

Kaisa Moilanen

IVA-järjestelmäselvitysten projektitoiminnan kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriyö

26.4.2019

Tekijä Otsikko	Kaisa Moilanen IVA-järjestelmäselvitysten projektitoiminnan kehittäminen
Sivumäärä Aika	84 sivua + 2 liitettä 26.4.2019
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	osastopäällikkö Olli Kärkkäinen yliopettaja Aki Valkeapää
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon historiaa ja nykyhetkeä, rakentamisen määräyksiä (ilmanvaihto) sekä sisäilmastoluokituksia eri aikakausilta. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toimintaan ja korkeiden tilojen ilmanvaihtoon liittyviä haasteita haastatteleamalla eri laitevalmistajien edustajia. Laitevalmistajat valittiin Sitowise Oy:ssä suoritettujen IVA-järjestelmäselvitysten ja kohteisiin asennettujen laitteiden (IMS-pellit ja päätelaitteet) valmistajien perusteella.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Sitowise Oy:n käyttöön ilmanvaihdon mittauspöytäkirja, jota voidaan käyttää IVA-järjestelmäselvityksissä sekä ilmanvaihdon kuntotutkimuksissa. Opinnäytetyössä käsiteltiin Sitowisessä aiemmin suoritettuja IVA-järjestelmäselvityksiä case-tutkimuksena, jonka pohjalta mietittiin projektitoiminnan kehittämisen tarpeita. Opinnäytetyön avulla saatiin uusia ajatuksia toiminnan kehittämiseksi, joita toteutetaan myöhemmin erilaisina kehitystehtävinä.</p> <p>Ilmanvaihdon määräysten osalta havaittiin, että mitoitusilmavirtojen ohjeistuksissa ovat koulurakennusten osalta muuttuneet vain vähän. Uudemmissa määräyksissä on painotettu ilmanvaihdon tarpeenmukaisuutta. Uudessa ympäristöministeriön asetuksessa ilmavirtojen mitoitusta koskevista määräyksistä on pääosin luovuttu. Sisäilmastoluokitus 2018 otettiin käyttöön opinnäytetyön tekemisen aikana. Sisäilmastoluokituksessa merkittävimmät muutokset koskivat tiettyjen tilatyypin ilmavirtojen mitoitusohjeita sekä operatiivista lämpötilaa.</p> <p>Tarpeenmukaiselle ilmanvaihtojärjestelmälle on tarvetta kiristyvien energiatehokkuusvaatimusten myötä. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tekniikkaa on kehitetty vuosien saatossa ja kehitystyö jatkuu edelleen. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toiminnassa korostuu rakennusautomaatiojärjestelmän ja ilmanjaon oikea toiminta sekä oikea mitoitus.</p> <p>Haastattelujen avulla saatiin olemassa olleen tiedon tueksi paljon tietoa, jonka pohjalta toimintaa voidaan edelleen kehittää ja löytää ratkaisuja tutkittavien kohteiden ongelmien ratkaisemiseksi. Haastattelujen perusteella havaittiin, että yhteistyötä eri tahojen välillä voisi kehittää ja sillä olisi onnistuneen lopputuloksen saamiseksi olennainen merkitys.</p>	
Avainsanat	tarpeenmukainen ilmanvaihto, IMS, sisäilmastoluokka, hiilidioksidi, lämpötila, IVA-järjestelmäselvitys, rakennusautomaatio, rakennusautomaatiojärjestelmä

Author Title	Kaisa Moilanen Development of Ventilation and Building Automation Inspections
Number of Pages Date	84 pages + 2 appendices 24 April 2019
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Olli Kärkkäinen, Department Manager Aki Valkeapää, Principal Lecturer
<p>The purpose of this master's thesis was to study the history and present of three topics: demand-controlled ventilation, the Finish Indoor Air Classification, and the regulations for air conditioning and ventilation. A major goal was to figure out reasons for common problems with demand-controlled ventilation. Furthermore, the final year project aimed at developing a report template for the airflow measurements of condition surveys of ventilation and air conditioning.</p> <p>To reach the goals of the final year project, interviews were conducted with representatives for product manufacturers, and earlier ventilation condition surveys were used as cases to study.</p> <p>The thesis found only minor changes in the laws and regulations for air conditioning and ventilation for school buildings from year to year. The latest decree had mostly eliminated specific airflow demands, and there were major changes in the demands for the airflow and operative temperatures in the Indoor Air Classification.</p> <p>It was established that demand-controlled ventilation is still necessary because of the high demands in the energy saving regulations. The thesis offers also several ideas for how to improve the company operations in the future. It is clear that co-operation with manufacturers, designers and inspectors is both necessary and useful.</p>	
Keywords	demand-controlled ventilation, air conditioning and ventilation, regulations, laws, school buildings, building automation, building automation system, carbon dioxide, temperature

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	5
2	Ilmanvaihtoa koskevat määräykset, asetukset ja ohjeet	7
2.1	Ympäristöministeriön asetus 1009/2017	8
2.2	FINVAC ry:n oppaat	9
2.3	Sisäilmastoluokitus 2018	13
2.4	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2	20
3	Ilmanvaihdon merkitys sisäilmaan ja rakennusten terveyteen	23
3.1	Sisäilman vaikutus terveyteen	24
3.2	Ilmanvaihdon merkitys sisäilman laatuun	25
4	Tarpeenmukainen ilmanvaihto	29
4.1	Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon historia ja nykyhetki	29
4.2	Tarpeenmukainen ilmanvaihdon muuntojoustavuus	31
4.3	Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjausperusteet ja automaatio	32
4.4	Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ratkaisuvaihtoehtoja	36
5	IMS-järjestelmä koulurakennuksissa	39
5.1	Koulurakennusten ilmanvaihtoon liittyviä haasteita	40
5.2	Järjestelmän toimintaan ja ylläpitoon liittyviä näkökohtia koulurakennuksissa	41
6	Laitevalmistajien kokemuksia koulurakennusten ilmanvaihdosta	43
6.1	Ilmanvaihtokoneisiin liittyvät kokemukset	44
6.2	Ilmanjakoon liittyvät kokemukset	46
6.3	Säätölaitteisiin ja IMS-pelteihin liittyvät kokemukset	47
7	Kenttätutkimukset projektitoiminnassa	52
7.1	Käytetyt mittauslaitteet ja -menetelmät	52
7.1.1	Monitoimimittalaite Accubalance 8380	53
7.1.2	Olosuhdemittari Rotronic CP11	54

7.2	Savukokeet tutkittavissa tiloissa	55
7.3	Ilmavirtamittaukset	56
7.4	Laitevalmistajien valintaohjelmat	57
8	Toiminnan kehittäminen projektitoiminnassa	63
8.1	Kenttätutkimukset	63
8.2	Ilmanvaihtojärjestelmistä tehdyt havainnot	65
8.3	Rakennusautomaatiojärjestelmästä tehdyt havainnot	68
8.4	Tehtyjen projektien ja raportoinnin arviointi	69
8.5	Tutkimuksissa huomioitavat asiat tulevaisuudessa	71
9	Mittauspöytäkirjojen kehittäminen	75
10	Johtopäätökset	78
10.1	Tarpeenmukainen ilmanvaihto	78
10.2	Laitevalmistajien valintaohjelmien soveltuvuus ja luotettavuus	80
10.3	Haastattelujen tulokset	80
10.4	Aiemmin tehtyjen projektien tulokset	81
10.5	Mittauspöytäkirjan kehitystyön tulokset	83
	Lähteet	85
	Liitteet	
	Liite 1. Haastattelujen rungot	
	Liite 2. Mittauspöytäkirjapohjat 1-4	

Lyhenteet ja käsitteet

asetusarvo	Lukuarvo, jota käytetään rakennusautomaatiossa. Voidaan asettaa esimerkiksi lämpötilalle tai paineelle, riippuen mitattavasta suureesta. Määritellään usein rakennusautomaatiosuunnitelmissa LVI-suunnitelmien perusteella.
avauma	Poisto- ja tuloilmaventtiilien säätöasennosta käytetty termi. Mitataan rakotukilla päätelaitteesta.
CO ₂	<i>Carbon Oxide</i> . Hiilidioksidin kemiallinen merkki.
DCV	<i>Demand Controlled Ventilation</i> . Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon lyhenne englanniksi.
hlö	<i>Henkilö</i> . Yleisesti käytetty lyhenne.
IMS	<i>Ilmamääräsäädin</i> . Säätopellistä käytetty lyhenne tarpeenmukaisen ilmanvaihdon pelleissä, joita ohjataan toimilaitteilla.
IV	<i>Ilmanvaihto</i> . Yleisesti käytetty lyhenne.
IVA	<i>Ilmanvaihto ja automaatio</i> . Tässä opinnäytetyössä käytetty lyhenne.
k	<i>Korjaus-kerroin</i> . Käytetään ilmamäärän laskennassa. Saadaan päätelaitteita ja säätöpeltejä valmistavien yritysten mittaus- ja säätöoppaista, kun tiedetään mitattavan laitteen säätöasento tai avauma.
LTO	<i>Lämmöntalteenotto</i> . Yleisesti käytetty lyhenne Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D4 (1979).
n	Ilmanvaihtokerroin, kertaa tunnissa. Ilman vaihtuvuutta kuvaava yksikkö, joka saadaan laskettua tilan ja/tai rakennuksen tilavuudesta, riippuen kumpaa käsitellään, 1/h
ppm	<i>Parts per million</i> . Hiilidioksidin määrää kuvaava yksikkö.

- QE *Quality Element*. Ilman laatua mittaava anturi (esimerkiksi hiilidioksidi-anturi) rakennuautomaatiossa.
- Δp_m *Paine-ero*. Käytetään ilmavirtalaskennassa k:n kanssa, kun mittaus on suoritettu painemittauksella. Paine-ero yleisesti.
- TE *Temperature Element*. Lämpötilaa mittaava anturi rakennusautomaatiossa.
- VAK *Valvonta-alakeskus*. Käytetään rakennusautomaatiossa. Asennetaan usein ilmanvaihtokonehuoneeseen tai lämmönjakohuoneeseen.
- VAV *Variable Air Volume*. Muuttuvailmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aihe on lähtenyt työelämän tarpeista. Ilmanvaihdon kuntotutkijan (IV-kuntotutkija) työtehtävien yhteydessä suoritettavien kenttätutkimusten yhteydessä on havaittu usein puutteita sisäilman laadussa. Sisäilman laadun puutteiden yhteydessä epäillään usein, että ilmanvaihto ei toimi oikein. Ilmanvaihdon osalta puutteita havaitaan useimmiten ilman sekoittumisessa ja ilmavirroissa. Koulurakennuksissa puutteellinen sisäilman laatu on aiheuttanut tyytymättömyyttä tilojen käyttäjissä. Puutteellinen ilman laatu on vaikuttanut viihtyvyyteen tiloissa sekä mahdolliseen sisäilmaan viittaavaan oireiluun tiloissa oleskelun aikana. Ilman sekoittumista on kuntotutkimusten yhteydessä selvitetty pääosin savukokeiden avulla. Muina mittauksina ilmanvaihdon kuntotutkimuksissa on suoritettu ilmavirtamittausten ja sisäilman olosuhteiden seurantamittauksia (hiilidioksidipitoisuus, suhteellinen kosteus ja lämpötila).

Opinnäytetyöhön valittiin rakennustyyppiä koulurakennukset. Edellä mainittu rakennustyyppi valittiin opinnäytetyön tutkimuskohteeksi, sillä niihin suoritetaan ilmanvaihtojärjestelmien kuntotutkimuksia toistuvasti ja aiemmin tehdyt ilmanvaihto- ja automaatiojärjestelmäselvitykset (IVA-järjestelmäselvitykset) ovat kohdistuneet koulurakennuksiin. Opinnäytetyön rajaus tehtiin siten, että tehtävässä työssä käsitellään vuosina 2005–2017 rakennettuja tai peruskorjattuja kohteita, joissa on tarpeenmukainen ilmanvaihto.

Nykytilanteen ongelmat liittyvät koulurakennuksissa moniin eri tekijöihin. Oman haasteensa ilmanvaihtojärjestelmien toimintaan tuo tarpeenmukainen ilmanvaihto ja siinä käytetty tekniikka. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla pyritään luomaan hyvät olosuhteet ja keskittämään ilmanvaihto niihin tiloihin, jossa sitä kulloinkin tarvitaan. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla on pyritty kyseisessä rakennustyyppissä säästämään energiaa suhteessa vakioilmavirtaiseen ilmanvaihtojärjestelmään, joka vaihtaa saman määrän ilmaa kaikissa tilanteissa tilojen käyttöasteesta huolimatta. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat koulurakennusten korkeiden tilojen ilmanvaihdon toimintaan, mitkä ovat tällä hetkellä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toiminnan merkittävimmät puutteet ja miten ongelmia voitaisiin välttää jatkossa.

Työstä rajataan pois ilmanjaon tutkiminen päätelaitteita vaihtamalla. Kyseinen toteutus-tapa on vaikea toteuttaa kustannussyistä ja olemassa olevien ilmanvaihtojärjestelmien joustamattomuuteen liittyvistä tekijöistä johtuen. Näiden lisäksi työstä rajataan pois mahdollisten muiden aktiivisten sisäilmaongelmien aiheuttajien tekijöiden selvittäminen ja

paine-eromittausten suorittaminen tiloissa sekä tilat, joissa päätelaitteet on sijoitettu niin korkealle, ettei niihin päästä käsiksi kuin henkilönostimen avulla. Edellä mainitun korkeuden omaavia tiloja ovat muun muassa liikuntasalit ja auditoriot. Näiden tilatyypin henkilökuormitus poikkeaa merkittävästi koulurakennusten opetustilojen henkilökuormituksesta ja käyttöasteesta.

Opinnäytetyössä käsitellään ensisijaisesti korkeiden tilojen ilmanvaihtoa kohteissa, joissa on tarpeenmukainen ilmanvaihto. Korkea tila voi olla esimerkiksi koulurakennuksen luokkatila. Edellä mainitussa tilatyypissä on usein vaihtelevat käyttöajat ja henkilökuormitukset sekä ilmavirtamitoituksen ohjeistukset.

Korkeiden tilojen määritelmä tässä opinnäytetyössä on seuraava:

- Tutkitun tilan korkeus poikkeaa normaalista huonekorkeudesta (2500 mm).
- Tutkitun tilan päätelaitteisiin päästään käsiksi tikkailta käsin (A-tikkaat), eikä henkilönostinta tarvita.
- Tutkimustulokset tulee olla vertailukelpoisia keskenään.

Toiminnan kehittämisen tarkoituksena on pohtia, miten voitaisiin suorittaa asiakirjojen laadinta johdonmukaisesti saavuttaen laadukas ja selkeä, tilaajaa mahdollisimman hyvin palveleva lopputulos. IVA-järjestelmäselvityksestä syntyy raportti, jossa on esitetty tutkimusten yhteydessä tehdyt havainnot ja puutteet, johtopäätökset mistä edellä mainitut tekijät johtuvat sekä toimenpide-ehdotukset ja mahdolliset jatkotutkimustarpeet. Projektit päättyvät usein silloin, kun tutkimusraportti on esitelty tilaajalle ja käyttäjille. Tilaajan vaa- tiessa raportti lisätään sähköiseen huoltokirja-järjestelmään.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Sitowise Oy:n TATE tutkimukset ja suunnittelu-osaston toimintaa IVA-järjestelmäselvityksissä. Toiminnan kehittäminen käsittää tässä opinnäytetyössä TATE-kuntotutkimusryhmän projekteissa käyttämien mittauspöytäpohjien ja raportoinnin kehittämisen sekä muiden kehitystarpeiden määrittämisen. IVA-järjestelmäselvityksiä on tehty opinnäytetyön kirjoittamisen aikana muutama, minkä vuoksi kaikkien osa-alueiden osalta ei ole vakiintuneita ja selkeitä asiakirjapohjia. Mittauspöytäkirjapohjien kehittämisen tarve liittyy myös muihin projektityyppeihin, mutta tarve korostuu IVA-järjestelmäselvityksissä, joissa on usein enemmän mitattavia ja tarkastettavia kohteita. Nykyisten mittauspöytäkirjapohjien käytön haasteet liittyvät puuttuviin sarakkeisiin (ilman nopeus) ja selkeydessä oleviin puutteisiin.

2 Ilmanvaihtoa koskevat määräykset, asetukset ja ohjeet

Suomessa ilmanvaihdon suunnittelusta ja toteutuksesta on määrätty maankäyttö- ja rakennuslaissa. Ilmanvaihtoon liittyvillä vaatimuksilla on pyritty takaamaan turvalliset ja viihtyisät olosuhteet rakennuksia käyttäville henkilöille. Määräykset on kohdennettu eri rakennustyypeille muun muassa niiden käyttötarkoituksen perusteella.

Ilmanvaihdon suunnitteluun ja toteutukseen liittyvät määräykset muuttuivat merkittävästi, kun Suomen rakentamismääräyskokoelma kumottiin ja korvattiin ympäristöministeriön asetuksilla. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (ilmanvaihto) oli määräyksiä, asetuksia ja ohjeita ilmanvaihdon suunnittelusta ja toteutuksesta. Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 oli määrätty eri rakennustyyppien ja niiden tilojen ilmajen mitoituksista, joiden mukaan suunnittelu ja toteutus tehtiin.

Ilmanvaihdon määräykset muuttuivat edellä mainitun muutoksen myötä merkittävästi, sillä ympäristöministeriön asetukseen on sisällytetty pelkästään määräykset. Ympäristöministeriön asetus ei ota kantaa ilmajen mitoituksien vähimmäisvaatimuksia enempää. Ympäristöministerin asetuksen lisäksi suunnittelun apuna voi käyttää FINVACin laatimia ohjeistuksia ilmajen mitoitukselle, jotka pohjautuvat pääosin kumottuun rakentamismääräyskokoelman osaan D2.

