

Mika Liljendahl

ILMANVAIHDON TUTKIMINEN SISÄIL- MALÄHTÖISESSÄ KUNTOTUTKIMUK- SESSA

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Helmikuu 2020

TIIVISTELMÄ

MIKA LILJENDAHL: Ilmanvaihdon tutkiminen sisäilmälähtöisessä kuntotutkimuksessa
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Helmikuu 2020
Tarkastaja: Tero Marttila

Ilmanvaihdon tutkiminen on osa rakennuksen kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia. Tässä työssä selvitettiin, kuinka laajasti rakennuksen sisäilmaan liittyvissä kuntotutkimuksissa on tutkittu ilmanvaihdon vaikutuksia. Tutkimusmateriaalina oli julkisiin koulurakennuksiin tehtyjä sisäilmaan liittyviä kuntotutkimuksia, joiden perusteella arvioitiin ilmanvaihdon tutkimisen osuutta kyseisissä tutkimuksissa. Tutkimuksesta rajattiin pois sellaiset kohteet, joihin oli tehty erillinen ilmanvaihdon kuntotutkimus.

Ilmanvaihdon on tarkoitus tuottaa käyttäjälleen hyvät sisäilmasto olosuhteet. Riittävä ilmanvaihtuvuus, sopiva sisäilman lämpötila ja kosteus tuottavat käyttäjälle ja rakennukselle terveelliset olosuhteet. Myös merkitys rakenteiden toimivuuteen on merkittävä, koska ilmapuhaltuksiin vaikuttavia paine-eroja voidaan hallita ilmanvaihdolla. Hallitsemattomilla korvausilmareiteillä voi sisäilmaan kulkeutua terveyshaittoja aiheuttavia epäpuhtauksia rakenteiden epätiiveyskohtien kautta. Kuntotutkimuksissa on myös varmistettava, ettei ilmanvaihtojärjestelmä itsessään ole epäpuhtauslähde esimerkiksi likaisuuden tai kuitulähteiden osalta.

Tutkimusaineiston kuntotutkimuksissa ilmanvaihtoa oli tutkittu vaihtelevasti. Viidessä kohteessa ei ollut tutkittu ilmanvaihtoa lainkaan, joista kahdessa ilmanvaihtojärjestelmät olivat käyttökänsä lopussa ja päätetty uusia kokonaan. Yleisimmät tutkimusmenetelmät tutkimusaineiston kuntotutkimuksissa olivat painesuhdemittaukset ja sisäilman hiilidioksidimittaukset. Ilmanvaihtojärjestelmien laajempi tutkiminen oli kuitenkin vähäistä.

Avainsanat: ilmanvaihto, sisäilma, kuntotutkimus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. SISÄILMASTO JA ILMANVAIHTO	2
2.1 Sisäilmasto	2
2.2 Sisäilman epäpuhtaudet.....	2
2.3 Ilmanvaihdon tyypit	3
2.3.1 Painovoimainen ilmanvaihto	3
2.3.2 Koneellinen poistoilmanvaihto.....	4
2.3.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	4
2.4 Ilmanvaihdon vaikutukset sisäilmastoon.....	5
2.4.1 Olosuhteet	5
2.4.2 Painesuhteet.....	6
2.4.3 Ilmavirtaukset.....	7
2.4.4 Ilmanvaihtojärjestelmän epäpuhtaudet.....	8
2.5 Ilmanvaihdon tutkiminen sisäilmaongelmaisessa kohteessa	8
2.5.1 Sisäilman laatu ja olosuhdemittaukset	8
2.5.2 Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta	9
2.5.3 Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastaminen.....	9
2.5.4 Ilmamäärämittaukset.....	10
2.5.5 Painesuhdemittaukset.....	11
2.5.6 Pöly- ja kuitumittaukset	11
3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA -AINEISTO.....	13
3.1 Tutkimusmenetelmä.....	13
3.2 Tutkimuksessa käytettävä aineisto.....	13
4. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	14
5. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	18
LÄHTEET	20

1. JOHDANTO

Koulujen sisäilmaongelmat ovat ajankohtainen aihe ja viimeaikaiset uutiset sisäilmaongelmista ovat aiheuttaneet vilkasta keskustelua mediassa. Aihe koskee suurta joukkoa suomalaisista, jotka työskentelevät sekä opiskelevat näissä tiloissa.

Suurien rakennusten olosuhteiden hallinta on usein haasteellista, koska muuttujia on paljon. Näiden kaikkien asioiden hallitseminen vaatii asiantuntemusta monelta eri osalta.

Tässä kandidaatin työssä käsitellään puutteellisen ilmanvaihdon aiheuttamia ongelmia sekä tarkastellaan, kuinka laajasti sisäilmalähtöisissä kuntotutkimuksissa on ilmanvaihtoon liittyviä asioita tutkittu. Tutkimusaineistona on kouluihin tehtyjä kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimusraportteja.

2. SISÄILMASTO JA ILMANVAIHTO

2.1 Sisäilmasto

Sisäilman laadulla on suuri merkitys ihmisten jokapäiväisessä elämässä, koska ihminen viettää jopa 90 % ajastaan sisätiloissa. Tämän vuoksi sisäilman laatuun täytyy kiinnittää erityistä huomiota. Sisäilman laatu vaikuttaa merkittävästi ihmisen hyvinvointiin ja terveyteen. (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2018)

Sisäilma on sisätiloissa hengitettävää ilmaa, joka voi sisältää kaasumaisia epäpuhtauksia. Sisäilmasto puolestaan kattaa sisäilman lisäksi sen olosuhteisiin vaikuttavat asiat kuten lämpötilan, ilmankosteuden, ilman liikkeen sekä muut fysikaaliset tekijät. (Sisäilmayhdistys 2008c)

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 117 c § määrittää: ”rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista sisäilman epäpuhtauksien, säteilyn, veden tai maapohjan pilaantumisen, savun, jäteveden tai jätteen puutteellisen käsittelyn taikka rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi.”

