Juuso Selkosmaa

ILMANVAIHDON PUHDISTUKSEN HYÖDYT

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

2022

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Juuso Selkosmaa
Työn nimi	Ilmanvaihdon puhdistuksen hyödyt
Toimeksiantaja	Nuohous ja puhdistus Soikkeli Oy
Vuosi	2022
Sivut	48 sivua, liitteitä 10 sivua
Työn ohjaaja(t)	Tero Lahikainen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ilmanvaihdon puhdistuksella saatavia hyötyjä pientalon ilmanvaihdossa. Pientalojen ilmanvaihdon puhdistus tai sen hankkiminen on rakennuksen haltijan vastuulla. Tästä syystä ilmanvaihdon puhdistus omakotitaloissa saattaa jäädä tekemättä pitkäksikin aikaa. Tutkimuksessa ilmanvaihdon puhdistus ja sen hyötyjen selvittämiseksi tehtävät mittaukset suoritettiin case-kohteessa, jonka ilmanvaihto oli ollut puhdistamatta koko rakennuksen 26-vuotisen elinkaaren ajan.

Tutkimuksessa ilmanvaihdon puhdistus jaettiin kolmeen osaan: päätelaitteiden puhdistukseen, kanavien puhdistukseen sekä ilmanvaihtokoneen ja sen osien puhdistukseen. Jokaisen puhdistustoimenpiteen välissä sekä ennen puhdistusta tehtiin ilmanvaihdon päätelaitteilta mittauksia, jotta saatiin tietoa puhdistuksen vaikutuksista ilmamääriin. Tutkimuksessa tehtiin myös kosteuden seurantamittauksia sekä äänitasomittauksia ennen ja jälkeen puhdistuksen, jotta saatiin selville puhdistuksen muita vaikutuksia sisäilmaston osalta.

Tutkimuksen mittauksien tuloksista voitiin havaita puhdistuksella olevan selkeitä hyötyjä ilmanvaihdon toiminnan kannalta. Puhdistuksen jokaisen osan seurauksena ilmamäärät kasvoivat. Prosentuaalisesti ilmamäärien osalta suurimmat hyödyt saatiin päätelaitteiden puhdistuksella. Kosteuden seurantamittauksien tuloksista havaittiin, että kosteus poistui tehokkaammin tilasta ilmanvaihdon puhdistuksen jälkeen. Äänitasojen mittauksissa puhdistuksella todettiin olevan myös selvä hyöty ongelmalliseksi koetun tilan keskiäänitasojen laskiessa puhdistuksen seurauksena.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että ilmanvaihdon puhdistuksella on hyötyjä sisäilmaston eri osa-alueilla, ja tästä johtuen ilmanvaihdon puhdistuksia tulisi tehdä ajoittain. Opinnäytetyön tavoitteet täyttyivät ja tutkimuksessa onnistuttiin saamaan ilmanvaihdon puhdistuksen hyötyjä selville eri mittausten avulla.

Asiasanat: ilmanvaihto, sisäilma, ilmanvaihtojärjestelmät

South-Eastern Finland University of Applied Sciences

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Juuso Selkosmaa
Thesis title	The Benefits of cleaning ventilation
Commissioned by	Nuohous ja puhdistus Soikkeli Oy
Time	2022
Pages	48 pages, 10 pages of appendices
Supervisor	Tero Lahikainen

ABSTRACT

The objective of the thesis was to find out the benefits of cleaning the ventilation system in a detached house. It is the homeowner's responsibility to clean the ventilation system or purchase the service from company that operates in the field. Because of this, ventilation systems in detached houses may not be cleaned for long periods of time. In the study, ventilation cleaning and measurements to determine its benefits were done in a detached house. The ventilation system of this house had never been cleaned throughout its 26-year life cycle.

In the study, ventilation cleaning was divided into three parts. The cleaning of the ventilation valves, ducts, and the ventilation unit with its parts. Before cleaning the system, air volume measurements were conducted for every valve. Air volume measurements were also done after every part of the cleaning to provide information on the benefits of each part of the cleaning. The study also included humidity monitoring measurements and sound level measurements. Both measurements were done before and after cleaning the whole system to find out other benefits to the indoor climate.

The results of the air volume measurements showed that cleaning the system benefits its operation. After every part of the cleaning, the air volumes increased. The largest increase in airflows occurred after cleaning the valves. The humidity monitoring measurements showed that removing the humidity from the room was more effective after cleaning the system. The sound level measurements showed that ventilation cleaning is beneficial to the sound levels in the room. Average sound levels decreased in the room that had noise issues caused by the ventilation system.

Based on the results of the measurements, it can be concluded that cleaning the ventilation system has benefits in different parts of indoor climate and because of this ventilation systems should be cleaned at intervals. The objectives of the thesis were achieved as the study succeeded in describing the benefits of ventilation cleaning with the help of measurements.

Keywords: ventilation, indoor air, ventilation systems

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 6

2 ILMANVAIHTO JA SEN MERKITYS 6

2.1 Ilmanvaihto 7

2.2 Sisäilmasto 9

2.2.1 Sisäilman laatu 9

2.2.2 Perinteiset viihtyvyystekijät: lämpöolot, veto ja kosteus 13

2.2.3 Ääniolot 15

3 ILMANVAIHDON PUHDISTUS, TASAPAINOTUS JA HUOLTO 16

3.1 Lainsäädäntö 16

3.2 Asukkaan omat huolto- ja puhdistustoimenpiteet 17

3.3 Ilmanvaihdon puhdistustyö 18

3.3.1 Työkalut 19

3.3.2 Kanaviston puhdistus 20

3.3.3 Päätelaitteiden puhdistus 21

3.3.4 Ilmanvaihtokoneen ja sen osien puhdistus 22

3.3.5 Kohdepoistojen puhdistus 25

3.4 Ilmanvaihdon tasapainotus ja mittaukset 25

4 MITTAUKSET 26

4.1 Päätelaitemittaukset 26

4.1.1 Balometri 27

4.1.2 Paine-ero mittaus 27

4.2 Kosteuden seurantamittaukset 28

4.3 Äänimittaukset 29

5 MITTAUSJÄRJESTELYT 29

5.1 Päätelaitemittaukset 29

5.2 Kosteuden seurantamittaukset 30

5.3 Äänitasomittaukset 31

6 TULOKSET 31
6.1 Päätelaitemittaukset 31
6.2 Kosteuden seurantamittaukset 38
6.3 Äänitasomittaukset 40
7 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ TULOKSISTA 41
8 POHDINTA 45
LÄHTEET 47
LIITTEET
Liite 1. TSI 9565-P monitoimimittarin kalibrointitodistus
Liite 2. Swema 300 + SwemaFlow 125 kalibrointitodistus
Liite 3. KTS tuloilmaventtiilin k-arvot
Liite 4. KSO poistoilmaventtiilin k-arvot
Liite 5. Alkuperäinen päätelaitteiden mittauspöytäkirja
Liite 6. Keittiön kosteusmittausdata
Liite 7. Kylpyhuoneen kosteusmittausdata
Liite 8. Äänimittausten mittauspöytäkirjat

1 JOHDANTO

Sisäilman laadun ja sisäilmaston ongelmat ovat saaneet paljon julkisuutta viime vuosina. Sisäilman laatua pilaavia tekijöitä voi olla monenlaisia, eikä niille aina ole yksiselitteistä syytä. Huonon sisäilman laadun ja sisäilmaston ongelmien tiedetään altistavan monille sairauksille, ja tästä syystä aiheeseen on viime vuosina kiinnitetty aikaisempaa enemmän huomiota. Huono sisäilma aiheuttaa hengityselinten sairauksia sekä sairaspoissaoloja, ja sen aiheuttamien kustannusten on arveltu olevan Suomessa vuosittain useita miljardeja euroja.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ilmanvaihtojärjestelmän puhdistamisesta mahdollisesti saatavia hyötyjä sisäilman laadun ja sisäilmaston suhteen omakotitalokohteessa. Tutkimuksessa on tarkoituksena pilkkoa tehtävä ilmanvaihdon puhdistustyö osiin, jotta saadaan tietoa jokaisen toimenpiteen vaikutuksista ilmanvaihdon toimintaan. Jokaisen puhdistustoimenpiteen jälkeen suoritetaan päätelaitteilta ilmamäärien mittauksia, joiden perusteella voidaan tulkita saavutettuja hyötyjä. Tutkimuksen tavoitteena on saada kokonaisvaltainen kuva omakotitalon ilmanvaihdon puhdistuksen vaikutuksista sisäilmastoon sekä selventää sitä, millä toimenpiteillä saadaan aikaiseksi suurimmat hyödyt ilmanvaihdon oikeanlaisen toiminnan ja sisäilman laadun suhteen.

Työn tilaaja on Jyväskylässä ja lähialueilla toimiva Nuohous ja puhdistus Soikkeli Oy. Yritys toimii nuohousten sekä ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksien ja säätöjen parissa. Opinnäytetyötä lähdettiin tekemään aiheesta, koska aikaisemmin vastaavia mittauksia puhdistuksen eri vaiheissa ei ole tehty. Opinnäytetyön tuloksia tullaan jatkossa hyödyntämään markkinoinnin apuvälineenä.

2 ILMANVAIHTO JA SEN MERKITYS

Ilmanvaihdon tulee olla puhdas ja toimia sille suunnitellulla tavalla, koska ihminen viettää jopa 90 prosenttia ajastaan sisätiloissa. Toimiessaan suunnitellulla tavalla ilmanvaihto ylläpitää hyvää sisäilmastoa ja edistää tilojen terveellisyyttä. Ilmanvaihdon puhdistuksella, tasapainotuksella ja muilla huoltotoimenpiteillä pyritään takaamaan ilmanvaihdon toiminta sellaisena kuin se on

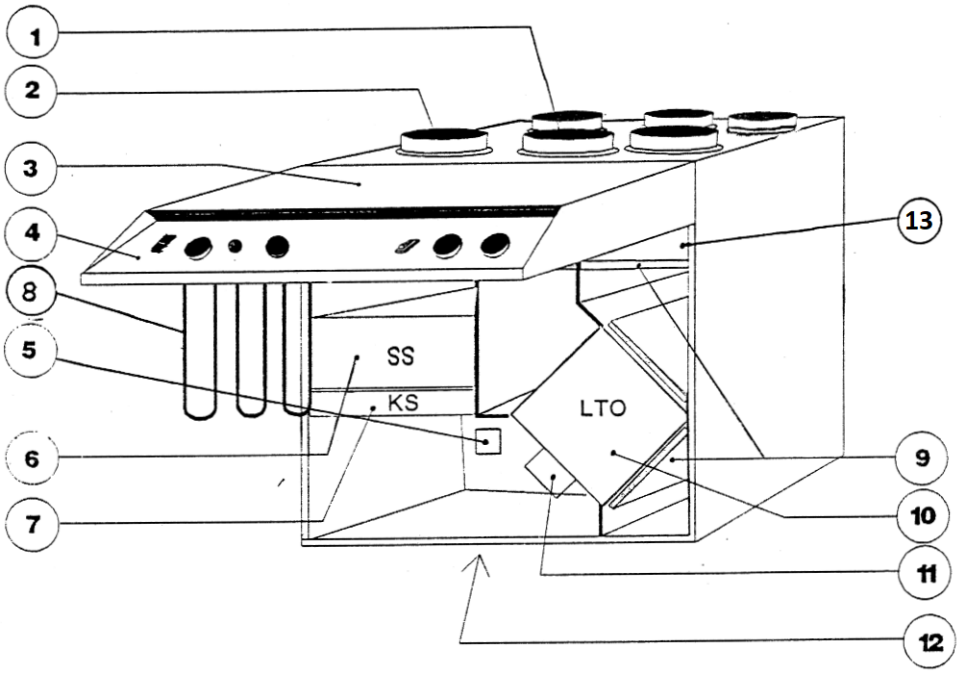
suunniteltu. Lisäksi näillä toimilla on myös merkitystä rakennuksen energiankulutuksen osalta, koska ilmanvaihdon osuus voi olla jopa 20–80 prosenttia rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuksesta. [1, s. 3, 11–12.]

2.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmän avulla hallitaan sisäilman laatua. Ilmanvaihtojärjestelmiä pientaloissa on yleisesti kolmenlaisia. Painovoimaisia ilmanvaihtojärjestelmiä, koneellisia poistoilmanvaihtojärjestelmiä ja tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmiä. Painovoimaisissa järjestelmissä ilma poistuu rakennuksesta sisä- ja ulkoilman eri tiheyden, poiston hormin korkeuden ja painovoiman vaikutuksesta. Ulkoilma tulee tiloihin korvausilmana rakennuksen vaipan läpi tai ulkoilmaventtiilin kautta. Painovoimaiset ilmanvaihtojärjestelmät olivat vakiintunut tapa toteuttaa ilmanvaihto aina 1970-luvulle asti. 1970-luvulla kuitenkin koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä otti vallitsevan järjestelmän aseman. Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä taas poistaa koneellisesti ilmaa tiloista. Poistoilmanvaihtojärjestelmä voidaan toteuttaa esimerkiksi huippuimurin avulla. Tässä tavassa huippuimuri aiheuttaa rakennukseen alipaineen, minkä vaikutuksesta ulkoilma tulee tiloihin rakennuksen vaipan läpi korvausilmana. Ulkoilma tulee tiloihin helpointa reittiä, joka voi olla hallittavissa oleva korvausilmaventtiili tai hallitsematon reitti vuotavan rakenteen läpi. [2, s. 113–116.] Tässä tutkimuksessa tutkimuksen kohteena on kuitenkin 90-luvun omakotitalo, jossa on koneellinen tulo-poistoilmanvaihto, joten työssä keskitytään ainoastaan koneelliseen tulo-poistoilmanvaihtoon.

Energian hinta nousi merkittävästi 1970-luvun öljykriisin seurauksena. Tämän seurauksena rakennuksia eristettiin paremmin sekä kehitettiin ilmanvaihtojärjestelmiä lämmöntalteenotolla. Lämmöntalteenotolla tuloilmaa saatiin lämmitettyä ilman erillisiä lämmityskustannuksia, ja tämän seurauksena tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmät alkoivat yleistymään. Tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmät ovat olleet pientalojen vallitseva tapa toteuttaa ilmanvaihto 1980-luvulta nykypäivään saakka. Tulo-poistojärjestelmissä oleskelutiloihin tuodaan puhdasta ilmaa tuloilman muodossa ja poistetaan poistoilmapuhaltimen avulla ilmaa tiloista, joissa epäpuhtauksia syntyy. Lisäksi järjestelmissä voi olla

mahdollisuus ilman kierrätykselle. [2, s. 116–119.] Kuvassa 1 on esitetty tutkittavan kohteen ilmanvaihtokoneen rakenne.



Kuva 1. 1. Poistoilmapuhallin, 2. Tuloilmapuhallin, 3. Ovi, 4. Ohjauspaneeli, 5. Kierrätysilman peltimoottori, 6. Sähkösuodatin, 7. Kemiallinen suodatin, 8. Jälkilämmityspatteri, 9. Kuitusuodattimet, 10. Lämmöntalteenottokenno, 11. LTO:n ohituspelti moottoreineen, 12. Kondenssivesiyhde takareunassa sekä 13. Sähkörasia [3]

Kierrätysilman tarkoituksena on leikata lämmityskustannuksia kierrättämällä lämmintä ilmaa. Lämmintä ilmaa kerätään takan ja leivinuunin päältä, josta se poistuu kierrätysilman poistoilmaventtiilien kautta tilasta. Kierrätysilman kanava on kytketty tuloilmapuhaltimen imupuolelle, jolloin tiloista kerätty lämmin kierrätysilma sekoitetaan raitisilmakanavan kautta tulleeseen jo lämmöntalteenoton esilämmittämään ulkoilmaan tuloilmakammiossa, ennen sen puhaltamista sisätiloihin. [3; 4.]

Tulo-poistoilmanvaihtokoneessa on tyypillisesti tulo- ja poistopuhallin, lämmöntalteenottolaite, erilaisia suodattimia ja jälkilämmityspatteri. Puhaltimet liikuttavat ilmaa järjestelmässä. Lämmöntalteenottolaite ottaa poistoilmasta lämpöä talteen ja siirtää sitä ulkoa tulevaan raitisilmaan, ja säästää näin energiaa ja laskee lämmityskustannuksia. Erilaisilla suodattimilla suodatetaan eri kokoisia ja laatuisia epäpuhtauksia ilmasta, ja estetään niiden kulkeutuminen sisäilmaan. Jälkilämmityspatterilla tuloilma lämmitetään määriteltyyn

sisäänpuhalluslämpötilaan, mikäli tuloilman lämpötila lämmöntalteenottolaitteen jälkeen ei ole riittävä. Lisäksi koneiden yhteyteen liittyvät äänenvaimentimet, joilla ilmanvaihtokoneen aiheuttamia ääniä pyritään vaimentamaan, jotta ne eivät kulkeutuisi kanavistoa pitkin ja aiheuttaisi meluhaittoja. [2, s. 116–118.] Muita tyypillisiä ilmanvaihtokoneen ja -järjestelmän osia ovat esimerkiksi erilaiset ohjauspellit ja peltimoottorit, joilla voidaan ohjata vaikkapa raitisilma jäätyneen lämmöntalteenottokennon ohi. Järjestelmiin kuuluvat myös kanavisto ja sen osat kuten säätöpellit sekä päätelaitteet.

2.2 Sisäilmasto

Sisäilmasto tarkoittaa ihmisen viihtyvyyteen ja terveyteen vaikuttavia tekijöitä rakennuksessa, nämä voivat olla fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä. Nämä tekijät voidaan jaotella sisäilman laatuun ja lämpöoloihin, mutta laajempaan sisäympäristöön kuuluu edellä mainittujen lisäksi valaistus- ja ääniolosuhteet. Ilmanvaihdon kannalta näistä tärkeimmät ovat ilman laatu, lämpöolosuhteet sekä järjestelmän äänitekninen toiminta. [2, s. 37.]

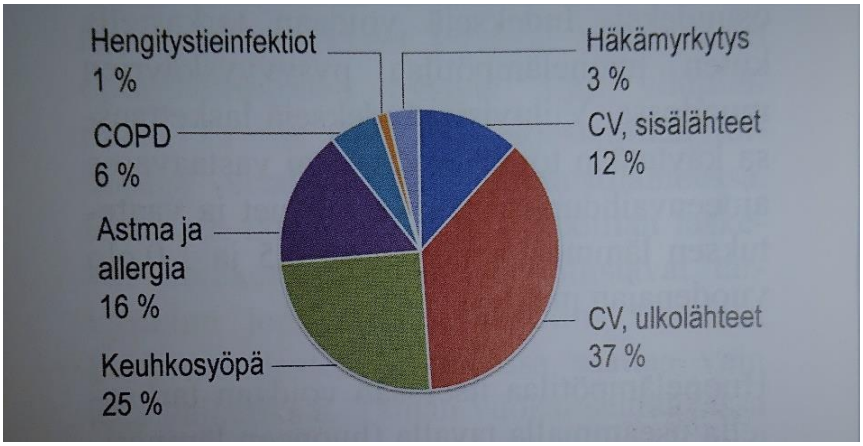
Sisäilma voidaan viihtyisyystekijöiden osalta jakaa kolmeen eri osaan, perinteisiin viihtyvyystekijöihin, ulkoilman määrään sisätiloissa sekä sisäilman epäpuhtauksiin. Perinteisiin viihtyvyystekijöihin kuuluu ilman suhteellinen kosteus, lämpötila ja ilman nopeus oleskeluvyöhykkeellä. [5, s. 14–15.]

