



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juhani Niemelä

PAINE-ERON VAIKUTUS SISÄILMAN
HIUKKASPITOISUUTEEN

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Juhani Niemelä
Opinnäytetyön nimi	Paine-eron vaikutus sisäilman hiukkaspitoisuuteen
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	52
Ohjaaja	Mika Korpi

Tämä opinnäytetyö on tehty JW-Inspect Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää asuintilojen alipaineen suuruuden merkitys sisäilman hiukkaspitoisuuteen.

Ihmiset viettävät noin 90% elämästään sisätiloissa. Sisäilmaongelmat ja sisäilman laatu ovat nykyään laajasti esillä sekä rakennusalan ammattilaisten, että kaiken kansan keskuudessa. Sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä on useita, joista yleisimpiä ovat erilaiset home- ja kosteusvauriot, ulkoilmasta ja rakennusmateriaaleista peräisin olevat eri kokoiset hiukkaset sekä erilaiset haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Erityisen haitallisia ihmisen terveydelle ovat alle 2,5 µm kokoiset pienhiukkaset, sillä keuhkoihin kulkeuduttuaan ne eivät poistu sieltä yhtä helposti kuin kooltaan suuremmat hiukkaset.

Tämän opinnäytetyön tekemisessä kiinnitettiin huomiota erityisesti sisäilman laatua heikentäviin hiukkasiin ja teollisiin kuituihin. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, kasvaako sisäilman hiukkaspitoisuus samassa suhteessa tilan alipaineen kasvaessa. Työssä keskityttiin mittaamaan rakennuksen ulkovaipassa olevan vuotokohdan läpi kulkeutuvia hiukkasia sekä lämmöneristeenä käytetystä mineraalivillasta irtoavia kuituja.

Hiukkaspitoisuuksien mittaamisessa ilmeni, että sisätilojen alipaineen kasvaessa lievästi suositeltua suuremmaksi, myös erityisesti pienhiukkasten määrä sisäilmassa kasvaa merkittävästi. Alipaineen kasvaessa erityisen suureksi myös suurempien hiukkasten ja mineraalivillasta irtoavien teollisten kuitujen määrä sisäilmassa alkaa kasvaa. Tämä hiukkasten määrän kasvaminen hengitettävässä sisäilmassa voidaan ehkäistä tekemällä rakennuksen ulkovaippa mahdollisimman tiiviiksi, jolloin paine-eron vaikutuksesta hiukkaset eivät pääse virtaamaan vaipan vuotokohdista sisätiloihin.

ABSTRACT

Author	Juhani Niemelä
Title	The Effect of Pressure Difference on Particle Concentration Indoors
Year	2017
Language	Finnish
Pages	52
Name of Supervisor	Mika Korpi

This thesis was made for JW-Inspect Oy. The aim of this thesis was to examine what effect the pressure difference has on particle concentration indoors.

The purpose of this thesis was to find out if the negative pressure indoors has an effect on the quantity of particles and artificial fibers in indoor air that we breathe. The work focused especially on measuring the amount of mineral wool fibers and particles originating from outdoor air.

When measuring particle concentrations in different pressure circumstances it became apparent that especially the quantity of small particles in indoor air increases notably when the negative pressure rises slightly above the guideline values. When the negative pressure rises even higher also the number of bigger particles and the fibers separating from mineral wool insulation increases.

The increase in particle concentration can be prevented by sealing the lateral surface of the building carefully. That way the outdoor air is prevented from coming indoors uncontrollably and can be filtered only through the air ventilation systems.

Keywords Indoor air, pressure difference, particle concentration

KÄSITTEET

Ppm	Parts per million. On prosentin ja promillen kaltainen yksikkö. Se ilmoittaa, kuinka monta miljoonasosaa esimerkiksi hiilidioksidia on hengitettävästä ilmasta. $1\ 000\ \text{ppm} = 1\ \text{‰}$, $10\ 000\ \text{ppm} = 1\ \text{‰}$. /7/
RH	Relative humidity, suhteellinen kosteus. Suhteellisella kosteudella RH tarkoitetaan ilmassa olevan kosteusmäärän suhdetta siihen määrään kosteutta, mitä ilmaan mahtuu, eli kyllästyskosteuteen. RH ilmaistaan yleensä prosentteina. Esimerkiksi ilman lämpötilan ollessa $+ 20\ \text{°C}$, ilmaan mahtuu vesihöyryä $17,28\ \text{g/m}^3$. Kun ilmassa on tällöin kosteutta esimerkiksi $13,8\ \text{g/m}^3$, on RH 80%. /14/
N	Newton. On SI-järjestelmän voiman yksikkö. Newton on johdannaisyksikkö, jonka määritelmä perustuu perusyksikköjen kilogramma, metri ja sekunti määritelmiin. $1\ \text{kg} \approx 9,8\ \text{N}$. /7/
Pa	Pascal. On SI-järjestelmän paineen yksikkö. Sillä tarkoitetaan voimaa, jonka yksi newton aiheuttaa kohdistuessaan yhden neliömetrin pinta-alalle. Pascal on suhteellisen pieni paineen yksikkö, joten sen ohella paineen yksikkönä käytetään myös baaria. $1\ \text{bar} = 100\ 000\ \text{Pa}$. /7/
Bq	Becquerel. On SI-järjestelmän mukainen yksikkö, jolla mitataan radioaktiivisen aineen aktiivisuutta. Aineen aktiivisuus on 1 Bq, kun ainemäärässä hajoaa keskimäärin yksi atomi sekunnissa. /7/
μm	Mikrometri. Metrin miljoonasosa eli millin tuhannesosa. $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}$. /7/

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

1	JOHDANTO.....	9
1.1	Tilaajan esittely.....	9
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet.....	9
2	SISÄILMASTO.....	11
2.1	Sisäilmasto yleisesti.....	11
2.2	Sisäilmastoluokitus.....	11
2.3	Rakentamislait ja -ohjeet.....	12
3	SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET.....	14
3.1	Ihmisperäiset epäpuhtaudet.....	14
3.2	Mikrobit.....	15
3.3	Hiukkaset, pölyt ja kuidut.....	16
3.4	Radon.....	17
4	RAKENNUKSEN PAINESUHTEET JA ILMATIIVEYS.....	19
4.1	Painesuhteet.....	19
4.1.1	Savupiippuvaikutus.....	20
4.1.2	Tuuli.....	20
4.2	Rakennuksen ilmatiiveys.....	21
5	ILMANVAIHTO.....	23
5.1	Yleistä ilmanvaihdesta.....	23
5.2	Ilmanvaihtotyypit.....	24
5.2.1	Painovoimainen ilmanvaihto.....	24
5.2.2	Koneellinen poistoilmanvaihto.....	25
5.2.3	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.....	26
6	KÄYTÄNNÖN TUTKIMUKSET.....	28
6.1	Tutkimusten tavoitteet.....	28
6.2	Testien toteuttaminen.....	28

6.3	Testiseinä	29
6.4	Testilaatikot.....	31
6.5	Lopullinen mittaustapa.....	32
7	MITTAUSLAITTEISTO	34
7.1	Paine-eron ja ilman virtausnopeuden mittaus	34
7.2	Hiukkasmäärän mittaus.....	35
7.2.1	Trotec PC220	36
8	TULOKSET	39
8.1	Mittaustulokset uudella villalla.....	39
8.1.1	Päätelmät mittauksista.....	43
8.2	Mittaustulokset vanhalla villalla	43
8.2.1	Päätelmät mittauksista.....	48
9	YHTEENVETO	49
	LÄHDELUETTELO.....	51

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Pienhiukkasten lähteet ja niiden terveysvaikutukset.	16
Kuvio 2. Painejakauma lämpötilaerojen vaikutuksesta.	19
Kuvio 3. Havainnekuva painovoimaisesta ilmanvaihdesta.	25
Kuvio 4. Havainnekuva koneellisesta poistoilmanvaihdesta.	26
Kuvio 5. Havainnekuva koneellisesta tulo- ja poistoilmanvaihdesta.	27
Kuvio 6. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 0,3-0,5 µm.	40
Kuvio 7. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 0,5-1,0 µm	40
Kuvio 8. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 1,0-2,5 µm	41
Kuvio 9. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 2,5-5,0 µm.	41
Kuvio 10. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 5,0-10,0 µm.	42
Kuvio 11. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa > 10 µm.	42
Kuvio 12. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 0,3-0,5 µm.	45
Kuvio 13. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 0,5-1,0 µm.	45
Kuvio 14. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 1,0-2,5 µm.	46
Kuvio 15. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 2,5-5,0 µm.	46
Kuvio 16. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 5,0-10,0 µm.	47
Kuvio 17. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa > 10 µm.	47
Taulukko 1. Huonelämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokissa S1, S2 ja S3.	12
Taulukko 2. Rakennuksen sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksien ohjearvoja.	13
Taulukko 3. Mittaustulokset uudella villalla.	39
Taulukko 4. Mittaustulokset vanhalla villalla.	44

Kuva 1. Testiseinä.	30
Kuva 2. Seinään kiinnitetyn alipainelaatikon läpivientejä ja tiivistyksiä.	31
Kuva 3. Lopullisen tutkimustavan yleisjärjestelyt.	33
Kuva 4. TSI:n Velocicalc Plus 9555 -mittari.	35
Kuva 5. Trotec PC220 -mittari.	37
Kuva 6. Mittausjärjestelyt yleiskuvana.	38

1 JOHDANTO

1.1 Tilaajan esittely

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi kokkolalainen rakennetun ympäristön asiantuntijayritys JW-Inspect Oy Ab. Yritys tarjoaa tutkimus- ja konsultointipalveluita kiinteistöjen monimuotoisiin ongelmiin liittyen. Yrityksen palveluihin kuuluu mm. materiaalien ja rakenteiden kosteusmittaukset, lämpökamerakuvaukset, rakennetähystykset, mikrobinäytteiden otto sekä ilmavaihtolaitteistojen kuntoarviot ja puhtaustarkistukset. JW-Inspect Oy Ab tarjosi tilat sekä laitteistot ja materiaalit tämän opinnäytetyön tekemiseen.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, kuinka asuinrakennuksen alipaineistaminen vaikuttaa hengitettävän sisäilman hiukkaspitoisuuteen.

Koska asuinrakennusten ilmanvaihto tehdään nykysuositusten mukaisesti lievästi alipaineiseksi, on rakennuksen vaipassa olevan ilman- ja kosteussulun oltava ehdottoman tiivis, eikä vuotokohtia tulisi olla. Ilman- ja kosteussulkuna käytetään uusissa asuinrakennuksissa lähes aina muovia. Esimerkiksi seinärakenteessa muovi sijoitetaan yleensä mahdollisimman lähelle lämmintä sisäpintaa, jolloin saadaan minimoitua riski kosteuden kondensoitumiselle muovin kumpaankaan pintaan. Muovin täytyy olla ehdottoman tiivis ja kaikki muoviin tehtävät reiät ja läpiviennit tulee tiivistää mahdollisimman hyvin.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan seinän ilmansulkuna toimivassa muovissa olevan reiän kautta hengitettävään sisäilmaan tulevien hiukkasten määrää. Tilanne, jossa muovissa on reikä, voi olla esimerkiksi huonosti tiivistetty pistorasian läpivienti, jonka kautta seinärakenteen yli muodostuvien paine-erojen vaikutuksesta sisäilmaan pääsee ulkoilmasta hiukkasia ja mahdollisesti seinärakenteessa käytetystä mineraalivillaeristeestä irtoavia teollisia kuituja.

Opinnäytetyössä on tutkittu erityisesti 1970 – 1990 -luvulla rakennetuille puurunkoisille pientaloille tyypillistä tilannetta, jossa kosteussulkuna toimiva muovi

on rikottu tekemällä siihen reikä pistorasiaa varten. Usein muoviin tehtyä reikää ei ole tiivistetty kunnolla, jos ollenkaan, ja reiän kautta kulkeutuu epäpuhtauksia hengitettävään sisäilmaan.

2 SISÄILMASTO

2.1 Sisäilmasto yleisesti

Ihminen oleskelee noin 90 % elämästään sisätiloissa. Tästä syystä hyvä sisäilman laatu on ihmisen terveyden kannalta ratkaisevassa roolissa eikä sen merkitystä ihmisen hyvinvoinnille tulisi missään tilanteessa väheksyä. Sisäilmasto koostuu huoneessa vaikuttavien tekijöiden kuten kemiallisten ja fysikaalisten olosuhteiden kokonaisuudesta. Sisäilmaston tärkeimmät tekijät ovat lämpöolosuhteet, sekä ilman laatutekijät kuten epäpuhtaudet, pölyt ja kosteus. /6/

Yksi rakentamisen keskeisistä tavoitteista on terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. Sisäilmaston laatua kuvaavia mittareita ovat tilojen lämpöolot, ilma-virtaukset, sisäilman kosteus ja epäpuhtaudet. Hyvän sisäilmaston mittarina voidaan yleisesti käyttää sääntöä, että hyvä sisäilma ei aiheuta tilassa oleville ihmisillä ärsytys- tai allergisia oireita. /10/

2.2 Sisäilmastoluokitus

Sisäilmastoluokitus on kolmitasoinen menetelmä, jonka avulla rakennusten sisäilmasto jaotellaan laatuluokkiin S1, S2 ja S3. Näistä luokista luokka S1 on paras ja S3 heikoin. Sisäilmastoluokituksen tavoitearvot on pyritty kuitenkin asettamaan sillä tavalla, että luokka S3 täyttää maankäyttö- ja rakennuslain (RT YMI-21357) sekä terveydensuojelulain 309/2006 (RT STM-21319) vaatimukset. S3-luokituksen vaatimusten täytyessä ei terveelle henkilölle aiheudu terveyshaittaa, mikäli rakennuksen ilmanvaihto toimii suunnitellulla tavalla eikä erityisiä epäpuhtauden lähteitä ole. /9/

Sisäilmastoluokka S1:llä tarkoitetaan yksilöllistä sisäilmastoa. Tällöin tilan sisäilman laadun tulee olla erittäin hyvä eikä tilassa saa olla havaittavissa hajuja. Myös tilojen lämpöolot ovat viihtyisät eikä tiloissa ole tunnettavissa vetoa tai ajoittaista yllämpenemistä. Luokassa S1 käyttäjällä on myös mahdollisuus hallita yksilöllisesti tilan lämpötilaoloja. Tilojen käyttötarkoituksesta riippuen tiloissa on hyvät ääni- sekä valaistusolosuhteet. /9/

Sisäilmastoluokka S2:lla tarkoitetaan hyvää sisäilmastoa. Luokan S2 tilassa sisäilman laatu on hyvä eikä tilassa ole häiritseviä hajuja. Ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä ei saa olla kyseisen tilan lisäksi myöskään samaan sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa. Lämpöolojen tulee olla hyvät eikä vedon tunnetta saa juurikaan esiintyä. Tilat saattavat kuitenkin ylilämpetä satunnaisesti lämpiminä kesäpäivinä. Ääni- ja valaistusolosuhteet ovat hyvät ja tilojen käyttötarkoituksen mukaiset. /9/

Sisäilmastoluokka S3:lla tarkoitetaan tyydyttävää sisäilmastoa. Luokan S3 tila täyttää sisäilman laadultaan, lämpöoloiltaan sekä valaistus- ja ääniolosuhteiltaan rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. /9/

Taulukko 1. Huonelämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokissa S1, S2 ja S3. /9/

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			
$t_u \leq 10$ °C	21,5*	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)^*$	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	24,5*	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $23 + 0,4 \times (t_u - 10)$ $t_u > 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u > 15$ °C: $t_{umax} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	–
• asunnot	90 %	80 %	–

* S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.

