rakennusten sisäilmasta.

LÄHTEET

Asumisterveys. 2016. Valvira. Saatavissa: <https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>. Hakupäivä 28.4.2020.

Asuntojen tupakansavu. 2018. Valvira. Saatavissa: https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/asuntojen_tupakansavu. Hakupäivä 6.3.2020.

(D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakennusmääräskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/FI/Maan kaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma/Kumotut. Hakupäivä 29.4.2020.

Energiantuotanto ja teollisuus. 2020. Hengitysliitto. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/terveys-hyvinvointi/ulkoilma-ilmanlaatu/ilmanlaatu-saasteet/energiantuotanto-ja-teollisuus>. Hakupäivä 27.4.2020.

GreenFacts. Saatavissa: <https://www.greenfacts.org/en/particulate-matter-pm/level-2/01-presentation.htm>. Hakupäivä 2.10.2021.

Hengitysilman pienhiukkaset – savusta ja saasteista sairautta. 2012. Terveyskirjasto. Saatavissa: https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=kol00207&p_listatyyppi=kol. Hakupäivä 12.11.2019.

Hiukkaset- ja kaasumaiset aineyhdisteet. 2019. Hengitysliitto. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/terveys-hyvinvointi/ulkoilma-ilmanlaatu/ilmanlaatu-saasteet/hiukkaset-ja-kaasumaiset-aineyhdisteet>. Hakupäivä 12.11.2019.

Hiukkasmaiset epäpuhtaudet. 2008. Sisäilmayhdistys. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Hiukkasmaiset-epapuhtaudet>. Hakupäivä 6.3.2020.

Hiukkasten terveysvaikutukset. 2015. Syke. Saatavissa: https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Paastojen_alueellinen_skenaariomallinnus_FRES/Hiukkasten_terveysvaikutukset. Hakupäivä 15.11.2019.

Hoffrén, Jukka 2008. Ilman pienhiukkaset merkittävä terveysongelma. Tilastokeskus. Saatavissa: https://www.stat.fi/artikkelit/2008/art_2008-05-30_007.html?s=0#4. Hakupäivä 27.4.2020.

Ideastructura. Saatavissa: <https://www.ideastructura.com/yritys/>. Hakupäivä 15.10.2021.

Ilmanvaihdon vaikutus. 2008. Sisäilmayhdistys. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Ilmanvaihdon-vaikutus>. Hakupäivä 28.4.2020.

Ilmanvaihtojärjestelmät. 2020. Hengitysliitto. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat>. Hakupäivä 28.4.2020

Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008. Sisäilmayhdistys. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>. Hakupäivä 28.4.2020.

Jopa 1,5 miljoonaa suomalaista kotia on ilman toimivaa ilmanvaihtoa. Rakentaja.fi. Saatavissa: https://www.rakentaja.fi/artikkelit/14429/mita_on_painovoimainen_ilmanvaihto_suomen_terveysilma.htm. Hakupäivä 28.4.2020.

Kainulainen, Johanna 2017. Liikenteen ja puun pienpolton aiheuttamat hiukkaspäästöt Mikkelin taajama-alueella. Opinnäytetyö. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikka.

Katupöly. 2020. Hengitysliitto. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/terveys-hyvinvointi/ulkoilma-ilmanlaatu/katupoly>. Hakupäivä 28.4.2020.

Kimpanpää, Mari 2011. Ilmanlaadun mittaaminen passiivisesti keskittyen pölyyn. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, kemiantekniikka ja ympäristötekniikka.

Korhonen, Esko 2011. Puhtauspalvelut ja työympäristö. Ostettujen siivouspalveluiden laadun mittaamenetelmät ja laatu sekä siivouksen vaikutukset sisäilman laatuun, tilojen käyttäjien kokemaan terveyteen ja työn tehokkuuteen toimistorakennuksissa. Väitöskirja. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, biological and environmental science.

Kouva, Matti. Mitä me hengitämme sisäilmassa. Genano. Saatavissa: <https://www.genano.com/fi/tietopankki/mita-me-hengitamme-sisailmassa>. Hakupäivä 19.2.2020.

Kuisma, Kristiina 2019. Tavalliset kotityöt synnyttävät paljon ilmansaasteita, kertoo tutkimus – Paahtoleivän valmistus tuotti niin paljon hiukkasia, että mittalaitteet piti säätää uudestaan. Tekniikan maailma. Saatavissa: <https://urly.fi/1upQ>. Hakupäivä 6.3.2020.

Kuntien sisäilmaverkosto. 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Julkaisut/Hyva-sisailma-suositukset> Hakupäivä 29.4.2020.