2.2.1 Sisäilman laatu

Ihmiset viettävät suurimman osan päivästään sisätiloissa hengittäen jopa 20 m^3 sisäilmaa vuorokaudessa. Tämän vuoksi sisäilman laadulla on suuri merkitys kansanterveydelle. Joidenkin arvioiden mukaan huono sisäilma aiheuttaa Suomen osalta jopa 13 000 terveen elinvuoden menetyksen vuosittain, mikä taas aiheuttaa jopa miljardin euron menetykset. [2, s. 56.] Kuitenkin kun kaikki huonon sisäilman suorat ja välilliset vaikutukset otetaan huomioon, nousevat vuosittaiset kustannukset useisiin miljardeihin euroihin vuositasolla. Huonon sisäilman suurimpia kustannuksia ovat allergioiden pahenemine ja uusien allergioiden syntyminen, joka itsessään aiheuttaa jo yli miljardin euron kustannukset vuosittain. Toisena suurena kustannuksena ovat huonon sisäilman aiheuttamat sairaspoissaolot, joiden vuosittaiset kustannukset ovat lähes

miljardin euron luokkaa vuosittain. Näiden lisäksi muita huonon sisäilman aiheuttamia kustannuksia ovat työtehon lasku, jonka vuoksi aiheutuu noin 200 miljoonan euron kustannukset vuosittain. Sairaalainfektiot aiheuttavat vuosittain 170 miljoonan euron kustannukset, joista noin puolet johtuvat huonosta sisäilmasta. Lisäksi mukaan voidaan laskea radonin aiheuttamat keuhkosyövät, joiden seurauksena aiheutuu 34 miljoonan euron vuosittaiset kustannukset. [6, s. 97.] Saastunut sisäilma on tutkimuksien mukaan yksi suuri syy sairaspoissaoloille, ja sen oireita voivat olla uneliaisuus, tukkoisuus, silmien ärsytys sekä kurkun ja ihon kuivuminen [7, s. 19].

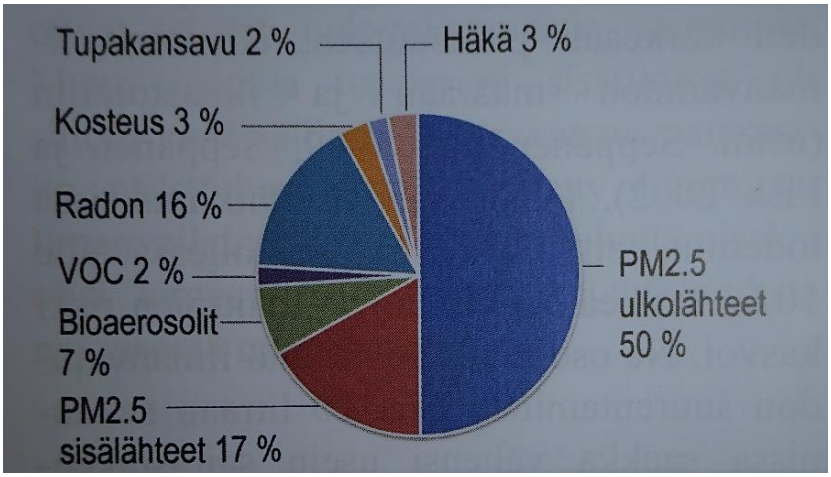
Huono sisäilma aiheuttaa vakaviakin sairauksia, näistä merkittävimpiä ovat sydän- ja verenkiertoelinten sairaudet ja keuhkosyöpä. Huonon sisäilman aiheuttamista sairauksista peräti kolme neljäsosaa on vakavia jopa kuolemaan johtavia sairauksia (kuva 2). [2, s. 56.]



Kuva 2. Sisäilma-altisteisiin liittyviä sairauksia Suomessa vuonna 2010 [2, s. 56]

Lisäksi suuri osuus sairauksista on erilaisilla allergioilla, astmalla ja keuhkoahtaumataudilla [2, s. 56].

Merkittävin vakavien sairauksien aiheuttaja ovat pienhiukkaset, jotka aiheuttavat kaksi kolmasosaa kaikista sisäilmaan liittyvistä terveyshaitoista (kuva 3). Suurin osa sisäilman pienhiukkasista kulkeutuu sisälle ulkoilmasta, ja niiden merkittävimpinä lähteinä ovat liikenne, energiantuotanto, teollisuus, kasvit siitepölyineen sekä puun pienpoltto. [2, s. 56–61.]



Kuva 3. Sisäilma-altisteisien sairauksien aiheuttajat Suomessa 2010 [2, s. 57]

Pienhiukkaslähteitä on myös sisätiloissa, ja niiden lähteitä ovat esimerkiksi lemmikit, ihminen itse, tekstiilit ja ruoanvalmistus. Pienhiukkaset aiheuttavat haittoja jo pienissäkin määrin, eikä niille pystytä määrittelemään sen vuoksi rajoja. Pienhiukkasten aiheuttamia haittoja voidaan vähentää tuloilman suodatuksen avulla. [2, s. 56–61.]

Sisäilman epäpuhtauksia voidaan hallita ilmanvaihdolla. Oikein toimiva ilmanvaihto vaikuttaa ilman liikkeeseen sisätiloissa ja sitä kautta myös epäpuhtauksien liikkeisiin. Oikeanlaisilla painesuhteilla taas voidaan vaikuttaa radonin määrään sisäilmassa. Nämä ovat tärkeitä keinoja terveyshaittojen ehkäisemisessä. [2, s. 56–57.] Ilmanvaihdon tarve tiloissa määräytyy sisäilman epäpuhtauksien mukaan. Ulkoilmaa tulee tuoda tiloihin niin paljon, että epäpuhtaudet saadaan laimennettua. Ulkoilman määrän määrittelee ensisijaisesti se epäpuhtaus, jonka poistaminen vaatii suurimman ilmanvaihtuvuuden. [1, s. 12; 5, s. 15.] Asunnoissa tämä on tyypillisesti normaalista elämisestä aiheutuva kosteuskuorma. Ilmanvaihdon välityksellä sisäilmasta poistetaan sellaiset epäpuhtaudet, joiden lähteitä ei voida sisätiloista poistaa. Nämä epäpuhtaudet ovat pääasiassa lähtöisin ihmisen aineenvaihdunnasta, asumisesta, rakennuksen sisällä olevista laitteista tai koneista, rakennusmateriaaleista, ulkoilmasta ja radonin tapauksessa maaperästä. [1, s. 12.] Sisäilmasta löytyviä epäpuhtauksia ovat:

- hiilidioksidi
- radon

- pöly
- bakteerit
- itiöt
- tupakansavu
- otsoni
- typpidioksidi
- hiilimonoksidi
- hiilivedyt
- formaldehydi.

Lisäksi uusia epäpuhtauksia löydetään kaiken aikaa, koska uudet materiaalit tuottavat uusia yhdisteitä sisäilmaan. Asumisterveysasetuksessa 545/2015 määritellään sisäilman epäpuhtauksille raja-arvoja, joiden ylittyessä ihmiselle aiheutuu altistusoireita ja viihtyisyys heikkenee (taulukko 1). [5, s. 17.] Hiilidioksidin osalta sisäilman toimenpiderajaksi asumisterveysasetuksessa mainitaan 1150 ppm yli ulkoilman arvon [8]. Kuitenkin ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta todetaan, että uuden rakennuksen ilmanvaihto tulisi suunnitella niin, että sen käytön aikainen hetkellinen hiilidioksidipitoisuus saa olla enintään 800 ppm yli ulkoilman arvon [9].

Taulukko 1. Epäpuhtauksien toimenpiderajoja sisäilmassa [8]

EPÄPUHTAUKSIEN TOIMENPIDERAJOJA SISÄILMASSA	
YHDISTE	**TOIMENPIDERAJA**
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	
– kokonaispitoisuus	400 µg/m^3
– yksittäisen yhdisteen pitoisuus	50 µg/m^3
Formaldehydi	
– vuosikeskiarvo	50 µg/m^3
– 30 min mittauksen keskiarvo	100 µg/m^3
Tupakansavu	
– ilman nikotiinipitoisuutena mitattuna	0,05 µg/m^3
Hiukkasmaiset epäpuhtaudet	
(24 tunnin mittauksen aikana)	
– hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	50 µg/m^3
– pienhiukkaset (PM2,5)	25 µg/m^3
Hiilidioksidi	2100 mg/m^3
Naftaleeni	10 µg/m^3
2-etyyli-1-heksanoli	10 µg/m^3
Styreeni	40 µg/m^3
Hiilimonoksidi	7 mg/m^3

Suurin osa sisäilman hiilidioksidista on peräisin ulkoilmasta, mutta sisätiloissa suurin hiilidioksidin lähde on ihminen itse [10]. Sisäilman korkea hiilidioksiditaso kertoo riittämättömästä ilmanvaihdosta. ”Koska hengityksen ja ihon kautta vapautuvien epäpuhtauksien määrä on likimain verrannollinen hiilidioksidin tuottoon, voidaan hiilidioksidia käyttää kuvaamaan ilman laatua, vaikka hiilidioksidipitoisuus sellaisenaan ei olisikaan haitallisen korkea.” [2, s. 63; 11, s. 21.] Epäpuhtauksia ja niiden pitoisuuksia sisäilmassa voidaan pitää indikaattoreina sisäilman laadulle, kuitenkin osa näistä on hankalasti mitattavissa. Hiilidioksiditasojen lisäksi sisäilmastoa kuvaa tulo- ja poistoilmavirtojen mittaus päätelaitteista, nämä eivät kuitenkaan yksinään anna todenmukaista kuvaa oleskeluvyöhykkeen ilman laadusta. [5, s. 19–20.]

2.2.2 Perinteiset viihtyvyystekijät: lämpöolot, veto ja kosteus

Oikea sisäilman lämpötila on ilmastointisuunnittelun tärkein tavoite, sen avulla luodaan pohja sisätilojen viihtyisyydelle ja terveellisyydelle [11, s. 1]. Sisäilman lämpöolot vaikuttavat pääasiassa ihmisen kokemaan viihtyvyyteen, mutta sillä on myös terveydellisiä vaikutuksia, kun mennään äärilämpötiloihin [10, s.

35]. Tilassa vallitsee oikeanlaiset lämpöolot silloin, kun tilan käyttäjät eivät osaa sanoa, tulisiko lämpötilan olla korkeampi vai matalampi. Tyypillisesti tämä tilanne saavutetaan sisälämpötiloissa 21–23 ˚C, mutta lämpötilan viihtyisyyden kokeminen on yksilöllistä ja riippuu ihmisen aineenvaihdunnan tasosta, vaatetuksesta sekä fysiologisista ominaisuuksista. Optimilämpötilassa valtaosa tilan käyttäjistä on tyytyväisiä sisäilman lämpötilaan. Liian korkeiden lämpötilojen on todettu aiheuttavan sairasrakennusoireiden lisääntymistä talvisin jo lämpötiloissa 23…25 ˚C. Sairasrakennusoireilla on todettu yhteys myös sairaspoissaolojen määrään. Yleisesti lämpöoloilla on todettu olevan negatiivisia vaikutuksia työsuorituksiin ja tuottavuuteen, kun lämpötilat ovat viihtyisyysalueen ulkopuolella. [11, s. 1–2, 15–16.] Asunnon huoneilman lämpötiloille on määritelty toimenpiderajat sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/2015 [8].

Keskimääräistä voimakkaampi paikallinen lämmönsiirto ihmisen iholla aiheuttaa vedon tunnetta [11, s. 9]. Koettuun vedon tunteeseen vaikuttavat ilman liikenopeus, ilman lämpötila, lämpösäteily sekä vaatetus. Alhainen lämpötila voi aiheuttaa vedon tunnetta jopa ilman havaittavaa ilman liikettä. Optimilämpötilaa korkeammissa lämpötiloissa taas vedoksi koettu ilman liike parantaa viihtyisyyttä sen jäähdyttäessä kehoa. [10, s. 36; 11, s. 9–10.] Vedon tunnetta voi aiheuttaa ilmanvaihtojärjestelmät, joiden päätelaitteet eivät ole tilaan sopivat tai tuloilmavirtaus on suunnattu väärin. Huonot ikkunat, vuotava rakennuksen vaippa tai kylmää hohkaavat pinnat voivat aiheuttaa myös tuntemuksia vedosta. Veto itsessään ei aiheuta sairauksia, mutta se voi aiheuttaa tuki- ja liikuntaelinsairauksien oireilua, heikentää toimintakykyä sekä aiheuttaa viihtyvyyden tunteen heikkenemistä. [10, s. 36.]

Sisäilman kosteutta voidaan ilmaista suhteellisen kosteuden avulla. Suhteellinen kosteus kuvaa vesihöyryn määrää ilmassa suhteutettuna siihen, kuinka paljon kyseessä olevassa lämpötilassa vesihöyryä mahtuu ilmaan [2, s. 81]. Sisäilman kosteudelle on olemassa tavoitearvot, jotka määräytyvät kosteuden aiheuttamien haittojen perusteella. Liian korkea suhteellinen kosteus sisäilmassa edesauttaa pölypunkkien esiintyvyyttä ja mikrobien kasvua. Liian kuiva ilma taas aiheuttaa limakalvojen, silmien ja ihon kuivumista. Suhteellisen kosteuden tavoitearvo on kesäisin 30–60 % ja talvisin 25–45 %. Yleisesti

Suomessa ei kesäisin ole ongelmia ilmankosteuden kanssa, mutta talvisin ulkoilma on pakkasesta johtuen kuivaa, ja sen seurauksena myös sisäilma on huomattavasti kuivempaa kuin kesäisin. Koska sisätilojen lämmin ilma kuitenkin pystyisi sitomaan kosteutta enemmän, on sisäilman suhteellinen kosteus tästä johtuen talvisin matala. Tilannetta huonontaa vielä entisestään poistoilmanvaihto, joka kuljettaa tiloissa syntyneen kosteuden pois. Ilmanvaihdolla on myös positiivisia vaikutuksia ilman kosteuden osalta. Oikein toimiva ilmanvaihto poistaa liiallista kosteutta esimerkiksi pesutiloista, jolloin kondensoitumista pinnoille ei tapahdu ja pinnoille ei pääse syntymään otollisia olosuhteita mikrobikasvustoille. Yleensä sisäilman liiallinen kosteus johtuu ihmisen omasta toiminnasta. [10, s. 37–38].

2.2.3 Ääniolot

Ääni ja haitalliseksi tai ei toivotuksi koettu ääni, eli melu, ovat ihmisen yksilöllisesti kokemia asioita. Ääni muuttuu meluksi, kun ihminen kokee siitä olevan haittaa. Jokin ääni voi olla toiselle ihmiselle melua, ja sama ihminen voi kokea saman äänen eri tilanteessa meluna. Äänen epämiellyttäväksi meluksi kokemiseen voi vaikuttaa aika, paikka tai tilanne. [2, s. 68]. Melu yhdistetään perinteisesti kuulon heikkenemiseen. Kuulon heikkenemiseen kuitenkin vaaditaan yli 80 desibelin melu, jollaista ei tyypillisesti tavata asuinrakennuksissa. [10, s. 38]. Melun on todettu aiheuttavan uniongelmia sekä heikentävän unen laatua. Sen lisäksi se aiheuttaa tiedostamattomia vaikutuksia, jotka ilmenevät verenpaineen ja sykkeen nousuna. Melu aiheuttaa elimistössä tiedostamatonta stressiä, ja pitkittynyt stressi voi aiheuttaa vakaviakin terveyshaittoja. Tutkimuksissa on lisäksi havaittu melualtistuksen yhteys kohonneeseen riskiin saada sydäninfarkti. [12.]

Ilmanvaihdon laitteissa syntyy ääntä, jonka ihmiset saattavat kokea meluksi. Tästä syystä LVI-laitteille on määritelty suurimmat äänitason suunnitteluarvot. [2, s. 68.] Melun raja-arvot ovat esitelty ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä taulukossa 2. [13.]

Taulukko 2. Vaatimukset uuden rakennuksen meluntorjunnalle [13]

Huone- ja ulkotila	Jatkuva laajakaistainen ääni		Impulssimainen tai kapeakaistainen ääni	
	Keskiäänitaso $L_{Aeq,T}$ (dB)	Enimmäisäänitaso $L_{AFmax,T}$ (dB)	Keskiäänitaso $L_{Aeq,T}$ (dB)	Enimmäisäänitaso $L_{AFmax,T}$ (dB)
Asuin-, majoitus- tai potilashuone	28	33	25	30
Asunnon keittiö tai rakennuksen harrastustila	33	38	30	35
Porrashuone tai uloskäytävä	38	43	35	40
Ulkotila	45	50	40	45

Asetuksen raja-arvot koskevat myös taloteknisiä laitteita ja niistä aiheutuvia ääniä. Asetus koskee uudisrakennuksia, mutta asetuksessa esitettyjä raja-arvoja voidaan pitää hyvien ääniolojen mittarina. [13.]

3 ILMANVAIHDON PUHDISTUS, TASAPAINOTUS JA HUOLTO

Ilmanvaihdon asianmukaisen huollon sekä tarpeen vaatiessa puhdistuksen ja säädön avulla pidetään huoli siitä, että järjestelmä toimii suunnitellulla tavalla. Oikein toimiva ilmanvaihto pitää huolta hyvästä sisäilman laadusta ja näin edistää tiloja käyttävien ihmisten terveyttä.

3.1 Lainsäädäntö

Ilmanvaihdon puhdistusten ohjenuorana voidaan pitää sisäasiainministeriön asetusta ilmanvaihtokanavien ja -laitteistojen puhdistamisesta 802/2001. Asetus on jo kumoutunut uusien pelastuslakien tullessa voimaan, mutta ilmanvaihdon puhdistukselle ei ole luotu uutta ohjeistusta, joten vanhaa ohjeistusta pidetään edelleen ohjenuorana. Uudessa pelastuslaissa ei oteta kantaa ilmanvaihdon puhdistuksien suorittamisen aikaväleihin tai itse puhdistustyöhön. Uusimmassa pelastuslaissa todetaan ainoastaan, että rakennuksen haltija on vastuussa siitä, että ilmanvaihdon laitteet ja kanavat ovat puhdistettu niin, että ne eivät aiheuta tulipalon vaaraa [14].

