

Tommi Salonen

OMAKOTITALON
ILMALÄMMITYSJÄRJESTELMÄN
TOIMINNAN TARKASTELU

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Huhtikuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 5.4.2016
Tekijä(t) Tommi Salonen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma
Nimeke Omakotitalon ilmalämmitysjärjestelmän toiminnan tarkastelu	
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ilmalämmitysjärjestelmiä. Ilmalämmitysjärjestelmien ikään-tyessä on ilmennyt tarve tarkastella, kuinka nämä järjestelmät toimivat tänä päivänä. Useat järjestelmät ovat olleet toiminnassa tähän päivään asti vailla suurempia huoltoja, muutoksia tai toiminnan tarkasteluja. Selvitettäessä, kuinka järjestelmän toimintaan vaikuttavat käyttö- ja huoltotoimenpiteet sekä asukkaiden subjektiivinen kokemus sisäilmastosta, on mitattavia sisäilman suureita tarkasteltava annettuihin ohjeisiin ja määräyksiin nähden. Tässä opinnäytetyössä on myös tarkoitus luoda malli jolla voidaan arvioida lyhyt-kestoisten mittauksien luotettavuutta. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin 11 Mikkelin alueella sijaitsevaa omakotitaloa 80-luvun alkupuolelta, näitä rakennuksia yhdistää se, että ne kaikki ovat varustettuja ilmalämmitysjärjestelmällä. Rakennuksissa suoritettiin maaliskuussa 2015 laajat sisäilmastomittaukset. Suoritetuissa mittauksissa tarkasteltiin sisäilman laatuun vaikuttavia suureita, kuten pinta- ja operatiivinen lämpötila, CO ₂ , TVOC ja sisäilman kosteus. Näiden mittauksien lisäksi toteutettiin järjestelmän toimintaa kuvaavat mittaukset ilmamäärien osalta, joilla selvitettiin ilmanvaihtuvuus, tilojen välisiä painesuhteita sekä järjestelmän ilmansuodatusta kuvaava partikkelijakauma sisäilmasta. Laitteistosta mitattiin myös lähimpään makuuhuoneeseen tuotettu melu, kojeiden kaikilla pyörimisnopeusasetuksilla. Mittaustuloksien lisäksi rakennusten käyttäjiä haastateltiin liittyen järjestelmän toimintaan ja heidän kokemukseensa sisäilmasta ilmalämmitysjärjestelmällä. Rakennusten käyttäjien subjektiivinen kokemus tässä tutkimuksessa ei kuvastanut mitattuja tuloksia. Suurin osa haastatelluista henkilöistä olivat tyytyväisiä järjestelmän toimintaan ja kuvasivatkin sisäilmaston laatua hyväksi. Mittaustulokset osoittivat, että järjestelmät toimivat puutteellisesti, vaikkakin kykenivät tuottamaan tämän päivän asetusten mukaisesti laadultaan tyydyttävän sisäilman. Järjestelmän toimintaan kokonaisuutena vaikutti käyttäjän aktiivisuus. Laitteet toimivat hyvin ilmanvaihdon osalta, mutta ilman-suodatus oli useissa kohteissa heikko. Tämän myötä nousi esiin myös useissa kohteissa tarve nuohota kanavistot. Opinnäytetyön johdosta saatiin jokaiselle tutkimuskohteelle yksilölliset tulokset ja helposti toteutettavat järjestelmän toimintaa parantavat suositukset.	
Asiasanat (avainsanat) LVI-tekniikka, ilmalämmitys, ilmanvaihtojärjestelmät, suodattimet, sisäympäristö, käyttöikä	
Sivumäärä 70 + 10	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Jarkko Kolehmainen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Markku Korhonen, Arkkitehtipalvelut

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 5.4.2016
Author(s) Tommi Salonen	Degree programme and option Building services engineering
Name of the bachelor's thesis Examination of air heated systems in detached houses	
Abstract <p>The focus of this thesis was to study air heating systems in detached houses. As air heating systems age, there has occurred the need to examine how these systems work today. Most of these systems have been working till today without any major services, modifications, or systems analysis. To review how the air heating system is effected by the use and maintenances, as well as the subjective experience good indoor climate by the resident. We must examine these quantities to the modern day directives and rules. Also a goal of this thesis was to create a model to examine the reliability of the results for short term indoor air quality measurements.</p> <p>In this thesis 11 detached houses from the early 80's in the vicinity of Mikkeli were surveyed. The air heating system was a common factor in all of these houses. The buildings were thoroughly examined in the March of 2015, for their indoor air quality quantities. In these measurements qualities such as CO₂, TVOC, air humidity, surface- and operative temperatures were measured. Along these measurements other measurements were made to examine how the ventilation systems is working. These were to measure the air change rate of the building, pressure difference between the rooms, and to evaluate how the air particle filtration is working. There was also measurements for noise pollution to the nearest bedroom. To complete the surveys of the buildings, the residents were interviewed on their experiences of the air heating systems.</p> <p>The residents' subjective experience in this thesis did not reflect the surveyed results. On most cases the experience was that the indoor air quality and operation of the system was good. The results of the measurements display that the operation of the systems was tenuous, although being able to produce satisfactory indoor air quality by measurements of today's directives and rules. The activity of the resident was a big part on how the system was performing at the moment. The machines were running mostly okay when examining them by the standard of ventilation, but the filtration of the systems were inadequate on most of the systems. This discovery brought to our attention the need to sweep the ventilation ducts in many cases. On account of this thesis, there were individualistic results made to each participant, in these results were included easy steps to take to improve the efficiency of their air heating system.</p>	
Subject headings, (keywords) Civil engineering, warm air heating, ventilation systems, air filters, indoor environment, lifespan	
Pages 70 + 10	Language Finnish
Remarks, notes on appendices	
Tutor Jarkko Kolehmainen	Bachelor's thesis assigned by Markku Korhonen, Arkkitehtipalvelut

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ILMANVAIHTO JA LÄMMITYS.....	2
2.1	Lämmitys ja ilmanvaihto	2
2.2	Ilmakiertoinen lämmönjako.....	3
2.3	Ilmalämmitysjärjestelmä.....	4
2.4	Ilmalämmitysjärjestelmät Suomessa	7
3	ILMALÄMMITYSKOJE JA JÄRJESTELMÄ.....	8
3.1	Järjestelmän osat	8
3.2	Ilmansuodattaminen.....	14
3.3	Suunnittelussa huomioitavia seikkoja.....	17
3.4	Kanavointi ja kanavamitoitus	18
3.5	Ilmanjako ja päätelaitteiden valinta	19
3.6	Poistoilmapäätelaitteiden sijoittaminen	21
3.7	Järjestelmän säätäminen	22
3.8	Laitteiston käyttö	24
3.9	Laitteiston huolto	25
4	SISÄILMASTON TUTKIMINEN	26
4.1	Ilmanvaihto	26
4.2	Lämpötila.....	27
4.3	Veto.....	29
4.4	Ilmanlaatu	31
4.5	Sisäilman kosteus.....	32
4.6	Melu.....	33
5	TUTKIMUSMENETELMÄT JA KOHTEET.....	34
5.1	Tutkimuskohteet	34
5.2	Ilmanvaihto	36
5.3	Suodatusteho.....	37
5.4	Lämpötila.....	38
5.5	Ilmanlaatu	38
5.6	Sisäilman kosteus.....	41
5.7	Melu.....	43
5.8	Haastattelut	43

6	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	44
6.1	Käyttäjätiedot ja tekniset ominaisuudet.....	45
6.2	Ilmanvaihto	47
6.3	Suodattimien toiminta.....	51
6.4	Lämpötila.....	53
6.5	Ilmanlaatu	55
6.6	Sisäilman kosteus.....	57
6.7	Melu.....	59
7	YHTEENVETO	60
7.1	Mittaustulokset	60
7.2	Mittaustuloksien luotettavuuteen vaikuttavia seikkoja.....	61
7.3	Käytäntö ja kokemus	63
7.4	Toimenpidesuosituksset	66
8	POHDINTA	67
	LÄHTEET	69

LIITE

1 Yksilölliset tulokset ja toimenpide-ehdotukset

1 JOHDANTO

Sisäilmasto-olosuhteita tarkasteltaessa pientalojen osalta ovat kohteina asuinrakennukset. Tärkeässä roolissa näissä ovat tekijät, jotka vaikuttavat asuinviihtyvyyteen ja sisäilmaston terveellisyyteen. Näihin vaikuttavat monet eri tekijät, kuten ilmanvaihtuvuus, veto, epäpuhtauspitoisuudet, melu, lämpö ja kosteuskuormat. Asuinrakennuksien sisäilmaston tulee jatkuvasti olla hyvä niiden ympärivuorokautisen käyttötarkoituksen vuoksi.

Rakennuskantamme on saavuttanut taloteknisten ratkaisujen osalta sellaisen iän, että on tullut tarve tarkastella 1980-luvun alkupuolella asennettuja järjestelmiä. Ilmalämmitys-järjestelmistä on monenlaisia mielipiteitä, joiden asiasisältöön vaikuttavat kulloisenkin mielipiteen omaavien henkilökohtaiset kokemukset. Mutta kuinka paljon näistä liittyy siihen tietämättömyyteen, jota tavallisella kuluttajalla on järjestelmästä, siihen miten järjestelmän toimintaa on ylläpidetty ja millaisen käytönopastuksen laitteiden toimintaan ja kunnossapitoon käyttäjät ovat saaneet? Tämän opinnäytetyön onkin tarkoitus kartoittaa, kuinka 11 Mikkelin alueella sijaitsevan omakotitalon ilmalämmitys-järjestelmät teknisesti toimivat, millaista huolto-ohjelmaa näiden järjestelmien osalta noudatetaan ja kuinka nämä yhdessä vaikuttavat siihen, millainen sisäilma näillä luodaan. Tarkoituksena on myös tarkastella lyhytkestoisten mittauksien ja mittausympäristön luotettavuutta.

Koemme sisäilmaston viihtyisäksi, kun emme erityisesti huomaa siihen vaikuttavien laitteiden ja järjestelmien toimintaa. Viihtyisän tilan ilma ei ole tunkkaista tai sisällä muutoin häiritseviä tuoksuja, eikä ole liioin pölyistä. Myöskään ilmanvaihdosta ja lämmityksestä ei synny vedon tunnetta ja tilan lämpötila on tasaisesti jakautunut. Sisäilmaston viihtyisyys onkin subjektiivinen kokemus, johon vaikuttavat meidän jokaisen tottumukset ja elintavat. Meidän tulee muistaa, että sisäilmaston vaikutukset tulee huomioida kaikissa taloteknisissä ratkaisuissa, eikä sisäilmastoon saa vaikuttaa negatiivisesti pyrkimykset parantaa rakennuksen energiatehokkuutta.

Järjestelmän toiminnasta saamme tietoa suorittamalla käyttäjäkyselyitä ja mittaamalla sisäilmastoon vaikuttavia suureita, joista yhteenvetona pystymme tarkastelemaan, kuinka järjestelmät toteuttavat tämän päivän asetuksia sekä millä keinoin järjestelmien

huoltoa ja toimintaa voidaan parantaa. Tavallisen kuluttajan tietämys ja osaaminen kiinteistön LVI-tekniikasta on hyvin pintapuolista, tätä tietämystä on tarve parantaa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa rakennusten omistajille tietoa, kuinka heidän käyttö- ja huoltotoimenpiteensä vaikuttavat ilmalämmitysjärjestelmällä saavutettuun sisäilmanlaatuun sekä kuinka nämä järjestelmät toimivat tämän päivän asetuksiin ja määräyksiin nähden. Tarkoituksena on myös tarkastella lyhytkestoisten mittausten tuloksien luotettavuutta.

2 ILMANVAIHTO JA LÄMMITYS

Rakennuksissa olevan tekniikan tarkoitus on luoda viihtyisät ja terveelliset olosuhteet ihmisille. Tekniikan tarkoituksena on myös parantaa rakennusten energiatehokkuutta ja pidentää rakennuksen käyttöikä. Tekniikalla, kuten kaikella kulutuksessa olevilla laitteilla, on laskennallinen käyttöikä, ja tämän tekniikan vanhetessa alkaa se vaikuttamaan rakennukseen ja sisäilmastoon. Käyttötottumukset vaikuttavat siihen, kuinka laitteisto kestää suunnitellun käytön. Ilmanvaihtoon liittyvien järjestelmien tekninen käyttöikä on noin 25 vuotta.

2.1 Lämmitys ja ilmanvaihto

Lämmitysjärjestelmä on LVI-tekniikassa keskeisessä osassa talotekniikkaa. On siis tarkoituksenmukaista suunnitella rakennukseen järjestelmä, jolla voidaan taata viihtyisät ja terveelliset lämpöolosuhteet. [1.] Ilmanvaihto on osaltaan ratkaisevassa asemassa, kun luodaan hyvä sisäilma rakennukseen. Oikeanlainen ilmanvaihto ja ilman vaihtuvuus luovat terveellisen ja viihtyisän sisäilmaston. [2.]

Lämmitys

Rakennusten lämmitysenergiasta huomattava määrä tuotetaan ja jaetaan huoneisiin lämmityslaitteilla, jolla varmistutaan siitä, että lämpöolosuhteet ovat hyvät ja viihtyisät. Tavanomaisimmin lämmitysjärjestelmät on jaettu vesikiertoisiin ja suorasähkölämmitys järjestelmiin sekä ilmalämmitysjärjestelmiin. Huonekohtaisia lämmittämiä ovat huo-

netilassa erikseen käytettävät takat, uunit, kamiinat ja erilliset sähkölämmittimet. Lämmönjakeluun liittyvät siis olennaisesti järjestelmän keskitys ja hajautus. Lämmöntuotto tulee olla keskitettynä yhteen paikkaan rakennusta, josta jaetaan lämpöä hajautetusti eri tiloihin. Lämmitystarve määritellään huonekohtaisesti, jolloin huoneen pinta-ala ja sijainti rakennuksessa vaikuttavat sen lämmitystehon tarpeeseen. Rakennuksen lämpöhäviöiden ja ilmanvaihdon tuloilman lämmitys sekä haluttu sisälämpötila ja rakennuspaikka määrittelevät lämmitysjärjestelmän tehon tarpeen. [1.]

Ilmanvaihto

Nimensä mukaisesti ilmanvaihdolla vaihdetaan tilan ilmaa ja näin hallitaan tilan hiilidioksidipitoisuutta sekä poistetaan tilaan syntyviä epäpuhtauksia ilmasta. Ilmanvaihdolla poistetaan terveydelle välillisesti tai suoraan haitallisia epäpuhtauksia, joiden lähteenä ovat sellaiset tekijät, joita ei voida hallita rakennuksessa. Nämä ovat useasti ihmisperäisiä, aineenvaihdunnasta tai ihmisen elämiseen liittyvistä tavoista syntyviä epäpuhtauksia. Myös rakennusmateriaaleista, kojeista, laitteista ja prosesseista syntyy epäpuhtauksia, jotka vaikuttavat rakennuksessa sen sisäilmastoon. [2.] Rakennuksesta poistettu epäpuhdas ilma korvataan raittiilla ulkoilmalla hallitusti. Ilmanvaihdon tulee olla asuinrakennuksissa jatkuvaa, jotta sisäilman hyvä laatu voidaan taata sekä rajoittaa kosteuden ja epäpuhtauspitoisuuksien määrää rakennuksessa. Rakenteista syntyy epäpuhtauksia, joiden poistamiseksi tulisi koneellisen ilmanvaihdon taata vaihtuvuus 0,5/h. [3.] Tuloilmaa tarvitaan rakennukseen suurin piirtein sama määrä kuin sieltä poistuu ilmaa. Radioaktiivisten kaasujen ja muiden epäpuhtauspitoisuuksien rajoittamiseksi 0,5/h vaihtuvuus on tarpeellinen. Tarpeen ilmanvaihdolle määrittelee se epäpuhtaus, joka vaatii suurimman ilmamäärän. Asuinrakennuksessa tämä useasti on asumisen synnyttämät kosteuskuormat. [2.]

2.2 Ilmakiertoinen lämmönjako

Ilmakiertoiset lämmönjakojärjestelmät nimensä mukaisesti jakavat lämmön tiloihin ilmalla. Nämä lämmitysjärjestelmät soveltuvat erityisesti matala- ja passiivienergiataloihin. Näiden pieni energiankulutus perustuu hyvään eristykseen ja ilmatiiveyteen. [4.] Ilmakiertoiset lämmönjakojärjestelmät on jaettu kolmeen toimintansa puolesta eroavaan systeemiin, joissa ilma toimii lämmönsiirtoaineena.

Ilmanvaihtolämmitys

Ilmanvaihtolämmityksessä yhdistyvät ilmanvaihto ja lämmitys, jossa rakennuksen il-mavirrat mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaisiksi. Tuloilma lämmitetään keskite-tysti tuloilmakoneessa perustasolle, jonka jälkeen tuloilmapäätelaitteella ilma lämmitet-tään sähkövastuksella haluttuun lämpötilaan, jota ohjaa huonetermostaatti. Tilat kuten pesuhuoneet, joihin ei tuoda tuloilmaa, lämmitetään jollain muilla keinoin, kuten säh-köisellä lattialämmityksellä. Tämä järjestelmä on nykyaikainen versio ilmalämmityk-sestä, ja se voidaan toteuttaa, kun rakennuksen lämpöhäviöt ovat hyvin pienet. [4.]

Ilmakiertoinen lattialämmitys

Ilmakiertoinen lattialämmitys on lattialaataan asennettu kanavisto, jossa kierrätetään lämmitettyä ilmaa, joka lämmittää lattialaattaa. Tämä ilma kiertää suljetussa piirissä, eikä siis näin ollen ole yhteydessä rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän kanssa. Raken-nukseen tarvitaan lisäksi erillinen ilmanvaihtojärjestelmä. Ilmakiertoisessa lattialämmi-tyksessä lämmitysenergiana voidaan käyttää vaihtoehtoisesti monia eri lämmitysmuo-toja ja lämmitysenergian lähde on mahdollisuus vaihtaa myös jälkikäteen. [4.]

Ilmalämmitys

Ilmalämmitys toimii lämmönjakojärjestelmänä, jossa lämpöä siirretään tilaan käyttäen ilmaa lämmönsiirtoaineena [5]. Ilmalämmitysjärjestelmässä on lisäksi tulo- ja poistoil-mapuhaltimet, joiden myötä järjestelmään yhdistyy talon ilmanvaihtojärjestelmä [6]. Täysin ilman avulla toteutettu järjestelmä on hyvin nopeasti lämmitystarpeen muutok-siin reagoiva kokonaisuus [7]. Ilmalämmityskojeessa on joko sähkö- tai vesikiertoinen lämmityspatteri, joka antaa mahdollisuuden vaihtaa lämmitysenergiaa myös tulevaisuu-dessa [4].

2.3 Ilmalämmitysjärjestelmä

Ilmalämmitysjärjestelmässä ei ole ulospäin huomattavia laitteita tai putkistoja, lukuun ottamatta ilman puhaltamista, poistamista tai kierrättämistä varten olevia päätelaitteita [3]. Eroavaisuus ilmanvaihtojärjestelmään on kojeessa oleva kolmas puhallin, jolla kierrätetään rakennuksen sisäilmaa. Kiertoilma sisältää rakennuksen lämmittämiseksi

tarvittavan lämpömäärän. Ilmalämmitysjärjestelmässä onkin tästä syystä suuremmat il-mavirrat kuin tavanomaisessa, täysin koneellisessa ilmanvaihdossa. Järjestelmän koko-naisilmavirrasta vain pieni osa on ulkoa tulevaa tuloilmaa tai ulos puhallettavaa jäteil-maa. [6.]

Ilmalämmitysjärjestelmä on toimintaperiaatteeltaan samanlainen täysin koneellisen il-manvaihtojärjestelmän kanssa [8]. Raitis ulkoilma johdetaan ulkoa koneelle suodatti-men ja lämmöntalteenottolaitteen kautta tuloilmapuhaltimelle. Tämän jälkeen tuloilma lämmitetään ja puhalletaan haluttuihin huonetiloihin kanavistoa pitkin, jonne se puhal-letaan päätelaitteen kautta. Poistoilmapuhallin imee huonetiloista likaista ilmaa, joka suodattimen ja lämmöntalteenottolaitteen kautta puhalletaan ulos rakennuksesta. Mo-lemmissa tapauksissa näiden puhaltimien ja lämmöntalteenottolaitteiden toiminnan tar-koitus on sama. Rakennuksen ilmaa vaihtavat, täysin koneelliset järjestelmät varuste-taan lämmöntalteenottolaitteella rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi. [6.]

Ilmalämmityksen perusratkaisu soveltuu vain pieniin rakennuksiin, joiden lämmityksen tarve voidaan tyydyttää vähimmäisilmanvaihdolla. Tämä perusratkaisu on esilämmite-tyn ilman sisään puhallus ja poistoilmanvaihto. [3.] Ilmalämmityksessä huoneeseen pu-hallettava ilma lämmitetään keskitetysti ja puhalletaan huoneisiin pääasiallisesti ikku-noiden edestä, lattialle sijoitetuista säleiköistä [4].

Ilmalämmitysjärjestelmän tehtävänä on kierrättää rakennuksen ilmatilavuus noin 2–3 kertaa tunnissa. Rakennusta suunniteltaessa on tämä ilman kierrättäminen otettava huo-mioon ja varattava riittävät reitit ilman siirtymiseen tuloilmasäleiköiltä kiertoil-masäleikölle. Kiertoilmapuhallin kierrättää rakennuksessa olevaa ilmaa ja näin tasaa lämpötilaeroja eri tilojen kesken. [9.] Rakennuksen ilman kierrätys 2–3 kertaan, ennen kuin se poistetaan ulos rakennuksesta, on myös ilmalämmityksen keskeisiä ominaisuuksia. Tämän ominaisuuden avulla ilmalämmitysjärjestelmällä on mahdollista saavuttaa tasaiset sisäilmaolosuhteet koko rakennuksessa [3].

Mitoitettaessa ilmalämmitysjärjestelmää, on huomioitava ilman puhtaus ja tavoite il-manvaihtuvuudelle, joka on 0,3–0,5 vaihtoa tunnissa. Likaista poistoilmavirtaa vas-taava määrä raitista ulkoilmaa on tuotava rakennukseen ilmalämmityskojeen kautta. [9.] Poistoilmaa korvaavaa, ulkoa otettua raitisilmaa ei ole kyetty ottamaan hallitusti raken-nukseen sisään vaipan kautta, joten keskitetty ilmanotto ja sen jakaminen tasaisesti

kaikkien huonetilojen kesken ilmalämmityskojeella on hyvä ja toimiva ratkaisu. Samalla keskitetty ilman sisäänotto hyötyy ulospuhallettavan poistoilman lämpöenergiasta käytettäessä LTO-laitetta. [7.]

Raitisilman esilämmitys tapahtuu lämmöntalteenottolaitteessa likaisten tilojen poistoilman sisältämällä energialla, jonka jälkeen tuloilma sekoittuu kiertoilmaan, joka lämmittää tätä lisää. Ilmalämmitysjärjestelmien markkinoilla laitevalmistajat ovatkin myyneet kokonaisuuksia, jotka sisältävät tulo-, poisto- ja kierrätysilmapuhaltimen sekä poistoilman lämmöntalteenoton. [3.]

Ilmalämmitysjärjestelmässä tuloilmaa lämmitetään ilmalämmityskojeen patterilla siten, että haluttu sisälämpötila saavutetaan. Tämä lämpötila on yleensä korkeampi kuin tuloilman lämpötila tavanomaisessa ilmanvaihdossa, jossa tilassa olevat lämmitysjärjestelmän lämmönluovuttimet lämmittävät sinne puhalletun tuloilman haluttuun huone-lämpötilaan. [10.]

Ilmalämmitysjärjestelmässä päätelaitteiden sijoittelu poikkeaa tavanomaisen, täysin koneellisen ilmanvaihdon päätelaitteiden sijoittelusta. Tulo- ja poistopäätelaitteet sijoitetaan jokaiseen tilaan, johon tarvitaan lämmitystä ja ilmanvaihtoa. Sijoittelussa kuitenkin pätevät samat periaatteet kuin tavanomaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä, jolloin tuloilmaa ja kierrätysilmaa tuodaan pääasiassa oleskelutiloihin ja poistetaan tiloista, joissa on suurimmat epäpuhtauslähteet. Poistoilmapäätelaitteen kautta ilma ei enää palaudu rakennukseen käyttöön. [10.]

Ilmalämmityksen vertaaminen suoraan muihin rakennuksissa käytettäviin lämmitys- tai ilmanvaihtojärjestelmiin ei ole mahdollista. On huomioitava, että ilmalämmitysjärjestelmä on ensisijaisesti ilmanjakojärjestelmä, joka on usein myös osa ilmanvaihtojärjestelmää ja johon on useimmiten integroitu rakennuksen lämmittämiseksi tarvittava lämmitys-laite. Ilmalämmitysjärjestelmä on vertailukelpoinen, kun tarkastellaan rakennuksia, joissa on esimerkiksi radiaattori- tai sähkölämmitys ja täysin koneellinen ilmanvaihto. [7.] Ilmanvaihdossa käytettäessä kierrätysilmaa on tarve asentaa jokaiseen asuntoon oma erillinen ilmalämmityskoje [9]. Tällä on myös vaikutus järjestelmän toimivuuteen, sillä pienempi lämmitysenergian tarve on parempi [11].

2.4 Ilmalämmitysjärjestelmät Suomessa

Koneellinen ilmalämmitysjärjestelmä tuli markkinoille nykymuodossaan vuonna 1976 ja järjestelmä saavutti suosionsa huipun noin vuonna 1980 [7]. Suomalaisiin pientaloihin oli asennettu noin 10 000 ilmalämmitysjärjestelmää vuoteen 1981 mennessä [11]. Suosion kasvuun vaikuttivat energiansäästöodotukset [7]. Ilmalämmitysmarkkinoilla oli vuoden 1980 alussa 11 yritystä, jotka keskittyivät varsinaisesti ilmalämmitysjärjestelmien valmistukseen. Valmistajia olivat Aeromaster, Energiset, Ila15, Taloterm Air, Parma, Tupla, Valmet Kotilämpö, Termovent, Upovari, Himabloc ja Ilmajoule, joiden kaikkien järjestelmät olivat osaltaan hyvin samanlaisia. Suurimmalla osalla näistä valmistajista oli kokemusta jo aiemmin ilmanvaihtoalalta. [3.]

Ilmalämmitysjärjestelmiin kohdistuneet odotukset paremmasta sisäilmaston laadusta ja energiatehokkuudesta ovat perustuneet moniin tekijöihin. Poistoilmasta talteen otetun lämmön hyödyntäminen tuloilman lämmittämiseksi pienentää tämän lämmitystarvetta. Myös järjestelmän nopea reagointi lämmöntarpeen muutoksiin ja paikallinen tai fasadi-kohtainen yllilämpö on kierrätysilman avulla pienellä viiveellä tasattu kaikkien tilojen kesken. Ilman kierrättämisen ja suodattamisen ansiosta huoneilman laatu pysyy tasaisena koko rakennuksessa. [7.]

Ilmanvaihtomäärät ovatkin pienennettävissä käytönajan maksimimääristä useimmissa kohteissa ilmanvaihdon tarpeenmukaisen ohjauksen myötä. Ilmalämmitysjärjestelmissä suuret ilman tilavuusvirrat ja syvät patterit antavat mahdollisuuden hyödyntää matalalämpötekniikkaa. [7.] Ilmalämmitysjärjestelmän suodattimet ja suuret kiertoilmavirrat edesauttavat ilmassa olevien pölyjen pitoisuuksien vähenemistä [3].

Osana suosiota on ollut myös se, että kanaviston asentaminen on ollut mahdollista toteuttaa itse. Ajatuksena on ollut, ettei pieni ilmavuoto haittaa verrattain pieneen vesivuotoon, eikä kanaviston asentamiseen ole juurikaan tarvittu työkaluja tai ammattitaitoa. Tämä on kuitenkin johtanut valmistajien huonon jakeluverkoston, puutteellisen ohjeistuksen sekä heikon asennustarvikkeiden standardoinnin myötä asennusvirheisiin, jotka ovat vaikuttaneet järjestelmän toimintaan. [7.]

Ilmalämmitysjärjestelmän asentaminen on ollut hyvin yksinkertaista, ja alkuun noin puolet ovat olleet itse asennettuja, loput jälleenmyyjien ja valtuutettujen LVI-

asennusliikkeitten asentamia. Asennuksien todennäköisyyteen onnistua ei juurikaan ole vaikuttanut se, kuka kanavistot ja koneen on asentanut. Onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseksi olisikin parannusten suuntaaminen esivalmisteluihin ja niiden pidemmälle saattamiseen. Tärkeässä roolissa ovat työmaaolosuhteet, asenteet ja osaaminen. Onnistuneen lopputuloksen edellytyksiä ovat korkeatasoiset ja tarkat suunnitelmat, joita on helppo noudattaa asennusvaiheessa ja työ on suorittamisen jälkeen helppo tarkastaa. Toteutettava työ tulisi myös suunnitella tehtäväksi käyttäen mahdollisimman vähän erikokoisia osia, jotka olisivat osana suurempia laitekokonaisuuksien toimituksia työmaalla. Näiden kokonaisuuksien kehittäminen tulisi tehdä siten, että järjestelmän osat ja laitteet ovat helposti tunnistettavissa ja sijoitettavissa suunnitelmien mukaisiin paikkoihin. Ilmalämmitysjärjestelmä on toimitettava käyttö- ja huolto-ohjein, joiden saaminen käyttäjälle on varmistettava esimerkiksi toimittamalla ne kiinteässä muovitaskussa kojeen sisällä. Näissä ohjeissa tulee olla selkeästi luettavissa, kuinka kojeen säädöt toimivat ja mikä nappula ohjaa mitäkin toimintoa. [7.]