2.2 Sisäilman epäpuhtaudet

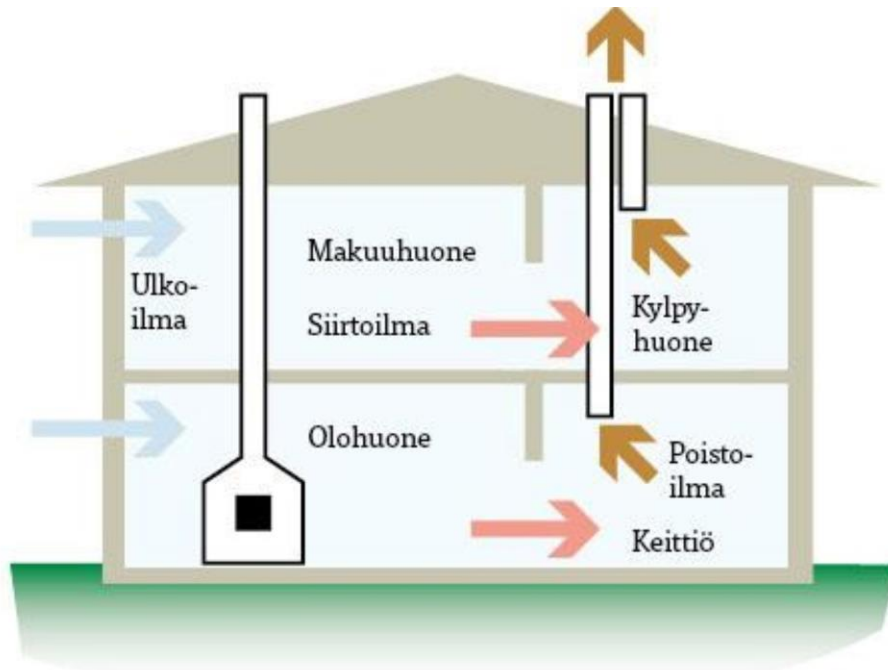
Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (2019) mukaan laadukas sisäilma on tuoksultaan neutraalia sekä lämpötilaltaan ja ilmankosteudeltaan miellyttävää. Epäpuhtaudet heikentävät sisäilmanlaatua. Epäpuhtaudet voivat olla hiukkasmaisia (ulkoilman pienhiukkaset, mikrobit, pölyt ja kuidut), kaasumaisia (haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja radon) ja fyysisiä tekijöitä (lämpötila ja ilmankosteus). (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2019)

Ilmanvaihdolla voi olla suuri merkitys näiden epäpuhtauksien päätyemisessä sisäilmaan ja niistä aiheutuvaan oireiluun. Tässä työssä käsitellään ilmanvaihdon merkitystä sisäilman laatuun ja mahdollisten epäpuhtauksien kulkeutumiseen sisäilmaan. Asumisterveysasetuksessa on määritetty toimenpidearvoja erilaisille asuin ympäristön haittatekijöille (Sosiaali- ja terveysministeriö 2015).

2.3 Ilmanvaihdon tyypit

2.3.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto toimii paine-erojen avulla, eli ilma virtaa korkeammasta paineesta matalampaan paineeseen. Sisä- ja ulkoilman lämpötilaerot sekä tuulen yhteisvaikutus aiheuttavat painovoimaiselle ilmanvaihdolle tarpeellisen paine-eron. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019)

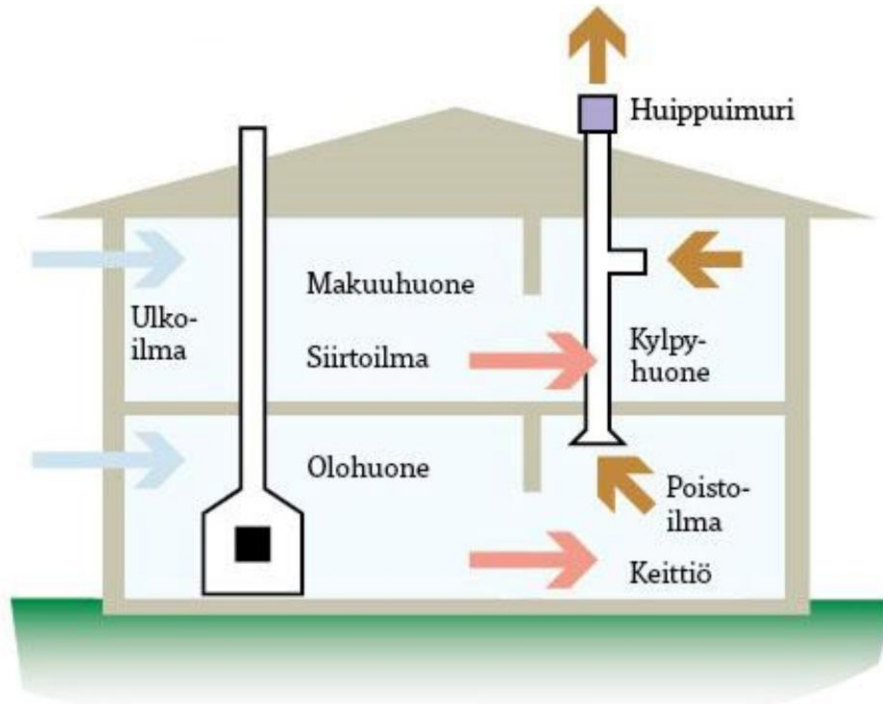


Kuva 1. Painovoimainen ilmanvaihto (Hengitysliitto 2019).

Painovoimaisen ilmanvaihdon haasteena on lämpötilaerojen vaihtelevuus. Kesällä lämpötilaerot ovat hyvin pienet ja ilmanvaihtuvuus on siksi hyvin pientä. Painovoimainen ilmanvaihto ei lämpimällä säällä yleensä poista riittävän tehokkaasti sisäilmasta hiilidioksidia, ihmisten muita aineenvaihduntatuotteita, viruksia ja bakteereja tai toiminnan aiheuttamia päästöjä. Talvella lämpötilaerot ovat puolestaan hyvin suuria, jolloin ilmanvaihtuvuus on myöskin suuri ja se voi aiheuttaa ikävää vedon tunnetta käyttäjille. Painovoimaisen ilmanvaihdon ilmavirtojen suuruutta on vaikea hallita ja säätää. Ilmanvaihtoa voidaan tehostaa tehokkailla ja lyhyillä ikkunatuuletuksilla, jolloin ulkoilman epäpuhtaudet eivät saastuta puhdasta sisäilmaa liikaa. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019)

2.3.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ulos puhallettavaa ilmaa on tehostettu huippuimurilla. Tällä saadaan ilmanvaihtuvuutta lisättyä ja huonoo sisäilmaa poistettua tehokkaammin kuin pelkällä painovoimaisella ilmanvaihdolla. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019)