Puhdistuksen ohjenuorana pidettävässä jo kumotussa sisäasiainministeriön asetuksessa 802/2001 määriteltiin puhdistettavaksi vuosittain ammattikeittiöiden, leipomoiden, tekstiilitehtaiden, maalaamojen tai muiden tilojen, joissa käytetään tai valmistetaan palavia nesteitä. Vuosittain puhdistettavissa kohteissa kanavistoon kertyy helposti paloa levittäviä aineita, kuten rasvaa, pölyä tai muuta helposti syttyvää likaa. [1, s. 67; 15.] Viiden vuoden välein määriteltiin puhdistettavaksi koulujen, sairaaloiden, vanhainkotien, hotellien ja asuntoloiden ilmanvaihtokanavat [15]. Asetuksessa ei ollut määritelmää sille, kuinka usein asuinrakennuksien ilmanvaihtojärjestelmiä tulisi puhdistaa. Esimerkiksi hengitysliitto kuitenkin suosittelee asuinrakennuksen ilmanvaihdon puhdistettavaksi 5–10 vuoden välein [16].

Asetus määritteli puhdistustyön toteutusta myös sen osalta, mitä puhdistustyössä tulee tehdä. Puhdistustyöhön asetuksen perusteella kuului kanavien tiiveyden tarkistus ja palonrajoittimien toiminnan tarkastus. Puhdistustyöstä tuli suorittamisen ohessa laatia myös puhdistuspöytäkirja, josta selvisi kohteen tiedot, työn suorittaja, ajankohta, tehdyt puhdistustoimenpiteet, työmenetelmät, sekä mahdolliset puutteet ja tehdyt korjaukset. [1, s. 79–82; 15.]

3.2 Asukkaan omat huolto- ja puhdistustoimenpiteet

Ilmanvaihdon suunnitelmien mukaisen toiminnan takaamiseksi on asukkaan itse tehtävä myös huoltotoimenpiteitä. Omakotitaloissa vastuu ilmanvaihdon ylläpidosta ja huollosta jää omistajalle, mutta myös taloyhtiöissä asuntojen sisällä olevien ilmanvaihdon päätelaitteiden puhdistus kuuluu osakkaalle. Näihin huoltotoimiin kuuluvat päätelaitteiden puhdistuksen ohella korvausilmaventtiilien ja lieden kohdepoiston rasvasuodattimen puhdistus sekä omakotitaloasujilla myös ulkoilmasäleikön puhdistus ja ilmanvaihtokoneen suodattimien vaihto. Tyypillisesti ilmanvaihdon päätelaitteet voidaan puhdistaa joko kostealla liinalla pyyhkien tai huuhtelemalla juoksevan veden alla. [16.] Ulkoilmasäleikkö tulee puhdistaa roskista, mikäli niitä siihen on kertynyt. Ulkoilmasäleikkö puhdistetaan esimerkiksi imuroimalla. [5, s. 91; 17.] Rasvasuodattimen puhdistus kuuluu taloyhtiöissä myös osakkaan vastuualueeseen, rasvasuodattimen voi pestä tiskikoneessa tai hanan alla. Rasvasuodatin tulisi

puhdistaa käytön määrästä riippuen jopa kerran kuussa. [18.] Lisäksi kaupunkien taajama-alueilla ilmanvaihtokoneen suodattimia tulisi vaihtaa kaksi kertaa vuodessa. Suodattimet olisi hyvä vaihtaa ennen kevään siitepölyaikaa. Likaiset tuloilman suodattimet saattavat toimia epäpuhtauksien lähteenä sisäilmaan, ja tästä syystä ne tulee vaihtaa tarvittaessa. [17.]

3.3 Ilmanvaihdon puhdistustyö

Ilmanvaihdon puhdistustyön sujuvuus taataan jo suunnitteluvaiheessa. Jotta puhdistustyö onnistuu mahdollisimman helposti, on kanaviin asennettava puhdistusluukkuja. Luukkuja tulee sijoittaa kanavistossa palopeltien ja säätöpeltien yhteyteen, jotta niiden puhdistus ja tarkastus on mahdollista, vaakasuoriin kanaviin 10 metrin välein, pystykanavien molempiin päihin sekä muihin kanaviston vaikeasti puhdistettaviin osiin. Lisäksi puhdistusluukut tulee asentaa siten, että niitä pääsee helposti käyttämään. Suunnitteluvaiheessa taataan myös itse ilmanvaihtokoneen huollettavuus ja puhdistettavuus. Ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon ilmanvaihtokoneen huoltosuunta ja tarvittava tila, jotta huolto- ja puhdistustoimenpiteet voidaan suorittaa. Yleisesti huoltoa varten tarvitsee varata vähintään ilmanvaihtokoneen korkuinen ja levyinen tila huoltosuunnassa. [11, s. 109, 122–123.]

Ilmanvaihdon puhdistustyö voidaan jakaa eri osa-alueisiin. Päätelaitteiden puhdistus, kanaviston puhdistus, kohdepoistojen ja koneen sekä sen osien puhdistus. Eri osa-alueiden puhdistuksessa käytetään erilaisia niihin soveltuvia välineitä ja tekniikoita parhaan lopputuloksen takaamiseksi. Kohteen ilmanvaihtotapa sekä puhdistettavan epäpuhtauden koostumus vaikuttavat puhdistustyöhön ja käytettäviin menetelmiin. Yleensä puhdistustyössä edetään ilman käytön aikaisen virtaussuunnan mukaisesti. Tällä pyritään siihen, että jo puhdistettua osaa järjestelmästä ei liata uudelleen tilanteessa, jossa työ joudutaan keskeyttämään ja ilmanvaihtojärjestelmä käynnistetään. [1, s. 42, 59–78.]

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtautta ja puhdistuksen tarvetta voidaan arvioida visuaalisesti. Arvioinnissa käytetään laadittuja puhtausasteikkoja, jotka perustuvat puhtausluokkiin P1 ja P2. Pyöreiden kanavien kohdalla visuaalista

vertailua tehdään kuuteen eri kuvaan, jotka löytyvät rakennustiedon ohjekortista 39–10409. [19.]

3.3.1 Työkalut

Tyypillisiä työkaluja ilmanvaihdon puhdistuksessa ovat erilaiset harjat, joita pyöritetään alipaineistetussa kanavassa akselin päässä. Akseleita voidaan pyörittää jollain voimanlähteellä esimerkiksi porakoneella. Harjan koko ja materiaali riippuu kanavan koosta ja epäpuhtauden laadusta. Tyypillisesti harjat ovat hieman kanavan kokoa suurempia, jolloin ne pyöriessään puhdistavat koko kanavapinnan. Harjat ovat usein materiaaliltaan nylonia. Työssä tarvitaan siis myös alipaineistusyksikköä ja siihen liittyviä osia, kuten imuputkia ja suodatinyksikköä (kuva 4). Muita puhdistustyössä tarvittavia työkaluja ovat kompressori ja paineilmapistooli, pölynimuri ja erilaiset käsin käytettävät harjat ja rätit, joiden avulla puhdistetaan esimerkiksi ilmanvaihtokoneen eri osia ja kammioita. Joissain tapauksissa puhdistustyössä tarvitaan myös puhdistusaineita, liuottimia ja desinfiointiaineita. [1, s. 42–58.]

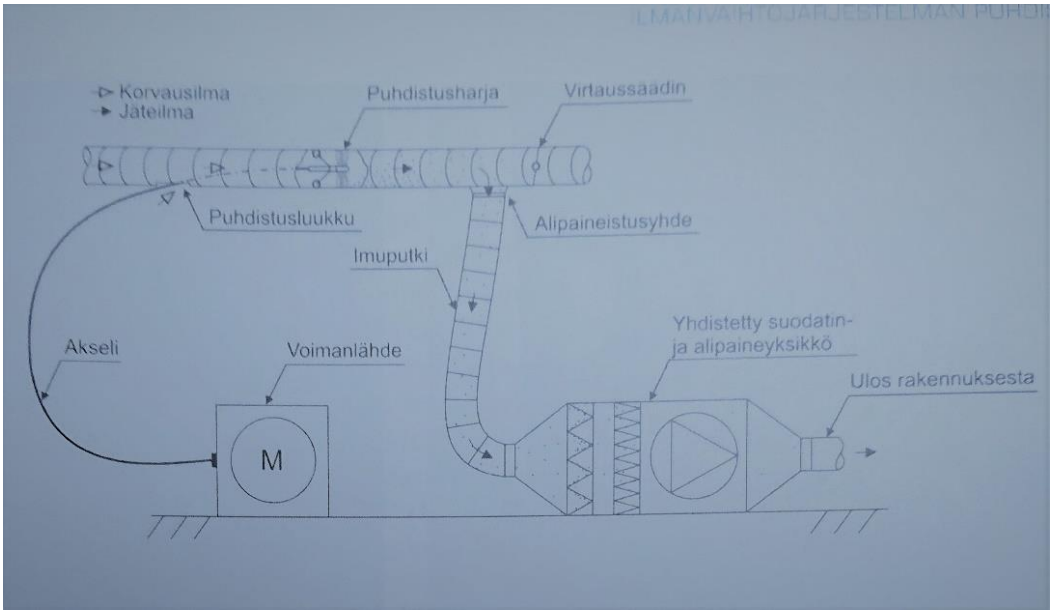


Kuva 4. Vasemmalla tyypillisiä tarvittavia työkaluja. Eripituisia akseleita, erikokoisia harjoja, pesuainepullo ja porakone harjan pyörittämiseen. Oikealla alipaineistaja suodatinyksiköllä kytkettynä raitisilmakanavaan imuletkulla

Lisäksi nykyään on saatavilla myös kameroin varustettuja puhdistusrobotteja, joilla voidaan seurata reaaliajassa puhdistustyötä. Roboteilla voidaan kanavan harjaamisen lisäksi myös suihkuttaa paineilmaa ja levittää puhdistukseen tarvittavia kemikaaleja. [20.]

3.3.2 Kanaviston puhdistus

Kanavistojen puhdistustyötä tehdään usein vähintään kahden henkilön työryhmissä. Yleensä toinen ohjaa ja käsittelee puhdistusharjaa tai -laitetta kanavassa, kun toinen avustaa ohjaamalla puhdistusharjan pyörimisnopeutta ja pyörimissuuntaa sekä ohjaa harjan akselia puhdistusharjan käsittelijälle. Kanavistoa harjatessa kanavisto täytyy olla alipaineistettu alipaineyksiköllä, jotta irti harjattavat epäpuhtaudet kulkeutuvat kanavistosta ulos (kuva 5).



Kuva 5. Ilmanvaihdon kanaviston puhdistuksen periaatekuva [1, s. 45]

Lisäksi ilman nopeus puhdistettavissa kanavissa tulee olla tarpeeksi korkea, jotta epäpuhtaudet kulkeutuvat sen mukana alipaineyksikön suodattimeen saakka. Epäpuhtauksien laatu määrittelee tarvittavan kuljetusnopeuden (taulukko 3). [1, s. 60–63.]

Taulukko 3. Eri epäpuhtauksien ulos kuljettamiseen vaadittava kuljetusnopeuksia ilmanvaihdon puhdistuksen yhteydessä [1, s. 63]

Epäpuhtauden tyyppi	Esimerkki epäpuhtaudesta	Kuljetusnopeus (m/s)
Kevyt hieno pöly	Puuvillanukka	10–13
Kuiva pöly	Muovipöly	13–18
Tyypillinen teollisuuspöly	Sahanpuru (märkä)	18–20
Raskas pöly	Metallipöly	20–23
Raskas tai märkä pöly	Märkä sementtipöly	>23

Yleisesti ottaen mitä kevyempää pöly on, sitä pienemmän kuljetusnopeuden se vaatii. Raskaammat pölyt, kuten metallipöly, vaativat suuremman kuljetusnopeuden, jotta ne kulkeutuvat kanavistosta ulos.

3.3.3 Päätelaitteiden puhdistus

Päätelaitteiden puhdistus suoritetaan valmistajan ohjeistuksen mukaan. Riippuen päätelaitteen rakenteesta puhdistus voidaan suorittaa paineilmalla, harjaamalla, pyyhkimällä tai pesemällä päätelaite käsin esimerkiksi tiskiharjan avulla. [21.] Kuvassa 6 pölyn lähes kokonaan tukkima poistoilman päätelaite.



Kuva 6. Pölyn ja rasvan yhteisvaikutuksesta tukkeutunut poistoilman päätelaite

Päätelaitteisiin liittyvien tilavuusvirran säätölaitteiden säätöarvot kirjataan ylös ennen puhdistusta. Päätelaitteiden säätöasennot palautetaan puhdistuksen jälkeen alkuperäisiin arvoihinsa, jotta tilavuusvirtoja ei sekoiteta ja mahdollinen säätötyö, joka tehdään jälkikäteen, ei vaikeudu tarpeettomasti. [1, s. 66.]

3.3.4 Ilmanvaihtokoneen ja sen osien puhdistus

Ilmanvaihtokoneen tulee olla puhdas, jotta se toimii suunnitellulla tavalla. Ilmanvaihtokone, sen kammiot ja muut osat puhdistetaan pyyhkimällä, harjaamalla, imuroimalla sekä paineilman avulla. [1, s. 62.] Lämmöntalteenottolaitteen puhdistustapa riippuu lämmöntalteenottolaitteen rakenteesta sekä kertyneen lian laadusta. LTO-laitteeseen kertynyt rasva esimerkiksi poistetaan pesemällä, jos kyseessä on ristivirtalämmönsiirrin. [22.] Tyypillisesti ristivirtalämmöntalteenotto voidaan pestä vesisuihkun ja liuottimien kanssa, kun taas pyörivä LTO puhdistetaan paineilman avulla. [1, s. 62.] Lämmöntalteenottolaite ja jälkilämmityspatterit tulee puhdistaa, koska niiden pinnalle kertyvä materiaali heikentää lämmön siirtymistä. Lämmönsiirron heikentyminen taas laskee lämmöntalteenoton hyötysuhdetta sekä jälkilämmityspatterin kykyä lämmittää ilma suunniteltuun tuloilman sisäänpuhalluslämpötilaan. [22.]

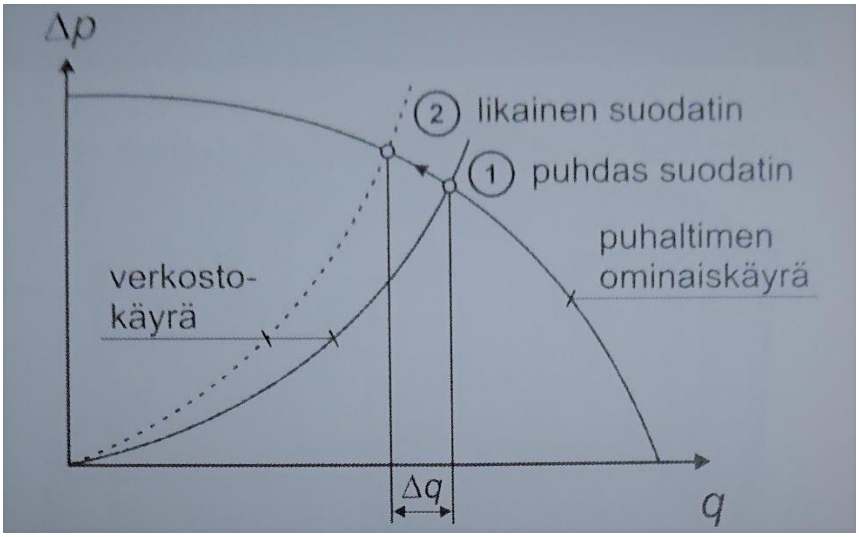
Ilmanvaihtokoneen puhaltimet puhdistetaan harjaamalla ja imuroimalla. Puhaltimiin ja niiden siipiin kertyvä lika ja pöly laskee puhaltimien suorituskykyä. Ilmanvaihtokoneen kammiot puhdistetaan pyyhkimällä ja imuroimalla, jotta lika ja kosteus yhdessä eivät tarjoa kasvualustaa mikrobeille (kuva 7).



Kuva 7. Vasemmalla poistoilmapuhaltimen siipiin kerääntynyttä likaa sekä lian ja kosteuden aiheuttamaa korroosiota. Oikealla ilmanvaihtokoneen kammion pohjalle kertynyttä siitepölyä.

Lisäksi ilmanvaihtokoneen puhdistuksen yhteydessä on anturit ja virtaussäätimet puhdistettava, jotta järjestelmän säädöt toimivat oikein. Koneen puhdistuksen yhteydessä tarkastetaan myös järjestelmän kunto. Tähän kuuluu esimerkiksi puhaltimien laakeriäänien kuuntelu, hihnan kunnon ja kireyden tarkastus, hihnapyörien kunnon tarkastus ja linjaus hihnan kanssa, äänenvaimentimien kuntotarkastus. Tarkastusten määrä ja laatu riippuu ilmanvaihtokoneen rakenteesta. [1, s. 62, 73.] Puhaltimiin voi tulla myös päälle päin näkymättömiä ongelmia, kuten käynnistyskondensaattorien vanhentumista. Kondensaattorien vanhentuminen ja kapasitanssiarvon muuttuminen voi aiheuttaa puhaltimelle tehon menetystä. Puhaltimen tehon menetys tulee yleensä ilmi kohteen ilmamäärien mittauksen ja säädön yhteydessä. [23.]

Ilmanvaihtokoneen puhdistuksen yhteydessä vaihdetaan tyypillisesti myös suodattimet. Likaantuneet suodattimet aiheuttavat painehäviötä, joka taas vaikuttaa verkoston kokonaispainehäviöön ja sitä kautta laskee puhaltimen tilavuusvirtaa (kuva 8).



Kuva 8. Likaisen suodattimen vaikutus verkoston painehäviöön ja tilavuusilmavirtaan [1, s. 76]

Puhdistuksen yhteydessä pestään myös mahdolliset sähkösuodattimet ja kemialliset suodattimet, mutta niiden huolto vaatii erityisosaamista. [1, s. 73–76.] Omakotitalokoneiden sähkösuodattimet voidaan kuitenkin pestä suihkuttamalla sähkösuodattimeen niiden pesuun tarkoitettu pesuaineliuos ja huuhtelemalla vedellä (kuva 9).



Kuva 9. Sähkösuodattimesta liuottimella irtoavaa likaa

Sähkösuodattimen tulee antaa kuivua huolellisesti ennen käyttöönottoa. Kemiallisen suodattimen rakeet täytyy vaihtaa vähintään kolmen vuoden välein, eikä sitä tule pestä. [3, s. 5.]