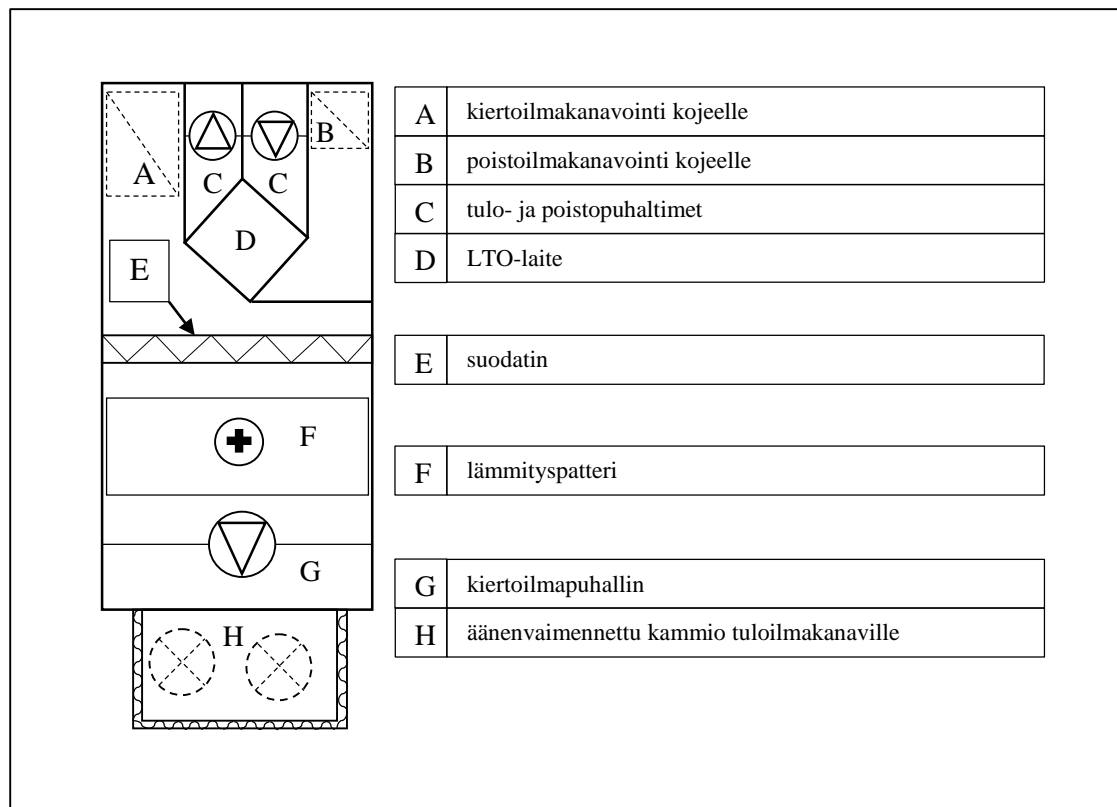
3 ILMALÄMMITYSKOJE JA JÄRJESTELMÄ

Ilmalämmitysjärjestelmät koostuvat joko yhdestä tai kahdesta laitekokonaisuudesta. Kokonaisuuksiin on koottu kaikki ne laitteet ja toiminnot, joita tarvitaan ilman lämmittämiseen ja eri huoneisiin siirtämiseen, huoneilman suodattamiseen ja kierrättämiseen sekä riittävän ilmanvaihtuvuuden toteuttamiseen. Laitteet ovat joko yhden noin 600x600x2000mm kokoisessa kotelossa, tai laitteen lämmöntalteenotto-osa on integroitu liesituulettimeen. Ilman kierrättämiseksi voidaan kanavoinnit sijoittaa mihin rakennusosaan tahansa, jolloin on varmistuttava kanavoinnin riittävästä eristyksestä. Kiertoilmaa voidaan johtaa rakennuksessa ovirakojen tai erityisien kiertoilmakanavien kautta. Ilma voidaan jakaa rakennuksessa joko ala- tai yläjakoisesti. Rakennuksissa, jotka ovat kahdessa kerroksessa, voidaan käyttää alemman kerroksen yläpohjaa kanavien asennuksille ja käyttää molempia jakotapoja. [3.]

3.1 Järjestelmän osat

Keskus- eli kiertoilmakoje on ilmalämmitysjärjestelmän keskeisin ja suurin komponentti. Tähän osaan pääsääntöisesti ovat sijoitettuna järjestelmän suurimmat osat, joita

ovat tulo- ja poistopuhallin, lämmityspatteri, kiertoilmapuhallin, karkeasuodatin ja lämmöntalteenottolaite. Lämmöntalteenottolaite voi olla integroituna myös liesituulettiin, jolloin myös poistopuhallin sijaitsee tämän yhteydessä. Keskuskojeessa on myös valmiiksi asennettuna tai jälkiasennettuna elektroni- eli sähkösuodatin. [3.] Ilmalämmitysjärjestelmässä keskuskojeeseen sisältyvät kuvan 1 mukaiset osat [7]. Järjestelmän muut osat ovat säätöautomaatiikka, ilmanjakokanavistot, puhalluskammio kojeen alapuolella sekä huonekohtaiset päätelaitteet, joilla voidaan tasapainottaa ilmavirtoja huoneiden kesken [3].



KUVA 1. Ilmalämmityskojeen perusrakenne

Säätölaitteet

Säätölaitteet on sijoitettu keskuskojeen tai liesikuvun ohjauspaneeliin. Näistä voidaan ohjata kierto-, tulo- ja poistoilmapuhaltimien nopeutta, ilmanpuhdistinta päälle ja pois sekä mahdollisen kiertovesipumpun toimintaa. Laitemerkistä riippuen osa toiminnoista voi olla integroituna toisiensa kanssa valmiiksi. [3.]

Järjestelmän ohjausautomaatiikka on yleensä sijoitettuna huonepaneeliin, jossa on termostaatti huoneiston lämpötilan ohjaamista varten. Lisäksi vapaasti ohjelmoitavissa

olevalla vuorokausikellolla voidaan asettaa haluttuja lämpötilan pudotuksia tai nostoja halutuiksi kellonajoiksi. Huoneiston eteiseen voidaan asentaa myös järjestelmän kotona/poissaolo-kytkin. [3.]

Lämmöntalteenottolaite

Lämmöntalteenottolaite eli LTO-laite on lähes poikkeuksetta mukana ilmalämmityskojeissa. Käytettäessä muita lämmitysjärjestelmiä, on koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä oltava lämmöntalteenottolaite. [7.] Lämmöntalteenottolaitteiden tehtävänä on pienentää yleistä lämmönkulutusta hyödyntäen poistoilmassa olevaa lämpöenergiaa siten, että otetaan poistoilmasta lämpöä ja siirretään se ulkoa otettavaan tuloilmaan. Pientaloon soveltuvissa järjestelmissä LTO-laite toimii siten, ettei tulo- ja poistoilma sekoitu juurikaan tai laisinkaan keskenään. [3.]

Kun ilmassa oleva lämpöenergia siirretään ilmavirtoja erottavan levyn lävitse toiseen ilmavirtaan, on kyseessä rekuperatiivinen lämmönsiirrin eli levylämmönsiirrin. Lämpöenergian varastoinnista aineeseen, joka jäähtyy ja lämpenee ilmavirroissa, kutsutaan regeneratiiviseksi lämmön siirtymiseksi. Tämän kaltaisia laitteita ovat pyörivät lämmönsiirrin, lämmöntalteenottopatterit ja lämpöputkisiirtimet. [8.]

Pientaloissa erityisen suosittu järjestelmä on ollut levylämmönsiirrin. Levylämmönsiirrin on kennosto, joka koostuu suorakaiteen muotoisten levyjen muodostamasta, tiiviistä kanavistosta siten, että joka toisessa välissä virtaa tuloilma ja joka toisessa poistoilma. Viileämpään tuloilmaan johtuu lämpimämmän poistoilman lämpöenergia levyjen läpi. Tällöin ilmavirrat eivät pääse sekoittumaan keskenään. Lämpöputkipatteri puolestaan toimii helposti höyrystyvän nesteen avulla. Patterin alaosassa virtaa lämpimämpi poistoilma, jonka höyrystämä neste nousee ylös putkessa. Putken yläosassa kulkee viileämpi tuloilma, joka lauhduttaa höyryn jälleen nesteeksi. Lämpöenergia siirtyy tällöin tuloilmaan. Pyörivä LTO-laite on nimensä mukaisesti pyörivä kiekko, jossa on halkaisijaltaan pieniä kanavia, joiden läpi ilma virtaa. Poistoilma lämmittää toisella puolella kiekkoa, joka kääntyessään luovuttaa lämpöä tuloilman puolelle. Tässä järjestelmässä on mahdollisuus, että ilmavirrat pääsevät vähän sekoittumaan. LTO-kiekolla on mahdollista myös siirtää kosteutta. Nestekiertoisia LTO-laitteita ei juurikaan käytetä pientaloissa. [3.]

LTO-laitteen hyötysuhteeseen vaikuttaa ilmavirtojen ja lämpötilojen suhde. Liian suurella lämpötilaerolla vaihdin saattaa huurtua, joka likaantumisen ohella heikentää laitteen tehoa olennaisesti. Poistoilmassa oleva energiasisältö ei riitä lämmittämään kylmää ulkoilmaa ja vaihdin alkaa huurtua. Huurtuminen on jossain määrin ongelma kaikissa lämmöntalteenottolaitteissa. Jos tuloilma on huomattavasti pienempi kuin poistoilma, ei huurtumista esiinny. Tällöin poistoilman lämpöenergia riittää lämmittämään ulkoilman, joka tosin tarkoittaa, että rakennuksen ilmavirrat eivät ole tasapainossa ja tuloilmaa ei tuoda rakennukseen hallitusti. Lämmöntalteenottolaitteen hankinnassa onkin tärkeää kiinnittää huomiota sen hyötysuhteeseen ja miten huurtumisen estyminen on toteutettu. [3.]

Suodattimet

Suodattimet ovat osa kojetta. Lämmöntalteenottolaitetta ja kojetta suojaamaan kannattaa asentaa karkea esisuodatin ulkoilmaan ja poistoilmassa tulee käyttää rasvasuodatinta keittiön liesikuvussa. Kiertoilman suodattamisella on suuri merkitys sisäilman laatuun. Ilmalämmityksen kolme pääasiallista suodatintyyppiä ovat mekaaniset ja sähköiset suodattimet sekä hajusuodattimet. On myös kemiallisia suodattimia, joita harvoin käytetään niiden suuren painehäviön, vaatiman koon ja huollon vuoksi. [7.]

Puhaltimet

Puhaltimia oli ensimmäisissä ilmalämmityskojeissa vain kaksi, kiertoilma- ja poistoilmapuhallin. Kiertoilmapuhaltimen tehtävänä oli kierrättää ilmaa rakennuksen sisällä ja samalla imeä ulkoa raitista tuloilmaa korvaamaan poistoilmapuhaltimen ulospuhaltama ilmamäärä. Tällä järjestelyllä onkin rakennuksen painesuhteiden hallinta osoittautunut ylivoimaisen suureksi erityisesti kojeissa, joiden puhaltimien kierrosnopeutta on ollut mahdollista säätää toisistaan riippumatta. Laitteiston ja ajatuksen kehittyessä kojeisiin lisättiin puhallin, jonka tehtävänä on toimia poistoilmapuhaltimen parina. Useasti näillä puhaltimilla on yksi yhteinen säätölaite. Koneellisessa ilmanvaihdossa rakennuksen painesuhteiden hallinnalla on keskeinen merkitys sisäilmasto-olosuhteisiin. Ulkoa hallitusti tulevan raittiin ilman määrä tulisi olla noin 80–99 % poistoilmavirrasta. Ilmamäärien ja rakennuksen painesuhteiden hallintaan tarvitaan kolmea puhallinta. Tulo- ja

poistoilmapuhaltimet asetetaan toimimaan siten, että ulkoilmavirta ei ole poistoilmavirtaa suurempi, jolloin estetään rakennuksen ylipaineistuminen. Kiertoilmapuhallin huolehtii rakennuksessa ilman kierrätyksen ja lämmityksen vaatimasta ilmamäärästä. [7.]

Lämmitys

Lämmittäminen ilmalämmitysjärjestelmällä voidaan toteuttaa käyttäen perinteisen radiaattorilämmityksen lämmönlähdettä, ilmalämmitysjärjestelmässä olevan, runsaan lämmönsiirtopinnan omaavan, syvän lämmityspatterin johdosta [10]. Ilmalämmitysjärjestelmässä on mahdollista toteuttaa matalalämpötekniikan vaatimat suuret lämmityspatterit kojeeseen. Kun ilmavirta siirretään puhaltimella, on ilmalämmityskojeen lämmityspatterin konduktanssi parempi kuin huoneessa sijaitsevan vesipatterin. Konduktanssi on lämmönsiirtopinta-ala \times lämmönsiirron tehokkuus. Lämpötilan alarajaa ei määritä lämmönsiirtokyky, vaan ilman lämmönkuljetuskapasiteetti. Ilmalämmityksen soveltuvuus lämmitysjärjestelmäksi omakotitaloissa, perustuu ilmalämmitysjärjestelmässä mahdollisuuden käyttää matalan lämpötilan lämmönlähdettä. Havaittuja ongelmia on aiheuttanut korkea menoveden lämpötila ja pieni ilmavirta, jotka saattavat aiheuttaa epätasaisen lämpötilajakauman. Jakauma osittain tasaantuu puhaltimessa ja jakolaatikossa, mutta huoneisiin kulkeutuva ilmavirta saattaa silti olla erilämpöistä tuloilmapäätelaitteilla eri kanavahaarojen kesken. [7.]

Ilmalämmityksellä on mahdollista säätää rakennuksen keskimääräistä lämpötilaa tarkasti. Tarkan säädön mahdollistaa suuren kierrätysilmavirran käyttö, joka jo valmiilla lämpösisällöllään pienentää lämmitystehon tarvetta. Myös tilojen lämmittäminen toteutetaan sinne puhallettavalla ilmalla sen sijaan, että niissä olevaa ilmaa lämmitettäisiin. [10.] Ilmalämmityksen toiminta perustuu ilman yllilämmittämiseen, joka korvaa johtumisen häviöt [7].

Lämmittäminen ilmalämmitysjärjestelmällä poikkeaa perinteisestä lämmitysjärjestelmän ulkoilman lämpötilaa seuraavasta säätökäyrästä. Perinteisessä säätökäyrässä menoveden lämpötila on ollut riippuvainen ulkoilman lämpötilasta, jossa menoveden lämpötilaa nostetaan, kun ulkoilman lämpötila laskee. Ilmalämmityksessä huonetermostaatti säätää ilmalämmityksen patterilta saatavaa lämpötehoa ja järjestelmässä on myös aikaohjauskello, jolla saadaan aikaiseksi lämpötilan pudotus halutulle ajanjaksolle. Il-

malämmityksessä lämpötilan ohjaus halutun sisälämpötilan kautta nopeuttaa järjestelmää säätämään sisälämpötilaa halutuksi. Termostaatti havaitsee paikalliset yلیلämmöt ja säätää lämmityslaitteen tehon tarvetta vastaavaksi. [7.] Ilmalämmitysjärjestelmä tasa teokkaasti rakennuksessa olevia lämpökuormia tai lämmöntarvetta. Lämpökuormia syntyy sisäisistä tekijöistä, kuten takasta tai saunasta, sekä ulkoisista tekijöistä, kuten auringon paistamisesta jollekin fasadille. [9.] Tämä lämmön tehokas tasaaminen pienentää tilojen yلیلämmön osuutta lämpöhäviöistä, tasaamalla rakennuksen lämpöä kaikkien tilojen kesken [10].

Ilmalämmityksen suurin puute nykyisillä kojeilla on ollut sisäänpuhallettavan ilman lämpötila. Jokaiseen huoneeseen puhalletaan saman lämpöistä ilmaa, jonka vuoksi lämpökuormien siirto ja huomioon ottaminen fasadilta toiselle toteutuu vain osittain. Vesi-kiertoisessa lämmitysjärjestelmässä patterin huonetermostaatti huolehtii, ettei patterilla lämmitetä tilaa haluttua lämpötilaa suuremmaksi. Ilmalämmitysjärjestelmässä sama voitaisiin toteuttaa säätämällä ilmavirtoja lämmitystehon tarpeen mukaan huoneittain, tai sijoittamalla kaksi patteria, jotka olisivat fasadikohtaisella ohjauksella. Olisi myös mahdollista toteuttaa sähköpatterilla huonekohtainen jälkilämmitys. Nykyisissä passiivitaloissa tätä mallia on jo toteutettu. [7.]

Ilmalämmitysjärjestelmässä paikallisten lämpökuormien siirtäminen kierrätysilman avulla tasa rakennuksen lämpökuormaa nopeasti ja tehokkaasti koko rakennuksen käyttöön, samalla pienentäen kojeen lämmityspatterilta vaadittua tehoa. Tätä ominaisuutta ei ole missään muussa lämmitys- tai ilmanvaihtojärjestelmässä. [7.]

Pienrakennuksessa takasta tai leivinuunista saatava lämpö on mahdollista hyödyntää ilmalämmitysjärjestelmän kautta. Lämmitetty ilma kulkeutuu kiertoilman mukana tasaisesti kaikille tuloilmapäätelaitteille rakennuksessa. Tällä tavoin saatavilla olevaa hyötylämmön käyttöä voidaan tehostaa asentamalla lämmönlähteen yläpuolelle erillinen kiertoilmakanavan haara, jota voidaan käsisäätöpellillä ohjata, kun lämpöä on saatavilla. [3.]

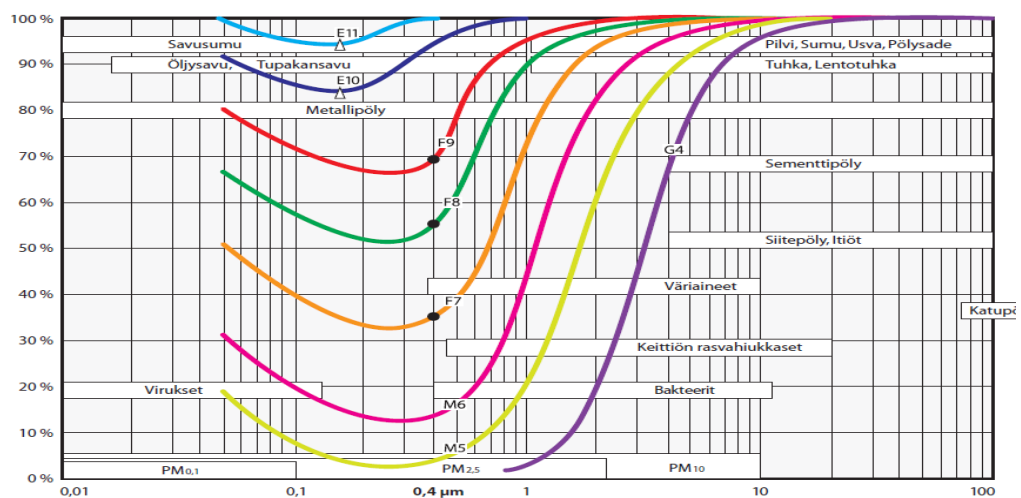
Ilmalämmitysjärjestelmän kanavoinnista on myös ollut käytössä malli, jossa voidaan ottaa raitisilman talvella ullakkotilasta. Tässä ajatuksena on ollut mahdollistaa talvella hieman lämpimämmän ja kesällä hieman viileämmän ulkoilman käyttö. [7.]

3.2 Ilmansuodattaminen

Ilmansuodattamisen tarkoituksena on epäpuhtauksien poistaminen sisäilmastosta. Tarve suodatuksen tehokkuudelle määräytyy terveyden, laitteiden likaantumisen, asu-
mustottumusten sekä rakennuksen ympäristön vaikutuksesta tuloilmaan. Epäpuhtaudet
ilmassa voivat olla pölyjä, huuruja, savuja, bakteereita, viruksia, sieni-itiöitä ja höyryjä.
[8.]

Suodattimien materiaaleja, muotoja ja suodatusmenetelmiä voidaan käyttää suodatti-
mien määrittämiseen. Erityyppisiä suodattimia ovat kuitusuodattimet, tasosuodattimet,
poimusuodattimet, vekkisuodattimet, pussisuodattimet, sähköstaattiset- ja sähkösuodat-
timet sekä kemialliset suodattimet. Ilmassa olevat kaasumaiset epäpuhtaudet voidaan
erottaa kemiallisesti hajusuodattimella. Hajusuodattimen paksuus ja rakenne aiheutta-
vat hyvin suuren painehäviön nykyisellä muotoilullaan. Hajusuodatin täytyy vaihtaa
vuosittain. [7.]

Ilmanvaihtoon liittyvistä suodattimista kuitusuodattimet ovat yleisimmin käytetyt.
Nämä voidaan jakaa suodattavuuden perusteella karkea-, hieno- ja HEPA-
(mikro)suodattimiin. Suodattimille on annettu EUROVENT-luokitukset, joiden perus-
teella karkeasuodattimet (G) kuuluvat luokkiin EU1–EU4 ja hienosuodattimet (F) luok-
kiin EU5–EU9. Normaalessa olosuhteissa nämä luokitukset ovat riittäviä ilmanvaih-
don suodatuksen. [8.] Suodattimien toiminta ja suodatuksen tehokkuus ovat nähtävissä
kuvasta 2 ja taulukosta 1.



KUVA 2. Ilman epäpuhtauksia ja suodattimien tyypilliset vähimmäiserotusasteet eri suodatusluokissa [12]

Suodattimien tehoa tarkasteltaessa pienhiukkasten suodatuksesta on luotu taulukko 1, joka on arvioitu tuloksista, liittyen VTT tutkimusraporttiin NRO VTT-S-06006-09 joka on EN 779 -standardia mukailevalla menetelmällä toteutetuista mittauksista, joissa on selvitetty omakotitaloihin valmistettujen suodattimien todellista suodatustehoa. Näissä mittauksissa on käytetty DEHS ((Di(ethylHexyl)Sebaate) -hiukkasia, joita on tuotettu hiukkasgeneraattorilla. [13.] Tämän taulukon tulokset ovat suuntaa-antavia.

TAULUKKO 1. Suodattimien suodatusaste [13]

partikkeli (µm)	G3	F5	F7
0,3	0 %	7 %	33 %
0,5	2 %	9 %	42 %
1,0	2 %	12 %	60 %
3,0	7 %	45 %	97 %
5,0	75 %	94 %	98 %
10,0	85 %	99 %	99 %

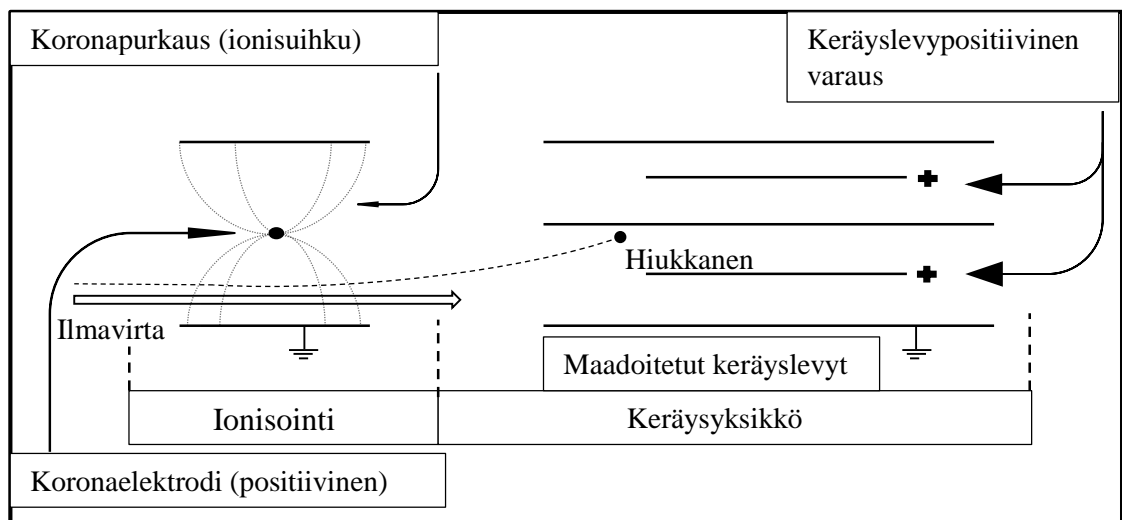
Mekaaniset ja kuitusuodattimet

Mekaaniset ja kuitusuodattimet ovat olleet yleensä karkeasuodattimia, joiden erotuskykyä kuvaa luokitus G85 (85 % suodatusaste yli 1µm hiukkasista). Suodattimeen jäävät vain isot pölyhiukkaset. Suodattimen painehäviö on luokkaa 20–30Pa kojeen täydellä ilmavirralla. Ilmalämmitysjärjestelmien käyttö- ja huolto-ohjeissa on suositeltu huolto-toimenpide, karkeasuodattimelle ollut pesu noin 5 kertaa vuodessa, jonka jälkeen suodatin olisi uusittava. Paremmalla erotusasteella varustetut mekaaniset suodattimet luokitellaan hienosuodattimiksi ja ne soveltuvat tiloihin, joissa tarvitaan tehokkaampi ilmansuodatus, kuten vaikkapa astmaatikoille. Hienosuodattimet ovat kertakäyttöisiä ja vaativat suuremman asennussyvyyden pussimaisuudestaan johtuen. [7.]

Kuitusuodattimen toiminta perustuu tietynlaisten suodatusmekanismien toimintaan. Tähän vaikuttavat ilmassa olevien hiukkasten halkaisija, massa ja suodattimen ominaisuudet. Kuitusuodattimen suodatusmekanismeja ovat seula-, hitausvoima-, kosketusvoima- ja diffuusiovaikutus. Pääasiassa kuitusuodattimet perustuvat siihen, että ilmassa oleva likainen partikkeli törmää suodattimen kuitumateriaaliin jääden tähän kiinni. [8.]

Sähkösuodattimet

Sähköisen suodattimen rakenne on hyvin yksinkertainen kojeen sisällä, se koostuu ionisaatio-osasta ja keräyslevyistä. Ensin ilma kulkee ionisointiosan läpi, jossa ilmassa oleville hiukkasille annetaan sähköstaattinen varaus korkeajännitteisen koronaelektrodin purkautuessa. [14.] Lähellä ohuita ionisointilankoja on nähtävissä vaalean sinertävää hohdetta, joka on merkki koronapurkauksesta laitteen ollessa toiminnassa. Tästä koronapurkauksesta hiukkaset saavat varauksensa. Näitä hiukkasia vetää puoleensa keräinosan metallilevyjen vastakkainen varaus. Näin ollen ilmassa olevista hiukkasista osa jää jo sähkösuodattimen ionisoivaan osaan. Kun keruuosan levyistä joka toiseen kytketään suurjännitteinen tasavirta ja joka toinen maadoitetaan, muodostuu näiden välille suuri jännite-ero näin muodostaen yhtenäisen sähkökentän joka aiheuttaa elektrodien tasaisen jakautumisen joka toiselle levyille. Positiivisesti varautuneisiin hiukkasiin vaikuttavat voimat ovat niitä puoleensa vetävien ja torjuvien voimien summa. Nämä voimat syntyvät sähkökentän ja varauksen vuorovaikutuksesta. Nämä voimat kiihdyttävät positiivisesti varautuneita hiukkasia kohti maadoitettuja levyjä ja negatiivisesti varautuneita hiukkasia kohti jännitteellisiä, positiivisesti varautuneita keruulevyjä. Jouduuttuaan kosketuksiin keruulevyn kanssa menettävät hiukkaset varauksensa ja omaksuvat levyn varaustilan jääden levyille. [3.] Kuvassa 3 esitetty sähkösuodattimen toimintaperiaate.



KUVA 3. Sähkösuodattimen toimintaperiaate [3]

Sähkösuodattimet kykenevät erottamaan yli 90 % kaikkein pienimmistäkin sisäilmassa olevista hiukkasista. Suodatin puhdistetaan pesemällä noin kerran kuukaudessa,

eikä sitä tarvitse vaihtaa, ellei se rikkoudu. Sähkösuodatin aiheuttaa noin 5 Pa lisäpainehäviön kojeessa, ja ne toimivat vain päälle kytkettynä. [7.]

Sähkösuodattimen toiminnan edellytys on säännöllinen ja huolellinen puhdistus. Puhdistusväliin vaikuttaa suodattimen mitoitus sekä epäpuhtaudet ja niiden määrät sisäilmastossa. Painehäviö suodattimessa ei nouse sen likaantuessa, joten perinteisellä suodatinvahdilla, joka mittaa paine-eron kasvua ei voida todentaa, milloin suodatin on likainen. Sähköisen suodattimen erotusasteeseen vaikuttaa läpivirtaavan ilman nopeus, ja koska suodattimen painehäviö on hyvin pieni, tulee varmistaa, että ilmavirta on jakaantunut tasaisesti ennen suodatinta. Suodattimen osat, jotka ovat jännitteellisiä, tulee suojata mekaanisella esisuodattimella karkealta pölyltä, hyönteisiltä ja vastaavilta. Aivan kaikki hiukkaset eivät jatkuvasti jää keräinlevyille, ja staattisesti varautuneet hiukkaset voivat liata tuloilmapäätelaitteiden lähistöllä olevia pintoja. [14.]

Sähkösuodattimet eivät ole tavanomaisia perinteisissä koneellisissa ilmanvaihtojärjestelmissä tai asennuksissa. Näitä kuitenkin käytetään joissakin tapauksissa paikallisesti syntyvien epäpuhtauksien poistamiseksi. Sähköisten suodattimien pieni painehäviö, kestävyys sekä sisäilmaston puhtauden tärkeyden tiedostaminen saattavat vaikuttaa näiden käyttöasteen kasvamiseen. [14.] Sähkösuodattimet tuottavat sisäilmaan pienen määrän ihmiselle haitallista otsonia joka syntyy koronapurkauksen johdosta [7].

3.3 Suunnittelussa huomioitavia seikkoja

LVI-suunnittelijan on toteutettava suunnitelmat siten, että järjestelmät täyttävät minimiohjeet ja arvot, jotka rakentamismääräyskokoelmassa on määritelty. Ilmalämmitys-järjestelmää tarkasteltaessa kysymyksessä on keskusilmanvaihtolaitoksen soveltaminen pientaloon. LVI-suunnitelmien tulisi sisältää yksityiskohtaiset työpiirustukset, joista on selkeästi ymmärrettävissä käytettävät materiaalit ja reitit. LVI-suunnittelijan on osattava tarpeen vaatiessa selvittää asiaan perehtymättömälle järjestelmän toiminta siten, että tuleva käyttäjä ymmärtää, miten järjestelmä toimii. [7.]

Koneen sijoittaminen keskelle taloa on ihanteellinen perussäätöä ajatellen. Kojeen keskelle rakennusta asettaminen, josta kanavoinnit olisivat yhtä pitkät joka puolelle rakennusta ei aina toki ole mahdollista. Suunnittelu ja huolella tehty säätötyö antavat mah-

dollisuuden sijoittaa kone rakennuksessa sille parhaiten soveltuvaan paikkaan. Kier-toilma tulee kuitenkin aina ottaa kojeelle keskeiseltä sijainnilta, tarpeen vaatiessa kier-toilmakanavointi toteutetaan ääntä vaimentavana kanavointina. Ilmalämmityskojeden äänitaso on usein ollut vähintään 35dB(A) suunnitelman mukaisella ilmavirralla toimi-essaan. Ilmalämmityskoje tulisikin sijoittaa aina toisarvoiseen tilaan tai siten, että tila, jossa koje sijaitsee, voidaan äänieristää mahdollisimman tehokkaasti. [7.] Makuuhuone tai makuuhuoneen vaatekomero ei ole sopiva paikka sijoittaa ilmalämmityskojetta tä-män aiheuttaman melun vuoksi. Koje kehittää ääntä, joka siirtyy kanavistoon, joka ei kuitenkaan ole ongelma, jos mitoitus, eristykset ja säädöt on toteutettu hyvin. [3.] Asen-netun toimivan järjestelmän ilmavirrat, lämpötilat ja painesuhteet on oltava helposti tar-kastettavissa. Järjestelmän äänentuotto rakennukseen tulee pitää kojeen ääneneristyk-sellä, kanavien äänenvaimennuksella ja suunnittelulla alle sallittujen arvojen, jotka ra-kennusmääräyskokoelmassa on esitetty keittiössä 35 dB(A) ja muissa oleskelutiloissa 30dB(A). [7.]