Määräysten ohella ilmanvaihdon suunnittelun ja toteutuksen pohjana on voitu käyttää koko 2000-luvun ajan Sisäilmayhdistyksen julkaisemaa sisäilmastoluokitusta. Sisäilmastoluokituksista on julkaistu aiemmin versiot sisäilmastoluokitus 2000 ja sisäilmastoluokitus 2008. Uusin sisäilmastoluokitus 2018 on julkaistu toukokuussa 2018. Sisäilmastoluokituksen käyttö perustuu vapaaehtoisuuteen. Sisäilmastoluokituksen avulla pyritään parempaan sisäilman laatuun rakennuksissa verrattuna ilmanvaihtoa koskevien määräysten vaatimustasoon. Sisäilmastoluokituksen käyttö ei poista velvoitetta suunnitella ja toteuttaa ilmanvaihtoa siten, että sille asetetut määräykset täyttyvät.

Tässä luvussa käsitellään ilmanvaihtoon liittyviä määräyksiä, asetuksia ja ohjeita opinnäytetyön rajauksen mukaisesti siten, että näitä kaikkia tarkastellaan koulurakennusten näkökulmasta. Tarkastelu tehdään kumotun rakentamismääräyskokoelman osan D2 osalta siltä osin, kuin ne ovat olleet voimassa opinnäytetyössä esitettyjen tutkimuskoh-

teiden peruskorjauksen aikana (2003, 2010 ja 2012). Vastaavalla tavalla käsitellään sisäilmastoluokitus 2008, joka on ollut voimassa tutkimuskohteiden suunnittelun ja toteutuksen aikana (sisäilmastoluokitusta on käytetty mm. IV-suunnittelun pohjana).

2.1 Ympäristöministeriön asetus 1009/2017

Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 astui voimaan vuoden 2018 alusta. Ympäristöministeriön asetuksessa esitetyt kohdat ovat velvoittavia. Asetuksessa 1009/2017 on määrätty rakennusten ilmanvaihtojärjestelmän ulkoilmavirtojen mitoituksesta seuraavaa: ”Oleskelutiloihin on käyttöaikana johdettava terveellisen ja viihtyisän sisäilman laadun takaava ulkoilmavirta.” [Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta, 2017, s. 10.]

Ympäristöministeriön asetuksessa 1009/2017 on määrätty rakennusten ilmanvaihtojärjestelmän ulkoilmavirtojen mitoituksesta seuraavaa:

Erityissuunnittelijan on mitoittettava ilmanvaihtojärjestelmä siten, että oleskelutiloihin voidaan johtaa terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilman laadun edellyttämä ulkoilmavirta. Oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on mitoittettava vähintään 6 dm³/s henkilöä kohti suunniteltuna käyttöaikana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Koko rakennuksen ulkoilmavirraksi on mitoittettava kuitenkin vähintään 0,35 (dm³/s)/m² lattian pinta-alaa kohden suunniteltuna käyttöaikana, jos rakennuksen tilan käyttötarkoituksen erityisluonteesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Asuinhuoneiston ulkoilmavirraksi on mitoittettava vähintään 18 dm³/s. [Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017, s. 4].

FINVAC on laatinut ympäristöministeriön asetuksen tueksi oppaat, joissa on annettu ohjeita eri rakennus- ja tilatyypin ilmavirtojen mitoituksesta. Oppaiden ohjeistukset vastaavat pääosin kumotun Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 määräyksiä. Ympäristöministeriön asetus luo suunnittelijalle vapauksia ilmanvaihdon mitoituksen osalta korostaen suunnittelijan osaamista.

Ympäristöministeriön asetuksessa 1009/2017 on määrätty, että tilojen ilmavirtojen tulee olla ohjattavissa kuormituksen tai ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti [Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. 4; 10.]. Edellä mainitun lisäksi asetuksessa on määrätty seuraavasti:

Muun kuin asuinrakennuksen ulkoilmavirran on oltava vähintään $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s) /m}^2$ lattian pinta-alaa kohden suunnitellun käyttöajan ulkopuolella ja ilman on vaihdettava kaikissa huoneiloissa. Pykälä ei koske sellaista rakennuksen laajennusta eikä kerrosalaan laskettavan tilan lisäämistä, missä ilmanvaihdon järjestämisessä voi käyttää olemassa olevaa ilmanvaihtojärjestelmää, eikä sisäilman laatu heikene rakennuksessa. [Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017, s. 5].

Asetuksessa on esitetty vaatimus rakennuksen painesuhteista ja rakennuksen ilmanpäästä. Vaatimuksella pyritään hallitsemaan sisäilman olosuhteita huomioimalla ilmanvaihdon ohella myös rakennusfysikaalisia tekijöitä ja rakenneteknisten ratkaisujen merkitystä sisäilman laadun kannalta. Edellä mainittu vaatimus käsittää esimerkiksi tapauksen, jossa koulurakennuksen ilmanvaihto tapahtuu lomakausien aikana erillispoistojen kautta. Kyseisen ratkaisun ongelmana on korvausilmareittien puuttuminen, jolloin rakennuksen ilmanvaihto ei toimi hallitusti ja paine-erot muuttuvat usein rakennusfysikaalisesta näkökulmasta epäedulliseen suuntaan. Edellä mainitussa tapauksessa muun muassa rakenteiden liittymien epätiivyyksien kautta on mahdollista päästä epäpuhtauksia sisäilmaan, jotka saattavat vaikuttaa sisäilman laatuun sitä heikentävästi.

2.2 FINVAC ry:n oppaat

Ympäristöministeriön asetuksen rinnalle on julkaistu FINVAC ry:n oppaat ilmanvaihdon mitoituksesta. Oppaat on laadittu erikseen asuinrakennuksille sekä muille kuin asuinrakennuksille. FINVACin oppaat on laadittu kumotun Suomen rakentamiskokoelman osan D2 sekä erillisten selvitysten pohjalta. Ympäristöministeriön hankkeena selvitettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 olevia puutteita osana oppaiden laadintaa. Oppaat on laadittu ympäristöministeriön asetusluonnoksen mukaisesti ja ne korvaavat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 liitteen 1, jossa esitettiin määräykset eri rakennustyypeissä olevien tilatyyppien ilmanvaihdolle (ilmavirrat).

Oppaiden laadinnassa on otettu huomioon uusimpien EU:ssa toteutettujen tutkimusten tulokset, CEN-standardien sisältö ja soveltuvuus sekä muiden Pohjoismaiden säännökset ja ohjeistukset. Näiden lisäksi tietoja kerättiin suunnittelijoilta, rakennuttajilta, käyttäjiltä ja suomalaisista selvityksistä ja suosituksista.

Oppaissa on esitetty eri rakennustyyppien tyypillisimpien tilojen ilmanvaihdon tarve laitemitoituksen ja tilojen käytön kannalta. Lähtökohtana on näiden lisäksi ollut, että tilojen epäpuhtauskuormat ja sisäilman laatu tulisi huomioiduksi riittävällä tasolla ilmanvaihdon

mitoituksessa. Oppaassa olevat ohjeistukset liittyvät pääasiassa ulkoilmavirtojen valintaan ja mitoitukseen. Oppaissa on esitetty ohjeistuksia rakennustyyppikohtaisista ilmanvaihdon suunnittelun ja järjestelyn ratkaisuista. Tekniseen toteutukseen oppaassa ei ole otettu kantaa.

Oppaassa on esitetty vastaava vähimmäisilmavirta henkilöä kohti, kuin ympäristöministeriön asetuksessa. Oppaassa painotetaan henkilöperusteisen mitoituksen käyttöä, mikäli se tiedetään riittävän luotettavasti. Mikäli henkilömäärää ei tiedetä, ilmavirrat suositellaan mitoittamaan pinta-alaan, laitteiden tai kalusteiden määrän perusteella. Oppaassa todetaan kuitenkin, että joissakin tapauksissa ilmanvaihdon lisäykselle voi olla tarve, jolloin suunniteltu arvo on vähimmäisvaatimusta suurempi. Oppaassa suositellaan suunnittelemaan ilmanvaihto tasapainoon haitallisten paine-erojen ehkäisemiseksi.

Koulurakennusten ilmanvaihdon mitoitus

Oppaassa on esitetty, että koulurakennusten ilmanvaihdon mitoituksessa tulee huomioida opetussuunnitelman vaatimukset tiloille ja niiden käytölle. Tämä johtuu siitä, että koulurakennuksissa on käytössä aiempaa enemmän monikäyttöisiä oppimis- ja toimintatiloja, joissa on varauduttava vaihteleviin henkilömääriin eri tiloissa. Oppaassa todetaan, että mitoituksessa voidaan lähteä siitä, etteivät kaikki tilat ole koko aikaa enimmäiskäytössä. Mitoituksen osalta korostetaan, että on tärkeää mitoittaa ilmanvaihto siten, että se riittää koko rakennusta käyttävälle henkilömäärälle (oppilaat, opettajat sekä koulun muu henkilöstö). Vähimmäisilmavirta on $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{ m}^2$. Toinen yleinen mitoituseruste on $6 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{ hlö}$. Tilojen ilmanvaihdon suunnittelussa tulee huomioida niiden käyttö varsinaisen käyttöajan ulkopuolella (kerho- ja seuratoiminta ym.).

FINVAC ry:n oppaassa esitetään kaksi vaihtoehtoista tapaa koulurakennuksen ilmanvaihdon mitoitukselle:

1) Koko rakennus käsitellään kokonaisuutena, jolloin ilmavirran määrää ensisijaisesti henkilöperuste, eli $6 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{ hlö}$. Tilajilla (kunnat ym.) on omia ohjeita. Rakennuksessa ilmavirtojen jakautuminen ohjataan tilojen kulloisenkin käytön mukaisesti. Poistot keskitetään ensisijaisesti hygieniatiloihin, ja muihin ns. likaisiin tiloihin sekä sellaisiin opetus- ja muihin tiloihin, joissa on poikkeavia haju-, epäpuhtaus- tai muita kuormia (esim. taide- ja taitoaineet). [Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2017, s. 8.].

2) Ilmavirrat mitoitetaan tilakohtaisesti taulukossa 3.3.1 esitettyjä vähimmäisilmavirtoja käyttäen. [Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2017, s. 8.].

Ilmanvaihdon mitoituksessa tulee huomioida, että ilmavirrat mitoitetaan opetuksen ja toiminnan mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, että haju- ja muut epäpuhtauslähteet edellyttävät ilmavirran vähimmäismitoituksena $8 \text{ dm}^3/\text{s}$, hlö -perusteista mitoitusta. Ilmavirtojen mitoituksessa tulee näissä tiloissa huomioida myös vetokaapit ja muut erillispoistot sekä niiden edellyttämä lisäilmavirta. Liikunta- ja juhlasaleissa niiden suurimpaan ilmanvaihdon tarpeeseen liittyvä käyttö määrää ilmanvaihdon mitoituksen. Ilmavirrat tulee oppaan mukaan suunnitella tasapainoon taide- ja taitoaineiden luokissa. Tuloilmavirran tulee olla yhtä suuri kuin poistoilmavirta tiloissa, joissa käytetään paikallispoistoja. Opetushallituksen suunnitteluohjeet tulee ottaa huomioon ilmavirtojen mitoituksessa, kun suunnitellaan muun muassa kotitalouden, kuvataiteen, luonnontieteen ja musiikin opetustiloja. [Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2017, s. 8.]. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 1 on esitetty ilmavirtojen mitoituksen ohjearvoja koulurakennuksen eri tilatyypeille.

Taulukko 1. FINVAC ry:n ohjeistus koulurakennuksen ilmanvaihdon mitoituksesta, taulukko 3.3.1 Opetusrakennukset ja päiväkodit. LVI 06-10600 Sisäliikuntatilojen LVIA-suunnittelu. LVI-ohjekortti. Rakennustieto. [Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2017, s. 9.]

Tila/käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta, dm ³ /s, hlö	Ulkoilmavirta, dm ³ /s, m ²	Poistoilma- virta, dm ³ /s, m ²	Muita ohjeita
Koulurakennus				Oppilaiden, opettajien ja muun henkilöstön kokonaismäärän perusteella
Opetustilat (luokkahuoneet, pienryhmätilat jne.)	6	3		Taide- ja taitoaineet vähintään 8 dm ³ /s, hlö
Opettajainhuoneet		2		
Käytävät ja aulat		3		
Käytävät ja aulat, jotka on tarkoitettu vain läpikulkuun		1		
Ulkovaatteiden säilytystilat			3	
Sali, liikuntakäyttö		6		Suurimpaan ilmanvaihtoon johtava kriteeri määrä mitoituksen, ilmanvaihdon on oltava ohjattavissa salin käytön mukaan
Sali, juhlasalikäyttö	6			
Liikuntasali / katsomo	6 dm ³ /s, katsomopaikka			Mitoitus ja ilmanvaihdon ohjaus katsojamäärän mukaan
Sali, urheilutapahtumat	15–30	2–4		LVI-06-10600 ¹⁾ ; ohjearvot lajikohtaisesti, ks. myös taulukko 3.9.1
Luentosali	6 dm ³ /s, paikka			Ilmanvaihdon ohjaus käytön ja tarpeen mukaisesti
Kirjastot, toimistotilat		2		
Ruokailutilat	6	3		Ruokailutilat ovat ruokailuaikojen ulkopuolella opetusikäikäytössä
Keittiö	ks. taulukko 3.13.1 keittiöt ja niiden aputilat			
Hygieniatilat				ks. taulukko 3.14.1 Tiloja, joita on monessa rakennustyyppissä kuten hygieniatilat

2.3 Sisäilmastoluokitus 2018

Sisäilmastoluokitus on Sisäilmastoyhdistyksen julkaisema asiakirja, joka on laadittu alalla toimivien, eri tahojen yhteistyönä. Ennen sisäilmastoluokitusta, vuonna 1995, ohjeistus julkaistiin nimellä Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus. Päivitetyt versiot julkaistiin vuosina 2000 ja 2008 nimellä Sisäilmaluokitus. Sisäilmastoluokituksen käyttö on vapaaehtoista ja sen käytöstä päättää tilaaja tai rakennuttaja. Sisäilmastoluokituksessa on esitetty sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Sisäilmastoluokituksessa on otettu kantaa yleisesti sisäilmastoon vaikuttaviin olosuhteisiin (ilmanvaihto, lämmitys, valaistus, sisäilman laatu). Sisäilmastoluokitus 2018 julkaistiin toukokuussa 2018.

Sisäilmastoluokituksessa on otettu tarkemmin kantaa sisäilman olosuhteisiin vaikuttaviin tekijöihin myös ilmanvaihdon näkökulmasta. Sisäilmastoluokituksessa on otettu kantaa muun muassa vetoon liittyviin tekijöihin, operatiiviseen lämpötilaan ja hiilidioksidipitoisuuden sekä olosuhteiden pysyvyyteen. Sisäilmastoluokituksessa on esitetty lisäksi ilmapirtojen mitoitusohjeita rakennus- ja tilatyypeittäin. Sisäilmastoluokituksessa on esitetty suunnittelun pohjaksi ohjeita ilmanvaihdon käyttöajoista sekä tilojen käyttöasteesta. Sisäilmastoluokituksessa on esitetty kolme eri sisäilmaluokkaa: S1, S2 ja S3. Sisäilmastoluokituksessa on todettu seuraavaa eri luokitusten valinnasta ja käytöstä:

Eri suureiden tavoite- ja suunnitteluarvot voidaan valita eri laatuluokista. Tarvittaessa jonkin suureen tavoitearvo voidaan määrittää tapauskohtaisesti. [Sisäilmastoluokitus 2018. 2018, s. 5.]

Sisäilmastoluokituksessa eri luokitukset on esitelty seuraavasti:

S1: Yksilöllinen sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllilämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet, ja hyviä valaistusolosuhteita on tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus. [Sisäilmastoluokitus 2018. 2018, s. 5.]

S2 Hyvä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai

epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllämeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoitukseen hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. [Sisäilmastoluokitus 2018. 2018, s. 5.]

S3 Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetut säädökset ja terveydensuojelulain perusteella asetetut vähimmäisvaatimukset. Asetusten vaatimusten täyttyminen ei välttämättä edellytä S3-luokan tavoitearvojen käyttämistä. S3-luokan tavoitearvot esitetään tässä ensisijaisesti vertailun tueksi. [Sisäilmastoluokitus 2018. 2018, s. 5.]

Sisäilmastoluokitusta käsitellään opinnäytetyössä siltä osin, kun se käsittää koulurakennusten ilmanvaihtoon liittyviä näkökohtia. Opinnäytetyössä käsiteltävien tutkimusten peruskorjausten suunnittelun ja toteutusten aikana on ollut voimassa sisäilmastoluokitukset 2000 ja 2008. Sisäilmastoluokitus 2018:aa verrataan tässä opinnäytetyössä Sisäilmastoluokitukseen 2008, sillä pääosa tutkituista kohteista on suunniteltu ja toteutettu sen voimassaolon aikana.

Sisäilmaluokitus 2018:n tehdyt muutokset

Sisäilmayhdistys on esitellyt ennen sisäilmastoluokituksen 2018 julkistamista merkittävimpiä uudistuksia ja muutoksia verrattuna sisäilmastoluokitus 2008:aan. Sisäilmastoyhdistyksen esitys löytyy muun muassa internetistä. Muutoksia on tässä opinnäytetyössä käsitelty siltä osin, kuin ne koskevat koulurakennusten ilmanvaihdon suunnittelua ja toteutusta.

Kokonaan uutena asiakohtana sisäilmastoluokitukseen on otettu pienhiukkaspitoisuus ja I/O-suhde. Pienhiukkasiin liittyvät ongelmat on tiedostettu jo melko hyvin, sillä kaupungistuminen tuottaa ilmaan pienhiukkasia. Pienhiukkasia ilmaan tuottavat esimerkiksi liikenne sekä energian tuotanto. Pienhiukkaset voivat päätyä sisäilmaan ilmanvaihdon kautta, mikäli suodatuksen taso ei ole riittävä tai suodatuksen kautta tapahtuu ohivirtausta. Pienhiukkasten tiedetään aiheuttavan oireita muun muassa allergikoille ja astmaatikoille. [Sisäilmastoluokitus 2018-14052018. 2018, s. 3.]