2.3 Rakentamislait ja -ohjeet

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 määrätään rakennuksen sisäilman laadusta seuraavasti:

*”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikro-
beja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja.” /11/*

Sisäilman laatua suunniteltaessa on rakentamismääräyskokoelman osassa D2 määritelty sisäilman epäpuhtauksille pitoisuusarvoja, jotka esitetään alla olevassa taulukossa. Suunnittelun ohjearvot koskevat rakennusta, joka on ollut käytössä kuusi kuukautta ja sen ilmanvaihto on ollut käynnissä yhtäjaksoisesti käyttöajan ilmanvaihdon ilmavirralla. /11/

Taulukko 2. Rakennuksen sisäilmaston suunnittelemisessa ja toteuttamisessa käytettyjä sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksien ohjearvoja. /11/

Epäpuhtaus	Yksikkö	Suunnittelun ohjearvo Pitoisuus enintään
Ammoniakki ja amiinit	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	20
Asbesti	kuitua/ cm^3	0
Formaldehydi	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Hiilimonoksidi	mg/m^3	8
Hiukkaset PM_{10}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Radon	Bq/m^3	200 (vuosikeskiarvo)
Styreeni	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1

3 SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET

Tässä luvussa käydään läpi tyypillisiä sisäilman epäpuhtauksia. Hengittämässämme ilmassa on monenlaisia epäpuhtauksia ja epäpuhtauksilla useita eri lähteitä. Kaikilla epäpuhtauksilla on se yhdistävä tekijä, että ne ovat ihmisille hengitettynä epäterveellisiä ja aiheuttavat eriasteisia oireita ihoärsytyksestä vakaviin sairauksiin kuten keuhkosityöpiin.

Pahimmat allergiaa aiheuttavat sisäilman epäpuhtaudet ovat hengitysilman valkuaispitoiset pölyt, esimerkiksi siitepölyt, itiöt, mikrobien osat sekä eläinpöly. /1/

3.1 Ihmisperäiset epäpuhtaudet

Ihmisperäisistä epäpuhtauksista merkittävin on aineenvaihdunnan lopputuotteena, eli uloshengityksessä muodostuva hiilidioksidi. Mikäli hiilidioksidipitoisuus hengitettävässä ilmassa on korkea, hengittäminen vaikeutuu. Korkea hiilidioksidipitoisuus saattaa aiheuttaa esimerkiksi väsymystä, päänsärkyä ja tunkkaisuuden tunnetta hengitettävässä ilmassa. Hiilidioksidi onkin yksi harvoista sisäilmassa olevista epäpuhtauksista, joita varten on Suomessa tehty viranomaispäätös. Viranomaispäätöksen mukaan tyydyttävänä sisäilman tasona pidetään pitoisuutta, joka on alle 1500 ppm. /1/

Sisäilmastoluokituksille S1, S2 ja S3 on asetettu hiilidioksidipitoisuudelle enimmäisarvot. Hiilidioksidipitoisuuden enimmäisarvot kolmessa sisäilmastoluokituksessa ovat:

- Sisäilmastoluokka S1: 700 ppm
- Sisäilmastoluokka S2: 900 ppm
- Sisäilmastoluokka S3: 1200 ppm

Luonnossa ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on noin 400 ppm, kaupunkialueilla hieman korkeampi. /1/, /2/

Muita ihmisperäisiä epäpuhtauksia ovat esimerkiksi metaani ja aldehydit. Myös tupakansavu lasketaan ihmisen toiminnoista aiheutuvaksi epäpuhtaudeksi, sillä

tupakansavun häkä ja syöpää aiheuttavat yhdisteet muodostavat vakavan terveysriskin tupakansavuisessa tilassa olevalle. /2/

3.2 Mikrobit

Ihmisen terveyden kannalta merkittävimmät sisäilman mikrobit ovat bakteerit, sädesienet ja sienet eli homeet. Mikrobeilla on kyky sopeutua erilaisiin olosuhteisiin, mistä johtuen niitä esiintyy lähes kaikkialla. Bakteerit ovat kooltaan sieniä pienempiä. Homeet ovat rihmasieniä, jotka kasvavat materiaalin pinnassa. Tästä johtuen homeiden kasvu ei vaikuta materiaalin lujuusominaisuuksiin. Lahottajasienet taasen käyttävät esimerkiksi puuta ravintonaan, jolloin ne myös samalla heikentävät puun lujuusominaisuuksia. Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen sopivat kasvuolosuhteet. Sopiviin kasvuolosuhteisiin kuuluu lämpötila, kosteus ja kasvu-alue, josta mikrobit saavat ravintoa. Materiaalin kosteusolosuhteet vaikuttavat kaikkein eniten mikrobikasvuston alkamiseen. /2/

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen suotuisat lämpötilaolosuhteet, mutta kaikkia mikrobilajeja yhdistävä tekijä on, etteivät ne kasva, jos lämpötila laskee alle $+0\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteen. Mikrobit voivat kuitenkin selviytyä elinkykyisinä myös pakkasessa, jolloin lämpötilan noustessa $+0\text{ }^{\circ}\text{C}$:n yläpuolelle kasvu jälleen käynnistyy. Useimmat homesienet kasvavat lämpötilan ollessa $+5\text{...}35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Optimilämpötila homekasvulle on $+20\text{...}25\text{ }^{\circ}\text{C}$. /2/

Täysin kuivassa ympäristössä mikrobit eivät pysty kasvamaan, mutta itiöt säilyvät kuitenkin elinkykyisinä. Ilman suhteellisen kosteuden eli RH:n ollessa alle 30 %, mikrobit eivät kasva, kun taas RH:n ollessa yli 70 %, mikrobikasvulle on olemassa hyvät kosteusolosuhteet. Ihanteelliset kosteusolosuhteet kasvua varten vaihtelevat mikrobilajeittain. Esimerkiksi homesienet voivat kasvaa jo RH:n ylittäessä 65 %, kun taas bakteerit sekä sinistäjä- ja lahottajasienet vaativat kasvaakseen suhteelliseksi kosteudeksi yli 95 %. /2/

Lähes kaikki eloperäinen materiaali soveltuu mikrobeille ravinnoksi. Useat mikrobit voivat käyttää ravintonaan jopa tavallista huonepölyä. Myös puu, kipsilevy-

jen pinnassa käytetty pahvi, tapetti sekä betonin tai tiilen päälle kerääntynyt lika ja pöly sopivat useimmille mikrobilajikkeille ravinnoksi. /2/

3.3 Hiukkaset, pölyt ja kuidut

Sisäilmassa voi esiintyä monia erilaisia hiukkasia, pölyjä ja kuituja haitallisissa määrin. Hiukkasia on olemassa myös eri kokoisia. Hengitysilmalle turvallista hiukkaspitoisuuden alarajaa ei ole pystytty määrittämään, sillä hiukkaset ovat keskenään niin erilaisia. Kaikille hiukkasille yhteistä on, että ne voivat hengitettynä aiheuttaa tai pahentaa astmaa ja muita hengityssairauksia.

Karkeat hengitettävät hiukkaset ovat kooltaan $< 10 \mu\text{m}$ ja suurin osa niistä on peräisin liikenteen aiheuttamasta katupölystä, mutta osa on peräisin myös luonnosta. Karkeat hengitettävät hiukkaset tunkeutuvat hengitettäessä keuhkoputkiin asti ja aiheuttavat terveyshaittoja kuten silmien ja hengitysteiden ärsytystä. Hiukkaset kuitenkin poistuvat elimistöstä esimerkiksi yskimällä. /3/

Pienhiukkaset ovat kooltaan alle $2,5 \mu\text{m}$ ja pääsevät pienen kokonsa vuoksi tunkeutumaan jopa keuhkorakkuloihin saakka. Noin puolet kaikista pienhiukkasista on peräisin polttoprosesseista, kuten energiantuotannosta, puun poltosta sekä liikenteestä. /3/



Kuvio 1. Pienhiukkasten lähteet ja niiden terveysvaikutukset. /13/

Sisäilma ja huonepöly sisältävät orgaanisia ja epäorgaanisia hiukkasia. Epäorgaanisia kuitumaisia hiukkasia ovat esimerkiksi mineraalivillasta peräisin olevat kuidut, asbesti sekä betoni- ja kipsipöly, kun taas orgaanisia hiukkasia ovat esimerkiksi bakteerit ja homeista peräisin olevat itiöt. Esimerkiksi betonipöly on hyvin limakalvoja ärsyttävää korkean alkalisuutensa takia. Betonipöly sisältää myös kvartssia, joka pitkäaikaisessa altistuksessa lisää keuhkosairauksien riskiä. Mineraalivillakuidut taasen voivat olla peräisin esimerkiksi akustointilevyistä, ilman-suodattimista tai rakenteissa lämmön-, palon- tai ääneneristeenä käytetystä mineraalivillasta. Mitä kauemmin materiaali on ikääntynyt ja haurastunut, sitä enemmän siitä irtoaa kuituja ilmaan. Mineraalivillakuidut ovat halkaisijaltaan noin 3 – 8 µm ja ne voivat aiheuttaa ihon ja limakalvojen ärsytystä. Lämmöneristeenä käytetyistä mineraalivilloista irtoaa myös > 10 µm kokoisia kuituja, mutta niiden haitat ihmiselle ovat vähäiset verrattuna pienempään hiukkaskokoon. /1/

Nykytietämyksen mukaan yksi vaarallisimpana pidetyistä hengitysilma-esiintyvistä hiukkasista on asbesti. Asbestia on käytetty rakentamisessa laajasti aina 1970-luvulle saakka, kunnes vuonna 1988 asbestityöt säädettiin luvanvaraiseksi ja vuonna 1994 asbestin käyttö rakentamisessa kiellettiin kokonaan. Asbestilain mukaan kaikissa ennen vuotta 1994 valmistuneissa rakennuksissa on tehtävä asbestikartoitus, mikäli rakennuksessa aiotaan tehdä korjaustöitä. Yleisimpiä asbestin käyttökohteita ovat olleet mm. palonsuojalevyt, putkieristeet, ilmanvaihtokanavat ja keraamisten laattojen kiinnityslaastit. /1/, /2/

3.4 Radon

Radon on tutkitusti keuhkosityöpää aiheuttava radioaktiivinen kaasu, joka syntyy uraanista useiden hajoamisten kautta. Hengityksen mukana keuhkoihin kulkeutuvat radonin hajoamistuotteet tarttuvat keuhkojen sisäpintaan ja keuhkojen radonista saama alfasäteily lisää riskiä sairastua keuhkosityöpään. Suomen noin 2000:sta vuosittaisesta keuhkosityöpätapauksesta noin 300 liittyy radonaltistumiseen. Sisäilmassa oleva radon onkin tunnetuista keuhkosityövän aiheuttajista toiseksi merkittävin tupakoinnin jälkeen. /5/

Suomen maaperän uraanipitoisuus on suurempi kuin koko muun maailman keskimäärin. Radonia esiintyy kaikkialla maaperän kiviaineksessa, mutta erityisen paljon Suomen moreenissa ja graniitissa. /6/ Eniten radonia esiintyy hyvin ilmaläpäisevillä sora- ja hiekkaharjuilla kuten Pispalanharjulla Tampereella sekä Lahden Salpausselän alueilla. Tällaisille harjuille perustetuissa taloissa radonpitoisuudet ovatkin huomattavasti suurempia kuin lähiympäristössä oleville muille maaloille perustetuissa taloissa. /5/

Rakennusten alla oleva maaperä on suurin radonin lähde ja radon voikin kulkeutua suojaamattomaan rakennukseen perustuksissa ja alapohjassa olevien rakojen kautta. Geologisista syistä johtuen Suomessa sisäilman radonpitoisuudet ovat korkeampia kuin monissa muissa maissa. Myös suomalainen rakennustekniikka ja Suomen ilmasto vaikuttavat sisäilman radonpitoisuuksiin. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön päätöksen mukaan asuintilojen radonpitoisuus ei saisi ylittää arvoa 400 Bq/m^3 . Uusi asuinrakennus tulee suunnitella niin, ettei radonpitoisuus ylitä arvoa 200 Bq/m^3 . Suomalaisen asunnon keskimääräinen radonpitoisuus on noin 96 Bq/m^3 . /5/