3.4 Kanavointi ja kanavamitoitus

Kojeen sijoittamisen puolesta puhuu perussäädön helppous, kun koje on sijoitettu siten, että kanavistot ovat symmetrisiä keskenään. Tällöin ilmavirta jakaantuu tasaisesti kaik-kien kanavahaarojen kesken. Kanavistot on helppo asentaa ja myöhemmässä vaiheessa myös helpompia puhdistaa. Kojeen sijainti määrittelee kunkin kanavan pituuden ko-jeelta päätelaitteelle, mutta aina ei kuitenkaan ole mahdollista, että kaikki kanavat oli-sivat yhtä pitkät ja sisältäisivät saman määrän painehäviötä kasvattavia osia. Onkin tär-keää, että kanavistot ovat sijoitettuina jokaiseen rakennukseen, tämän malliin ja raken-teisiin mahdollisimman luontevasti. Suositeltu asennustapa on ollut kojeelta säteittäinen asennus päätelaitteille. Päätelaitteiden valinta siten, että niiden painehäviöt ovat noin samaa kokoluokkaa, tulisi valita, jotta kanavisto olisi helpompi tasapainottaa. Tuloil-malaatikoita tai venttiileitä on asennettu kuhunkin runkokanavaan korkeintaan kahdesta kolmeen. Tämä edesauttaa pitämään runkokanavan halkaisijan pienempänä ilman, että kanavaan suositeltu ilmavirran nopeus kasvaa liian suureksi ja aiheuttaa ääntä. Kana-vien sijoittamista liian lähelle toisiaan tulisi pyrkiä välttämään. [3.]

Laitevalmistajat eivät ole yksimielisiä kokonaisilmamäärän tarpeesta. Yleisin suositus on ollut laskennallinen ilmamäärä joka on +30 °C rakennukseen haluttua sisälämpötilaa

nähdessä lämpimämpää, tällä ilmamäärällä katettaisiin lämmitystarve rakennuksessa talvella. Lisäämällä kiertoilman määrää saadaan paremmin tasattua yllämpöä rakennuksen sisällä, mutta suurempi ilmamäärä aiheuttaa myös helpommin vedon tunnetta kuin pienempi ilmamäärä. Kokonaiskiertoilman ilmamäärä on noin 135–420 l/s. [7.]

Tuloilmakanavien mitoitus tapahtuu sen palveleman tilan lämmitystarpeen ilmavirran mukaisesti. Laskennallinen lämmitysteho (johtumisen, vuotoilmavirta sisäänpäin ja halettu sisään puhallus lämpötila) määrittävät tuloilmavirran suuruuden. Normaalikokoinen omakotitalon lämmittäminen toteutuu noin 150–400 l/s kiertoilman määrällä. Runkokanavistolle käytettäessä 4–5 m/s nopeutta, tarvittava suurin kanavakoko on halkaisijaltaan 250–315 mm. Ilman nopeudeksi kanavistossa ei suositella yli 4 m/s, sillä ilman nopeuden ollessa suurempi alkaa ilmanliike kanavistossa kehittämään ääntä. [7.]

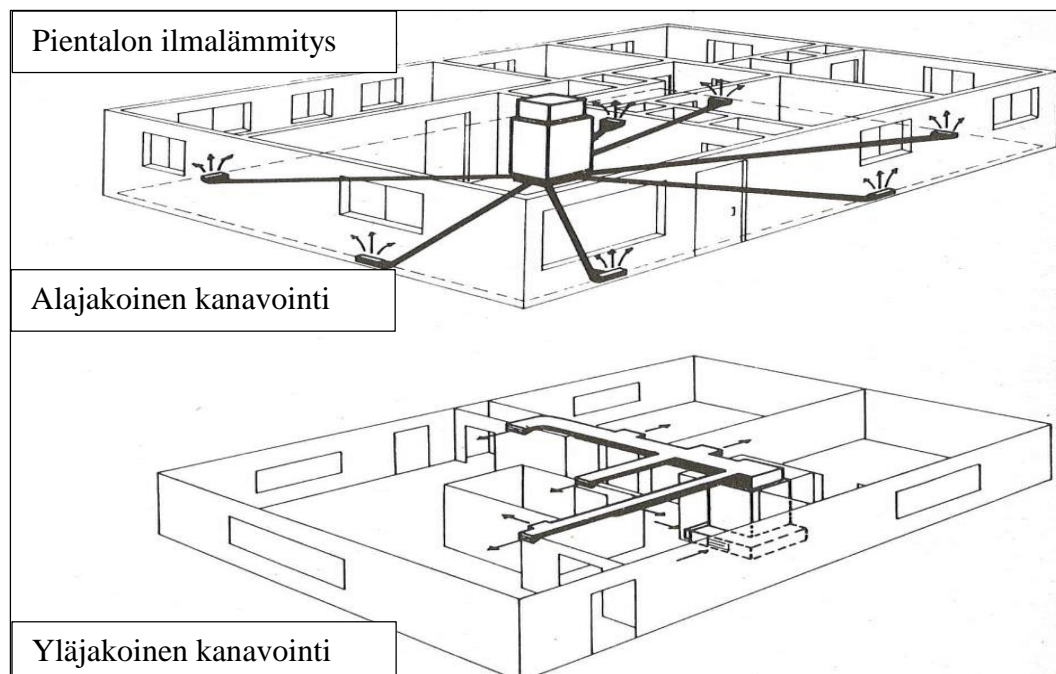
3.5 Ilmanjako ja päätelaitteiden valinta

Ilmanjaon tehtävinä on lämmön jakaminen, asumisviihtyvyyden parantaminen vaihtamalla ilmaa sekä huoneen lämpötilajakauman ylläpitäminen tasaisena [7]. Ilmanjako huoneessa voidaan toteuttaa sekoittavana, laminaarisena tai syrjäyttävänä, joista sekoittava ilmanjako on pientaloissa yleisin. Sekoittavassa ilmanjaossa ilman nopeus ja suunta ovat sellaiset, että ilma sekoittuu tehokkaasti huoneen ilmaan. Tämä auttaa luomaan tasaiset olosuhteet koko huonetilaan, ja siksi sekoittava ilmanjako soveltuu hyvin ilmalämmitykseen. [9.] Ilmanjakotavat on esitetty kuvassa 4.

Alajakoisessa kanavoinnissa tuloilmakanavat sijaitsevat pääosin lattian alapuolella, tuloilmapäätelaitteet sijaitsevat lattiassa ja poistoilmakanavointi ja päätelaitteet sijaitsevat tilan yläosassa tai yläpohjassa. Kanavointia asennettaessa lattian alapuolelle on varmistettava siitä, että maaperästä ei pääse kosteutta kosketuksiin kanavoinnin kanssa [6]. Alajakoinen ilmalämmitysjärjestelmä on yleisin; tässä puhallus tapahtuu lattiasäleiköstä, joka on 100x300mm. Lattiasäleikkö on asennettuna paineentasauslaatikoon, jossa voi olla asennettuna myös säätöosa, jolla on vaikutus säleikön ilmanjak ominaisuuksiin. Alajakoisessa järjestelmässä on huomattu ongelmia puhallettaessa viileää ilmaa pienellä nopeudella, jolloin saattaa syntyä vedon tunnetta. Alajakoisessa järjestelmässä on kalustettava huone siten, ettei tuloilmapäätelaite jää kalusteiden alle piiloon. [7.]

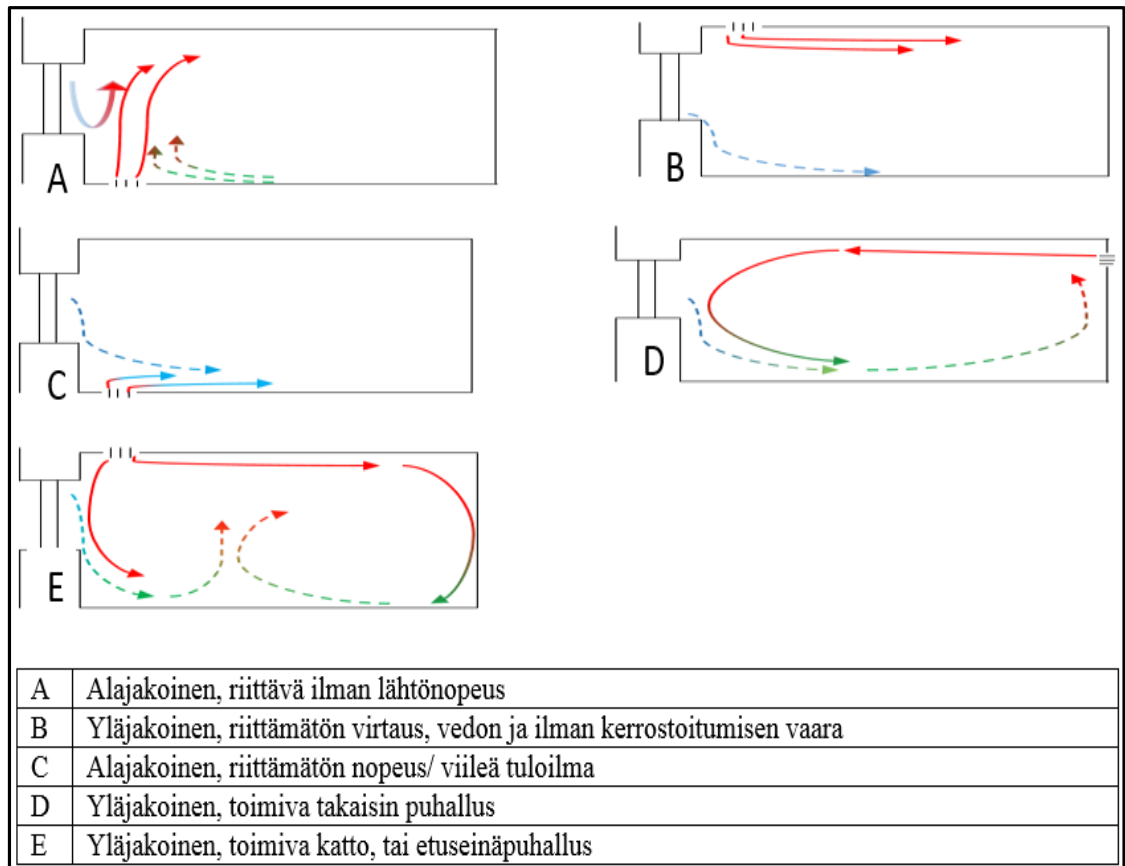
Ilmanjako voidaan toteuttaa alajakaisen kanavoinnin lisäksi yläjakoisesti. Yläjakoisessa kanavoinnissa kanavat kulkevat nimensä mukaisesti tilan yläosassa välikatossa tai eristettyinä yläpohjassa. Tällöin myös kaikki tulo- ja poistopäätelaitteet sijaitsevat tilojen yläosassa. [6.] Yläjakoisella ilman sisään puhalluksella on mahdollista tuottaa myös tasaiset lämpöolot. Useasti kustannusten minimoimiseksi on tingitty säädettävyydestä. Tuloilmasäleikkö tulisikin valita siten, että heittopituus olisi sama kuin huoneessa ilman kulkema matka. Puhaltamisen ikkunalta tai ikkunalle päin ei ole havaittu tuovan ratkaisevaa merkitystä muuten, kuin että heikko takaseinäpuhallus lisää vetoalttiutta. Puhallettaessa lämmintä ilmaa pieniä määriä voi ilman kerrostumisesta muodostua ongelma. Yläjakoisessa järjestelmässä on suurempi vaara tuloilman kulkeutua suoraan poistoventtiiliin kuin alajakoisessa järjestelmässä. [7.]

Rakennuksen ollessa useampitasoinen voidaan käyttää sekä ylä- että alajakoinista järjestelmää siten, että kanavointi asennetaan välipohjaan. Välipohjassa käytettäessä rakenteita, jotka varaavat lämpöä kanavina (ontelolaatta), on ilmalämmityksen lämmitystehon mitoituksessa ja puhaltimen paineen korotuksen mitoituksessa huomioitava tämän rakenteen normaalista kanavasta poikkeavat ominaisuudet. [7.]



KUVA 4. Ilmanjakotavat ilmalämmityksessä [3]

Esimerkit kuvassa 5 ovat kuvaus hyvistä ja huonoista lopputuloksista, joita esiintyy kaikilla ilmanjakotavoilla.



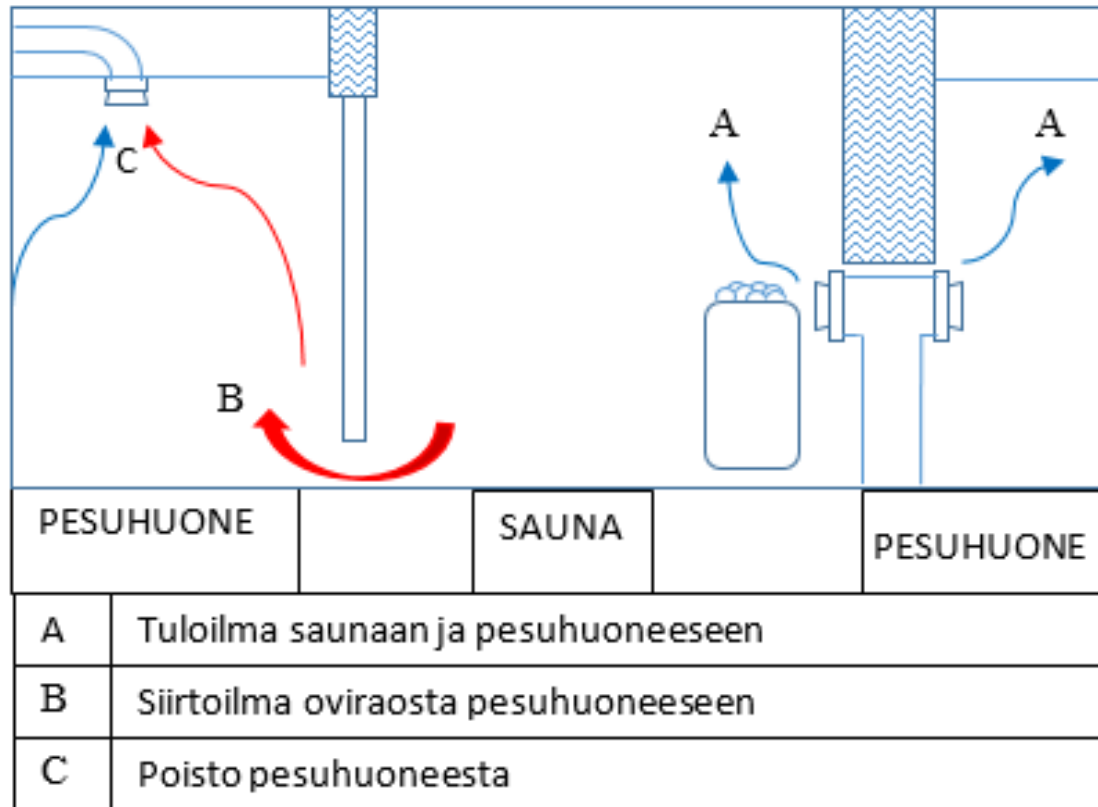
KUVA 5. Ilmanvaihdon jakotapojen hyvät ja huonot vaikutukset [7]

Haluttu heittopituus tuloilmassa on useimmiten noin 3–5 m, jolloin tuloilmasäleiköllä sopiva lähtönopeus ilmalle olisi noin 1,5–3 m/s. Tuloilmasäleikön koon ollessa 200x100mm sisään puhallettava ilmamäärä on noin 20–30 l/s. Tällä mitoituksella normaalikokoiseen huoneeseen riittäisi yksi tuloilmasäleikkö. Päätelaitteen valinta ja mitoitus tehdään laitevalmistajan käyrästä käyttäen valitsemalla ilmamäärälle sopiva päätelaite. Oikein valittu päätelaite ei aiheuta vedon tunnetta tai häiritsevää ääntä. Tuloilmapäätelaitteiden heittopituutta voidaan hienosäätää valmiissa asennuksissa säleiden sisään puhalluskulmaa muuttamalla. Tuloilman pyörteily pyritään tasaamaan ennen päätelaitetta, tällä saavutetaan päätelaitteen optimaalinen toiminta. [7.]

3.6 Poistoilmapäätelaitteiden sijoittaminen

Poistoilmaventtiilien sijoittaminen tulisi toteuttaa siten että ilmavirtaukset rakennuksessa olisivat oleskelutiloista kohti muita tiloja, joissa on suuremmat epäpuhtauslähteet, kuten keittiö ja wc/pesuhuoneet. Ilmalämmitysjärjestelmässä ongelmaksi voikin muodostua keittiön tuloilman määrä, joka on huomattavasti suurempi kuin poistoilman tarve

johtuen ilmavirran suuruudesta tilan lämmittämiseksi. On voitava poistaa enemmän ilmaa tiloista, joissa on suuret epäpuhtauslähteet kuin mitä sinne puhalletaan. Tällöin oikeat virtausolosuhteet ovat saavutettavissa. Käyttämällä siirtoilmaa kahden tilan välillä voidaan ilmavaihdon tarvetta pienentää harkituilla päätelaitesijoittelulla kuvan 6 mukaisesti. [7.]



KUVA 6. Siirtoilman käytön vaikutus päätelaitteiden sijoittamiseen [7]

Kosteiden tilojen tuloilmapäätelaitteet on sijoitettava seinälle tai kattoon ja poistoilmapäätelaitteet tulisi sijoittaa kattoon tai seinän yläosaan katonrajaan. Saunassa poistoilmaventtiili tulisi kuitenkin mieluiten sijaita lauteiden alla. Saunatilän poistoventtiilinä tulisi käyttää erityisesti saunaan suunniteltua venttiiliä, joka saunan lämmittämisen ja saunomisen ajaksi voidaan sulkea. Tämä pienentää kylmänä vuodenaikana lämmöntalteenottolaitteessa tapahtuvaa kondensoitumiskosteuden muodostumista. [3.]

3.7 Järjestelmän säätäminen

Asennettuja järjestelmiä on perussäädetty rakennukseen sopivaksi harvoin. Tähän ovat vaikuttaneet puutteellinen valvonta ja urakoitsijoiden velvollisuudentunnon laskeminen. Rakennuttajilla ei ole riittävää osaamista ja keinoja pienten ilma- ja vesivirtojen

mittaamiselle, joten on vaikea todentaa täyttyykö esimerkiksi ilmavirroille asetettu +/- 20 % tarkkuusvaatimus. Urakkaohjelmassa on tavanomaisesti määritelty, että järjestelmän säätäminen ja käyttöön saattaminen on oma maksueränsä, jolloin tässä suorituksessa on urakoitsijalla rahaa kiinni. Tavallisesti on edellytetty, että ilma- ja vesivirrat säädetään suunnitelmien mukaisiin arvoihin ja näistä säädöistä toimitetaan mittaus- ja säätöpöytäkirjat ennen luovutustarkastusta. Jälkikäteen tehdyissä tarkastusmittauksissa on todettu jopa +/- 50 % ero ilmavirroissa. [7.]

Järjestelmää säädettäessä tulisi se toteuttaa käyttäen suhteellista säätötapaa. Tällä tavalla säädettynä rakennuksen kokonaisilmavirta ei ole suunniteltu, mutta tulo- ja poistoilmavirta ovat keskenään samalla tasolla kuin suunnitelmissa ja tuloilma on riittävä tarkasteltaessa ilmamäärää lämpötilaan mitoitustilanteessa. Jos huoneissa on poikkeamia tuloilmavirtojen suhteissa, tulee tämä vaikuttamaan poikkeavina huonelämpötiloina eri huoneiden kesken. Ilmalämmitysjärjestelmässä rakennuksen lämpötilataso määräytyy rakennuksen keskilämpötilan tai yksittäisen tilan lämpötilaan perustuen sen mukaan, minne termostaatti on asennettu. [7.]

Ilmamäärää säätämällä huonekohtaisesti voitaisiin toteuttaa huonekohtainen lämpötilansäätö. Toiminta on sama kuin vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä, jossa vesivirtaa säädetään huonekohtaisesti termostaattiventtiilein. Virtauksen määrän muuttaminen vaikuttaa suoraan verrannollisesti huoneeseen tuotettavan lämpötehon määrään. Toistaiseksi ei ole vielä ollut käytettävissä sellaisia yksinkertaisia ja edullisia komponentteja, joissa ilmavirran muuttaminen yhdessä kanavahaarassa voitaisiin automaattisesti kompensoida toisissa kanavahaaroissa, sekä samalla muuttaa puhaltimen pyörimisnopeutta portaattomasti. [7.]

Ilmavirtoja mitattaessa tuloilma mitataan useimmiten anemometritorvella. Tällä saavutetaan riittävä tarkkuus silloin, kun muiden kanavistossa olevien tuloilmapäätelaitteiden painehäviö on riittävä torven aiheuttamaan painehäviöön nähden. Tämä mittausmenetelmä on yleisesti ottaen helpoin menetelmä ilmalämmitysjärjestelmää mitattaessa (100mmx300mm lattiapuhallus säleiköt). Kun samanlaisten tuloilmapäätelaitteiden virtauskuvio on säännöllinen (ei säätölaitetta) ja tunnusomainen nopeus on määriteltävissä, voidaan suhteellinen säätö ja mittaus toteuttaa ilman nopeuden perusteella. Rakennuksen absoluuttinen arvo tuloilmavirralla voidaan määritellä karkeammin. [7.]

3.8 Laitteiston käyttö

Täydellisessä ilmalämmitysjärjestelmässä, joka on hyvin perussäädetty vastaamaan käyttäjän tarpeita, automatiikka huolehtii, että lämpötila on halutussa asetuksessa. Käyttäjällä ei ole muita käyttöön sisältyviä toimenpiteitä kuin tilanteenmukainen ohjaus, kuten tarvittaessa laitteen pysäyttäminen ja käynnistäminen esimerkiksi suodattimen ja LTO-laitteen huollon yhteydessä; ilmalämmitysjärjestelmän toimintaan on liitetty rajakytkin oveen, joka oven auetessa pysäyttää kojeen automaattisesti. [3.]

Useasti kuitenkin on käynyt niin, ettei järjestelmää ole säädetty kunnolla ennen käyttöönottoa, eikä käyttäjälle ole pidetty kunnollista käytönopastusta. Käyttäjän onkin vaadittava saada laitteisto asennettuna ja perussäädettynä, sekä käytönopastus ennen kuin laitteisto jää käyttäjän huolto- ja käyttövastuulle. [7.]

Laitteiston käytön kannalta käyttäjän perehdyttäminen järjestelmään ja sen toimintaan olisi hyvä aloittaa ottamalla hänet mukaan käyttöönottotarkastuksiin, samalla käyden läpi kojeen eri osien toimintaa siten, että käyttäjä ymmärtää, kuinka osien summasta muodostuu toimiva kokonaisuus. Käyttöönottotarkastuksen sisältö voisi kattaa:

- Kellotermostaatin toimintojen läpikäymisen (ajastus, ohjelmointi, käsikäyttö, sekä energiansäästöohjelma)
- Ilmanvaihdon tarve eri tilanteissa (kesä/talvikäyttö, tuuletus, ruuanlaitto sekä energiansäästö)
- Kiertoilman määrä eri käytössä (kesä/talvikäyttö, huonelämpötilan lasku ja nosto, kiertoilma seis)
- Laitteiston huoltotoimenpiteet (suodattimien puhdistus ja vaihto, sulakkeiden ja lamppujen vaihto, energiansäästön kannalta merkitykselliset huoltotoimenpiteet)
- Ohjeet ja toimenpiteet vikatilanteissa (yhteystiedot, varaosanumeroiden löytyminen, vianetsinnän suorittaminen).

Ilmalämmitysjärjestelmällä käyttäjä kykenee säätämään ja hallitsemaan tilojen lämpötilaa ja ilmanvaihtoa silloin, kun järjestelmä on toimiva ja säädetty asianmukaisesti. [7.]

3.9 Laitteiston huolto

Ilmalämmityskojeen huolto on lähinnä kojeen ja lämmöntalteenottolaitteen puhdistamista sekä likaantuneiden suodattimien huoltoa tai vaihtoa. Sähkö- ja karkeasuodattimet voidaan imuroida tai pestä pesuaineella ja vedellä suodattimien likaisuuden näin vaatiessa. Sähkösuodattimen jännite tulee kytkeä pois, kun suodatin vedetään pois kojeesta. Sähkösuodattimen likaisuudesta johtuen voi suodattimessa syntyä sähköisiä purkauksia, jotka ilmenevät rätinänä. Tällöin sähkösuodatin tulisi viimeistään puhdistaa. 1980-luvun taitteessa on ollut suositeltavaa pestä karkeasuodatin kerran kuukaudessa ja sähkösuodatin noin kahden kuukauden välein. Suodattimien puhdistusväliin vaikuttavat suoranaisesti asumistottumukset sekä rakennuksen ympäristön ja ulkoilman laatu. Karkeasuodattimen pesua ei suositella tehtäväksi useammin kuin viisi kertaa, jonka jälkeen suodatin tulisi vaihtaa. Suodattimen rakenne muuttuu sitä pestäessä, eikä se suodata usean pesun jälkeen yhtä hyvin kuin uutena. Laitteiston myyjä tietää suodattimen tyypin ja näitä myyvän liikkeen. Sähkösuodatin ei kulu pesussa, mutta on syytä varoa suodattimen alumiinisia keruulevyjä sekä ohuita ionisointilankoja suodatinta huollettaessa. [3.]

Kesän loputtua lämmityskauden alkaessa ilmalämmityskojeesta on tärkeää tarkastaa, että kondenssiveden poistoreitti ja hajulukko ovat puhtaat, sekä kesän jäljiltä puhdistaa LTO-laite [11.], ellei kesälle ole käytössä erikseen omaa LTO-kennoa. LTO-kenno, joka muodostuu alumiinisesta kennosta, tulisi puhdistaa kerran vuoteen, tämä voidaan toteuttaa vedellä ja pesuaineella. Kennoa käsiteltäessä tulee kiinnittää huomio sen tiivisteiden eheyteen ja niiden paikoillaan pysymiseen. Tiivisteet saattavat jäätyä talvella kojeen rakenteisiin kiinni. [3.] Puhdistusväliin merkittävä vaikutus on tulo- ja poistoilmavirtojen suodattamisella ennen lämmöntalteenottolaitetta [7]. Laitte valmistajien määrittämät huoltotoimenpiteet sekä näiden jaksotus kuvattuna taulukossa 2.

TAULUKKO 2. 1980-luvun laitevalmistajien huoltotoimenpiteitä [7]

Komponentti	Toimenpide	Huoltoväli	Huomautuksia
Karkeasuodatin, sähkösuodatin	Pesu	maks. 1kk	Karkeasuodattimen vaihtoväli 5 pesua
Liesikuvun rasvasuodatin	Pesu	maks. 1kk	Riippuen lieden käytöstä

Ulkoilmakanavan hyttysverkko	Puhdistus	maks. 6kk	Voidaan asentaa ulkosäleikköön
LTO-laite	Pesu	maks.12kk	Lamellipattereiden pesuväli <12kk
Lämmityspatterit ja puhaltimet	Puhdistus	maks.12kk	
Kojeen sisäpinnat	Imurointi		Pölyntyessä
Tuloilmalaatikot, tuloilmaelimet	Imurointi		Pölyntyessä
Tuloilmakanavat	Nuohous	>5 vuotta	Tarpeen mukaan
Poistokanavat	Nuohous	<5 vuotta	Tarpeen mukaan

4 SISÄILMASTON TUTKIMINEN

Tarkasteltaessa sisäilmastoa mittauksin, tavoitteena on selvittää toteutuvatko sisäilmastolle asetetut tavoitteet ja vaatimukset. Erityisesti tiloissa, joissa on koettu sisäilmasto-ongelmia, voidaan mittauksia käyttää paikallistamaan näitä ongelmia ja niiden syitä. Sisäilmastomittauksilla tarkastellaan niitä suureita, jotka vaikuttavat välillisesti ja välittömästi sisäilmastoon. [15.]

Sisäilmaluokitus 2008:n mukaisesti sisäilmalle on määritelty kolme tasoa, joihin sisäilma voidaan jakaa. S1-sisäilmaluokka kuvaa erittäin hyvää sisäilmaa, joka saavutetaan kun rakennuksessa voidaan yksilöllisesti hallita esimerkiksi ilmanvaihto-, lämpö- ja valaistusolosuhteita. S2-sisäilmaluokka kuvastaa hyvää sisäilmaa, joskin tässä luokassa kesäisin hienoinen yllälämpeneminen on mahdollista. S2-luokassa ei ole mahdollisuutta yksilöllisille säädöille, kuten ilmanvaihdon tehostukselle käytön sitä vaatiessa. S3-luokka kuvastaa tyydyttävää sisäilmaa, tässä luokassa sisäilmalle asetetut rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset toteutuvat. [18.]

4.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolle ja vaihtuvuudelle on asetettu vähimmäisvaatimukset Rakennusmääräyskokoelmassa D2 ja rakennusta tarkasteltaessa on tuloksia verrattava rakennuslupavuoden voimassa oleviin määräyksiin. Yleensä ulkoilmavirta tulee kuitenkin olla vähintään $0,35 \text{ (dm}^3 \text{ /s)/m}^2$, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,5 1/h huoneessa, jonka vapaa korkeus on 2,5 m. [16.]

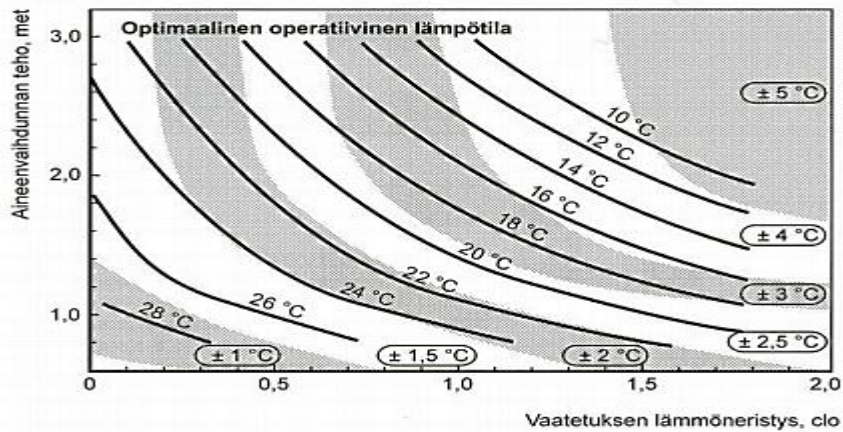
Asuinrakennuksiin on määritelty taulukon 3 mukaiset poisto- ja raitisilmamäärät Rak.Mk. osassa D2, joiden toteutumisen arvioimiseksi rakennuksen ilmanvaihto on mitattava. Taulukossa 3 esitettynä rakennuslupavuotena ja nyt voimassa oleva Rak.Mk. osa D2 mukaiset ilmamäärät vuosina 1978 ja 2012.