Muutoksia aiempaan verrattuna tuli myös eri luokitusten operatiivisiin lämpötiloihin. Sallimalla korkeampia lämpötiloja voidaan säästää energiaa laiteinvestoinneissa. Alhaisempien lämpötilojen salliminen mahdollistaa energian säästön, sillä alhaisemmat lämpötilat mahdollistavat yöviilennyksen aiempaa laajemman käytön. [Sisäilmastoluokitus 2018-14052018. 2018, s. 3–6.]

Rakennuksen tiiveydestä ja painesuhteista on myös esitetty tavoitteita sisäilmaluokille S1 ja S2. Ilmanpitävyydelle on määritetty tavoitetaso $1 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$. Sisäilmastoluokituksessa edellytetään, että tiiveys tulee olla todennettavissa mittauksin. Mikäli vuotoa havaitaan, ne tulee olla paikannettavissa ja tiivistettävissä. Painetasot tulee hallita ja suunnitella siten, että ne voidaan todentaa mittauksin. Ilmanvaihto ei saa vaikuttaa sisä- ja ulkoilman välisiin paine-eroihin. [Sisäilmastoluokitus 2018-14052018. 2018, s. 9.] Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa on esitetty ilmavirtamitoituksen ohjeet koulurakennuksen eri tiloihin sisäilmastoluokituksen 2008 ja 2018 mukaan.

Taulukko 2. Ilmavirtamitoitukset eri sisäilmastoluokille koulurakennusten tiloissa. [Sisäilmastoluokitus 2018. 2018, s. 16; Sisäilmastoluokitus 2008. 2008, s. 14].

Tila/käyttötarkoitus	Lattia-ala, m ² /hlö	S1 2018/2008 dm ³ /s, hlö	S1 2018/2008 dm ³ /, m ²	S2 2018/2008 dm ³ /s, hlö	S2 2018/2008 dm ³ /, m ²	S3 2018/2008 dm ³ /s, hlö	S3 2018/2008 dm ³ /, m ²
Opetustila tai muu oleskelutilat	2 / 2	11 / 11	5,5 / 5,5	8 / 8	4 / 4	6 / 6	3 / 3
Luentosali	- / 1	10 / 11	- / 10,5	8 / 8	- / 7,5	6 / 6	- / 6
Ruokala ja kahvila	2 / 2	11 / 11	5,5 / 6...8	8 / 8	4 / 5...6	6 / 6	3 / 5
Kuumennus- ja jakelukeittiö	- / -	- / -	10 / 10	- / -	10 / 10	- / -	5 – 10 / 10
Valmistuskeittiö	- / -	- / -	15 – 40 / 15 – 40	- / -	15 – 40 / 15 – 40	- / -	15 – 25 / 15
Astianpesukone	- / -	- / -	12 – 20 / 12...20	- / -	10 – 15 / 10...15	- / -	10 / -
Kirjasto	- / -	- / -	3 / 3	- / -	2 / 2	- / 8	2 / 2
Salit (konsertti-, teatteri-, elokuva-, koulun Sali)	- / -	10 / 10	- / -	8 / 8	- / -	6 / 6	- / -

Yleisesti voidaan todeta, että koulurakennusten sisäilmastoluokituksessa merkittävimmät muutokset ilmavirtojen mitoituksessa ovat tulleet luentosalien ja ruokalan ilmavirtamitoituksiin. Ilmavirtamitoitusten ohjeiden muutokset selittynevät pääosin sillä, että luokitukset sallivat aiempaa korkeammat operatiiviset lämpötilat. Opetustilojen ilmavirtamitoituksiin ei ole tehty muutoksia. Tämä selittyy pääosin sillä, että hiilidioksidipitoisuuden tavoitearvot ovat kiristyneet sisäilmastoluokitus 2008:aan verrattuna. Hiilidioksidin tavoitearvot on esitetty ihmisperäiselle hiilidioksidille. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 3 on esitetty hiilidioksidipitoisuuksien tavoitearvot eri sisäilmastoluokille sisäilmastoluokituksen 2008 ja 2018 vaatimusten mukaisesti.

Taulukko 3. Sisäilmastoluokituksen 2018 ja 2008 hiilidioksidipitoisuuden tavoitearvot. [Sisäilmastoluokitus 2018. 2018, s. 7; Sisäilmastoluokitus 2008. 2008, s. 6].

Sisäilmaluokka	Sisäilmastoluokitus 2018, hiilidioksidipitoisuus, ppm	Sisäilmastoluokitus 2008, hiilidioksidipitoisuus, ppm	Ero, ppm
S1	< 350	< 750	400
S2	< 550	< 900	350
S3	< 800	< 1200	400

Olosuhteiden pysyvyyteen on tullut yhdenmukaistuksia päivityksen yhteydessä. Luokissa S1 ja S2 olosuhteiden tulee pysyä tavoitearvojen tasolla 90 % käyttöajasta toimija opetustiloissa, kun vastaavat arvot olivat aiemmin 95 % (S1) ja 90 % (S2). Radonpitoisuuden arvot ovat pysyneet ennallaan. Sisäilman suhteelliselle kosteudelle ei ole asetettu tavoitearvoja.

Uutena sisäilman laatuun vaikuttavana tekijänä ovat pienhiukkaset, joille on asetettu tavoitearvot eri sisäilmaluokille. Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty pienhiukkasten maksimipitoisuus eri sisäilmastoluokissa.

Taulukko 4. Pienhiukkasten tavoitearvot. [Sisäilmastoluokitus 2018. 2018, s. 7].

Sisäilmaluokka	PM _{2.5} µg/m ³	PM _{2.5} sisällä/ulkona
S1	< 10	< 0,5
S2	< 10	< 0,7
S3	< 25	-

Ilman liikenopeuden tavoitearvoihin on tullut muutoksia verrattuna sisäilmastoluokitus 2008:n tavoitearvoihin. Ilman lämpötila t_{ilma} tarkoittaa liikkuvan ilman lämpötilaa tarkastelupisteessä. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 5 on esitetty ilman nopeuden tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa sisäilmastoluokituksen 2008 ja 2018 mukaan.

Taulukko 5. Ilman nopeuden tavoitearvot sisäilmastoluokitus 2018:n ja 2008:n mukaan. *Paikallisesti voidaan hyväksyä korkeampia ilmannopeuksia termisen viihtyvyyden lisäämiseksi, kun käytössä ei ole koneellista jäähdytystä. [Sisäilmastoluokitus 2018. 2018. 7; Sisäilmastoluokitus 2008. 2008. 6].

Ilman lämpötila, t_{ilma} , °C	Ilman nopeus m/s, Sisäilmastoluokitus 2018 / 2008, S1	Ilman nopeus m/s, Sisäilmastoluokitus 2018 / 2008, S2	Ilman nopeus m/s, Sisäilmastoluokitus 2018 / 2008, S3	Ero, m/s S1/S2/S3
21	< 0,15 / < 0,14	< 0,15 / < 0,17	< 0,20 (talvi) / 0,20 (talvi)	< 0,01 / < 0,02 / -
23	< 0,15 / < 0,16	< 0,20 / < 0,20	-/-	< 0,01 / - / -
25	< 0,20* / < 0,20	< 0,25* / < 0,25	0,3 (kesä)* / 0,3 (kesä)	- / - / -

Edellä mainittujen sisäilman laadun tavoitearvojen lisäksi muutoksia on tullut muun muassa akustiikkaan (puheensiirtoindeksi ja jälkikaiunta-aika) sekä valaistukseen.

Sisäilmastoluokitus 2018:aan on tullut muutoksia jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien suunnitteluarvoihin, lämpötilan tilakohtaiseen asetusalueeseen, lattian pintalämpötiloihin sekä pystysuuntaiseen lämpötilaeroon. Sisäilmastoluokitus 2008:ssa on esitetty suhteellisen kosteuden tavoitearvo luokalle S1. Muutokset eivät ole merkittäviä, mutta niihin liittyy mitä ilmeisimmin sallittu korkeampi operatiivinen lämpötila. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 6 on esitetty lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunnitteluarvoja sisäilmaluokituksen 2008 ja 2018 mukaisesti.

Taulukko 6. Toimi- ja opetustilojen ym. työtilojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunniteluarvoja sisäilmastoluokituksessa 2018 / 2008. [Sisäilmastoluokitus 2018. 2018. 15; Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.13].

Suure	Yksikkö	S1 2018 / 2008	S2 2018 / 2008	S3 2018 / 2008
Jäähdytysjärjestelmän suunnittelu-arvo	°C	24,5 / 25	25,5 / 25	27 /-
Lämmitysjärjestelmän suunnittelu-arvo	°C	21,5 / 21,5	21,5 / 21,5	21 / 21,5
Lämpötilan tilakohtainen asetusalue, talvi	°C	20...23 / 20...23	-/-	-/-
Lämpötilan tilakohtainen asetusalue, kesä	°C	23...25 / 23...25	-/-	-/-
Pystysuuntainen lämpötilaero	°C	2 / 2	3 / 3	-/ 4
Lattian pintalämpötila, vähintään	°C	19 / 19	19 / 19	18 / 17
Lattian pintalämpötila, enintään (lattialämmitys)	°C	29 / 29	29 / 29	-/ 31
Ilman suhteellinen kosteus, talvi	%	-/ > 25	-/-	-/-

Taulukossa 6 ei ole käsitelty ilman nopeuteen liittyviä arvoja, sillä ne on esitetty taulukossa 5. Sisäilmastoluokituksessa on esitetty tarkentavia ohjeita pääosalle eri suureita, mutta niitä ei ole käsitelty tässä opinnäytetyössä.

Sisäilmastoluokituksessa on määritelty vähimmäisarvo käyttöajan ulkopuoliselle perusilmanvaihdolle, joka on sisäilmastoluokitus 2018:ssa 0,15–0,20 l/s, m². Perusilmanvaihdon alarajaa on nostettu 0,05 l/s, m² verrattuna sisäilmastoluokitus 2008:aan. Perusilmanvaihto koskee sisäilmastoluokituksessa ainoastaan asuinrakennuksia. Koulurakennuksille ei ole määritetty perusilmanvaihdon tasoa. Vähimmäisilmanvaihdon taso koulurakennuksissa on määritetty ympäristöministeriön asetuksessa 1009/2017.

2.4 Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2

Ilmanvaihdon suunnittelua ja toteutusta määrättiin ennen ympäristöministeriön asetusta Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 määräyksillä, asetuksilla ja ohjeilla. Suomen rakentamismääräyskokoelman taso vastasi pääosin sisäilmaluokituksen tasoa S3 ja FINVAC ry:n oppaan ilmavirtojen ohjearvoja. Ilmanvaihdon suunnittelutyö tehtiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2:n ollessa voimassa siinä esitettyjen mitoitusohjeiden mukaan, ellei suunnittelussa ja toteutuksessa oltu sovittu käytettävän sisäilmastoluokitusta.

Opinnäytetyössä olevien tutkimuskohteiden suunnittelun ja toteutuksen aikana ovat ilmanvaihdon osalta olleet voimassa Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 vuosilta 2003, 2010 ja 2012. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 7 on esitetty koulurakennuksen eri tilojen ilmavirtojen mitoitukset Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 2003, 2010 ja 2012 mukaan.

Taulukko 7. Tilojen ilmavirtojen mitoitukset Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan (liite 1). [Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. 2012.; Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. 2010; Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2003. 2003].

Tila / käyttötarkoitus)	Ulkoilma- virta dm ³ /s, hlö (2012/2010/ 2003)	Ulkoilma- virta dm ³ /s, m ² (2012/2010/ 2003)	Poistoil- mavirta dm ³ /s, m ² (2012/2010/ 2003)	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} , dB (2012/2010/ 2003)	Ilman no- peus m/s, talvi/kesä (2012/2010/ 2003)	Huom. (2012/2010/ 2003)
Ope- tusti- lat	6 / 6 / 6	3 / 3 / 3		33/38/ 33/38/ 33/38	0,20/0,30 / 0,20/0,30 / 0,20/0,30	#4, C1 ohje / #4, C1 ohje / #4, C1 ohje
Käy- tävät ja au- lat		4 / 4 / 4		38/43 / 38/43 / 38/43		#2 / #2 / #2
Lii- kun- tasali						#3 / #3 / #3
liikun- tasali- käyttö		2 / 2 / 2		38/43 / 38/43 / 38/43	0,3 / 0,3 / 0,3	
juhla- sali- käyttö		6 / 6 / 6		33/38 / 33/38 / 33/38	0,25 / 0,25 / 0,25	
Luen- tosali	8 / 8 / 8	6 / 6 / 6		33/38 / 33/38 / 33/38	0,20/0,30 / 0,20/0,30 /	#4 / #4 / #4
Ryh- mä- työtila	8 / 8 / 8	4 / 4 / 4		33/38 / 33/38 / 33/38	0,20/0,30 / 0,20/0,30 / 0,20/0,30	#4 / #4 / #4
Ruo- kala	6 / 6 / 6	5 / 5 / 5		33/38 / 33/38 / 33/38	0,25 / 0,25 / 0,25	
Va- rastot			0,35 / 0,35 / 0,35			#S / #S / #S

#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat, kts. taulukko 11 Hygieniatilat.

#2 Kiinteiden työpisteiden ilmannopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa

#3 Sisäilmasto ja ilmanvaihto mitoitetaan vaativimman käytön mukaisesti, oltava ohjattavissa tarpeen mukaan eri käyttötilanteisiin.

#4 Tilan ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.

Voi käyttää siirtoilmaa.

Taulukosta 7 on havaittavissa, että Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 ilmavirtojen mitoitukset eivät ole muuttuneet, vaikka määräykset ovat päivittyneet. D2:n eri versioissa hiilidioksidipitoisuuden tilojen käyttöajan raja-arvoksi on määritetty 1200 ppm, joka oli sisäilmastoluokituksessa 2008 luokan S3 hiilidioksidipitoisuuden tavoitearvo. D2:ssa oli määrätty raja-arvot hiilidioksidipitoisuuden lisäksi muutamille muille epäpuhtauksille. Ympäristöministeriön asetuksessa oleva vaatimus hiilidioksidipitoisuuden raja-arvolle on kiristynyt selkeästi (800 ppm yli ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden) verrattuna D2:n vaatimaan tasoon.

D2:ssa on todettu, että ulkoilmavirtojen mitoitus määräytyy ensisijaisesti henkilömäärän mukaan ja ilmavirtojen vähimmäismitoitus muissa kuin liitteen 1 mukaisissa tiloissa on tilakohtaisesti vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$, hlö. Mikäli henkilöperusteiselle mitoitukselle ei ole perusteita, on ilmavirrat mitoitettu pinta-alan perusteella. D2:ssa määrättiin myös, että ulkoilmavirran tulee olla vähintään $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{ m}^2$, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,5 \text{ 1/h}$ tilassa, jonka vapaa huonekorkeus on 2,5 metriä. Edellä mainittujen määräysten lisäksi D2:ssa määrättiin, että ilmavirtoja on voitava ohjata kuormituksen ja ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti.

Voidaan todeta, että ainakin osa D2:ssa olleista määräyksistä, asetuksista ja ohjeista on siirretty voimassa olevaan ympäristöministeriön asetukseen sekä FINVAC ry:n oppaisiin. Osaan siirrettyjä vaatimuksia on tehty merkittäviä muutoksia, mutta osa on viety uusiin määräyksiin ja ohjeisiin lähes muuttamattomana. Ilmanvaihtoa koskevat määräykset, asetukset ja ohjeet ovat edelleen melko vertailukelpoisia keskenään, mikä osaltaan voi auttaa parantamaan D2:ssa olevien puutteiden havaitsemista ja ehkäisemään vastaavia puutteita jatkossa jo ketjun alusta lähtien.

3 Ilmanvaihdon merkitys sisäilmaan ja rakennusten terveyteen

Rakennusten ilmanvaihdosta on säädetty rakentamisen määräysten avulla jo 1970-luvulta lähtien. Sääntelyn tarkoituksena on ollut varmistaa terveellinen ja turvallinen ilmanvaihto. Ihmiset viettävät sisätiloissa 90 % ajasta ja vuorokaudessa yksi ihminen hengittää noin 15–20 m³ sisäilmaa [Sandberg ym. 2014, s. 65]. Ilmanvaihtoon liittyy sisäilman laadun lisäksi näkökohta koko rakennuksen terveyden merkityksen näkökulmasta. Hyvin suunnitellulla ja toteutetulla ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa sisäilman laadun lisäksi muun muassa rakennuksen paine-eroihin, rakennuksen sisäilmastoon ja sisäympäristöön. Sisäilmasto käsittää rakennuksessa vaikuttavia fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä ja ihmisen terveyteen vaikuttavia tekijöitä [Sandberg ym. 2014, s. 37]. Sisäilmasto käsittää sisäilmaan, lämpöoloihin ja puhtauteen liittyvät tekijät. Sisäilmalla tarkoitetaan rakennuksen ja tilan ilmaa, jonka laatuun vaikuttavat muun muassa rakennus- ja sisustusmateriaalien emissiot, ilman kosteus, hiilidioksidipitoisuus sekä lämpötila.

Sisäympäristö käsittää rakennuksen, sisäilmaston, akustiikan ja valaistuksen. Ilmanvaihto ja ilman liike ovat osa sisäilmastoa. Ilmanvaihdon merkitys tulee esiin myös akustiikan näkökulmasta, sillä erityisesti koneellisessa ilmanvaihdossa on monta tekijää, jotka aiheuttavat ääntä rakennuksessa. Ilmanvaihto vaikuttaa akustiikkaan koneiden ja laitteiden tuottaman melun sekä rakenteisiin aiheutuvan värinän kautta, joka aiheuttaa runkoääniä rakennuksen tiloihin. [Sandberg ym. 2014, s. 14].

