



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

ILMANVAIHDON TUTKIMINEN ASUINRA- KENNUKSESSA

Juho Mäkelä

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

MÄKELÄ JUHO:

Ilmanvaihdon tutkiminen asuinrakennuksessa

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 18 sivua
Toukokuu 2016

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia tutkimusohjeistus ilmanvaihdon tutkimiselle asuinrakennuksissa sekä selvittää ilmanvaihtojärjestelmän tutkimusmenetelmiä. Opinnäytetyön tilaajana toimi Wise Group Finland Oy, jossa opinnäytetyössä laadittua tutkimusohjetta on tavoitteena hyödyntää tulevaisuudessa.

Työn teoriaosuudessa perehdyttiin ilmanvaihtojärjestelmän tutkimisen kannalta merkittäviin asioihin sekä selvitettiin kyseisen järjestelmän tutkimisen kannalta luotettavat ja käytännölliset indikaattorit. Työssä kerrotaan myös ilmanvaihdon vaikutuksesta sisäilmaan ja näin ollen sisäilman mitattavat indikaattorit pyrittiin yhdistämään ilmanvaihdon tutkimukseen.

Ilmanvaihdon tutkiminen on koettu Suomessa puutteelliseksi erityisesti korjaushankkeiden yhteydessä asumisterveysohjeen suosituksista huolimatta. Tämä opinnäytetyö tehtiin pääosin korjaus- ja tutkimushankkeista saatujen kokemusten perusteella, joskin työssä on myös käytetty kirjallisuutta erityisesti tukemaan tutkimusmenetelmiä.

Työn selvitysten ja pohdintojen perusteella yleisesti käytetyt tutkimusmenetelmät, kuten il-mavirtamittaukset eivät yksin riitä selvittämään vanhojen asuinrakennusten ilmanvaihdon toimivuutta. Tässä työssä korostettiin hiilidioksidipitoisuusmittauksien sekä aistinvarais-ten havaintojen merkitystä tutkimuksen lopputuloksessa.

Hyvällä ilmanvaihdon tutkimuksella saadaan kiinteistön päättäjille riittävää tutkimusai-neistoa tulevien toimenpiteiden päätöksiin sekä materiaalia ilmanvaihtojärjestelmään kohdistuvien hankkeiden toteutukseen.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services
HVAC Building Services Engineering

MÄKELÄ JUHO

Ventilation Survey in A Residential Building

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 18 pages

May 2016

The objective of this thesis was to devise instructions for ventilation survey in residential buildings and examine research methods for those surveys. This thesis was commissioned by Wise Group Ltd with the purpose of using the instructions for ventilation survey will be used in practice.

The theory part of this thesis examines the main issues of ventilation surveys. One of the main issues was defining reliable and functional survey methods that can be used in practice. Indoor air is related to ventilation. Consequently this thesis considers similarities between indoor air and ventilation surveys.

Surveys of ventilation systems tend to be deficient especially in renovation projects despite national housing health guidelines. This thesis has been made utilizing experience of renovation and surveys projects. Literature sources were also used.

According to this thesis commonly used ventilation survey methods, such as air flow measurements are not comprehensive enough in old buildings. In this thesis carbon dioxide measurements and sensory inspections are highlighted.

Reasonable ventilation survey is a significant tool for property decision makers and planners.

Key words: ventilation, ventilation survey

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	ILMANVAIHDON TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT	7
3	TUTKIMUSKOHTEET JA TUTKITTAVAT JÄRJESTELMÄT	8
	3.1 Painovoimainen ilmanvaihto	8
	3.2 Koneellinen poistoilmanvaihto	9
	3.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	10
4	SISÄILMASTO	11
	4.1 Ilmanlaatu mittarina ilmanvaihdon tutkimuksessa	13
	4.2 Ilmanvaihdon merkitys ilmanlaatuun	14
	4.3 Rakenteiden emissioiden merkitys sisäilmaan	14
5	ILMANVAIHDON TUTKIMUSMENETELMÄT	15
	5.1 Lähtötietoihin perehtyminen	15
	5.2 Aistinvarainen tutkiminen	15
	5.3 Hormikuvaukset ja savukokeet	17
6	MITTAUKSET	18
	6.1 Hiilidioksidi	18
	6.2 Kosteus	19
	6.3 Lämpötila ja vetoisuus	19
	6.4 Painesuhteet	20
	6.5 Ilmavirrat	20
7	TUTKIMUSLAAJUUDEN SELVITYS	22
	7.1 Huoneistotarkastukset ja mittaukset	22
	7.2 Hormikuvaukset ja savukokeet	22
8	ILMANVAIHDON TUTKIMUKSEN HYÖDYNTÄMINEN	24
9	POHDINTA	25
	LÄHTEET	26
	LIITTEET	27
	Liite 1. IV-tutkimuksen raporttipohjamalli	
	Liite 2. Tutkimuslaajuus	
	Liite 3. IV-kuvauskorttimalli	
	Liite 4. IV-asuntolistausmalli	
	Liite 5. Tarkastuskortti asunnot	
	Liite 6. Tarkastuskortti IV-kone	

ERITYISSANASTO

HTP-arvo	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus
VOC	Haihtuva orgaaninen yhdiste (Volatile Organic Compound)
SBS-oireyhtymä	Sick Building Syndrome
STM	Sosiaali- ja terveysministeriö
PTS	Pitkän tähtäimen suunnitelma

1 JOHDANTO

Asuinrakennusten ilmanvaihtoon kohdistetaan tutkimuksia yleisimmin silloin, kun havaitaan toimivuuteen liittyviä ongelmia tai järjestelmän kunnan selvittämiseksi. Järjestelmän kunnan selvittäminen voi tulla kyseeseen esimerkiksi kattavan peruskorjauksen hankesuunnittelun yhteydessä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään erityisesti ilmanvaihdon kokonaisvaltaisen toiminnan tarkasteluun, mutta kerrotaan myös yksittäisten osa-alueiden tutkimisesta. Tässä työssä kerrotaan myös lyhyesti sisäilmaan liittyvistä asioista, niiden ollessa merkittävä tekijä ilmanvaihdon tutkimisen kannalta.