TAULUKKO 3. Ilmanvaihto asuinrakennuksessa, ei tehostusta [16, 29]

Tila/käyttötarkoitus	Ulkoilmavirta D2-1978 (dm ³ /s)/m ²	Ulkoilmavirta D2-2012 (dm ³ /s)/m ²	Poistoilmavirta D2-1978 dm ³ /s	poistoilmavirta D2-2012 dm ³ /s
Asuinhuoneet	0,35	0,35		
Keittiö			22	20
Vaatehuone			3	3
Kylpyhuone			16	15
Wc			8	10
Kodinhuonehuone			12	8
Huoneisto-sauna		2,0 (6,0 minimi)	2,0/m ²	2/m ² (6,0 minimi)

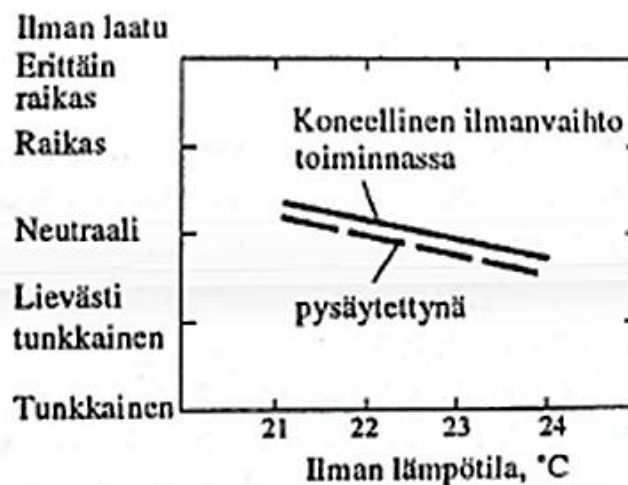
4.2 Lämpötila

Sisäilman oikea lämpötila on LVI-suunnittelun tärkeimpiä tavoitteita. Suunnittelemalla ja toteuttamalla oikea sisäilman lämpötila luodaan edellytykset terveille ja viihtyisille sisätiloille. Poikkeamat tästä lämpötilasta esiintyvät kasvaneina valituksina, haittoina terveydelle ja laskuna työn tuottavuudessa. Tarkasteltaessa optimaalista lämpötilaa se ilmaistaan operatiivisena lämpötilana. Tähän lämpötilaan vaikuttavat huoneessa olevat pinnat (näiden lämpösäteily), ilman lämpötila ja ilman liike (konvektio). [17.] Optimaalinen operatiivinen lämpötila, ihmisen aineenvaihdunta ja vaatteiden eristävyys on esitettyä kuvassa 7.



KUVA 7. Aineenvaihdunnan, vaatetuksen lämmöneristävyyden ja optimaalisen lämpötilan yhdistävä käyrästä [17]

Lämpötilalla on monenlaisia vaikutuksia ilman laatuun ja siihen millaisena ihmiset kokevat sisäilmaolosuhteet. Epäpuhtauspäästöt nousevat monien materiaalien osalta, myös ihmisen hajuemissiot nousevat ympäristön lämmön nousun yhteydessä. Suhteellinen kosteus alenee, jolloin koemme ilman kuivemmaksi ja samalla tunkkaiseksi. Asumisviihtyvyyden kannalta sisäilmaston lämpötilan alentamisella on merkittävä rooli ilman laatuun liittyvissä kokemuksissamme. Lämpötilan alentaminen vaikuttaa enemmän hyvän sisäilman tuntemukseen kuin ilmanvaihto, jos ilman vaihtuvuus on haju-kuormituksen suhteen riittävän suuri. [1.] Tämä on havaittavissa kuvasta 8, jossa on esitetty sisäilman lämpötilan muutoksen vaikutus ilman laatua tunkkaisena kokevien osuuteen. Tuloilmavirta on ollut 90 l/s henkilöä kohden.



KUVA 8. Ilman lämpötilan vaikutus ilman laatuun tyytymättömien osuuteen kun tuloilmavirta ollut 90 l/s/hlö [1]

Sisäilmaluokitusten mukaan määritellyt sisälämpötilan tavoitearvot on kuvattu taulukossa 4. Tämä taulukko kuvastaa, kuinka tavoite operatiiviselle lämpötilalle on lämmityskaudella kaikissa sisäilmaluokissa hyvin lähellä toisiaan. Kuitenkin on muistettava, että jokaisella ihmisellä on oma mieltymyksensä kun tarkastellaan asumisympäristön lämpötilaa. Tähän vaikuttavat esimerkiksi erilainen aineenvaihdunta ja pukeutumistottumukset, kuten kuvasta 7 on huomattavissa.

TAULUKKO 4. Sisäilmaluokituksen lämpötila tavoitearvot [18]

Operatiiviset lämpötilat t_{op} (°C)	S1	S2	S3
$t_u \leq 10$ °C	21,5 *	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	$21,5+0,3 \times (t_u-10)$	$21,5+0,3 \times (t_u-10)$	$21,5+0,4 \times (t_u-10)$
$t_u > 20$ °C	24,5 *	24,5	25
Sallitut poikkeamat tavoitearvosta (°C)	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo (°C)	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C; $t_{op}+1,5$	$t_u \leq 15$ °C ;25
$10 < t_u \leq 20$ °C(S2)/ $t_u > 15$ °C (S3)		$23,0+0,4 \times (t_u-10)$	$t_{umax}+5$
$t_u > 20$ °C		27,0	
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo (°C)	20,0	20,0	18,0
Olosuhteiden pysyvyys käyttöajasta			
Asunnot	90 %	80 %	
* S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huonekohtaisesti aseteltavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C			

4.3 Veto

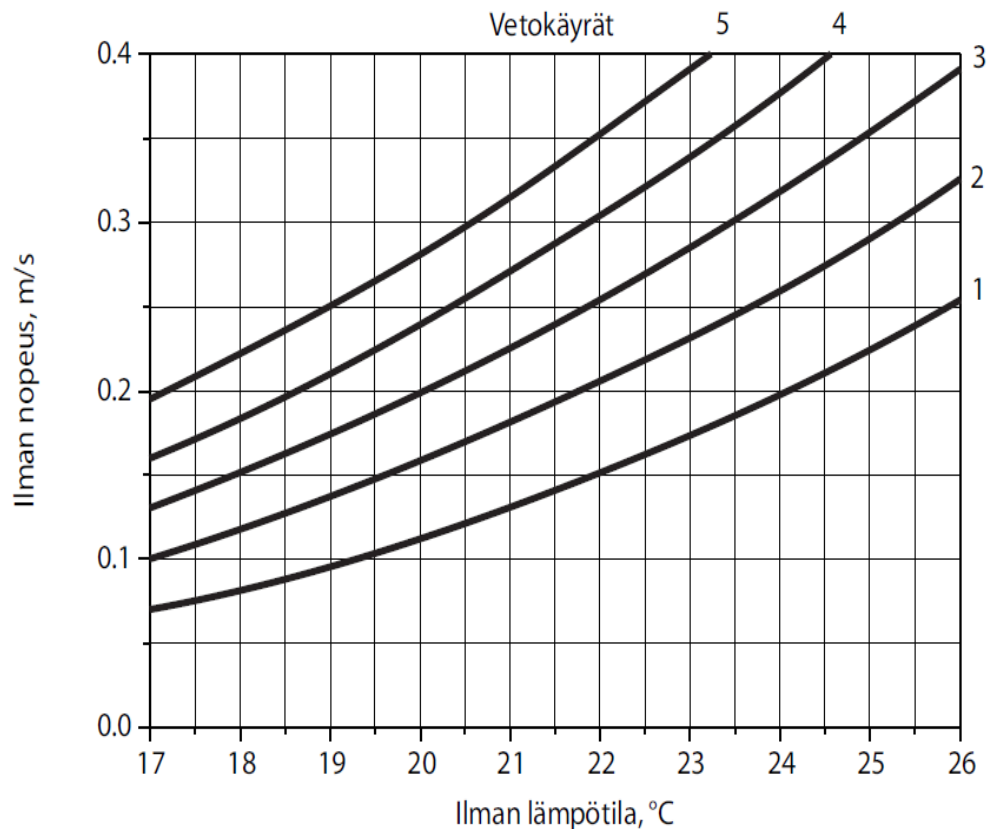
Suunniteltaessa ilmanvaihto- ja ilmalämmitysjärjestelmiä on tärkeää pyrkiä ehkäisemään vedon tunnetta. Yksi perusta asuinviihtyvyydelle on vedoton sisäilmasto rakennuksessa. [19.] Vedon tunteen syntymiseen vaikuttavat puhallettavan ilman lämpötila, lämpösäteily ja ilman nopeus. Mikäli huoneessa ei ole saavutettu optimilämpötilaa, aistii ihminen herkemmin vetoa. Ilman liikkeen nopeuden kasvaessa tai ilman liikkeen nopeuden vaihdeltaessa syntyy vedon tunne herkemmin. Ilman nopeuden vaihtelua kuvataan turbulenssiasteella, joka on nopeuden keskihajonnan suhde keskinopeuteen. [1.]

Lämpötilan ollessa korkeampi ilmavirtauksen vaikutuksesta keholta haihtuu kosteutta ilmaan, joka parantaa viihtyvyyttä [9].

Ilman virtausnopeus huonelämpöiselle ilmalle oleskeluvyöhykkeellä tulisi olla enintään 0,15m/s, kuten kuvan 9 rajakäyrässä on esitetty [7]. Ilmanopeudelle on määritelty tavoitearvot Sisäilmaluokitus 2008:ssa, nämä arvot taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Ilman liikenopeuden tavoitearvot [18]

Suure	Ilman liikenopeus (m/s)		
	S1	S2	S3
$t_{\text{ilma}} = 21,0 \text{ °C}$	<0,14	<0,17	0,2 (talvi)
$t_{\text{ilma}} = 23,0 \text{ °C}$	<0,16	<0,20	
$t_{\text{ilma}} = 25,0 \text{ °C}$	<0,20	<0,25	0,3 (kesä)



KUVA 9. Vetokäyrä [16]

4.4 Ilmanlaatu

Rakennuksen materiaaleista, sisätiloissa tapahtuvasta toiminnasta ja ihmisestä syntyy epäpuhtauksia sisäilmastoon. Näiden epäpuhtauksien pitoisuuksien laimentaminen turvalliselle tasolle on ilmanvaihdon tärkein tehtävä. Ilman puhtauden lisäksi tulee huomioida ilman lämpötila, kosteus, ilman liike ja operatiivinen lämpötila, jotta saavutetaan viihtyisä sisäilmasto. Ilmanvaihdon tarve määräytyy asuinrakennuksissa yleensä hajujen ja käryjen poistotarpeen määränä. Ilmalämmityksen kiertoilman avulla on voitu tätä poistotarvetta pienentää huomattavasti, ohjearvosta 0,5/h → 0,3/h vaihtoon. Kuitenkin on huomioitava rakennusmateriaalien päästöt ja mahdollisen kosteuden poistaminen. [7.]

Ilmansuodattaminen

Ilmalämmitysjärjestelmiä markkinoivat toimijat ovat esittäneet hyvinkin yksipuolisia myyntiargumentteja, jotka korostavat luonnollisesti vain laitteiston hyviä puolia. Näistä muutama esimerkki ilmanlaatuun liittyen:

- Pölyallergiasta kärsiville terveellinen sisäilma
- Oleellinen siivouksen tarpeen vähentyminen
- Ei kuivuusongelmia ilmassa, tasainen kosteus koko rakennuksessa
- Ilman kierrätyksellä estetään lämpötilan kerrostumista
- Ylilämmön siirto ja jako tasaisesti läpi koko asunnon. [7.]

Sisäilmassa olevien hiukkasmaisten epäpuhtauksien vaikutuksia terveyteen pystytään vähentämään ilmanpuhdistimien avulla tai paremmalla tuloilman suodatuksella. Vähentämällä altistusta ulkoilman hiukkasille pienennetään sydänsairauksien riskiä, millä on huomattava kansanterveydellinen merkitys. Hyvä ilmanpuhdistus vähentää myös allergia- ja astmaoireita erityisesti kodeissa joissa on lemmikkieläimiä. Vaikutus tehostuu, jos puhdas ilma tuodaan suoraan hengitysvyöhykkeelle. [24.] Ilmalämmitysjärjestelmässä kierrätysilman käyttö ja suuret ilmavirrat parantavat sisäilman suodatuksen tehoa ilman, että olisi tarve erilliselle ilmanpuhdistimelle [15].

Sisäilmassa tavanomaisimmat ja haitallisimmat epäpuhtaudet jaotellaan hiukkasiin, joita ovat pölyt ja bakteerit sekä kaasuihin, joita ovat radon, formaldehydi ja muut kaasut. Normaalissa sisäilmassa tavattavista hiukkasista 99 % on alle 1µm kooltaan, mutta niiden massa on vain 30 % ilmassa olevien hiukkasten massasta. Nämä kooltaan alle 1µm hiukkaset ovat kaikkein ongelmallisimpia ihmisen terveyttä ajatellen. Näitä hiukkasia suodattamaan tarvitaan hienosuodattimet tai sähkösuodattimet kiertoilmaan. Ilmalämmityksessä käytetty suuri kiertoilmamäärä tasaa rakennuksen ilman laadun ja vähentää näin tarvetta tuuletukselle. [7.]

Hiilidioksidi

Tarkasteltaessa ilmanlaatua ja ilmanvaihdon toimivuutta on rakennuksesta mitatun hiilidioksidin määrä erinomainen suure kuvaamaan näitä. Sisäilmaluokitus 2008:n mukaiset hiilidioksidipitoisuudet esitettynä taulukossa 6. [18.]

TAULUKKO 6. Sisäilmalle asetetut CO₂ -tavoitteet [18]

	S 1	S 2	S 3
Hiilidioksidipitoisuus (ppm)	<750	<900	<1200
Olosuhteiden pysyvyys (% käyttöajasta)	90 %	80 %	

4.5 Sisäilman kosteus

Kun ilmanvaihto on riittävä, sisäilman kuivuus tuottaa kosteutta enemmän ongelmia sisäilmaston viihtyvyyden kannalta. Tämä ongelma esiintyy erityisesti talviaikaan, jolloin ilman absoluuttinen kosteus on hyvin pieni. Ilmalämmitysjärjestelmän suuren kiertoilmavirran myötä voidaan pienentää ulkoilmavirtaa, joka hidastaa rakennuksessa syntyvän kosteuden poistumista poistoilmavirran mukana, sekä paikallisesti syntyvä kosteus jakautuu tasaisesti koko rakennuksen tilojen kesken. Tosin suurimman kosteuden tuotto syntyy sellaisissa tiloissa, joiden ilma on epäpuhtauksien vuoksi jätettävä hyödyntämättä kiertoilmana. Nämä tilat kuten sauna, pesutilat ja keittiö on johdettava rakennuksesta ulos ja voidaan ainoastaan hyödyntää siinä oleva lämpösisältö LTO-laitteella. Pyykin kuivatus kuivauskaapissa, jonka ilmankiertoa voidaan ohjata ja tehostaa puhaltimella on hygieenisesti hyväksyttävä. [7.] Sopiva sisäilman suhteellinen kosteus on lämmityskaudella asuinrakennuksessa arviolta noin 25–45 % [20].

4.6 Melu

Epämiellyttäväksi tai häiritseväksi koettu ääni on melua. Pientalot ovat pääosin asuinkäytössä ja siksi tulisikin huolehtia, etteivät meluhaitat kasva suuriksi. [22.] Viihtyvyyteen vaikuttaa myös järjestelmästä huoneeseen tai järjestelmän kautta huoneesta toiseen siirtyvä ääni. LVI-laitteen huoneeseen tuottamalle äänitasolle on määritelty suurin sallittu taso, yleensä tämä taso on määritelty dB(A) -arvona, joka on helppo mittauksin todentaa. LVI- ja rakennussuunnittelulla sekä -toteutuksella on suuri vaikutus siihen, onko rakennuksessa ääniongelmia. [7.]

Ilmalämmitysjärjestelmässä olevat kolme puhallinta ovat suurimmat äänilähteet ja nämä äänet tulisi pyrkiä vaimentamaan kanaviston alkupäähän asennettavilla riittäväillä vaimentimilla. Kanavoinnin suunnittelussa tulisi huomioida riittävän suuret kanavat, ettei ilman nopeus kanavistossa suotta kehitä ääntä. Ääntä siirtyy myös kiertoilmakanavan kautta helposti asuintiloihin ja siksi olisikin tärkeää huomioida ja vaimentaa myös kiertoilmakanava. [6.]

Kojeella syntyvä ääni purkautuu päätelaitteelta huonetilaan sekä liian suurella ilmavirralla päätelaitteet synnyttävät ääntä. Kojeen äänen kannalta kiertoilmakanava on merkittävin äänen kulkeutumisreitti huoneisiin, tämä on helpompi vaimentaa sillä vähäinen ja väljempi kanavointi voidaan rakentaa ääntä vaimentavaksi. [7.]

Puhaltimien säätö on toteutettu pääsääntöisesti muuntajalla, tyristorin aiheuttaman epätasapainon ja kiusallisen tärinän tuoton vuoksi 250 Hz:llä. Nykyisellään tulisi puhaltimien nopeus rajoittaa kahteen nopeuteen, jolloin järjestelmän virtaus- ja säätötekniikka olisi hallittavissa paremmin eikä syntyisi tilanteita, joissa rakennus pääsee liian yli- tai alipaineiseksi.[7.]

Ilmateknisesti kiertoilman määrä vastaa optimaalisesti 1/h ilmankierrätystä. Kiertoilmapuhaltimen äänen tehotaso on noin 80dB käydessään täydellä teholla, joten ilmalämmitysjärjestelmä tulee äänieristää ja kanavistojen äänenvaimennukseen tulee kiinnittää huomiota. Puhaltimien tulisi olla myös asennuskumien päälle asennettuna kojeen sisällä, jolloin ne olisi tärinäeristetty kojeesta. Itse kojeen tulisi olla ääntä vaimentava sen

sijaan, että vaimennuksen toteuttaminen jätettäisiin vain kanavistoon tai tuloilman puhalluskammion vaimennuksella. [7.] Rak.Mk. C1 on määrittänyt LVIS-laitteiden suurimmat sallitut äänitasot asunnoissa [taulukko 7].

TAULUKKO 7. Sallitut äänitasot LVIS-laitteista asuinrakennuksessa [23]

Tila	LA, eq,T (dB)	LA,max (dB)
Keittiö	33	38
Muut asuinhuoneet	28	33

5 TUTKIMUSMENETELMÄT JA KOHTEET

Tarkastelussa oli vaihtelevan kokoisia ja useilla teknisillä toteutuksilla varustettuja ilmalämmitteisiä asuinrakennuksia. Jotta näistä saatiin keskenään vertailukelpoisia tuloksia, oli tärkeää toteuttaa näissä mahdollisimman laajalti järjestelmä- ja sisäilmastarkastelut sekä myös käyttäjäkokemushaastattelut. Näissä mittauksissa ja haastatteluissa käsiteltiin rakennusta sellaisena, kuin käyttäjät ovat järjestelmää tottuneet käyttämään. Kiinteistöjen ilmalämmitysjärjestelmiä tutkittiin mittauksilla, joissa tarkasteltiin lämpöoloja, ilman vaihtuvuutta, ilman nopeutta ja sisäilmaston epäpuhtauksia. Mittaukset suoritettiin kiinteistöissä haastatteluiden jälkeen järjestelmien ollessa käyttäjän normaalilla asetuksella. Laitteistosta aiheutuvaa melua mitattiin käyttäen kojeen eri tehovaihtoehtoja, jolloin myös pistemäisesti mitattiin huoneeseen puhallettavan tuloilman määrä. Mittaustulosten, teknisten asiakirjojen ja haastatteluiden pohjalta rakennukset voitiin jaotella ryhmiin, joiden sisällä ne keskenään ovat tarkastelukelpoisia toisiinsa nähden. Mitattaessa sisäilmasto-olosuhteita tehtiin samasta kohteesta myös ulkoilman vertailevat mittaukset. Mittaukset ovat lyhytkestoisia hetkellisiä mittauksia, ja mittaustuloksiin vaikuttavat ulkopuoliset tekijät muuttuvat vaihdettaessa mittauspaikkaa ja ajankohtaa. Tämän vuoksi mittaustulokset eivät suoraan ole keskenään vertailukelpoisia.

5.1 Tutkimuskohteet

Tavoitteena oli kerätä tietoa alueella käytössä olevista järjestelmistä ja käyttäjän kokemuksista. Tutkimuskohteiksi valikoitui rakennuksia, joiden omistajat olivat kiinnostuneita osallistumaan opinnäytetyöhön ja saamaan sen kautta selvityksen rakennuksensa

sisäilman laadusta ja järjestelmänsä toiminnasta. Taulukossa 8 on esiteltynä kohteisiin liittyvää taustatietoa. Jatkossa mittaustulokset kohdentuvat tuloksissa näiden kohteiden mukaisilla numeroinneilla.

TAULUKKO 8. Taustatietoa tutkimuskohteista

kohde	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	# 11
rak. vuosi	1982	1980	1980	1980	1980	1980	1981	1981	1982	1982	1979
asuin m ²	119	124	201	110	110	127	170	130	105	105	140
asukkaita	2	2	1	2	1	3	2	2	1	2	2
lemmikit	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
järjest. al- kuperäin.	kyllä	kyllä	ei	ei	kyllä	kyllä	ei	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
valmistaja /laite	Valmet koti- lämpö	Valmet koti- lämpö	ILA-15	Valmet koti- lämpö	Valmet koti- lämpö	ILA-15	Enervent koti- lämpö	Valmet Koti- lämpö	Aero- master	Valmet koti- lämpö	Valmet Koti- lämpö
suodatus	sähkö	G3	sähkö	G3	G3	sähkö	F5	G3	G3	G3	G3
suodatin vaihto/a ³	ei	2	ei	2	2	ei	2	1	2	2	6
suodatin pesu /a ³	4	6	12	ei	ei	12	ei	ei	5	ei	ei
kojeen imurointi /a ³	ei	6	satun- nai- sesti	4	satun- naisesti	26	6	52	satun- nai- sesti	2	6
nuohottu	2010	2014	2010	2015	ei	ei	2013	2012	2010	2007	2010
käytön opastus	ei	kyllä	ei	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	ei	ei	ei
käyttö ohje	ei	kyllä	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	kyllä	kyllä
ilmavirrat mitattu	ei	ei	ei	ei	ei	kyllä	ei	ei	ei	kyllä	ei
Ri talvella ullakolta	ei varma	ei varma	ei varma	ei	ei varma	ei varma	ei varma	kyllä	ei	kyllä	ei
jatkuva käyttö	kyllä	kyllä	ei	kyllä	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	kyllä	kyllä

Tutkimuskohteiksi valikoitui 11 omakotitaloa, jotka sijaitsevat Mikkelin keskustan läheisyydessä. Nämä talot on rakennettu vuosien 1979 ja 1982 välillä. Rakennusten käyttöpinta-alat ovat 105–201 m² ja asukkaiden määrä on yhdestä kolmeen. Rakennusajankohdalle tyypillisesti talot ovat käyttäjien itsensä rakentamia, tämä sisältää myös ilmalämmitysjärjestelmän asentamisen kanavistoineen. Kojeen asentamisesta ja käyttöön- otosta on vastannut laitetoimittaja. Tutkimuskohteita yhdistävänä tekijänä oli rakennus- ten lämmitysjärjestelmänä toimiva, 80-luvun alkupuolella asennettu ilmalämmitysjär- jestelmä. Varsinaiseen lämmöntuottoon ei tässä opinnäytetyössä perehdytty.

5.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtoa mitattiin siipipyöräänemometrillä TC5725, jossa oli lisäosana käytettävissä kokoojakartio. Ilmavirrat mitattiin jokaisesta tulo- ja poistoilmapäätelaitteesta, liesikuvulta, kiertoilmasäleiköltä sekä mahdollisuuksien mukaan jäte- ja raitisilmasäleiköltä. Tulokset kirjattiin rakennuksen pohjakuvaan päätelaitteiden kohdalle ja näistä tehtiin mittauspöytäkirja. Tästä pöytäkirjasta on myös tarkasteltavissa ilmavirtojen oikea suunta kohti epäpuhtaampia tiloja. Rakennukseen liittyvät tiedot kuten pinta-ala ja tilavuus selvitetiin haastatteluissa. Ilmalämmitysjärjestelmässä sisään puhallusilma koostuu kiertoilmavirrasta (Ki) ja tuloilmavirrasta (Ti). Rakennuksen ilmanvaihtuvuus määritellään poistoilmavirran mukaan kaavalla 1:

$$\text{Ilmanvaihtuvuus (1/h)} = (q_{v,pi} \text{ (m}^3\text{/s)} * 3600) / (A_{rak} \text{ (m}^2\text{)} * 2,5 \text{ (m)}) \quad (1)$$

jossa,

$q_{v,pi}$	on rakennuksesta mitattu poistoilmavirta (m ³ /s)
A_{rak}	on rakennuksen pinta-ala jolla ilmanvaihto vaikuttaa (m ²)
2,5	on keskimääräinen huonekorkeus (m)
3600	sekuntia tunnissa

Rakennuksissa joissa ei ulkoilmavirta ole luotettavasti mitattavissa, voidaan tuloilmavirran määrää kiertoilmavirrasta arvioida poistoilmavirran mukaan. Tulo- ja poistopuhaltimien ollessa pakkokytkeytyjä kaavalla 2, kiertoilmavirran mittaus on toteutettava tarkasti kiertoilmasäleiköltä:

$$q_{vti} = (q_{v,ki,päätelaite} / q_{v,ki,kok}) * q_{v,pi,kok} \quad (2)$$

jossa,

q_{vti}	tuloilmavirta päätelaitteella (l/s)
$q_{v,ki,päätelaite}$	mitattu kiertoilmavirta päätelaitteelta (l/s)
$q_{v,ki,kok}$	koko rakennuksen yhteenlaskettu kiertoilmavirta (l/s)
$q_{v,pi,kok}$	koko rakennuksen yhteenlaskettu poistoilmavirta (l/s)

Ilmavirran sisään puhallusnopeuden määrittäminen ilmavirrasta lasketaan kaavalla:

$$v = q_v \text{ (m}^3\text{/s)} / A \text{ (m}^2\text{)} \quad (3)$$

jossa,

v	on sisään puhallusnopeus
q_v	on päätelaitteesta mitattu ilmavirta
A	on päätelaitteen vapaa pinta-ala

5.3 Suodatusteho

Ilmalämmitysjärjestelmän suodattimien toiminnan arvioimiseksi mitattiin AEROTAK 9306-04 -mittarilla partikkelijakauma ulkoilmasta, tuloilman läheisyydestä ja kiertoilmäsäleikön läheisyydestä. Suodattimen toiminnan lisäksi tällä mittauksella saadaan tuloksi joista voidaan arvioida kanaviston puhtautta, joka on kuitenkin syytä varmentaa esimerkiksi kanaviston puhtauden visualisella tarkastuksella. Mittaustuloksena saadaan partikkelijakauma 0,3–10,0 μm partikkeleista/ m^3 ilmaa. Suodattimen hiukkaskokoluokittainen puhdistuskyky $E(d_p)$ on määriteltävissä kaavalla 4 [13]. Suodattimen tehoa verrataan tunnettuihin suodatustehoihin, kuten laitevalmistajan ilmoittamiin arvoihin ja taulukon 1 tietoihin.

$$E(d_p) = 100 * \left[1 - \frac{C_2(d_p)}{C_1(d_p)} \right] \quad (4)$$

jossa,

$C_1(d_p)$ on mitattu tietyn kokoisen partikkelin lukumäärä kiertoilmavirrassa ennen suodatinta AEROTAK 9306-4 mittarilla.

$C_2(d_p)$ on mitattu tietyn kokoisen partikkelin lukumäärä suodattimen jälkeen, mitattuna tuloilma päätelaitteelta ilmavirrasta AEROTAK 9306-4 mittarilla.

Ilmalämmitysjärjestelmässä mitataan partikkeleiden lukumäärä sisäilmasta ennen suodatinta ja lisätään ulkoilmasta raitisilman mukana sisälle siirtyvät partikkelit, joiden määrä saadaan laskettua kaavalla 5:

$$C_{1i.lämm}(d_p) = C_1(d_p) + q_{v,pi,kok}(\text{m}^3/\text{s}) * C_3(d_p)(\text{part.}/\text{m}^3) \quad (5)$$

jossa,

$q_{v,pi,kok}$ on rakennuksen kokonaispoistoilmavirta (m^3/s).

$C_3(d_p)$ on mitattu tietyn kokoisen partikkelin lukumäärä ulkoilmasta.

Mittaus- ja laskentatulokset ovat hetkellisiä ja tulokset koskevat vain mittausajankoh-
taa, joten tuloksia voidaan arvioida suuntaa-antavina.

5.4 Lämpötila

Lämpötilamittauksissa operatiivinen lämpötila kuvaa, kuinka koemme sen tilan lämpö-
tilan, jossa oleskelemme. Tutkimuksessa tämä mittaus suoritettiin olohuoneesta ja ma-
kuuhuoneesta tähän soveltuvalla mustapallolämpömittarilla. Näistä tiloista mitattiin
myös kalusteiden ja seinien pintalämpötiloja infrapunapintalämpömittarilla. Rakennuk-
sien ilman lämpötila saatiin samalla, kun rakennuksesta mitattiin TVOC-pitoisuuksia
(mittarina TA-465-X). Mustapallolämpömittarin tuloksia verrataan taulukon 4 arvoihin
operatiivisen lämpötilan osalta. Ilmalämmitysjärjestelmää käytettäessä, pintalämpötila-
mittauksien tulokset ovat hyvä keino varmentaa operatiivisten lämpötilamittausten tu-
loksia sekä arvioida huoneen lämmön tasaisuutta.

5.5 Ilmanlaatu

Mittauskohteissa hiilidioksidimittaukset toteutettiin AIRFLOW TA-465X -mittalait-
teella mittaamalla CO₂- pitoisuus sisätiloista oleskeluvyöhykkeeltä, sisään puhallusil-
masta, ennen kiertoilmasäleikköä sekä ulkoilmasta. Kiertoilmasäleiköltä ja ulkoilmasta
mitattua tulosta käytettiin arvioimaan sisäilman hiilidioksidin tasapainotilaa, jolla arvi-
oidaan ilmanvaihtuvuuden riittävyttä, huomioiden ihmisperäisen hiilidioksidin tuotto.
TA-465X -mittalaitteella suoritettiin samalla myös kemiallisten haihtuvien yhdisteiden
kokonaismäärän (TVOC) mittaus.

Hiilidioksidin ihmisperäinen tuotto on riippuvainen iästä, painosta, sukupuolesta ja ak-
tivateettien rasittavuudesta (MET). On arvioitu, että suomalaisten 30–59 -vuotiaiden
miesten ja naisten painoindeksit (BMI (kg/m²)) ovat 27.0 ja 26.0, ja keskipituus on mie-
hillä 181 cm ja naisilla 168 cm. Tästä saadaan laskettua keskipaino miehille ja naisille
kaavalla 6. [26.] Tämä otos kuvaa riittävän suurta määrää asuinrakennusten käyttäjiä
joten voimme suorittaa tarkastelun hiilidioksidin tuotosta yleisellä tasolla tässä opin-
näytetyössä [taulukko 9].

$$\text{Paino (kg)} = \text{BMI (kg/m}^2\text{)} * \text{pituus}^2\text{(m)} \quad (6)$$

TAULUKKO 9. BMI, pituus ja paino

	BMI	Pituus (cm)	Paino (kg)
Miehet	27,0	181,0	88,45
Naiset	26,0	168,0	73,38

Ihmisen hapenkulutus on noin 1 (MET) istuessa, joka on noin 3,5 ml/kg/min. Tämän avulla voidaan arvioida laskennallisesti ihmisen hapenkulutus käyttäen apuna taulukon 8 ja 9 tietoja. Hiilidioksidin tuotto saadaan kun hapenkulutus kerrotaan hengitysosamäärällä [26].

$$\text{Hapenkulutus} = \text{MET-arvo} \times 3,5 \text{ (ml/kg/min)} * m \text{ (kg)} * t \text{ (min)} \quad (7)$$

TAULUKKO 10. Eri aktiviteettien rasittavuus ilmaistuna MET-arvoina [26]

Aktiviteetti	MET-arvo
Nukkuminen	0,9
Istuminen	1,0
Lukeminen	1,0
Seisominen	1,2
Istumatyö	1,5

Hiilidioksidin tuoton ja ilmanvaihdon riittävyyden arvioimiseksi on luotu taulukko 11, käyttäen yhtälöiden 6 ja 7 sekä taulukon 10 tietoa. Arviointiperusteena on ollut keskimääräinen suomalainen mies ja nainen iältään 30–59 vuotta, joiden hengitysosamäärän arvo on 0,8 ja jotka syövät sekaruokaa.