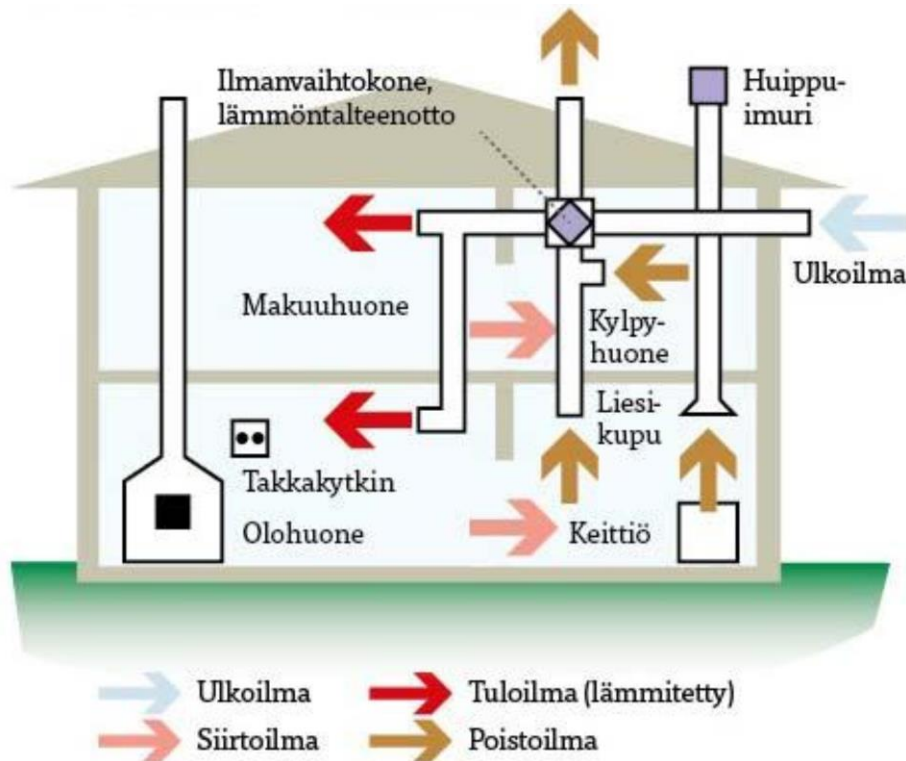


Kuva 2. Koneellinen poistoilmanvaihto (Hengitysliitto 2019).

Koneellisen poistoilmanvaihdon haasteena on hallitsemattomat tuloilmavirrat rakenteiden epätiiviyksien kautta, ja rakennukseen muodostuva suuri alipaine tiiviissä rakennuksissa sekä korvausilmaventtiileistä aiheutuva vedon tunne kylminä vuodenaikoina. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019)

2.3.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihto järjestelmässä hallitaan niin tulo- kuin poistoilmavirtauksia puhaltimilla. Ilmavirtojen suuruudet mitoitetaan käyttäjän määrän tai huoneen pinta-alan perusteella.



Kuva 3. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto (Hengityслиitto 2019).

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon säätö mahdollisuudet ovat hyvät ja ilmavirtojen suuruus pysyy ympäri vuoden tasaisena, mikä on haasteena pelkästään korvausilma-venttiilien kautta kulkevassa ilmanvaihdossa. Paine-erojen hallinta on helpompaa, kun voidaan säätää ilmavirtauksia sisään ja ulos rakennuksesta. Ulkoilmaa suodatetaan ennen kuin se puhalletaan sisäilmaan ja näin saadaan tuotettua parempi laatuista sisäilmaa. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto järjestelmään on usein liitetty myös lämmöntalteenottojärjestelmä. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019)

2.4 Ilmanvaihdon vaikutukset sisäilmastoon

2.4.1 Olosuhteet

Sisäilman lämpötila on viihtyvyys- ja terveellisyytekijä. Tutkimusten mukaan suurin osa ihmisistä on tyytyväisiä, kun lämpötila on noin +21 °C. Tuloilman oikealla lämpötilalla on myös merkitystä ja sen tulee olla hieman huoneilmaa viileämpää. Liian korkea tuloilman lämpötila heikentää ilman jakautumista, kun taas liian kylmä tuloilman lämpötila voi viilentää sisäilmaa liikaa sekä aiheuttaa vedon tunnetta. (Ympäristöopas 2016)

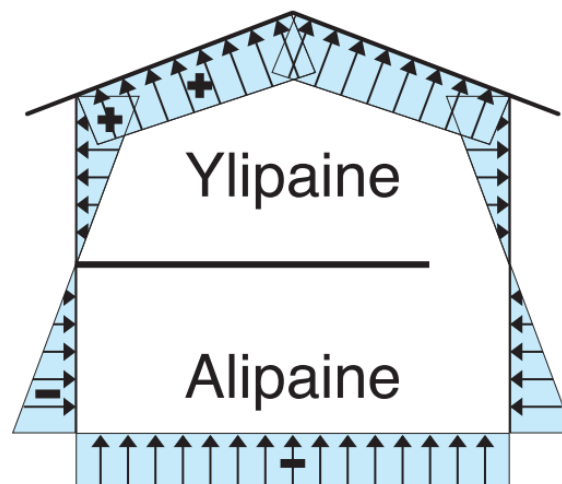
Ilmanvaihdon tehtävänä on luoda käyttäjille ja rakennukselle hyvät olosuhteet, koska rakennuksissa syntyy paljon erilaisia epäpuhtauksia, joiden lähdettä ei voida poistaa. Rakennuksen ilmanvaihdon ulkoilmavirran tulee olla käyttöön nähden tarpeeksi suuri

ja laadun riittävän puhdasta. Kouluissa, päiväkodeissa ja muissa vastaavissa oleskelutiloissa ulkoilmavirta täytyy olla käytön aikana vähintään $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ neliometriä kohden ja $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ oppilasta kohden. Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpideraja-arvo on $2100 \text{ mg}/\text{m}^3$ (1150 ppm) suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus. Rakennuksen käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihdon tulee olla sellainen, ettei epäpuhtauksien kertyminen sisäilmaan aiheuta terveyshaittaa käyttöaikana. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2015)

2.4.2 Painesuhteet

Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat ilmanvaihto, ilman lämpötilaerot ja tuuli. Ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi, säädöt ja kunto vaikuttavat sen toimintaan ja rakennuksen painesuhteisiin. (Sisäilmayhdistys 2008b) Säävaihtelut tai rakennuksen käyttö eivät saa kriittisesti muuttaa rakennuksen painesuhteita. Ilmanvaihdon ilmavirtojen määrän ja suuntien täytyy pysyä oikeina säävaihteluista huolimatta. (Talotekniikkateollisuus 2019a)

Lämpötilaerojen vaikutus on sitä suurempi mitä kylmempää ulkoilma on sisäilmaan verrattuna. Tällöin kyseessä on ns. savupiippuvaikutus eli rakennuksen alaosaan muodostuu alipaine ja yläosaan ylipaine. Paine-ero syntyy lämpimän ilman noustessa kylmempää ilmaa kevyempänä ylös. Savupiippuvaikutuksen aiheuttama ylipaine rakennuksen yläosaan voi kumota ilmanvaihdon tuottaman alipaineen. (Sisäilmayhdistys 2008b)



Kuva 4. Lämpötilaerojen aiheuttama painejakauma ulkovaipan yli (Kattoliitto 2019).