Ilmanvaihdon tutkimuksiin ei ole ollut Suomessa yleisesti käytössä olevaa ohjetta tai tapaa. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä yhteistyössä Wise Group Finland Oy:n kanssa asuinrakennusten ilmanvaihdon tutkimukseen mallipohja. Teoriaosuudessa pohditaan tutkimusmenetelmiä ja -tapoja. Tutkimusmenetelmien selvityksissä ja pohdinnoissa huomioitiin erityisesti eri menetelmien sovellettavuutta ja informaation käytettävyyttä jatkotoimenpiteiden arviointiin.

Opinnäytetyössä on otettu kantaa painovoimaisen, - koneellisen poisto- sekä koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon tutkimiseen. Tutkimuskohteet on näin ollen rajattu yleisesti asuinrakennuksissa käytössä oleviin järjestelmiin, pääpainona asuinkerrostalot.

Tutkimustapojen vertailussa on pyritty ottamaan tarkasteluun mahdollisimman laaja kirjo erilaisia tutkimusmenetelmiä, jotka perustuvat fysikaalisiin ja kemiallisiin mittauksiin sekä aistinvaraisiin havaintoihin. Tutkimustapoja pohdittaessa on kiinnitetty huomiota erityisesti niiden todelliseen käytettävyyteen tutkimuskohteissa ja informaation todelliseen käytettävyyteen esimerkiksi ilmanvaihdon muutossuunnittelussa.

Opinnäytetyötä tullaan käyttämään yhteistyöyrityksessä erityisesti hankesuunnittelun esiselvitysvaiheessa selvitettäessä järjestelmien teknistä käyttöikää sekä toimivuutta. Tästä johtuen kyseisessä työssä tutkimusten toteutusta ja tuloksien käytettävyyttä tarkastellaan niin suunnittelun kuin päätöksentekijöiden näkökulmasta.

2 ILMANVAIHDON TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT

Ilmanvaihdon tutkimusta tilattaessa ja toteutettaessa on tärkeää muistaa kyseisen tutkimuksen tarve. Pääasiallisina tavoitteina tutkimuksella on selvittää järjestelmän toimivuus, käyttökelpoisuus sekä korjaustarve.

Asumisterveysohjeeseen viitaten IV-kuntotutkimus tulisi tehdä aina kun sisäilmaolosuhteissa havaitaan tai epäillään puutteita. Kyseiset puutteet eivät kuitenkaan käsitä tiedossa olevilla toimenpiteillä korjattavia asioita. Kyseisiä asioita voi esimerkiksi olla tukkeentuneet suodattimet. (STM 2008)

Toinen merkittävä lähtökohta tutkimuksen tilaamiselle on rakennukseen tulossa olevat laajat korjaushankkeet tai tilamuutokset. Tässä opinnäytetyössä perehdytään suurelta osin kiinteistöjen putkiremonttien yhteydessä tehtävään ilmanvaihdon tutkimukseen. Putkiremontin yhteydessä on rakennuksen elinkaarta tarkastellessa merkittävä potentiaali ilmanvaihdon toiminnan parantamiseen. (SuLVI 2016)

3 TUTKIMUSKOHTEET JA TUTKITTAVAT JÄRJESTELMÄT

Asuinrakennusten ilmanvaihtojärjestelmät jakautuvat pääosin kolmeen päätyyppiin: painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto ja koneellinen tulo-/poistoilmanvaihto. Suomessa on käytössä myös esimerkiksi painovoimaisen ilmanvaihdon hybridi-ilmanvaihtoratkaisuja, mutta niiden ollessa harvinaisia asuinrakennuksissa, ei niihin ole otettu tässä opinäytetyössä kantaa. Ilmanvaihdon kolmea päätyyppiä on usein käytetty rinnakkain rakennuksissa ja niiden tutkiminen tulee näin ollen toteuttaa kokonaisuutena.

Seuraavissa kappaleissa on käsitelty ilmanvaihdon päätyypit ja niiden toiminta lyhyesti. Kyseisten järjestelmien tutkimiseen liittyviä yksilöllisyyksiä on myös käsitelty myöhemmissä kappaleissa.

3.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu sisä- ja ulkoilman lämpötilojen erosta syntyvään tiheyseroon sekä tuulen vaikutukseen. Kyseisessä järjestelmässä ei ole mitään mekaanista kojetta, joka tehostaisi ilman virtausta. Toimintaperiaatteesta johtuen järjestelmän toiminta on verrannollinen vallitseviin sääoloihin ja se voi pahimmillaan toimia väärään suuntaan.

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa riittävä korvausilman saanti tulee toteuttaa hallitusti esim. korvausilmaventtiileillä. Osassa painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksista korvausilman saantia ei kuitenkaan ole toteutettu lainkaan tai se on toteutettu puutteellisesti. Kyseisissä tapauksissa on todennäköistä, että järjestelmä ei toimi halutulla tavalla ja järjestelmä vetää korvausilman mm. rakenteiden läpi.

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa jokaisesta huoneistosta on pääsääntöisesti johdettu vähintään yksi poistoilmahormi vesikaton yläpuolelle, mutta osassa Suomessa sijaitsevista asuinkiinteistöistä niitä on yhdistetty ajansaatossa tai jo rakennusaikana. Hormien yhdistäminen huoneistosta toiseen ei ole hyväksyttävää asumishygienian ja paloturvallisuuden takia. (Seppänen 2008: 207-224)

Painovoimaisella ilmanvaihdolla rakennetun rakennuksen ilmanvaihdon toimivuus perustuu pääosin vallitseviin säätiloihin eikä järjestelmä toimi ilman lämpötilaeroja ja/tai tuulta. Erityisen ongelmallisia ovat kesäolosuhteet, jolloin ilmanvaihto ei välttämättä toimi lainkaan ja kos-

teuskuormat voivat nousta huomattavan korkeiksi huoneistoissa aiheuttaen vahinkoa rakenteille ja huonontamalla sisäilman laatua. Kesätilanteessa painovoimainen ilmanvaihto voi myös toimia väärään suuntaan aiheuttaen hygieniahaittoja. Hygieniahaitat voivat johtua esimerkiksi hormoneissa sijaitsevista mikrobeista ja haitta-aineista.

Painovoimaisen ilmanvaihdon tutkimisessa suurimmaksi haasteeksi nousee järjestelmän toimivuuden riippuvuus vallitsevista sääolosuhteista eikä esimerkiksi ilmavirtojen mittaukset ole luotettavia tai ne kertovat vain hetkittäisestä tilanteesta. Painovoimaisen ilmanvaihdon tutkimustapoihin on otettu kantaa enemmän kappaleessa: Ilmanvaihdon tutkimusmenetelmät.