Sisäilmasto koostuu sisäilmasta, lämpöoloista ja puhtaudesta. Sisäilman laadun määritelmään kuuluvat voc, hiukkaset, mikrobit, tuoksut ja kosteus. Lämpöolojen määritelmään kuuluvat ilman lämpötila, ilman liike, pintalämpötila, kerrostuma ja ilman kosteus. Puhtauden määritelmään kuuluvat ilmanvaihto, ilman käsittely ja tilan siivous. [Sandberg ym. 2014, s. 14]. Sisäilman laadun ja lämpöolojen määritelmässä mainittu ilman kosteus vaikuttavat molempiin sisäilmaston tekijöihin. Tämä johtuu siitä, että erityisesti rakennuksissa, joissa on keskuslämmitys, sisäilman suhteellinen kosteus laskee lämmityskaudella. Ilman suhteellisella kosteudella on merkitystä sisäilman laatuun, sillä sisäilman laadun määritelmässä mainitut epäpuhtaudet aiheuttavat usein oireilua limakalvojen kautta, jotka kuivuvat herkemmin ilman suhteellisen kosteuden ollessa alhaisempi.

Ilmanvaihdolla on merkitystä rakennuksen lämpöolojen kannalta. Kesällä tiloja voidaan pyrkiä jäähdyttämään ilmanvaihdon avulla, jolloin viihtyvyys tiloissa paranee. Tämä johtuu siitä, että ihminen haihduttaa lämpöä hikoilemalla, jolloin ilmanvaihdon aiheuttama

ilman liike viilentää ihoa ja lisää viihtyvyyttä. Ilman liikkeen ja vedon tunteen raja on usein hyvin pieni, jolloin ilmanvaihdon ja mahdollisen jäähtytyksen yksilöllisen ohjaamisen tarve korostuu [Sandberg ym. 2014, s. 48]. Koulurakennuksissa jäähtytyksen tarve korostuu kesäaikaa enemmän keväällä ja syksyllä, jolloin auringon aiheuttama lämpökuorma on usein huomattava huomioiden koulun lukuvuoden sijoittuminen kalenterissa (elo-toukokuu).

Viime vuosina sisäilmaan liittyviä ongelmia on käsitelty paljon alan julkaisuissa ja mediassa. Tämä on johtunut osittain sisäilmaan liittyvän tietämyksen lisääntymisestä ja kasvaneiden sisäilmaongelmien määrästä. Usein pohditaan, onko sisäilmaongelmien määrä todellisuudessa kasvanut, vai onko kyse siitä, että ne ovat nousseet selkeämmin esiin lisääntyneen keskustelun myötä. Sisäilmaongelmiin liittyvässä keskustelussa yhtenä tekijänä nousee usein ilmanvaihtojärjestelmät sekä niihin liittyvät haasteet. Keskusteluissa on nostettu esiin koneellisen ilmanvaihdon mahdollisia haittoja verrattuna painovoimaiseen ilmanvaihtoon sekä koneellisen ilmanvaihdon hygieniaan liittyviä tekijöitä. Sisäilmatutkimusten yhteydessä tutkitaan usein myös ilmanvaihtojärjestelmiä. Tämä johtuu siitä, että ilmanvaihtojärjestelmien merkitys rakennuksen kuntoon ja sisäilman laatuun vaikuttavana tekijänä on ymmärretty. Sisäilmaan liittyvien tutkimusten osalta kokonaisuuden tutkiminen on tärkeää, jotta rakennus tulisi huomioiduksi kokonaisuutena eri asiayhteyksien ja syy-seuraussuhteiden selvittämiseksi.

3.1 Sisäilman vaikutus terveyteen

Sisäilman aiheuttamia oireita ja sisäilman vuoksi sairastumista on tutkittu Suomessa hyvin paljon. Sisäilmaongelmat ovat osittain käyttäjien kokemia haittoja, jotka vaikuttavat työtehoon ja viihtyvyyteen. Yleisiä, sisäilman laatua heikentävinä tekijöinä ovat epämiellyttävät hajut, veto ja tunkkaisuus. Lämpöolot ovat yksi sisäilman laatuun vaikuttava tekijä (kylmä tai kuuma), jonka käyttäjät mainitsevat sisäilmaan ja ilmanvaihtoon liittyvien tutkimusten yhteydessä. Lämpöoloissa olevat puutteet saattavat aiheuttaa erilaisia, flunssan kaltaisia oireita. Lämmin sisäilma vaikuttaa viihtyvyyden ja työtehon lisäksi limakalvojen kuivumiseen, joka altistaa eri tekijöiden aiheuttamalle oireilulle.

Huono sisäilma ja siitä aiheutuva sairastelu aiheuttaa yhteiskunnolle välittömiä ja välillisiä kustannuksia. Sisäilmaan liittyvien kustannukset ovat miljardeja euroja vuodessa. Kustannukset aiheutuvat näissä tapauksissa työtehon laskusta, sairauspoissaoloista,

homesairauksista ja -oireista, allergiasairauksista ja -oireista sekä ulkoilman pienhiukkasta. [Holopainen ym. 2008, s. 11–12].

Sairaiden rakennusten aiheuttamiksi oireiksi on tehty luokitus vuonna 1982 maailman terveysjärjestö WHO:n toimesta. Sairaiden rakennusten aiheuttamia oireita ovat: silmien ja ylähengitysteiden (nenän, kurkun ja nielun) ärsytysoireet, limakalvojen kuivuus, ihon kuivuus, ihon kutina, ihon punaläikkyys (ihottuma), käheä ääni, päänsärky tai henkinen väsymys, pahoinvointi tai huimaus ja erilaiset yliherkkyysoireet. Edellä mainitut oireet on luokiteltu sairaiden rakennusten aiheuttamiksi oireiksi sen perusteella, mikäli oireet häviävät tai lievenevät rakennuksesta poistuttaessa ja voimistuvat, kun rakennukseen palataan takaisin [Sandberg ym. 2014, s. 58].

Viime vuosina esiin ovat nousseet voc-yhdisteet ja pienhiukkaset sekä niiden aiheuttamat haitat sisäilmalle. Voc-yhdisteisiin on pyritty vaikuttamaan muun muassa M1-luokituksen avulla (rakennusmateriaalit ja -tarvikkeet, sisustustuotteet ja -materiaalit ym.). Luokituksen käyttöönotto on vähentänyt erilaisten tuotteiden aiheuttamia, ilman laatuun vaikuttavia tekijöitä erityisesti hajujen vähentymisen kautta. Pienhiukkaset ovat haasteellinen tekijä vilkkaasti liikennöidyillä alueilla ja niiden läheisyydessä. Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä suodatuksen tason oikea valinta ja toiminta (tiivetyys ym.) vaikuttavat oleellisesti pienhiukkasten määrään sisäilmassa. Pienhiukkasten ohella allergeenit (siitepöly) ja rakennusmateriaalipöly (kipsipohjainen) saattavat päästä rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään, mikäli suodatuksen taso ja tiiveys on puutteellinen.

3.2 Ilmanvaihdon merkitys sisäilman laatuun

Ilmanvaihdon merkitystä sisäilman laadulle yleisesti voidaan pitää merkittävänä. Ilmanvaihdon avulla tiloihin tuodaan puhdasta ilmaa ja tilojen vanha, käytetty ilma poistetaan. Ilmanvaihdon toimintaperiaate on sama järjestelmän tyypistä riippumatta (koneellinen tulo-poistoilmanvaihto, painovoimainen ilmanvaihto tai koneellinen poistoilmanvaihto). Ilmanvaihdon avulla voidaan vaikuttaa epäpuhtauksien liikkeisiin ja pitoisuuksiin hengitysilmassa, joten sen merkitystä terveyshaittojen vähentämisen keinona voidaan pitää merkittävänä. Ilmanvaihdon merkitys korostuu erityisesti ihmisperäisten epäpuhtauksien poistamisessa. Osaan sisäilmassa olevia epäpuhtauksia (ulkoilma, maaperä, home- ja kosteusvauriot) ilmanvaihdolla ei saada riittävää vaikutusta, vaan näissä tapauksissa tu-

lee puuttua niiden lähteisiin [Sandberg ym. 2014, s. 57]. Sisäilmassa olevat epäpuhtaudet ovat pääosin peräisin muun muassa ihmisistä (hiilidioksidi), ulkoilmasta (pienhiukkaset ja kaasumaiset epäpuhtaudet), maaperästä (radon ja maaperässä olevat mikrobit), rakennus- ja sisustusmateriaaleista (pienhiukkaset, kuidut, kaasumaiset epäpuhtaudet ja hajut) [Sandberg ym. 2014, s. 59–68].

Ilmanvaihtojärjestelmissä olevat mineraalikuidut ovat haastava tekijä sisäilman laadun kannalta. Ilmanvaihtojärjestelmien mineraalikuituihin on kiinnitetty huomiota viime vuosina myös laitevalmistajien toimesta. Mineraalikuituja on käytetty aikojen saatossa muun muassa ilmanvaihtokoneiden vaipan ääni- ja lämmöneristeenä (pinnoitettu ja pinnoittamaton), ulko-, tulo- ja poistoilmakammioiden ääni- ja lämmöneristeenä, äänenvaimentimien vaimennusmateriaalina (koneosat ja kanavaan asennettavat) sekä päätelaitteiden eri vaimennussovellutuksissa (liitäntä- ja tasauslaatikot, äänenvaimentimet ym.). Mineraalikuidut ovat ongelmallisia erityisesti tuloilmajärjestelmässä, sillä ne voivat päätyä sen kautta rakennuksen eri tilojen sisäilmaan. Mineraalikuidut ärsyttävät usein limakalvoja (silmät, nenä ja hengitystiet) aiheuttaen ärsytysoireita tiloja käyttäville henkilöille. Ilmanvaihtojärjestelmän mineraalikuidut laskeutuvat pölyä raskaampana tilojen tasopinnoille, josta ne pääsevät liikkumaan ilmassa tilojen käytön ja ilmanvaihdon aiheuttamien ilmavirtausten mukana.

Ilmanvaihtojärjestelmissä sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat ilmavirtojen mitoitus ja painesuhteet ulkoilmaan nähden ja eri tilojen välillä, ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus, teolliset mineraalikuidut sekä ulkoilman mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet. Mikäli rakennuksessa on ilmanvaihtojärjestelmän sijasta ilmastointijärjestelmä (jäähdytys) tai järjestelmään on asennettu kostutusta, järjestelmän puhtauteen liittyvät näkökohdat korostuvat johtuen edellä mainittujen järjestelmän osien mahdollisesti aiheuttamaan kosteusrasitukseen ja esimerkiksi mikrobikasvulle suotuisten olosuhteiden syntyyn. Ilmanvaihtojärjestelmässä oleva pöly ja orgaaninen aines vaikuttavat edellä mainittuun tekijään. Kosteusrasitusta ilmanvaihtojärjestelmälle voi aiheuttaa väärin mitoitettu ulkoilmasäleikkö, jos ilman virtausnopeus säleikön läpi kasvaa suureksi. Suuri nopeus mahdollistaa viistosateen (vesi ja lumi) pääsyn ilmanvaihtokoneeseen ja edelleen kanavistoon. Ilmanvaihtokoneeseen pääsevä vesi mahdollistaa suodattimien kastumisen tai tukkeutumisen. Tukkeutunut suodatin nostaa painehäviöitä vaikuttaen koko ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan (ilmavirrat, ilmanvaihdon tasapaino ja rakennuksen paine-ero) ja kastunut suodatin saattaa luoda suotuisat olosuhteet mikrobien kasvulle.

Ilmanvaihdon painesuhteet vaikuttavat rakennuksen eri tilojen välisiin painesuhteisiin, mutta myös rakennuksen paine-eroihin ulkoilmaan nähden. Ilmanvaihdon painesuhteet vaikuttavat usein koettuun sisäilman laatuun, sillä ilmaa ei tuoda tai poisteta riittävästi. Ilmanvaihdon painesuhteiden hallinnalla vaikutetaan muun muassa epäpuhtauksien pääsyyn sisäilmaan rakenteissa olevien epätiivyyksien kautta. Ilmavirtausten mukana olevat epäpuhtaudet saattavat olla esimerkiksi mineraalikuituja (ulkoseinien eristämateriaalit), kosteusvaurion aiheuttaman mikrobikasvun aiheuttamia epäpuhtauksia ja kemiallisia epäpuhtauksia (voc-yhdisteet ja haitta-aineet). Ilmanvaihdon ylipaineisuudella mahdollistetaan kosteuden siirtyminen rakenteisiin, joissa se voi tiivistyä aiheuttaen kosteusvaurion. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon osalta rakennuksen tilojen välistä sekä ulkoilmaan nähden tapahtuvaa painesuhteiden vaihtelu saattaa olla erilaista verrattuna vakioilmavirtaiseen ilmanvaihtojärjestelmään. Sitowisen suorittamissa tutkimuksissa havaittiin, että paine-erojen vaihtelu ulkoilmaan nähden oli vähäistä kohteissa, joissa oli tarpeenmukainen ilmanvaihto.

Ilmanvaihdon painesuhteisiin liittyviä ongelmia voidaan poistaa ja ehkäistä ilmanvaihtojärjestelmän säännöllisen puhdistamisen, mittauksen ja säädön avulla. Puhdistuksen avulla varmistetaan, että kanavistoon ei pääse syntymään sisäilman laadun kannalta haitallisia epäpuhtauksia. Ilmanvaihtojärjestelmän mittaus- ja säätötöiden suorittamisella voidaan varmistaa toimiva ilmanvaihto. Ilmanvaihdon huollon ja kunnossapidon laiminlyönnillä voidaan vaikuttaa sisäilman laatuun sitä heikentävästi [Holopainen ym. 2008, s. 11; 13]. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon osalta puhtauden merkitys on suurempi niissä käytetyn tekniikan vuoksi, sillä järjestelmässä olevat epäpuhtaudet (pöly ja rasva) saattavat aiheuttaa ongelmia tekniikan toiminnalle, jolloin koko ilmanvaihtojärjestelmä ei toimi suunnitellulla tavalla.

Lämpöoloihin tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa monin tavoin. Tuloilman lämpötila on vakio, ellei rakennusta ole varustettu jäähdytysjärjestelmällä tai tuloilman lämpötilaan ei ole tehty muunnostaulukkoa. Ulkoisten lämpökuormien aiheuttamaan tilojen yllämpenemiseen voidaan vaikuttaa ilmanvaihdon avulla rajallisesti. Tuloilman lämpötilan määritellyllä voidaan vaikuttaa merkittävästi ilman liikkeeseen ja kerrostumaan tilassa. Ilman heittokuvio ja -pituus nousee esiin muun muassa päätelaitteiden valinnassa. Vaihtuva ilmavirta voi vaikuttaa lämpöoloihin niin myönteisellä kuin negatiivisella tavalla, sillä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon päätelaitteina käytetään usein passiivisia päätelaitteita. Minimi-ilmavirralla heittokuvio ja -pituus saattavat jäädä vajaiksi, mikä muuttaa ilman liikettä ja voi aiheuttaa tunteen vedosta. Tällä ei kuitenkaan ole

suurta merkitystä silloin, kun tilat ovat tyhjillään. Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa minimi-ilmavirtamitoituksella voidaan huolehtia nimenomaan rakennus- ja sisustusmateriaalien aiheuttamien päästöjen poistamisesta, joille on tarve tilojen ollessa tyhjillään.

Sisäympäristön tekijöistä tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa vakioilmavirtaista järjestelmää enemmän korostuu akustiikka (äänitaso). Tämä johtuu järjestelmässä käytettävästä tekniikasta, joka aiheuttaa ilmavirran muutosten myötä jossain määrin ääntä tiloihin.

4 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

4.1 Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon historia ja nykyhetki

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon historiasta löytyy hyvin vähän tietoa. Vuosien saatossa järjestelmään liittyvää tekniikkaa on kehitetty myös Suomessa useiden eri laitevalmistajien toimesta. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tekniikkaa kehittävät muun muassa Fläkt Group, Halton ja Swegon.

Tarpeenmukaisesta ilmanvaihdosta puhuttaessa puhutaan usein IMS-järjestelmästä. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu yksinkertaisimmillaan tilojen vaihtelevaan käyttöasteeseen ja ohjaukseen määriteltyjen ohjausperusteiden mukaisesti. IMS-järjestelmän tarkoituksena on säästää energiaa siten, että tilojen ilmanvaihtoa ohjataan todellisen tarpeen mukaan. Tämä korostuu muun muassa koulurakennuksissa erityisesti siksi, että ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat ovat yleisesti melko suuria ja käyttöasteet ovat suhteellisen matalia. IMS-järjestelmän ohjaus perustuu pääosin tilan olosuhteiden hallintaan ja se on liitetty yleensä keskitettyyn automaatiojärjestelmään. Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa voidaan säätää ja ohjata kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmän kautta. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on usein hajautettu useammalle eri ilmanvaihtokoneelle, joka kasvattaa puhaltimien kokonaismäärää rakennuksessa. Tulo-poistoilmanvaihtokoneiden lisäksi järjestelmään liittyvät usein erillispoistokoneet (poistoilmakoneet, huippuimurit ja kanavapuhaltimet), jotka käyvät joko itsenäisinä järjestelminään tai niiden käynti on kytketty pakko-ohjauksella ja lukituksella tulo-poistoilmanvaihtokoneen käyntiin.

1980- ja 1990-luvulla ilmanvaihtokoneissa on käytetty 2-nopeusmoottorilla varustettuja puhaltimia, jolloin ilmanvaihtoa on voitu käyttää aikaohjelmien mukaan näillä kahdella tehoportaalla. 1990-luvulla ja 2000-luvulla ovat yleistyneet taajuusmuuttajat, jolla puhaltimien tehoa voidaan säätää portaattomasti. Puhaltimien tehon säätö on säästänyt energiaa. Puhaltimien pyörimisnopeudessa tapahtuneet muutokset ovat vaikuttaneet koko ilmanvaihtojärjestelmään yksittäisen huonetilan tai ilmanvaihtokoneen palvelualueen osan sijasta. Viime vuosina ilmanvaihtokoneet on varustettu usein suoravetoisilla EC-moottoreilla, joihin ei tarvita erillistä taajuusmuuttajaa. Puhaltimen pyörimisnopeuden ohjaus vaikuttaa myös tällä puhallintyyppillä koko järjestelmän toimintaan yksittäisen tilan

sijasta. Vakioilmavirtaiseen ilmanvaihtojärjestelmään verrattuna merkittävin ero energiankulutuksessa liittyy koulurakennuksissa erityisesti päivän aikana tapahtuvaan puhallinkäyttöön, sillä ilmanvaihtoa ohjataan todellisen tarpeen perusteella aikaohjelmien lisäksi [Tarpeenmukainen ilmanvaihto. 2016, s. 2].