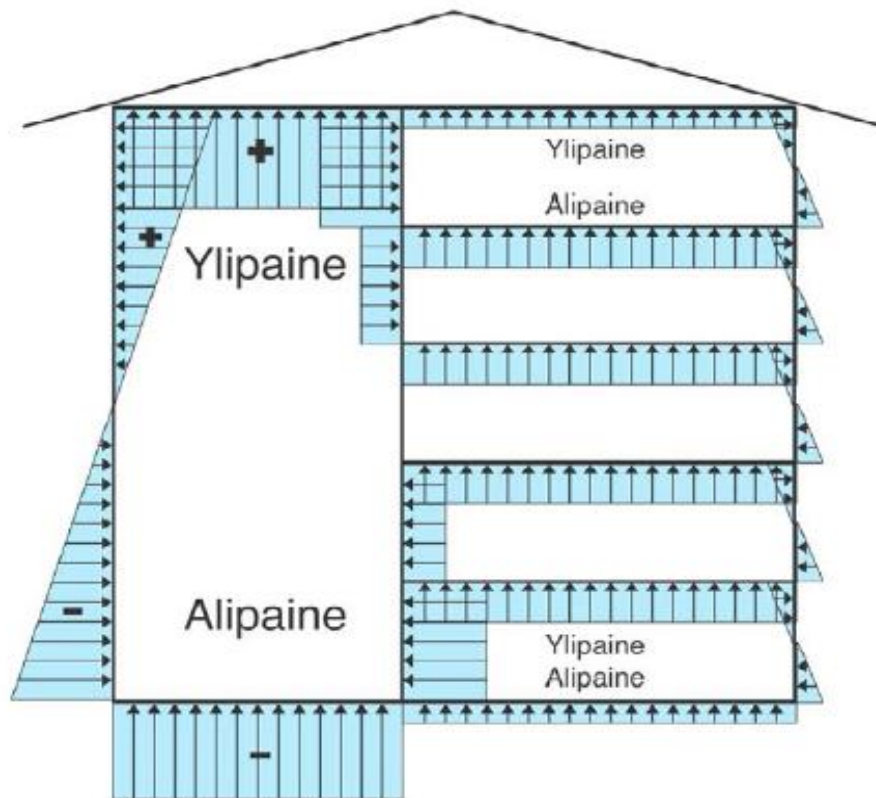
Nykyaikaisten talojen suunnittelussa ja rakentamisessa otetaan aina huomioon radonilta suojautuminen. Esimerkiksi alapohjan betonilaatan ja sokkelin väliin jää perinteisessä rakennustavassa rako, josta radon pääsee huonetilaan. Radonin torjunnan kannalta paras vaihtoehto onkin koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto ja radonturvallinen perustamistapa kuten tuulettuva alapohja. Rakennuksen perustuksiin voidaan asentaa myös radonputkistoja, joilla salaojakerroksen huokosilmaa tuulettamalla sisätiloihin virtaavan radonin määrää voidaan vähentää.

4 RAKENNUKSEN PAINESUHTEET JA ILMATIIVEYS

Tässä luvussa käydään läpi rakennuksen painesuhteet sekä niihin vaikuttavat tekijät. Lisäksi kerrotaan yleisesti rakennusten ilmatiiveydestä.

4.1 Painesuhteet

Rakennuksen painesuhteet määräytyvät monen asian yhteisvaikutuksesta. Nämä asiat ovat tilojen käytön lisäksi rakennuksen ilmanvaihto, savupiippuvaikutus, sekä tuuli. Painesuhteet vaihtelevat herkästi ja ne voivat muuttua hyvinkin nopeasti. Paine-eron vaikutuksesta esimerkiksi ilma virtaa huoneesta toiseen tai rakennuksen eri kerrosten välillä. Ilma saattaa virrata paine-eron vaikutuksesta myös ulkovaipparakenteiden läpi, mikä ei rakennetyypistä riippuen aina ole kovinkaan suotavaa. /1/



Kuvio 2. Painejakauma rakennuksen ulkovaipan yli lämpötilaerojen vaikutuksesta. /1/

4.1.1 Savupiippuvaikutus

Savupiippuvaikutukseksi kutsutaan ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttamaa paine-eroa. Paine-eron muodostuminen johtuu siitä, että lämmin ilma on kevyempää kuin kylmä ilma, joten se nousee ylöspäin. Näin ollen, mikäli rakennuksen sisäilma on ulkoilmaa lämpimämpää, rakennuksen alaosiin muodostuu ulkoilmaan verrattuna alipaine ja yläosiin ylipaine. Savupiippuvaikutuksen merkitys onkin suurin talvella, jolloin sisä- ja ulkolämpötilojen ero on suurimmillaan. Savupiippuvaikutuksen aiheuttama ylipaine rakennuksen yläosissa voi olla jopa niin suuri, että se kumoaa ilmanvaihdon aiheuttaman alipaineen. Mitä korkeammin rakennuksessa on vapaata ilmatilaa, sitä suuremmaksi savupiippuvaikutuksesta aiheutunut ylipaine muodostuu. /1/

4.1.2 Tuuli

Tuuli vaikuttaa merkittävästi rakennuksen painesuhteisiin. Tuulen aiheuttama paine riippuu rakennuksen muodosta ja mitoista sekä tuulen nopeudesta ja suunnasta. Suoraan puhaltamaansa pintaan tuuli aiheuttaa ylipainetta ja sivuseinille sekä suojan puolen seinälle alipainetta. Myös rakennuksen mahdollisten aukkojen sijainti ja koko vaikuttavat rakennuksen sisäpuoliseen paineeseen. Mikäli rakennuksessa on harjakatto, katon suojan puoleinen lape on alipaineinen. Myös tasakattoisessa rakennuksessa katto on alipaineinen. Rakennuksen vaippaan muodostuva paineja-kauma esitetään pinnan muotokertoimilla, joissa positiivinen muotokerroin tarkoittaa ylipainetta pinnalla ja negatiivinen muotokerroin alipainetta. /1/

Paine-eron aiheuttama ilmavirtaus siirtää mukanaan lämpöä, kosteutta ja epäpuhtauksia. Painesuhteiden perusteellisella selvittämisellä voidaankin arvioida paitsi ilmavirtauksien suuruutta ja suuntaa, myös siirtyvän kosteuden, lämmön ja epäpuhtauksien liikkumista ja vaikutusta sisäilman laatuun. Juuri kosteuden liikkumisen aiheuttaman rakenteiden vaurioitumisriskin takia Suomessa rakennettavat uudet asuinrakennukset suunnitellaan alipaineisiksi. Oleskelutilan alipaineisuudella varmistetaan siitä, että ilman virtaussuunta on ulkoa sisäänpäin, jolloin lämmin ja kostea sisäilma ei pääse vaurioittamaan ulkovaipan rakenteita. /1/

Rakennuksen painesuhteiden ja vaipan ilmatiiveyden tarkastelu liittyvät hyvin läheisesti toisiinsa, sillä ilmavirtausten suunta ja suuruus vaikuttavat merkittävästi epäpuhtauksien ja kosteuden kulkeutumiseen. Ulkoa sisäänpäin tulevat ilmavirtaukset voivat tuoda mukanaan epäpuhtauksia, mutta toisaalta sisältä ulospäin virtaava ilma voi kastella ja vaurioittaa rakenteita. Varsinkin talviaikaan rakenteiden läpi ulkoa sisäänpäin virtaava kylmä ja kuiva ilma kuivattaa rakenteita.

4.2 Rakennuksen ilmatiiveys

Rakennuksen tiiveydellä tarkoitetaan rakennuksen vaipan, eli ulkoseinien sekä ylä- ja alapohjan ilmanpitävyyttä. Kun rakennus on täydellisen tiivis, hallitsemattomat ilmanvuodot rakenteiden läpi on ehkäisty täysin. Rakennuksen vaipan tiiveydellä on merkittävä vaikutus sekä asumisviihtyvyyteen että energiankulutukseen, mutta myös asumisterveyteen. Ulkovaipan ollessa epätiivis, vaipan läpi tulevien ilmanvuotojen mukana kulkeutuu myös epäpuhtauksia kuten mikrobeja ja hiukkasia hengitettävään sisäilmaan. /4/

Rakennusten ilmatiiveyttä eli ulkovaipan ilmanpitävyyttä mitataan tiiveysmittauksilla. Tiiveysmittauksessa sisä- ja ulkotilan välille luodaan 50 Pa:n paine-ero ja mitataan tämän paine-eron ylläpitämiseen tarvittava ilmamäärä. Mitatun ilmamäärän avulla saadaan selville kuinka paljon ilmaa vuotaa rakenteiden läpi ja voidaan laskea ilmanvuotoluvut q_{50} ja n_{50} .

q_{50} -luvun avulla ilmoitetaan rakennuksen keskimääräinen vuotoilmavirta rakennuksen vaipan sisämittojen mukaan laskettuna. q_{50} -lukua mitattaessa rakennuksen sisään luodaan 50 Pa:n paine-ero ja mitataan, kuinka paljon sisäilmaa vaihtuu tunnin aikana suhteutettuna rakennuksen kokonaissisämittoihin. Rakennuksen vaipan pinta-alan laskennassa otetaan huomioon ulkoseinät kaikkine aukkoineen sekä ylä- ja alapohja. /15/

Ilmanvuotoluku q_{50} saa olla korkeintaan 4. q_{50} -luvun yksikkönä käytetään $m^3/(h \cdot m^2)$. Ilmanvuotoluku q_{50} saa ylittää arvon 4 vain, mikäli rakennuksen käyttötarkoitus vaatii rakenneratkaisuita, jotka huonontavat merkittävästi ulkovaipan ilmanpitävyyttä.

q_{50} -luku voidaan laskea kaavalla $q_{50} = Q_{50} / A$, jossa Q_{50} tarkoittaa painekokeella mitattua ilmavirtausta 50 Pa:n paine-erolla ja A rakennuksen tai mitattavan osan ulkovaipan alaa neliömetreinä. q_{50} -luku voidaan jakaa seuraaviin raja-arvoihin:

- > 4 : Sallittu ainoastaan poikkeuksellisissa rakenteellisissa ratkaisuisissa.
- ≤ 4 : Määräysten mukainen vähimmäisvaatimus kaikille uusille rakennuksille.
- 2: Laskennassa käytettävä vertailuarvo (määräysten mukainen rakennus).
- ≤ 1 : Määräysten mukainen suositusarvo. /15/

Ilmanvuotoluku n_{50} kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnin aikana 50 Pa:n ali- ja ylipaineessa. Näin ollen n_{50} -luvulle käytetään yksikköä 1/h, kertaa tunnissa. Mitä pienempi ilmanvuotoluku n_{50} on, sitä parempi rakennuksen ilmatiiveys. Ilmanvuotoluku n_{50} voidaan laskea kaavalla $n_{50} = Q_{50} / V$, jossa muuttuja V on rakennuksen/mitattavan osan sisätalavuus kuutiometreinä. Pientalon ilmanvuotolukujen raja-arvot ovat: /4/

- Erinomainen: $< 1,0$ 1/h
- Hyvä 1,0–3,0 1/h
- Keskimääräinen 3,0-5,0 1/h
- Heikko $> 5,0$ 1/h

Rakennuksen tiiviin ulkovaipan toteuttamisen kannalta vaikeimpia paikkoja ovat rakenteiden liitoskohdat, kuten ulkoseinän ja yläpohjan liitos sekä läpiviennit, kuten ilmanvaihtoputkien tai pistorasioiden paikat. Liitoskohtien ja läpivientien huolellinen tiivistäminen on ehdottoman tärkeää rakennuksen hyvän ilmatiiveyden saavuttamiseksi. Myös eri järjestelmien, kuten lämmitys-, automaatio- ja ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus ja yhteensopivuus rakennuksen vaipan kanssa ovat rakennuksen ilmanpitävyyden ja toimivuuden kannalta keskeisiä tekijöitä. /4/

5 ILMANVAIHTO

5.1 Yleistä ilmanvaihdosta

Ilmanvaihtojärjestelmän tehtävänä on huolehtia, että rakennuksessa on hyvä sisäilma. Ilmanvaihto huolehtii rakennukseen johdettavasta hengitettävästä raitisilmasta ja poistaa hiilidioksidipitoista jo käytettyä ilmaa ulos rakennuksesta. 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. Jokaisessa huoneessa tulee olla kuitenkin vähintään yksi ilmanvaihtoventtiili ilman vaihtuvuuden varmistamiseksi. Tilan käyttötarkoituksesta riippuu, onko ilmanvaihtoventtiili tulo- vai poistoilmaventtiili. Mikäli huoneessa on riittämätön ilmanvaihto, ilmankosteus ja hengitysilman epäpuhtauksien määrä saattavat nousta liian korkealle, jopa terveydelle haitalliselle tasolle. Ilman kulkeutumiseksi huoneesta toiseen, on varmistuttava siirtoilmareittien riittävydestä. Siirtoilmareitinä voi toimia esimerkiksi väliovien alle jätettävä noin kahden sentin rako tai oveen asennettava siirtoilmasäleikkö. /3/

Rakennuksessa tulee aina olla niin kutsuttu perusilmanvaihto, jonka tarkoituksena on pitää epäpuhtauksien ja kosteuden määrä tiloissa tarpeeksi alhaisella tasolla. Perusilmanvaihdoksi riittää usein 0,2 l/s neliometriä kohden, eli viidessä sekunnissa vaihdetaan yksi litra ilmaa yhden neliömetrin kokoiselta alalta. Asuinhuoneissa vähimmäisilmanvaihdon määrä on asetettu tasolle 0,5 m³/h kuutiometriä kohden, mikä tarkoittaa, että yksi kuutiometri ilmaa vaihdetaan kahden tunnin aikana. Poistoilmavirrat ja ilmanvaihdon tarve pyritään asettamaan mahdollisimman hyvin toisiaan vastaaviksi. 70 m²:n kokoisessa asunnossa poistoilmavirrat ja ilmanvaihdon tarve ovat yleensä tasapainossa silloin, kun poistoilmavaihto on toteutettu keittiöstä (20 l/s), WC:stä (10 l/s), kylpyhuoneesta (15 l/s) ja vaatehuoneesta (3 l/s). /6/

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (RakMK D2-2012) määrätään, että ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava siten, ettei se aiheuta vesi-, kosteus- tai muita vahinkoja. Rakennustekniikan kannalta ohje tarkoittaa sitä, että lämpimät sisätilat suunnitellaan lievästi alipaineiseksi. Koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa käytettäessä tavoitteellinen paine-ero ulkovaipan yli on 0...-2 Pa. /3/

5.2 Ilmanvaihtotyypit

Pientalon ilmanvaihto voi olla toteutettu joko painovoimaisesti tai koneellisesti. Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä voi olla joko koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä tai pelkästään koneellinen poistojärjestelmä.