3.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellinen poistoilmanvaihto on asuinrakennuksissa yleisesti käytetty ilmanvaihtojärjestelmä aina 1990-luvulle asti. Koneellisessa ilmanvaihdossa poistoilmakanavat ovat painovoimaisen ilmanvaihdon tapaan johdettu asunnoista vesikatoille asti ja poistoilmaventtiilien sijoitus on toteutettu yleensä painovoimaisen ilmanvaihdon tapaan hormiryhmien läheisyyteen. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa vaakakanavien mitat niin asunnoissa kuin rakennuksen yläpohjassa voivat olla pidempiä kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa johtuen poistoilmakoneen aikaansaamasta paine-erosta. (Seppänen 2008: 207-228)

Kanavointi voidaan koneellisessa poistoilmanvaihdossa toteuttaa erilliskanavointina sekä yhteiskanavajärjestelmällä. Erilliskanavoinnissa kanavat ovat johdettu väli- tai vesikatolle, jossa jokaiselle hormiryhmälle on oma poistoilmapuhallin. Kanavat voidaan myös yhdistää kanaviston yläpäässä vaakakanavoinnilla, jolloin hormiryhmät saadaan yhdistettyä yhden poistoilmakoneen taakse. Johtuen jatkuvasta poistopuhaltimen aikaan saamasta paine-erosta voidaan koneelliseen poistoilmajärjestelmään asentaa myös lämmöntalteenottoalaite. Kyseisessä järjestelmässä talteen saatua lämpöä ei kuitenkaan voida tehokkaasti käyttää tuloilman lämmittämiseen. Poistoilman lämpötilan ollen suhteellisen alhainen voidaan sen sisältämää lämpöenergiaa käyttää hyödyksi esimerkiksi lämpöpumpun avulla. Tästä johtuen poistoilmalämpöpumput ovat yleistyneet 2000-luvun aikana.

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa riittävän korvausilman saanti on painovoimaisen järjestelmän tavoin erityisen tärkeää. Erityisesti koneellisessa poistoilmanvaihdossa puutteellisesta kor-

vausilman saannista johtuen ilma kulkeutuu sisään mm. rakenteiden läpi. Rakenteiden läpi virtaavan ilman vaikutuksia sisäilman laatuun on käsitelty kappaleessa: Rakenteiden emissioiden merkitys sisäilmaan.

Poiketen painovoimaisesta ilmanvaihdosta voidaan koneellisessa poistoilmanvaihdossa mitata melko luotettavasti järjestelmän toimivuutta ilmavirtojen ja painesuhteiden mittauksilla. Mittauksissa huomioon otettavia seikkoja on käsitelty kappaleessa: Ilmanvaihdon tutkimusmenetelmät.

3.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa tuloilma on puhallettu hallitusti puhaltimen aikaan saamaa paine-eroa hyödyntäen. Sijoitettaessa rakennukseen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä voidaan rakenteet tehdä tiiviiksi ja järjestelmä varustaa hyötysuhteeltaan hyvätasoisella lämmöntalteenotolla. Tulo- ja poistopuhaltimet voidaan sijoittaa erilleen tai keskitetysti samaan paikkaan, jolloin lämmöntalteenotto saadaan toteutettua tehokkaasti. Asuinrakennuksissa keskitetty koneiden sijainti on yleisintä.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto voidaan toteuttaa huoneistokohtaisilla koneilla tai omaan konehuoneeseen sijoitetulla keskitetyllä koneikolla. Järjestelmistä käytetään myös nimityksiä yksi- ja monivyöhykejärjestelmä. Huoneistokohtaisten koneiden etuna voidaan pitää asuntokohtaista olosuhteiden hallintaa, tällöin olosuhteita voidaan hallita yksilöllisesti.

Monivyöhykejärjestelmässä ilmanvaihtokoneen huolto jää usein asukkaan tai osakkaan vastuulle, jolloin huollon laiminlyönti on todennäköistä. Lisäksi huoneistokohtaisten koneiden säätö on usein toteutettu manuaalisesti, jolloin asukas tai osakas voi ohjata ilmanvaihdon tehokkuutta itse. Tästä johtuen voidaan tietämättä aiheuttaa alkuperäisestä käyttötarkoituksesta poikkeavaa ilmanvaihdon toimintaa, mikä voi aiheuttaa ongelmia sisäilman laatuun ja rakenteiden terveyteen. (Korkkala 2009)

Yksivyöhykejärjestelmän eli ns. keskitetyn ilmanvaihdon suurimmat hyödyt ovat keskitetysti toteutettavissa olevat huoltotoimenpiteet sekä lämmöntalteenoton hyvä vuosihyötysuhde. Keskitetyssä ilmanvaihtoratkaisussa raitisilma saadaan otettua keskitetysti ilmanvaihtokoneelle eikä esim. julkisivuun tarvita huomattavaa määrää aukkoja. Keskitettyä ilmanvaihtoa harkittaessa, ongelmaksi osoittautuu erityisesti saneerauskohteissa usein tilantarve pystyhormeille.

4 SISÄILMASTO

Sisäilmasto koostuu monesta eri tekijästä ja sen yksiselitteinen tulkinta on erittäin haastavaa. Hyvän sisäilman lähtökohtina ovat käyttäjien tyytyväisyys sekä sisäilman terveellisyys käyttäjille. Hyvä ilmanvaihto toteutustavasta riippumatta on edellytys hyvälle sisäilmalle ja oleskelutiloissa vallitseville olosuhteille. Tässä työssä käsitellään vain lyhyesti sisäilman vaikutuksia ja päätavoitteena on selvittää, miten sisäilman indikaattoreita voidaan hyödyntää ilmanvaihdon toiminnan tutkimisessa. (Säteri 2010)

Sisäilman vaikutukset ihmisiin ja sisäilmaolosuhteiden kokeminen ovat yksilökohtaisia. Sisäilmastolle on kuitenkin asetettu tiettyjä raja-arvoja, joita voidaan pitää soveltuvina suurelle osalle käyttäjistä. Käyttäjien yksilökohtaiset vaatimukset ja altistumisherkkyudet on kuitenkin muistettava sisäilmastoa tutkittaessa tai suunniteltaessa sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä, kuten rakenteita ja ilmanvaihtoa. Kuvassa 1 on esitettyä sisäilmastoon vaikuttavat tekijät.