1990-luvulla tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa on käytetty muun muassa muuttuvaimavirtaista järjestelmää. Muuttuvaimavirtainen järjestelmä on koostunut yleensä tilakohtaisesta puhaltimesta, lämmityspatterista sekä sulkupellistä. Kyseistä kojeistoa on voitu ohjata esimerkiksi huonesäätimellä. Kyseiseen järjestelmään on voitu liittää myös läsnäoloanturi, jonka perusteella ilmanvaihto on voinut kytkeytyä päälle [Aalto ym. 1990, s. 10].

Tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ilmanvaihtokanavat on nykyisin varustettu ilmamääräsäätimin (IMS-pellein), jotka on varustettu toimilaitteilla ja mittalaipalla sekä äänenvaimentimella. IMS-järjestelmässä ääntä aiheuttavat tekijät liittyvät erityisesti toimilaitteen toimintaan (säätöpellin kakara sulkee ja avaa peltiä) ja painehäviöön pellin yli (kuristaminen), joiden aiheuttamia äänihaittoja tilaan pyritään ehkäisemään äänenvaimentimien avulla. IMS-pellit voidaan asentaa joko tilakohtaisesti tilan tulo- ja poistoilmakanaviin tai vyöhykekohtaisesti, jolloin IMS-pellit asennetaan runko- tai haarakanaviin (tulo- ja poistoilmakanavat). Tila varustetaan huoneanturilla, joka on valittu ilmanvaihdon ohjausperusteen mukaan, ja ohjaus tapahtuu esimerkiksi tilan olosuhteiden mukaan (hiilidioksidipitoisuus ja/tai lämpötila). Toinen vaihtoehto on asentaa anturit poistoilmakanavaan. Edellä mainituilla asennus- ja ohjaustavoilla voidaan vaikuttaa yksittäisen tilan olosuhteisiin. Vyöhykekohtaisessa säädössä jokainen tila tai tilan ilmanvaihtokanavat varustetaan anturilla ja ilmanvaihdon ohjaus tapahtuu vyöhykkeen olosuhteiden keskiarvon mukaan. Keskiarvoon perustuvalla säädöllä yksittäiseen tilaan ei välttämättä saada vaadittuja olosuhteita, mutta tällä voidaan usein varmistaa kohtuulliset olosuhteet kaikissa vyöhykkeen palvelualueella olevissa tiloissa.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän osalta tulee ottaa huomioon, että sen avulla voidaan jäähdyttää tiloja. Tällä tarkoitetaan sitä, että tilaan tuodaan enemmän ilmaa kuin sieltä poistetaan tai tilan ilmanvaihtoa kokonaisuudessaan tehostetaan ja että tuloilman lämpötilaa ohjataan tilan operatiivisen lämpötilan perusteella alhaisemmaksi verrattuna talviaikaan. Ulkoisiin lämpökuormiin ja niiden aiheuttamaan tilan yllämpenemiseen tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa vain rajallisesti tapauksessa, jossa ra-

kennukseen on asennettu ilmanvaihtokone, eikä rakennuksessa ole erillistä jäähdytysjärjestelmää tai ilmastointikonetta. Ulkoisiin lämpökuormiin ja sisäilman lämpenemiseen niiden vaikutuksesta vaikuttavat oleellisesti arkkitehti- ja rakennesuunnittelussa tehdyt ratkaisut sekä tilaajan tahtotila erillisen jäähdytysjärjestelmän suunnittelusta ja toteutuksesta.

4.2 Tarpeenmukainen ilmanvaihdon muuntojoustavuus

IMS-järjestelmää suositellaan usein käytettäväksi toimisto- ja koulurakennuksissa vaihtelevan kuormituksen vuoksi. Vaihtelevalla kuormituksella tarkoitetaan sitä, että osa tiloista voi olla tyhjiään, kun taas osassa tiloja käyttäjiä voi olla maksimimäärä. Esimerkiksi koulurakennuksen luokkatila, jossa on istumapaikat 31 henkilölle, ilmavirran maksimitoitus olisi 6 l/s, hlö -mitoituksella 186 l/s. Vastaavan tilan maksimi-ilmavirran mitoitus olisi 126 l/s tapauksessa, jossa esimerkiksi pinta-alaltaan 63 m²:n luokkatilassa olisi käytetty sisäilmastoluokituksen mukaista, pinta-alaan perustuvaa 2 l/s, m² -mitoitusta. Ilmavirtojen eroa voidaan pitää edellä mainitussa esimerkissä suurena.

Edellä mainituista syistä tilojen ilmanvaihdon tarve ei ole vakio, vaan vaihtelee tilanteen mukaan. Minimi-ilmavirtatilanne syntyy silloin, kun tila on tyhjiään (välitunnit ym). ja ilmanvaihdon tarkoitus on poistaa tilassa oleva kosteus ja epäpuhtaudet. Ilmanvaihdon vaihteleva tarve eri tiloissa vaikuttaa selkeästi energian kulutukseen, kun verrataan IMS-järjestelmää ja vakioilmavirtaista järjestelmää. Ilmavirtojen mitoituspäätös tulee aina tarkastaa niin henkilömäärän kuin pinta-alan perusteella. Ilmavirrat on suositeltavaa mitoitaa näistä suurempaan ilmavirtaan johtavan mitoituspäätöksen perusteella.

Tarpeenmukainen ilmanvaihto luo muuntojoustavuutta, sillä kanavat suositellaan useimmiten mitoittamaan väljäksi. Väljä mitoittaminen on ollut suositeltavaa myös siksi, että sillä voidaan vaikuttaa kanavapaineeseen, kanaviston aiheuttamiin painehäviöihin ja puhaltimen tuottaman paineen tarpeeseen. Puhaltimen paineen tuoton tarve on yhteydessä energiatehokkuuteen (puhaltimen vaatima sähköteho).

Yhtenä tekijänä väljään kanavamitoitukseen liittyvät myös äänitekniset näkökohdat. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu on usein haastavaa äänitekniikan syiden vuoksi. Tämä johtuu edellä mainittujen rakennustyyppien osalta Suomen raken-

tamismääräyskokoelman osassa D2 (2003, 2010 ja 2012) määritellyistä alhaisista maksimiäänitasoista (A-painotettu) luokkatiloissa ja useissa muissa koulurakennuksen tiloissa. Ympäristöministeriön suunnitteluoppaissa äänitasot ovat pysyneet D2:een verrattuna lähes ennallaan. Väljällä kanavamitoituksella mahdollisestaan alhaisempi painetaso kanavistossa yleisesti ja alhaisempi painehäviö (kuristus) IMS-pellin yli. Edellä mainittujen tekijöiden vuoksi monissa rakennustyypeissä on suositeltu kanaviston ja IMS-peltien asentamista käytävätilaan.

Mahdolliset tilamuutokset aiheuttavat kuitenkin tarvetta muuttaa kanavistoa. Kanaviston muutokset voivat muun muassa lisätä haarakanavien, päätelaitteiden ja IMS-peltien määrää. Järjestelmän väljä mitoitus mahdollistaa tilamuutoksia, kun ne tehdään tarkan selvitystyön jälkeen, jossa on varmistettu ilmanvaihtokoneen puhaltimien riittävyys muuttuvaan tilanteeseen sekä äänitason pysymisestä tilojen käyttötarkoituksen sallimissa rajoissa (määräykset). Painetason muuttuminen ei välttämättä vaikuta järjestelmän toimintaan merkittävässä määrin, mutta sen vaikutukset tulee huomioida ennen muutosten tekemistä muun muassa ääniteknisistä sekä rakennusautomaation näkökulmista. Muutosten tekeminen vaatii muutoksia rakennusautomaatiojärjestelmään laajemmin kuin uusien laitteiden vaatimien kytkentöjen osalta. Painetason muuttuminen järjestelmässä voi vaatia parametrien muuttamista olemassa olevan järjestelmän osalta, johon ei tehdä muutoksia lainkaan. Kyseisessä tapauksessa ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat tulee säätää ja mitata uudelleen yksittäisen ilmavaihtokoneen palvelualueen asemesta koko rakennuksen alueella.

4.3 Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjausperusteet ja automaatio

Ohjausperusteet

IMS-järjestelmässä voidaan käyttää useita eri ohjausperusteita. Yleisimmin on käytetty lämpötilaan perustuvaa ohjausta. Lämpötilaan perustuvan ohjauksen merkitys nousee esiin selkeämmin niinä vuodenaikoina, kun ulkoisen lämpökuorman osuus on suurimmillaan. Koulurakennuksissa ulkoinen lämpökuorma vaikuttaa merkittävimmin keväällä ja syksyllä, sillä kouluvuosi on silloin käynnissä. Kesäaikana koulurakennuksen ollessa tyhjiään ulkoisen lämpökuorman aiheuttaman ylläampemisen jäähdyttämisen merkitystä ja tarvetta voidaan pitää vähäisenä, sillä koulussa ei ole merkittävässä määrin toimintaa ja ilmanvaihdon tarve käsittää henkilökunnan käyttämiä tiloja luokkatilojen sijaan.

Lämpötilaan perustuvan ohjauksen lisäksi ohjausperusteena voidaan käyttää hiilidioksidipitoisuutta, joka on yleisesti selkeä indikaattori tilojen käytöstä ja niiden mittaukseen käyttävät laitteet ovat luotettavia. Hiilidioksidipitoisuus on lämpötilan ohella yleisimmin käytetty mitattava suure, jonka perusteella tarpeenmukaista ilmanvaihtojärjestelmää ohjataan. Useimmiten nämä suureet voidaan mitata samalla anturilla, mikä vaatii vähemmän automaation kytkentöjä. Anturit voidaan sijoittaa helposti joko huonetilaan tai ilmanvaihtokanavaan (poistoilmakanava). Ilmanvaihto voidaan säätää IMS-järjestelmän toimesta minimi-ilmavirralla tilanteessa, jossa tilassa ei ole käyttöä tai hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila laskevat tasolle, jossa ilmanvaihdon tehonmuutos on määritelty tapahtuvaksi. Hiilidioksidipitoisuuden perusteella tapahtuvan ohjauksen mitoitusilanteen raja-arvot voidaan asettaa esimerkiksi seuraavasti:

Ilmanvaihto alkaa tehostua rakennuksen tilassa hiilidioksidipitoisuuden noustessa tasolle 500–600 ppm, kun maksimitaso on 900 ppm (sisäilmaluokka S2, ilmanvaihto). Lämpötilan osalta ilmanvaihtoa voidaan tehostaa lämpötilan noustessa tasolle 22–23 astetta, kun operatiivisen lämpötilan maksimitaso on 25,5 astetta (sisäilmaluokka S2, lämpötila), kun ulkoilman lämpötila on 20–25 astetta. Vastaavasti operatiivisen lämpötilan minimitaso on 21,5 astetta, kun ulkoilman lämpötila on 0 astetta. Edellä mainittu operatiivisen lämpötilan vaihtelu edellyttää muunnostaulukon tekemistä automaatiojärjestelmään (lämpötilan kompensointi).

Edellä mainitulla ohjauksella ilmanvaihdon toiminta vastaisi määritellyn sisäilmastoluokan (ilmanvaihto ja lämpötila) tasoon huolehtien tilan sisäilman olosuhteista ja niiden pysyvyydestä. Lämpötilaan perustuvassa ohjauksen suunnittelussa on huomioitava tuloilman lämpötilan vaikutus operatiiviseen lämpötilaan. Tuloilman lämpötilan osalta on huomioitava myös, että se lämpiää ilmanvaihtokoneen jälkeen kanavistossa ennen, kuin se puhalletaan huonetilaan. Mikäli sisäilmastoluokituksen mukaista luokitusta ei ole käytetty, voidaan maksimitilanteen raja-arvo määrittää Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 tai ympäristöministeriön asetuksessa määritettyjen raja-arvojen perusteella.

Lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden ohella voidaan käyttää voc-yhdisteiden mittaukseen perustuvaa ohjausta. Tämä tapa perustuu eri rakennusmateriaaleista, huonekaluista ja ihmisistä haihtuviin kemikaaleihin (voc-yhdisteet). Käytännön työssä voc-mittauksiin on suhtauduttu vielä varauksella, sillä on koettu, että luotettavuus ilmanvaihdon

ohjauksessa ei välttämättä ole samalla tasolla verrattuna lämpötilaan ja hiilidioksidipitoisuuden perustuvaan ohjaukseen.

Lämpötilan, hiilidioksidi- ja voc-yhdisteisiin perustuvien ohjaustapojen lisäksi voidaan käyttää erillistä läsnäoloanturia. Läsnäoloanturi on yleisesti käytetty hiilidioksidi ja/tai lämpötilaperusteisen ohjauksen lisänä, jolla varmistetaan ilmanvaihdon tehon oikea-aikaiset muutokset tapauksessa, jossa hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila eivät ole vielä selkeästi nousseet. Sen huonona puolena on, että tilassa tulee olla liikettä vyöhykkeellä, josta läsnäoloanturi tunnistaa liikkeen. Läsnäoloanturia käytettäessä tulee varmistaa, että viive on säädetty järkevästi ilmanvaihdon toiminnan kannalta. Riittävän pitkällä viiveellä varmistetaan ilmanvaihdon tasainen toiminta silloin, kun tiloissa on käyttöä (joku ehtii liikkua riittävästi viiveen aikana). Vastaavasti tilan jäädessä tyhjilleen ei liikettä tapahdu viiveen aikana lainkaan, jolloin läsnäoloanturin lähettämää viestiä ilmanvaihdon ohjaukselle voidaan pitää relevanttina. Esimerkkinä voidaan käyttää seuraavaa:

Rakennuksen tilassa on ollut käyttöä klo 9-12. Tilan ilmanvaihto on ohjattu sisäilman olosuhteiden muuttuessa maksimi-ilmavirralla. Ilmanvaihto on ollut maksimi-ilmavirralla käytön päättymisen jälkeen niin kauan, että sisäilman hiilidioksidipitoisuus ja/tai lämpötila ovat laskeneet tasolle, jolla ilmavirtaa ohjataan alhaisemmaksi. Vaihtoehtoisesti läsnäoloanturin ohjaamana ilmavirtaa on voitu laskea, kun tiloissa ei ole ihmisiä. Läsnäoloanturin viive voi olla esimerkiksi 20 minuuttia.

Läsnäoloanturille asennettavan viiveen tarkoituksena on kuormituksen aikaisen tasaisen ilmanvaihdon lisäksi varmistaa, että tila tuulettuu kuormituksen päättymisen jälkeen ennen, kuin ilmanvaihto säätyy osa- ja minimi-ilmavirralla. Mikäli oppilaat poistuvat tilasta oppituntien välillä olevien välituntien ajaksi, tila tuulettuu läsnäoloanturille asetellun viiveen ansiosta ja ilmanvaihdon toiminta on tasaisempaa. Liian lyhyt viive voi ajaa ilmanvaihdon liian alhaiselle tasolle oppitunnin ollessa kesken, tai tilan tuuletus voi jäädä puutteelliseksi kuormituksen päättymisen jälkeen, jolloin sisäilman laatu voidaan kokea huonoksi.

Rakennusautomaatio

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ja IMS-järjestelmän yhtenä kulmakivenä voitaneen perustellusti pitää rakennusautomaatiojärjestelmää. Ilman oikein suunniteltua, asennettua ja ohjelmoitua rakennusautomaatiojärjestelmää IMS-järjestelmän toiminnassa saattaa olla huomattavia puutteita ja ongelmia. Käytännön työssä on todettu, että rakennusautomaation osuutta IMS-järjestelmän toiminnalle ei voi vähätellä. Rakennusautomaation olennaisimpia osia koulurakennuksessa on hyvin suunnitellut ja toteutetut VAKit sekä valvomo. Valvomoon asetetaan useimmiten ilmanvaihtokonekohtaiset grafiikat ja esitetään kyseisen ilmanvaihtokoneen palvelualueella olevat IMS-pellit sekä eri komponenttien asetus- ja mittausarvoja. Valvomossa voi olla rakennettuna oma välilehtensä esimerkiksi huoneantureista ja/tai säätölaitteista sekä palopelleistä. Valvomoon asetellaan ilmapirran asetusarvot (minimi-, osa- ja maksimi-ilmapirrat, l/s sekä prosenttiosuus) sekä mittausarvot (l/s ja prosenttiosuus) kyseisiltä IMS-pelleiltä. Joissain tapauksissa valvomoon asetellaan myös IMS-peltien nominaaliarvot (l/s). Grafiikalla on esitetty usein myös sisäilman tai poistoilman asetus- ja mittausarvot hiilidioksidipitoisuuden (ppm) ja lämpötilan (°C) osalta, mikäli ne on määritelty IMS-järjestelmän ohjauserusteiksi. IMS-peltien toimilaitteet on liitetty VAKiin, joka on liitetty valvomoon. VAKeja on kohteissa yleensä useampia kuin yksi.

Hyvin tehdyllä grafiikalla voidaan varmistua ilmanvaihtojärjestelmän kattavasta toiminnan tarkastelusta eri olosuhteissa sujuvasti ilman, että tietojen etsimiseen tarvitsee käyttää tarpeettoman paljon aikaa. Hyvin toteutetulla valvomolla on merkitystä myös silloin, kun tehdään IV- ja RAU-järjestelmäselvityksiä koulurakennuksissa. Hyvin rakennettu järjestelmä nopeuttaa ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan ymmärtämistä kokonaisuudessaan.

IMS-pellin toimilaitteeseen asetetaan suunnitelmien mukaiset minimi-, osa- ja maksimi-ilmapirrat, nominaaliarvo sekä säätöviestien vaihteluväli. Toimilaitteen säätöviestinä on useimmiten 0–10 V. Useimmissa tapauksissa 0 V:n jännitettä ei käytetä, vaan IMS-pelti ohjataan minimiasentoon 2 V:n säätöviestillä. 2 V:n säätöviestillä varmistetaan, että ohjausviestit toimivat jännitteen liikkeessä kaapelissa. Mikäli säätöviesti on näissä tapauksissa 0 V, järjestelmässä on usein vika. Mikäli minimi-ilmapirran ohjaukseen käytettäisiin 0 V:n säätöviestiä, ei järjestelmässä mahdollisesti olevaa vikaa voitaisi havaita yhtä helposti ja luotettavasti. Maksimi-ilmapirran ohjaukseen käytetään kuitenkin 10 V:n säätöviestillä.