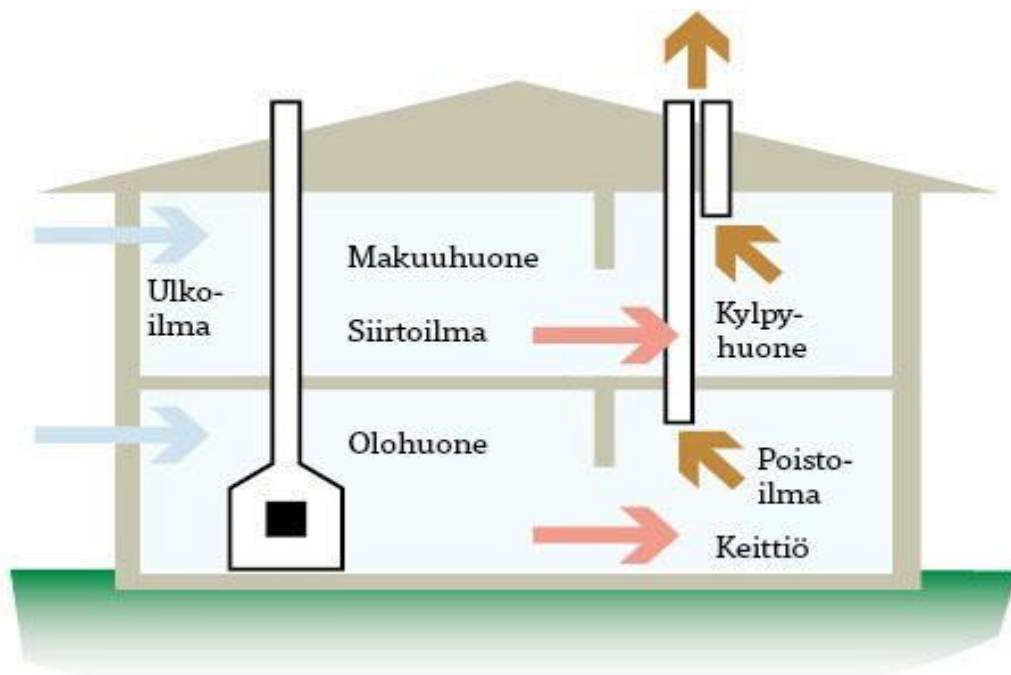
5.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto oli suomalaisissa pientaloissa yleisin ilmanvaihtojärjestelmä 1960-luvulle saakka, jolloin myös koneellisten järjestelmien rakentaminen alkoi yleistyä. /1/

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate perustuu ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamaan paine-eroon. Sääolosuhteiden vaihtelusta johtuen myös ilmavirtojen suuruus painovoimaisessa ilmanvaihdossa vaihtelee. Mitä suurempi lämpötilaero ulko- ja sisäilman välillä on, sen paremmin painovoimainen ilmanvaihto toimii. Näin ollen kesäaikaan, kun ulkoilman lämpötila on lähellä sisäilman lämpötilaa tai jopa sitä korkeampi, painovoimainen ilmanvaihto ei välttämättä toimi kunnolla. Painovoimaisen ilmanvaihdon toinen huono puoli verrattuna koneelliseen ilmanvaihtoon on sen korkea energiankulutus, sillä poistoilman lämpöenergiaa ei saada hyödynnettyä, vaan se poistuu rakennuksesta ulos. /3/

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa poistoilma johdetaan poistoventtiilien kautta vesikaton yläpuolelle. Tuloilma tuodaan huoneisiin korvausilmaventtiilien ja rakennuksen ulkovaipan rakojen kautta. Mikäli rakennuksen vaippa on täysin tiivis, kaikki tuloilma otetaan korvausilmaventtiilien kautta. Näin ollen ilma saadaan virtaamaan kaikkien asuintilojen läpi asentamalla korvausilmaventtiilit sellaisiin huoneisiin, joissa ei ole poistoilmaventtiiliä. Korvausilmaventtiilien tulee olla tarpeeksi suuret, jotta sisäilman vaihtuvuus pysyy riittävänä. Painovoimaisen il-

manvaihdon toimintaa voi myös tehostaa liesituulettimella. Rakennuksen tiivis vaippa ja liian pienet korvausilmaventtiilit johtavat herkästi riittämättömään ilmanvaihtoon, jolloin sisäilman kosteuspitoisuus ja epäpuhtaudet lisääntyvät. Tästä syystä painovoimaisen ilmanvaihdon mitoittaminen on selkeästi haastavampaa kuin koneellisen järjestelmän mitoitus. /6/



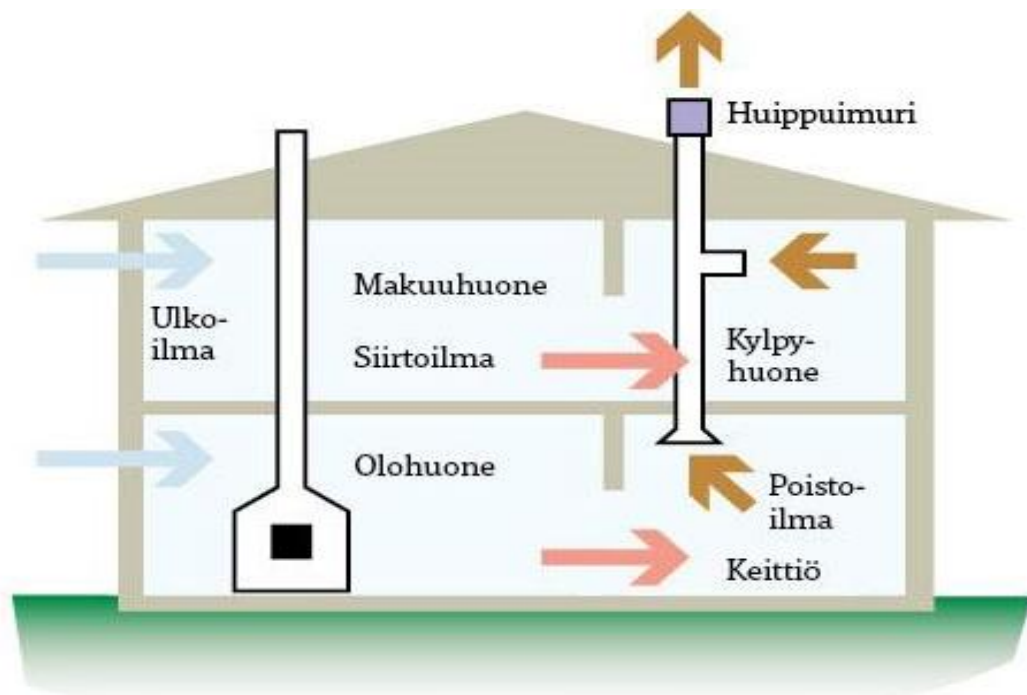
Kuvio 3. Havainnekuva painovoimaisesta ilmanvaihdosta. /12/

5.2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Poistoilman vaihtoa voidaan tehostaa koneellisesti. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa voidaan käyttää pienempiä poistoilmakanavia kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Poistiventtiilit sijoitetaan samoihin ns. likaisiin huoneisiin kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa, mutta huoneen sisällä kanavat voidaan sijoittaa hieman vapaammin. Pientalojen koneellinen poistoilmanvaihto on toteutettu yleensä kokoamalla kaikki poistoilma poistoilmapuhaltimeen tai huippumuriin, jonka avulla ilma johdetaan vesikaton yläpuolelle. Poistohormit viedään yleensä erillisinä ullakkotilaan saakka, jossa ne yhdistetään kokoojakammion välityksellä

puhaltimeen. Puhaltimen avulla ilmavirtaus venttiileissä saadaan halutulle tasolle eikä sääolosuhteet vaikuta ilman vaihtuvuuteen juuri ollenkaan. /6/

Myös koneellisessa poistoilmanvaihdossa korvausilma johdetaan huoneisiin ulkoseinään asennettujen venttiilien tai rakennuksen ulkovaipan rakojen kautta. Tästä johtuen korvausilmaventtiilien määrä ja koko tulee olla riittävä, jotta epäpuhdasta korvausilmaa imettäisiin sisätiloihin mahdollisimman vähän rakenteiden läpi. Koneellisen poiston järjestelmässä on sama heikkous kuin painovoimaisessa: korvausilman mukana sisäilmaan voi tulla epäpuhtauksia ja ilman tuonti sisään aiheuttaa helposti vedon tunnetta, koska ilmaa ei ole lämmitetty. Myöskään poistoilman lämpöenergiaa ei saada kierrätettyä. /6/



Kuvio 4. Havainnekuva koneellisesta poistoilmanvaihdosta. /12/

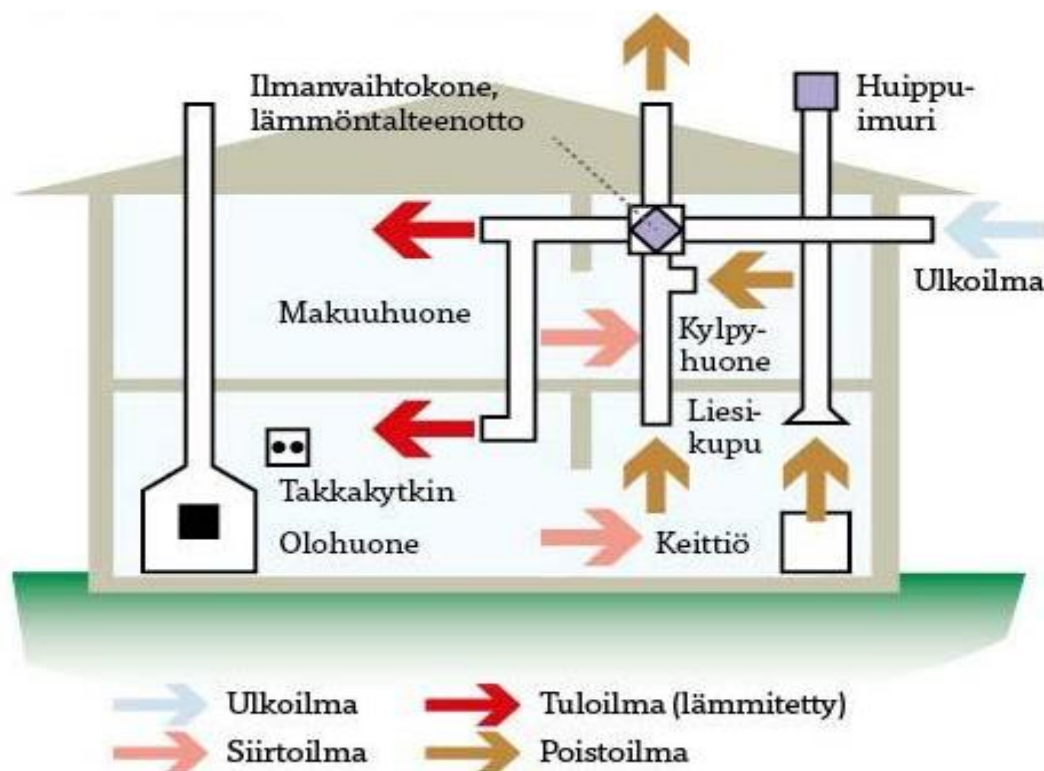
5.2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Kun tuloilma johdetaan sisätiloihin koneellisesti, rakennuksen vaippa voidaan tehdä täysin tiiviiksi. Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla jokaiseen huoneeseen voidaan toteuttaa haluttu ilmavirta ja ilmanvaihto. Ilmanvaihtoventtiilit sijoitetaan samalla tavalla kuin muissakin ilmanvaihtojärjestelmissä: tuloilma joh-

detaan olo- ja makuuhuoneisiin ja poistoilma johdetaan ulos likaisista huoneista kuten pesuhuoneesta, keittiöstä ja vaatehuoneesta. Tuloilma lämmitetään riittävän lämpimäksi ennen sen sisätiloihin tuomista esimerkiksi lämmöntalteenottolaitteella. /6/

Koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää käytettäessä ilmanvaihto voidaan säätää tarpeen mukaan sopivaksi. Ilmanvaihtoa voidaan pienentää silloin, kun asunto on tyhjiällä ja tehostaa, kun tilat ovat kovalla käytöllä. Myös huonekohtaista ilmanvaihtoa voidaan tehostaa tai pienentää venttiileitä säätämällä. Ilmanvaihtokone huolehtii ilman poistosta, korvausilman tuomisesta sisään sekä lämmöntalteenotosta. /6/

Koneellisen ilmapaihtojärjestelmän avulla rakennuksen paine-ero voidaan säätää hyvin tarkasti halutulle tasolle. Rakennus on ylipaineinen, jos sisään puhallus on suurempi kuin poisto ja alipaineinen poiston ollessa suurempi kuin sisään puhallus.



Kuvio 5. Havainnekuva koneellisesta tulo- ja poistoilmanvaihdosta. /12/

6 KÄYTÄNNÖN TUTKIMUKSET

Opinnäytetyössä tehtiin käytännön tutkimuksia ja mittauksia, jotta voitiin selvittää hiukkaspitoisuuksia eri alipainetilanteissa. Tässä luvussa kerrotaan millaisia testejä ja mittauksia tehtiin ja kuinka ne toteutettiin.