Kuva 1, Sisäilmasto (Ruotsalainen, R.)



Sisäilman laatuun vaikuttavia mitattavia indikaattoreita ovat:

- sisäilman lämpötila
- operatiivinen lämpötila
- ilman nopeus
- sisäilman kosteus
- äänitaso
- ulkoilmavirta
- formaldehydipitoisuus
- radonpitoisuus
- hiilidioksidipitoisuus
- rikkidioksidipitoisuus
- typpioksidipitoisuus
- hiilimonoksidipitoisuus
- hiukkaspitoisuus
- asbestipitoisuus
- mikrobit ilmassa
- lyijypitoisuus
- ammoniakkipitoisuus
- styreenipitoisuus
- tupakansavu

Taulukkoon 1 on kerättyä Sisäilmaoppaan esittämiä sisäilmaston tavoitearvoja.

Taulukko 1, Sisäilmaston tavoitearvot (Sisäilmaopas)

Sisäilmaston tavoitearvot				
	yksikkö	Luokka S1	Luokka S2	Luokka S3
Operatiivinen lämpötila, talvi	°C	20-23	20-23	18-25
Operatiivinen lämpötila, kesä	°C	20-26	20-27	18-30
Lattian pintalämpötila	°C	19-29	19-29	17-31
Lämpötilaero pystysuunnassa	°C	< 2	< 3	< 4
Ilman nopeus, 21 °C	m/s	< 0,14	< 0,17	< 0,20 (talvi)
Ilman nopeus, 23 °C	m/s	< 0,16	< 0,20	< 0,25
Ilman nopeus, 25 °C	m/s	< 0,20	< 0,25	0,30 (kesä)
Ilman suhteellinen kosteus, talvi	%	25	-	-
Ilman suhteellinen kosteus, kesä	%	< 60	-	-
Hiilidioksidipitoisuus	ppm	< 750	< 900	< 1200
Radonpitoisuus	Bq/m ³	< 100	< 100	< 200
Olosuhteiden pysyvyys toimi- ja ope- tustilat	% käyttöajasta	95	90	
Olosuhteiden pysyvyys asunnot	% käyttöajasta	90	80	

Taulukossa 2 on esitetty sisäilman vaaratekijöitä ja – vaikutuksia ihmiseen.

Taulukko 2, Sisäilman vaaratekijät (Seuri, M.)

Vaaratekijä	Suurin mahdollinen haitta	Vaikutuksen nopeus
korkea lämpötila, alle 32 °C	oireita	välitön
matala lämpötila, yli 15 C°	oireita	välitön
veto	oireita	välitön
huoneilman kosteus	oireita	välitön
radon	eliniän lyheneminen	vuosia vaativa
melu alle 80 dB(A)	oireita	välitön
melu yli 80 dB(A)	pysyvä sairaus	vuosia vaativa
hiilidioksidi	haitan epäsuora mittari	välitön
häkä	eliniän lyheneminen	välitön
ammoniakki sisäilmapitoisuuksissa	haitan epäsuora mittari	välitön
otsoni	astman oireiden paheneminen	välitön
formaldehydi	pysyvä sairaus	viikkoja tai kuukausia
asbesti	eliniän lyheneminen	vuosia vaativa
VOC	oireita	välitön
huonepöly	pysyvä sairaus	kuukausia tai vuosia vaativa, oireet välittömästi
tupakansavu	eliniän lyheneminen	vuosia vaativa
mikrobit	pysyvä sairaus	päiviä tai viikkoja

4.1 Ilmanlaatu mittarina ilmanvaihdon tutkimuksessa

Usein ilmanvaihdon toimivuutta tarkasteltaessa mitataan ainoastaan huoneiston tulo- ja poistoilmavirta. Pelkkä tulo- ja poistoilmavirran mittaus kertoo kuitenkin vain vähän ilmanlaadusta etenkin vanhoissa rakennuksissa. Ilmavirtojen mittaus ei kerro ilman sekoittumisesta huoneistossa tai korvausilman laadusta. Painovoimaisessa- tai koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä korvausilma on voinut tulla esimerkiksi rakenteiden läpi tai vuotoilmana käytävästä tai toisesta huoneistosta. Koneellisessa tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmässä huonetilan ilma ei ole välttämättä sekoittunut lainkaan. Otettaessa edellä mainitut seikat huomioon, kannattaa ilmanvaihtoa tutkia myös ilmanlaadun indikaattoreilla, kuten hiilidioksidipitoisuudella.

4.2 Ilmanvaihdon merkitys ilmanlaatuun

Toimiva ilmanvaihto luo perusedellytykset hyvälle sisäilmalle ja se sisältää mm. riittävät ilmavirrat, riittävän ilman huuhtoutumisen huonetilassa ja oikeat painesuhteet eri tiloissa. Pelkäämään hyvä ilmanvaihto ei takaa hyvää sisäilmaa vaan rakenteiden toimivuus ja terveys on vähintäänkin yhtä isossa roolissa.

Etenkin vanhemmissa asuinrakennuksissa korostuu ilmavaihdon korvausilman kulkeutumisreitti ja sen suodattaminen. Pienhiukkaspäästöjen on arvioitu aiheuttavan merkittävän määrän terveyshaittoja Suomessa ja niiden paras torjuntakeino asuinrakennuksissa on tuloilman suodattaminen.(Säteri 2010)

4.3 Rakenteiden emissioiden merkitys sisäilmaan

Rakenneosien emissioiden selvitykset eivät suoranaisesti kuulu ilmanvaihdon tutkimukseen, mutta niistä on hyvä tietää perusteet sisäilmaongelmien yleisenä aiheuttajana. Ilmanvaihdon toiminnan tutkimus voidaankin tilata rakennukseen huonon sisäilman laadun takia, joka voi johtua puutteellisesta ilmanvaihdosta, mutta myös rakenteiden emissioista. Ilmanvaihdon päätehtäviä on poistaa huoneilmasta rakenteiden emissioita ja muita huoneilmaan kantautuneita epäpuhtauksia. Lisäksi puutteellisen ilmanvaihdon aiheuttamat kosteusolosuhteet voivat edesauttaa rakennepäästöjen emissioitumista huoneilmaan.