Kaapelointien ollessa pitkiä voidaan järjestelmä varustaa tarvittaessa vahvistimella tai toistimella, jotta säätöviestien oikeellisuus voidaan varmentaa ja sitä kautta järjestelmän oikea toiminta. IMS-pellit kaapeloidaan ja liitetään teknisessä tilassa sijaitsevaan VAKiin, josta liitetään ohjauspisteet valvomoon. Huoneanturin mittaamien suureiden tiedot lähetetään säätöviestinä VAKiin ja valvomoon. Valvomosta lähetetään ohjausviesti IMS-pellin toimilaitteelle. IMS-pellin toimilaite vastaanottaa viestin ja säätää peltiä vaadittuun asentoon ja lähettää paluuviestin valvomoon.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon automaatioon liittyy oleellisesti myös huone- ja/tai kanava-antureiden asennus sekä kaapelointi ja ohjelmointi. Huoneantureissa voidaan käyttää itsekalibroivia antureita, mutta niidenkin osalta on huomioitava, että ne tulee kalibroida säännöllisesti niiden oikean mittaustuloksen ja sitä kautta ilmanvaihdon toiminnan varmistamiseksi. Anturit liitetään IMS-peltien toimilaitteiden ohella VAKiin, jonka kautta ne liitetään valvomoon.

4.4 Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ratkaisuvaihtoehtoja

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon sovelluksena voidaan pitää VAV-järjestelmää (Variable Air Volume). VAV-järjestelmän toimintaperiaate perustuu huonekohtaiseen ohjaukseen. VAV-järjestelmää ohjataan on/off-periaatteella huoneessa olevalla kytkimellä, jota käyttäjä käyttää tullessaan ja poistuessaan tilasta. Tilojen ollessa tyhjillään tiloja palvelee perusilmanvaihto, joka vaihtaa tilan ilman ja poistaa rakennusmateriaalien ja huonekalujen aiheuttamat epäpuhtaudet tilasta. Järjestelmässä käytetty tekniikka poikkeaa oleellisesti IMS-järjestelmästä siten, että säätöpellit ovat usein 2- tai 3-asentopeltejä, jotka on asennettu jokaisen päätelaitteen kytkentäkanavaan. Peltien säätö perustuu ko. tekniikalla pellin asennon säätämiseen huonekytkimen ohjaamana eikä toimilaitteen säätöviestien ohjaamana kuten IMS-pelleissä.

VAV-järjestelmän sovellutuksena voidaan pitää myös järjestelmää, jossa tilaan on asennettu esimerkiksi kaksi tulo- ja poistoilmanvaihdon päätelaitetta. Toisten tulo- ja poistoilman päätelaitteiden kytkentäkanaviin on voitu asentaa IMS-pelti tai vaihtoehtoisesti 2- tai 3-asentopelti. Tilanteessa, jossa minimi-ilmanvaihto ja ilmanjako tilojen ollessa tyhjillään tai kuormituksen ollessa alhaisempaa hoidetaan yhden tulo- ja poistoilmanvaihdon päätelaitteen avulla. Kuormituksen muuttuessa toisen päätelaitteen kytkentäkanavaan asennettu pelti avautuu täysin auki ja tiloihin puhalletaan maksimi-ilmavirta.

DCV-järjestelmä on yksi tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ratkaisuvaihtoehto. DCV-järjestelmän ohjaus perustuu tilakohtaiseen ilmanvaihdon ohjaukseen määriteltyjen ohjausperusteiden pohjalta. DCV-järjestelmällä voidaan saavuttaa yksilöllisen ilmanvaihdon taso tila- ja vyöhykekohtaisesti. Vyöhykekohtaisella säädöllä ilmamäärä säätyy yleensä tilojen keskiarvon perusteella. Vyöhykekohtaisen säädön heikkous liittyy tilojen kuormitustilanteiden ääripäihin, jolloin tyhjänä olevan tilan ilmanvaihto on liian tehokas ja maksimikuormituksella ilmanvaihdon taso saattaa jäädä puutteelliseksi. Useimmiten eroa voidaan kuitenkin pitää vähäisenä.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ratkaisuna voidaan pitää edellä mainittujen lisäksi erilaisia hajautettuja ilmanvaihtojärjestelmiä. Nämä voivat olla esimerkiksi kerroskohtaisia tai palvelualueeseen perustuvia ilmanvaihtojärjestelmiä. Kyseisessä järjestelmässä voidaan käyttää paketti- tai moduulikoneita kerros- tai palvelualueen koosta ja kokonaisilmamäärän tarpeesta riippuen. Tässä ratkaisuvaihtoehdossa tarpeenmukaisuus perustuu pääosin tilojen käyttöaikoihin, tilojen samankaltaiseen käyttöön toisiinsa verrattuna tai muuhun niiden käyttötarkoitukseen soveltuvaan ohjausperusteeseen. Näihin voidaan liittää esimerkiksi 2- tai 3-asentopellit, joiden ohjaus perustuu läsnäoloanturin tunnistamaan liikkeeseen tilassa. Anturointi ja toimintaperiaate on tässä vaihtoehdossa yleensä IMS-järjestelmää yksinkertaisempi. 2- ja 3-asentopeltejä käyttämällä voidaan säästää energiaa verrattuna järjestelmään, johon peltejä ei ole asennettu lainkaan (vakioilmavirtainen järjestelmä).

Yksikkökoneet ovat yksi vaihtoehto tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteutukselle. Jokaisella koneella on oma ulkoilman otto ja jäteilman ulospuhallus, lämmön talteenotto, tuloilman lämmitys ja mahdollisesti jäähdytys. Tuloilma puhalletaan tilaan ilmanvaihtokoneen etuosasta, mikä vähentää tilan vaatimaa kanavointia ja päätelaitteiden tarvetta. Yksikkökoneiden käyntiaikoja voidaan ohjata tilan käytön mukaan ja niissä on yleensä integroituna laitevalmistajan säätöyksikkö, josta voidaan säätää esimerkiksi tuloilman lämpötilaa tilakohtaisesti.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon päätelaitteet

Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa on mahdollista hallita tilojen ilmavirtoja IMS-peltien lisäksi tai asemesta päätelaitteiden avulla. Järjestelmiin voidaan asentaa joko passiiviset tai aktiiviset päätelaitteet. Passiiviset päätelaitteet ovat päätelaitteita, joiden puhallusaukkojen koko säilyy samana ilmanvaihdon asennosta riippumatta. Passiiviset päätelaitteet

on varustettu usein säätölaittein, joiden avulla säätö tehdään tiettyyn asentoon. Usein tämä säätö toteutetaan maksimi-ilmavirran mukaiseen säätöön myös tarpeenmukaisessa järjestelmässä. Näillä päätelaitteilla ilmavirtojen muutokset vaikuttavat heittokuvioon ja -pituuteen olennaisesti. Minimi-ilmavirtaa käytettäessä heittokuvion ja -pituuden muutokset voivat aiheuttaa vedon tunnetta käyttäjille, sillä ilmanjako ei toimi suunnitellusti. Usein suunnittelun yhteydessä simuloidaan ja päätelaite mitoitetaan maksimi-ilmavirran mukaiseen tilanteeseen.

Aktiivinen päätelaite säätää puhallusaukon kokoa ilmavirran muutosten mukaisesti. Ilmavirran muutosten yhteydessä myös heittokuvio ja -pituus säätyvät. Aktiivisessa päätelaitteessa on toimilaitte, jolla säädetään esimerkiksi tuloilmahajottajassa avoinna olevien säleiden tai reikien määrää. Aktiivisen päätelaitteen avulla voidaan ehkäistä vetoon liittyviä tuntemuksia heittokuvion ja -pituuden säätyessä. Aktiivinen päätelaite toimii IMS-pellin toimintaperiaatteella, jolla voidaan jopa korvata IMS-pelti kokonaisuudessaan. Aktiivisen päätelaitteen käyttö edellyttää sen liittämistä automaatiojärjestelmään. Laittevalmistajasta riippuu, mihin väylään päätelaite voidaan liittää (Modbus ym.). Aktiivisen päätelaitteen osalta mitoitukseen tulee kiinnittää huomiota erityisesti ääniteknisestä näkökulmasta. Aktiivisen päätelaitteen äänenvaimennusta ei voida tehdä enää säätölaitteiden jälkeen, kuten tapauksessa, jossa IMS-pelti on asennettu kanavaan. Ääniteknisten ominaisuuksien lisäksi tulee kiinnittää huomiota laitteen toiminta-alueeseen, jotta ilmavirrat voidaan säätää parhaalla mahdollisella tavalla.

Molemmissa edellä mainituissa tapauksissa kytkentäkanavien mitoitukseen on syytä kiinnittää huomiota. Kanavien mitoituksessa olisi syytä tarkastella kanavien mitoituksen toimivuus myös minimitalanteessa, jotta painetaso on riittävä tilan ilmanvaihtoon myös minimi-ilmavirtaa käytettäessä.

5 IMS-järjestelmä koulurakennuksissa

Suomessa tarpeenmukaista ilmanvaihtoa palvelevaa tekniikkaa on asennettu moniin koulurakennuksiin. Kyseiset kohteet ovat olleet uudisrakennuksia ja peruskorjattuja kohteita. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käyttö koulurakennuksissa perustuu pääasiassa energian säästöön sekä sisäilman olosuhteiden tarkempaan hallintaan.

Koulurakennuksessa energian säästöön liittyvä näkökohta on ilmeinen. Swegonin tuotesitteen mukaan puhallinenergiasta voidaan säästää jopa 80 % sekä lämmitys- ja jäähdytysenergiasta 40 % [Tarpeenmukainen ilmanvaihto. 2016, s. 2]. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että vakioilmavirtainen järjestelmä kuluttaa merkittävän määrän energiaa verrattuna tarpeenmukaiseen ilmanvaihtojärjestelmään. Koulurakennuksissa käyttöaste on alhaisin liikuntasalissa, ruokalassa ja keittiössä sekä tietyissä aineluokissa. Koulurakennuksissa esimerkiksi keittiötä palvelee usein oma ilmanvaihtokone, jonka käyntiä ohjataan aikaohjelmien avulla, eikä siihen ole liitetty tarpeenmukaisuuteen liittyviä laitteita ja -toimintoja.

IMS-järjestelmä soveltuu hyvin perusaineiden opetusluokkien ilmanvaihtoon. Tämä johtuu siitä, että tilojen epäpuhtaudet syntyvät pääosin rakennusmateriaaleista, huonekaluista ja ihmisistä. Nämä eivät aiheuta oikealla käytöllä, huollolla ja ylläpidolla ongelmia IMS-järjestelmän toiminnalle. IMS-järjestelmää voidaan käyttää myös erilaisissa aineluokissa, mikäli varmistetaan, että mahdollisia muita epäpuhtauksia tuottavat prosessit eivät aiheuta häiriötä IMS-järjestelmän toiminnalle. Tämä voi käytännössä tarkoittaa sitä, että tilan poistoilmanvaihto on järjestetty erillispoistona yleispoiston sijasta tai, että erillispoistoa käytettäessä yleispoistoa vähennetään samassa suhteessa. Koulurakennuksissa on tiloja, joiden käyttöön IMS-järjestelmä ei ole ideaali. Näitä ovat esimerkiksi keittiöt ja teknisen työn luokan poistoilmanvaihto. Näiden tilojen toiminnat ja prosessit aiheuttavat epäpuhtauksia ilmaan (rasva, kosteus, pöly), jotka voivat aiheuttaa IMS-järjestelmän tekniikassa käytettävien antureiden ja toimilaitteiden likaantumisen ja vikaantumisen ajan saatossa.

IMS-järjestelmällä voidaan ohjausperusteiden valinnan mukaan hallita ilman laatua ja lämpötilaa ilmanvaihdon ohjauksen keinoin. Ilman laadulla on vaikutusta muun muassa oppimistuloksiin ja työn tuottavuuteen. [Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. Loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista. 2017, s. 5–6].

Suoritettujen IVA-järjestelmäselvitysten yhteydessä on havaittu, että koulurakennuksen järjestelmä on voitu toteuttaa tilakohtaisesti (IMS-pellit joka tilan tulo- ja poistoilmakanavassa) tai vyöhykkeittäin, jossa IMS-pellit on asennettu runko- ja/tai haarakanavistoon. Tilakohtaisessa järjestelmässä huollettavien IMS-peltien ja huoneantureiden määrä lisääntyy. Tämä vaikuttaa järjestelmän huolto- ja ylläpitokustannuksiin. Molemmilla ratkaisulla hyvä suunnittelu ja toteutus on avainasemassa. Jommankumman osa-alueen epäonnistumisen myötä hyvä ajatus voi vesittyä, mutta onnistuessaan luo hyvät olosuhteet tilojen käyttäjille.

5.1 Koulurakennusten ilmanvaihtoon liittyviä haasteita

Ilmanvaihtojärjestelmien toiminnassa on käytännön työssä havaittu haasteita. Haasteet liittyvät usein vedon tunteeseen, äänitasoon ja tilojen lämpötilaan. Edellä mainittuja ongelmia luovat muun muassa virheellinen ilmanjakotapa (päätelaittevalinta) tai päätelaitteiden virheellinen asennuspaikka sekä virheelliset ilmavirtojen mitoitukset. Vedon tunteen lisäksi palautetta saadaan riittämättömästä ilmanvaihdosta ja tilojen tunkkaisuudesta. Tilojen riittämättömän ilmanvaihdon ja tunkkaisuuden taustalla on usein useampi tekijä. Ilmanvaihdon riittämättömyyden kokemukseen vaikuttavat tilojen ilmavirtojen riittävyyteen liittyvät tekijät, ilmavirtojen poikkeamat, ilman heittopituus ja -kuvio. Tunkkaisuuteen voivat vaikuttaa edellä mainittujen tekijöiden lisäksi sisäilmassa olevat erilaiset epäpuhtaudet ja hajut.

Käyttäjät (henkilökunta) osaavat usein kertoa mahdollisista oireista tai havainnoista liittyen oppilaiden keskittymis- ja oppimiskykyyn tilanteissa, jossa ilman laatu huononee selvästi. Käyttäjiä haastateltaessa saadaan usein selville keinoja, joilla he pyrkivät parantamaan sisäilman laatua. Sisäilman laatua pyritään usein parantamaan tuulettamalla tiloja ikkunoita avaamalla. Ilmanlaadun parantamisen sijasta tämä saattaa vaikuttaa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toimintaan sitä heikentävästi, sillä ohjausperusteena oleva hiilidioksidipitoisuus laimenee tuuletettaessa tai tilan lämpötila laskee. Edellä mainitussa tapauksessa IMS-pellit säätyvät muuttuvan tilanteen mukana esimerkiksi maksimi-ilmavirrasta lähemmäs minimi-ilmavirtaa, jolloin ilmanvaihto on riittämätön tiloja käyttävälle henkilömäärälle. Ilman laatu koetaan helposti huonoksi siinä vaiheessa, kun ikkunat on suljettu ja ilman laatu ja lämpötila jälleen tasaantuneet ennen, kuin IMS-järjestelmän ohjaus ehtii reagoida ja ohjata pellit maksimi-ilmavirralla.

Koulurakennuksissa haasteena sisäilman laadun ja IMS-järjestelmän mitoituksen näkökulmasta on, että välitunnit vietetään useimmiten sisätiloissa. Opetustilojen ilma voi parantua välitunnin aikana, mikäli käyttäjät poistuvat tilasta. Oppitunnit pidetään useimmiten niin sanotusti yhteen. Näin ollen yhtäjaksoista oleskelua opetustilassa voi olla jopa 90 minuuttia. Tämä luo haasteita ilmanvaihdon mitoitukselle ja ohjausten asettamiselle tilanteissa, joissa tiloissa on maksimikuormitus.

5.2 Järjestelmän toimintaan ja ylläpitoon liittyviä näkökohtia koulurakennuksissa

Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan liittyy monia näkökohtia, joita tämän opinnäytetyön aiemmissa luvuissa on käsitelty. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminta vaatii osaamista ja asiantuntemusta järjestelmän toimintaa seuraavalta ja käyttävältä henkilöstöltä.

Koulurakennuksissa tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa seuraa kiinteistön hoitaja ja taloteknisiä järjestelmiä huoltava taho. Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa käytettävä tekniikka vaatii huollolta ja ylläpidolta perinteistä ilmanvaihtojärjestelmää enemmän osaamista ja ymmärrystä järjestelmän toimintaan vaikuttavista tekijöistä. Käytännön työssä on havaittu, että huolto on monilta osin puutteellista ja järjestelmän toimintaa tai ohjausta ei ole omaksuttu siten, kun se on tarkoitettu. Huoltohenkilökunta vaihtaa useimmiten ilmanvaihtokoneiden suodattimet ja tarkastaa puhaltimien hihnat sekä vaihtaa ne tarvittaessa. Suodattimien vaihdolla on vaikutusta ilmanvaihtokoneen suorituskykyyn, sillä likaiset suodattimet erityisesti tuloilmapuolella aiheuttavat turhaa painehäviötä järjestelmään. Tämä saattaa aiheuttaa merkittäviä puutteita ilmavirroissa koko ilmanvaihtojärjestelmässä. Käyttäjien reklamaatiot sisäilman laadusta tavoittavat useimmiten ensimmäisenä rakennusten huollosta vastaavan tahon, joka voi valvomon kautta vaikuttaa järjestelmän asetusarvoihin, mikäli heidän käyttöoikeutensa on määriteltä riittävän laajoiksi. Tutkimuksissa on havaittu, että valvomoon on saatettu asettaa parametrejä käsiohjaukselle, jolloin järjestelmä ei toimi täysin automaation ohjaamana. Rakennusvaiheessa määritellyt asetusarvoja on saatettu muuttaa siten, että järjestelmä ei toimi suunnitellusti. Tämä vaikuttaa ainakin välillisesti tilojen ilmanvaihdon toimintaan ja koettuun sisäilman laatuun.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan vaikuttaa ilmanvaihtokanaviston puhtaus. Suorittamalla kanaviston nuohous sekä ilmavirtojen säätö- ja tasapainotus

säännöllisesti, voidaan varmistua paremmasta ilman laadusta ja järjestelmän toiminnasta. Dynaamisen paineen mittaukseen perustuvassa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tekniikassa huomiota tulee kiinnittää myös mittalaitteissa olevan paineanturin puhtautteen. Anturissa on valmistajasta riippuen eri määrä paineen mittaussaukkoja, jonka kautta pöly ja lika pääsee anturiin ja anturissa olevien mittayhteiden kautta IMS-pellin toimilaitteeseen. Paineanturin pölyntyminen aiheuttaa virhettä mittaustulokseen ja tämä vaikuttaa järjestelmän toimintaan. Uudemmissa tekniikoissa puhdistus on saatujen tietojen mukaan helpompaa, sillä mittaustekniikka ei perustu dynaamiseen paineeseen vaan ultraääneen ja radioaaltoihin. Dynaamiseen paineen mittaukseen perustuvassa tekniikassa uusimpien laitteiden mittayhteet ovat halkaisijaltaan pienempiä. Ne reagoivat pienempään ilmamäärään ja sen ilman nopeuteen, eikä näihin saatujen tietojen mukaan pääse pölyä samalla tavoin, kuin vanhempiin dynaamisen paineen mittaukseen perustuviin laitteisiin.