3.3.5 Kohdepoistojen puhdistus

Kohdepoistojen puhdistuksen yhteydessä puhutaan usein keittiöiden huuvan ja sen kanaviston puhdistuksesta. Suurissa ammattimaisissa keittiöissä huuvan ja rasvakanavan puhdistus on pakollista vuosittain. Tyypillisesti puhdistustyötä tehdään mekaanisesti kaapimalla, koska kanavistoa ei voi pestä vedellä, eikä harjaaminen poista pinttynyttä rasvaa kanavan seinämistä. Asunnoissa kanavat harjataan, koska kanavakoot ovat pieniä ja niihin ei usein ole mahdollista päästä käsiksi. Asunnoissa ruokaa laitetaan vähemmän, jolloin kanaviin kertyy myös vähemmän rasvaa. Huuvan ja sen kanavan puhdistuksen yhteydessä rasvasuodatin pestään kuumalla vedellä tai tiskikoneessa pesten. Lisäksi huuvan toiminnasta vastaavan huippuimurin kunto tarkastetaan ja sen siivet puhdistetaan kaapimalla, harjaamalla ja pyyhkimällä. [1, s. 76–70.]

3.4 Ilmanvaihdon tasapainotus ja mittaukset

Ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotuksen tavoitteena on säätää tulo- ja poistoilmavirrat ilmanvaihtosuunnitelman mukaisiksi. Tilavuusvirtojen tasapainotus on syytä ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, sillä huonosti suunniteltu järjestelmä voi olla mahdoton tasapainottaa oikein. Tilavuusvirtojen säätämisellä ja järjestelmän tasapainotuksella pyritään myös takaamaan järjestelmän oikea toiminta, jolloin sisäilman laatu pysyy hyvänä. Tasapainotuksella on myös energian kulutuksen kannalta vaikutusta. Tilavuusvirrat tulee mitata ja tasapainottaa mikäli on syytä epäillä, että tilavuusvirtoja ei ole tasapainotettu ennen järjestelmän käyttöönottoa tai jos kanavistoon tehdään muutostöitä. Myös ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen yhteydessä tulee suorittaa mittaukset. Mittalaitteet tulee olla kalibroitu ammattilaisen toimesta, jotta mittaustuloksia voidaan pitää luotettavina. [1, s. 113, 115–116.]

Tyypillisesti ilmanvaihdon puhdistuksen yhteydessä säädön tarve on vähäistä, mikäli se on alun perin suoritettu huolella ja puhdistuksen yhteydessä ei päätelaitteiden avauksiin tai säätöpeltien säätöarvoihin ole tehty muutoksia. Tästä

huolimatta säätö tehdään aina ilmanvaihdon puhdistustyön jälkeen. Säädöllä pyritään saavuttamaan suunnitellut arvot, mutta eroa saa olla enintään 20 prosenttia tilakohtaisesti ja kokonaisuudessa 10 prosenttia sunnitellusta. Säätötyöstä tehdään aina myös mittauspöytäkirja, josta selviää tilakohtaiset mitatut ja suunnitellut ilmamäärät, sekä kohteen ja työn suorittajien muita tietoja. [1, s. 115–127.]

4 MITTAUKSET

Sisäilmaston laatua ja tavoitetasojen täyttymistä voidaan selvittää tekemällä mittauksia sisäilmasta. Ongelmalliseksi koetuissa tiloissa mittausten avulla voidaan myös pyrkiä selvittämään ongelmien lähdettä. Tyypillisiä sisäilmaston tutkimiseen käytettäviä mittauksia ovat [2, s. 69.]:

- tulo- ja poistoilmavirtojen mittaukset
- painesuhteiden mittaukset
- ilman liikenopeuden mittaukset
- lämpötilamittaukset
- kosteusmittaukset
- melumittaukset.

Lisäksi tarkempia sisäilmaston tutkimusmenetelmiä ovat erilaiset hiukkasten, kaasujen ja mikrobien mittaukset [2, s. 69].

Käytettävien mittauslaitteiden ja instrumenttien tulee olla kokonaismittausepävarmuudeltaan kyseiseen tarkoitukseen sopivia, sekä mittauslaitteiden tulee olla kalibroituja (liitteet 1; 2). Mittausepävarmuuksille on esitetty sallitut rajat standardissa SFS-EN 12599. [24, s. 10.]

4.1 Päätelaitemittaukset

Päätelaitemittauksilla saadaan mitattua huonetilojen tulo- ja poistoilmavirrat. Tällä toimenpiteellä voidaan varmistua siitä, että ilmavirrat ovat suunnitelmien mukaiset. Liian pienet tai suuret tulo- ja poistoilmavirrat voivat heikentää sisäilman laatua, aiheuttaa viihtyisyyden heikkenemistä veto- ja meluongelmien

muodossa sekä aiheuttaa turhaa energiankulutusta. Ilmavirtojen liiallinen epätasapaino voi myös aiheuttaa epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan sekä kosteusongelmia. [1, s. 95.]

4.1.1 Balometri

Balometri on mittauslaite, joka on alun perin kehitetty kenttämittauksia varten. Balometrillä voidaan mitata sekä tulo- että poistoilman päätelaitteita. Mittari koostuu mittausosasta sekä huppuosasta, jonka tehtävä on ohjata ilmavirta mittausosan antureille. Tyypillisesti balometrien mittausepätarkkuus on ±3–15 %. Mittaustarkkuus parantuu, kun ilmavirrat kasvavat. [1, s. 102.] Balometri sopii sekä tulo- että poistoilman päätelaitteille, mutta poistoilman päätelaitteiden mittaustarkkuus on parempi. Balometri mittaa ilman virtausnopeutta suoraan päätelaitteelta kuumalankaperiaatetta hyödyntäen. [25, s. 116.] Kuumalangan periaate perustuu läpi virtaavan kaasun aiheuttamaan langan jäähtymiseen. Mitä suurempi on kaasuvirran nopeus, sitä tehokkaammin se jäähdyttää kuumalankaa. Kuumalangan resistanssin mittauksen perusteella balometri laskee kaasun virtausnopeuden, koska resistanssi on riippuvainen langan lämpötilasta. [26, s. 107.]

Mittauksissa käytettiin SwemaFlow 125 -mittaushuppua sekä SwemaAir 300 -yleismittaria. Mittaushupussa on kuumalankojen muodostama verkko, joka mittaa useasta pisteestä hupun läpi kulkevaa ilmavirtaa. Mittaushupun tarkkuudeksi on ilmoitettu ±3,5 %. [27, s. 2.]

4.1.2 Paine-ero mittaus

Paine-eroa voidaan mitata manometrin avulla. Paine-eroa mitataan tyypillisesti jonkin laitteen ylitse. Laite voi olla ilmanvaihdon päätelaite, kanavaan asennettava säätöpelti tai erillinen mittausyksikkö. Laitteissa voi olla kiinteät mittayhteet, joista paine-eroa laitteen yli mitataan, mutta paine-eromittauksella voidaan mitata myös tulo- ja poistoilman päätelaitteiden ilmavirtoja suoraan päätelaitteesta. Jotta tilavuusilmavirta saadaan selville, tulee mitata huonetilan ja päätelaitteen sisäpuolinen paine-ero. Lautasventtiileillä mittapiste on venttiilin kartion takana. Päätelaitteesta mitattaessa venttiilin on kuitenkin oltava täysin puhdas, jotta saadaan totuudenmukainen tulos. Päätelaitteella on

säätöasennosta riippuva k-arvo. K-arvon kussakin säätöasennossa määrittelee laitevalmistaja (liitteet 3; 4). Mitatun paine-eron ja päätelaitteen valmistajan taulukoista tai käyrästöistä löytyvän k-arvon perusteella päätelaitteen tilavuusilmavirta saadaan yhtälöstä 1. [25, s. 115–117.]

$$q_v = k\sqrt{\Delta p_m} \quad (1)$$

jossa	q_v	mitattu ilmavirta	[l/s]
	k	laitteen kalibroitu ilmavirran kerroin	[-]
	Δp_m	mitattu paine-ero	[Pa]

Paine-eron mittauksissa käytettiin TSI Velocicalc 9565-P -monitoimimittaria ja mittaussondia, jolla paine-ero venttiilin sisältä saadaan mitattua. TSI Velocicalc 9565-P -monitoimimittarin tarkkuus paine-eroa mitattaessa on ±1 % [28, s. 44].

4.2 Kosteuden seurantamittaukset

Ilman suhteellista kosteutta mitataan sähköisillä mittalaitteilla, joiden toiminta perustuu kapasitiiviseen ohutkalvoanturiin. Sähköiset mittalaitteet tulee muistaa kalibroida riittävän usein. [2, s. 75.] Kapasitiivinen kosteusanturi toimii ilman kosteuden ja kapasitanssin yhteisvaikutuksesta. Kun ohutkalvoanturi imee itseensä ilmasta kosteutta, anturin sähköinen kapasitanssi muuttuu. Kapasitanssia ja sen muutoksia mitataan, ja tämän perusteella mittari tulkitsee ja laskee ilman suhteellisen kosteuden. [29.] Ilman kosteusmittauksilla voidaan tutkia ilmanvaihtojärjestelmään kuuluvan kostutuksen toimintaa tai ilmanvaihdon toimivuutta huonetilan kosteuden poistamiseen. Kosteutta mitataan rekisteröivillä mittalaitteilla pitkällä aikavälillä. [24, s. 13.]

Kosteuden seurantamittaukset tehtiin Ebro EBI20-TH1 -rekisteröivillä mittareilla, jotka tallentavat mittaustulokset muistiin valitulla aikavälillä. Ebro EBI20-TH1 -mittarin tarkkuus suhteellisen kosteuden ollessa 10…90 %RH on ±3 % [30, s. 31].

4.3 Äänimittaukset

LVI-laitteiden aiheuttamasta äänestä asuinrakennuksessa mitataan A-taajuuspainotettu keskiäänitaso $L_{A,eq,T}$ (dB) ja enimmäisäänitaso $L_{A,max}$ (dB). Äänitasoja mitattaessa, mittaus suoritetaan keskeltä huonetilaa 1,2…1,5 metrin korkeudelta. Mittausaika tulee olla niin pitkä, että mittaukseen saadaan sisällytettyä mahdolliset LVI-laitteiden aiheuttamat äänet. [1, s. 110–111.]

Äänitasojen mittaukset suoritettiin Norsonic Nor140 -äänitasomittarilla. Mittarilla mitattiin 1/3 oktaavikaistoittain, jotta saadaan selville keskiäänitason ja enimmäisäänitason lisäksi häiritsevän äänen taajuus.

5 MITTAUSJÄRJESTELYT

Tutkimuksen tarkoituksena oli saada ilmanvaihdon puhdistuksen hyötyjä todennettua mittauksien avulla, niiltä osin miltä se on mahdollista käytettävissä olevilla mittalaitteilla. Kohteena tutkimuksessa oli vuonna 1996 valmistunut 140 m^2 omakotitalo, jossa on tulo-poistoilmanvaihto. Ilmanvaihto on toteutettu KAIR 80 -ilmanvaihtokoneella. Mitattaviksi asioiksi valikoituivat ilmamäärät tulo- ja poistoilman osalta, kosteuden seurantamittaukset ja äänitasomittaukset, koska kyseisillä mittauksilla saadaan havainnoitua hyvin ilmanvaihdon toimintaa ennen puhdistusta ja sen jälkeen. Mittauksia suoritettiin puhdistuksen eri vaiheissa, jotta saadaan kuva siitä, millä puhdistustoimenpiteellä oli minkäkin verran vaikutusta. Kaikissa tehdyissä mittauksissa koneen puhaltimen nopeutena käytettiin nopeutta neljä, koska käyttöohjeissa tämä on määritelty normaaliksi päiväasennoksi.

5.1 Päätelaitemittaukset

Ilmamääriä mitattiin tulo- ja poistoilman päätelaitteista. Päätelaitteina tässä rakennuksessa toimivat Fläkt Woodsin valmistamat poistoilmaventtiili KSO ja tuloilmaventtiili KTS. Lisäksi jokaisessa KTS-venttiilissä on ilmavirran suuntauslevy, joka vaikuttaa päätelaitteen k-arvoon. Mittauksia suoritettiin jokaisen puhdistustoimenpiteen jälkeen sekä ennen puhdistuksen aloittamista. Puhdistus suoritettiin kolmessa osassa. Ensin tehtiin päätelaitteiden puhdistus, sitten kanaviston puhdistus ja viimeisenä ilmanvaihtokoneen ja sen osien puhdistus.

Jokaisessa vaiheessa suoritettiin päätelaitteiden mittaukset kahdella eri tavalla, balometrillä sekä paine-eromittauksella, koska paine-eromittauksella ei saada todellisia ilmamääriä likaisista päätelaitteista, ja tästä syystä joudutaan käyttämään balometriä. Lisäksi ennen mittauksien alkua päätelaitteiden avaukset mitattiin, jotta ne saatiin pidettyä samana läpi puhdistuksen, ja täten päätelaitteilta mitatut ilmavirrat ovat vertailukelpoisia. Koska valituilla mittaustavoilla on eri mittausepävarmuus ja laitteiden epätarkkuus, kuljetettiin mittauksia rinnakkain läpi koko puhdistuksen ajan, jotta tuloksia on helpompi vertailla keskenään. Molempien mittauksien tuloksina käytettiin 10 sekunnin keskiarvoa.

5.2 Kosteuden seurantamittaukset

Kosteuden seurantamittauksia tehtiin rakennuksen kahdesta eri huoneesta. Pesuhuoneessa ja keittiössä syntyvät suurimmat kosteuskuormat, ja siksi ne valikoituivat mitattaviksi kohteiksi.

Keittiössä mittausta tehtiin lieden yläpuolella katon rajassa olevan poistoilmaventtiilin alapuolelta. Mittauksessa vettä keitettiin liedellä 40 minuuttia ja kosteuden muutosta ja poistumista tilasta mitattiin seurantamittauksella. Seurantamittauksessa käytettävä mittari tallensi mittaustuloksia kahden minuutin välein muistiin. Mittaus suoritettiin ennen ja jälkeen ilmanvaihdon puhdistuksen, jolloin saadaan kuva siitä, kuinka paljon paremmin kosteus poistuu tilasta, kun ilmanvaihtojärjestelmä, keittiön poistoilmaventtiilit ja liesikuvun rasvasuodatin ovat puhtaat.

Pesuhuoneen kosteusmittaus suoritettiin poistoilmaventtiilin alapuolelta keskeltä pesuhuonetta oleskeluvyöhykkeen ylärajan tuntumasta. Mittaukset tehtiin saunomisen aikana ja sen jälkeen jatkuvana seurantamittauksena, jolla saadaan kuva kosteuden poistumisesta pesuhuoneesta. Seurantamittauksessa käytetty mittari tallensi mittaustuloksia kahden minuutin välein muistiin. Seurantamittaukset suoritettiin ennen ja jälkeen ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen, jotta saatiin kuva siitä, kuinka paljon ilmanvaihdon puhdistus vaikutti kosteuden poistumiseen pesuhuoneesta.

5.3 Äänitasomittaukset

Äänitasomittaus tehtiin takkahuoneesta, jossa sijaitsee toinen talon kiertoilmaventtiileistä. Kiertoilmaventtiili on takan yläpuolella, ja se piti korvin kuultavaa viheltävää ääntä. Äänimittaukset suoritettiin keskeltä huonetta oleskeluvyöhykkeeltä. Äänimittaukset tehtiin ennen päätelaitteen puhdistusta ja päätelaitteen puhdistuksen jälkeen, jolloin korvin kuultava ääni hävisi. Mittaus tehtiin myös siitä syystä, että takkahuonetta käytetään ajoittain myös nukkumiseen, jolloin ääni on koettu asukkaiden toimesta erityisen häiritseväksi. Mittauksen kesto oli 30 sekuntia, koska tämä oli tarpeeksi pitkä aika ilmanvaihdon aiheuttama äänen mittaukseen sisällyttämiseen.

6 TULOKSET

Tässä osiossa käydään läpi tulokset ilmanvaihdon puhdistuksen hyödyistä ja vaikutuksista tutkimuskohteessa. Tulokset käydään läpi eri mittauksien osalta vaihe vaiheelta.

6.1 Päätelaitemittaukset

Päätelaitemittauksissa lähdettiin liikkeelle likaisen järjestelmän tulo- ja poistoilmavirtojen mittaamisesta. Lähtötilanteessa ilmavirrat mitattiin sekä balometrillä että paine-eromittarilla, jotta saadaan luotettavia tuloksia. Alkuperäinen mittauspöytäkirja (ks. liite 5). Päätelaitteiden avaukset pidettiin samana, jotta se ei aiheuta virhettä tuloksiin.

Ensimmäisellä mittauskierroksella kävi hyvin pian ilmi, että ilmanvaihto ei toimi suunnitellulla tavalla ilmamäärien jäädessä lähes jokaisella päätelaitteella suunnitelluista arvoista, kuten taulukosta 4 käy ilmi. Kokonaisilmamäärät jäivät tulon osalta vajaaksi noin 40 l/s ja poistoilman osalta lähes 56 l/s. Keittiöön oli alkuperäisessä ilmanvaihtosuunnitelmassa suunniteltu kaksi poistoventtiiliä, joista poistoilmavirtaa oli suunniteltu -40 l/s. Lähtötilanteessa poistoilmavirta keittiön osalta oli kuitenkin vain reilu neljännes suunnitellusta päätelaitteiden yhteenlasketun poistoilmavirran ollessa -12,2 l/s. Lähtötilanteessa kuitenkin rakennus oli noin 11 % alipaineinen, kun otetaan huomioon kiertoilman poistoventtiilit. Ilman liikesuuntia tulosten perusteella havainnoidessa todettiin, että

ilma liikkuu kohti keittiötä, pesuhuonetta, vessoja sekä eteistä suunnitelmien mukaisesti.

Taulukko 4. Likaisten päätelaitteiden ilmavirrat

Ensimmäinen mittaus, likaiset päätelaitteet								
Päätelaitteet		Suunniteltu	Balometri		Päätelaitteet		Suunniteltu	Balometri
Tuloilma		l/s	l/s		Poistoilma		l/s	l/s
TYÖH	KTS-100	8	3,8		ET	KSO-100	-5	-7,7
MH1	KTS-100	6	2,7		WC1	KSO-100	-10	-6,2
MH2	KTS-100	6	3,4		K1	KSO-100	-20	-9,8
OH1	KTS-100	8	4,0		K2	KSO-100	-20	-2,4
OH2	KTS-100	8	3,9		S	KSO-S-100	-5	-
TH	KTS-125	10	5,2		PH	KSO-125	-10	-7,2
ET	KTS-100	5	3,7		WC2	KSO-100	-10	-6,0
MH3	KTS-100	10	4,8		KHH	KSO-100	-10	4,9
S	KTS-100	5	3,0			**yht.**	**-90**	**-34,4**
PH	KTS-100	10	4,2		Kiertoilma			
KHH	KTS-100	8	5,2		Takka	KSO-100	-	-2,3
	yht.	**84**	**43,9**		Leivinuuni	KSO-100	-	-10,7

Seuraavassa vaiheessa päätelaitteet puhdistettiin pesemällä ne juoksevan veden alla ja pyyhkimällä. Osa poistoilman päätelaitteista oli todella likaisia ja pienestä säätöasennostaan johtuen lähes kokonaan pölyn ja muiden epäpuhtauksien tukkimia, kuten kuvasta 6 (s. 21) voidaan todeta. Eniten likaa oli kerränneet keittiön lieden yläpuolella katossa sijaitseva poistoventtiili K2 sekä takan päällä sijaitseva kiertoilmaventtiili. Tuloilman päätelaitteet eivät yleisesti juurikaan likaannu tuloilman suodatuksen vuoksi, eivätkä ne olleet nytkään likaantuneet. Päätelaitteiden puhdistuksen jälkeen tehdyissä mittauksissa ei havaittu suuria muutoksia tuloilman osalta, kuten taulukosta 5 selviää. Balometrillä tehdyt mittaukset pysyivät kokonaisilmavirran suhteen lähes identtisenä, eikä yksittäisiin päätelaitteisiin tapahtunut sellaisia muutoksia, joita voisi selittää pelkästään päätelaitteen puhdistuksella. Puhdistetut päätelaitteet mitattiin myös paine-eromittarilla, koska paine-eromittaus on tarkempi mittaustapa. Kokonaisuudessaan paine-eromittauksella saatiin lähes jokaisesta päätelaitteesta balometriä suuremmat ilmavirrat, ja tämän vuoksi tuloilmavirran summa kasvoi myös lähes 13 l/s eli liki 29 %. Tämä tulos osoittaa sen, että balometri ei välttämättä sovellu pienien tuloilmavirtausten mittaamiseen kovin hyvin niiden epätasaisesta virtauksesta johtuen.