Mittaustilanteessa kirjataan pöytäkirjaan rakennuksessa olevien henkilöiden sukupuolijakauman mukaiset lukumäärät joiden avulla voidaan tarkastella mittauskohteessa hiilidioksidin tuottoa ja ilmanvaihdon riittävyyttä jokaisen mittauskohteen osalta erikseen. Ilmanvaihdon riittävyys mitattuun CO₂ määrään osoittaa onko mittauksessa todella saavutettu CO₂-tasapainotila. Ilmanvaihtuvuudella saavutettu tasapainotilaa verratessa mitattuun voidaan arvioida onko tilassa mahdollisesti esimerkiksi tuuletettu ennen mitauksien suorittamista.

TAULUKKO 11. CO₂-tuotto

Aktiviteetti	MET-arvo	Mies (cm ³ /s)	Nainen (cm ³ /s)
Nukkuminen	0,9	3,72	3,06
Istuminen	1,0	4,13	3,40
Istumatyö	1,5	6,19	5,11

Selvitettäessä ilmanvaihtuvuuden riittävyyttä ja arvioitaessa järjestelmän toimintaa, käytettiin taulukon 10 arvoja, laskettaessa hiilidioksidin pysyvyyden todellista lukua mitattuihin arvoihin nähden yhtälön 10 avulla:

$$P = Q + R / S \quad (8)$$

P = hiilidioksidipitoisuus tasapainotilassa (ppm)

Q = ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (ppm)

R = hiilidioksidin tuotto (cm³/s)

S = ulkoilmavirta (m³/s)

Määritettäessä tuloilmavirran tarvetta, laskettiin se kaavalla:

$$R_i = R / V \quad (9)$$

R_i on raitisilmavirta koko rakennus (m³/s)

R on hiilidioksidin tuotto (cm³/s)

V hiilidioksidipitoisuuden nousu ulkoilma-sisäilma (ppm=cm³/m³)

TVOC-mittaustulosta ei sellaisenaan voida käyttää sisäilmanlaadun määrittämiseksi. Tosin jos TVOC-pitoisuus on kohonnut esimerkiksi yli 600µg/m³, on tämä merkki epätavallisen suuresta määrästä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä sisäilmassa, ja antaa aiheutta tarkastella yksittäisiä yhdisteitä tarkemmin. [18.] Jotta voidaan arvioida TVOC-mittaustulosta vertailuarvoon 600µg/m³, on huomioitava että jokainen olemassa oleva orgaaninen yhdiste muodostaa erilaisen tuloksen ja vaikutus ihmiseen riippuu yhdisteen kemiallisesta koostumuksesta.. Mittauksen tulosta arvioitaessa käytetään keskiarvoa yhdisteistä asetooni (C₃H₆O), arseeni (ASH₃), bentseeni (C₆H₆), formaldehydi (CH₂O), typpioksidi (NO) sekä styreeni (C₈H₈). Näitä yhdisteitä löytyy normaalista

elinympäristöstä, materiaaleista kuten kynsilakka, lastulevy, ajoneuvojen päästöt, eristeet ja vaatetus. Näiden yhdisteiden moolimassan keskiarvo on 57,049 g/mol, josta saadaan TVOC-mittaustuloksista arvioitua yhdisteiden määrä $\mu\text{g}/\text{m}^3$ kaavalla 10:

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{\text{ppb} * \frac{1}{R} * M}{T} \quad (10)$$

jossa,

ppb	on mittaustulos TVOC
R	on moolinen kaasuvakio $0,0831451 \frac{\text{bar} * \text{dm}^3}{\text{mol} * \text{K}}$
M	on moolimassa $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$
T	on lämpötila °K

Mittaustuloksia muunnettaessa oletetaan mittausympäristön paineen olevan tasan 1 ilmakehää (1 bar).

5.6 Sisäilman kosteus

Sisäilman kosteus on yksi sisäilman laadun tuntemukseen vaikuttavista tekijöistä. Ilmankosteus rakennuksessa kertoo myös, kuinka sisäilmastoon vaikuttavat järjestelmät toimivat. Rakennuksen ilmanvaihdon riittävyyttä kuvaa myös kosteuden (g/m^3) pysyvyys ulkoilmaan ja rakennuksessa tuotettuun kosteuden (g/m^3) määrään nähden. Mittaustuloksella ja rakennukseen käyttäjän tuottaman kosteuden avulla tarkasteltiin ovatko mitatut ilmavirrat riittävät rakennukseen. Mitattua suhteellista kosteutta verrattiin Sisäilmaluokitus 2008:ssa esitettyihin talviajan raja-arvoihin, joissa on annettu S1-luokan sisäilmalle arvot $25 \% < \text{rh} > 60 \%$. Tätä tarkennettiin LVI 05-10133 -tiedonjyväkortin sivun 2, kohdan 123 *Ilmankosteuden vaikutus ihmiseen* tiedoilla, jossa optimaalinen sisäilman kosteus on 40–50 %. S2- ja S3-luokan sisäilmalle ei ole määritelty raja-arvoja.

Ilmankosteutta mitattiin rakennuksen sisään puhallusilmasta, ennen kiertoilmasäleikköä, makuu- ja olohuoneesta sekä ulkoilmasta. Mittaustulokset saatiin TVOC- ja partikkelimittausten yhteydessä sekä sisäilmastomonitoimimittariin TC5727 kytketyllä

mittaussondilla. Mittaustuloksista lasketaan keskiarvo jolla voidaan arvioida rakennuksessa olevaa kosteutta. Mittauspöytäkirjoihin kirjattiin huomiot mahdollisesta kosteudentuotosta rakennukseen, kuten läsnä oleva henkilömäärä, lemmikkieläimet tai kuivuva pyykki. Näistä tiedoista saadaan taulukko 11 avulla arvioitua kosteudentuotto rakennukseen. Suhteellisesta kosteudesta saadaan laskettua absoluuttisen kosteuden määrä g/m^3 (kuivaa ilmaa) kaavalla (5), jossa hyödynnetään Tetens 1930 -yhtälöä (11), jolla määritellään kylläisen vesihöyryn osapaine P_{sat} [27]:

$$P_{\text{sat}} = 6,122 \times e^{\left[\frac{17,67 \times T}{T+243,5}\right]} \quad (11)$$

$$\text{AH} = \frac{6,122 \times e^{\left[\frac{17,67 \times T}{T+243,5}\right]} \times rh \times M}{(273,15 \times T) \times 100 \times R} \quad (12)$$

AH	on absoluuttinen kosteus (g/m^3)
6,112 hPa	on veden kolmoispisteen paine
273,15 °K	on veden kolmoispisteen lämpötila
T	on mitattu lämpötila °C
rh	on mitattu suhteellinen kosteus
R	on moolinen kaasuvakio 0,0831451 ((bar/dm ³)/(mol*K))
100	on 100% kosteus
M	on H ₂ O moolimassa (18,02 g/mol)

Ilmanvaihdon riittävyttä kosteuden poistoon voidaan arvioida samalla kaavalla (9), kuin ilmapirran riittävyttä hiilidioksidin tuottoon nähden, käyttäen arvoina laskettua absoluuttista kosteutta ja kosteuden tuottoa taulukosta 11 sekä ulkoilman absoluuttista kosteutta.

Ilmanvaihdolla saavutettua kosteuden tasapainotilaa verrataan mitattuun sisäilman kosteuteen josta voidaan todeta onko arvio rakennuksen kosteuskuormasta haastattelu-tilanteen mukainen. Vertaamalla keskenään mitattua tulosta ja laskennallista ilmanvaihdolla saavutettua tulosta on mahdollista arvioida onko mahdollisesti rakennuksessa tuuletettu ennen mittauksien aloittamista.

TAULUKKO 12. Kosteuden tuotto [21]

Kosteuslähde	Tuotto
Ihminen	40–300 g/h (keskimäärin 90 g/h)
Kylpy	700 g/h
Suihku	2600 g/h
Keittiötoiminta	600–1500 g/h (päivittäinen keskiarvo noin 100 g/h)
Avoin vesipinta	40 g/m ² /h
Pienet kasvit	7–15 g/h
Suuret kasvit	10–20 g/h (esim. Ficus elastica)
Vaatteiden pesu ja kuivaus	
-lingottu pyykki	10–50 g/h / kg kuivaa pyykkiä
-vettä tippuva pyykki	20–100 g/h / kg kuivaa pyykkiä
kuivauksen kesto ja kokonaiskosteus otettava huomioon	

5.7 Melu

Järjestelmän aiheuttamaa melua mitattiin puhaltimien jokaisella puhallinnopeudella makuuhuoneesta. Mittalaitteena käytettiin Norsonic Nor140b -melumittaria, jolla saadaan oktaavikaistoittain tulokset mitatusta melusta. Mitattua melua verrataan Rak.Mk osa C1:n sallittuihin melutasoihin asuinrakennuksen makuuhuoneessa. Eri puhallinnopeuksilla mitattujen äänitehojen perusteella voidaan arvioida nykyisen järjestelmän toiminnan tehostamisesta mahdollisesti syntyviä haittoja ja keinoja näiden haittojen pienentämiseksi.

5.8 Haastattelut

Haastattelulla saadaan rakennuskohtaista tietoa haastattelun kohteelta, haastattelijan esittäessä haastattelua varten laatimat kysymykset ja merkitykselliset vastaukset muistiin. Haastattelut voidaan jakaa lomakehaastatteluun, teemahaastatteluun ja syvähaastatteluun. Tässä opinnäytetyössä haastattelun runkona toimi taulukko 13. Lomakehaastattelulla on mahdollista saada aineistoa, jota voidaan analysoida tilastollisesti, ja sisällyttämällä myös avoimia kysymyksiä voidaan tuloksia tarkastella laadullisesta näkökulmasta. Useasti laadullisessa tutkimuksessa käytetään tilastollisesti tulkittavia vastauksia tulosten yleistämiseen tai laadullisen materiaalin ohessa lisäaineistona. [28.]

TAULUKKO 13. Lomakehaastattelun runko

Tekniset tiedot		Tietoja käyttäjistä ja käytöstä	
Rakennusvuosi		Aukkaiden lkm	
Omistajuus alkaen		Lemmikkejä	
Pinta-ala		Käyttöohje	
Laite valmistaja		Käytön opastus	
Alkuperäisyys		Huollon opastus	
Tehdyt muutokset		Käyttökätköt	
Lämmitysmuoto		Kojeen puhdistus/'a	
Suodattimet		Suodattimien huolto/'a	
Äänenvaimennus		Lämmityksen riittävyys	
Nuohous/vuosi		Ilman laatu	
Ilmavirtojen säätö		Ilmanvaihdesta vetoa	
Ilmavirtojen mittaus		Muita huomioita	

Käyttjähaastatteluissa selvitettiin rakennuksen suunnittelutietoja, teknisiä ominaisuuksia, käyttäjän huolto- ja käytönopastukseen liittyviä seikkoja sekä perehdyttiin järjestelmän teknisiin asiakirjoihin ja suunnitelmiin. Haastatteluissa myös pyrittiin selvittämään käyttäjän kokemuksia rakennuksen käytön ajalta sekä millaisia huomioita he olivat tehneet järjestelmää käyttäessään. Lomakehaastattelun tuloksia verrattiin keskenään ja tuloksista tehtiin tilastollisia yhteenvetoja, joissa tarkasteltiin saatuja tuloksia, kuten käyttäjän toimenpiteitä ja kokemuksia.

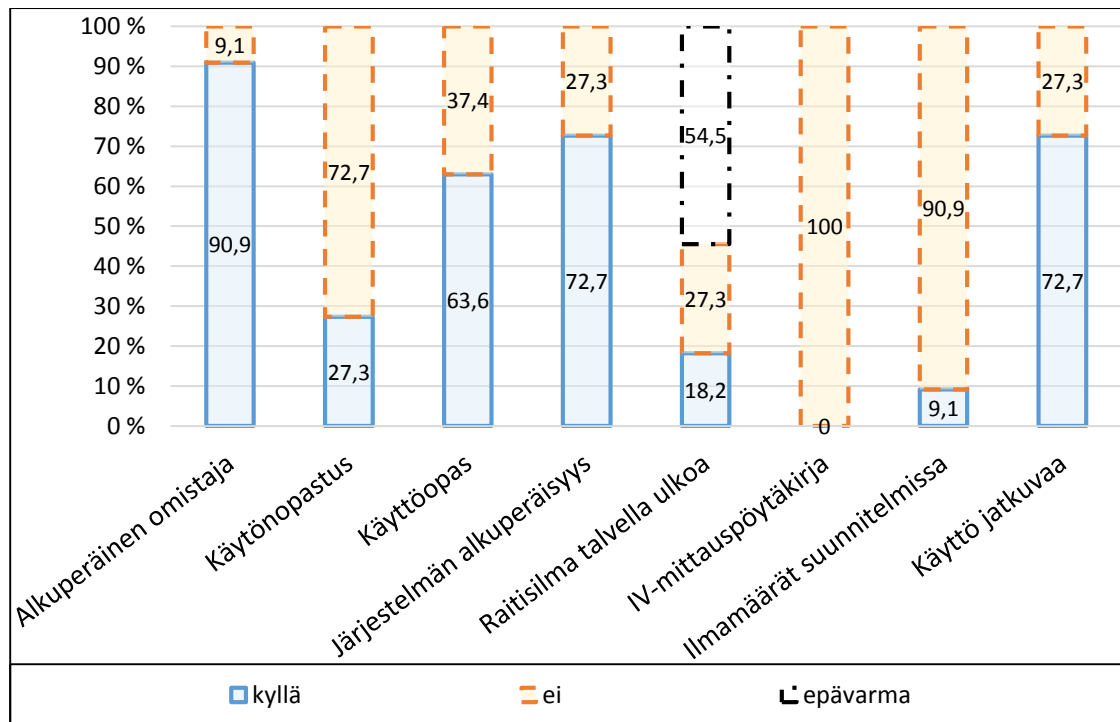
6 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Tässä luvussa käsitellään saatuja tuloksia haastatteluista ja suoritetuista mittauksista. Tarkoituksena on luoda yleiskuva mitatuista kohteista ja käyttäjän totumuksista. Näistä mittauksista tulosten tarkempi yhteenveto ja analysointi ovat niille varatussa omassa luvussaan. Mittaustulokset pätevät kohteissa vain kunkin mittauksen ajankohtana ja mittausajankohdalla vallitsevien olosuhteiden ollessa voimassa. Täten mittauksia ei voida yleistää tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

6.1 Käyttäjätiedot ja tekniset ominaisuudet

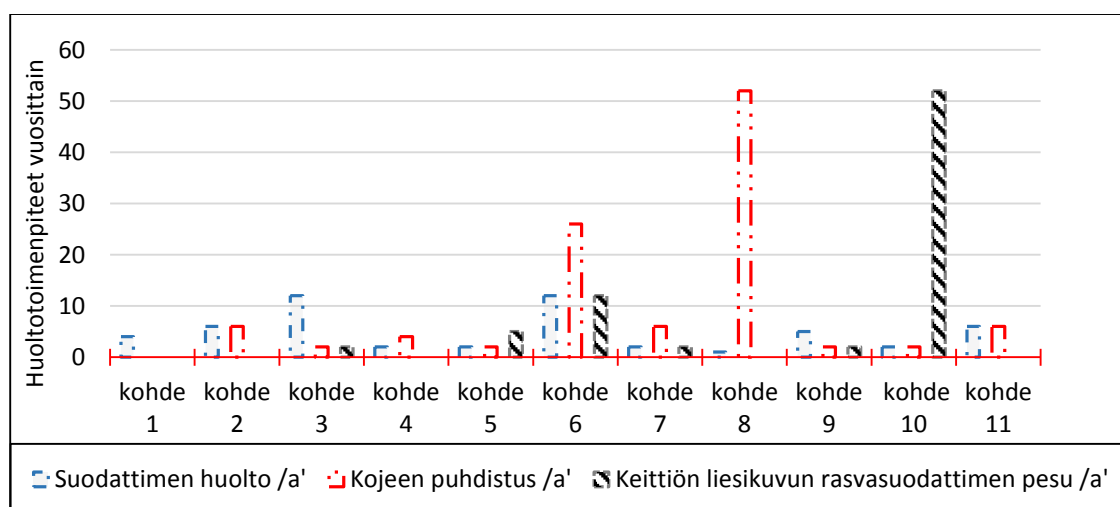
Haastatteluiden ja teknisten dokumenttien perusteella tuloksena oli huomattavissa, että rakennusvuodet jakautuivat seuraavasti: 9,0 % vuonna 1979, 45,5 % vuonna 1980, 18,2 % vuonna 1981 ja 27,3 % vuonna 1982. Järjestelmän käyttöönottovuosi tai laitevalmistaja eivät erityisesti vaikuttanut siihen, oliko laitteita huollettu tai modifioitu muuten. Järjestelmistä 72,7 % oli alkuperäisessä kunnossa. Yksi laite oli päivitetty kokonaan uuteen laitemalliin vuonna 2014, kun taas muita korjaustoimenpiteitä olivat olleet puhaltimien vaihto tai kanavistomuutokset tilojen käyttötarkoituksen muutoksen myötä. Laitteet jakautuivat ilmansuodattimen toiminnan kannalta kahteen ryhmään: 72,7 % oli mekaanisia suodattimia, joista 2014 käyttöön otettu Enervent kotilämpö edustaa tämän päivän suodatintekniikkaa, ja 27,3 % sähkösuodattimilla varustettuja kohteita. Laitteiston LTO-laitteen toimintaa tai puhaltimien tehokkuutta ei tässä opinnäytetyössä vertailtu.

Rakentamisen ajankohdan aikana raitisilman sisään ottaminen ullakkotilasta oli ollut talvella mahdollista, tätä käytti aktiivisesti vain 18,2 % käyttäjistä ja 54,5 % eivät olleet varmoja ilmanoton tämän hetken asennosta. Rakennukset olivat pääsääntöisesti nykyisin alkuperäisen rakennuttajan käytössä, tästä poiketen yksi rakennus oli uudella omistajalla. Haastatteluissa selvisi, että vain 27,3 % oli aikoinaan saanut laitteistoon käytönopastuksen, näistä yksi oli vuonna 2014 vaihdetun laitteen omistaja. Käyttöopas löytyi noin 63,6 % kohteista. Sen sijaan ilmamäärien mittaus- ja säätöpöytäkirjoja ei tullut esiin yhdessäkään kohteessa, ja vain yhteen kohteeseen oli suunnitelmiin merkitty rakennuksen lämmityksen tarvitsemat kiertoilmavirrat. Laitteistoista 72,7 % oli jatkuvalla käytöllä ja muiden käyttäjien toimesta käyttökatkoksia tuli esimerkiksi lämmitettäessä leivinuunia tai kesäaikana ulkoilman lämpötilan noustessa. Kuvassa 10 nähtävissä yksinkertaistettuna järjestelmien käyttöön ja käyttäjän toimiin liittyviä tuloksia joista on erityisesti huomioitava puutteellinen käytönopastus, dokumentointi ja suunnitelmista puuttuvat ilmamäärät.

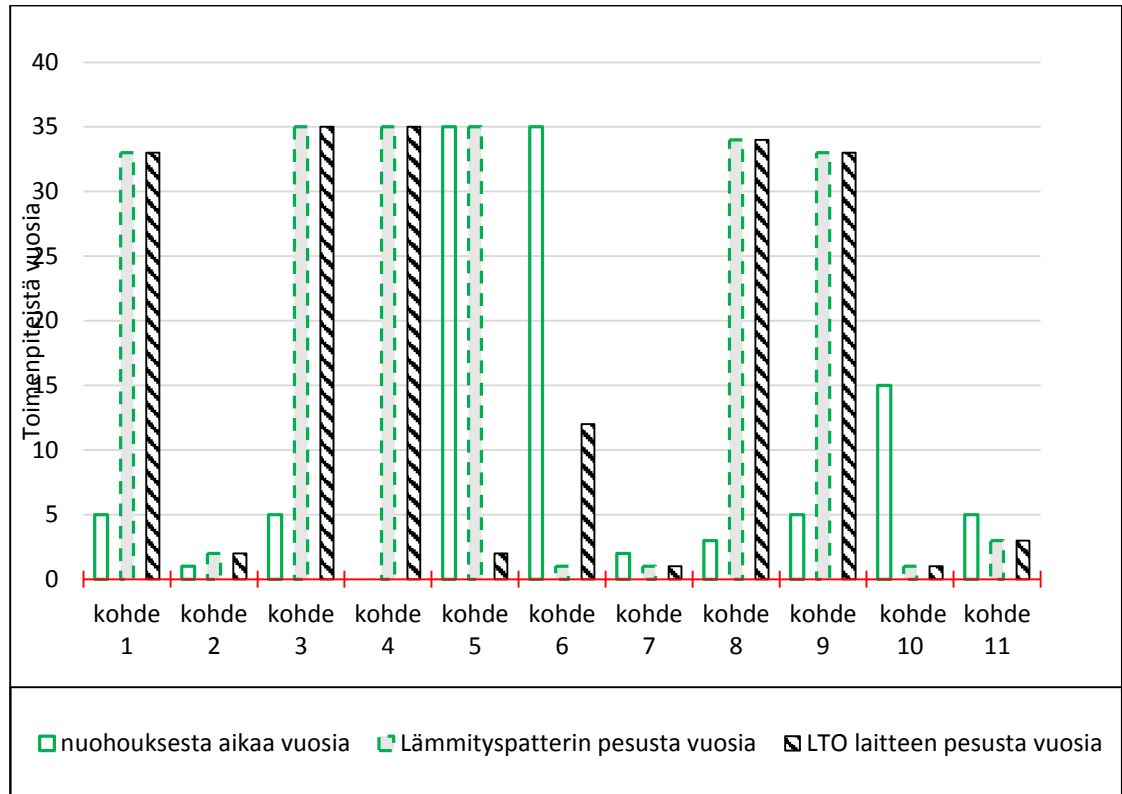


KUVA 10. Kohteiden yleiskartoitus

Suodattimen huolto kuukausittain toteutettiin vain kahdessa kohteessa, kun noin 63,3 % toteutti tämän kahdesti tai harvemmin vuodessa. Kanaviston nuohous oli toteutettu viimeisen viiden vuoden aikana 72,7 % kohteista. Itse kojeen puhtaudesta 18,2 % huolehti kahden viikoin välein, kerran kahdessa kuukaudessa tästä huolehti 27,3 % ja loput tätä harvemmin, kerran tai kaksi vuodessa, kuten kuvasta 11 on nähtävissä. Kuvassa 12 on nähtävissä laitteiston muiden osien puhtaudesta huolehtiminen, kuten LTO-laitteen, liesikuvun rasvasuodattimen ja lämmityspatterin pesu, josta huolehti satunnaisesti tai ei lainkaan 81,8 %. Nämä huollot toteutettiin aktiivisesti vain yhden käyttäjän toimesta.



KUVA 11. Huoltotoimenpiteet vuositasolla

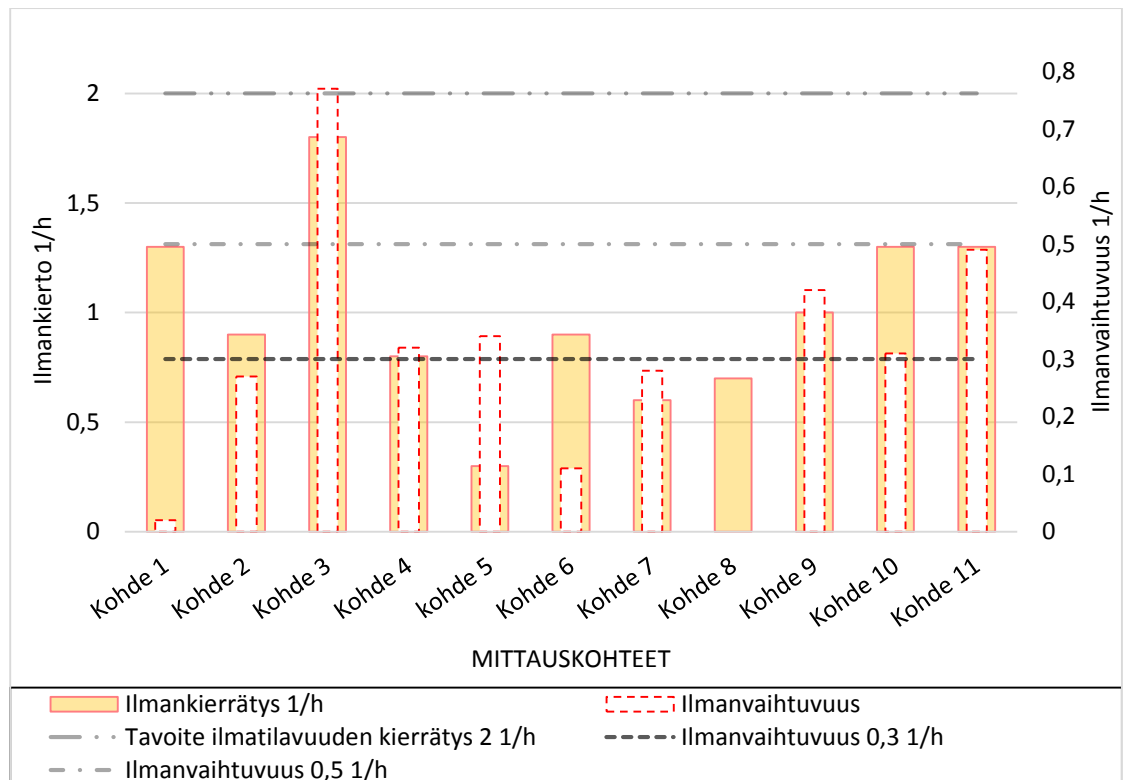


KUVA 12. Järjestelmän huoltaminen

Käyttäjien kesken vallitsi lähes yksimielisyys siitä, että järjestelmä toimii hyvin, lämmitysteho ja lämmönjako ovat riittävät, tosin eräässä kohteessa oli lisätty sähköiset lämmityspatterit ja toiseen oli lisätty ilmalämpöpumppu. Ilmanvaihto oli 90,9 % mukaan riittävä ja ilman laatu hyvä. Ilmanvaihdosta ei koettu syntyvän vetoa muutoin kuin yhden rakennuksen asukkaiden puolesta, tämä ilmeni lämmityskaudella hetkittäisenä tunteena kylmästä ilmapirrasta tuloilmapäätelaitteen läheisyydessä.

6.2 Ilmanvaihto

Näistä tuloksista on mahdollista saada kokonaiskuva siitä ilmamäärästä ja ilman vaihtuvuudesta, joka kulloisessakin rakennuksessa on. Näitä tuloksia vertaamalla alkuperäisissä suunnitelmissa oleviin ilmamääriin ja rakennuslupavuodelta voimassa olevaan Rak.Mk osa D2:n [29] ilmamääriin voimme nähdä, kuinka järjestelmän ilmanvaihto toimii nykyhetkellä. Näitä tuloksia vertaamalla nykyhetkellä voimassa olevaan Rak.Mk D2 2012 saamme kokonaiskuvan siitä, kuinka laitteiston ilmanvaihto toimii tämän päivän määräyksiin ja ohjeisiin nähden. Kuvassa 13 on esitettyä ilmanvaihtuvuus 1/h.



KUVA 13. Rakennusten ilmanvaihtuvuus ja ilman kierrätys 1/h

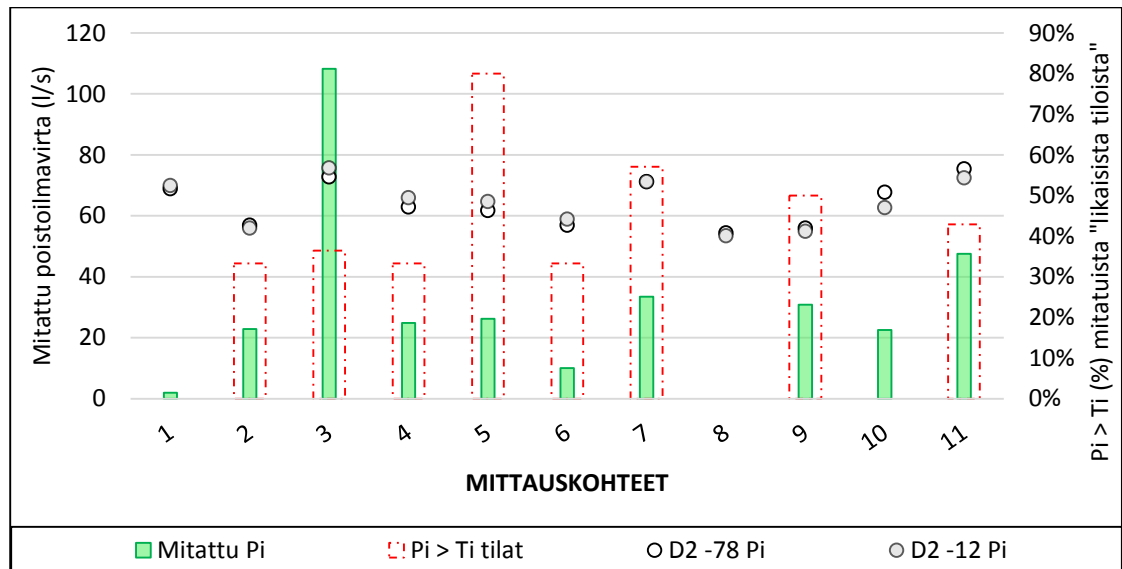
Suurin mitattu laskennallinen ilmanvaihtuvuus oli 0,77 1/h pienimmän ollessa 0 1/h. Mittauksista saatujen arvojen keskiarvo oli 0,33 1/h, tähän joukkoon ei sisälly kohde jonka mitattu ilmanvaihtuvuus oli 0,0 1/h. Saatu keskiarvo on ilmalämmitteisiin rakennuksiin riittävä [9]. Tämä keskiarvo mitattujen rakennusten keskimääräisesti riittävää ilmanvaihtuvuutta. Ilmalämmitysjärjestelmässä mitoitettu ilman kierrättäminen 2–3 1/h ei toteutunut mittauskohteissa, kuten kuvasta 13 ja taulukosta 14 on nähtävissä.