5 ILMANVAIHDON TUTKIMUSMENETELMÄT

Ilmanvaihdon ja ilmanlaadun tutkimusmenetelmät voidaan jakaa useaan osa-alueeseen. Tässä työssä on keskitytty erityisesti ilmanvaihdon toiminnan tutkimiseen ja ilmanvaihdon toiminnan määrittämiseen sisäilman laadun perusteella. Vaikka ilmanvaihdon tutkimuksen päätavoitteena on saada selkeä kuva ilmanvaihtojärjestelmän toimivuudesta rakennuksessa, otetaan tässä työssä myös kantaa sen vaikutuksista sisäilmaan ja rakenteiden terveyteen.

Ilmanvaihtoa, rakenteiden terveyttä ja sisäilmaa voidaan pitää erillisinä asioina, mutta ne ovat kuitenkin toisistaan riippuvaisia ja niitä kannattaa tulkita kokonaisuutena esimerkiksi korjaushanketta suunnitellessa. Merkittävänä asiana tässä työssä on pidetty tutkimustulosten käytettävyyttä ilmanvaihdon toiminnan arvioinnissa. Myös mittauksen toteutettavuutta on pidetty tärkeänä.

Seuraavissa kappaleissa on kerrottu ilmanvaihdon toiminnan tutkimukseen liittyvistä asioista ja niiden soveltamisesta tutkimustilanteessa. Ilmanvaihdon mittaukset on esitelty kappaleessa: Mittaukset.

5.1 Lähtötietoihin perehtyminen

Ilmanvaihdon tutkimukset kohdistuvat Suomessa usein jopa 1900-luvun alun rakennuksiin, jolloin lähtötietojen saaminen voi olla erittäin haastavaa. Lähtötietojen hankinnassa kannattaa lähestyä tilaajaa mahdollisten alkuperäisten suunnitelmien saamiseksi käyttöön. Heti tutkimuksen alkuvaiheessa tulee myös sopia tilaajan kanssa lähtötietojen hankinnasta esimerkiksi rakennusvalvonnan sähköisestä arkistosta.

5.2 Aistinvarainen tutkiminen

Aistinvarainen tutkiminen toteutetaan asuinrakennuksessa huoneistoissa, yleisissä tiloissa sekä ilmanvaihdon konehuoneessa tai ilmanvaihdon keskusosien sijaitsemassa paikassa ja valvomossa. On huomioitavaa, että tutkimuskohteet ovat yksilökohtaisia ja näin ollen rakennuksessa tehtävät huomiot voivat poiketa rakennusten välillä.

Aistinvaraisissa tutkimuksissa kannattaa vanhoissa rakennuksissa kiinnittää huomiota korvaus- ja siirtoilmareitteihin. Erityisesti korvausilmareitit ovat usein puutteellisia. Painovoimaisen- ja

koneellisen poistoilmanvaihdon yhteydessä olevien korvausilmaventtiilien suodattimet tulee myös tarkastaa.

Kanaviston puhtauden arviointi tehdään pääosin aistinvaraisesti. Pölykertymän arviointiin on olemassa ohjekortteja, joiden avulla voidaan arvioida kanavien puhtautta. Ohjekorttina voidaan käyttää esim. RT-korttia LVI 39-10409. Vuoden 2008 sisäilmastoluokitus suosittelee kanavien puhtauden tarkastusta viiden vuoden välein. Kanaviston puhtauden arviointi on hyvä tehdä ilmanvaihdon kuntotutkimuksen yhteydessä seuraavan kanaviston puhdistuksen ajankohdan määrittämiseksi (Sisäilmayhdistys 2008).

Aistinvaraisissa tutkimuksissa tulee myös kiinnittää huomiota ilmanvaihdosta aiheutuvaan meluun. Mikäli melu on huomattavan voimakasta, tulee se mitata. Asumisterveysasetus ja rakennusmääräykset antavat ohjearvoja sallituille keskimääräiselle - ja maksimiäänitasolle.

Kohdekierroksen aikana tulee myös kirjata ylös mahdollisimman tarkkaan tutkimuksen kohteena olevan rakennuksen ilmanvaihtolaitteiden tyypit, mallit ja iät. Kyseisillä lähtötiedoilla saadaan arvioitua laitteiden jäljellä olevaa teknistä käyttöikää muiden havaintojen ohella.

Seuraavassa on listattu aistinvaraisesti tarkistettavia asioita.

Huoneistot ja yleiset tilat

- Ilman raikkaus tai tunkkaisuus
- Esiintyykö vetoa
- Esiintyykö meteliä
- Päätelaitteiden puhtaus
- Vastaako ilmanvaihto tilan käyttötarkoitusta
- Kanaviston puhtaus
- Korvausilmaventtiileiden sijoitus ja riittävyys
- Korvausilmaventtiileiden suodattimien puhtaus
- Siirtoilmaventtiileiden sijoitus ja riittävyys

Ilmanvaihdon konehuone ja valvomo

- Ilmanvaihtokoneiden käyntiajat
- Tuloilman lämpötilat
- Suodattimen puhtaus
- Vikahistoria
- Ilmanvaihtokoneiden ulkoasu
- Näkyvät neste- ja ilmavuodot
- Kanaviston puhtaus
- Säätolaitteiden toiminta

Tehdyt huomiot kirjataan ylös ja esitetään raportissa. Ilmanvaihdon tutkimuksen raporttimalli on tämän opinnäytetyön liitteenä 1.

(Korkkala 2009) (SuLVI 2016)

5.3 Hormikuvaukset ja savukokeet

Etenkin vanhoissa asuinrakennuksissa kanavistot ovat usein rakenneaineisia eikä niiden kunnosta voida varmistua ilman sisäpuolista kuvausta. Kuvaus voidaan yleensä suorittaa hormien yläpäästä ja/tai puhdistusluukuista. Jos rakennukseen on tulossa laaja korjaus esim. putkiremontti, suositellaan kaikki hormit kuvattavan. On huomioitavaa, että vaikka kaikki hormit kuvataan, ovat kuvausten kustannukset asuinkeuhkoalossa suhteellisesti erittäin pienet esim. putkiremontin toteutukseen verrattuna.

Kuvauksien tulokset analysoidaan ja niistä tehdään kuvausmuistiot sekä hormikartat. Kuvausmuistioiden perusteella voidaan hormoneille määrittää tarvittavat toimenpiteet ja niitä voidaan hyödyntää toteutussuunnittelussa.