Taulukko 5. Tuloilman päätelaitteiden ilmavirrat päätelaitteiden puhdistuksen jälkeen

Toinen mittaus päätelaitteiden puhdistuksen jälkeen						
Päätelaitteet		Suunniteltu	Balometri	Avaus	Paine-ero	q_v
Tuloilma		l/s	l/s	K-arvo	Pa	l/s
TYÖH	KTS-100	8	3,6	0,90	15,80	3,6
MH1	KTS-100	6	3,1	1,20	15,80	4,8
MH2	KTS-100	6	3,7	1,20	15,70	4,8
OH1	KTS-100	8	4,1	1,20	14,80	4,6
OH2	KTS-100	8	2,7	1,20	15,70	4,8
TH	KTS-125	10	5,7	2,00	15,70	7,9
ET	KTS-100	5	3,7	1,20	23,70	5,8
MH3	KTS-100	10	4,9	1,70	15,80	6,8
S	KTS-100	5	3,7	0,90	15,80	3,6
PH	KTS-100	10	3,9	1,20	16,80	4,9
KHH	KTS-100	8	5,6	1,50	16,20	6,0
	yht.	**84**	**44,7**			**57,5**

Poistoilman osalta päätelaitteiden puhdistuksella oli huomattavan paljon suurempi vaikutus ilmamääriin ja niiden jakautumiseen. Kuten taulukosta 6 ilmenee, poistoilman kokonaisilmavirta kasvoi pelkästään päätelaitteiden puhdistuksen seurauksena 11,5 l/s eli yli 33 %, kun vertaillaan balometrillä tehtyjä mittauksia keskenään. Kun vertaillaan tulo- ja poistoilman kokonaisilmavirtoja, voidaan huomata, että balometrillä tehtyjen mittausten ja paine-eromittauksella tehtyjen mittausten kokonaisilmavirrat ovat lähes tasapainossa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita painesuhteiden osalta tasapainotilaa. Kiertoilma tekee kokonaisuudesta molemmissa tilanteissa alipaineisen, koska osa tuloilmasta on todellisuudessa kierrätettyä ilmaa kierrätyksen kanavan ollessa kytkettynä tuloilmapuhaltimen imupuolelle. Paine-eromittauksien tuloksista laskien kokonaisuus oli tässä tilanteessa 32 % alipaineinen.

Suurimmat yksittäiset hyödyt päätelaitteiden puhdistus sai aikaan kiertoilmassa ja keittiön päätelaitteissa. Keittiön poisto K2 oli alkuperäisessä mittauksessa -2,4 l/s ja puhdistuksen jälkeen -6,6 l/s balometrillä mitattuna. Takkahuoneen kiertoilma ennen päätelaitteiden puhdistusta -2,3 l/s ja puhdistuksen jälkeen -5,9 l/s balometrillä mitattuna. Nämä kaksi päätelaitetta olivat kaikkein eniten tukkeutuneet niihin kerääntyneen pölyn ja muiden epäpuhtauksien takia.

Taulukko 6. Poistoilman päätelaitteiden ilmavirrat päätelaitteiden puhdistuksen jälkeen

Toinen mittaus päätelaitteiden puhdistuksen jälkeen						
Päätelaitteet		**Suunniteltu**	**Balometri**	**Avaus**	**Paine-ero**	**q_v**
Poistoilma		**l/s**	**l/s**	**K-arvo**	**Pa**	**l/s**
ET	KSO-100	-5	-7,0	1,40	33,90	-8,2
WC1	KSO-100	-10	-5,7	1,16	27,70	-6,1
K1	KSO-100	-20	-8,9	1,16	60,00	-9,0
K2	KSO-100	-20	-6,6	1,08	58,30	-8,2
S	KSO-S-100	-5	-	0,50	13,60	-1,8
PH	KSO-125	-10	-6,2	2,32	12,10	-8,1
WC2	KSO-100	-10	-5,4	1,90	11,00	-6,3
KHH	KSO-100	-10	-4,3	1,70	10,20	-5,4
	yht.	**-90**	**-45,9**			**-53,1**
Kiertoilma						
Takka	KSO-100	-	-5,9	0,80	74,10	-6,9
Leivinuuni	KSO-100	-	-9,5	1,16	80,70	-10,4

Seuraavassa vaiheessa koko järjestelmä alipaineistettiin ja kanavat puhdistettiin harjaamalla, jonka jälkeen päätelaitteiden mittaukset suoritettiin uudestaan, jotta saatiin selville kanavien puhdistuksen mahdolliset hyödyt. Tuloilman osalta kanavien puhdistuksella ei saatu juurikaan hyötyjä aikaiseksi, vaan tulokset olivat hyvin samanlaiset edellisen vaiheen mittauksien kanssa (taulukko 5), kuten taulukosta 7 voi huomata. Tuloilmakanavat olivat huomattavasti puhtaammat kuin poistoilmakanavat, ja sen vuoksi tulos ei ole yllättävä. Molemmilla mittaustavoilla kokonaisilmamäärät ovat liki samat kuin ennen kanavien puhdistusta. Yksittäisissä tuloilman päätelaitteissa ei myöskään havaittu merkittäviä muutoksia ilmavirtojen osalta.

Taulukko 7. Tuloilman päätelaitteiden ilmavirrat kanavien puhdistuksen jälkeen

Kolmas mittaus kanavien puhdistuksen jälkeen						
Päätelaitteet		Suunniteltu	Balometri	Avaus	Paine-ero	q_v
Tuloilma		l/s	l/s	K-arvo	Pa	l/s
TYÖH	KTS-100	8	3,7	0,90	15,20	3,5
MH1	KTS-100	6	3,1	1,20	16,00	4,8
MH2	KTS-100	6	3,5	1,20	15,00	4,6
OH1	KTS-100	8	4,4	1,20	14,50	4,6
OH2	KTS-100	8	3,1	1,20	14,20	4,5
TH	KTS-125	10	5,7	2,00	14,40	7,6
ET	KTS-100	5	3,5	1,20	22,60	5,7
MH3	KTS-100	10	4,7	1,70	14,60	6,5
S	KTS-100	5	3,4	0,90	16,20	3,6
PH	KTS-100	10	4,4	1,20	15,60	4,7
KHH	KTS-100	8	5,1	1,50	15,90	6,0
	yht.	**84**	**44,6**			**56,2**

Poistoilman osalta kanavien puhdistuksella oli enemmän hyötyjä. Taulukosta 8 huomataan, että molemmilla mittaustavoilla poistoilman kokonaisilmamäärä kasvoi muutaman litran verrattuna aikaisempaan tilanteeseen. Tällä tuloksella ei sinällään voi todistaa kanavien puhdistuksen hyötyä, koska näin pienet muutokset kokonaisilmavirrassa voidaan selittää vielä mittausepävarmuudella ja virheillä mittauksissa. Kuitenkin kun tarkastellaan paine-eromittauksen tuloksia poistoilman ja kiertoilman osalta, voidaan huomata, että jokaisen päätelaitteen mitattu paine-ero on järjestelmällisesti suurempi kuin ennen kanavien puhdistusta (taulukko 6). Kanavien puhdistuksella siis voidaan todeta olevan vaikutusta, vaikka vaikutus tässä kohtaa tilavuusilmavirtoihin onkin pieni.

Taulukko 8. Poistoilman päätelaitteiden ilmavirrat kanavien puhdistuksen jälkeen

Kolmas mittaus kanavien puhdistuksen jälkeen						
Päätelaitteet		**Suunniteltu**	**Balometri**	**Avaus**	**Paine-ero**	**q_v**
Poistoilma		**l/s**	**l/s**	**K-arvo**	**Pa**	**l/s**
ET	KSO-100	-5	-6,8	1,40	34,20	-8,2
WC1	KSO-100	-10	-5,9	1,16	31,20	-6,5
K1	KSO-100	-20	-8,3	1,16	65,00	-9,4
K2	KSO-100	-20	-6,9	1,08	62,50	-8,5
S	KSO-S-100	-5	-	0,50	14,00	-1,9
PH	KSO-125	-10	-7,0	2,32	12,80	-8,3
WC2	KSO-100	-10	-5,9	1,90	13,00	-6,9
KHH	KSO-100	-10	-4,8	1,70	12,70	-6,1
	yht.	**-90**	**-47,5**			**-55,6**
Kiertoilma						
Takka	KSO-100	-	-6,1	0,80	79,50	-7,1
Leivinuuni	KSO-100	-	-9,9	1,16	84,70	-10,7

Viimeisessä vaiheessa puhdistusta puhdistettiin ilmanvaihtokoneen kammiot, puhaltimet, lämmöntalteenottolaite, sähkösuodatin sekä ulkoilma- ja ulospuhallusilmakanava. Lisäksi koneen puhdistuksen yhteydessä vaihdettiin koneeseen puhtaat suodattimet. Tuloilman osalta ilmanvaihtokoneen puhdistuksen vaikutukset olivat positiiviset. Tuloilman kokonaismäärät kasvoivat muutamalla litralla, ja vaikka näin pienet erot mittauksissa voidaan vielä selittää mittausepävarmuudella, ei järjestelmällistä paineen kasvua tuloilman päätelaitteilla selitä muu kuin koneen parantunut kyky liikuttaa ilmaa. Kuten taulukosta 9 huomataan, ovat jokaisen päätelaitteen mitatut paine-erot kasvaneet verrattuna mittaustuloksiin, jotka saatiin ennen koneen puhdistusta (taulukko 7). Näin pieni ero kuitenkin vaikuttaa hyvin vähän ilmavirtoihin.

Taulukko 9. Tuloilman päätelaitteiden ilmavirrat iv-koneen puhdistuksen jälkeen

Neljäs mittaus iv-koneen puhdistuksen jälkeen						
Päätelaitteet		Suunniteltu	Balometri	Avaus	Paine-ero	q_v
Tuloilma		l/s	l/s	K-arvo	Pa	l/s
TYÖH	KTS-100	8	4,1	0,90	16,10	3,6
MH1	KTS-100	6	3,5	1,20	16,80	4,9
MH2	KTS-100	6	3,8	1,20	15,70	4,8
OH1	KTS-100	8	4,0	1,20	14,50	4,6
OH2	KTS-100	8	3,4	1,20	15,50	4,7
TH	KTS-125	10	6,1	2,00	15,90	8,0
ET	KTS-100	5	4,0	1,20	23,50	5,8
MH3	KTS-100	10	5,0	1,70	16,80	7,0
S	KTS-100	5	3,8	0,90	17,30	3,7
PH	KTS-100	10	4,3	1,20	17,20	5,0
KHH	KTS-100	8	5,4	1,50	17,20	6,2
	yht.	**84**	**47,4**			**58,3**

Poistoilman ilmavirrat tai paine-erot (taulukko 10) eivät parantuneet johdonmukaisesti koneen puhdistuksen yhteydessä niin, että voitaisiin vetää johtopäätöksiä ilmanvaihtokoneelle suoritettujen puhdistustoimenpiteiden vaikutuksista.

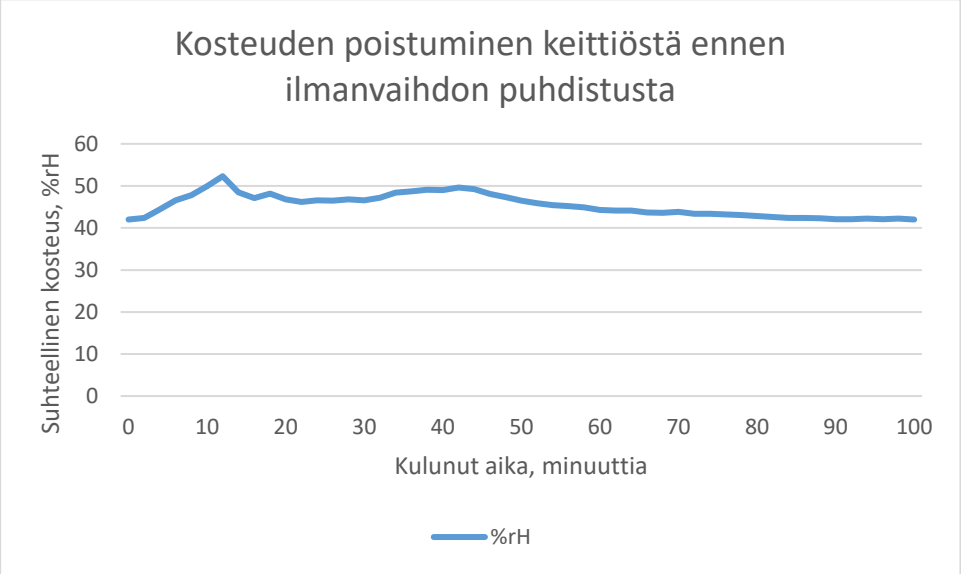
Taulukko 10. Poistoilman päätelaitteiden ilmavirrat iv-koneen puhdistuksen jälkeen

Neljäs mittaus iv-koneen puhdistuksen jälkeen						
Päätelaitteet		Suunniteltu	Balometri	Avaus	Paine-ero	q_v
Poistoilma		l/s	l/s	K-arvo	Pa	l/s
ET	KSO-100	-5	-6,9	1,40	34,80	-8,3
WC1	KSO-100	-10	-5,9	1,16	31,60	-6,5
K1	KSO-100	-20	-8,3	1,16	66,80	-9,5
K2	KSO-100	-20	-6,7	1,08	63,10	-8,6
S	KSO-S-100	-5	-	0,50	14,40	-1,9
PH	KSO-125	-10	-7,0	2,32	12,80	-8,3
WC2	KSO-100	-10	-5,9	1,90	13,20	-6,9
KHH	KSO-100	-10	-4,9	1,70	12,90	-6,1
	yht.	**-90**	**-47,5**			**-56,0**
Kiertoilma						
Takka	KSO-100	-	-6,0	0,80	78,80	-7,1
Leivinuuni	KSO-100	-	-9,3	1,16	83,50	-10,6

Kun verrataan kokonaisilmamääriä ennen koneen puhdistusta (taulukko 8) ja koneen puhdistuksen jälkeen (taulukko 10) huomataan, että ne ovat lähes identtiset.

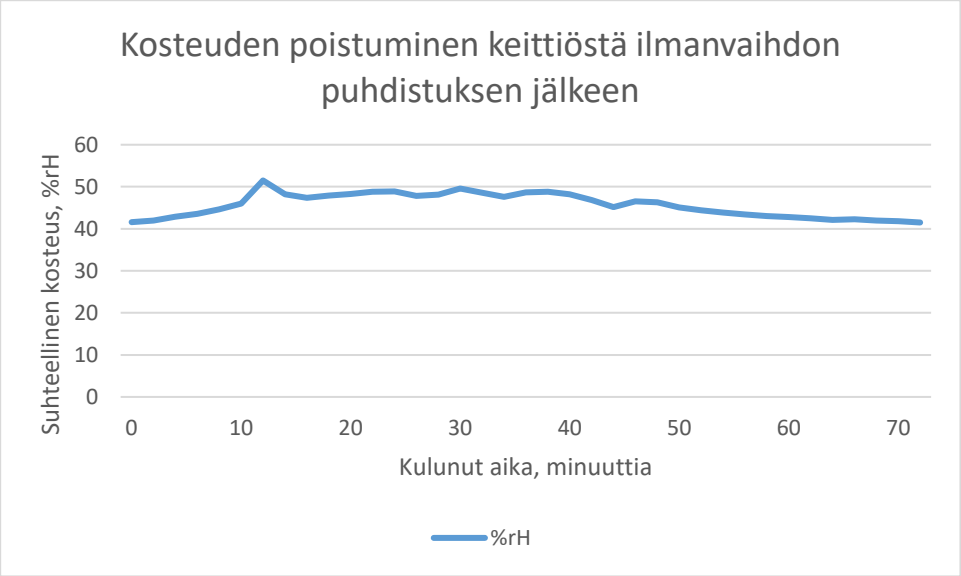
6.2 Kosteuden seurantamittaukset

Kosteuden seurantamittauksia tehtiin keittiössä ja pesuhuoneessa. Keittiön osalta haluttiin tutkia, kuinka paljon vaikutusta on liesikuvun rasvasuodattimen puhdistuksella sekä poistoilman päätelaitteiden puhdistuksella siihen, kuinka nopeasti vedenkeitosta johtuva kosteuskuorma poistuu tilasta. Molemmissa mittauksissa vettä keitettiin liedellä 40 minuutin ajan, jonka jälkeen liesi sammutettiin. Ennen puhdistusta tehdyssä mittauksessa suhteellinen kosteus nousee nopeasti 50 % tuntumaan. Alkuperäinen mittauspöytäkirja (ks. liite 6). Veden keittämisen jälkeen kestää lähes 60 minuuttia, että suhteellinen kosteus palautuu lähtötilanteen tasalle (kuva 10).