Kuvan 4 mukaisesti alapohjasta voi tulla ilmavirtauksia huonetilaan ja yläpohjarakenteiden kautta huonetilasta ulospäin. Tuulen voimakkuus, suunta ja rakennuksen muodot

vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin. Tuulen puoleiselle pinnalle syntyy ylipainetta ja tuulelta suojassa oleville pinnoille alipainetta. (Sisäilmayhdistys 2008b)

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (2017) määrää: ”Erityissuunnittelijan on suunniteltava rakennuksen ulko- ja ulospuhallussilmavirrat siten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan. Pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennussuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti suunniteltava rakennuksen vaipan ja sisärakenteiden ilmanpitävyys ja hormivaikutuksen hallinta siten, että edellytykset ilmanvaihdon toiminnalle voidaan varmistaa ja vältetään rakenteissa olevien epäpuhtauksien, maaperässä olevien epäpuhtauksien ja radonin siirtymistä sisäilmaan ja vältetään kosteuden siirtymistä rakenteisiin.”

Rakennuksen painesuhteet on siis suunniteltava tasapainoiseksi eli paine-ero on 0...-2 Pa ulkoilmaan nähden. Aiemmin rakennukset on suunniteltu selkeämmin alipainoiseksi ulkoilmaan nähden. Vanhassa Suomen rakentamismääräyskokoelmassa D2 (2012) ohjeistettiin, ettei rakennuksen alipaine saa yleensä olla suurempi kuin 30 Pa.

2.4.3 Ilmavirtaukset

Rakennuksen painesuhteet ja rakenteiden tiiveys vaikuttavat ilmavirtauksiin. Ilma virtaa korkeammasta paineesta matalampaan paineeseen ja ilmavirtaukset kuljettavat vesihöyryä sekä ilman epäpuhtauksia. Epäpuhtauksia voi kulkeutua rakenteista sisäilmaan, jos korvausilman saanti ei ole hallittua eli se tulee rakenteiden vuotokohdista. (Sisäilmayhdistys 2008b)

Talotekniikkateollisuus (2019) ohjeistaa, että ilmanvaihtojärjestelmän palveleman osaston tulo- ja poistoilmanvaihdon kokonaisilmavirrat tulisi suunnitella tasapainoon. Tilakohtaiset tulo- ja poistoilmamäärät voivat kuitenkin olla erisuuruiset. Ilmavirtojen suunnat tulee suunnitella niin, että ilma virtaa puhtaammista tiloista epäpuhtaampiin tiloihin. Esimerkiksi luokkien tuloilmaa johdetaan siirtoilmana käytävälle siirtoilmasäleikön kautta, mutta käytävältä ilmaa ei saa johtaa luokkatiloihin. (Talotekniikkateollisuus 2019b)

Uusimmat ilmanvaihtojärjestelmän säätöohjeet (Björkroth & Eskola 2019) kuitenkin suosittelevat huomioimaan rakennuksen painesuhteet ulkovaipan yli ilmanvaihdon ilmamääriä säädettyä. Tällöin esimerkiksi vuotoilma rakenteista tai muista tiloista voi vaikuttaa siihen, että tulo- ja poistoilmamäärät joudutaan säätämään eri suuruisiksi paine-erojen välttämiseksi.

2.4.4 Ilmanvaihtojärjestelmän epäpuhtaudet

Ilmanvaihtojärjestelmää täytyy huoltaa ja puhdistaa säännöllisesti, sen toimivuuden ja hyvän sisäilman takaamiseksi. Likainen ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttaa negatiivisesti sisäilman laatuun. Järjestelmään kertyneet epäpuhtaudet voivat heikentää huomattavasti ilmanvaihtojärjestelmän suunnitelman mukaista toimintaa. Ulkoilman hiukkaset ja kaasumaiset epäpuhtaudet heikentävät sisäilman laatua, jos suodatustaso ei ole riittävä. Likaantuneet pinnat voivat myös aiheuttaa mikrobeille otolliset kasvuolosuhteet. Jäähdytys- ja ilmastutuslaitteet sekä tuloilmakoneeseen kertynyt lumi ovat yleisimpiä kosteuden aiheuttajia. Likaantunut järjestelmä voi aiheuttaa myös epämiellyttäviä hajuhaittoja sisäilmaan. (Sisäilmayhdistys 2008a)

Ilmanvaihtojärjestelmään voi kertyä epäpuhtauksia jo rakennusaikana (myös korjausrakentaminen), jos järjestelmän osia ei ole suojattu riittävän huolellisesti varastoinnin, asentamisen ja rakentamisen aikana. Ilmanvaihtojärjestelmä tulee puhdistaa ennen käyttöönottoa, jotta epäpuhtaudet eivät pääse kulkeutumaan sisäilmaan. (Sisäilmayhdistys 2008a)

Ilmanvaihtokoneen suodattimet tulee uusida riittävän usein, jotta ulkoilman epäpuhtaudet eivät pääse kulkeutumaan järjestelmän kautta sisäilmaan. Suodattimien tulee olla myös tiiviitä, jotta ohivirtauksia suodattimen ohi ei pääse tapahtumaan. Ilmanvaihtokoneet tulee pitää puhtaana, kanavat nuohota ja päätelaitteet puhdistaa säännöllisesti, hyvän sisäilman ylläpitämiseksi ja järjestelmän toimivuuden varmistamiseksi. (Sisäilmayhdistys 2008a)

Ilmanvaihtojärjestelmässä voi olla myös kuitulähteitä, jotka heikentävät sisäilmaa ja aiheuttavat oireilua. Mineraalivillakuitulähteinä on tyypillisesti vanhat ääneneristeet ilmanvaihtokoneissa ja -kanavissa. Näissä on käytetty paljaita mineraalivillapintoja ja niistä voi irrota kuituja. (Sisäilmayhdistys 2008a)

2.5 Ilmanvaihdon tutkiminen sisäilmaongelmaisessa kohteessa

2.5.1 Sisäilman laatu ja olosuhdemittaukset

Kuntotutkimusten yhteydessä tulee aina mitata sisäilman lämpötila ja ilmastosteus. Mittaus suoritetaan 1–2 viikon pitkäaikaisseurantana ja mittari sijoitetaan oleskeluvyöhykkeelle. Myös ulkoilman lämpötila ja ilmastosteus mitataan samanaikaisesti, jotta saadaan vertailuarvot. (Ympäristöopas 2016)

Sisäilman hiilidioksidimittaus olisi hyvä suorittaa pitkäaikaisena seurantamittauksena, jolla saadaan luotettavaa tietoa hiilidioksidipitoisuuden vaihtelusta ja kokonaiskuva ilmanvaihdon riittävydestä. Myös hetkellinen mittaus edustavassa tilanteessa (esimerkiksi luokkahuoneesta oppitunnin loppupuolella) on mahdollista, mutta tähän mittaustapaan liittyy enemmän epävarmuutta. Hiilidioksidimittari tulee sijoittaa oleskeluvyöhykkeelle sellaiseen paikkaan, ettei se ole suoraan uloshengitysilman tai tuloilmapuhalluksen vaikutusalueella. (Ympäristöopas 2016)