6.1 Tutkimusten tavoitteet

Tutkimusten tavoitteena oli testata, kuinka paljon hengitettävään huoneilmaan kulkeutuu hiukkasia ja ulkoseinän lämmöneristeenä käytetystä mineraalivillasta irtoavia kuituja seinärakenteen huonosti tiivistetyn pistorasian kautta. Pyrkimyksenä oli myös tutkia, vaikuttaako asuintilan alipaineistuksen lisääminen merkittävästi epäpuhtauksien määrään sisäilmassa.

Tutkimuksiin lähdettiin olettamuksella, että mitä suurempi alipaine asuintilassa vallitsee, sitä enemmän seinärakenteen läpi kulkeutuu epäpuhtauksia hengitettävään ilmaan.

6.2 Testien toteuttaminen

Kaikki käytännön työt, testaukset ja mittaukset suoritettiin JW-Inspect Oy:n hallitilassa Kokkolassa.

Testaamista varten rakennettiin testiseinä, jolla mallinnettiin mahdollisimman tarkasti tyypillistä 1970-1990 -luvun puurunkoisen pientalon ulkoseinää. Seinässä olevan pistorasian ympärille tehtiin täysin ilmatiivis laatikko, jonka alipaineistamisella mallinnettiin mahdollista alipainetta esimerkiksi asuintilassa. Laatikon alipaineistus toteutettiin laatikon ulkoseinään kiinnitetyllä kanavapuhaltimella. Kanavapuhaltimella imettiin ilma ja sen mukanaan kuljettamat hiukkaset ja kuidut letkun kautta toiseen ilmatiiviiseen testilaatikkoon, johon muodostui näin ollen ylipaine ympäröivään tilaan nähden.

Tutkimuksia tehtiin kahdella eristemateriaalilla. Toinen testattavista materiaaleista oli uusi, käyttämätön lasivillaeriste. Uuden eristeen käyttämisellä tutkimuksissa

haluttiin testata, kuinka paljon lasivillaeristeestä itsestään irtoaa ilman virtausten mukana hiukkasia ja eristekuituja huoneilmaan.

Toinen testattava eristemateriaali oli vanha, vuosikymmeniä ulkoseinän lämmöneristeenä toiminut mineraalivillaeriste. Vanha mineraalivillaeriste hankittiin Kokkolalaisen kerrostalon purkutyömaalta. Villa oli toiminut kyseisessä rakennuksessa ulkoseinän lämmöneristeenä 1950–1960 -luvulta lähtien. Vanhan eristeen tutkimisella voitiin mallintaa hyvin esimerkiksi omakotitalon ulkoseinässä kauan ollutta, likaa ja pölyä kerännyttä lämmöneristettä ja sitä, kuinka paljon sen läpi tuodaan ulkoilman ja muun ympäristön epäpuhtauksia hengitettävään ilmaan.

6.3 Testiseinä

Testaamista varten rakennettiin tyypillistä 1970–1990 -luvun puurunkoisen pientalon ulkoseinää vastaava testiseinä. Seinästä tehtiin yhden runkotolppavälin levyinen eli 600 mm leveä ja lämmöneriste

levyn korkuinen eli 1200 mm korkea. Runkotolpat ja alajuoksu tehtiin 100 * 50 mm puutavarasta, jonka kylkeen kiinnitettiin 50 * 50 mm korotusrimat, jolloin seinärakenteen paksuus saatiin tyypillistä 1900-luvun loppupuolen ulkoseinän paksuutta vastaavalle tasolle. Seinärakenteen lämmöneristeenä käytettiin vuorolleen aiemmassa kappaleessa mainittuja 150 mm paksuja eristelevyjä. Seinä jäykistettiin ulkopuolelta 12 mm paksulla tuulensuojalevyllä, joka ruuvattiin runkotolppiin kiinni, siten, että se voitiin irrottaa ja uudelleen kiinnittää helposti eristemateriaalin vaihtamista varten. Sisäverhouslevynä käytettiin yhtä 13 mm paksua kipsilevyä. Kipsilevyn ja lämmöneristeen väliin asennettiin kosteus- ja ilmansulkuna toimiva muovi.



Kuva 1. Testeissä käytetty puurunkoisen talon ulkoseinää mallintava testiseinä.
Kuva: Juhani Niemelä

Seinään tehtiin pistorasia-asennus tyypilliseen 1900-luvun loppupuolen tapaan. Runkotolppien väliin ruuvattiin kiinni lauta, johon kiinnitettiin koe- ja pistorasia. Rasian asennusta varten tehtiin myös lämmöneristeeseen ura, jotta eriste saatiin mahdollisimman tiiviisti seinärakenteen sisään ja ylimääräinen tyhjä ilmatila saatiin minimoitua. Pistorasialle tehtiin höyrynsulkumuoviin reikä, jota ei tiivistetty millään tavalla, vaan muovin nurkat käännettiin lämmöneristeeseen sisään. Myös kipsilevyyn tehtiin rasiaporalla koerasialle sopivan kokoinen reikä.

6.4 Testilaatikat

Tutkimuksissa käytettiin kahta polyuretaanilevystä tehtyä testilaatikkoa.

Ensimmäisessä vaiheessa pistorasian ympärille seinään rakennettiin 30 mm pak-
susta FF-PIR -polyuretaanilevystä ilmatiivis testikammio. Testikammion sisämitat
olivat 500*500*600 mm, jolloin kammion ilmatilavuudeksi tuli 0,15 m³. Seinää
vasten oleva laatikon reuna jätettiin auki ja laatikko liimattiin seinään kiinni.
Kaikki nurkat ja liitokset teipattiin ilmatiiviiksi kylmäkutisteteipillä. Pistorasiaa
vastapäiseen kammion seinään tehtiin halkaisijaltaan 100 mm kokoinen reikä
imuletkua varten. Imuletkun reikä pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman tarkasti
samalle korkeudelle pistorasian kanssa. Kammion seiniin tehtiin myös pienempiä
läpivientejä mittalaitteita varten.



Kuva 2. Seinään kiinnitetyn alipainelaatikon läpivientejä ja tiivistyksiä.

Kuva: Juhani Niemelä

Ensimmäisen vaiheen testit eivät kuitenkaan onnistuneet toivotulla tavalla, joten testilaatikko irrotettiin seinästä ja sen tilalle tehtiin pienempi, mutta muuten täysin identtinen laatikko. Uuden laatikon sisämitat olivat 200*200*250 mm, jolloin sen ilmatilavuudeksi saatiin 0,01 m³.

Tässä toisessa vaiheessa isommasta laatikosta tehtiin ylipainelaatikko, johon johdettiin seinän sisästä imettävä jäteilma. Tällöin seinästä tulevat epäpuhtaudet eivät päässeet huoneilmaan eivätkä näin ollen vaikuttaneet mitattuihin huoneen taustapitoisuuksiin. Seinään kiinnitetty pienempi laatikko toimi tällöin alipaineisena imukammiona.

6.5 Lopullinen mittaustapa

Villasta tulevia hiukkaspitoisuuksia pyrittiin mittaamaan useilla eri tavoilla, mutta lopulliseksi mittaustavaksi valikoitui mittaaminen seinään kiinnitetyn alipainelaatikon sisältä. Seinään kiinnitetty pienempi, 0,01 m³ kokoinen PIR-laatikko imettiin alipaineiseksi kanavapuhaltimella ja jäteilma johdettiin letkua pitkin suurempaan laatikkoon. Tällöin jäteilma ei päässyt leviämään huoneilmaan, eikä näin ollen vaikuttanut liikaa taustapitoisuuksien mittaustuloksiin.

Seinään kiinnitetyistä alipainelaatikosta mitattiin läpiviennin kautta vallitseva paine-ero laatikon ja ympärillä olevan huonetilan välillä. Paine-eron lisäksi alipainelaatikosta havainnoitiin myös ilman virtausnopeutta suhteessa paine-eroon. Ilman virtausnopeus mitattiin kuumalanka-anturilla aivan pistorasian edestä, jolloin saatiin tietää, kuinka kovalla nopeudella pistorasiasta ilma todellisuudessa virtaa huonetilaan.

Hiukkaspitoisuuden mittaaminen toteutettiin siten, että seinään kiinnitettyyn laatikkoon luotiin tietyn suuruinen alipaine, joka pidettiin saman suuruisena yhtäjaksoisesti kuuden minuutin ajan. Kuuden minuutin kuluttua kanavapuhallin sammutettiin, jolloin paine-ero ympärillä olevan huoneilman kanssa hiljalleen tasaantui ja imu seinärakenteen läpi loppui. Tämän jälkeen mitattiin hiukkaspitoisuus alipainelaatikon sisältä. Mittaus toteutettiin samalla tavalla eri paine-eroilla, jolloin tuloksia oli helppo verrata keskenään. Saatuja tuloksia verrattiin myös huoneilman

taustapitoisuuteen. Hiukkasmäärä mitattiin tutkimusmielessä myös höyrinsulku-
muovin sisältä, jolloin mittari oli kokonaan samassa tilassa eristemateriaalin kans-
sa.



Kuva 3. Lopullisen tutkimustavan yleisjärjestelyt. Kuvan alalaidassa näkyvässä ylipainelaatikossa pidettiin mittausten aikana kantta päällä. Kuva: Juhani Niemelä

7 MITTAUSLAITTEISTO

7.1 Paine-eron ja ilman virtausnopeuden mittaus

Paine-eron ja ilman virtausnopeuden mittaamiseen käytettiin TSI:n valmistamaa Velocicalc Plus 9555 -mittaria. Mittarin edellinen kalibrointi oli suoritettu huhtikuussa 2016.

Paine-ero seinään kiinnitetyn laatikon ja ympäröivän tilan välillä mitattiin kahdella kumiletkulla, joista toinen asetettiin laatikon sisälle siihen tehdyn tiivistetyn läpiviennin kautta ja toinen samalle korkeudelle laatikon ulkopuolelle.

Mittarilla tarkasteltiin myös ilman virtausnopeutta aivan pistorasian edessä. Virtausnopeutta mitattiin laitteeseen kuuluvalla kuumalanka-anturilla, joka asetettiin noin kolmen senttimetrin päähän pistorasian eteen laatikon seinään tehdyn läpiviennin kautta. Ilman virtausnopeuden mittaamisella ei ole varsinaista merkitystä tutkimustuloksiin, mutta sitä haluttiin mitata, jotta saatiin selville kuinka suurella nopeudella seinän vuotokohdista ilma virtaa sisätiloihin. Ilman virtausnopeutta tutkittiin jopa 80 Pascalin alipaineella. Virtausnopeuden yksikkönä käytettiin m/s.



Kuva 4. Paine-eron ja ilman virtausnopeuden mittaamiseen käytetty TSI:n Velocalc Plus 9555 -mittari. Kuva: Juhani Niemelä

7.2 Hiukkasmäärän mittaus

Hiukkasmäärän mittaamiseen käytettiin kahta eri laitetta.

Testien alkuvaiheessa hiukkasmääriä pyrittiin mittaamaan TSI:n DustTrak Aerosol Monitor 8520 -mittarilla. Mittarilla ei kuitenkaan saatu haluttuja tuloksia. Mittari selkeästi reagoi suuriin hiukkas- ja kuitupitoisuuksiin, mutta pitoisuuksien pienentyessä mittari ei toiminut tarvittavalla tarkkuudella. Mittarin epätarkkuus saattoi johtua esimerkiksi sen vanhasta iästä tai huollon ja kalibroinnin puutteesta.

Kun DustTrak Aerosol Monitorilla tehdyistä mittauksista ei saatu tarpeeksi tarkkoja tuloksia, päätettiin kokeilla toista mittaria. Myöhemmin hiukkaspitoisuutta

mitattiin Trotec PC220 -mittarilla, jolla saatiin huomattavasti selkeämmät ja helpommin tulkittavat tulokset.

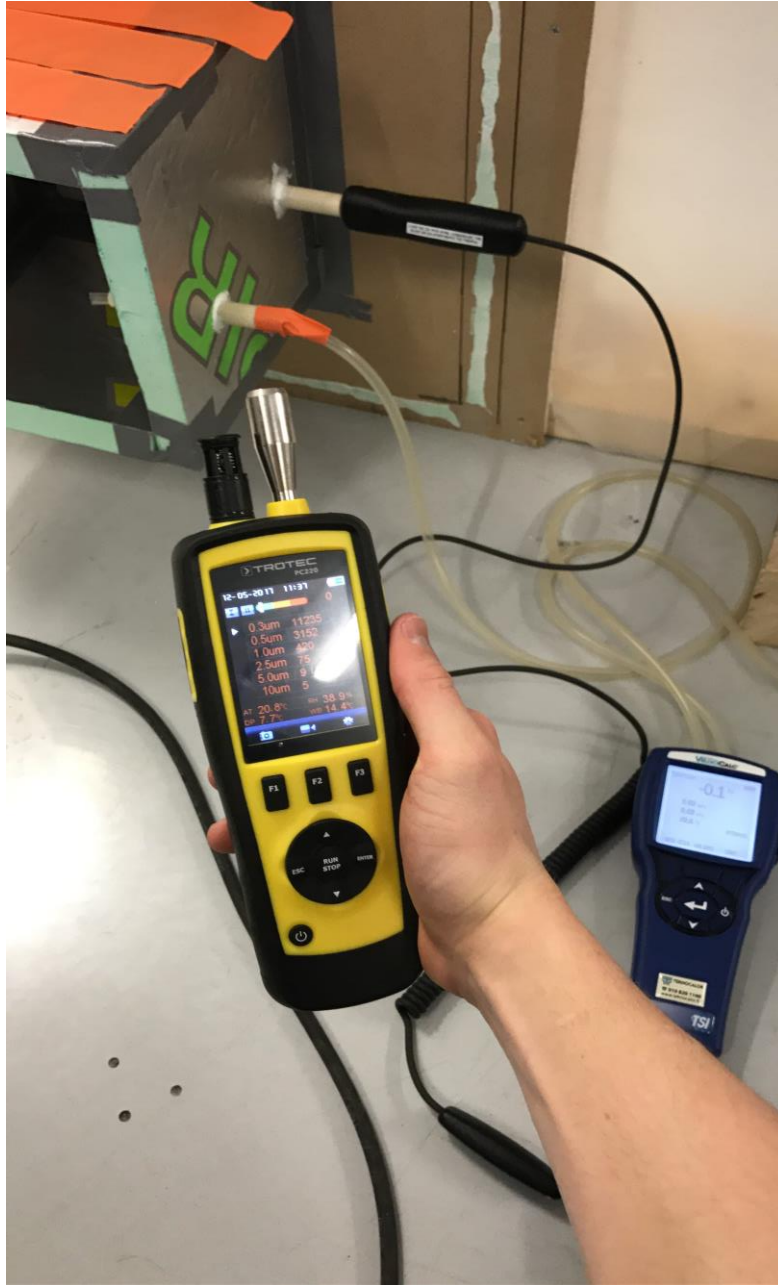
7.2.1 Trotec PC220

Trotec PC220 -hiukkaslaskuri on ympäristömittausyksikkö, jota voi käyttää hiukkasten, formaldehydin ja hiilimonoksidin pitoisuuksien mittaamiseen ilmasta. Mittauslaite toimii lasermittausperiaatteella ja tämän opinnäytetyön mittauksissa laitetta käytettiin mittaamaan ilmasta hiukkasia, jotka ovat kooltaan 0,3 – 10 µm. Mittauksissa käytetty mittari oli kalibroitu viimeksi helmikuussa 2017.