Mikrobit. 2020. Hengitysliitto. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/kosteus-ja-homevauriot/nain-homevaurio-synty/mikrobit>. Hakupäivä 6.3.2020.

Mikä kaupunki-ilmassa mättää? 2014. Terveyskirjasto. Saatavissa: https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=asy00401. Hakupäivä 6.3.2020.

Niemelä, Juhani 2017. Paine-eron vaikutus sisäilman hiukkaspitoisuuteen. Opinnäytetyö. Vaasa: Vaasan ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma.

Nygård, Juha 2013. Sisä- ja ulkoilman hiukkasista ja niiden mittaamisesta. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, Laboratorioalan koulutusohjelma.

Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. 2019. FINVAC ry. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys. Hakupäivä 29.4.2020.

Ostajan opas: pölynimurit. 2015. Kuluttaja. Saatavissa: <https://kuluttaja.fi/artikkelit/ostajan-opas-pölynimurit/>. Hakupäivä 28.4.2020.

Perustietoa. 2008. Sisäilmayhdistys. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Perustietoa>. Hakupäivä 28.4.2020.

Pienhiukkasten terveysvaikutuksia ja kustannuksia ei huomioida riittävästi – Julkaistavissa 9.10.2015. 2015. Sttinfo. Saatavissa: <https://www.sttinfo.fi/tiedote/pienhiukkasten-terveysvaikutuksia-ja-kustannuksia-ei-huomioida-riittavasti--julkaitavissa-9102015?publisherId=1512&releaseId=34647294>. Hakupäivä 2.10.2020.

Pietilä, Keijo 2012. Hiukkaspitoisuuden määrittäminen savukaasuista ISO 23210 mukaisesti. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Energiatekniikan koulutusohjelma.

6.6 Poistoilman puhdistus. 2004. Virtual.vtt. Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/kpl_6_6.htm. Hakupäivä 20.10.2021

Polttoperäiset pienhiukkaset huonontavat sisäilmaa – polta puuta ja kynttilöitä harkiten. 2019. Sisäilmauutiset. Saatavissa: <https://www.sisailmauutiset.fi/uutiset/polttoperaiset-pienhiukkaset-huonontavat-sisailmaa-polta-puuta-ja-kynttiloita-harkiten/>. Hakupäivä 16.1.2020.

Pulkkinen, Juha 2012. Hiukkasmittauksien vertaus (PM10 ja PM2,5) Jyväskylän keskustassa vuosina 2010-2011. Opinnäytetyö. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu, YAMK kestävä kehitys.

Puunpoltto. 2019. Thl.fi. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilman-saasteet/puunpoltto>. Hakupäivä 28.4.2020.

Pölynimurit. 2020. Hengityслиitto. Saatavissa: <https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/pölynimurit>. Hakupäivä 28.4.2020.

Rakennuksen sisäilmasto. 2020. Ymparisto.fi. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_terveellisyys_ja_esteettomyys/Rakennuksen_terveellisyys/Rakennuksen_sisailmasto. Hakupäivä 28.4.2020.

RT 07-11299. 2018. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortitot-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortit/RT%2007-11299>. (vaatii käyttäjätunnustensa). Hakupäivä 29.4.2020.

Siivous ja sisäympäristö. Ympäristöosaava. Saatavissa: <https://www.ymparistosaava.fi/puhdistuspalveluala/index.php?k=22510>. Hakupäivä 28.4.2020.

Sisäilman hiukkaset ja kuidut. 2016. Valvira. Saatavissa: https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/hiukkaset_ja_kuidut. Hakupäivä 6.3.2020.

Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2019. Talotekniikkainfo. Saatavissa: <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/12-ss-ilman-suodatus>. Hakupäivä 28.4.2020.

Suomen hiukkaspäästöt. 2019. Ymparisto.fi. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilman_epapuhtauudet/Suomen_hiukkaspaaastot\(28647\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilman_epapuhtauudet/Suomen_hiukkaspaaastot(28647)). Hakupäivä 28.4.2020.

Tautitaakka. 2019. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos - THL. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/riskinarvio/tautitaakka>. Hakupäivä 15.11.2019.

Tuomisto, Jouko 2014. Voiko ilma palaa? Terveyskirjasto. Saatavissa: https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=asy00403. Hakupäivä 28.4.2020.

Trotec. Saatavissa: <https://fi.trotec.com/>. Hakupäivä 28.4.2020.

Kansallinen ilmansuojeluohjelma 2030. 2019. Ympäristöministeriö. Saatavissa:
<http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161467/Kansallinen%20ilmansuojeluohjelma%202030.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Haku-
päivä 28.4.2020.