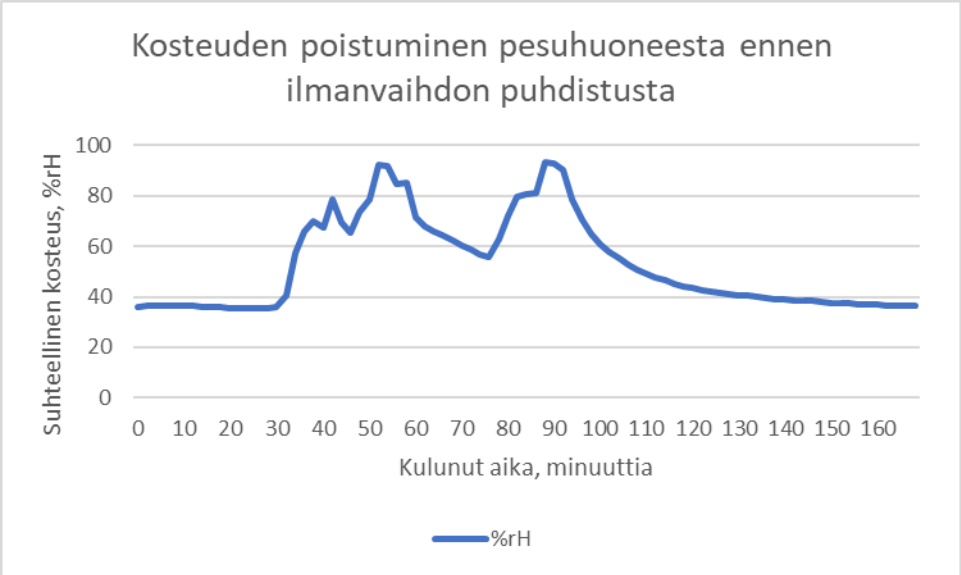
Kuva 10. Keittiön kosteusmittaus ennen ilmanvaihdon puhdistusta

Puhdistuksen jälkeen sama mittaus toistettiin. Tälläkin kertaa suhteellinen kosteus nousee yhtä suureksi, mutta veden keittämisen jälkeen kosteuden poistuminen tilasta tapahtuu huomattavasti nopeammin. Ilmanvaihdon puhdistuksen jälkeen suhteellinen kosteus palautuu lähtötilanteen tasalle jo 35 minuutin kuluessa veden keiton lopettamisesta (kuva 11).



Kuva 11. Keittiön kosteusmittaus ilmanvaihdon puhdistuksen jälkeen

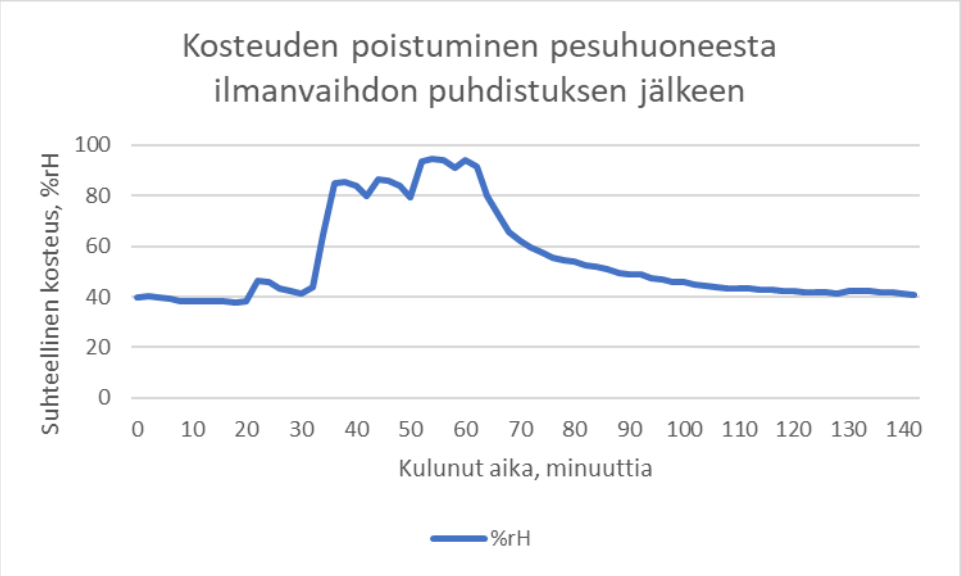
Suhteellisen kosteuden mittauksia suoritettiin myös pesuhuoneessa saunomisen yhteydessä. Alkuperäinen mittauspöytäkirja (ks. liite 7). Molemmissa mittauksissa suhteellinen kosteus pesuhuoneen puolella nousi yli 90 %. Ennen puhdistusta tehdyssä mittauksessa kosteuden palautumiseen lähtötasolle kesti noin 80 minuuttia, kuten kuvasta 12 selviää.



Kuva 12. Pesuhuoneen kosteusmittaus ennen ilmanvaihdon puhdistusta

Puhdistusten jälkeen tehdyn mittauksen tulokset olivat myös hyvin samankaltaisia. Suhteellisen kosteuden palautumiseen lähtötasolle kesti noin 80 minuuttia, eli sama aika kuin ennen puhdistusta, eikä puhdistuksella ollut

kosteusmittauksin havaittavaa hyötyä pesuhuoneen suhteellisen kosteuden poistumiseen (kuva 13).



Kuva 13. Pesuhuoneen kosteusmittaus ilmanvaihdon puhdistuksen jälkeen

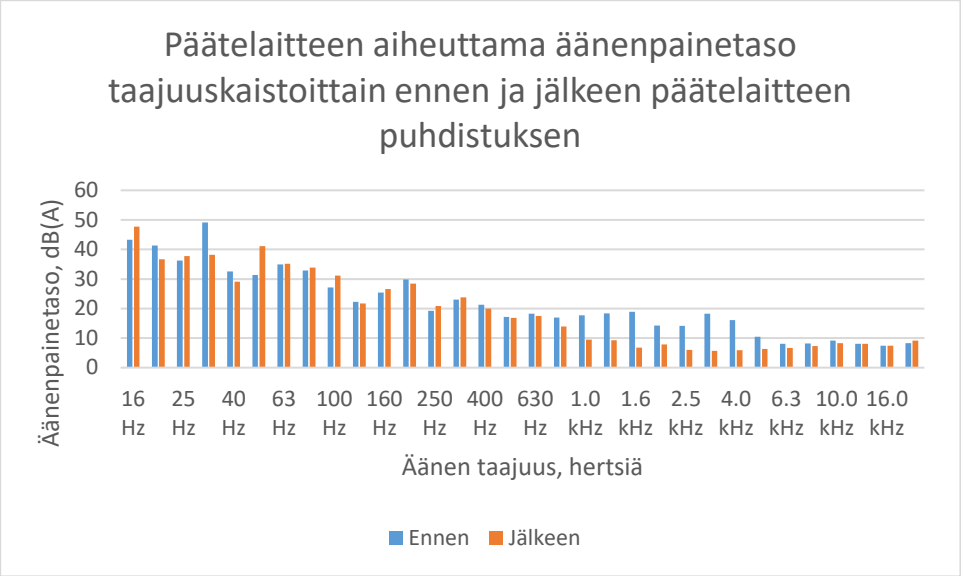
6.3 Äänitasomittaukset

Äänitasot mitattiin ennen ja jälkeen päätelaitteiden puhdistuksen. Äänitasoja mitattiin 1/3-oktaavikaistoittain 30 sekuntia kestävin mittauksin. Alkuperäiset mittauspöytäkirjat (ks. liite 8). Päätelaitteen puhdistuksella saatiin huomattavia tuloksia sekä keskiäänitason LAeq että enimmäisäänitason LAFeq osalta, kuten taulukosta 11 ilmenee. Keskiäänitaso laski 3,5 desibeliä ja enimmäisäänitasoon laskua tuli 1,8 desibeliä.

Taulukko 11. Äänitasomitattauksen tulokset

	LAeq, dB	LAFmax, dB
Ennen päätelaitteen puhdistusta	29,2	30,1
Päätelaitteen puhdistuksen jälkeen	25,7	28,3

Kun mitatut äänitasot ennen ja jälkeen puhdistuksen laitettiin ihmisen kuuloalueen osalta rinnakkain, voidaan huomata kuvasta 14, että päätelaitteen puhdistuksella oli eniten vaikutusta alueella 800–5000 Hz.



Kuva 14. Äänenpainetasot taajuuskaistoittain ennen ja jälkeen päätelaitteen puhdistuksen

Näillä taajuuksilla päätelaitteen aiheuttama keskiäänitaso laski keskiarvollisesti yli 8 dB.

7 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ TULOKSISTA

Kaikista tehdyistä mittauksista voidaan vetää johtopäätöksiä samaan suuntaan. Ilmanvaihdon puhdistuksesta on hyötyä kaikilla mitatuilla osa-alueilla ja näin ollen puhdistuksella on suora vaikutus sisäilmastoon. Päätelaitteiden mittauksilla puhdistuksen eri vaiheissa saatiin todennettua puhdistustyön eri osien hyötyjä.

Lähtötilanteessa tehtiin päätelaitteiden mittaukset puhdistamattomasta ilmanvaihtojärjestelmästä, jotta saatiin vertailupohjaa sille, kuinka paljon jatkossa tehtävät puhdistustoiminpiteet vaikuttavat. Jo ensimmäisten mittausten yhteydessä huomattiin, että järjestelmä ei toimi oikein ja ilmamäärät ovat suunnitteluarvoja huomattavasti pienempiä. Mittauksista ilmeni myös, että järjestelmä oli säädetty väärin. Käytössä olleilla venttiilien säätöasennoilla ei ollut mahdollista saavuttaa suunniteltuja ilmamääriä, koska ilmanvaihtokoneen paineentuotto ei olisi riittävä edes maksimiasennossa.

Päätelaitteiden puhdistuksella oli poistoilman päätelaitteiden osalta merkittävä hyöty. Kun lähes tukossa olleet päätelaitteet puhdistettiin, niiden ilmavirrat kasvoivat merkittävästi. Pölyn ja epäpuhtauksien tukkimat

poistoilmanpäätelaitteet voivat aiheuttaa epäedullisia tilanteita painesuhteiden, ilman liikesuuntien ja ilman laadun osalta. Keittiössä lieden yläpuolella katossa sijaitseva päätelaite oli lähes kokonaan tukkeutunut pölyn ja rasvan yhteisvaikutuksesta. Kun liesikuvun ohi menevä ruoanlaitosta johtuva höyry ja rasva ei poistu tilan ilmasta tukkeutuneen venttiilin vuoksi, se alkaa kerääntymään pinnoille ja voi luoda kasvuolosuhteita mikrobikasvustoille. Tämä taas voi johtaa sisäilman laadun heikkenemiseen. Kun keittiön tukkeutunut päätelaite puhdistettiin, keittiön poistoilmavirta kasvoi 27 %. Koko rakennuksen yhteenlaskettu poistoilmavirta kasvoi päätelaitteiden puhdistuksen myötä peräti 33 %. Kiertoilman päätelaitteista toinen poistoventtiili oli myös osittain tukkeutunut, ja sen puhdistuksella oli myös hyvin samankaltaiset vaikutukset kiertoilman kokonaismäärään. Kiertoilman kokonaismäärä kasvoi 19 %, joten päätelaitteiden puhdistuksella voidaan sanoa olevan merkittävä hyöty poisto ja kiertoilman osalta. Tuloilman osalta päätelaitteiden puhdistuksella ei merkittäviä tuloksia ollut, koska tuloilman päätelaitteet ovat lähtökohtaisesti melko puhtaita tuloilman suodatuksen vuoksi.

Seuraavassa vaiheessa puhdistettiin kanavat, jonka jälkeen samat päätelaitteiden mittaukset toistettiin. Tällä kertaa tulokset olivat hillitympiä. Ilmamääriin ei tullut suuria muutoksia, mutta poistoilmakanaviston puhdistuksella näytti olevan vaikutus päätelaitteilta mitattuihin paine-eroihin. Vaikutus ei ollut niin suuri, että se olisi lisännyt poistoilmamääriä merkittävästi, mutta päätelaitteilta mitatut paine-erot kasvoivat parhaimmillaan 5 Pa. Paine-erot poistoilman päätelaitteilla kasvoivat järjestelmällisesti. Poistoilman kokonaismäärään vaikutus oli vähäinen kokonaispoistoilmavirran kasvaessa mittaustavasta riippumatta noin 2 l/s. Kiertoilmakanavan puhdistuksen vaikutus oli taas saman suuntainen mitattujen paine-erojen kasvaessa noin 4 Pa. Tuloilman määriin kanaviston puhdistuksella ei havaittavia vaikutuksia saatu aikaiseksi. Tähän vaikuttaa tuloilman suodatus, jonka johdosta tuloilmakanavisto on lähtökohtaisesti paljon puhtaampi, eikä likaantuminen aiheuta siellä painehäviöitä. Kanaviston puhdistuksesta voidaan siis vetää johtopäätöksiä siihen suuntaan, että vaikutus on pääasiassa poistokanaviston puolella. Poistokanavistoon kertyy pölyä ja muita epäpuhtauksia huomattavasti enemmän, ja kertymät kanavistossa aiheuttavat painehäviötä.

Ennen päätelaitteiden mittauksen viimeistä vaihetta puhdistettiin ilmanvaihtokoneen puhaltimet, kammiot, ulkoilmakanava, ulospuhallusilman kanava, lämmöntalteenottolaite, raitisilman säleikkö ja sihti, sähkösuodatin sekä vaihdettiin puhtaat suodattimet. Poistoilman osalta hieman yllättäen tällä toimenpiteellä ei ollut suuria vaikutuksia. Vaikka poistoilmapuhallin oli likaantunut, ei sen puhdistuksella vaikuttanut poistoilman kokonaismäärään kummallakaan mittaustavalla. Päätelaitteilta mitattuihin paine-eroihin ei myöskään tullut järjestelmällisiä muutoksia, jotka voitaisiin tulkita koneen puhdistuksen vaikutukseksi. Tuloilman osalta vaikutuksia ilmanvaihtokoneen puhdistuksella oli enemmän. Jokaisen päätelaitteen mitattu paine-ero kasvoi, mutta suurta merkitystä tällä ei kokonaisuuden kannalta ollut. Koska poistoilman puhaltimen puhdistuksella ei ollut vaikutusta poistoilman määrään, ei luultavasti huomattavasti puhtaamman tuloilmapuhaltimen puhdistus myöskään ollut vaikuttava tekijä tuloilman osalta. Tuloilman positiivinen vaikutus luultavasti johtui likaantuneiden suodattimien vaihdosta, jonka johdosta suodattimen aiheuttama painehäviö pieneni.

Puhdistuksen osalta ilmamääriin, painesuhteisiin, ilman liikesuuntiin ja näiden kautta sisäilman laatuun suurin vaikutus näiden suoritettujen mittausten perusteella voidaan todeta olevan päätelaitteiden puhdistuksella. Päätelaitteiden puhdistuksella saatiin merkittäviä poistoilmavirran määrän kasvuja. Järjestelmän puhdistuksella suurin tilakohtainen vaikutus oli keittiössä, jossa saatiin jopa 48 % lisää poistoilmavirtaa lähtötilanteeseen verrattuna. Koko järjestelmän osalta puhdistuksen vaikutus ilmavirtojen kasvuun oli poistoilmassa 63 %, tuloilmassa 33 % ja kiertoilmassa 36 %. Poistoilmaventtiilien ja järjestelmän toiminta takaa sen, että sisäilmastoa pilaavat epäpuhtaudet poistuvat tiloista ja sisäilmasto pysyy terveellisenä. Tällä tavoin edistetään tiloja käyttävien ihmisten terveyttä ja hyvinvointia.

Ilmanvaihdon toimintaa testattiin myös poistoilman osalta kosteusmittauksin. Kosteuden seurantamittauksia tehtiin ennen ja jälkeen puhdistuksen tiloissa, joissa kosteuskuormia tyypillisesti esiintyy. Keittiössä tehdyistä seurantamittauksista havaittiin, että ilmanvaihdon puhdistuksen seurauksena tilan suhteellinen kosteus palautuu lähtötasolle huomattavasti nopeammin. Lähtötilanteessa ennen puhdistusta suhteellisen kosteuden palautuminen lähtötasolle kesti lähes 60 minuuttia, kun puhdistuksen jälkeen lähtötaso saavutettiin jo 35

minuutin jälkeen. Tulos sinällään ei ole yllättävä, kun otetaan huomioon, kuinka keittiön poistoilmavirta kasvoi koko järjestelmän puhdistuksen seurauksena peräti 48 %. Kylpyhuoneessa tehdyn kosteuden seurantamittauksen tulokset eivät osoittaneet puhdistuksen vaikuttavan kosteuskuorman poistumiseen tilassa yhtä merkittävästi. Molemmissa tilanteissa ennen ja jälkeen puhdistuksen, suhteellinen kosteus palautui lähtötasolle yhtä nopeasti. Tähän vaikutti se, että puhdistuksella ei ollut yhtä suuria vaikutuksia tilan poistoilmavirtoihin, koska lähtötilanteessa kylpyhuoneen poistoilmaventtiilit eivät olleet likaantuneet lähes tukkoon saakka, vaan ne olivat toimintakykyiset. Kosteuden poistuminen tiloista mahdollisimman nopeasti on suositeltavaa, jotta kosteutta ei tiivisty pinnoille ja näin vältytään luomasta kasvualustoja mikrobeille, jotka saattavat pilata sisäilman laatua. Pinnoille tiivistynyt kosteus voi myös aiheuttaa kosteusvaurioita rakenteisiin. Mittauksen tuloksista keittiön osalta voidaan todeta, että ilmanvaihdon puhdistuksella ja etenkin päätelaitteiden puhdistuksella on huomattava hyöty kosteuskuormien poistamisessa tiloista. Kosteuskuormien purkautuminen mitatuista tiloista olisi vielä nopeampaa, jos ilmanvaihtojärjestelmä toimisi suunnitelmien mukaisesti. Tässä tilanteessa kuitenkin kokonaisilmavirrat jäävät poiston osalta vielä 34 l/s vajaaksi suunnitelluista, mikä vaikuttaa poiston tehokkuuteen ja kosteuskuormien poistumiseen.

Ilmanvaihdon osalta tehtiin myös äänimittaus yhdessä tilassa, jossa kiertoilmakanavassa oleva poistoventtiili aiheutti korvin kuultavaa ääntä. Äänitasot mitattiin ennen ja jälkeen päätelaitteen puhdistuksen. Puhdistuksen vaikutus oli korvin kuultava, ja sen osoittivat myös mittaustulokset. Tilan keskiäänitaso laski 29,2 desibelistä 25,7 desibeliin ja enimmäisäänitaso 30,1 desibelistä 28,3 desibeliin. Lähtötilanteessa tilan LVIS-laitteista johtuva suurin keskiäänitaso oli yli sallitun rajan, mutta päätelaitteen puhdistuksella keskiäänitaso laski rajan alapuolelle. Lisäksi mittaukset suoritettiin niin, että dataa saatiin 1/3-oktaavikaistoittain. Tämän tuloksena huomattiin, että suurin vaikutus päätelaitteen puhdistuksella oli taajuuksilla 800–5000 Hz, ja näillä taajuuksilla keskiäänitaso laski keskiarvollisesti yli 8 dB. Ihmisen herkin kuuloalue sijaitsee myös näillä taajuuksilla, joten tästäkin syystä muutos on helposti havaittavissa. Tällä mittauksella pystyttiin todentamaan päätelaitteiden puhdistuksella olevan hyötyä ilmanvaihdosta tilaan aiheutuviin ääniin ja sitä kautta puhdistuksella on positiivinen vaikutus ääniolosuhteisiin. Tämä edistää tilojen

viihtyisyyttä sekä ehkäisee melun aiheuttamaa tiedostamatonta stressiä, jolla on todettu olevan negatiivisia vaikutuksia ihmisen hyvinvointiin ja terveyteen.