Hormikuvauksien yhteydessä on hyvä tehdä ilmanvaihtohormeille savukokeet, joilla selvitetään kunkin hormin toiminta-alue. Lopputuloksena on hormikartta, josta selviää mahdollisesti yhdistetyt hormit ja puutteellisesti toimivat hormit. Hormikuvauksien yhteydessä selviää myös vapaat hormit, joiden hyödyntämistä voidaan harkita esim. vesijohtojen sijoittamiseen putkiremontin yhteydessä.

6 MITTAUKSET

Seuraavissa kappaleissa on keskitytty erityisesti sisäilmasta nykyteknologialla helposti mitattaviin indikaattoreihin. Mittausten valinnassa on myös otettu huomioon niiden käytettävyys ja niistä saatavan informaation käytettävyydestä tutkimuksen keskittyessä ilmanvaihdon toiminnan tutkimiseen. Sisäilmasta voidaan mitata montaa eri pitoisuutta, mutta monet indikaattorit kertovat enemmän rakenteiden ja olosuhteiden terveydestä kuin ilmanvaihdon toiminnasta.

6.1 Hiilidioksidi

Tässä työssä on korostettu hiilidioksidipitoisuusmittauksen käyttöä ilmanvaihdon tutkimuksessa. Hiilidioksidipitoisuus kertoo paljon sisäilmassa esiintyvien epäpuhtauksien kuormasta ja se on yksi harvoista sisäilman epäpuhtauksista, joiden enimmäispitoisuudesta on tehty Suomessa viranomaispäätös. Kyseistä pitoisuutta voidaan myös pitää yhtenä ilmanvaihdon toiminnan indikaattorina, koska sen suuret pitoisuudet usein johtuvat vähäisestä ilmanvaihdosta suhteutettuna tilaan tulevaan hiilidioksidikuormaan. Toinen merkittävä syy, miksi tässä opinnäytetyössä keskitytään hiilidioksidipitoisuuteen, on sen helppo mittaus kertaluontoisena ja seurantamittauksena. Hiilidioksidimittaus suositellaan tehtävän aina seurantamittauksena, jolloin mittausarvojen vaihteluista saadaan selkeämpi kuva kuin kertaluontoisella mittauksella. (Seuri 2010) (Sisäilmayhdistys 2011)

Hiilidioksidipitoisuuden ollessa mitattavissa helposti ja suhteellisen edullisesti on se tässä työssä nostettu mahdolliseksi ilmanvaihdon toimivuuden indikaattoriksi. Huoneistoissa tehtävät ilmavirtamittaukset eivät usein kerro tilojen todellisen ilmanvaihdon toimivuudesta ja huoneilman huuhtoutuvuudesta. Lisäksi painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilmavirtojen mittaustulokset ovat voimakkaasti riippuvaisia vallitsevista sääolosuhteista, jolloin mittausten antaman informaation käytettävyys on vähäistä. Hiilidioksidilähteet ovat ihmis- ja ympäristöperäisiä eikä mittausarvot näin ole selkeästi riippuvaisia rakenteiden aiheuttamista emissioista. Kyseistä asiaa voidaan pitää hyvänä nimenomaan ilmanvaihdon kuntotutkimuksessa, tutkimuksen keskittyessä ilmanvaihdon toimintaan eikä pääasiallisena tavoitteena ole tutkia ilmanlaatua. Asumisterveisasetuksessa hiilidioksidipitoisuuden toimenpiderajaksi on annettu 1150 ppm. (STM 2016)

6.2 Kosteus

Kosteuden mittaaminen on huomioitu tässä työssä ilmanvaihdon yhden päätavoitteen ollessa pitää kosteusolosuhteet mahdollisimman hyvinä sitä palvelevassa tilassa. Tässä opinnäytetyössä on keskitytty asuinrakennuksiin, joissa on useita merkittäviä kosteuskuormien lähteitä. Asuinhuoneistojen kosteuslähteiden hallitseminen on hyvin toteutettavissa oikein toimivalla ilmanvaihdolla. Asuinhuoneistojen suurimmat kosteuslähteet ovat peseytymistilat ja ruuanlaittoon tarkoitettut tilat unohtamatta kasveja ja ihmiskuormia. Kosteutta mitattaessa onkin keskityttävä kyseisten tilojen ilmanvaihdon toiminnan tarkkailemiseen ja kosteuskuormien poiston tehokkuuteen.

Liian kostea sisäilma aiheuttaa terveyshaitan sisäilmaan usein välillisesti. Erityisesti korkeat paikalliset kosteudet voivat aiheuttaa vahinkoa rakenteisiin, mikä voi johtaa mm. mikrobikasvustoon. Liian kostea sisäilma nostaa myös rakenteiden emissioita ja voi aiheuttaa lisääntyviä määriä orgaanisia yhdisteitä sisäilmaan.

(Seuri 2010)

Pohjoismaisissa olosuhteissa ongelmaksi nousee myös ilman kuivuus. Kylmän ulkoilman lämmetessä huoneistojen tavoitelämpötiloihin sen suhteellinen kosteus laskee erittäin alhaiseksi ja voi aiheuttaa esimerkiksi ihon, limakalvojen ja hengitysteiden oireita. Asuinrakennuksien ilman kostutusta ei kuitenkaan usein järjestetä keskitetysti ilmanvaihdon kautta ja näin ollen käyttäjakohtaisten erityisvaatimusten toteuttaminen voidaan toteuttaa hallitusti esim. huonekoh-
taisella kostuttimella.

6.3 Lämpötila ja vetoisuus

Lämpötilaolosuhteet vaikuttavat merkittävästi sisäilmaolosuhteisiin. Ilmanvaihdon yhtenä tehtävänä on poistaa lämpökuormia, mistä johtuen lämpötilaolosuhteet tulee huomioida ilmanvaihdon tutkimuksen yhteydessä. Ihmisen lämpötilaolosuhteiden aistiminen koostuu ilman virtauksesta eli vedosta sekä operatiivisesta lämpötilasta. Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa, jonka ihminen aistii sisäilman lämpötilan sekä pinnoista säteilevän lämpötilan yhtälöstä.