IMS-järjestelmän toiminnan kannalta on seurata IMS-peltien toimintaa valvomon kautta ja kentällä säännöllisin väliajoin. Järjestelmän toiminnan kannalta on tärkeää, että vialliset IMS-pellit ja niiden toimilaitteet havaitaan mahdollisimman pian, jotta voidaan suorittaa tarvittavat korjaukset, jolloin järjestelmä saadaan toimimaan suunnitellusti.

6 Laitevalmistajien kokemuksia koulurakennusten ilmanvaihdosta

Opinnäytetyössä haastateltiin laitevalmistajien edustajia. Haastatteluissa painopisteet olivat ilmanvaihtokoneissa, ilmanjaossa (päätelaitteet) sekä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon laitteistoissa (IMS-pellit ja niiden toimilaitteet).

Haastateltavien yritysten edustajat valittiin sen perusteella, kenen valmistamia laitteita tutkittavissa kohteissa on ollut. Ennen haastattelupyynnöitä kyseisistä yrityksistä selvitettiin sähköpostien ja puhelinkeskusteluiden avulla, onko heillä tietoa, onko vastaavaa tutkimusta tehty aiemmin. Haastattelut sovittiin hyvissä ajoin ennen haastatteluajankohtaa. Haastateltavilla oli tiedossa ennen haastatteluiden tekemistä, mitä rakennus- ja tilatyyppejä haastatteluissa painotetaan. Näin toimimalla he saivat aikaa valmistella omaa aineistoaan haastattelua varten.

Ilmanvaihtokoneisiin liittyen haastateltiin Matti Luomaa, joka toimii ETS Nord Oy:lla Recair-ilmanvaihtokoneiden aluemyyntipäällikkönä sekä Jyrki Lönnströmiä, joka toimii Fläkt Groupilla ratkaisupäällikkönä (ilmankäsittelykoneet, asuntoilmanvaihto).

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon laitteistojen (IMS-pellit ja toimilaitteet) osalta haastateltiin Tryggve Leanderia ja Niclas Grönlundia Swegon Solutionsilta. Leander toimii yrityksessä markkinointipäällikkönä ja Grönlund tuotepäällikkönä. Swegonilla on tehtaat Kaarinassa (asuntoilmanvaihdon tuotteet) ja useita tehtaita Ruotsissa eri paikkakunnilla.

Halton Oy:lta IMS-pelteihin liittyen haastateltavana oli Jussi Järvelä. Järvelä toimii yrityksessä tuotepäällikkönä. Haltonilla on tehtaat Kausalassa (Halton Oy) ja Lahdessa (Halton Marine Oy). Fläkt Groupilta haastateltavana oli Tuukka Karlsson. Karlsson toimii Fläkt Groupilla asiakkuuspäällikkönä. Fläkt Groupin Suomen tehtaat ovat Turussa (ilmastointipuhaltimet ja -kanavat) ja Akaassa (päätelaitteet). Fläkt Group valmistaa ilmanvaihtokoneet Ruotsissa.

Haastattelut suoritettiin haastateltavien ja opinnäytetyön tilaajan tiloissa marras- ja joulukuussa 2017 sekä tammi- ja helmikuussa 2018. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon laitteistoja koskevien haastattelujen yhteydessä keskusteltiin lisäksi ilmanjakoon liittyvistä tekijöistä. Tämä oli mahdollista, sillä Fläkt Groupilla ja Swegonilla valmistetaan myös päätelaitteita. Leanderin ja Grönlundin haastattelussa sivuttiin myös ilmanvaihtokoneisiin ja erityisesti puhaltimiin liittyviä näkökohtia.

Haastattelut rakennettiin siten, että eri laitevalmistajille (ilmanvaihtokoneiden valmistajat, ilmanjako ja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon laitteistot) valmisteltiin omat haastattelurunkonsa. Eri haastattelurungoilla varmistettiin asiakokonaisuuden hallinta ja pitäytyminen oleellisissa asioissa. Tällä ratkaisulla pyrittiin selkiyttämään kokonaisuutta ja tulosten analysointia. Haastattelujen rungot ovat liitteessä 1.

6.1 Ilmanvaihtokoneisiin liittyvät kokemukset

Ilmanvaihtokoneisiin liittyen käytiin keskustelua muun muassa ilmanvaihtokoneen mitoituksista ja IMS-järjestelmän vaikutuksesta siihen, mitoitukseen liittyvistä ongelmista yleisesti sekä IV-konehuoneeseen tehtävien asennusten merkityksestä IMS-järjestelmän toiminnalle.

IV-koneiden mitoituksen osalta haastatellut pitivät LVI-järjestelmien suunnitteluun käytettäviä ohjelmistoja (mm. MagiCAD) haasteellisena. Tämä johtuu siitä, että MagiCADlla ei voida mallintaa IV-koneen eri komponentteja. Lönnström toi yhtenä haasteena esiin IV-koneen koneosien muodon ja näihin liittyvän tiedon puutteen suunnitelmassa. Lönnström korosti, että oleellinen osa IV-koneen mitoitusta on minimi-ilmavirran mitoitus tilanteessa, jossa kohteessa on tarpeenmukainen ilmanvaihto. Minimii-ilmavirran simuloinnin merkitys mitoituksessa korostuu hänen näkemyksensä mukaan myös siksi, että jo ilmavirtojen puolituksen tiedetään tuoneen haasteita rakennusten ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan. Minimii-ilmavirtatilanne tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä on usein vähemmän, kuin puolet maksimi-ilmavirrasta.

Lönnström toi esiin, että IV-konehuoneen asennukset (IV-kone ja kanavisto) tulisi suunnitella ennen, kuin huoneen rakenteet suunnitellaan. Hän korosti IV-kanavien asennuksessa standardiosien käytön merkitystä muun muassa painehäviöiden näkökulmasta. Lönnströmin mukaan useamman kanavalähdön asentamista yhteen kammioon tulisi välttää. Tämä johtuu siitä, että samaa kammiota käytettäessä jonkin yksittäisen haaran ilmavirrat usein poikkeavat suunnitellusta huomattavasti. Luoma totesi IV-konehuoneen osalta merkittäväksi tekijäksi sinne tehtyjen asennusten vaikutuksen ilmanvaihtojärjestelmän äänitasoihin.

Haastattelussa nousi esiin puhaltimen mitoitukseen vaikuttavat tekijät. Luoma ei nähnyt tässä eroa vakioilmavirtaisen ja tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän välillä. Lönnström kuitenkin toi esiin, että osailmavirtamitoituksen oikeellisuus on tärkeää järjestelmän toiminnalle. Hänen näkemyksensä mukaan tämä johtuu siitä, että mitoitettaessa puhallin maksimi-ilmavirran mukaan puhaltimen osailmavirtamitoitus jää usein puhaltimen todellisen toiminta-alueen ulkopuolelle, joka aiheuttaa pumppausilmiön ja järjestelmän epästabiliin painetason. Lönnströmin mukaan tarpeenmukaisen ilmanvaihdon järjestelmässä IV-koneen mitoitukseen liittyy ylimitoituksen riski, joka korostuu selkeämmin muun muassa LTO:n kasvavana paine-erona ja puhaltimen korkeampana energian kulutuksena. Puhaltimen osalta hän suositteli suurimman käyttöajan kierrosnopeuden huomioimista, jotta puhaltimen osalta voitaisiin saavuttaa tasaisempi energian kulutus ja parempi hyötysuhde.

Haastateltavat nostivat esiin laminaarisen virtauksen vaikutuksen tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnalle. Luoma totesi, että nopeuden tulisi olla (IMSillä) 2 m/s, jotta säätö toimii oikein. Lönnström toi esiin minimi-ilmavirtatilanteeseen liittyen riskin laminaarisesta virtauksesta, jolloin järjestelmä ei toimi oikein. Lönnströmin näkemyksen mukaan kanaviston väljä mitoitus on kaiken a ja o energian säästön näkökulmasta.

Molemmat haastateltavat korostivat kokonaisuudessaan äänitekniisten seikkojen merkitystä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon järjestelmissä. Haastateltavat näkivät, ettei äänitekniisiin näkökohtiin liittyen tehdä riittävää simulointia suunnitteluvaiheessa. Lönnström nosti esimerkkinä esiin 200 Hz:n äänikaistan, joka on niin matala, että sen vaimentaminen vaatii tilaa, jota ei usein ole ja että äänitekniset tarkastelut tulisi tehdä spektrikais-toittain.

Lönnströmiä haastateltaessa esiin nousivat tarkemmin muun muassa lämmityspatterin mitoitukseen liittyvät tekijät. Lämmityspatterin mitoituksessa hän näki yleisellä tasolla ylimitoitukseen liittyviä ongelmia, jotka ovat korostuneet entisestään ecodesignin myötä kun LTO:n hyötysuhteet ovat parantuneet. Lämmityspatterin toiminnan kannalta Lönnström näki haasteellisena osailmavirtatilanteen, jolloin lämmityspatterin vesivirtauksen säätö toimii useimmiten on/off-periaatteella. Edellä mainitulla tekijällä on vaikutusta myös LTO:n toimintaan ja erityisesti huurtumiseen liittyviin tekijöihin. Lönnström näki, että ongelmaan voitaisiin pureutua esilämmityspatterin käytön avulla (asennus ulkosäleikön jälkeen ulkoilmakammioon) mitoituspakkastilanteessa. Esilämmityspatterin käyttö ehkäisisi LTO:n huurtumiseen liittyviä ongelmia, ja sillä olisi vaikutusta suoraan

lämmityspatterin mitoitukseen ja sen tasaisempaan toimintaan. Näiden tekijöiden osalta esiin nousivat myös lämmitysjärjestelmän mitoitukset, verkostolämpötilat ja IV-koneen lämmityspatterin ylimitoituksen vaikutus tuloilman lämpötilaan. Lönnström totesi, että lämmityspatterin ylimitoitus ja sen toiminta nostaa tuloilman lämpötilan usein korkeaksi ja sillä on suora vaikutus ilmanjaon toimintaan.

Luoman näkemys oli, että yleisesti tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toteutukseen vaikuttavat huono tahtotila, me-hengen ja talkoohengen puuttuminen. Tämä johtaa hänen mukaansa kokonaiskuvan puuttumiseen, jolloin toteutus epäonnistuu. Hän nosti kokonaisuuden onnistumisen kannalta tärkeiksi tekijöiksi projektinjohdon ja valvonnan toiminnan merkityksen. Suunnittelun osalta Luoma näki haasteellisena prosessin rutiininomaisuuden, joka aiheuttaa usein virheitä mitoituksiin. Mitoitusvirheet näkyvät hänen mukaansa useimmiten mitoitusilmavirta – tilanteissa, liian alhaisissa otsapintanopeuksissa sekä äänitasoissa.

Lönnströmin näkemyksen mukaan määräysten sallimat poikkeamat suunniteltuihin ilmapuuttoihin ovat liian väljät. Hän näki, että tiukemmat toleranssit poikkeamissa vaatisivat paneutumista järjestelmän säätöön ja mitoitukseen. Hänen mukaansa tällä olisi vaikutusta puhaltimen mitoitukseen suunnittelussa ja laitteiden toimivuuden varmistamiseen työmaalla. Paine-eroihin (ulkoilmaan nähden) perustuvaa ilmapuuttojen säätöä ei Lönnströmin mukaan huomioida tarpeeksi ja tämä korostuu enemmän korkeissa rakennuksissa, joissa paine-erot nousevat selkeämmin esiin muun muassa savupiippuilmion vaikutuksesta.

6.2 Ilmanjakoon liittyvät kokemukset

Ilmanjakoon liittyvistä tekijöistä keskusteltiin IMS-pelleistä käytävien keskustelujen yhteydessä Leanderin, Grönlundin ja Karlssonin kanssa.

Karlsson kertoi, että heidän tuotteistaan IMS-järjestelmään soveltuvat esimerkiksi Odza (korkeaan tilaan), jossa siipikulmaa voidaan säätää eri vuodenajan mukaan. Odzan osalta Karlsson korosti, että siipikulmat tulee säätää eri vuodenaikoina ja erityisesti tapauksessa, jossa kohteessa on jäähdytystä, sillä siihen liittyy muun muassa vedontunteen ja liian suuren heittopituuden riski. Koulun luokkatiloihin ja muihin auditorioita ja

liikuntasaleja matalampiin tiloihin hän suositteli Activentiä. Activentin painehäviö on lähtökohtaisesti alhainen, jolloin ilmavirran muutokset minimi- ja maksimi-ilmavirran välillä eivät vaikuta niin selkeästi ilmanjaon toimintaan kuin jokin muu passiivinen päätelaite. Yhtenä päätelaitteena nousi esiin edellä mainittujen lisäksi Optivent, jossa on ilmamääräsäädin integroituna. Karlsson kertoi, että Optiventissä oleva toimilaitte säättää lautasen asentoa ja ilmasuihku tulee laitteen neljältä sivulta. Karlssonin mukaan suosiossa ovat olleet myös erityyppiset, suuttimilla varustetut laitteet, joissa ilmavirtaa voidaan suunnata tilan mukaan ja ehkäistä siten vedon tunnetta.

Leanderin ja Grönlundin mukaan IMS-järjestelmään luokkatiloissa soveltuvat eri tyyppiset, suuttimilla varustetut hajottajat ja suutinkanavat. He korostivat tilakorkeuden merkitystä päätelaitteiden valinnassa. Esimerkkinä he toivat esiin syrjäyttävän ilmanjaon, joka toimii järjestelmissä, joissa on jäähdytys. Ilmanjakoa korkeissa tiloissa (liikuntasali ja auditorio) pidettiin haastavana, sillä niissä ilma jää herkästi ylös, jolloin ilman laatu koetaan huonoksi oleskeluvyöhykkeellä.

6.3 Säätolaitteisiin ja IMS-pelteihin liittyvät kokemukset

IMS-peltien osalta käytiin keskustelua pääosin dynaamisen paineen mittaukseen perustuvista laitteista. Tähän päädyttiin siksi, että niissä on tiedetty olevan ongelmia aikojen saatossa ja tätä tekniikkaa on ollut kohteissa, joissa IVA-järjestelmäselvitykset on tehty. Haastatteluissa käytiin keskustelua IMS-pelteihin liittyvästä automaatiosta ja sen merkityksestä järjestelmän toiminnalle sekä yleisesti merkittävimmistä IMS-järjestelmän toimintaan vaikuttavista tekijöistä.

Haastatellut näkivät, että dynaamisen paineenmittaukseen liittyvät ongelmat liittyvät mittaputkessa olevien reikien likaantumiseen (pöly). Järvelän näkemys oli, että tämä ei nousisi esiin tuloilmapuolella samalla tavalla kuin poistoilmapuolella (kanaviston puhtauden erot tulo- ja poistoilmakanavissa). Edellä mainitun lisäksi dynaamisen paineen mittauksen perustuvan tekniikan haasteina nähtiin käytetyt suojaetäisyydet ja tilat, joihin laitteet asennetaan. Karlsson totesi, että tähän on pyritty paneutumaan uutta tekniikkaa kehittämällä. Karlssonin mukaan aiemmin tekniikan ongelmana on ollut myös toimilaitteen hammaspyörissä käytetty materiaali, joka on kuluessaan aiheuttanut toimilaitteen rikkoutumisen. Kolmantena tekijänä hän arveli ongelmien aiheutuneen järjestelmän säätöön liit-

tyvistä haasteista, joilla on saattanut olla vaikutusta laitteiden käyttöikään. Leanderin näkemyksen mukaan uudemmalla tekniikalla suojaetäisyyksien merkitys ei ole niin suuri kuin dynaamisen paineen mittauksen IMS-pelleissä. Karlsson totesi yleisellä tasolla, että dynaamisen paineen mittaukseen perustuvan tekniikan olleen huonoa. Järvelä toi esiin, että heidän tuotteissaan on mahdollista saada mittaristikko ja säätölaite erillisinä, minkä avulla suojaetäisyyksiin liittyvään ongelmaan voitaisiin vaikuttaa selkeästi.