8 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia eri mittausten avulla, kuinka paljon hyötyä ilmanvaihdon puhdistuksella ja sen eri osa-alueilla on. Tutkimuksen tavoitteet täyttyivät hyvin ja ilmanvaihdon puhdistuksen eri osa-alueista, ja niiden vaikutuksista saatiin hyvää tietoa. Kokonaisuudessaan ilmanvaihdon puhdistuksella voidaan todeta olevan positiivisia vaikutuksia ihmisen viihtyvyyteen ja terveyteen vaikuttaviin tekijöihin rakennuksessa. Mittauksien perusteella ilmanvaihdon puhdistuksella on hyötyjä niin ilman laadun kuin ääniolosuhteidenkin osalta. Oletettavissa oli, että puhdistuksella saadaan aikaan hyötyjä etenkin ilmavirroissa, mutta yllättävää oli, kuinka paljon hyötyä päätelaitteiden puhdistuksella saatiin suhteessa muihin puhdistustöihin. Suurimmat hyödyt saatiin aikaan päätelaitteiden puhdistamisella, jolla parhaimmillaan keittiön poistoilmavirtaa saatiin lisättyä 27 %. Päätelaitteiden puhdistuksella oli vaikutusta poistoilman määriin ja sitä kautta epäpuhtauksien poistumiseen tilasta sekä ääniolosuhteisiin. Tämän perusteella voidaankin todeta, että asukkaan kannalta olisi hyödyllistä, jos ilmanvaihdosta pidettäisiin huolta myös päätelaitteiden ajoittaisella omatoimisella puhdistuksella, ilmanvaihtokoneen suodattimien vaihtamisen ja muiden huoltotoimien yhteydessä.

Ilmanvaihdon puhdistuksesta on myös muitakin hyötyjä kuin pelkästään järjestelmän puhdistuksesta johtuvat ilmeiset hyödyt. Tutkimuksen kohteessa mittauksien ja puhdistuksen yhteydessä havaittiin, että rakennuksen ilmanvaihtokone ei toimi suunnitellulla tavalla. Lisäksi kanavien puhdistuksen yhteydessä otetuista kuvista kävi ilmi, että yksi tuloilman kanavaosuus oli kierresaumastaan alkanut ruostua. Tämä viittaisi siihen, että kanavaa ei ole eristetty kunnolla ja se on alkanut ruostua kondenssin vaikutuksesta. Koska puhdistustyö on samalla myös eräänlainen kuntotarkastus, voidaan sillä havaita mahdollisia puutteita ilmanvaihtojärjestelmässä ja estää niistä johtuvien mahdollisten ongelmien syntyminen tai pahentuminen. Ilmanvaihto olisi tästäkin syystä kannattavaa puhdistaa säännöllisesti 5–10 vuoden välein. Tutkimuksen

yhteydessä tehdyt havainnot ilmanvaihtojärjestelmän toimimattomuudesta ja ongelmista johtavat tässä tapauksessa ilmanvaihtojärjestelmän remonttiin.

Tutkimusmenetelmien osalta ennakkoon valitut mittausmenetelmät ja puhdistuksen järjestely osa kerrallaan osoittautuivat onnistuneeksi, ja jokaisella mittauksella saatiin selville puhdistuksen hyötyjä. Itse puhdistus- ja mittaustyö sujui suunnitelmien mukaan. Ainoana ongelmana työn suorittamisessa oli puutteellinen ilmanvaihtosuunnitelma, jonka johdosta työsuunnitelmien tekemiseen meni aikaa paljon.

Tutkimuksen pohjalta saatiin yksityiskohtaista tietoa ilmanvaihdon puhdistuksen hyödyistä ja siitä, kuinka paljon hyötyä eri puhdistustoimilla voi olla. Tuloksia tullaan käyttämään jatkossa esimerkkinä omakotitalojen ilmanvaihdon puhdistuksien markkinoinnissa.

Saatujen tulosten osalta täytyy kuitenkin todeta, että niiden perusteella tehtävä yleistys vaatisi vielä lisää tutkimusta. Tulokset ovat kuitenkin hyvin suuntaa antavat, mikäli verrattava ilmanvaihtojärjestelmä ja rakennus on saman tyyppinen ja ilmanvaihtojärjestelmä on ollut puhdistamatta pitkän aikaa. Jokainen järjestelmä on kuitenkin yksilö ja järjestelmän likaantuminen riippuu monista asioista, kuten tilojen käytöstä ja siitä kuinka usein huoltotoimia, kuten suodattimien vaihtoa tehdään. Tutkimusta olisikin voinut tehdä useammassa saman aikakauden tulo-poistoilmanvaihdolla varustetussa rakennuksessa, joissa ilmanvaihdon puhdistusta ei ole tehty, jotta olisi saatu vertailukohteita. Näin olisi saatu lisää tuloksia, joiden perusteella yleistystä olisi helpompi tehdä ja tuloksia voisi pitää luotettavampina. Lisäksi samanlaista tutkimusta olisi hyvä tehdä erilaisissa kohteissa ja erilaisin ilmanvaihtotavoin varustetuissa rakennuksissa. Tässä tutkimuksessa keskityttiin kuitenkin vain yhteen rakennukseen tutkimuksen laajuuden rajoittamiseksi.

LÄHTEET

1. Holopainen, R., Pasanen, P., Railio, J., Säteri, J. & Virranta, P. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. Toinen painos. Helsinki: Opetushallitus. 2012.
2. Sandberg, E. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Toinen painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2016.
3. Oy Pamon Ab. Kair 80 käyttö- ja huolto-ohje. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.kair.fi/images/stories/tuotearkisto/kair_80_kaytto_ja_huolto-ohje.pdf [viitattu 16.11.2021].
4. Oy Pamon Ab. Kair 80 esite. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.kair.fi/images/stories/tuotearkisto/esite_kair_80.pdf [viitattu 13.12.2021].
5. Korkala, T. Ilmanvaihto – Hoito ja huolto. 8. painos. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy. 2020.
6. Korhonen, H. & Lintunen, M. Hyvä sisäilma. Helsinki: Oy Like Kustannus Ltd. 2003.
7. Bofinger, M. D., Maroni, M. & Morawska, L. Indoor Air – An Integrated Approach. Oxford: Elsevier Science Ltd. 1995.
8. Asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015.
9. Ympäristöministeriö. Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017.
10. Palomäki, E. & Seuri, M. Haasteellinen sisäilma – Riskianalyysi sisäilmaongelmissa. Tampere: Rakennustieto Oy. 2000.
11. Seppänen, O. Ilmastoinnin suunnittelu. Espoo: Suomen LVI-liitto. 2004.
12. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Melu. Päivitetty 30.3.2021. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/melu [viitattu 11.11.2021].
13. Asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017.
14. Pelastuslaki 29.4.2011/379.
15. Sisäasiainministeriön asetus ilmanvaihtokanavien ja -laitteistojen puhdistamisesta 802/2001.
16. Hengitysliitto. Ilmanvaihdon huolto. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihdon-huolto/ [viitattu 26.10.2021].
17. Hengitysliitto. Ilmanvaihdon huolto. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihdon-suodattimet/ [viitattu 26.10.2021].
18. Hengitysliitto. Ilmanvaihdon huolto. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/liesituuletin-ja-rasvasuodatin/ [viitattu 26.10.2021].
19. Rakennustieto Oy. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus. 2007.
20. Lifa Air Oy Ltd. Duct Control-robotti. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.suomi.lifa.net/duct-control-cleaning-robotti.html [viitattu 16.11.2921].
21. FläktGroup Finland Oy. KSO, KSOV Asennus-, käyttö ja huolto-ohje. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/8fd6a5bc-404a-48fc-99d4-59c278b2ee53?search=0 [viitattu 28.10.2021].

22. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2004 ASHRAE HANDBOOK – HVAC Systems and Equipment. Atlanta: ASHRAE. 2004. Kappaleet 23.5, 44.6.
23. Vallox Oy. Väsyvätkö ilmanvaihtolaitteiden puhaltimet. Päivitetty 26.4.2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.vallox.com/vallox_oy/ajankohtaista/uutisarkisto/vasyvatko_ilmanvaihtolaitteiden_puhaltimet.249.news [viitattu 18.11.2021].
24. SFS-EN 12599 Rakennusten ilmanvaihto – Ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmien luovutukseen liittyvät testimenettelyt ja mittausmenetelmät.
25. Sandberg, E. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Toinen painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2016.
26. Halko, P., Härkönen, S., Lähteenmäki, I. & Välimaa, T. Teollisuuden mittaustekniikka – Perusmittauksia. Helsinki: VAPK-kustannus. 1990.
27. Swema. SwemaFlow 125 Operating instructions. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.swema.com/Prod_docs/SwemaFlow/SwemaFlow_125D_1.16_eng.pdf [viitattu 20.11.2021].
28. TSI Inc. Velocicalc Air Velocity Meter Model 9565 Operation and Service Manual. 2018.
29. Vaisala. Kosteusanturien merkitys. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.vaisala.com/fi/blog/2020-06/kosteusanturien-merkitys [viitattu 22.11.2021].
30. Ebro. Datenlogger – Serie EBI 20. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.ebro.com/fileadmin/pics/BA_s/ba80019def01_EBI20.pdf [viitattu 22.11.2021].

TSI 9565-P monitoimimittarin kalibrointitodistus

TEKNOCALOR

KALIBROINTITODISTUS
CERTIFICATE OF CALIBRATION

Mittalaite: Kuumalanka
Tyyppi: TSI 964
Sarjanumero: P17360020

Tutkittavan mittarin lukemat referenssilämpötilalla

Referenssi °C	Mittari °C	Poikkeama lukemasta	Referenssin epävarmuus
19,8	20,0	0,2 °C	0,1 °C

Tutkittavan mittarin lukemat referenssikosteudella

Referenssi %RH	Mittari %RH	Poikkeama lukemasta	Referenssin epävarmuus
30	33,8	3,8 %RH	0,6 %RH
50	50,0	0,0 %RH	0,7 %RH
80	71,8	8,2 %RH	0,9 %RH

Tutkittavan mittarin lukemat referenssinopeudella

Referenssi m/s	Mittari m/s	Poikkeama lukemasta	Referenssin epävarmuus
0,50	0,51	2,0 %	2 %
1,00	1,00	0,0 %	2 %
7,50	7,46	0,5 %	2 %
10,00	9,96	0,4 %	1 %
20,00	19,89	0,5 %	1 %
40,00	40,09	0,2 %	1 %

Kalibroinnissa käytetyt referenssit ja niiden mittausepävarmuus:

Lämpötila: Hart Scientific calibration system 1
- Calibration bathes 6630, 7320
- 1529 Thermometer, s/n A59950
- 5612 Reference probe, s/n 753766

Kosteus: E+E Elektronik HUMOR 20, Two-pressure-reactor, s/n 0611

Nopeus: Omega WT4401-D tuulitunneli
- Paine-erolähetin PX02K1-16A5T / DP25B-E-A, s/n 247536/0335021
- Lämpötila/kosteus HX93AC / DP25B, s/n 1012667, 0335024, 0335022

Kalibrointiolosuhteet:

Lämpötila 20,1 °C
Suhteellinen kosteus 42,9 % s.k.
Ilmanpaine 1016 mbar

Kalibroinnin päivämäärä: 14/09/2021 Seuraava kalibrointi: 14/09/2022

Kalibroinnin suorittaja: .....
Iiro Oikari

Referenssien jäljitettävyys-, kalibrointi- ja analyysitodistukset näytetään pyydettäessä laboratoriossamme.

OY TEKNOCALOR AB · KALIBROINTI- JA HUOLTOLABORATORIO
SINIKELLONKUJA 4 · 01300 VANTAA · PUH 010 820 1100

TEKNOCALOR

KALIBROINTITODISTUS
CERTIFICATE OF CALIBRATION

Mittalaite:	Mikromanometri
Tyyppi:	TSI 9565-P
Sarjanumero:	9565P1736008

Tutkittavan mittarin lukemat referenssipaineilla

Referenssi Pa	Mittari Pa	Poikkeama lukemasta
-1000,0	-1007,4	0,7 %
-100,0	-100,9	0,9 %
-10,0	-10,1	0,1 Pa
0,0	0,0	0,0 Pa
10,0	10,6	0,6 Pa
20,0	20,7	0,7 Pa
100,0	100,6	0,6 %
200,0	200,9	0,4 %
1000,0	1004,2	0,4 %
2000,0	2009,6	0,5 %

Kalibroinnissa käytetyt referenssit ja niiden mittausepävarmuus:

Paine-ero:	Halstrup Walcher KAL 100, s/n 1637218 Epävarmuus: - alueella 0...200 Pa, +/- 0,2 % - alueella 200...5000 Pa, +/- 0,5 %

Kalibrointiolosuhteet:

Lämpötila	20,2 °C
Suhteellinen kosteus	43,4 % s.k.
Ilmanpaine	1016 mbar

Kalibroinnin päivämäärä: 14/09/2021 Seuraava kalibrointi: 14/09/2022

Kalibroinnin suorittaja: .....
Iiro Oikari

Referenssien jäljitettävyys-, kalibrointi- ja analyysitodistukset näytetään pyydettäessä laboratoriossamme

OY TEKNOCALOR AB · KALIBROINTI- JA HUOLTOLABORATORIO
SINIKELLONKUJA 4 · 01300 VANTAA · PUH 010 820 1100

Swema 300 + SwemaFlow 125 kalibrointitodistus

Pietiko Oy

Kalibrointitodistus

Todistus No:202108115

Kalibroinnin kohde: **Swema 300 No: 384279 + Ilmamäärähuppumittari SwemaFlow 125 No: 368479**
Asiakas: **Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy**

Käytetyt mittauslaitteet: .Vertailumittarit Swema Ab:n laboratorio SE-123-56 Farsta Sweden. Jäljitettävyys Swema AB. Todistus No: 1154508
Mittausepävarmuus +/- 2% minimi +/- 0,2l/s. ja lämpötila +/- 0,3 Astetta Celsiusta.

Mittaustulokset l/s

Vertailuarvo(A) l/s	Mittarin näyttämä (B) l/s	Erotus (B-A) l/s
5,0	4,9	-0,10
10,0	10,0	0,04
20,0	19,8	-0,20
30,0	30,1	0,10
50,0	50,1	0,10
100,0	99,7	-0,30
125,0	124,7	-0,30

Mittaustulokset Lämpötila °C

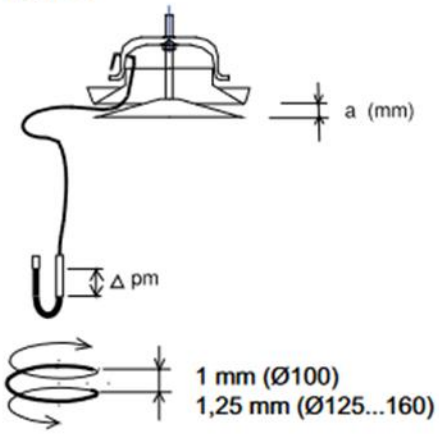
Vertailuarvo (A)	Mittarin näyttämä (B)	Erotus (B - A)
22,50	22,4	-0,10

Päivämäärä: 11.08.2021
Seuraava kalibrointi: 11.08.2022
Kalibroinnin suorittaja: Rauno Saarnio

Pietiko Oy Lemminkäisenkatu 62 20520 Turku Finland www.pietiko.fi email: info@pietiko.fi

KTS tuloilmaventtiilin k-arvot

KTS



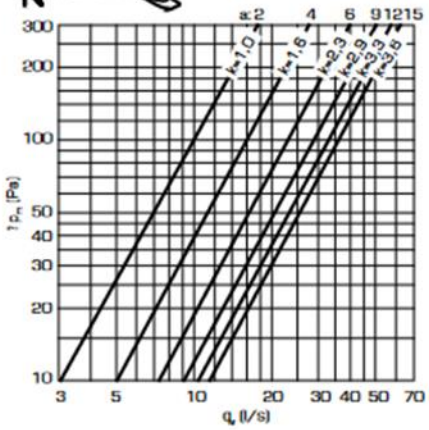
KTS-100-C			
a (mm)		06.2006 →	
2	0,9	1,0	1,1
4	1,5	1,6	2,0
6	1,9	2,3	2,7
9	2,3	2,9	4,0
12	2,8	3,3	5,1
15	3,3	3,6	-

KTS-125-C			
a (mm)		06.2006 →	
4	2,0	1,9	2,2
6	2,6	2,6	3,1
9	3,3	3,4	4,2
12	3,8	4,1	5,5
15	4,4	4,4	7,0

KTS-160-C			
a (mm)		06.2006 →	
4	2,7	2,3	3,0
6	3,4	3,3	4,2
10	4,8	4,5	6,4
15	5,8	6,4	8,9
20	7,0	7,2	11,2