Tässä työssä on lämpötilan mittauksen ohjeena käytetty suoraan sisäilmaoppaan esittämää lämpötilan kaksivaiheista mittausta. Mittaukset suositellaan tekemään kahdessa asuinrakennuksen tilassa, jotka ovat tyypillisesti päätyhuoneistoja tai muita lämpötilaolosuhteiltaan haasteellisia tiloja. Mittauksen ensimmäisessä vaiheessa mitataan huoneilman kuivalämpötilaa sekä havainnoidaan ilman virtauksia. Mikäli huoneilman lämpötila on vähintään 20 °C oleskeluvyöhykkeellä ja tilassa ei havaita aistinvaraisesti vetoisia kohtia, ei lämpötilaolosuhdemittauksia tarvitse jatkaa.

Toinen mittausvaihe tulee kyseeseen, jos huoneilman kuivalämpötila oleskeluvyöhykkeellä on 18–20 °C tai tilassa havaitaan vetoa. Kyseisessä tilanteessa tilasta mitataan operatiivinen lämpötila ja tuloksia verrataan asumisterveysohjeen antamiin arvoihin. Mikäli tulokset osoittavat arvoja, jotka vaativat toimenpiteitä tulee olosuhteiden aiheuttajan syy selvittää ja mahdollisesti toteuttaa tarvittavia korjauksia. On huomioitavaa että kyseiset mittaukset tulee tehdä rakennuksessa vakiintuneissa olosuhteissa eikä huoneistoa tule tuulettaa ennen mittauksia. (STM 2008)

6.4 Painesuhteet

Painesuhteiden mittaus asuinrakennuksissa painottuu erityisesti paine-erojen mittaamiseen ulkovaipan yli sekä likaisten tilojen ja oleskelutilojen välillä. Asuinrakennuksissa likaisten tilojen mittaus painottuu wc-, pesu- ja keittiötiloista oleskeluhuoneiden puolelle. Kyseisissä paikoissa on suuri riski, että painesuhteiden ollessa väärät kulkeutuu epäpuhtauksia puhtaisiin oleskelutiloihin, jotka aiheuttavat asumisterveydellisiä- ja viihtyvyydellisiä haittoja. Painesuhteiden mittauksen yhteydessä on hyvä tehdä havaintoja siirto- ja korvausilmareittien toimivuudesta ja riittävästä koosta. Painesuhteiden mittauksissa tulee myös ymmärtää rakenneteknisistä asioista ja huomioida erityisesti ylä- ja alapohjan haluttujen paine-erojen suunta. Esimerkkinä oleskelu- tai käytävätiloja usein pyritään pitämään alipaineisena, mutta kyseisten tilojen alapuolella sijaitsevaa alapohjaa voidaan kuitenkin pyrkiä pitämään alipaineisena suhteessa ylempiin tiloihin.

6.5 Ilmavirrat

Asuinrakennuksissa ilmavirtoja mittaamalla saadaan nopeasti käsitys ilmanvaihtojärjestelmän nykyisestä toiminnasta verrattuna suunniteltuun. Mikäli lähtötietoja on riittävästi ja niistä selviää suunnitellut ilmavirrat, tulee mittaustuloksia verrata ensisijaisesti suunniteltuihin arvoihin.

Mittaamalla ilmavirrat kaikista huoneiston pääte-elimistä, saadaan myös suuntaa antava käsitys huoneiden välisistä painesuhteista.

Ilmanvaihdon tutkimuksia tehdessä lähtötiedot ovat usein puutteelliset eikä suunniteltuja ilmavirtoja ole tiedossa. Asumisterveysasetuksen mukaan ulkoilmavirran tulee lähtökohtaisesti olla minimissään $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ per lattianeliö. Kyseisestä arvosta voidaan poiketa, mikäli voidaan varmistua, että epäpuhtaus- ja kosteuskuorma ei kasva liian suureksi. Kyseinen arvo on kuitenkin asuinrakennuksissa hyvä vertailukohta mitä ilmavirtojen tulisi olla minimissään, mikäli suunniteltuja arvoja ei ole. (STM 2016)

Ilmavirtoja mitattaessa on hyvä muistaa, että kyseiset mittaukset eivät ole luotettavia painovoimaisessa ilmanvaihdossa sen ollessa riippuvainen vallitsevista sääolosuhteista. Kyseisen järjestelmän tutkiminen kannattaakin toteuttaa eri mittauskeinoilla. Ilmavirtamittauksiin liittyy myös huomattavaa epätarkkuutta ja mittauksien epätarkkuus voi pahimmillaan aiheuttaa vääriä johtopäätöksiä ilmavirtojen suunnista tilojen välillä.

7 TUTKIMUSLAAJUUDEN SELVITYS

Ilmanvaihdon tutkimuslaajuus on aina rakennuskohtainen eikä sama mittaus- ja tarkastusmäärä sovellu kaikkiin kohteisiin. Tutkimuslaajuuteen vaikuttavia tekijöitä on mm. rakennuksen ilmanvaihdon tyyppi, kanavien rakenne sekä rakennuksen pohjaratkaisu. Tutkimuslaajuuden selvittäminen vaatii aina asiantuntijan perehtymistä kohteeseen eikä tutkimuslaajuudelle voida näin ollen antaa yhtä selkeää tarkastusmäärää samalla lailla kuin esimerkiksi kuntoarvio-ohje antaa kyseiselle tutkimukselle.

7.1 Huoneistotarkastukset ja mittaukset

Tässä opinnäytetyössä suositellaan asuinkerrostalojen huoneistotarkastusten lukumääräksi 10–20 % rakennuksen asuinhuoneistoista. Myös rakennuksen yleisistä tiloista suositellaan tarkastamaan vähintään 10-20%. Kyseiset huoneistotarkastuksen sisältävät sekä aistinvaraiset tutkimukset että ilmavirta- ja hiilidioksidimittaukset. Tutkimuslaajuuteen tulisi kuitenkin sisältyä tutkimuskohteita jokaisesta porrashuoneesta tai muuten poikkeavasta tilasta.

Huoneistotarkastuksien kohteiden valinnassa tulee tiloja valita aina rakennuksen eri kerroksista. Ilmanvaihdon toimintaan vaikuttaa merkittävästi tilan korkeusasema verrattuna muihin rakennuksen tiloihin. Tilan korkeusasema vaikuttaa painesuhteisiin erityisesti painovoimaisessa ilmanvaihdossa, mutta vaikutus voi olla havaittavissa myös koneellisessa ilmanvaihdossa. Ennen huoneistotarkastuksia suositellaan tarkastamaan kaikki ilmanvaihtokoneet, jotta niiden poikkeavuudet voidaan ottaa huomioon myöhemmin tilojen tarkastuksissa.