Laitteessa on eri mittaustiloja ja tässä työssä mittaria käytettiin kumulatiivisessa tilassa. Kumulatiivisessa tilassa mittari imee tasan litran ilmaa ja mittaa jokaisesta imetystä litrasta hiukkaspitoisuuden. Mittari ilmoittaa hiukkaset kappalemääränä litraa kohden, jolloin eri mittausten vertailu keskenään on helppoa. Laskuri erittelee hiukkaset kuuteen kokoluokkaan, jotka ovat 0,3–0,5 µm, 0,5–1,0 µm, 1,0–2,5 µm, 2,5–5,0 µm, 5,0–10,0 µm sekä >10 µm. Näistä hiukkasista on kiinnitettävä erityistä huomiota kolmeen pienimpään kokoluokkaan, sillä < 2,5 µm kokoiset hiukkaset tunkeutuvat ihmisen keuhkoissa syvimmälle aiheuttaen eniten terveyshaittoja. /8/



Kuva 5. Hiukkasmäärän mittaamiseen käytetty Trotec PC220 -mittari. Kumulaatiivisessa tilassa käytettäessä mittari jaottelee hiukkaset kokoluokkiin ja ilmoittaa hiukkasmäärän kappalemääränä jokaisessa kokoluokassa. Kuva: Juhani Niemelä



Kuva 6. Mittausjärjestelyt yleiskuvana. Paine-eroa mitattiin kuvassa näkyvällä kumiletkulla ja ilman virtausnopeutta toisessa läpiviennissä olevalla kuumalanka-anturilla. Kuva: Juhani Niemelä

8 TULOKSET

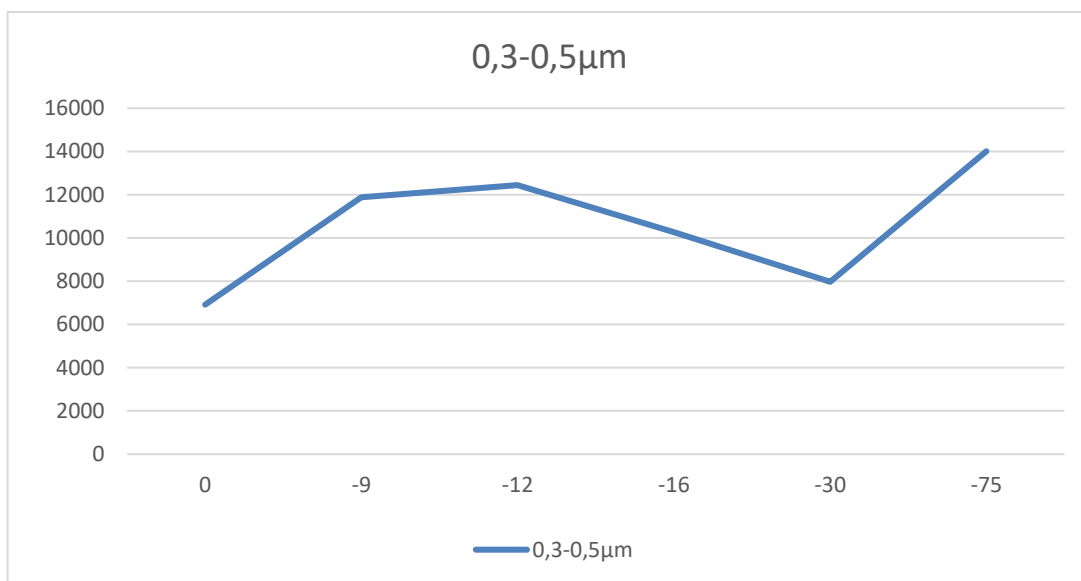
8.1 Mittaustulokset uudella villalla

Uudelle lasivillalle tehdyillä tutkimuksilla haluttiin selvittää, kuinka paljon eristemateriaalista itsestään irtoaa kuituja hengitettävään huoneilmaan. Ennen varsinaisia mittauksia huonetilasta mitattiin vertailuarvo, jotta tiedettiin huonetilan alkuperäinen hiukkaspitoisuus ja osattiin suhteuttaa mittaustulokset siihen.

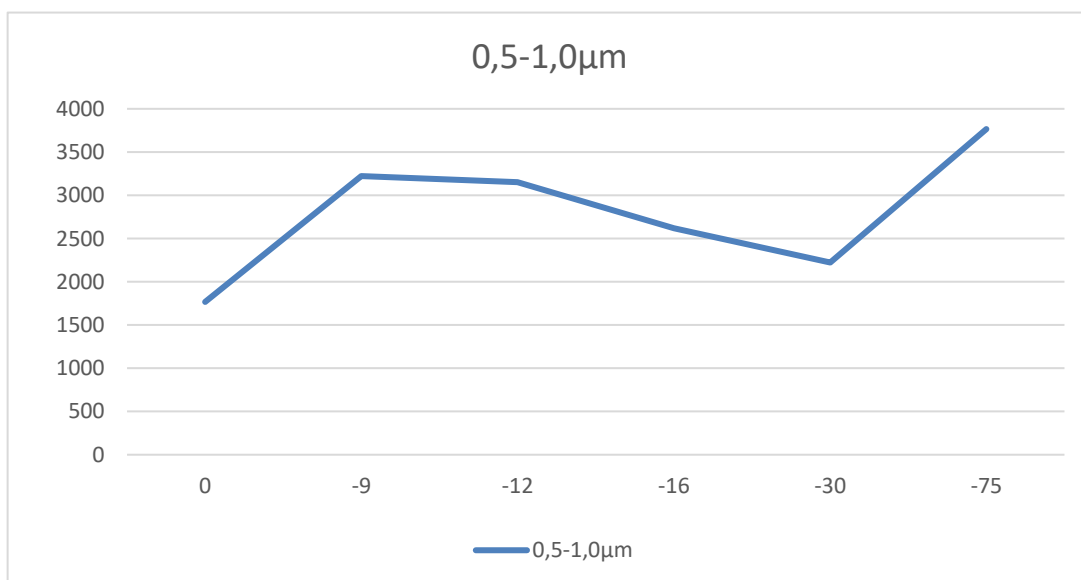
Mittaustulokset taulukoitiin numeraalisesti ja jokaisesta hiukkaskoosta tehtiin viivadiagrammi, jossa näkyy hiukkaspitoisuus suhteessa vallitsevaan paine-eroon.

Taulukko 3. Mittaustulokset uudella villalla. Hiukkaspitoisuus kappalemääränä yhdessä litrassa ilmaa.

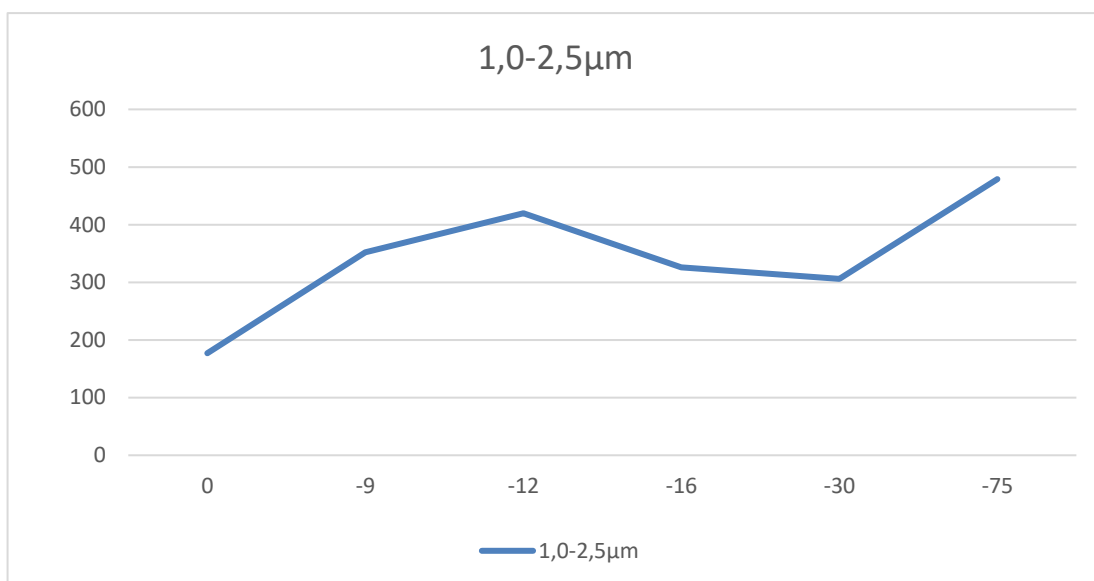
P (Pa)	Max v (m/s)	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	2,5 µm	5,0 µm	> 10 µm	Huom.
		6914	1767	177	25	4	4	Taustapitoisuus
		23918	6723	909	115	10	5	Seinärakenteen sisältä
-9	0,37	11881	3222	352	73	12	4	
-12	0,34	12441	3152	420	75	9	5	
-16	0,4	10267	2619	326	68	8	4	
-30	0,64	7973	2222	306	57	16	9	
-75	0,94	14011	3766	479	79	21	12	



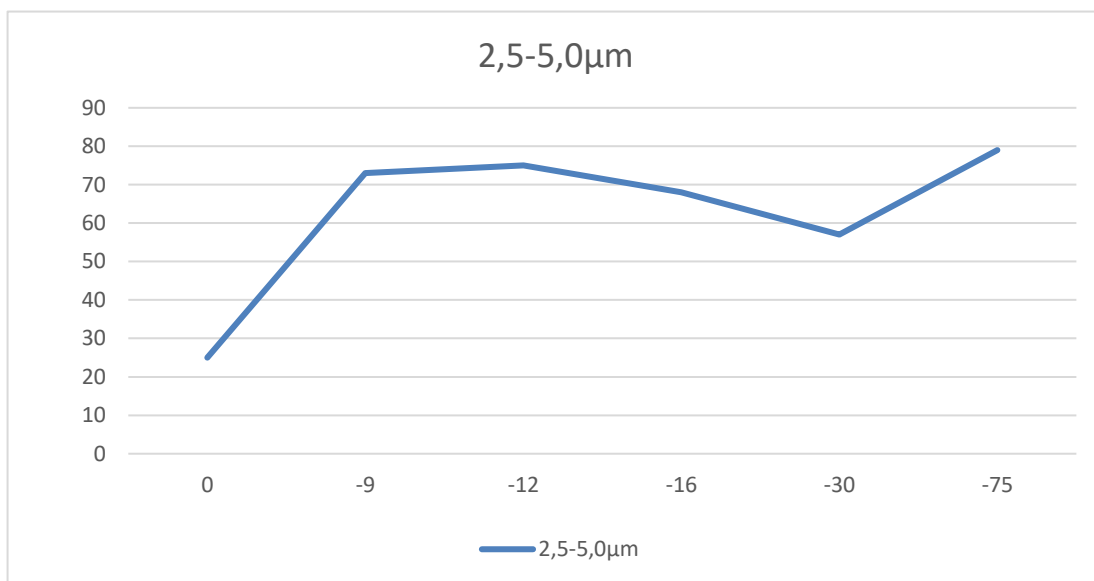
Kuvio 6. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 0,3-0,5 µm.