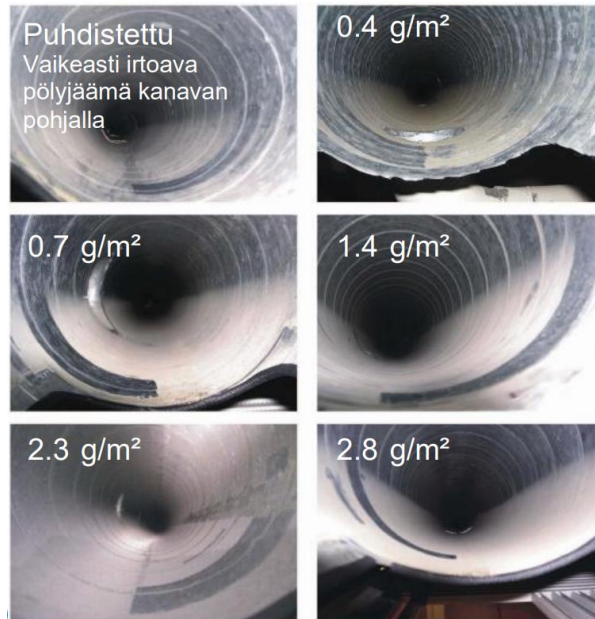
2.5.2 Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta

Ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta keskeisiä asioita ovat: ilmanvaihtokoneiden tyypit ja niiden vaikutusalueet, ilmanvaihtojärjestelmän ohjaus ja automaatio, järjestelmän ikä ja kunto, järjestelmän puhtaus sekä ilmanjako ja sen toimivuus. Jos ilmanvaihtojärjestelmässä on käytetty sähköautomaatiota järjestelmän ohjauksessa, on sen oikea toiminta varmistettava. Automaation väärät asetukset esimerkiksi käyttöajoissa tai hiilidioksidiohjauksessa tai paineanturin rikkoutuminen voivat aiheuttaa järjestelmän toiminnassa virheitä ja muutoksia esimerkiksi painesuhteisiin. (Ympäristöopas 2016)

Rakennuksen tai sen tilojen käyttötarkoituksen muuttuessa on varmistettava myös ilmanvaihdon toimivuus uudessa käyttötarkoituksessa. On myös tarkastettava ettei järjestelmässä ole säätö- tai palopeltien virheasentoja, jotka aiheuttavat suunnitelmista poikkeavia ilmavirtauksia. (Ympäristöopas 2016)

2.5.3 Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastaminen

Ilmanvaihtokanavien puhtaus voidaan tarkastaa visuaalisesti tai sormipyyhkäisyllä. Visuaalinen tarkastus perustuu luotuun arviointiasteikkoon (kuva 5), jolla voidaan arvioida helposti pyöreän kierresaumakanavan pölykertymää.



Kuva 5. Kanavien puhtauden arviointi visuaalisesti (SuLVI 2016).

Sormipyyhkäisyllä voidaan myös tutkia ilmanvaihtojärjestelmän tai kanavan pölyisyyttä. Sormella pyyhkäistään pölyiseen pintaan 10 cm pitkä vana, jonka jälkeen pölyn kasautumisen ja pyyhkäisyjäljen perusteella arvioidaan pinnan pölyisyyttä. Pyöreissä kanavissa pyyhkäisy tehdään kanavan seinämältä pohjalle asti ja muilla pinnoilla pyyhkäisy tehdään kanavan pohjalta. Sormipyyhkäisyllä voidaan selvittää lian tarttumista pinnalle, lian pinttymistä ja tiheyttä, likakerroksen paksuutta sekä se helpottaa visuaalista tarkastusta. (Ympäristöopas 2016)

Ilmastointijärjestelmän kanavien lisäksi on silmämääräisesti tarkistettava järjestelmään kuuluvien laitteistojen ja osien puhtaus. Erityisesti ulkoilmasäleiköt ja -kammiot, suodatimet, lämmönsiirtimet, puhaltimet, kondenssivesialtaat ja kostutuslaitteet tulee tarkistaa huolellisesti. Myös äänenvaimentimien pintojen eheys ja puhtaus tulee huomioida ja laitteiston viemäroinnin toiminta tarkastaa. (Ympäristöopas 2016)

2.5.4 Ilmamäärämittaukset

Ilmamääriä voidaan mitata tulo- ja poistoilmapäätelaitteista, runkokanavista tai mittayhteillä varustetuista säätöpelleistä. Ilmamäärämittauksissa tulisi mitata ilmanvaihtokoneen kokonaisilmamääriä sekä tilakohtaisia ilmamääriä.

Yleisimpiä ilmamäärien mittaamenetelmiä ovat venttiilin yli vallitsevaan paine-eroon perustuva menetelmä, sekä kuumalanka-anemometrillä suoritettava ilman virtausnopeuden mittaaminen. Mitattuja ilmamääriä verrataan suunniteltuihin tilakohtaisiin ilmamääriin, sekä ilmanvaihtokoneiden kokonaisilmamääriin. Jos suunnitelmia ei ole saatavilla, niin

ilmamääriä verrataan ilmanvaihtojärjestelmän rakennus tai peruskorjauksen aikaisiin ohjearvoihin, koska määräykset ovat tiukentuneet vuosien aikana. (Ympäristöopas 2016) Ilmamääriä olisi hyvä vertailla myös nyky määräysten mukaisiin arvoihin, jotta ilmamäärät palvelisivat mahdollisimman hyvin käyttäjiä.