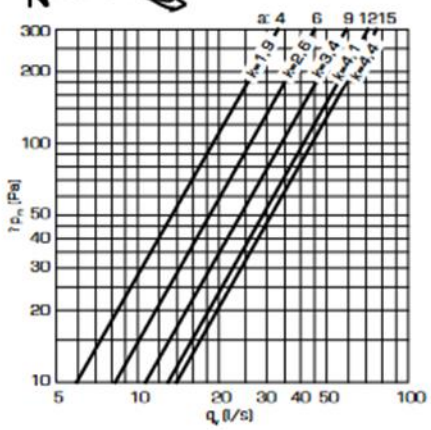
KTS-100-C

RakMK E7: 6.1
max s – 12 mm



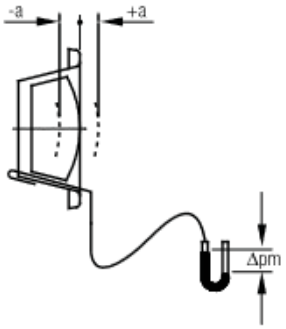
KTS-125-C

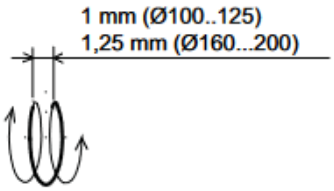
RakMK E7: 6.1
max s – 8 mm



KSO poistoilmaventtiilin k-arvot

KSO, KSOF, KSOV





Ø100 a	k
-15	0,5
-12	0,8
-10	1,0
-5	1,4
0	1,9
5	2,3
10	2,8

Ø125 a	k
-10	1,5
-5	2,1
0	2,7
5	3,3
10	4,0

Ø160 a	k
-10	2,0
-5	2,8
0	3,6
5	4,4
10	5,3
15	6,2

Ø200 a	k
-3	1,8
0	2,4
5	3,8
10	5,0
15	6,3
20	7,5
25	8,6

Liite 5

Alkuperäinen päätelaitteiden mittauspöytäkirja

			Mittaus 1				Mittaus 2				Mittaus 3				Mittaus 4			
Päätelaitteet		Suunniteltu	Balometri	Avaus	Paine-ero	q_v	Balometri	Avaus	Paine-ero	q_v	Balometri	Avaus	Paine-ero	q_v	Balometri	Avaus	Paine-ero	q_v
Tulot		l/s	l/s	K-arvo	Pa	l/s	l/s	K-arvo	Pa	l/s	l/s	K-arvo	Pa	l/s	l/s	K-arvo	Pa	l/s
TYÖH	KTS-100	8	3,80	0,90	13,80	3,34	3,60	0,90	15,80	3,58	3,70	0,90	15,20	3,51	4,10	0,90	16,10	3,61
MH1	KTS-100	6	2,70	1,20	15,00	4,65	3,10	1,20	15,80	4,77	3,10	1,20	16,00	4,80	3,50	1,20	16,80	4,92
MH2	KTS-100	6	3,40	1,20	13,70	4,44	3,70	1,20	15,70	4,75	3,50	1,20	15,00	4,65	3,80	1,20	15,70	4,75
OH1	KTS-100	8	4,00	1,20	13,00	4,33	4,10	1,20	14,80	4,62	4,40	1,20	14,50	4,57	4,00	1,20	14,50	4,57
OH2	KTS-100	8	3,90	1,20	12,70	4,28	2,70	1,20	15,70	4,75	3,10	1,20	14,20	4,52	3,40	1,20	15,50	4,72
TH	KTS-125	10	5,20	2,00	13,10	7,24	5,70	2,00	15,70	7,92	5,70	2,00	14,40	7,59	6,10	2,00	15,90	7,97
ET	KTS-100	5	3,70	1,20	21,80	5,60	3,70	1,20	23,70	5,84	3,50	1,20	22,60	5,70	4,00	1,20	23,50	5,82
MH3	KTS-100	10	4,80	1,70	15,30	6,65	4,90	1,70	15,80	6,76	4,70	1,70	14,60	6,50	5,00	1,70	16,80	6,97
S	KTS-100	5	3,00	0,90	16,50	3,66	3,70	0,90	15,80	3,58	3,40	0,90	16,20	3,62	3,80	0,90	17,30	3,74
PH	KTS-100	10	4,20	1,20	15,60	4,74	3,90	1,20	16,80	4,92	4,40	1,20	15,60	4,74	4,30	1,20	17,20	4,98
KHH	KTS-100	8	5,20	1,50	15,50	5,91	5,60	1,50	16,20	6,04	5,10	1,50	15,90	5,98	5,40	1,50	17,20	6,22
	yht	84	43,90			54,83	44,70			57,53	44,60			56,18	47,40			58,28
Poistot																		
ET	KSO-100	-5	-7,70	1,40	43,80	9,27	-7,00	1,40	33,90	8,15	-6,80	1,40	34,20	8,19	-6,90	1,40	34,80	8,26
WC1	KSO-100	-10	-6,20	1,16	31,20	6,48	-5,70	1,16	27,70	6,11	-5,90	1,16	31,20	6,48	-5,90	1,16	31,60	6,52
K1	KSO-100	-20	-9,80	1,16	82,10	10,51	-8,90	1,16	60,00	8,99	-8,30	1,16	65,00	9,35	-8,30	1,16	66,80	9,48
K2	KSO-100	-20	-2,40	1,08	74,30	9,31	-6,60	1,08	58,30	8,25	-6,90	1,08	62,50	8,54	-6,70	1,08	63,10	8,58
S	KSO-S-100	-5	-	0,50	17,10	2,07	-	0,50	13,60	1,84	-	0,50	14,00	1,87	-	0,50	14,40	1,90
PH	KSO-125	-10	-7,20	2,32	15,10	9,02	-6,20	2,32	12,10	8,07	-7,00	2,32	12,80	8,30	-7,00	2,32	12,80	8,30
WC2	KSO-100	-10	-6,00	1,90	14,00	7,11	-5,40	1,90	11,00	6,30	-5,90	1,90	13,00	6,85	-5,90	1,90	13,20	6,90
KHH	KSO-100	-10	4,90	1,70	14,40	6,45	-4,30	1,70	10,20	5,43	-4,80	1,70	12,70	6,06	-4,90	1,70	12,90	6,11
	yht	-90	-34,40			-58,14	-44,10			-53,13	-45,60			-55,64	-45,60			-56,05
Kiertoilma																		
Takka	KSO-100		-2,30	0,80	95,20	7,81	-5,90	0,80	74,10	6,89	-6,10	0,80	79,50	7,13	-6,00	0,80	78,80	7,10
Leivinuuni	KSO-100		-10,70	1,16	103,00	11,77	-9,50	1,16	80,70	10,42	-9,90	1,16	84,70	10,68	-9,30	1,16	83,50	10,60

Keittiön kosteusmittausdata

	%rH	°C			%rH	°C
5.11.2021 21:37:48	42	22,5		6.11.2021 21:23:48	41,6	21,7
5.11.2021 21:39:48	42,4	22,5		6.11.2021 21:25:48	42	21,7
5.11.2021 21:41:48	44,4	22,5		6.11.2021 21:27:48	42,9	21,7
5.11.2021 21:43:48	46,6	22,6		6.11.2021 21:29:48	43,6	21,7
5.11.2021 21:45:48	47,8	22,6		6.11.2021 21:31:48	44,6	21,7
5.11.2021 21:47:48	49,9	22,6		6.11.2021 21:33:48	46	21,7
5.11.2021 21:49:48	52,3	22,6		6.11.2021 21:35:48	51,5	21,7
5.11.2021 21:51:48	48,5	22,6		6.11.2021 21:37:48	48,2	22
5.11.2021 21:53:48	47,1	22,6		6.11.2021 21:39:48	47,4	22,1
5.11.2021 21:55:48	48,2	22,6		6.11.2021 21:41:48	47,9	22,2
5.11.2021 21:57:48	46,8	22,6		6.11.2021 21:43:48	48,3	22,2
5.11.2021 21:59:48	46,2	22,6		6.11.2021 21:45:48	48,8	22,3
5.11.2021 22:01:48	46,6	22,6		6.11.2021 21:47:48	48,9	22,4
5.11.2021 22:03:48	46,5	22,6		6.11.2021 21:49:48	47,8	22,4
5.11.2021 22:05:48	46,8	22,6		6.11.2021 21:51:48	48,1	22,4
5.11.2021 22:07:48	46,6	22,6		6.11.2021 21:53:48	49,6	22,5
5.11.2021 22:09:48	47,2	22,6		6.11.2021 21:55:48	48,6	22,5
5.11.2021 22:11:48	48,4	22,7		6.11.2021 21:57:48	47,6	22,5
5.11.2021 22:13:48	48,7	22,7		6.11.2021 21:59:48	48,7	22,5
5.11.2021 22:15:48	49,1	22,7		6.11.2021 22:01:48	48,8	22,5
5.11.2021 22:17:48	49	22,7		6.11.2021 22:03:48	48,2	22,6
5.11.2021 22:19:48	49,6	22,7		6.11.2021 22:05:48	46,8	22,6
5.11.2021 22:21:48	49,2	22,7		6.11.2021 22:07:48	45,2	22,6
5.11.2021 22:23:48	48,1	22,7		6.11.2021 22:09:48	46,5	22,6
5.11.2021 22:25:48	47,3	22,7		6.11.2021 22:11:48	46,3	22,5
5.11.2021 22:27:48	46,5	22,7		6.11.2021 22:13:48	45,1	22,5
5.11.2021 22:29:48	45,9	22,7		6.11.2021 22:15:48	44,4	22,5
5.11.2021 22:31:48	45,4	22,7		6.11.2021 22:17:48	43,9	22,5
5.11.2021 22:33:48	45,2	22,7		6.11.2021 22:19:48	43,4	22,5
5.11.2021 22:35:48	44,9	22,7		6.11.2021 22:21:48	43	22,5
5.11.2021 22:37:48	44,3	22,7		6.11.2021 22:23:48	42,8	22,5
5.11.2021 22:39:48	44,1	22,7		6.11.2021 22:25:48	42,5	22,4
5.11.2021 22:41:48	44,1	22,7		6.11.2021 22:27:48	42,1	22,4
5.11.2021 22:43:48	43,7	22,7		6.11.2021 22:29:48	42,3	22,4
5.11.2021 22:45:48	43,6	22,7		6.11.2021 22:31:48	42	22,4
5.11.2021 22:47:48	43,8	22,7		6.11.2021 22:33:48	41,8	22,4
5.11.2021 22:49:48	43,4	22,7		6.11.2021 22:35:48	41,5	22,4
5.11.2021 22:51:48	43,4	22,7				
5.11.2021 22:53:48	43,2	22,7				
5.11.2021 22:55:48	43,1	22,7				
5.11.2021 22:57:48	42,8	22,7				
5.11.2021 22:59:48	42,6	22,7				
5.11.2021 23:01:48	42,4	22,7				
5.11.2021 23:03:48	42,4	22,7				
5.11.2021 23:05:48	42,3	22,7				
5.11.2021 23:07:48	42,1	22,7				
5.11.2021 23:09:48	42,1	22,7				
5.11.2021 23:11:48	42,2	22,7				
5.11.2021 23:13:48	42,1	22,7				
5.11.2021 23:15:48	42,2	22,7				
5.11.2021 23:17:48	42	22,7				

Kylpyhuoneen kosteusmittausdata

	%rH	°C		%rH	°C
5.11.2021 20:50:55	35,9	22,3	6.11.2021 20:30:55	39,8	21,8
5.11.2021 20:52:55	36,3	22,4	6.11.2021 20:32:55	40,2	21,8
5.11.2021 20:54:55	36,3	22,6	6.11.2021 20:34:55	39,7	21,7
5.11.2021 20:56:55	36,3	22,8	6.11.2021 20:36:55	39,3	21,7
5.11.2021 20:58:55	36,4	23	6.11.2021 20:38:55	38,5	21,7
5.11.2021 21:00:55	36,4	23,2	6.11.2021 20:40:55	38,4	21,6
5.11.2021 21:02:55	36,4	23,5	6.11.2021 20:42:55	38,5	21,6
5.11.2021 21:04:55	36,1	23,8	6.11.2021 20:44:55	38,2	21,7
5.11.2021 21:06:55	36,1	23,9	6.11.2021 20:46:55	38	21,7
5.11.2021 21:08:55	36	24,1	6.11.2021 20:48:55	37,7	21,8
5.11.2021 21:10:55	35,7	24,2	6.11.2021 20:50:55	38	22
5.11.2021 21:12:55	35,6	24,3	6.11.2021 20:52:55	46,6	22,7
5.11.2021 21:14:55	35,5	24,4	6.11.2021 20:54:55	45,7	23
5.11.2021 21:16:55	35,5	24,5	6.11.2021 20:56:55	43,5	23,2
5.11.2021 21:18:55	35,5	24,5	6.11.2021 20:58:55	42,1	23,4
5.11.2021 21:20:55	35,8	24,6	6.11.2021 21:00:55	41,3	23,6
5.11.2021 21:22:55	40,7	24,9	6.11.2021 21:02:55	44	23,9
5.11.2021 21:24:55	57,1	25,6	6.11.2021 21:04:55	64,8	24,2
5.11.2021 21:26:55	65,8	25,9	6.11.2021 21:06:55	85	24,9
5.11.2021 21:28:55	69,8	25,9	6.11.2021 21:08:55	85,6	25,6
5.11.2021 21:30:55	67,6	26	6.11.2021 21:10:55	83,8	26
5.11.2021 21:32:55	78,4	26,1	6.11.2021 21:12:55	79,9	26,2
5.11.2021 21:34:55	69,4	26,2	6.11.2021 21:14:55	86,4	26,6
5.11.2021 21:36:55	65,5	26,3	6.11.2021 21:16:55	86,1	26,7
5.11.2021 21:38:55	73,3	26,5	6.11.2021 21:18:55	83,9	26,8
5.11.2021 21:40:55	78,5	26,7	6.11.2021 21:20:55	79,6	26,8
5.11.2021 21:42:55	92,2	27,2	6.11.2021 21:22:55	93,5	27,7
5.11.2021 21:44:55	92	27,3	6.11.2021 21:24:55	94,4	29,8
5.11.2021 21:46:55	84,5	27,3	6.11.2021 21:26:55	94,3	29,2
5.11.2021 21:48:55	85,1	28,1	6.11.2021 21:28:55	90,8	28,2
5.11.2021 21:50:55	71,6	28,3	6.11.2021 21:30:55	94,2	28,6
5.11.2021 21:52:55	67,9	28,3	6.11.2021 21:32:55	91,5	29,2
5.11.2021 21:54:55	66	28,2	6.11.2021 21:34:55	80	30,3
5.11.2021 21:56:55	64,2	28,1	6.11.2021 21:36:55	72,3	31,2
5.11.2021 21:58:55	62,2	28	6.11.2021 21:38:55	65,7	32
5.11.2021 22:00:55	60,2	27,9	6.11.2021 21:40:55	62,3	32,5
5.11.2021 22:02:55	58,8	27,8	6.11.2021 21:42:55	59,8	32,7
5.11.2021 22:04:55	56,7	27,7	6.11.2021 21:44:55	57,5	33
5.11.2021 22:06:55	55,6	27,7	6.11.2021 21:46:55	55,7	33
5.11.2021 22:08:55	62,8	27,6	6.11.2021 21:48:55	54,7	33
5.11.2021 22:10:55	71,9	27,5	6.11.2021 21:50:55	53,8	32,8
5.11.2021 22:12:55	79,8	27,6	6.11.2021 21:52:55	52,6	32,6
5.11.2021 22:14:55	80,5	27,6	6.11.2021 21:54:55	51,8	32,4
5.11.2021 22:16:55	81,4	27,6	6.11.2021 21:56:55	50,8	32,2
5.11.2021 22:18:55	93,2	28,1	6.11.2021 21:58:55	49,6	32,1
5.11.2021 22:20:55	93	28,3	6.11.2021 22:00:55	49	31,8
5.11.2021 22:22:55	90,4	28,6	6.11.2021 22:02:55	48,8	31,5
5.11.2021 22:24:55	78,6	29,5	6.11.2021 22:04:55	47,6	31,3
5.11.2021 22:26:55	70,3	30,3	6.11.2021 22:06:55	46,9	31,1
5.11.2021 22:28:55	64,7	31	6.11.2021 22:08:55	46	30,8
5.11.2021 22:30:55	60,7	31,5	6.11.2021 22:10:55	45,7	30,6
5.11.2021 22:32:55	57,7	31,8	6.11.2021 22:12:55	45	30,4
5.11.2021 22:34:55	55,1	32,1	6.11.2021 22:14:55	44,1	30,2
5.11.2021 22:36:55	52,9	32,2	6.11.2021 22:16:55	43,6	29,9
5.11.2021 22:38:55	50,9	32,3	6.11.2021 22:18:55	43,5	29,7
5.11.2021 22:40:55	49,2	32,4	6.11.2021 22:20:55	43,3	29,3
5.11.2021 22:42:55	47,7	32,4	6.11.2021 22:22:55	43,2	29,1
5.11.2021 22:44:55	46,4	32,3	6.11.2021 22:24:55	42,6	28,9
5.11.2021 22:46:55	45,3	32,3	6.11.2021 22:26:55	42,7	28,7
5.11.2021 22:48:55	44,3	32,2	6.11.2021 22:28:55	42,3	28,5
5.11.2021 22:50:55	43,5	32,1	6.11.2021 22:30:55	42,1	28,2
5.11.2021 22:52:55	42,8	32	6.11.2021 22:32:55	42	28,1
5.11.2021 22:54:55	42	31,8	6.11.2021 22:34:55	41,7	27,9
5.11.2021 22:56:55	41,5	31,6	6.11.2021 22:36:55	41,6	27,7
5.11.2021 22:58:55	41,1	31,5	6.11.2021 22:38:55	41,5	27,6
5.11.2021 23:00:55	40,6	31,4	6.11.2021 22:40:55	42,2	27,5
5.11.2021 23:02:55	40,3	31,2	6.11.2021 22:42:55	42,2	27,3
5.11.2021 23:04:55	39,9	31,1	6.11.2021 22:44:55	42,2	27,3
5.11.2021 23:06:55	39,6	31	6.11.2021 22:46:55	41,9	27,3
5.11.2021 23:08:55	39,2	30,7	6.11.2021 22:48:55	41,7	27,2
5.11.2021 23:10:55	39	30,6	6.11.2021 22:50:55	41,5	27,2
5.11.2021 23:12:55	38,7	30,5	6.11.2021 22:52:55	41	27,1
5.11.2021 23:14:55	38,5	30,3	6.11.2021 22:54:55	40,7	27,1
5.11.2021 23:16:55	38,3	30,2	6.11.2021 22:56:55	40,7	27
5.11.2021 23:18:55	38	30,1	6.11.2021 22:58:55	40,4	27
5.11.2021 23:20:55	37,7	30	6.11.2021 23:00:55	40	26,9
5.11.2021 23:22:55	37,6	29,8	6.11.2021 23:02:55	40,1	26,8
5.11.2021 23:24:55	37,3	29,7	6.11.2021 23:04:55	39,8	26,8
5.11.2021 23:26:55	37,2	29,6			
5.11.2021 23:28:55	37	29,5			
5.11.2021 23:30:55	36,9	29,3			
5.11.2021 23:32:55	36,6	29,2			
5.11.2021 23:34:55	36,5	29,1			
5.11.2021 23:36:55	36,4	29			
5.11.2021 23:38:55	36,3	28,9			

Äänimittausten mittauspöytäkirjat

ENNEN PUHDISTUSTA																																
Taajuuskaista, Hz	16 Hz	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1.0 kHz	1.25 kHz	1.6 kHz	2.0 kHz	2.5 kHz	3.15 kHz	4.0 kHz	5.0 kHz	6.3 kHz	8.0 kHz	10.0 kHz	12.5 kHz	16.0 kHz	20.0 kHz
Äänenvoimakkuus, dB	43,3	41,3	36,2	49,1	32,5	31,4	34,9	32,9	27,1	22,3	25,4	29,8	19,2	23	21,3	17,2	18,3	17	17,7	18,4	18,9	14,2	14,1	18,3	16,1	10,4	8,1	8,2	9,1	8,1	7,4	8,3
PUHDISTUKSEN JÄLKEEN																																
Taajuuskaista, Hz	16 Hz	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1.0 kHz	1.25 kHz	1.6 kHz	2.0 kHz	2.5 kHz	3.15 kHz	4.0 kHz	5.0 kHz	6.3 kHz	8.0 kHz	10.0 kHz	12.5 kHz	16.0 kHz	20.0 kHz
Äänenvoimakkuus, dB	47,7	36,7	37,8	38,2	29,1	41,1	35,1	33,8	31,1	21,7	26,6	28,4	20,9	23,8	20	16,8	17,5	13,9	9,5	9,3	6,8	7,8	6	5,7	5,9	6,3	6,7	7,3	8,3	8,1	7,4	9,2

	LAeq, dB	LAFmax, dB
Ennen päätelaitteen puhdistusta	29,2	30,1
Päätelaitteen puhdistuksen jälkeen	25,7	28,3