7.2 Hormikuvaukset ja savukokeet

Hormikuvauksiin ja savukokeisiin vaikuttaa merkittävästi rakennuksen ilmanvaihtohormien tyyppi sekä lähtötietojen laajuus. Rakennuksen ilmanvaihtohormien ollessa rakenneaineisia voidaan olettaa, että hormit tulee kuvata kokonaisuudessaan mahdollisten vaurioiden selvittämiseksi. Tutkimuksessa on hyvä hyödyntää savukokeita, joilla selvitetään jokaisen hormin toimivuus ja kartoitetaan hormien reitit sekä palvelualueet ja mahdolliset huoneistojen yhteiset hormit.

Rakennuksen ilmanvaihtokanavien ollessa peltikanavia ei yleensä yhtä laajaa kuvausta tarvita. Peltikanavistoissa saattaa etenkin vanhoissa rakennuksissa kuitenkin ilmetä selviä puutteita ja näin ollen ilmanvaihtojärjestelmän kuntotutkijan tulee osata kohdistaa kyseisiin kohtiin pistokoemaisia kuvauksia. Kyseisiä epäkohtia peltikanavissa voi olla kanavien ja koneiden liittokohdat vesikatolla tai jos peltisen kanavan ympärille on tehty paikallisvalu. Mikäli lähtötiedoista ei selviä kaikkien hormien reittejä ja rakennetta, suositellaan niille tekemään myös kokonaisuudessaan savukokeet.

8 ILMANVAIHDON TUTKIMUKSEN HYÖDYNTÄMINEN

Ilmanvaihdon tutkimuksen yhtenä lähtökohtana tulee olla tutkimuksen ja raportoinnin todellinen käytettävyys jatkotoimenpiteissä. Tutkimuksen tilaukselle voi olla hyvin erilaisia tavoitteita, jotka tulee ottaa huomioon tutkimustapojen valinnassa.

Ilmanvaihdon toiminnan tutkimus voidaan tilata mm. asuinrakennuksen muun hankkeen kuten putkiremontin suunnittelun yhteydessä. Kyseisessä tilanteessa tulee ottaa huomioon erityisesti ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan turvaaminen pitkäksi aikaa sekä ilmanvaihtoon liittyvien ongelmien ratkaisu saneerauksen yhteydessä. Tutkimuksessa on hyvä tuoda selkeästi esille, mikäli ilmanvaihto tarvitsee laajaa korjausta, koska ilmanvaihdon peruskorjaukseen ryhtyminen voi olla erittäin haastavaa omana projektinaan. Tästä johtuen olisi ilmanvaihdon tutkimuksen yhteyteen hyvä liittää PTS ilmanvaihdon todellisen korjaustarpeen kuvaamiseksi. Toinen vaihtoehto on laatia ilmanvaihdon yleinen huoltosuunnitelma, josta ilmenee myös käyttäjien tehtävänä olevat toimenpiteet.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ilmanvaihdon toiminnan tutkimiseen liittyviä asioita sekä laatia raporttimallipohja kyseiselle tutkimukselle. Tavoitteet täyttyivät ja opinnäytetyön yhteydessä laadittua ilmanvaihdon kuntotutkimusaineistoa on tarkoitus alkaa käyttämään lähitulevaisuudessa. Voidaan olettaa, että käytäntö tulee osoittamaan kyseisen raporttipohjan sekä muiden tutkimukseen liittyvien dokumenttien soveltuvuuden.

Ilmanvaihdon tutkimisen keinoja arvioitaessa ilmavirtamittaukset sekä hiilidioksidipitoisuusseurantamittaus osoittautuivat informatiivisesti merkittävimmiksi mittauksiksi. Kyseisillä mittauksilla saadaan ilmanvaihdon yleisestä toiminnasta hyvä kuva ja mittausarvoja voidaan verrata ohjekirjallisuuden arvoihin.

Opinnäytetyöprosessin aikana tehtyjen havaintojen perusteella korvausilmareittien sekä hormien toimivuus merkitys nousee merkittäväksi etenkin vanhemmissa asuinrakennuksissa. Edellä mainittujen asioiden toimivuus on edellytys ilmanvaihdon toimimiselle ja ne ovat usein puutteellisia.

Korjaushankkeiden yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella ilmanvaihdon tutkimukset ovat usein puutteellisia. Asuinrakennusten päätöksentekijöiden tulisi saada nykyistä parempaa pohjatietoa korjaushankkeita päätettäessä. Opinnäytetyön yhteydessä laaditussa tutkimusmallissa sisällytettiin raporttiin mitattavia indikaattoreita, joita voidaan verrata ohjekirjallisuuteen ja säädöksiin. Täten päätöksentekijöille saadaan tutkimusraportti, jonka avulla voidaan perustella usein lisäkuluksi miellettyä ilmanvaihdon parannusta tai -korjausta.

LÄHTEET

Claude-Alain, R. 2008. Ventilation and airflow in buildings.

Jaakkola, T. 2010. Energiatehokas asuinkerrostalojen talotekniikkakorjaus.

Korhonen, H. 2003. Hyvä sisäilma.

Korkala, T. 2009. Ilmastointi – Hoito ja huolto.

Lahtinen M. 2006. Sisäilman hyväksi.

Marin, I. 2014. Ilmastointijärjestelmien kuntotutkimusohje.

Rehva. 2002. Displacement ventilation in non-industrial premises.

Ruotsalainen R. 1997. Sisäilmaston kuntotutkimus.

Sandberg, E. 2014. Ilmastointitekniikka osa 1.

Seuri, M. 2000. Haasteellinen sisäilma.

Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto.

Sisäilmayhdistys. 2008. Sisäilmastoluokitus.

Sisäilmayhdistys. 2008. Terveelliset tilat. Luettu 3.5.2016.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhautudet>

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2014. Asumisterveysasetus. Luettu 12.4.2016.

<http://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/>

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje. Luettu 12.4.2016.

http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf

SuLVI. IV-kuntotutkimushanke. Luettu 12.4.2016. <http://www.sulvi.fi/ajankohtaista/projektit/iv-kuntotutkimushanke/>

LIITTEET

Opinnäytetyön liitteet ovat salaisia.