2.5.5 Painesuhdemittaukset

Pitkäaikaisella painesuhteiden seurantamittauksella voidaan tutkia monia asioita. Mittausjaksolta voidaan tutkia rakennuksen sisä- ja ulkoilman välisiä sekä tilojen välisiä painesuhteita. Voidaan vertailla käyttöajan ja ulkopuolisen ajan paine-eroja, jolloin koneissa on usein erilaiset säädöt. Myös rakennuksen käytön ja sääolosuhteiden aiheuttamia vaikutuksia voidaan havaita. Ilmanvaihtokoneiden käyntiaikojen sekä automaation toiminnan varmistaminen on mahdollista paine-eromittauksilla. (Björkroth & Eskola 2019)

Hetkellisillä mittauksilla voidaan tutkia tilannetta mittaushetkellä, jolloin mittausvirhettä voi olla vaikea havaita. Hetkellinen mittaus soveltuu lähinnä tilojen vertailuun, jotta pitkäaikainen seurantamittaus tapahtuisi oikeista tiloista. Hetkellistä mittausta voidaan käyttää tutkittaessa rakennuksen sisäisiä paine-eroja, koska tuulen vaikutus on huomattavasti pienempi. (Björkroth & Eskola 2019)

Painesuhteiden mittaus tulee lähtökohtaisesti suorittaa pitkäaikaisena seurantamittauksena, jotta hetkellinen olosuhteiden vaihtelu (tuuli, lämpötila, käyttäjät yms.) eivät aiheuta mittaukseen virhettä. Lisäksi rakennuksen painesuhteet voivat vaihdella huomattavasti vuorokauden ja kellonajan mukaan, jos rakennuksen ilmanvaihdon asetukset muuttuvat aikaohjauksen tai käytön perusteella. Pitkäaikaiseen seurantaan käytetään sähköisiä mitta-antureita, jotka tallentavat tiedot dataloggeriin. Mittausjakso on tavanomaisesti 1-2 viikkoa mielellään viikonlopun yli, jotta mittausdataa saadaan riittävästi. Mittauksissa tulee aina ottaa huomioon olosuhteet ja mittapisteiden sijainti. (Björkroth & Eskola 2019)

2.5.6 Pöly- ja kuitumittaukset

Ilmanvaihtoon liittyviä pöly- ja kuitumittauksia käytetään, kun on syytä epäillä poikkeavia pöly- tai kuitulähteitä ilmanvaihtojärjestelmässä. Ilmanvaihtokanavan pölystä voidaan ottaa pölynkoostumusnäyte pyyhintänäyteenä. Pyyhintänäytteestä tunnistettavia hiukkasia ovat mm: teolliset mineraalikuidut, kiviainespöly, siitepöly, rakennusmateriaalipöly, metallihiukkaset, asbestikuidut ja homeitiöt (ei lajimääritystä). Sisäilmaongelmien tapauksessa näytteenotto suositellaan toteutettavaksi siten, että näyte otetaan sekä tutkittavan tilan pinnoilta että tuloilmakanavasta. (Työterveyslaitos 2019b)

Teollisten mineraalikuitujen esiintymistä sisäympäristössä arvioidaan geeliteippinäytteiden avulla. Geeliteippi kerää petrimaljan kannelle laskeutuneen pölyn, josta voidaan valomikroskooppia käyttäen laskea yli 20 mikrometrin pituiset teolliset mineraalikuidut. Analyysin tulos ilmoitetaan kuitujen lukumääränä pinta-alaa kohden (kuitua/cm²). (Työterveyslaitos 2019a)

3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA -AINEISTO

3.1 Tutkimusmenetelmä

Tämä kandidaatin työ on asiakirjatutkimus, jossa tutkimusaineistona on julkisiin koulurakennuksiin tehtyjä kuntotutkimusraportteja vuosilta 2008-2018. Tarkoituksena oli selvittää, kuinka laajasti sisäilma- ja kosteusteknisissä kuntotutkimusraporteissa on tutkittu ilmanvaihtoa ja sen vaikutuksia sisäilmaongelmiin. Tutkimuksessa vertailtiin olemassa olevien raporttien tutkimusmenetelmiä, sekä vertailtiin niitä tämän hetkiseen tietoon ja ohjeistuksiin.

3.2 Tutkimuksessa käytettävä aineisto

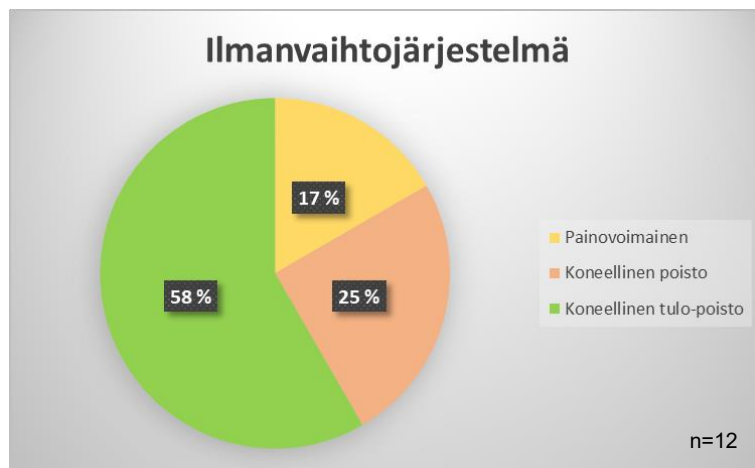
Tutkimusaineisto koostuu kouluihin tehdyistä sisäilma- ja kosteusteknisistä kuntotutkimusraporteista. Tutkimusaineistosta rajattiin pois sellaiset kohteet, joissa oli tehty tarkempi erillinen ilmanvaihdon kuntotutkimus.

Tässä tutkimuksessa käytettävät raportit ovat olemassa olevien kohteiden virallisia raportteja ja niiden tunnistetiedot on jätetty pois tarkoituksella. Tutkimusraportteja on laatinut useampi eri yritys. Tutkittavia kohteita oli yhteensä 15 ja jokaiseen kohteeseen oli tehty useampia kuntotutkimuksiin liittyviä raportteja.

4. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Tässä tutkimuksessa käytetyissä raporteissa oli tutkittu ilmanvaihtoa vaihtelevasti, osassa melko laajasti ja osassa jätetty ilmanvaihdon tutkiminen kokonaan pois. Ilmanvaihtoa oli tutkittu kymmenessä kohteessa viidestätoista. Kahdessa kohteessa oli tulossa ilmanvaihdon peruskorjaus, joten siksi vanhaa järjestelmää ei ole tutkittu lainkaan. Yhdessä kohteessa oli kolme erillistä rakennusta, joihin kaikkiin oli tehty omat kuntotutkimuksensa. Käytettävänä oli siis yhteensä kaksitoista vertailukelpoista tutkimusraporttia.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä oli selkeästi käytetyin. Myös vanhempiin rakennuksiin oli uusittu koneellisia ilmanvaihtojärjestelmiä, joissa alun perin on ollut vain painovoimainen ilmanvaihto. Tutkimuksissa suositeltiin vanhojen, jo käyttöikänsä lopussa olevien ilmanvaihtojärjestelmien uusimista. Uudeksi ilmanvaihtojärjestelmäksi suositeltiin aina koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa. Koska kohteissa oli usein useampia ilmanvaihtojärjestelmiä, niin tässä tutkimuksessa vertailuun on valittu luokkatilojen pääasiallinen ilmanvaihtojärjestelmä. Seuraavassa kaaviossa on esitetty tutkimusten ensisijaisten ilmanvaihtojärjestelmien jakauma.