TAULUKKO 14. Rakennuksen ilmankierrätys 1/h

Ilman kierrätys 1/h	<2,0	<2,0-3,0>	>3,0
Lukumäärä taloja	11 kpl	0 kpl	0 kpl
Minimi	0,3	Maksimi	1,8
Keskiarvo	0,99		

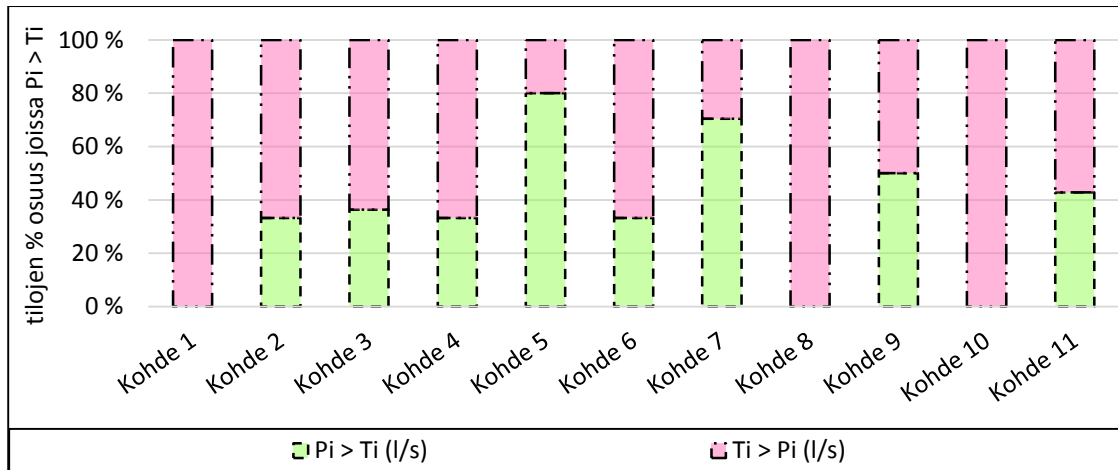
Osassa rakennuksia ei ollut suunnitelmissa tuloilman ja poistoilman määriä, joita olisi voinut verrata mitattuihin tuloksiin. Näissä tapauksissa määriteltiin vertailuarvot perustuen RakMk D2 1978/2012 ohjearvoihin, käyttäen ohjearvoa $1/s/m^2$ raitisilmavirralle.

Poistoilmavirat olivat pääsääntöisesti liian pienet, kuten kuvasta 14 on luettavissa. Tarkasteltaessa ilmanvaihdon toimivuutta on tarkasteltava myös ilmanvirtauksen suuntaa rakennuksen sisällä. Tätä tarkasteltiin vertaamalla keittiön, wc:n, pesuhuoneen, saunan ym. ns. likaisten tilojen poistoilmavirtojen suhdetta sisään puhallusilmavirtaan [kuva 15].



KUVA 14. Poistoilmavirran riittävyys mittauskohteissa

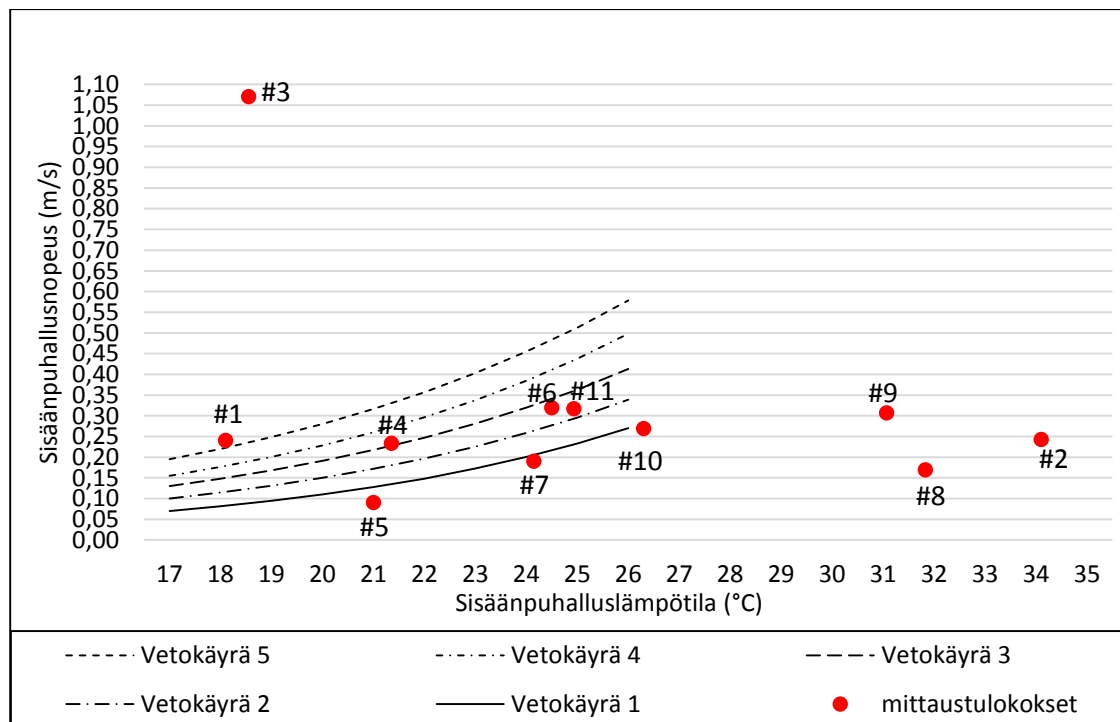
Mittaustuloksissa poistoilman minimiarvo on 0 l/s ja suurin arvo 108,2 l/s. Poistoilmavirtojen riittävyttä arvioitaessa Rak.Mk osa D2 mukaisiin arvoihin, poistoilmavirtojen riittävyden mediaaniksi muodostui 50 % /40 % (-78/-12). Raittiin tuloilman osuus kiertoilmasta on vastaava kuin ulkoilmasäleiköltä mitattu ilmamäärä, joskin osassa tapauksia ulkoilma johdettiin rakennukseen sisälle räystäään harvalaudoituksen välistä, jolloin ilman vaihtuvuutta tarkasteltaessa oli tyydyttävä tarkastelemaan poistoilman ja jäteilman määrää. Kiertoilmasta vähennetty poistoilma on tällöin tuloilman määrä, ja oletuksena on, että tulo- ja poistoilmapuhaltimet ovat pakkokytkeytyjä ja toimivat samalla teholla. Tuloilmamäärät noudattivat tuloksiltaan poistoilmavirtojen tuloksia.



KUVA 15. Poistoilmavirran riittävyys tiloissa, joissa epäpuhtauslähteitä

Kuvasta 15 on luettavissa, kuinka ilmamäärät eivät olleet rakennuksissa hyvän ilmanvaihdon suunnittelun ohjeistuksen mukaisesti kokonaisuutena, ja kolmessa rakennuksessa poistoilmavirrat olivat jokaisessa tutkitussa tilassa pienemmät kuin sinne puhallettavan ilman määrä. Tutkituissa kohteissa oli pääsääntöisesti 5–7 tilaa, joihin Rak.Mk. D2 -78/2012 on ohjeistanut ilmamäärän poistoilmavirralle.

Arvioitaessa vetoriskin mahdollisuutta sijoitettiin vetokäyrälle jokaisesta kohteesta suurimman oleskeluvyöhykkeelle sisään puhallusnopeuden omaavan tuloilmapäätelaitteen sisään puhalluksen nopeus ja lämpötila [kuva 16].



KUVA 16. Vetokäyrälle sijoitetut mittaustulokset

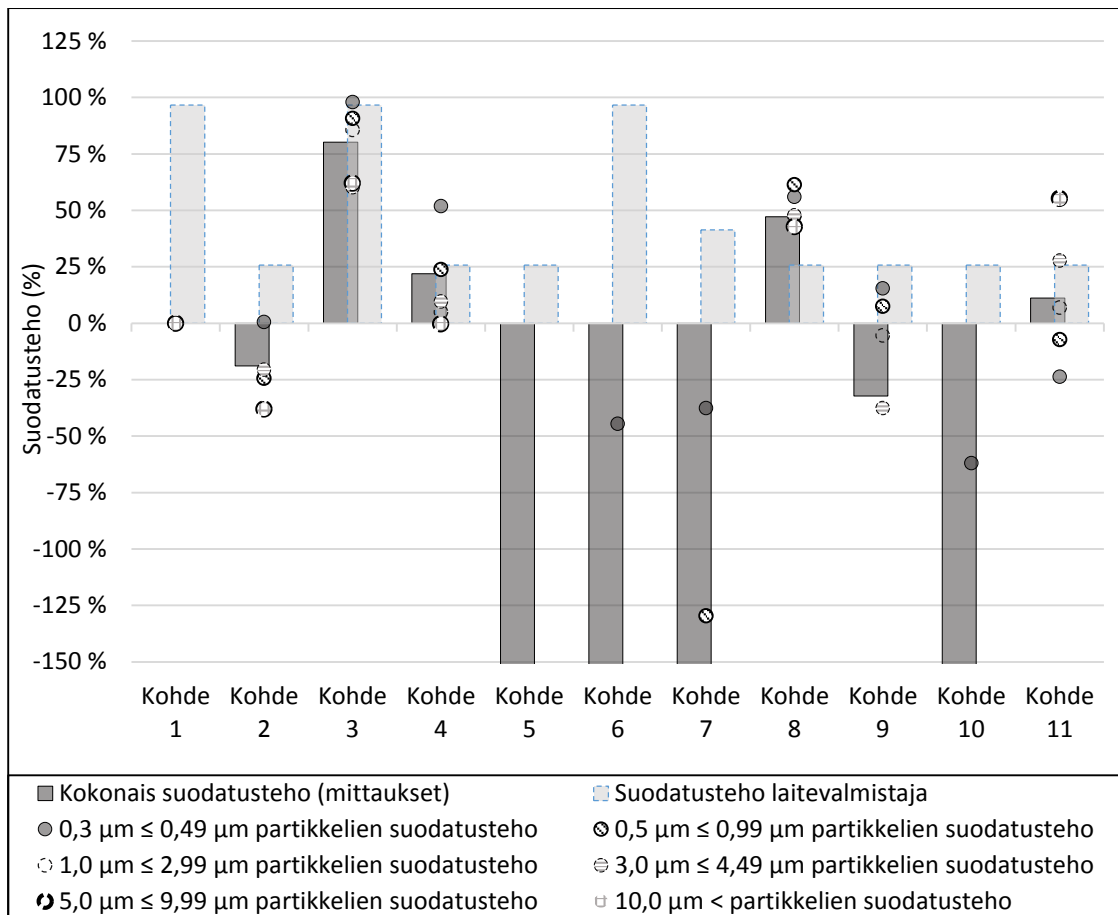
Ilmannopeuksia oleskeluvyöhykkeelle sijoitetuista päätelaitteista tarkastellessa voidaan havaita, kuinka noin 27,3 % asettuu vetokäyrille yksi ja kaksi. Noin 36,4 % arvoista ovat nopeudeltaan ja lämpötilaltaan huomattavasti vetokäyrä yhden alapuolella ja 36,4 % kohteista tulos selkeästi kuvastaa tilannetta, jossa on vectoriski olemassa. Erityisesti mittaustulos, jossa sisään puhallusnopeus on 1,07 m/s ja lämpötila 18,6 °C, aiheuttaa vedon tunnetta. Kyseisessä kohteessa sisään puhalluksen määrä ja lämpötila kuvaavat tilannetta, jossa kieroilmapuhallinta ei ohjaa lämmityksen tarve, vaan puhallin pyörii suuremmalla teholla kuin lämmittäminen vaatisi.

6.3 Suodattimien toiminta

Suodattimen toimintaa kuvaavat laskennalliset keskiarvot suodattimien suodatusteholle, suoritettut mittaukset sisäilmasta ennen kiertoilmasäleikköä ja sisään puhallusilmasta. Tuloksissa on huomioitu ulkoilman partikkelien määrä ja laskenta on suoritettu partikkelijakauman mukaisesti, kaavojen 6 ja 7 avulla. Vertailua tehdään laitevalmistajien ilmoittamaan suodatustehoon ja VTT:n mukaiseen todennukseen suodatustehosta.

Tehtäessä mittauksia, jotka liittyvät partikkelien suodattamiseen kotitalousolosuhteissa voidaan tuloksia tarkastella vain suuntaa-antavina. Arviot suodattimien kokonaissuodatustehosta mittauksien tuloksena sekä arvio uuden toimivan suodattimen tehosta on esitettyä kuvassa 17 pylväinä.

Partikkelijakauman mukainen suodatusteho on nähtävissä myös kuvasta 17, jossa suodatuksen tehokkuutta on tarkasteltu kuudessa eri partikkelijakaumaluokassa. Nämä luokat on esitetty kuvan 17 selitteessä. Mittauskohteista saatiin päällekkäisiä tuloksia jotka eivät erotu kuvassa toisistaan sekä suuria, alle -150 %:n tuloksia jotka oli jätettävä kuvan ulkopuolelle.



KUVA 17. Kohteittain suodatusteho ja laskennallinen kokonaissuodatusteho

Tarkastelukelpoista mittaustulosta ei saatu yhdestä kohteesta, 27,2 % tuloksista osoittaa suodattimen toimivan hyvin mittaustilanteessa, 9,1 % suodattimen toiminta on heikko ja 45,5 % mittauksista suodatusteho muodostui negatiiviseksi, kuten kuvasta 17 on nähtävissä.

Suodatintyypeittäin laitteisto jaettiin G3-, F5- ja sähkösuodattimeen. Kunkin suodatintyyppin tehoa arvioitiin mittauksien perusteella myös partikkelijakaumaan nähden. Tuloksista on huomattavissa, kuinka vain yhdessä kohteessa sähkösuodattimen suodatusteho on lähellä laitevalmistajan ilmoittamaa suodatustehoa. Muutoin erityistä huomiota on kiinnitettävä myös tulokseen, jossa G3-tason suodattimella saadaan suodatettua ilmasta 0,3-0,9 µm kokoisia partikkeleita vaikka suodattimen ei pitäisi näitä partikkeleita suodattaa. Uusitus ilmalämmityskojeessa F5-luokan pussisuodatin ei toiminut juurikaan paremmin kuin vanhat G3-tasosuodattimet. Partikkelitasolla tarkasteltaessa suodattimien toiminta on kokonaisuutena heikko.

Tarkastelukelpoisia mittaustuloksia saatiin 10 kohteesta, näitä tuloksia tarkasteltaessa eri suodatinluokkien kesken muodostuivat tulokset taulukon 15 mukaisiksi.

TAULUKKO 15. Mittaustulokset suodatinluokittain

Suodatusteho	<80 %	<80-120%>	>120%
G3- tasosuodatin	5 kpl	1 kpl	1 kpl
mitattu minimi	-3709 %	mitattu maksimi	183 %
mittaus keskiarvo	-72,9 %		
F5- pussisuodatin	1 kpl	0 kpl	0 kpl
mitattu teho	-842 %		
Sähkösuodatin	1 kpl	1 kpl	0 kpl
minimi	-252 %	maksimi	83 %

Taulukon 15 luvut vahvistavat tuloksen suodattimien heikosta toiminnasta. G3-tasosuodattimen ylittäessä 120 % ilmoitetusta suodatustehosta, teho muodostuu kyseisen suodattimen suodattaessa 0,9–0,3 µm kokoisia partikkeleita, joille odotettavissa oleva suodatusteho on noin 0 %. Muutoin tämän luokan huonoon suodatukseen osaltaan vaikuttaa käyttäjän toiminta suodattimia huollettaessa ja vaihdettaessa. Käyttöoppaassa on esitetty, että G3-luokan tasosuodattimen voi pestä noin viisi kertaa ennen kuin suodatin on vaihdettava uuteen. Tämä peseminen vaikuttaa suodattimen ominaisuuksiin, jonka vuoksi suodatusteho heikkenee jokaisen pesun jälkeen. [3.]

Uusitussa Enervent kotilämpö -kojeessa F5-luokan pussisuodattimien toiminnan tehottomuus vahvistaa käsitystä laitteiston ja kanaviston huollon suorittamisen tarpeellisuudesta. Tässä kohteessa saatu suuri negatiivinen suodatusteho kuvastaa sisäilmaan siirtyviä partikkeleita kanavisto-osuudella. Kyseisessä kohteessa oli nuohous suoritettu noin 16 kuukautta ennen uuden kojeen asentamista ja käyttöönottoa.

6.4 Lämpötila

Tuloksia tarkastellaan Rak.Mk D2 mukaisiin lämpötila-arvoihin sekä käyttäjähaastattelun verraten. Lämpötilan mittaustulokset ovat taulukossa 16.

TAULUKKO 16. Sisälämpötilat

	Opt. Op.lämpötila S2 (°C)	Mitattu OH. Op. lämpötila (°C)	Mitattu OH pintalämpötila (°C)	Ulkolämpötila (°C)	Ilman sisään puhalluslämpötila (°C)
Kohde 1	21,5	20,1	21,2	2,2	18,1
Kohde 2	21,5	21,7	21,2	3,4	34,1
Kohde 3	21,5	19,2	20,1	7,9	18,6
Kohde 4	21,5	20,4	20	8,4	21,4
Kohde 5	21,5	21,4	20,9	2,6	21
Kohde 6	21,5	21	23,1	4,7	24,5
Kohde 7	21,5	21,9	21,5	4,2	24,2
Kohde 8	21,5	24,1	24,1	7,7	23,7
Kohde 9	21,5	20,3	22,1	8,2	22,9
Kohde 10	21,5	20,5	21	2,8	20,9
Kohde 11	21,5	20,2	20,2	8,3	24,9

Lämpötilamittauksissa sisään puhallusilman lämpötila, tilan operatiivinen lämpötila ja pintalämpötila sekä ulkoilman lämpötila on esitetty samassa taulukossa. Haastatteluissa ilmennyt tyytyväisyys lämmityksen toimintaan on huomattavissa näiden mittauksien tulosten tasaisuudesta. Sisään puhalluslämpötilaa tarkastellessa on huomattavissa rakennuskohtaisesti suuriakin poikkeamia lämpötiloissa. Näihin tuloksiin vaikuttavat erityisesti rakennusten erilaiset ominaisuudet ja käyttäjän asetukset sekä huonetermostaatin sijainti rakennuksessa. Haastattelutuloksissa ilmenneiden lisälämmityslaitteiden käyttö, kuten tulisijan ja ilmalämpöpumpun toiminta, vaikuttavat myös tuloksiin.

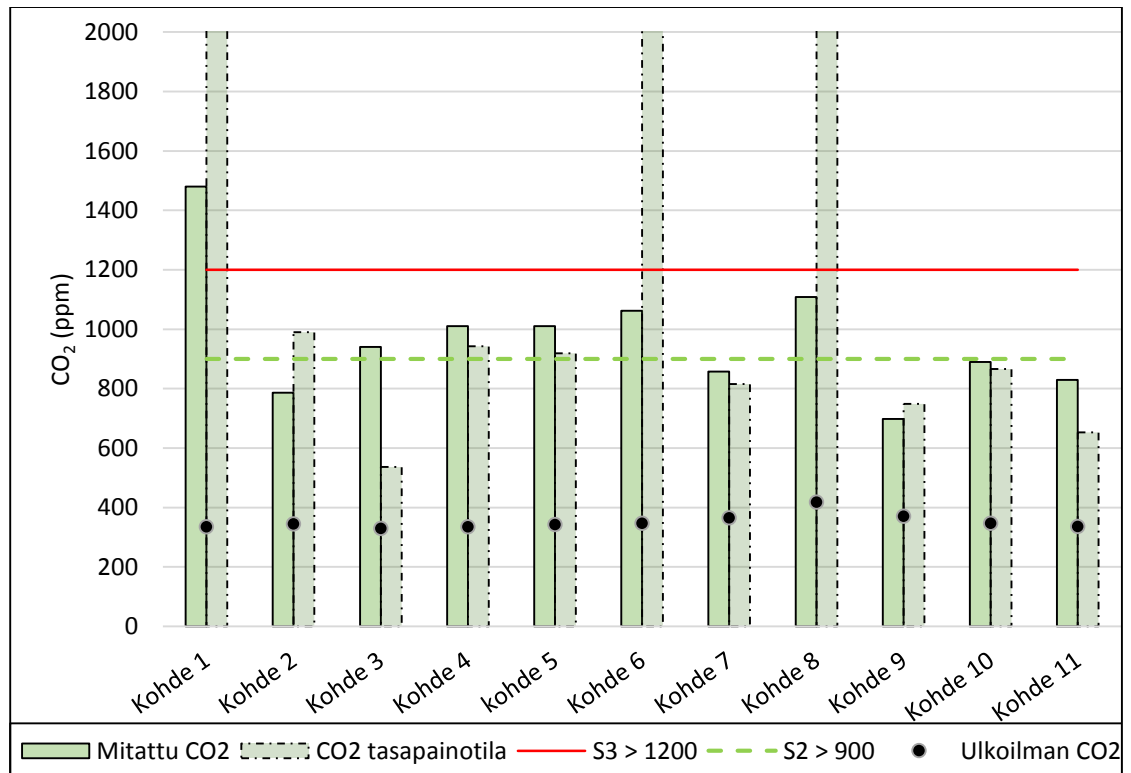
Operatiivinen lämpötila on näiden hetkellisten mittauksien perusteella S2-tasolla 36,4 % kohteista, ja $\pm 1,5$ °C S2-tasoon nähden 81,9 % kohteista. Alhaisempi lämpötila tai korkeampi lämpötila mitattiin kahdesta kohteesta, näissä kohteissa on kuitenkin huomioitava sisään puhalluslämpötila, joka vastaa kohteiden operatiivista lämpötilaa. Operatiivisen lämpötilan tarkastelemiseksi huoneista mitattiin myös pintalämpötiloja, joiden keskiarvot on myös esitetty samaisessa kaaviossa. Tällä tarkasteltiin kuinka lämmitysjärjestelmä toteuttaa lämmön tasautumista huoneissa. Mitatut pintalämpötilat ovatkin hyvin lähellä saatuja operatiivisen lämpötilan mittaustuloksia ja kuvaavat tasaista lämpötilaa huoneissa.

Sisään puhalluslämpötilat samoista huoneista osoittavat meille onko järjestelmässä lämmitysvaihe käynnissä, vai onko järjestelmä saavuttanut lämmityksen asetuksen. Mittaustuloksien perusteella 45,5 % kohteista lämmitys on saavuttanut asetuksen ja 54,5 % kohteista on edelleen lämmitys käynnissä. Erityisesti huomio kiinnittyi yhden kohteen

sisään puhalluslämpötilaan, joka on huomattavasti suurempi kuin mitattu operatiivinen lämpötila sekä huoneesta mitattujen pintalämpötilojen keskiarvot. Tarkasteltaessa sisään puhalluslämpötilaa ja ulkoilman lämpötilaa on huomattavissa, kuinka noin 54,5 % kohteista toteuttaa hyvin samankaltaista lämmityskäyrää toisiinsa verrattuna.

6.5 Ilmanlaatu

Ilmanlaatua tarkasteltaessa on kuvassa 18 luettavissa mittauskohteiden CO₂-tulokset. CO₂:n tasapainotila on arvioitu käyttämällä kaavoja 6 ja 7 sekä taulukkoon 10 laskettuja tietoja. Tuloksia tarkastellaan sisäilmaluokitus 2008:n mukaisiin sisäilmalle asetettuihin tavoitearvoihin. Lisäksi kuvasta on nähtävissä mittauksien mukaisen ilmanvaihdon vaikutus hiilidioksidin määrään sisäilmassa.



KUVA 18. CO₂-pitoisuudet

Taulukossa 17 on yksinkertaistettuna Sisäilmaluokitus 2008:n mukainen jakauma kuvan 18 tuloksista. Tarkastelun kohteina olevista rakennuksista vain yhdessä CO₂-pitoisuudet ylittävät S3-sisäilmaluokitukselle asetetun ylärajan mittaustilanteessa. Kuvassa 18 on myös laskennallinen CO₂-pitoisuuden tasapainotilanne, joka ilmentää rakennuksen ilmanvaihdon riittävyyttä rakennuksessa tuotettavaan hiilidioksidin nähden. Kolmessa kohteessa tämä tasapainotilanne on huomattavasti suurempi kuin nyt mitattu

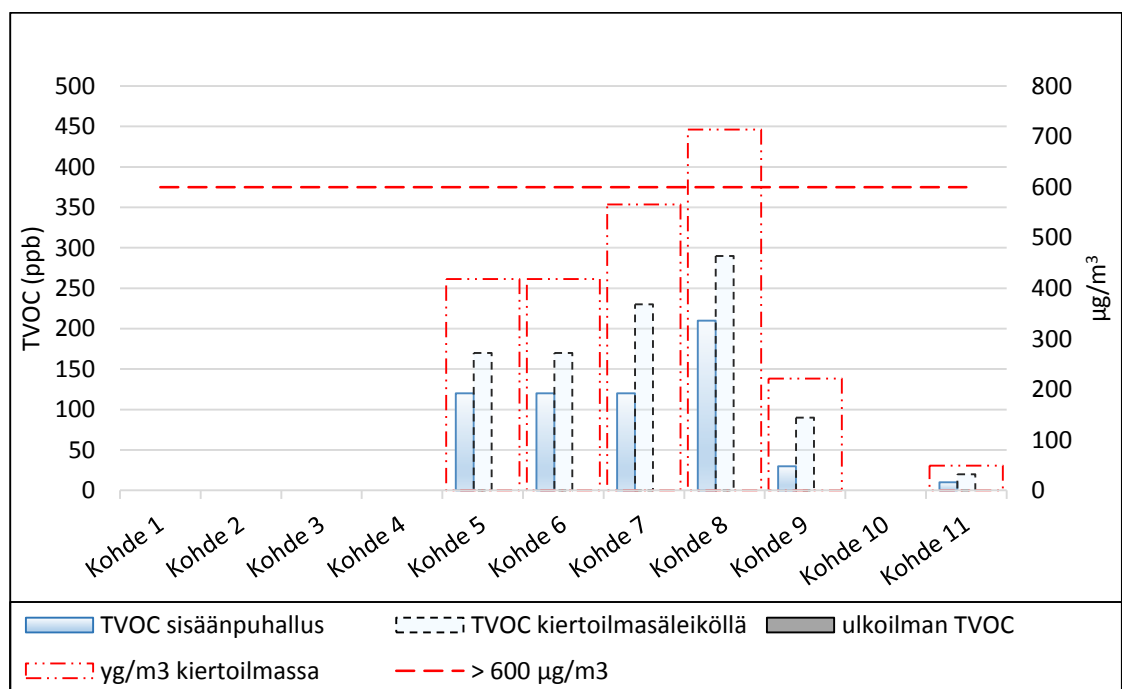
tulos. Kahdessa kohteessa ilmanvaihdon pitäisi laskennallisesti pitää CO₂-lukemaa merkittävästi alhaisempana kuin mitattu tulos, ja muiden kohteiden mittaustulos ja laskennallinen tulos ovat hyvinkin lähellä toisiaan.

TAULUKKO 17. Sisäilmaluokitus 2008:n mukainen jakauma

CO ₂ pitoisuudet	S1 < 750 ppm	S2 < 900 ppm	S3 < 1200 ppm	> 1200 ppm
Lukumäärä taloja	1	5	4	1
Minimi mitattu	698 ppm	Maks. mitattu	1480 ppm	
Keskiarvo	970 ppm			

Kuva 18 antaakin tässä mittaustilanteessa vain hetkellisesti vallitsevasta CO₂-pitoisuudesta rakennuksessa. Rakennusten ilmanlaatua tarkasteltaessa noin puolet ovat laadultaan hyvää ja loputkin pääsääntöisesti vähintään tyydyttävää sisäilmanlaatua.

Rakennuksista suoritettiin myös TVOC-mittaus ja samalla mittauksella saatiin tietää sisäilman suhteellisen kosteuden arvo, joka saatiin myös mitattaessa partikkelijakaumaa. Näistä mittauksista saadaan vertailukelpoisia, kun mitataan myös ulkoilmassa vallitseva tilanne ja tarkastellaan näitä keskenään.

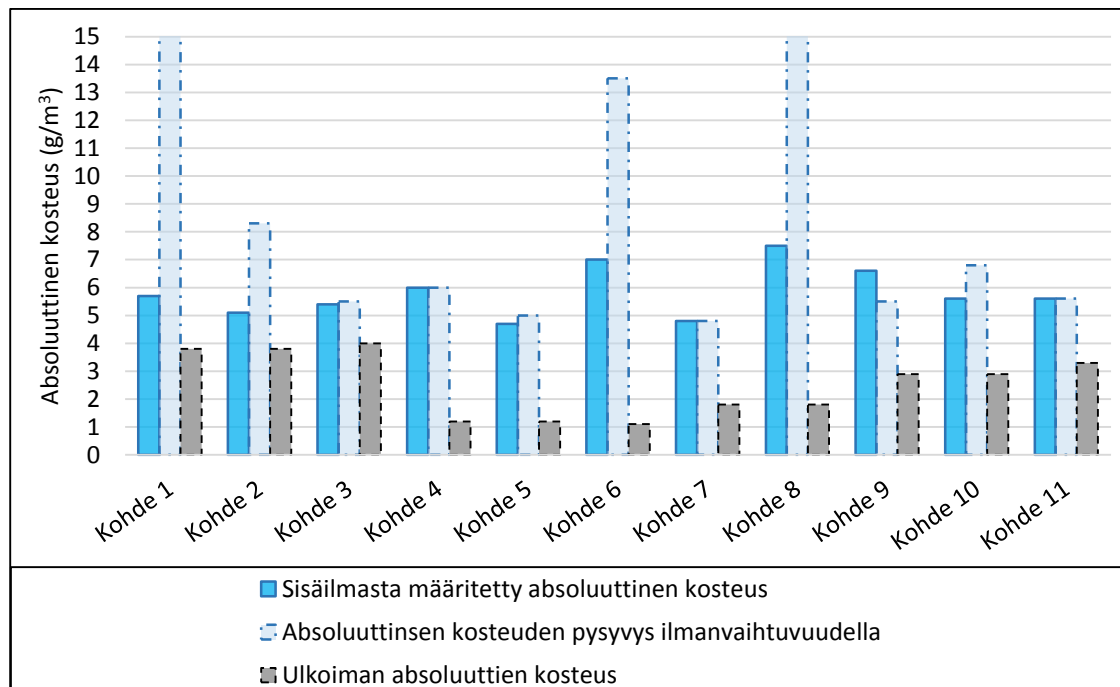


KUVA 19. TVOC -mittaukset

Kuvasta 19 on havaittavissa, kuinka mittauskohteissa 5–9 ja 11 syntyy sisäilmastoon joitakin haihtuvia yhdisteitä. Mitatut TVOC-pitoisuudet eivät korreloi mitattuja suuria CO₂-pitoisuuksia. Pieni tai olematon ilmanvaihto vaikuttavat TVOC:n kumuloitumiseen rakennuksessa, kuten on huomattavissa, kun tarkastellaan CO₂ mittauksen tulosta kuvasta 18. Mittaukseen liittyvät tilastot ovat taulukossa 18, jossa esitettyinä ainoastaan ne kohteet, joista saatiin tuloksia mitattaessa TVOC-arvoja. Yhdessä mitatussa kohteessa ylittyy 600 µg/m³ arvo. Useiden kohteiden mittauksien tuloksena TA465-X mittarilla oli 0.

6.6 Sisäilman kosteus

Sisäilman suhteellinen kosteus muunnettuna absoluuttiseen kosteuteen luo jokaisesta rakennuksesta keskenään helpommin tarkastelukelpoiset tulokset. Sisä- ja ulkoilman absoluuttinen kosteus ja ilmanvaihtuvuuden mukainen absoluuttisen kosteuden tasapainotilanne on esitetty kuvassa 20. Ilmanvaihtuvuudella saavutettu absoluuttisen kosteuden määrä on laskettu kaavalla 9, jossa on arvioituna kosteuden tuotto rakennuksessa haastattelutilanteessa tehtyjen huomioiden mukaan.