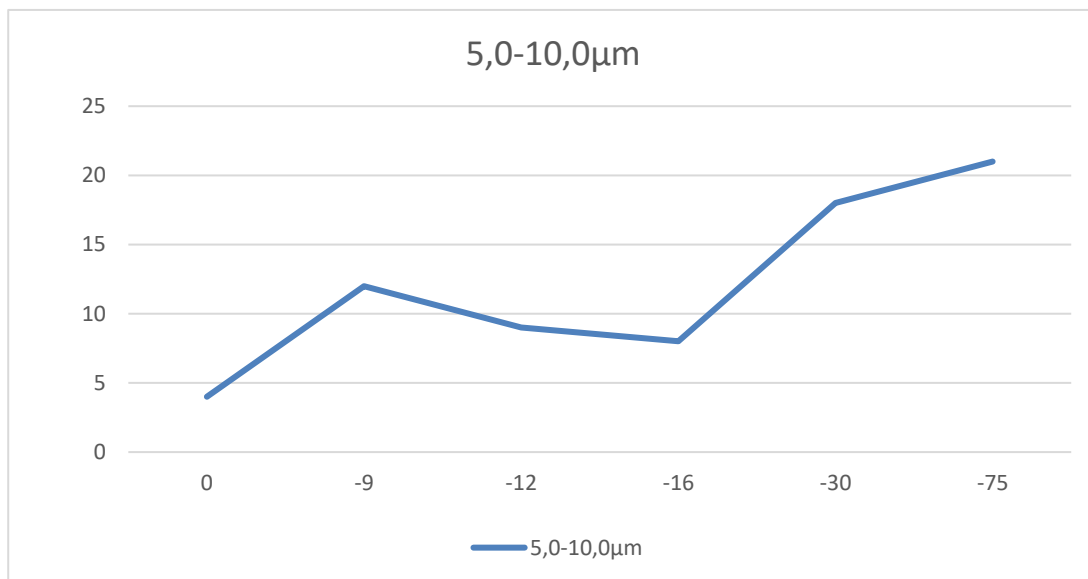
Kuvio 7. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 0,5-1,0 µm



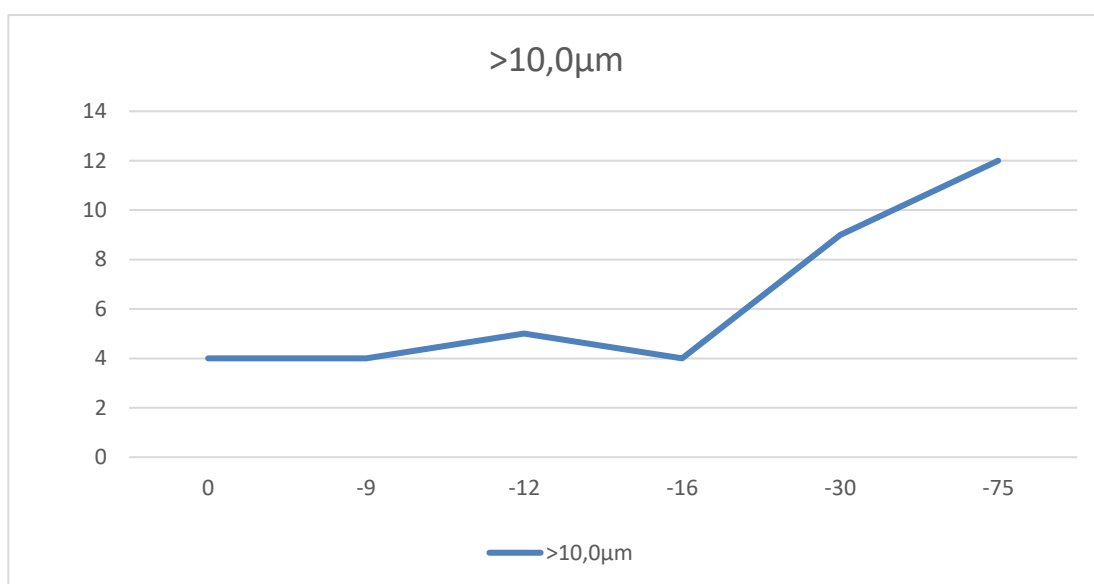
Kuvio 8. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 1,0-2,5 μm



Kuvio 9. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 2,5-5,0 μm.



Kuvio 10. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 5,0-10,0 μm .



Kuvio 11. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa $> 10 \mu\text{m}$.

8.1.1 Päätelmät mittauksista

Mittaustuloksista voidaan päätellä, että erityisesti pienhiukkasten pitoisuus ilmassa lisääntyy huomattavasti, kun alipainetta kasvatetaan nolasta -12 Pascaliin saakka. Tämän jälkeen pienhiukkasten määrä ei näytä lisääntyvän merkittävästi ennen kuin todella suurissa alipaineissa, kuten testeissä kokeillussa -75 Pa:n alipaineessa.

Suurempien, yli 5 μm kokoisten hiukkasten pitoisuus ei kasvanut merkittävästi pienemmissä alipaineissa. Kun alipainetta kasvatettiin suureksi, -30 Pascaliin ja siitä ylöspäin, suurempien hiukkasten määrä alkoi kasvaa merkittävästi.

Kun mittaustuloksia kokonaisuudessaan verrataan huoneessa vallitsevaan taustapitoisuuteen, voidaan todeta, että alipaineistuksen lisäämisellä eristevillasta irtoaa merkittävästi kuituja hengitettävään huoneilmaan. Näissä mittauksissa käytetyt suuret alipaineet ovat kuitenkin asuintiloissa hyvin harvinaisia, sillä alipaine asuintiloissa vaihtelee välillä 0...-10 Pa.

Uudella villalla tehdyissä testeissä havainnoitiin myös ilman virtausnopeutta seinärakenteen läpi. Mittausten perusteella ilman virtausnopeus kasvaa samassa suhteessa alipaineen lisäämisen kanssa. Suurissa alipaineissa ilmaa saattaa virrata vuotokohdasta sisätiloihin jopa 1 m/s.

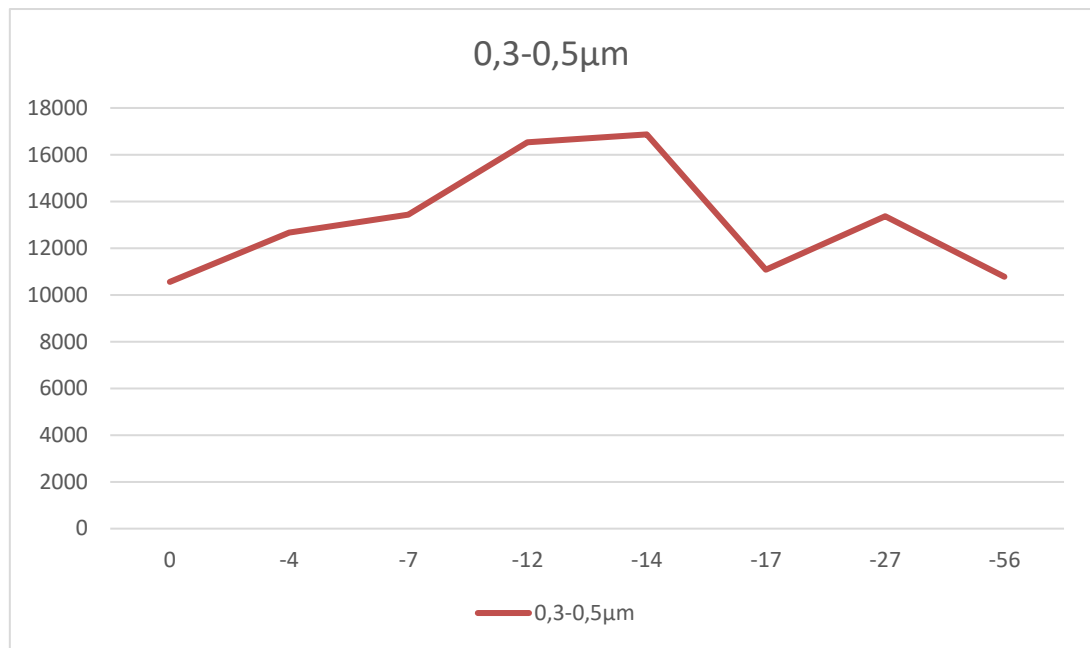
8.2 Mittaustulokset vanhalla villalla

Vanhalle ja likaantuneelle villalle tehdyillä tutkimuksilla haluttiin selvittää tyypillistä tilannetta, jossa seinärakenteen sisässä jopa vuosikymmeniä ollut eristevilla on jo kerännyt itseensä epäpuhtauksia vallitsevasta ympäristöstä. Näissä mittauksissa keskityttiin asuintiloille tyypillisempiin pieniin paine-eroihin ja alipaineistusta kasvatettiin hiljalleen nolapaineesta ylöspäin. Mittaustulokset taulukoitiin ja tuloksista tehtiin saman tyyppiset viivadiagrammit kuin aikaisemmista mittauksista. Ilman virtausnopeutta ei vanhaa villaa käytettäessä mitattu, sillä koettiin, että siinä ei tapahdu merkittäviä muutoksia aiempiin mittauksiin nähden.

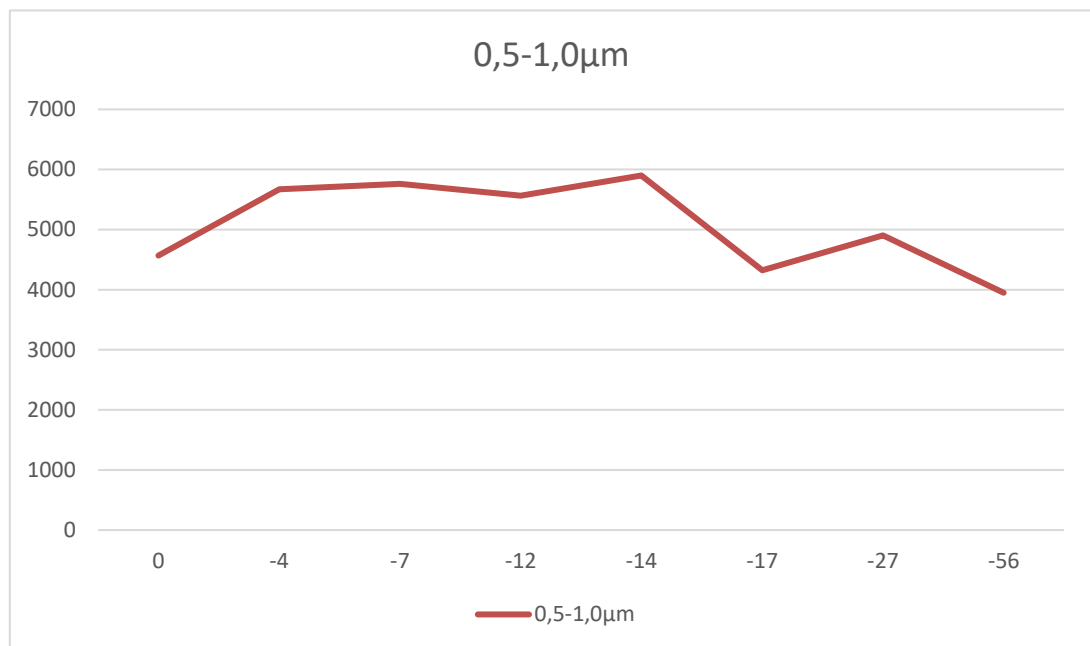
Myös vanhalla villalla tehtyjä tutkimuksia ennen tehtiin ympäröivästä huonetilasta taustapitoisuusmittaus ja mitattiin vertailuarvo seinärakenteen sisältä eristetilasta. Huonetilasta otettu vertailuarvona käytetty taustapitoisuus on näissä mittauksissa selkeästi suurempi kuin aikaisemmissa uudella villalla tehdyissä tutkimuksissa. Tämä selittyy suurimmaksi osaksi sillä, että vanha villa oli vaihdettu testiseinän eristeeksi jonkin aikaa ennen mittausten tekemistä, jolloin huonetilaan oli varmasti levinnyt jonkin verran vanhan villan likaa ja pölyjä. Tila kuitenkin tuuletettiin huolellisesti ennen taustapitoisuuden mittaamista ja muiden mittausten tekemistä.

Taulukko 4. Mittaustulokset vanhalla villalla. Hiukkaspitoisuus kappalemääränä yhdessä litrassa ilmaa.

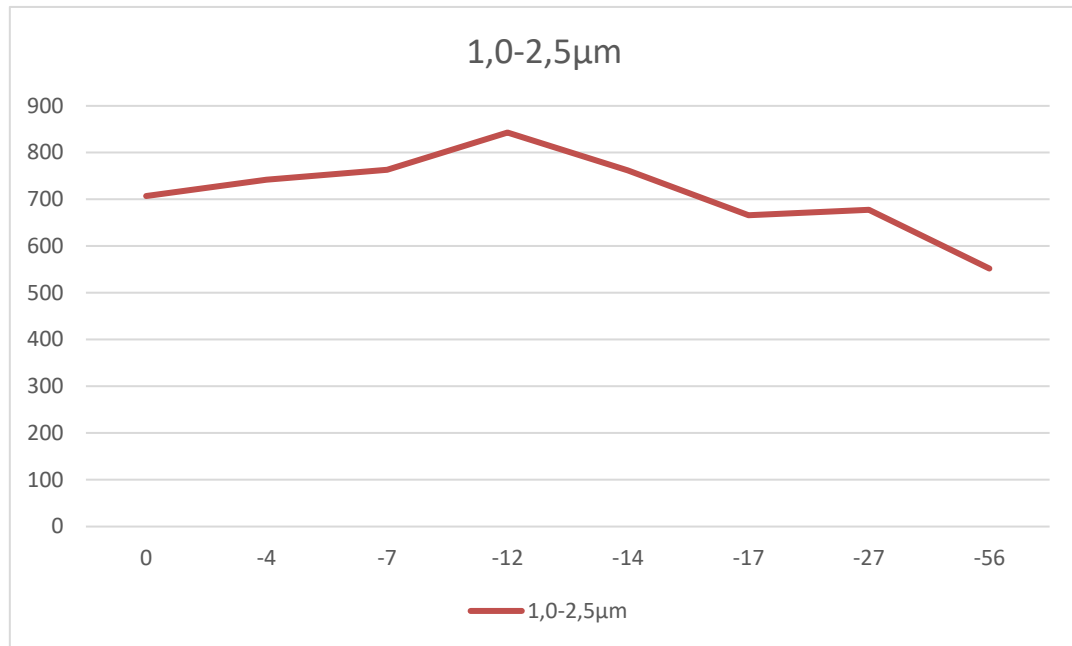
P (Pa)	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	2,5 µm	5,0 µm	> 10 µm	Huom.
	10558	4568	707	163	25	11	Taustapitoisuus
	114870	46321	8105	1997	646	286	Seinärakenteen sisältä
-4	12664	5670	742	162	28	11	
-7	13433	5763	763	175	29	9	
-12	16532	5566	843	174	30	14	
-14	16869	5900	762	169	27	9	
-17	11085	4325	666	96	17	8	
-27	13360	4301	678	138	26	15	
-56	10784	3949	552	102	31	17	



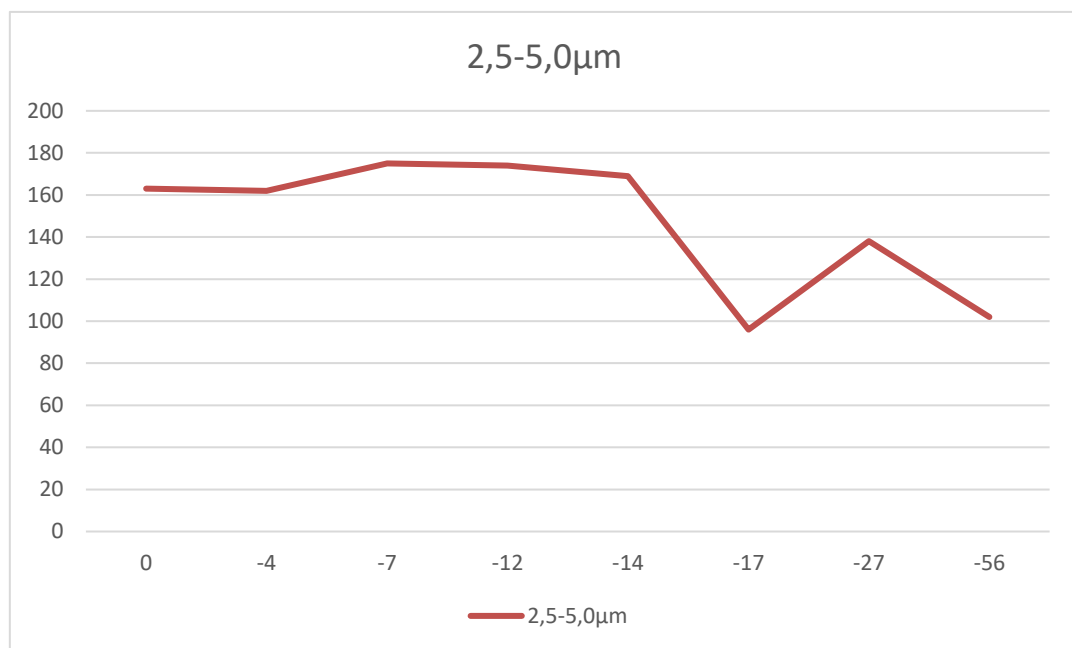
Kuvio 12. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 0,3-0,5 µm.