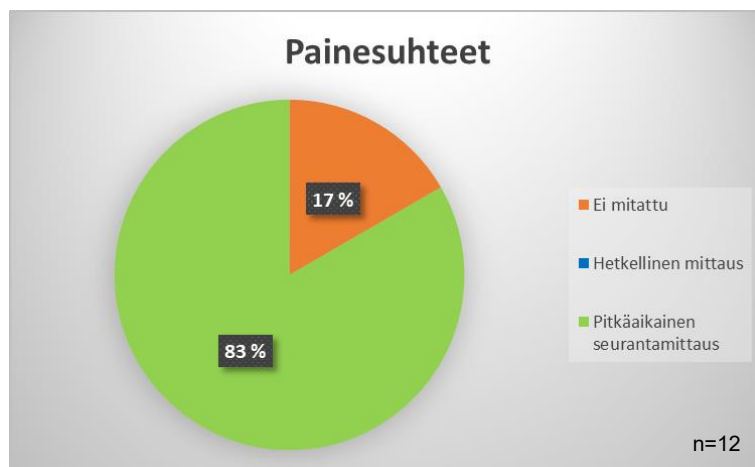
Kuva 6. Kohteissa käytetyt ilmanvaihtojärjestelmät.

Ilmamäärämittauksia oli suoritettu lähinnä tilakohtaisesti, mutta sillä pystytään melko hyvin arvioimaan rakennuksen kokonaistilannetta. Ilmamäärämittausten tukena toimii painesuhteiden ja sisäilman hiilidioksidin mittaukset. Ilmamäärämittauksia verrattiin usein käyttäjämääriin sekä tilojen pinta-aloihin, koska suunniteltuja arvoja ei ollut aina saatavilla. Ilmamäärämittauksia oli tehty vain alle puolessa tutkituista kohteista. Ilmamäärämittausten jakauma tutkituissa kohteissa on esitetty seuraavassa kaaviossa.



Kuva 7. Kohteissa tehdyt ilmamäärämittaukset.

Rakennuksen painesuhteita oli mitattu tutkimuskohteissa melko hyvin ja kaikki suoritettavat mittaukset olivat pitkäaikaisia seurantamittauksia. Painesuhteissa havaittiin vaihtelua korkeista (yli 25 Pa) alipaineista lieviin ylipaineisiin (alle 10 Pa). Painesuhdemittausten perusteella suositeltiin yleisesti ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmamäärien säätämistä niin, että paine-ero ulkovaipan yli on lähelle 0 Pa ja ilmajvirtaukset ovat puhtaammista tiloista likaisempiin tiloihin. Ilmanvaihtokoneiden käyntiajoilla oli selkeä vaikutus painesuhteisiin. Kuvassa 8 on esitetty tutkimuksissa suoritettujen painesuuhdemittausten jakauma.



Kuva 8. Kohteissa suoritettavat painesuuhdemittaukset.

Sisäilman hiilidioksidimittauksia oli suoritettu tutkituissa kohteissa hyvin ja kaikki suoritettavat mittaukset olivat pitkäaikaisia seurantamittauksia. Sisäilman hiilidioksidipitoisuudet olivat normaalilla tasolla noin puolessa mitatuista kohteista. Kahdessa kohteessa, joissa molemmissa oli vain koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä, ylitettiin korkea 2000 ppm raja.



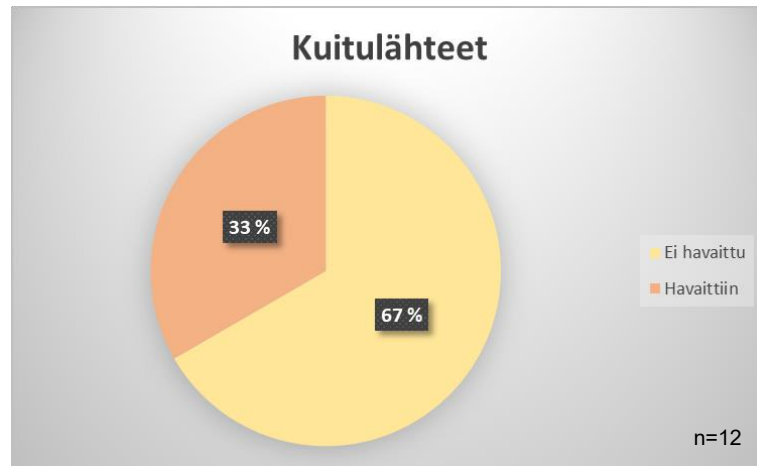
Kuva 9. Kohteissa suoritettut sisäilman hiilidioksidimittaukset.

Ilmanvaihtojärjestelmien puhtauksia arvioitiin useissa kohteissa vain pintapuolisesti. Vain joka neljännessä kohteessa oli havaintoja ilmanvaihtokoneiden tai kanavien puhtaudesta. Ilmanvaihtojärjestelmien puhtautta oli arvioitu siis melko heikosti. Ilmanvaihtojärjestelmien huollossa ja kunnossapidossa havaittiin puutteita. Ilmanvaihtokanavia ei ollut nuohottu säännöllisesti, suodattimet olivat likaisia ja päätelaitteissa havaittiin runsaasti likaa.



Kuva 10. Kohteissa suoritettut ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastelut.

Ilmanvaihtojärjestelmän kuitulähteitä oli havaittu kolmanneksessa kohteista. Kuitulähteenä oli usein ilmanvaihtokanavan äänenvaimentimissa olevat pinnoittamattomat mineraalivilla eristeet tai muuten järjestelmässä olevat paljaat mineraalivillapinnat. Tutkimuksissa mainittiin ainoastaan havaitut kuitulähteet, joten ei ole tiedossa onko niissä kohteissa tutkittu mahdollisia kuitulähteitä, joissa niitä ei ole havaittu.



Kuva 11. Kohteissa havaitut kuitulähteet ilmanvaihtojärjestelmissä.

Ilmanvaihdon ja tilojen korjauksien suunnitteluissa oli tapahtunut virheitä, eikä järjestelmät toimineet oikeaoppisesti. Esimerkiksi ikkunoista puuttui korvausilmaventtiilejä, joten korvausilma tuli tiloihin hallitsemattomasti. Tuloilman päätelaitteita oli sijoitettu väärin, eikä tuloilma huuhtelee koko huonetilaa.

Tutkimuksissa havaittiin myös jonkin virheitä ilmanvaihtojärjestelmien käytössä. Esimerkiksi tuloilmaventtiilejä oli teipattu umpeen käyttäjien toimesta, joten tilaan ei pääse tuloilmaa suunnitellusti. Tilakohtaisessa ilmanvaihtokoneessa oli käsikäyttöinen kytkentä, eikä tilojen käyttäjillä ollut riittävästi tietoa tai osaamista käyttää ilmanvaihtoa oikein.

5. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tässä tutkimuksessa käsiteltyjen kohteiden lukumäärä oli kohtuullisen pieni, joten laajoja johtopäätöksiä ei voida tästä tutkimuksesta tehdä. Käytetyissä kuntotutkimusraporteissa oli tutkittu ilmanvaihtoa vaihtelevasti. Ilmanvaihdolla on kuitenkin merkitystä rakenteiden toimivuuteen, joten olisi suositeltavaa ottaa ilmanvaihdon vaikutukset laajemmin huomioon.

Ilmanvaihdolla on suuri merkitys rakennuksen toimintaan ja käyttäjien hyvinvointiin. Ilmanvaihdon tutkiminen kosteus- ja sisäilmateknisissä sekä rakenneteknisissä kuntotutkimuksissa on hyvin merkittävää, vaikka erillistä ilmanvaihdon kuntotutkimusta ei tehtäisi kohteeseen. Ilmanvaihdon oikea toiminta parantaa sisäilmastoa ja sillä voidaan vähentää olemassa olevien ongelmien haittavaikutuksia.

Tutkittujen kohteiden käytetyin ilmanvaihtojärjestelmä luokissa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, joka oikein käytettynä antaa mahdollisuudet hyvään sisäilmastoon. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa sekä koneellisessa poistoilmanvaihdossa on ongelmana riittävä ilman vaihtuvuus ja ilman jakautuminen. Lisäksi näissä järjestelmissä havaitaan usein vedon tunnetta.

Ilmanvaihtojärjestelmää tulee huoltaa ja puhdistaa säännöllisesti. Likainen tai vioittunut järjestelmä ei tarjoa käyttäjälle hyviä sisäilmasto olosuhteita vaan voi pahimmassa tapauksessa heikentää niitä. Järjestelmässä voi olla myös kuitulähteitä, jotka pääsevät kulkeutumaan ilmanvaihtojärjestelmästä sisäilmaan. Kuitulähteinä on tyypillisesti ääneneristeissä käytetyt avoimet mineraalivillapinnat. Nämä kuitulähteet täytyy poistaa järjestelmästä ja käyttää vaihtoehtoisia materiaaleja äänenvaimennuksessa.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto mahdollistaa rakennuksen painesuhteiden säätämisen, sekä ilmavirtauksien hallinnan. Vanhoja järjestelmiä voi olla hankala säätää, jos järjestelmän tekniikka ei sitä mahdollista. Sähköautomaatio on mahdollistanut entistä tarkemman säätämisen ja helpottaa toiminnan seuraamista. Rakennuksen painesuhteiden hallinta on keskeinen osa rakennuksen toimivuutta. Sisäilman ollessa alipaineinen ulkoilmaan nähden tai käyttötilojen ollessa alipaineisia likaisiin tiloihin verrattuna voi epäpuhtauksia päästä kulkeutumaan rakenteiden epätiiviysskohdista sisäilmaan. Ylipaineisuus puolestaan voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteisiin, jos sisäilmassa on runsaasti kosteuslähteitä. Lisäksi käyttäjät voivat kokea sisäilman tunkkaisemmaksi, koska ikkunatuuletus ei toimi.

Tutkimuksissa havaitut painesuhteiden selkeät muutokset käyntiaikojen mukaan antavat viitteitä siitä, että ilmanvaihtokoneet tai osa niistä on asetettu esimerkiksi puoliteholle tai pois päältä, tutkimatta kokonaisvaikutuksia rakennuksen toimintaan. Paine-erovaihtelua käyttöaikojen ulkopuolella voi aiheuttaa esimerkiksi päälle jääneet erillispoistot, jotka eivät ole yhteydessä tuloilman automaatioon.

Tutkimuksissa suoritetuista hiilidioksidimittauksista ilmeni selkeitä ongelmia kahdessa kohteessa, jossa oli koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. Hiilidioksidipitoisuudet nousivat korkeiksi, joka viittaa selvästi liian vähäiseen ilmanvaihtumiseen. Toimenpiderajan ylittäviä hiilidioksidipitoisuuksia ilmeni myös koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän kohteissa. Hiilidioksidimittauksella voidaan arvioida ilmanvaihtuvuuden riittävyyttä esimerkiksi luokkatiloissa.

LÄHTEET

- Björkroth M. & Eskola L. (2019). Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppu-raportti 11.10.2019. Saatavissa (viitattu 30.1.2020) https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys
- Hengitysliitto (2019). Ilmanvaihtojärjestelmät. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat>
- Kattoliitto (2019). Toimivat katot. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) http://www.kattoliitto.fi/toimivat_katot/toimivat_katot_2019
- Kuntien sisäilmaverkosto (2019). Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje. Espoo, Helsinki, Jyväskylä, Kuopio, Lahti, Oulu, Tampere, Turku, Vantaa.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki L 5.2.1999/132 (1999). Saatavissa (viitattu 15.12.2019) <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
- Sisäilmayhdistys (2008a). Ilmanvaihdon vaikutus. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Ilmanvaihdon-vaikutus>
- Sisäilmayhdistys (2008b). Ilmavirtaukset rakennuksessa. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteus-tekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>
- Sisäilmayhdistys (2008c). Sisäilmasto. Saatavissa (viitattu 30.1.2020) <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Perustietoa>
- Sosiaali- ja terveysministeriö (2015). Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsinki.
- SuLVI Suomen LVI-liitto (2016). Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tutkiminen. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) <https://sulvi.fi/wp-content/uploads/2017/05/IVKT-2016-Ohje-4-Ilmanvaihtoj%C3%A4rjestelm%C3%A4n-puhtauden-tutkiminen.pdf>
- Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 (2012). Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö. 32 s. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Kumotut
- Talotekniikakeollisuus (2019a). Sisäilmasto- ja ilmanvaihdon opas. Ilmavirroista aiheutuvat paineet ja rakenteiden ilmanpitävyys. Päivitetty 11.6.2019. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/20-ss-ilmavirtojen-tasapaino-ja-rakenteiden-ilmanpitavyys>
- Talotekniikakeollisuus (2019b). Sisäilmasto- ja ilmanvaihdon opas. Ulkoilmavirrat. Päivitetty 11.6.2019. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/9-ss-ulkoilmavirrat>
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (2019). Sisäilma. Päivitetty 9.12.2019. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/sisailma>

Työterveyslaitos (2019a). Kuitunäytteen ottaminen teippimenetelmällä. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) <https://www.ttl.fi/service-document/kuitunaytteen-ottaminen-teippimenetelmalla/>

Työterveyslaitos (2019b). Pölynäytteen ottaminen pyyhintämenetelmällä. Saatavissa (viitattu 15.12.2019) <https://www.ttl.fi/service-document/polynaytteen-ottaminen-pyyhintämenetelmalla/>

Ympäristöministeriö (2017). Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Helsinki.