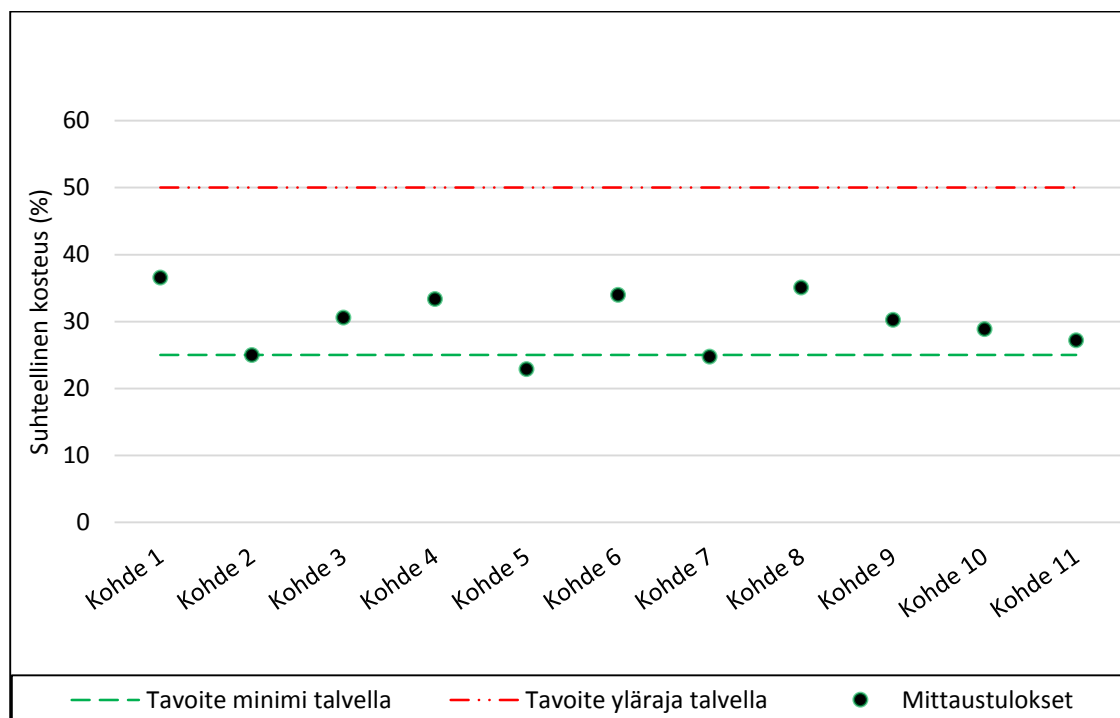


KUVA 20. Absoluuttinen kosteus

Absoluuttinen kosteus vastaa lähes ilmanvaihdolla saavutettua tasapainotilaa 54,5 % mittauskohteista, 36,3 % mittauskohteista ilmanvaihdolla saavutettu tasapainotila on

huomattavasti suurempi kuin mittaustulos. Tämä mitatun tuloksen ja laskennallisen tasapainotilanteen ero antaa aihetta tarkastella mittausajankohdan mukaista mittausympäristön luotettavuutta, erityisesti huomioitavaa ovat kuvan 13 tulokset ilmanvaihtuvuudelle mittauskohteissa. Myös kuvan 14 poistoilmavirran riittävydestä epäpuhtauslähteitä sisältävissä tiloissa tukevat huomiota mittaustilanteen luotettavuuden arvioinnin tarkastelemiseksi. Vain yhdessä kohteessa voidaan todeta tässä mittaustilanteessa absoluuttisen kosteuden olevan suurempi kuin ilmanvaihdolla saavutettu absoluuttisen kosteuden tasapainotila. Tässä kohteessa on rakennuksessa sellainen kosteuslähde, jota ei ole tullut esiin haastatteluissa ja kohteeseen perehtymisessä, eikä siis näin ollen ole voitu ottaa huomioon laskettaessa absoluuttisen kosteuden pysyvyyttä rakennuksen ilmanvaihtuvuudella.

Mitattaessa suhteellista kosteutta tulokset kertovat meille vain sen suhteellisen kosteuden prosenttimäärän, joka rakennuksessa juuri mittaushetkellä vallitsi. Nämä tulokset ovat luettavissa kuvasta 21.



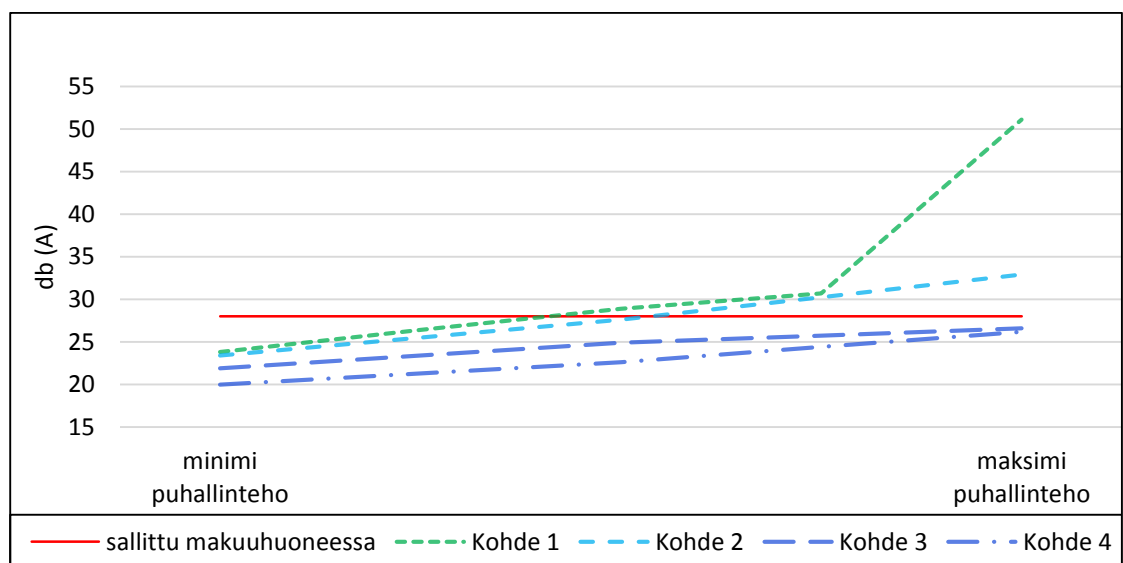
KUVA 21. Suhteellinen kosteus

Mittauskohteina olleissa rakennuksissa sisäilman mitattu suhteellinen kosteus oli 90,1 % kohteista tavoitearvoissa, yhdessä kohteessa mittaustuloksen mukaan oli kuivempi

sisäilma kuin 25 % suhteellinen kosteus. Tämän suhteellisen kosteuden mittaustuloksena on siis todettava, ettei näissä kohteissa ollut yhdessäkään liian suuri suhteellinen kosteus, joka osaltaan olisi ollut poikkeavaa vuodenaikaan nähden.

6.7 Melu

Tarkastelukelpoisia mittaustuloksia saatiin 36,4 % kohteista, muiden kohteiden mittaustuloksien luotettavuus ei ollut riittävä tuloksen arvioimiseksi, johtuen ulkopuolisesta häiriöstä joka ei ollut todennettavissa aiemmin kuin tulosten analysointivaiheessa. Näitä häiriötekijöitä ovat esimerkiksi raskas liikenne rakennuksen ulkopuolella sekä ihmisen toimet rakennuksessa. Tuloksista on nähtävissä, kuinka nykyisellään käyttöteholla 1 toimivat kojeet ovat riittävän hiljaisia verrattaessa näitä arvoja LVI-laitteille sallitulle melun tuotolle makuuhuoneeseen. [Kuva 22.] Osassa laitteista on 3-portainen nopeuden säätö ja osassa 5-portainen. 90,1 % kohteista kojeita käytettiin pienimmällä teholla normaalikäytön aikana, joka on todennettavissa kun tarkastellaan kuvien 13,14 ja 16 tuloksia liittyen ilmavirtoihin.



KUVA 22. Ilmalämmityskojeen tuottama melu makuuhuoneeseen

Mittaustuloksien perusteella olisi mahdollista tehostaa ilmanvaihtoa ilman, että koje tuottaa lähimpään makuuhuoneeseen liaksi melua. Tällä tavoin olisi mahdollista saavuttaa parempi sisäilman laatu ilman suuria toimenpiteitä järjestelmään.

7 YHTEENVETO

Sisäilmastoa tutkittaessa on aina mahdollisuuksien mukaan tarkasteltava näitä mittaus-suureita pitkäaikaisten mittausten perusteella. On myös mahdollista analysoida lyhytkestoisten mittausten tuloksia silloin, kun mitattuja suureita on riittävästi. Tässä opin-näytetyössä tuloksia arvioitaessa on tarkasteltava rakennuksia ja mittauksia sekä yhdessä että erikseen, jotta saadaan mahdollisimman kattava kuva siitä, mikä on osaltaan laitteiden toiminnan vaikutusta ja mikä on käyttäjän toimintaa tai sen puutetta. Järjes-telmän toimintaa tarkasteltaessa on tutkittava niitä suureita, jotka vaikuttavat sisäilmas-toon ja tilaa käyttävän henkilön kokemukseen sisäilmasta. Tarkasteluissa on pyritty muodostamaan jokaisesta rakennus- ja kojeparista keskenään mahdollisimman vertai-lukelpoinen toisiinsa nähden.

7.1 Mittaustulokset

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella noin 30 vuotta sitten asennettujen ilmaläm-mitysjärjestelmien toimintaa ja käyttötottumuksien vaikutusta sisäilmaan tänä päivänä. Valikoituneissa kohteissa suoritettujen haastatteluiden ja mittausten tuloksista on yh-teenvetona todettava, että vaikkakin ilmanvaihtuvuus 0,3/h saavutettiin vain 54,5 % kohteista, poistoilman riittävyys oli 27,2 % kohteista riittävä noin puolessa tiloista ja vain 45,5 % kohteista poistoilmavirta oli riittävä noin kolmanneksessa mitatuista ti-loista. Ilman laatu oli hyvä 90,1 % mitatuista kohteista sisäilman kosteuden osalta mit-tausajankohta huomioiden. Ilman laatu oli tyydyttävä 36,4 % kohteista ja hyvä 54,5 % kohteista tarkasteltaessa sisäilmassa hiilidioksidin määrää. Suoritetuissa TVOC-mittauksissa vain yhdessä kohteessa ylitettiin asumisterveysohjeen mukainen 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ määrä, tähän tulokseen varmasti vaikuttaa myös mittaustuloksista selvinnyt 0,0/h ilmanvaihtuvuus.

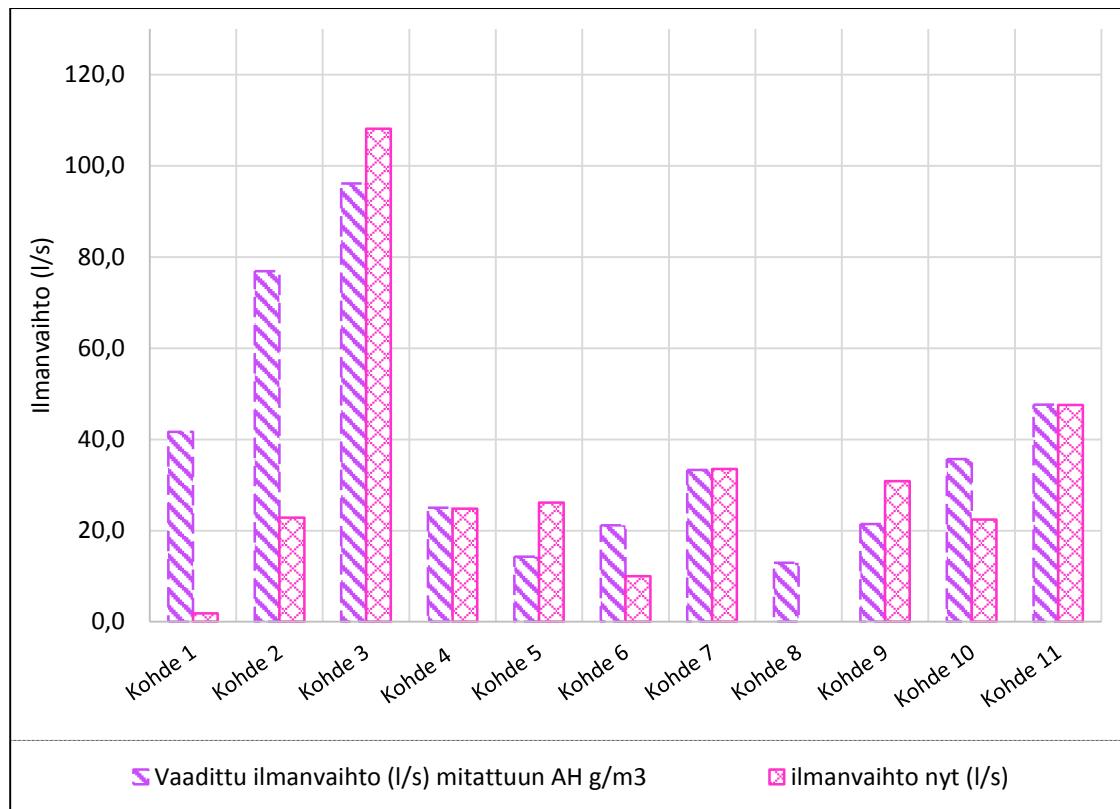
Ilmankierrätyksen tavoitetta 2–3/h ei saavutettu yhdessäkään mittauskohteessa, mutta huomion arvoista on kuitenkin hyvin tasainen lämpötila rakennuksissa. Mitattujen ope-ratiivisten, pinta-, ja sisään puhalluslämpötilojen tuloksien tasaisuus kuvastaa hyvin il-malämmitysjärjestelmän toimivuutta lämmitysjärjestelmänä. 90,1 % mittauskohteista operatiivinen lämpötila oli vähintään tyydyttävällä S3-tasolla. Haastatteluiden tulokset lämmitysjärjestelmän toimivuuteen ja tyytyväisyys lämmityksen riittävyyteen myös tu-kevat tätä tulosta. Tarkasteltaessa toimintaa lämmityksen osalta on huomattava, että

kussakin mittauskohteessa sisään puhalluslämpötilat noudattavat hyvin samanlaista lämmityskäyrää keskenään. Poikkeuksia muodostavat tosin tilanteet, joissa lämmitysjärjestelmä on joko lämmitysvaiheessa tai saavuttanut halutun sisälämpötilan.

Tarkasteltaessa laitteiston toimintaa ilmansuodattamisen osalta on todettava, että tulokset näissä mittauksissa olivat huonot. Erityisesti suuret negatiiviset suodatustulokset kuvastavat järjestelmässä mahdollisesti olevaa toimintahäiriötä, eikä mittaustuloksia tämän vuoksi voida tarkastella luotettavasti. Noin 30 % mitatuista kohteista suodattimen toiminnasta saatiin tulos, jota voidaan luonnehtia suodattimen tehoksi. Noin 35 % mittauskohteista suodattimen tehoksi muodostui huomattavan negatiivinen luku ja tämän vuoksi voidaan olettaa, että järjestelmässä on toimintahäiriö, joka voi olla esimerkiksi kumuloitunutta pölyä kanavistossa johtuen nuohouksen puutteesta. Taulukon 4 tiedot korreloivat osaltaan tätä päätelmää. Hyvin huollettu sähkösuodatin järjestelmässä, joka on nuohottu lyhyen ajan sisällä tuotti suodatustehoksi 80 % ilmoitetusta suodatustehosta 0,3–10,0 µm partikkeleita tarkasteltaessa.

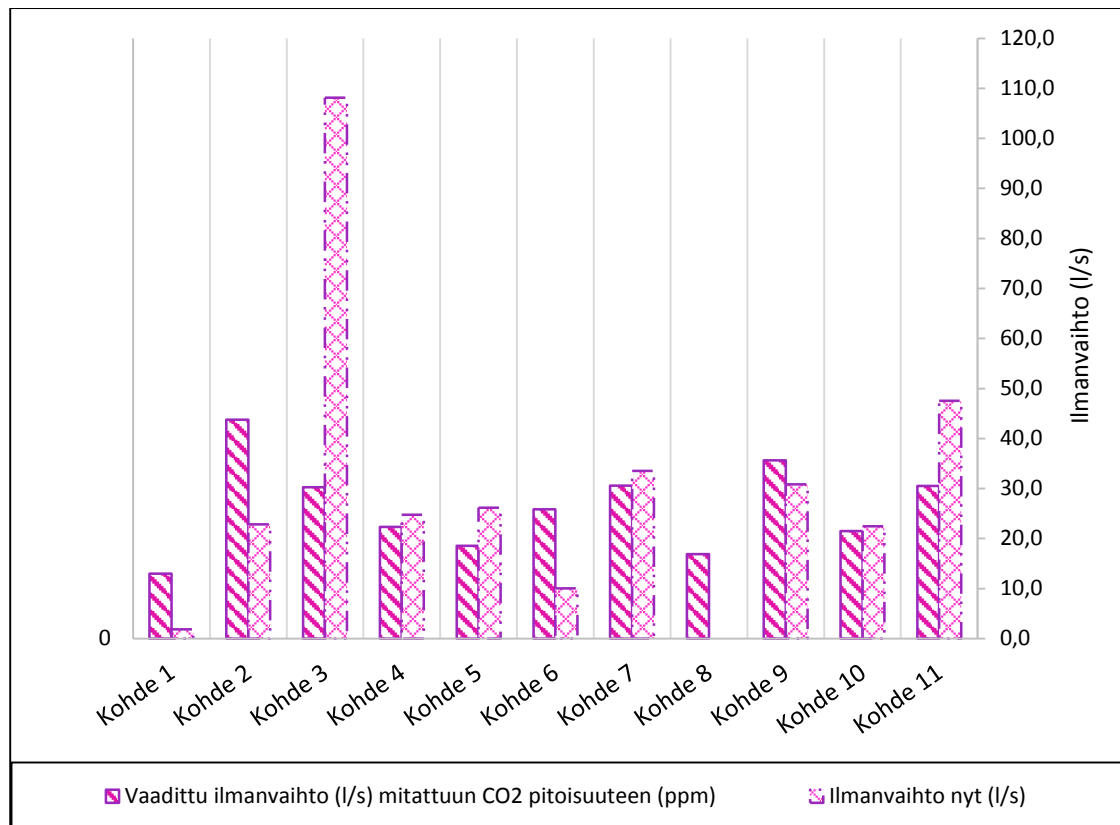
7.2 Mittaustuloksien luotettavuuteen vaikuttavia seikkoja

Kosteus ja hiilidioksidi ovat suureita, joiden pitoisuuksien muutokset ovat herkkiä ihmisen toiminnalle. Näiden suureiden mittaustulosten luotettavuutta voidaan tarkastella, kun arvioidaan mittaustulosta ilmanvaihtuvuuden kautta näiden laskettuun tasapainotilaan nähden. Mittaustuloksien yhteenvetotaulukoista 31 ja 32 voidaan tarkastella järjestelmän toimintaa ja mittaustilannetta tarkemmin.



KUVA 23. Kosteuskuorman vaikutus ilmanvaihdon riittävyyteen

Kuvasta 23 on luettavissa, kuinka ilmanvaihtuvuus ei ole riittävä mittauskohteissa 1, 2, 6, 8 ja 10. Näiden kohteiden mittaustulokset kuvaavat tilannetta, joissa ennen mittauksia on mahdollisesti tuuletettu. Mittaustulokset kohteista 3,5 ja 9 kuvaavat ilmanvaihtuvuuden riittävän alhaisempaan kosteuden tasapainotilaan kuin mittaustulokset. Tämä tulos on indikaattori rakennuksessa mahdollisesti olevasta kosteudesta, jota ei voitu laskennallisesti huomioida kosteuden tuottoa laskettaessa. Mittaustulokset kohteista 4, 7 ja 11 osoittavat mittauksessa käytettävän laskennan ja mittausmenetelmän toimivan. Näissä kohteissa ilmanvaihtuvuus on sama kuin kosteustasapainoon vaadittu ilmanvaihtuvuus, sekä myös absoluuttisen kosteuden määrä ja ilmanvaihdolla saavutettu absoluuttisen kosteuden määrä on lähes sama.



KUVA 24. Ilmanvaihdon riittävyys CO₂ kuormitukseen

Arvioitaessa rakennuksen sisäilman laatua ja järjestelmän toimintaa on kuvasta 24 luettavissa, kuinka kohteiden 1, 2, 6 ja 8 ilmanvaihto selkeästi ei ole riittävä mitattuun CO₂-tulokseen nähden. Tämä kuvastaa, kuinka rakennuksessa on mahdollisesti tuuletettu juuri hetki ennen mittaussajankohtaa. Kohteissa 3 ja 11 ilmanvaihtuvuuden tulisi riittää huomattavasti alhaisempaan CO₂-tulokseen kuin mittauksissa on saatu. Tämä kuvastaa rakennuksessa mahdollisesti syntyvää hiilidioksidia, jota laskentayhtälöissä ei ole osattu huomioida. Kohteiden 4, 5, 7, 9 ja 10 mittaustulokset ovat ± 10,0 % vaaditusta ilmanvaihtuvuudesta mitattuun CO₂-pitoisuuteen verrattuna.

Hiilidioksidin ja ilmankosteuden mittauksissa on yhteneväisyyttä tuloksissa ilmanvaihtuvuutta tarkasteltaessa. On oletettavaa, että kohteissa 1, 2, 6 ja 8 on hyvin todennäköisesti tuuletettu ennen mittauksien alkua. Näin ollen yksittäiset hetkelliset mittaustulokset antavatkin meille helposti virheellisiä tuloksia.

7.3 Käytäntö ja kokemus

Käyttö- ja huoltotottumukset vaikuttavat järjestelmän toimintaan ja siihen, millaisena havaitsemme tutkimuskohteen mittaustulosten kautta. Verrattaessa laitevalmistajien ja

käyttäjien näkemystä laitehuollosta on hyvinkin selkeää, että tarvittua huoltoa ja perehdytystä ei ole toteutettu laitetoimittajan toimesta. Tämä on selvästi vaikuttanut niihin huoltotottumuksiin, jotka ovat muodostuneet kuluneen 30–35 vuoden aikana. Tuloksista on nähtävissä, kuinka järjestelmän huoltamisen aktiivisuus parantaa heikosti toimivan järjestelmän luomaa kokemusta hyvästä sisäilmanlaadusta. Ilmanvaihtuvuutta tarkasteltaessa kohteissa, joissa toteutettiin haastatteluiden mukaan aktiivisimmin laitteen huoltoa, olivat myös järjestelmät, joissa pääasiassa oli huonoin ilmanvaihtuvuus ja huonoin sisäilman laatu. Silti käyttäjä oli tyytyväinen järjestelmän toimintaan ja sisäilman laatuun.

Kojeiden toiminta on ollut jatkuvaa, eikä niihin ole tehty juurikaan suuria korjauksia käytön aikana. On huomioitava, että järjestelmien alkuperäistä tilannetta ilmamäärien osalta on mahdotonta tarkastella puuttuneiden ilmamäärien mittauspöytäkirjojen vuoksi. Tästä syystä onkin vain mahdollista vertailla laitteita ja niiden toimintaa rakennusajankohdan ja tämän päivän asetuksiin ja määräyksiin nähden. Suuren kiertoilman vuoksi ilmalämmitysjärjestelmän ilmanlaatu koetaan hyväksi, vaikka todellisuudessa mittaukset osoittavatkin meille toista. Tähän subjektiiviseen kokemukseen vaikuttavat omat mielikuvamme ja altistumisemme niille sisäilmaston suureiden arvoille, jotka valitsevat kotonamme. Tasainen lämpötila ja ilman pieni liike luovat tuntemuksen ilmanvaihtuvuudesta ja hyvästä sisäilman laadusta. Ilmanvaihtuvuuden osalta ilmavirrat eivät olleet sopivat tai tasapainossa, useassa kohteessa poistoilmavirran ollessa liian pieni ja ilmavirtojen suunta likaisesta tilasta kohti oleskelutiloja johtuen tulo- ja poistoilmavirtojen epätasapainosta rakennuksessa. Tämä osaltaan edesauttaa syntyneiden partikkeleiden kulkeutumista oleskelutiloihin.

Sisäilmasto-olosuhteisiin vaikuttavat tekijät, kuten kosteus, CO₂, lämpötila ja ilmassa olevien partikkeleiden määrät nousivat suureen rooliin näissä mittauksissa. Niiden määrät kertovat kuinka järjestelmä toimii, ja ne antavat tuloksia, jotka kertovat tilanteesta jopa ennen suoritettuja mittauksia, kuten käyttäjän tottumuksista. Laskettaessa CO₂- tai AH-tasapainotilaa ilmanvaihtuvuuden kautta on mahdollista tuloksia tarkasteltaessa nähdä, onko rakennuksessa tuuletettu ennen mittauksia tai onko rakennuksessa näiden epäpuhtauksien lähteitä, jotka poikkeavat selvästi laskennallisesta normaalikäytön tuotosta. Näiden lähteiden selvittäminen on erittäin tärkeä askel sisäilmaston parantamiselle. Rakennuksessa tulisi myös tarkastella siinä olevaa hygroskoopista rakennusma-

teriaalimassaa, joka sitoo itseensä kosteutta kesällä ja luovuttaa sen talvella absoluuttisen kosteuden ollessa huomattavasti pienempi. CO₂:n on myös mahdollista diffuusioidua rakenteisiin ja vapautua sieltä rakennuksen sisäilmaan hitaasti.

Kohteissa toteutettujen TVOC-mittausten tulokset korostuivat kohteissa, joissa ilmanvaihto oli hyvin pieni tai sitä ei ollut laisinkaan. Nämä tulokset tukevat muiden sisäilmastoon vaikuttavien suureiden tarkastelun tuloksia, joista ilmeni epäjohdonmukaisuuksia pysyvyyksien tarkasteluissa. TVOC-mittauksien tulokset eivät ole itsessään hälyttävät, mutta antavat aihetta tarkastella rakennuksia tarkemmin.

Ilmalämmitysjärjestelmien ilmansuodattimien toiminta on selkeästi yksi tämän tutkimuksen erityishuomion saanut osa-alue. Vertailtaessa eri kojevalmistajien laitteita ei erityisesti tullut esille poikkeamia, että jokin laitevalmistajan koje toimisi poikkeuksellisen hyvin verrattuna toiseen. Pikemminkin jaottelu eri suodattimien välillä herätti tutkimuksessa huomion, ja tämä yhdistettynä haastattelutuloksiin kanaviston nuohouksesta osoittaa meille, että negatiivinen suodatustulos mittauksessa kertoo kanaviston nuohoustarpeesta.

Nuohouksista ei ollut olemassa tarkastusasiakirjoja, joita olisi voinut käyttää vertailuun ja arvioon siitä, kuinka paljon tietyn ajan kuluessa kanavistoon on ehtinyt kumuloitua partikkeleita eri suodattimien ja huoltotottumusten kesken. Tosin 2014 uudistettuun järjestelmään, jossa on nykyaikaiset suodattimet, oli nuohous toteutettu vuotta aiemmin ennen laitteen uusintaa. Mittaustulos myös tässä kohteessa oli negatiivinen, ja voimmekin varmuudella todeta, että uusien suodattimien toiminnan negatiivinen tulos johtuu kanavistoon kumuloituneista partikkeleista.

Ilmalämmityskojeen toiminnan aiheuttama häiritsevä äänitaso käytettäessä kojetta tehokkaammalla asetuksella on myös mittaustuloksia tarkastellessa subjektiivinen tottumuuskysymys; kojeiden toiminta oli mitatuilla tehoilla pääasiassa sallituissa arvoissa kun kojetta käytettiin keskimmaisella teholla. Useassa rakennuksessa tämä tehon lisäys olisi ollut riittävä, jotta ilmanvaihto olisi ollut tämän päivän asetusten tasolla 0,5 1/h vaihtoa ja ilman kierrätys noin 2–3 1/h.

7.4 Toimenpidesuosituksat

Tehtyjen haastattelujen ja mittauksien sekä oman subjektiivisen kokemuksen myötä on todettava, että näiden tarkastelussa olleiden kohteiden sisäilmasto olisi muutamalla yksinkertaisella ja edullisella toimenpiteellä saatettavissa tämän päivän vaatimustasolle. Laitteiden kokonaan uusimista ei ole mielekäästä tehdä. Huomioitavaa on, että ilmalämmitysjärjestelmä hyvin huollettuna ja toimiessaan tuottaa tasaisemman sisäilman laadun kuin koneellinen ilmanvaihto yhdistettynä erilliseen lämmitysjärjestelmään.

Järjestelmän toiminnan parantaminen tulisi aloittaa varmistamalla, että kanavisto on puhdas. Tällä edesautetaan, että ilmavirrat eivät kuljeta kanavistosta huonetilaan kanavaan kumuloitunutta partikkeliainesta. Parannettaessa näin ilmanlaatua tulisi laitteeseen asentaa myös kiertoilman ja poistoilman suodatin, joka vastaa luokaltaan F5:tä. Tämä suodatin toimii sekä tuloilman suodattimena että kiertoilman suodattimena pitäen LTO-laitteen, lämmityspatterin, kiertoilmapuhaltimen ja kanaviston puhtana. G3-luokan suodatin tulisi asentaa ennen LTO-laitetta raitisilmapuolelle. Otettaessa käyttöön paremmat suodatusominaisuudet omaavat suodattimet, tulee samalla kojeen sisäinen paine kasvamaan. Tämä tarkoittaa sitä, että kojetta tulee käyttää suuremmalla teholla, jotta saadaan riittävä ilmanvaihtuvuus toteutettua. Kanavisto tuleekin uudelleen mitata ja säätää siten, että erityisesti ilmanvirtaukset ovat kohti likaisia tiloja. Tulo/kiertoilman säätämisessä on mahdollista käyttää ilmavirtaa säätäviä ja samalla kojeelta kanavistoa pitkin siirtyvää ääntä vaimentavia tuotteita, jotka on helppo toteuttaa jälkiasenteisena suoraan kanaviston sisään ennen päätelaitetta. On huomattava, että myös laitteiston huoltotoimenpiteet tulee toteuttaa säännöllisesti näiden toimenpiteiden jälkeen, ja erityistä huomiota tulee kiinnittää ensin suodattimien vaihdon tarpeeseen.

Ilmalämmitysjärjestelmän toteuttamista uudiskohteessa harkitessa tulisi miettiä laitteiston ja lämmityksen ohjausta. Ilmalämmityksessä saavutetaan paras lopputulos silloin, kun voidaan ohjata huoneisiin puhallettavan ilman määrää lämmitystarpeen tai ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Nykyisillä kojeilla, säätölaitteilla ja automaatio-osilla tämä on mahdollista toteuttaa, käytettäessä puhaltimia joiden kierrosnopeutta voidaan ohjata portaattomasti. Käytettäessä ns. IMS-peltejä tai Pascal-ohjausjärjestelmää voidaan sisään puhallusilmaa ja poistoilmavirtoja ohjata haluttuja määriä huoneisiin ja ylläpitää samalla rakennuksen oikeat painesuhteet. Kiertoilmatoimintoa saadaan tehostettua myös tämän kaltaisilla ohjauksilla ja säätömenetelmillä.