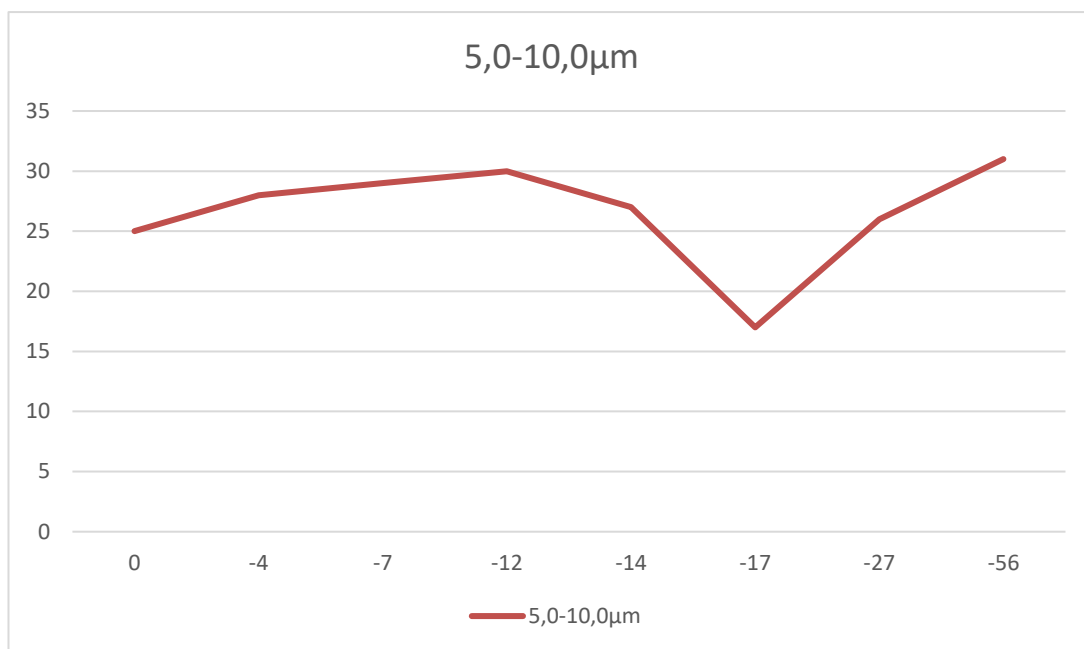
Kuvio 13. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 0,5-1,0 µm.



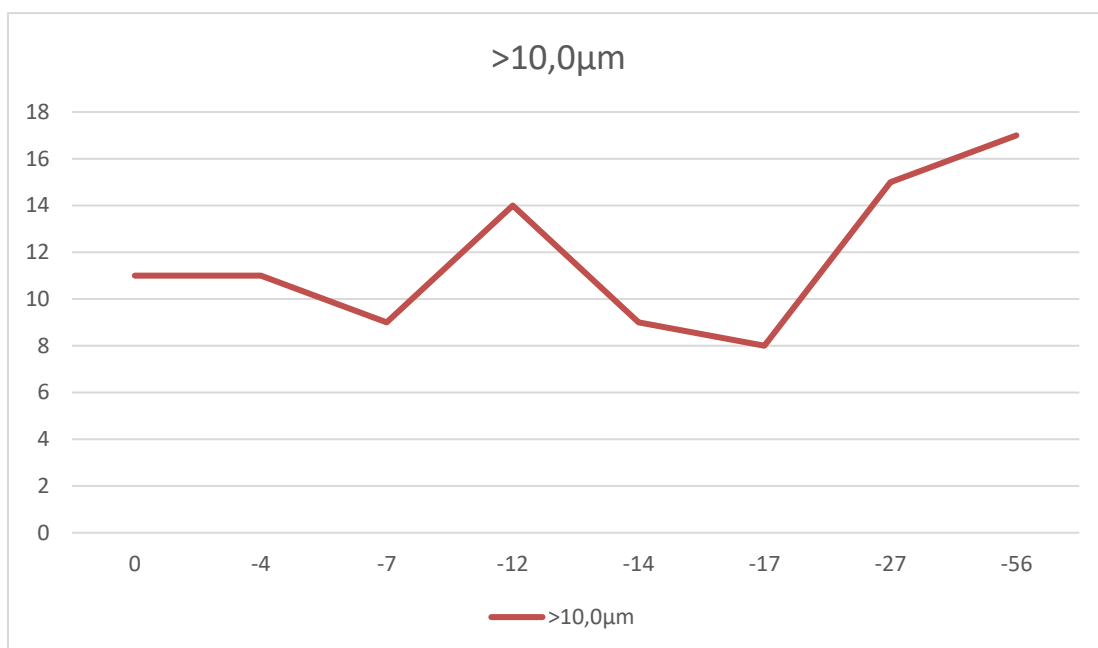
Kuvio 14. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 1,0-2,5 μm.



Kuvio 15. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 2,5-5,0 μm.



Kuvio 16. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa 5,0-10,0 μm.



Kuvio 17. Hiukkasten määrä suhteessa paine-eroon kokoluokassa > 10 μm.

8.2.1 Päätelmät mittauksista

Seinärakenteen sisältä villatilasta tehdyt mittaukset selkeästi osoittavat, että vanhan villan hiukkaspitoisuus on käyttämättömään vastaavaan verrattuna huomattavasti suurempi. Esimerkiksi pienhiukkasten 0,3 – 2,5 µm määrä seinärakenteen sisältä mitattuna oli vanhalla villalla lähes 5,5-kertainen verrattuna uuden villan vastaaviin pitoisuuksiin. Jo pelkästään se kertoo yksiselitteisesti siitä, kuinka paljon ulkoseinän eristevillat keräävät hiukkasia ja muita epäpuhtauksia itseensä vuosien saatossa.

Vanhalla villalla tehdyissä mittauksissa on selkeästi havaittavissa samankaltainen trendi kuin uuden villan tuloksissa. Kun liikutaan lievästi alipaineisissa lukemissa 0 – 14 Pa, pienikin alipaineen lisäys kasvattaa pienhiukkasten määrää ilmassa huomattavasti. Samoissa paine-eroissa suurempien, yli 2,5 µm kokoisten hiukkasten määrässä taas ei ole havaittavissa merkittävää muutosta suuntaan tai toiseen.

Vasta alipaineen merkittävällä lisäämisellä suuremmat hiukkaset lähtevät liikkeelle. Alipaineen kasvaessa yli 20 Pa:n, suurempien hiukkasten määrä ilmassa näyttää tutkimusten perusteella lisääntyvän selkeästi. Suuremmissa alipaineissa pienhiukkasten määrä mittaustulosten perusteella näyttää hieman vähentyvän. Tämä saattaa selittyä esimerkiksi sillä, että alipaineen kasvaessa ilman ja samalla kaikkein pienimpien hiukkasten liike voimistuu. Tällöin pienhiukkasten määrän mittaaminen voi olla vaikeampaa.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kuinka paljon sisätilojen alipaineisuus vaikuttaa sisäilman hiukkaspitoisuuksiin. Työssä käytiin läpi mistä hyvä sisäilma koostuu ja tärkeimmät sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät. Tämän lisäksi työtä varten tehtiin käytännön osuus, jossa tutkittiin hiukkaspitoisuuksien muutosta sisätilojen alipaineen kasvaessa.

Tutkimuksissa selvisi se, mitä etukäteen osattiin olettaakin: sisätilan alipaineen kasvaessa, myös hiukkaspitoisuus kasvaa. Tämä kuitenkin vaatii sen, että rakennuksen ulkovaipparakenteessa on vuotokohtia, joista eristevillojen kuidut ja hiukkasmaiset epäpuhtauden pääsevät kulkeutumaan hengitettävään ilmaan. Mikäli rakennuksen vaippa on tehty täydellisen tiiviiksi, myöskään epäpuhtaudet eivät kulkeudu vuotoilman mukana sisätiloihin.

Tutkimuksissa havaittiin myös se, että alipaineen ollessa sisätiloille tyypillisen pieni, alle 10 Pascalia, juuri ihmisen terveydelle haitallisimmat alle 2,5 µm kokoiset pienhiukkaset liikkuvat eniten. Vasta alipaineen kasvaessa epätyypillisen suureksi, yli 20 Pascalin, suuremmat hiukkaset lisääntyvät selkeästi. Vaikka tutkimusten perusteella pienhiukkasten määrä ei suurissa alipaineissa enää merkittävästi lisäännä, voidaan kuitenkin olettaa näin tapahtuvan. Opinnäytetyötä varten tehdyissä tutkimuksissa pienhiukkasten mittaaminen suurissa alipaineissa saattoi olla haastavaa ilman aktiivisesta liikkumisesta johtuen. Kun hiukkasia mitataan liikkuvasta ilmasta, on aina mahdollisuus normaalia suurempiin epätarkkuuksiin.

Tulosten tulkinnassa kannattaa ottaa huomioon vielä yksi tärkeä seikka. Tutkimuksissa käytetty vanha mineraalivilla on valmistettu arviolta 1950-1960 -lukujen taitteessa, jolloin lämmöneristeiden valmistustekniikka ei ollut vielä yhtä edistyksestä kuin tänä päivänä. Nykystandardien mukaisen eristevillan kuidutustekniikka on huomattavasti tuon aikaista edellä, mikä vaikuttanee siitä irtoavien kuitujen määrään merkittävästi.

Loppupäätelmänä voidaan todeta, että sisätilojen liiallinen alipaineistaminen ei ole suotavaa myöskään epäpuhtauksien kulkeutumisen näkökulmasta. Tästäkin

syystä ilmanvaihtolaitteiden ilmamäärien säätämiseen oikealle tasolle, kanavien ja suodattimien puhtaanapitoon sekä rakennuksen vaipparakenteiden tiiviyteen tulee jatkossakin kiinnittää erityistä huomiota, kun tavoitteena on terve talo ja terveet asukkaat.

LÄHDELUETTELO

/1/ Pitkäranta Miia. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöministeriö.

/2/ Sisäilmayhdistys ry. Epäpuhtaudet ja niiden torjunta.
<http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Epapuhtaudet-ja-niiden-torjunta>

/3/ Hengitysliitto. Hiukkaset.
<http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ulkoilma/ilmansaasteet/hiukkaset>

/4/ Rakentajain kalenteri 2011. Kauppinen Timo. Rakennusten ilmanpitävyys. Rakennustietosäätiö RTS. Saatavilla www-muodossa:
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110501.pdf>

/5/ Säteilyturvakeskus. Radon. <http://www.stuk.fi/aiheet/radon>

/6/ Seppänen Olli, Seppänen Matti. 2007. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Suomen LVI-liitto ry.

/7/ Suomen Standardoimisliitto. 2001. [SI-opas](#) – Suuret ja mittayksiköt. SI-mittayksikköjärjestelmä. Saatavilla www-muodossa:
<http://web.archive.org/web/20120831234747/http://www.sfs.fi/files/70/si-opas.pdf>

/8/ Trotec. Hiukkaslaskuri PC220.
<https://fi.trotec.com/tuotteet/mittauslaitteet/ilmanlaadun/hiukkaslaskuri/pc220-hiukkaslaskuri/>

/9/ Rakennustietosäätiö RTS. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäilmayhdistys RY.

/10/ Rakennustietosäätiö RTS. 1995. RT-kortti 07-10564 Rakennuksen sisäilmasto.

/11/ Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 2011. Saatavissa www-muodossa: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf

/12/ Hengitysliitto. Ilmanvaihtojärjestelmät.

/13/ Valtiontalouden tarkastusvirasto. 2015. Tiedote pienhiukkasten terveysvaikutuksista. Saatavissa www-muodossa:
https://www.vtv.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2015/pienhiukkasten_terveysvaikutuksia_ja_kustannuksia_ei_huomioida_riittavasti.5901.news

/14/ Björkholtz Dick. 1997. Lämpö ja kosteus – Rakennusfysiikka. Rakennustieto Oy

/15/ Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS. 2012. Rakentamisen tuotantotekniikka. Rakennustieto Oy