8 POHDINTA

Tälle opinnäytetyölle asetetut tavoitteet laitteiston toiminnan tarkastelusta saavutettiin sekä lisäksi oli mahdollista tarkastella mittausten ja tulosten luotettavuutta. Mittauksien tulokset olivat yllättävät sisäilman hyvän laadun vuoksi ja tuloksia analysoidessa huomio kiinnittyikin osaltaan tarkastelemaan kriittisesti saatuja mittaustuloksia. Yksittäisiä tuloksia tarkastellessa sisäilman laatu oli hyvä tai vähintäänkin tyydyttävä. Nämä tulokset saavutettiin laitteilla ja tekniikalla, joka on ollut käytössä noin 30 vuotta sitten. Tulokset kuvastivat hetkellisiä mittauksia, kun taas laskennalliset tulokset antoivat järjestelmän toiminnasta toisenlaisen kuvan. Odotuksena olleet tulokset järjestelmän toimintaan liittyen olivatkin hyvin samansuuntaiset kuin lopputuloksiksi tulkitut tulokset, järjestelmät, joiden toiminnasta huolehditaan kokonaisuutena hyvin ja kriittisesti voivat tuottaa edelleen hyvän sisäilman laadun. Tutkimuksessa esiin tulleet, mittausten tuloksia vääristäneet mittaolosuhteiden manipulaatiot olivatkin syynä lyhytkestoisien mittausten hyviin tuloksiin. Tosin nämä ovat käyttäjän tottumuksia ja toimintatapoja, kuten esimerkiksi tuulettaminen ikkunoista aamulla.

Tehdyt laajat mittaukset ja haastattelut antoivat kuitenkin riittävästi tuloksia, jotta oli mahdollista laatia jokaiselle rakennukselle yksilöllinen mittauspöytäkirja mitatuista suureista sekä ilmanvaihdon mittauspöytäkirjat. Tämä dokumentti sisältää myös yksilölliset ja helposti toteutettavissa olevat toimenpiteet, joilla kukin käyttäjä voi pienellä vaivalla tehostaa järjestelmänsä toimintaa ja täten parantaa sisäilmansa laatua [liite 1].

Tämä tutkimus jättää ilmalämmitysjärjestelmistä vielä monia avoimia kysymyksiä liittyen itse järjestelmän varsinaiseen toimintaan lämmitysjärjestelmänä sekä toiminnan kehittämiseen, kuten esimerkiksi ilmalämmitysjärjestelmän lämmöntalteenottolaitteen sijainnin vaikutus hyötysuhteeseen, järjestelmän lämmitystehon, ilmankierrätyksen ja ilmanvaihtuvuuden optimoinnin keinot.

Mielestäni ilmalämmitysjärjestelmässä on mahdollisuus pienentää rakennuksen energian kulutusta, sillä siinä on perinteisiin lämmitysjärjestelmiin nähden vähemmän järjestelmä- ja siirtohäviöitä lämmitettäessä suoraan rakennuksen sisäilmaa ja ilmanvai-

toa samalla lämmittimellä. Tutkittuani useita kohteita huomasin ilmalämmitysjärjestelmän kykenevän tuottamaan hyvän ja viihtyisän sisäilman kokonaisuutena, vaikkakin tutkitut järjestelmät olivat pääosin jo saavuttaneet laskennallisen käyttöikänsä.

LÄHTEET

- [1] Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry. 2001.
- [2] Säteri, Jorma. Käytännön ilmanvaihto. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry. 2001.
- [3] Markkanen, Raimo. Ilmalämmitys. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy. 1980.
- [4] Pientalon lämmitysjärjestelmät. Motiva Oy. PDF-dokumentti. http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf. Päivitetty 1.9.2009. Luettu 1.6.2015. 2009.
- [5] Heikkinen, Jorma, Korkala, Tapio, Luoma, Marianne & Salomaa, Heikki. Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius. Espoo: VTT. 1987.
- [6] Seppänen, Olli & Seppänen, Matti. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: Sisäilmayhdistys ry. 1997.
- [7] Heikkinen, Jorma, Railio, Jorma & Heinola, Reino. Pientalojen ilmalämmitys. Espoo: VTT. 1982.
- [8] Halminen, Esa, Kuvaja, Osmo & Köttö, Reijo. Ilmastointitekniikka. Helsinki: Opetushallitus. 1994.
- [9] Seppänen, Olli. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten Liitto. 1996.
- [10] Harju Pentti. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Penan Tieto-opus Ky. [Verkkójulkaisu]. [Viitattu 22.10.2013]. Saatavissa: http://www.penantietoopus.fi/files/lammitystekniikan_oppikirja.pdf
- [11] Nyman, Mikko. Lämmitysjärjestelmien oikea käyttö ja kunnossapito. Saarijärvi: Gummerus. 2000.
- [12] LVI 31-10507. Hiukkassuodatuksen peruskäsitteet. Rakennustietosäätiö. 2012.
- [13] Omakotitalojen suodattimien mittaus. Tutkimusselostus Nro. VTT-S-06006-09. 2009.
- [14] Sandberg, Esa (toim.). Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka julkaisut. 2014.
- [15] Sandberg, Esa (toim.). Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Helsinki: Talotekniikka julkaisut. 2014.
- [16] Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja Ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö. 2012.
- [17] Seppänen, Olli (toim.). Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Suomen LVI-liitto ry. 2004.

- [18] Ratu 437-T, Sisäilmaluokitus 2008. Rakennustieto Oy. 2009.
- [19] Vedottomuus. Isover Oy. WWW-dokumentti. <http://www.isover.fi/ratkaisut/uudisrakentaminen/multi-comfort/asumismukavuus/vedottomuus>. Ei päivitystietoa. Luettu 15.6.2015.
- [20] Sisäilmaopas. Allergia ja astmaliitto. WWW-dokumentti. http://www.nic.fi/~sataa/oppaat/Sisailmaopas.htm#_Sisailmaongelmien_selvittaminen. Ei päivitystietoa. Luettu 28.6.2015.
- [21] Kokko, Erkki, Ojanen, Tuomo, Salonvaara, Mikael, Hukka, Antti & Viitanen, Hannu. VTT Tiedotteita, Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. Espoo: VTT. 1999.
- [22] Melu. Liikennevirasto. WWW-dokumentti http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/ymparisto_turvallisuus/vaylanpito_ymparisto/melu. Luettu 15.7.2015. 2013
- [23] Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1. LVIS laitteiden suurimmat sallitut äänitasot. Helsinki: Ympäristöministeriö. 1998.
- [24] Fisk, W. J. Health benefits of particle filtration. PDF-dokumentti. <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1165006/>. Ei päivitys tietoa. Luettu 20.8.2015. 2013.
- [25] Lihavuuden yleisyys suomessa. Terveiden ja hyvinvoinninlaitos. <https://www.thl.fi/fi/tutkimus-ja-asiantuntijatyo/hankkeet-ja-ohjelmat/kansallinen-lihavuusohjelma-20122015/lihavuus-lukuina/lihavuuden-yleisyys-suomessa>. Ei päivitystietoa. Luettu 15.11.2015. 2013.
- [26] Ihmisen hiilidioksidin tuotto. WWW-dokumentti. http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk01039. Ei päivitystietoa. Luettu 15.12.2015
- [27] Bolton, David. The Computation of Equivalent potential Temperature. Atmospheric Physics Group, Imperial College, London England Volume 108 monthly weather review. 1979.
- [28] Hirsjärvi, Sirkka & Hurme, Helena. Tutkimushaastattelu – teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Gaudeamus. 2011.
- [29] Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2. Rakennusten ilmanvaihto. Helsinki: Sisäasiainministeriö. 1978.

15. tammikuuta 2016

Mikkelin Ammattikorkeakoulu Energia- ja Ympäristötekniikan Laitoksen
Opinnäytetyöhön osallistunut.

Hei,

Olitte osallisena omakotitalon ilmalämmitysjärjestelmän toimintaa tarkastelevassa opinnäytetyössä. Kiitos osallistumisestanne ja mahdollisuudesta päästä tarkastelemaan järjestelmänne toimintaa sekä haastatteluajastanne.

Näiden mittauksien ja haastatteluiden yhteenvedon tulokset olivat hyvinkin valaisevia ja informatiivisia hankkiessani tietoa ilmalämmitysjärjestelmistä, niiden toimintakyvystä tänä päivänä sekä käyttäjän toiminnan vaikutuksesta järjestelmän toimintaan nykyhetkellä. Tuloksia vertailtiin Rakentamismääräyskokoelman osan D2 (1978/2012) ja Sisäilmaluokitus 2008 arvoihin.

Opinnäytetyön tulokset ovat sivulla 2, jossa on yhteenveto kaikkien kohteiden tuloksista, kuitenkin mittauskohteita yksilöimättä, antaen yleiskuvan mittauksien tuloksista. On huomiotava, että tulokset ovat mitattuja arvoja joita verrataan ohjeisiin ja määräyksiin. Asumisviihtyvyys on subjektiivinen kokemus, jonka määrittelee jokainen kiinteistön käyttäjä omalta osaltaan.

Tulokset ovat lyhytkestoisten mittausten tuloksia ja kertovat vain mittaushetken tilanteesta. Mittaukset on suoritettu oppilastyönä osana opinnäytetyötä Mikkelin ammattikorkeakouluun. Dokumenttien yksittäisten lehtien ja niistä tehtyjen kopioiden käyttö on kielletty.

Kiitän Teitä yhteistyöstä ja vastaan mielelläni jos haluatte saada tuloksiin liittyen tarkempaa tietoa. Erillisenä liitteenä ovat myös mittauksien pöytäkirja ja yksilöidyt tulokset sekä yksinkertaiset toimenpidesuositukset, joilla järjestelmän toimintaa saadaan parannettua.

Ystävällisin terveisin,

Tommi Salonen

ILMANVAIHTUVUUS

Riittävä ilmanvaihtuvuus on oleellinen osa hyvän sisäilmaston luomista. Riittävällä ilmanvaihtuvuudella saadaan pidettyä sisäilmassa olevien epäpuhtauksien kuten hiilidioksidin (CO₂) ja kosteuden arvot alhaisina. Ilmanvaihtuvuutta tarkasteltaessa, määriteltiin rakennuksen tilavuus olemassa olevien tietojen pohjalta ja mitattiin rakennusten poistoilmanvaihto. Rakennuksen ilmatilavuuden tulisi vaihtua 1X kahdessa tunnissa (0,5/h). Huomioitaessa rakennusaikakausi ja käytetty ilmalämmitysjärjestelmä, on vaihtuvuus 1X (noin) kolmessa tunnissa (0,3/h) vielä hyväksyttävissä rajoissa. Tämän hyväksyttävän rajan ylitti 54,5 % kohteista ja vain 9,1 % kohteista ylitti 0,5/h ilmanvaihtuvuuden.

ILMAVIRTOJEN RIITTÄVYYS

Tulo- ja poistoilmavirtojen tasapaino keskenään vaikuttaa rakennuksen sisäiseen painetasoon ja yksittäisten huoneiden ilman virtaussuuntaan. Tiloissa kuten wc, suihku ja keittiö tulisi poistoilmavirtaus olla suurempi kuin huoneeseen tuleva ilmavirta, tällä pyritään hallitsemaan ilmavirtausta ns. likaisista tiloista puhtaampiin oleskelutiloihin. Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 onkin määritelty mitoitusperusteet erilaisessa käyttötarkoituksessa olevien huoneiden tulo- ja poistoilmavirroille. Ilmavirrat olivat vain 9,1 % mitatuista kohteista riittävät määräksiin nähden rakennuksen kokonaisilmavirtoja tarkasteltaessa. 27,2 % kohteista poistoilmavirta oli riittävä noin puolessa mitatuista tiloista ja 45,5 % kohteista poistoilmavirta oli riittävä vain noin kolmanneksessa tiloista.

CO₂ ja KOSTEUS

Hiilidioksidi ja kosteus ovat rakennuksissa pääosin ihmisen toiminnasta syntyviä epäpuhtauksia joiden vaikutukset ovat moninaiset. Nämä arvot kuvaavat myös ilmanvaihdon riittävyyttä. Hyvä sisäilman kosteus mittausajankohtana on noin 25–45 % ja Sisäilmaluokitus 2008 on määrittänyt hyväksi sisäilmanlaaduksi S2-luokan, jossa hiilidioksidipitoisuus on alle 900 ppm ja tyydyttävä S3-luokassa alle 1200 ppm. Mittauskohteista 90,1 % suhteellinen kosteus saavutti hyvän sisäilman suhteellisen kosteuden. 54,5 % kohteista ilman laatu oli hyvä mitattaessa CO₂-pitoisuuksia ja 36,4 % kohteista sisäilman hiilidioksidipitoisuus oli tyydyttävällä tasolla.

LÄMPÖTILA

Mitatuista lämpötiloista operatiivinen lämpötila kuvaa, kuinka ihminen aistii huoneen lämpötilan. Sisäilmastoluokitus 2008 on määrittänyt tyydyttäväksi sisäilmaluokaksi S3. Tämän mukaan tilan sisäilman laatu ja lämpöolot täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. Mittauksissa 90,1 % kohteista operatiivinen lämpötila oli tyydyttävä.

ILMAN SUODATUS

Ilmalämmitysjärjestelmässä suodattimen toiminta on suuren ilman kierrätyksen vuoksi tärkeässä roolissa sisäilman hyvän laadun saavuttamiseksi. Toimiva suodatus ja riittävä suodattimen huolto pidentävät järjestelmän käyttöikää ja parantavat sisäilman laatua. Suodattimien toimintaa mitattaessa tarkasteltiin sisäilmassa olevien partikkeleiden määrän muutosta ennen kojetta ja kojeen jälkeen sisään puhallusilmasta. 70 % kohteista suodattimen teho oli alhaisempi kuin suodatinvalmistajan määrittämä minimisuodatusteho. 30 % mitatuista suodattimista toimi ilmoitetulla suodatusteholla.

Nämä tulokset ovat suuntaa antavia rakennuksen sisäilmastoa ja järjestelmän toimintaa tarkasteltaessa. Näihin tuloksiin vaikuttavat rakennuksia käyttävien ihmisten toiminta ja tottumukset.

Ilmanvaihto

	Poistoilmavirta	Tuloilmavirta	Kiertoilmavirta	Ilmanvaihtuvuus	Ilmankierto/rak. (m ³)
D2 1978	- 75,5	+ 61,5	194,4–291,6	0,5 /h	2,0–3,0 /h
D2 2012	- 72,5	+ 61,5	194,4–291,6	0,5 /h	2,0–3,0 /h
Mittaukset	- 47,5	+ 47,5	126,1	0,49 /h	1,29 /h
Menetelmä	mitattu	arvio	mitattu Ki + Ti	mitattu Pi	mitattu Ki + Ti

(Ki = kiertoilma / Ti = tuloilma / Pi = poistoilma)

Ilmavirtojen riittävyys ja sisään puhallusnopeus oleskelutiloihin

Poistoilmavirta suurempi kuin sisään puhallus ilmavirta: 3/6

Ilman sisään puhalluksen nopeuden keskiarvo oleskeluvyöhykkeille: 0,30 m/s

Mittaustuloksista on havaittavissa, että ilmanvaihtuvuus on riittävä. Verrattaessa asetuksiin on todettava, että poistoilmavirta on hieman alhainen. Tuloilmavirtaa ei ole voitu todentaa yksinkertaisin menetelmin, joten sen määrää on arvioitu.

Poistoilmavirta on 3/6 mitatuista tiloista suurempi kuin tilaan puhallettava (Ki + Ti) ilma. Tämä tekee tilasta ns. ylipaineisen ympäröiviin tiloihin nähden. Näistä tiloista kuten sauna, suihku, wc ja keittiö siirtyy helposti esimerkiksi kosteutta ympäröiviin tiloihin näiden ollessa ylipaineisia ympäröiviin tiloihin nähden.

Ilmalämmitysjärjestelmässä rakennuksessa kierrätetyn ilman määrä vaikuttaa lämmitystehoon ja ilman suodattamiseen. Ilmankierto/ rakennuslämmitystilavuus (m³) tulisi laitevalmistajien ohjeiden mukaan olla noin 2–3 /h, jotta järjestelmän lämmitysominaisuudet toteutuisivat parhaiten. Tarkasteltaessa sisään puhalluksen nopeutta oleskeluvyöhykkeille voidaan todeta, että kiertoilman määrää voitaisiin lisätä ilman, että syntyy vetoa ilmalämmitysjärjestelmässä.

CO₂ ja kosteus

	Mittaustulos	Sisäilmaluokitus 2008	Ilmanvaihdon riittävyys
Hiilidioksidipitoisuus (CO ₂ ppm)	829	hyvä tulos <900 ppm	653
Suhteellinen kosteus (%)	27,2	lämmityskaudella hyvä 25–45 %	
Absoluuttinen kosteus (g/m ³)	5,6		5,6

Mittaustuloksen puitteissa sisäilman laatu on hyvä CO₂-pitoisuuden ollessa alle 900 ppm. Ilmanvaihdon riittävyys kuvaa CO₂- ja kosteustasapainotilaa ilman, että rakennuksessa tuuletaan. Tämä on laskennallinen luku, jonka perustana ovat ilman vaihtuvuus, ulkoilman CO₂-pitoisuus sekä sisällä tuotetun CO₂:n määrä. Jos riittävyyden luku on huomattavasti pienempi kuin mitattu tulos, on laskentayhtälössä jokin CO₂-tuotto, jota ei ole ollut mittaustilanteessa selvillä mittaajalla.

Lämmityskaudella sisäilman kosteus on hyvä sen ollessa välillä 25–45 %.

Absoluuttisen kosteuden mittaustulos ja ilmanvaihdon riittävyys kuvastavat sisäilman kosteuden tasapainotilannetta.

TVOC

Näitä kaasuja, jotka ovat haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, syntyy pesuaineista, rakennusmateriaaleista, sisustusmateriaaleista ja joissakin tapauksissa mikrobikasvustosta.

Mittaustulos: 20 ppb joka on noin 40–60 µg/m³.

Omakotitaloissa ja muissa vastaavissa asunnoissa TVOC-näytteen tulos on yleensä noin 50–250 µg/m³.

Lämpötila

ulkoilman lämpötila	8,3 °C	ilman sisään puhalluslämpötila	OH 24,9 °C
operatiivinen lämpötila	MH 20,8 °C	operatiivinen lämpötila	OH 20,2 °C
mitattu pintalämpötila	MH 20,2 °C	mitattu pintalämpötila	OH 20,1 °C

(MH:makuuhuone/ OH:olohuone)

Ilmansuodatus

Partikkelin koko	Lukumäärä sisään puhallus ilmassa	Lukumäärä kiertoil-massa	Suodattimen teho	Oletusteho
<0,3 µm	5496442	5769577	8,2 %	0,0 %
<0,5 µm	8350061	6436594	- 23,6 %	0,0 %
<1,0 µm	6682425	5989309	- 7,1 %	15,0 %
<3,0 µm	3962885	4113049	7,1 %	30,0 %
<5,0 µm	1140308	1532976	27,9 %	35,0 %
<10,0 µm	106657	231648	55,3 %	70,0 %

Suodattimen laskennallinen teho mittausten perusteella: **11,0 %**

Suodattimen toiminnan oletusteho 25,8 %.

Verrattaessa mitattua suodatustehoa oletettuun suodatustehoon, voidaan näiden mittausten perusteella todeta, että suodattimen teho on kohtalainen.

Negatiivinen suodatusteho antaa viitteitä, että kanavistoon on kumuloitunut pölyä.

Ääni

Kojeen tuottama ääni mitattiin makuuhuoneessa, käyttäen puhaltimen eri puhallustehoja. Rakentamismääräyskokoelman osa C1 on määrittänyt LVI-laitteille ylärajat sallitulle äänen tuotolle

oleskelutiloihin 28,0 dB (A) ja keittiöön 33 dB (A)

	puhallinteho 1	puhallinteho 2	puhallinteho 3
LAeq dB (A)	20,0	22,6	26,2

Mittaustuloksen perusteella kojetta olisi mahdollista käyttää puhallinteolla 3 ilman, että siitä aiheutuu suurempaa melua kuin laitteille on sallittu.

Toimenpidesuosituksukset

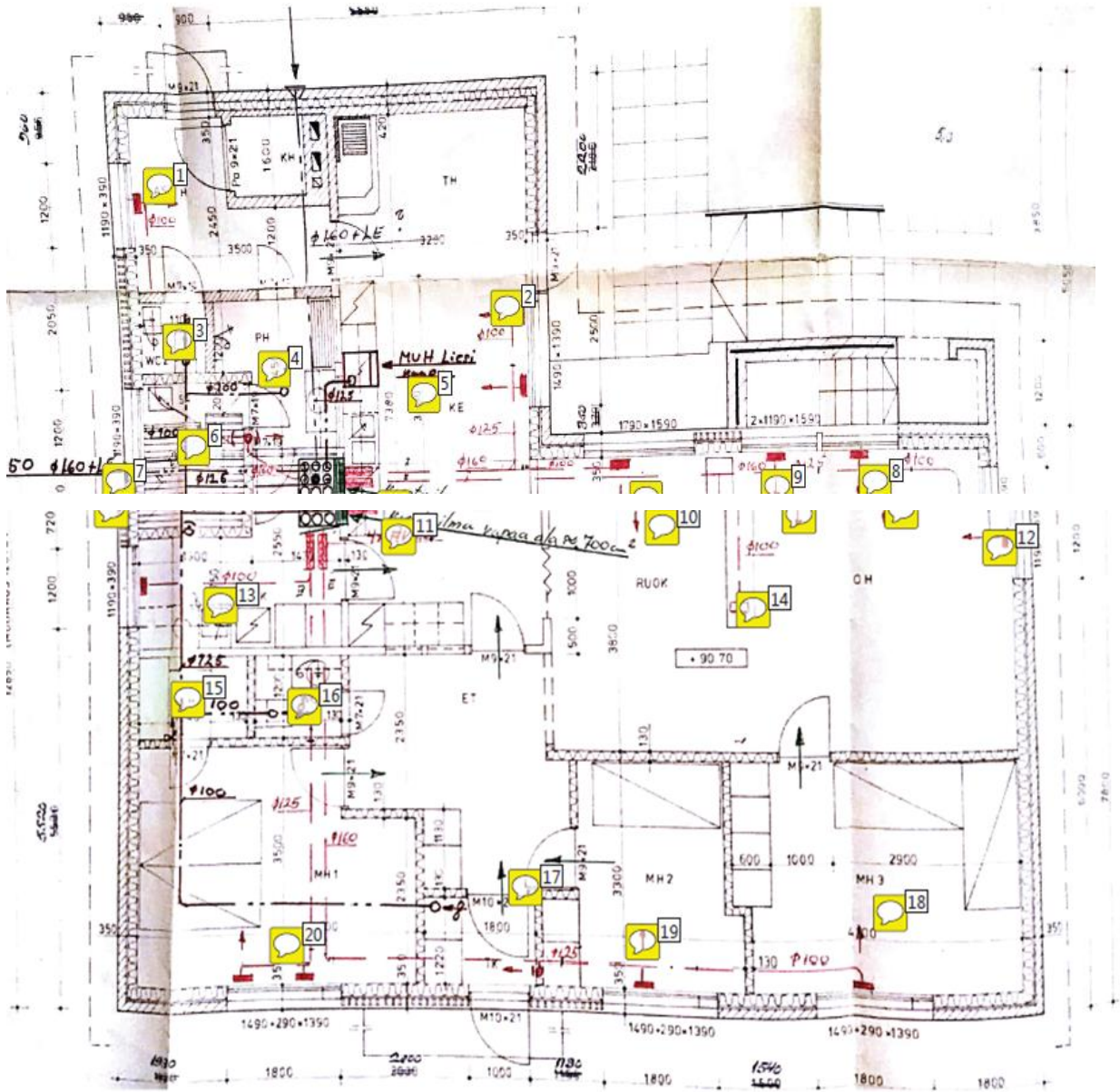
Kanaviston nuohoaminen, kojeeseen nykyaikainen tehokkaampi kasettisuodatin, ilmavirtojen säätö.

Kanaviston nuohoaminen poistaa sinne kumuloituneen pölyn, joka ilmanvaihtoa tehostaessa muuten lähtee liikkeelle huoneilmaan. Nuohoamisen jälkeen on tärkeää normaalia useammin tarkastaa suodattimien puhtaus. Nuohous suoritettu vuonna 2010.

Paremmen suodattimen käyttäminen suodattaa tehokkaammin sisäilmassa olevia partikkeleita eikä näitä pääse kumuloitumaan samassa määrin kanavistoon, kuin tämän hetken suodatinratkaisulla. Kasettisuodattimessa on enemmän suodatus pinta-alaa, joten se kykenee käsittelemään enemmän ilmaa. Uusi tehokkaampi suodatin synnyttää suuremman sisäisen painehäviön, kuin nyt käytössä oleva suodatin. Tämän vuoksi ilmavirrat tulisi mitata ja säätää uudelleen.

Ilmanvaihdon poisto- ja tuloilmavirtojen mittaaminen ja säätäminen siten, että oleskelutiloista ilma siirtyy kohti tiloja joissa on epäpuhtauslähteitä, kuten kosteutta. Tämä tulisi toteuttaa siten, että kiertoilmavirta on myös säädetty riittäväksi. Ilmavirtojen säätö on helppo toteuttaa esimerkiksi JEVEN INNO -sarjan tuotteilla, joilla samalla saadaan ääntä vaimennettua.

LIITE 1 s. 8/10
Yksilölliset tulokset ja toimenpide-ehdotukset



LIITE 1 s. 9/10
Yksilölliset tulokset ja toimenpide-ehdotukset

Numero: 1	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 29.11.2015 12:14:15
askarteluhuone			
Määräykset D2 1978 +0,35 l/s/m2(+2,21 l/s)			
Mittaukset 23.3.2015 + 3,45 l/s			
Määräykset D2 2012 +0,5 l/s/m2(+3,16)			
Ilmavirta (Ti+Ki) 9,14 l/s Nopeus 0,34 m/s			
Numero: 2	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 10:17:58
Keittiö/ruokailu/Th			
Määräykset D2 1978 +0,35 l/s/m2 (8,26 l/s)			
Mittaukset 23.3.2015 +9,92 l/s			
Määräykset D2 2012 +0,5 l/s/m2 (11,8 l/s)			
Ilmavirta (Ti+Ki) 26,28 l/s			
Nopeus K1 0,43 m/s K2 0,54 m/s			
Numero: 3	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 10:14:29
WC2			
Määräykset D2 1978 - 8 l/s			
Mittaukset 23.3.2015 -3,9 l/s			
Määräykset D2 2012 -10 l/s			
Numero: 4	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 29.11.2015 12:14:01
PH			
Määräykset D2 1978 -16 l/s			
Mittaukset 23.3.2015 -7,12 +3,26			
Määräykset D2 2012 -15 l/s			
Ilmavirta (Ti+Ki) 8,65 l/s			
Numero: 5	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 10:17:10
Liesikupu			
Määräykset D2 1978 -22 l/s			
Mittaukset 23.3.2015 -20,35 l/s			
Määräykset D2 2012 -20 l/s			
Numero: 6	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 11:11:06
SAUNA			
Määräykset D2 1978 +/-2 l/s/m2(6,5 l/s)			
Mittaukset 23.3.2015 +2,13 l/s -3,47 l/s			
Määräykset D2 2012 +/-2 l/s/m2(6,5 l/s)			
Ilmavirta (Ti+Ki) 5,65 l/s			
Numero: 7	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 29.11.2015 11:32:29
RATTISILMA/ulkoilma			
ei mittausta			
rakennukseen pitäisi tulla minimi 47,5 l/s			
Numero: 8	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 29.11.2015 12:30:15
OH1.3			
Määräykset D2 1978 +0,35 l/s/m2 (2,56 l/s)			
Mittaukset 23.3.2015 2,77 l/s			
Määräykset D2 2012 0,5 l/s/m2 (3,66 l/s)			
Ilmavirta 7,35 Nopeus 2,77 m/s			
Numero: 9	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 29.11.2015 12:31:19
OH1.2			
Määräykset D2 1978 +0,35 l/s/m2 (2,56 l/s)			
Mittaukset 23.3.2015 3,02 l/s			
Määräykset D2 2012 0,5 l/s/m2 (3,66 l/s)			
Ilmavirta 8,0 Nopeus 0,30 m/s			

LIITE 1 s. 10/10
Yksilölliset tulokset ja toimenpide-ehdotukset

Numero: 10	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 29.11.2015 12:49:16
OHI 1 Määräykset D2 1978 +0,35 l/s/m ² (2,56 l/s) Mittaukset 23.3.2015 2,64 l/s Määräykset D2 2012 0,5 l/s/m ² (3,66 l/s) Ilmavirta (Ti+Ki) 7,0 Nopeus 0,26 m/s			
Numero: 11	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 14:07:15
KIERTOILMA Laskennallinen kiertoilman määrä 78,52 Suodattimen tehokkuus 11%/25,8%			
Numero: 12	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 29.11.2015 12:29:28
OHI 4 Määräykset D2 1978 +0,35 l/s/m ² (2,56 l/s) Mittaukset 23.3.2015 2,58 l/s Määräykset D2 2012 0,5 l/s/m ² (3,66 l/s) Ilmavirta 6,85 Nopeus 0,25 m/s			
Numero: 13	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 10:25:56
KHH Määräykset D2 1978 - 12 l/s Mittaukset 23.3.2015 +3,22 l/s -3,05 l/s Määräykset D2 2012 -8 l/s Ilmavirta (Ti+Ki) 8,54 l/s Nopeus 0,32 m/s			
Numero: 14	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 14.5.2015 15:10:43 +03'00'
autotalliin, ei ilmanvaihtoa			
Numero: 15	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 13:13:18
VTH Määräykset D2 1978 - 3l/s Mittaukset 23.3.2015 -2,19 l/s Määräykset D2 2012 -3 l/s			
Numero: 16	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 11:30:21
WCI Määräykset D2 1978 -8 l/s Mittaukset 23.3.2015 -7,45 l/s Määräykset D2 2012 -10 l/s			
Numero: 17	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 11:49:41
Eteinen ja TK Määräykset D2 1978 +0,35 l/s/m ² (4,77 l/s) Mittaukset 23.3.2015 3,41 l/s Määräykset D2 2012 0,5 l/s/m ² (6,82 l/s) Ilmavirta (Ti+Ki) 9,05 l/s			
Numero: 18	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 13:05:31
MH3 Määräykset D2 1978 +0,35 l/s/m ² (4,5 l/s) Mittaukset 23.3.2015 4,01 l/s Määräykset D2 2012 0,5 l/s/m ² (6,44 l/s) Ilmavirta 10,63 Nopeus 0,39 m/s			
Numero: 19	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 30.11.2015 10:45:33
MH2 Määräykset D2 1978 +0,35 l/s/m ² (4,04 l/s) Mittaukset 23.3.2015 2,85 l/s Määräykset D2 2012 +0,5 l/s/m ² (5,78 l/s) Ilmavirta (Ti+Ki) 7,55 l/s Nopeus 0,28 m/s			
Numero: 20	Tekijä: Tommi.Salonen	Aihe: Tarralappu	Päivämäärä: 29.11.2015 12:19:58
MH1 Määräykset D2 1978 +0,35 l/s/m ² (4,44 l/s) Mittaukset 23.3.2015 +4,27 Määräykset D2 2012 0,5 l/s/m ² (6,35 l/s) Ilmavirta (Ti+Ki) 11,34 Nopeus MH1.1 0,30 m/s MH1.2 0,12 m/s			