Järjestelmän toiminnan merkittävyyteen liittyen Järvelä totesi, että väärin mitoitettulle IMSille ei voi asentaa minimi- ja maksimiarvoja tapauksessa, jossa toiminta-alue ei vastaa valmistajan suositusta. Liian suureksi mitoitettu IMS voi hänen mukaansa aiheuttaa liian pienen mittapaineen ja IMSin säädön vaikeutumisen. Liian pieni IMS sitä vastoin aiheuttaa hänen mukaansa suuret kanavanopeudet, äänet sekä painehäviöt IMS-pellin yli. Järvelä korosti toimilaitteen merkitystä järjestelmän toiminnan näkökulmasta. Edellä mainittujen lisäksi hänen mukaansa ongelmia ovat aiheuttaneet kytkennöissä olevat puutteet, jotka ovat muun muassa virheitä, joissa letkut tai liittimet saattavat olla irti. Hänen mukaansa suojaetäisyyksien puuttumisen vuoksi tehdyt erikoiset ratkaisut vaikuttavat osaltaan huomattavasti IMS-järjestelmän toimintaan. Leander näki, että painetasot ja automaation kytkentöjen merkitys on suuri järjestelmän toiminnalle ja että vakio painepeltien asennus aiheuttaa usein hankaluuksia ja järjestelmän kaikkien peltien olisi suositeltavaa olla IMS-peltejä järjestelmän oikean toiminnan varmistamiseksi. Järjestelmän toiminnan kannalta Leander näki oleellisena tekijänä ilmavirran oikean mittauksen, kanaviston oikean painetason sekä sijoittelun. Näiden lisäksi hän piti merkittävänä, että IMS-pellin toimialue määritellään oikein ja että maksimi- ja minimi-ilmavirrat tiedetään. Painehäviöt korostuvat hänen mukaansa maksimipuolella, kuten myös järjestelmän ääniin liittyvät tekijät.

Leander korosti yleisesti rakennusautomaatiojärjestelmän merkitystä IMS-järjestelmän toimivuudelle. Hän näki, että yhteistoiminta VAKin kanssa sekä automaation päivitysnopeus ja -tiheys korostuvat. Leander totesi, että automaatiossa (dynaamisen paineen mittauksen menetelmä) haasteena on myös 0–10 V:n tai 2–10 V:n jänniteviestien säädön hankaluus sekä tähän liittyvä osaamisen tarve automaatiopuolen tekijöiltä. Karlsson näki, että mikäli RAU-asennuksissa tulee virheitä, se vaikuttaa välittömästi koko järjestelmän toimintaan. Hänen mukaansa asennusvirheet voivat olla hankalia paikallistaa ja päätellä, mitä on tehty väärin.

Ilman laatua mittaavien antureiden osalta Leander ja Karlsson näkivät, että anturit on järkevää sijoittaa poistoilmakanavaan. Leander nosti esiin ilmanjaon merkityksen mitaustuloksen oikeellisuudelle: suoraan poistoilmakanavaan menevä tuloilmavirta voi vääristää erityisesti ilman laatuun (hiilidioksidi ym.) perustuvan mittauksen tulosta. Tämä saattaa johtaa ilmavirran tehostuksen puutteeseen tilanteessa, jossa tehostusta tarvitaan. Leanderin mukaan korkeassa tilassa (liikuntasali ja auditorio) anturit tulisi asentaa huonetilaan. Näin tulisi hänen mielestään toimia siksi, etteivät tilan ylä- ja alaosien ilmanlaatu edusta todellista ilman laatua tilassa. Karlssonin näkemys oli, että anturi tulisi sijoittaa huonetilassa noin kahden metrin korkeuteen (oleskeluvyöhykkeelle) ja ettei anturia tulisi asentaa esimerkiksi tilan ulkoseinään vaan tilan keskiosassa olisi ideaali asennuspaikka.

Leander ja Karlsson olivat yhtä mieltä siitä, että työmaa-aikainen yhteistyö IV-, SÄH- ja RA-urakoitsijoiden välillä korostuu toimivan järjestelmän aikaansaamiseksi. Yhteistyön ongelmina nähtiin informaation kulussa olevat puutteet. Karlssonin mukaan automaatiopuolella ei ole välttämättä riittävää osaamista IMSien ohjelmoinnista. Leander totesi, että toimivan järjestelmän aikaan saamiseksi valvonnan merkitys korostuu ja valvonta on monissa tapauksissa puutteellista. Kokonaisuuden kannalta kaikkien hankkeen osapuolien tulisi ymmärtää järjestelmän toiminta kokonaisuudessaan. Suunnittelun osalta Leander näki ongelmallisena tilanteen, jossa LVI-suunnittelija ohjeistaa automaatiosuunnittelijaa. Ongelmallisena hän näki edellä mainitun tekijän siksi, että työt tehdään usein itsenäisesti eikä keskustelua ole riittävästi. Toteutuksen osalta Leander totesi, että automaatiourakoitsija ei usein ymmärrä prosessia kokonaisuudessaan ja tämä aiheuttaa ongelmia järjestelmän toimivuudelle. Järvelä toi esiin, että parametrit asetetaan heidän tuotteisiinsa tehtaalla ja ne saadaan usein myöhäisessä vaiheessa, joka on johtanut muun muassa ristiriitatilanteisiin ja järjestelmän toimimattomuuteen. Karlsson totesi, että on ollut tapauksia, joissa IMS-pelti on asennettu kanavistoon väärin päin, eikä järjestelmä toimi suunnitellusti. Karlsson ja Leander korostivat toimintakokeiden merkitystä järjestelmän toiminnalle. Karlsson näki, että osa ongelmista olisi ratkaistavissa jo työmaa-aikana, mikäli laitevalmistajan henkilöstöä hyödynnettäisiin nykyistä enemmän työmaa-aikana. Karlssonin näkemyksen mukaan suunnittelussa tapahtuvat virheet eivät aiheuttaisi järjestelmän toiminnalle ongelmia vastaavalla tavalla kuin virheellisesti tehty toteutus.

Huollon merkitystä pidettiin suurena järjestelmän toimivuuden näkökulmasta. Ongelmallisena nähtiin se, ettei kiinteistöä huoltavalla taholla ole usein ymmärrystä järjestelmän

toiminnasta kokonaisuutena. Leander näki, että eri tahojen tulisi ymmärtää järjestelmän toiminta kokonaisuutena yksittäisen järjestelmän osan toiminnan sijasta. Karlssonin mukaan huolto on ”puolet järjestelmän toiminnasta”, eikä ilman oikeanlaista kausittaista huoltotoimenpidettä ei voi olettaa, että IMS-järjestelmä pysyy toimintakuntoisena.

Leander ja Karlsson kertoivat, että rakennuttajilta tulleet tiedot ovat tulleet yleisesti ongelmatapauksissa (järjestelmä ei toimi oikein). Tietoon tulleet ongelmat ovat liittyneet Karlssonin mukaan ilmanvaihdon painesuhteisiin, jotka eivät ole kunnossa. Näissä on hänen mukaansa ollut yleensä kyse poistoilmakanavassa olevan IMSin likaantumisen, jolloin sen säätö ei ole toiminut oikein. Lisäksi tietoon on tullut virheellisesti toteutetut suojaetäisyydet (liian lyhyet). Karlssonilla oli tiedossa, että eräässä kohteessa IMSit olivat kestäneet toimintakuntoisena vain kaksi vuotta. Järvelän mukaan saadut tiedot liittyvät pääosin suojaetäisyyksiin liittyviin ongelmiin, joiden puitteissa järjestelmän käyttöönottoa on tehty uudelleen asiantuntijoiden kanssa. Likaantumisen osalta hän totesi, että palautetta ei ole juurikaan tullut vaan kyse on enemmän keskustelusta kuin kentältä tulleesta tiedosta.

IVA-järjestelmäselvitysten osalta oleellisina tekijöinä nähtiin IV-koneen toimintaan ja säätöihin (jos säädetään yhtä haaraa, mitä tapahtuu toisaalla), järjestelmän reagoitinopeuden selvittämistä sekä paineanturien ja sijainnin toiminnan selvittämistä. Järvelän näkemyksen mukaan kanavakoot, komponentit ja mitoitukset sekä suunnitelmien ja toteutuksen vastaavuus tulisi tarkistaa selvitysten yhteydessä. Karlssonin näkemyksen mukaan IVA-järjestelmäselvityksissä tulisi tarkastaa kanavien ja IMS-peltien kokojen vastaavuus sekä IV- ja RAU-järjestelmien yhteensopivuuden selvittämien suunnitelmista. RAU-järjestelmistä/-asennuksista suositeltiin selvittämään anturien, säätimien ja IMS-peltien yhteensopivuus toisiinsa. Näiden lisäksi esiin tarkastettavien asioiden osalta nousivat tilavaraukset ja huonesäätimien ja -antureiden sijainti sekä järjestelmän säätömahdollisuudet ja ilmanjako.

Järvelä nosti esiin IVA-järjestelmäselvitysten osalta ilmamääräalueen ja IMSin mitoituksen ja toiminnallisuuden suunnittelun sekä suunnitellun käyttöalueen selvittämisen. Ilman laadun vaikutuksen hän näki merkittävänä tekijänä, sillä se voi vaikuttaa oleellisesti ilmanvaihtojärjestelmän huolto- ja puhdistusväliin.

Leander ja Järvelä nostivat esiin LVI-asennusten osalta huomioitavana tekijänä luokse päästävyiden laitteille tapauksessa, jossa laitteet on asennettu alakaton yläpuoliseen tilaan. Näissä nähtiin haasteena muut asennukset, jotka ovat usein IMS-peltien edessä.

Leander ja Grönlund pitivät tuloilman lämpötilan merkitystä suurena tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnassa. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan näkökulmasta Leander nosti lisäksi esiin puhaltimien mitoituksen (loiva puhallinkäyrä), joka korostuu erityisesti minimi-ilmavirtatilanteessa, joka vaatisi loivan puhallinkäyrän lisäksi painesäädön. IV-koneiden mitoitusta Karlsson ei pitänyt haasteellisena, mutta totesi, etteivät puhaltimien säätökäyrät veny alhaisimpien tilanteiden säätämiseen.

Leander totesi suunnitteluohjelmien osalta haasteena äänenvaimennukseen liittyvän mallintamisen. Hän totesi, että puute liittyy ympäristöön tuleviin ääniin, joita IMS-järjestelmässä aiheuttaa muun muassa toimilaitteen ääni, pellin liikkeen aiheuttama ääni sekä painehäviön aiheuttama ilmavirtauksen ääni. Haasteena tämä nähtiin siksi, ettei äänenvaimennuksella voida vaikuttaa näihin kaikkiin eikä suunnitteluohjelmalla voida simuloida ympäristöön aiheutuvaa ääntä. Suunnittelun osalta Leander totesi, että suunnittelijan tulee ymmärtää kokonaisuus ja tietää mitä on tekemässä. Äänenvaimennukseen liittyen Karlsson totesi, että äänen vaimentaminen on haaste, joka aiheutuu osittain suuresta painehäviöstä IMS-pellin yli. Tällä on hänen mukaansa merkitystä myös kanaviston ja IMSin mitoituksen näkökulmasta. Suunnittelun osalta Leander näki laitevalmistajien konsultoinnin merkittävänä ja totesi, että konsultointi tulisi tehdä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnittelua.

Leander ja Grönlund nostivat haasteeksi eri laitevalmistajien laitteiden käytön IMS-järjestelmässä. IV-kone, IMS-pellit ja päätelaitteet saattavat olla eri valmistajien tuotteita. Mahdollisissa ongelmatilanteissa tarvitaan jokaisen laitevalmistajan edustaja ratkaisemaan ongelmaa, sillä jokainen vastaa omista tuotteistaan ja niiden toiminnasta, vaikka yksi laitevalmistaja osaisi ratkaista koko ongelman.

Haastateltavat näkivät, että tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla on tulevaisuus. Tämä johdetaan haastateltavien mukaan tekniikan kehittymisestä ja muuttuvista rakentamisen määräyksistä, joissa energiatehokkuuteen ja ilmanvaihdon tarpeenmukaisuuteen liittyvät tekijät nostetaan aiempaa selkeämmin esiin.

7 Kenttätutkimukset projektitoiminnassa

Sitowise Oy on suorittanut neljä IVA-järjestelmäselvitystä. Ilmanvaihdon kuntotutkimuksia on tehty lukuisia. Tässä luvussa käsitellään käytetyt mittalaitteet ja eri mittaukset, joita IVA-järjestelmäselvitysten yhteydessä on tehty. IVA-järjestelmäselvityksiä on tehty vuosina 2016, 2017 ja 2018.

7.1 Käytetyt mittauslaitteet ja -menetelmät

Sitowisen Korjausrakentamisen yksikön TATE tutkimus ja suunnittelu -osastolla on käytössään useita eri mittalaitteita. Opinnäytetyössä käsiteltävien case-tutkimusten yhteydessä käytettiin seuraavia laitteita:

- Accubalance 8380
- Rotronic CP11
- Power-Tiny.

Accubalance 8380 on ilmavirtamittauksissa käytetty monitoimimittalaite, jolla voidaan mitata ilmavirtoja useilla eri menetelmillä. Accubalance koostuu mittalaitteesta sekä eri tyyppisistä instrumenteista, joilla eri mittausmenetelmien käyttö on mahdollista. Accubalancella on mahdollista käyttää neljää eri mittausmenetelmää, joista on kerrottu tarkemmin jäljempänä.

Rotronic CP11 on olosuhdemittari, jolla voidaan suorittaa olosuhdemittauksia (hiilidioksidi, lämpötila ja suhteellinen kosteus) jatkuvana seurantamittauksena. Olosuhdemittaukset suoritettiin useimmissa tapauksissa seitsemän vuorokauden mittaisina jaksoina. Power-Tiny on ladattava merkkisavukone, jossa käytetään vesipohjaista nestettä savun tuottamiseksi (Tiny Fluid). Power-Tiny:n käyttö edellyttää kohteen paloilmaisin- ja/tai paloilmoinjärjestelmän irtikytkennän palohälytyksen aiheuttamisen estämiseksi.

7.1.1 Monitoimimittalaite Accubalance 8380

Sitowisessä on käytössä opinnäytetyön tekemisen aikana ilmavirtamittauksia varten monitoimimittalaite Accubalance 8380, joka sisältää seuraavat osat:

- pitot-putki
- painemittari
- kuumalanka-anturi
- huppumittari (balometri).

Useimmiten käytetyt ilmavirtojen mittausmenetelmät ovat painemittaus (painemittari) ja ilmavirtojen mittaus pitot-putkella. Harvemmissä tapauksissa käytetään muita menetelmiä. Mittalaitteen kalibroitiväli on yksi vuosi.

Pitot-putkella mitatessa mitataan staattisen paineen ja kokonaispaineen erotus, joiden tuloksena saadaan dynaaminen paine. Mitattaessa tuloksena saadaan ilman nopeus (m/s), paine (Pa) ja ilmavirta (l/s). Pitot-mittausta varten kanavaa porattiin halkaisijaltaan 10 mm:n kokoinen reikä, josta mittaus suoritettiin 5-pistemenetelmällä. Mittauspisteitä on kolme kanavan halkaisijan suunnassa sekä yksi niin kanavan ala- ja yläosassa (kulmapisteet). Mittauspöytäkirjaan kirjattiin mittaustulos viiden eri mittapisteen mittaustuloksen keskiarvosta.

Pitot-putkella mitatessa tulee huomioida ilman virtaussuunta (tulo- ja poistoilmavirrat) sekä suojaetäisyydet mutkiin, kanavan haaroihin, muotokappaleisiin ja supistus- ja laajennusosiin sekä säätöpelteihin ja muihin vastaaviin kanavaosiin, jotka aiheuttavat painehäviöiden ja ilman virtausprofiilin muutoksia kanavistoon. Mittausmenetelmää käytettäessä on oleellista, että mittalaitteen mittausetkut on liitetty pitot-putkeen oikein. Virheellisestä liitännästä seuraa virheellinen mittaustulos.

Painemenetelmää voidaan käyttää tilanteissa, jossa mitattava laite on säädettävä ja se on varustettu mittausyhteillä. Tätä mittausmenetelmää voidaan käyttää esimerkiksi mitattaessa painetta ilmanvaihdon päätelaitteesta tai Iris-säätöpelistä. Päätelaitteesta voidaan mitata paine yhteistä mittausetkujen avulla tai koukulla tulo- ja poistoilman päätelaitteina olevasta venttiilistä.

Painemenetelmässä tulee tietää mitattavan laitteen säätöasento ja k-arvo. Ellei k-arvoa ole merkitty laitteeseen (hajottajat), tulee laitteen malli, valmistaja ja valmistusvuosi olla

tiedossa. Laitteen iän perusteella k-arvo voidaan tarvittaessa selvittää laitevalmistajan mittaus- ja säätöoppaista (säätöpellit ym.). Mitattaessa painetta koukun avulla päätelaitteenä olevasta venttiileistä tulee venttiilin avauma selvittää. Venttiilin avauman perusteella selvitetään k-arvo laitevalmistajan mittaus- ja säätöoppaasta.

Accubalance 8380 ilmvirtamittarin teknisissä tiedoissa on annettu teknisiä tietoja eri mittausmenetelmille. Mittausmenetelmien tarkkuudet ja toiminta-alueet on esitetty alla olevassa taulukossa 8.

Taulukko 8. Accubalancen laitetiedot. [8715 DP-Calc™ paine-eromittarin ja 8380 Accubalance® huppumittarin käyttöohje. 2012, s. 71].

Mitattava suure	Tarkkuus	Toiminta-alue
Paine	± 2 %, lukemasta 0,025 Pa staattinen ja paine-ero ± 2 % lukemasta absoluuttinen	Paine-ero: ± 15 in. H ₂ O (3735 Pa); 150 in. H ₂ O suurin turvallinen työskentelypaine. Absoluuttinen paine: 356...1016 mmHg
Nopeus	± 3 % lukemasta 0,04 m/s > 0,25 m/s	0,125...78 m/s (pitot-putket) 0,125...25 m/s ilmvirtausanturi 0,125...12,5 m/s nopeusristikko
Tilavuus	± 3 % lukemasta 12 m ³ /h > 85 m ³ /h	42...4250 m ³ /h huppumittari
Suhteellinen kosteus	± 3 % RH	5...95 % RH lämpötila/kosteusanturi
Lämpötila	± 0,3 °C	-10...60 °C rungon lämpötilaanturi -10...60 °C lämpötila/kosteusanturi 4,4...60 °C käyttö (elektronikka)

7.1.2 Olosuhdemittari Rotronic CP11

Rotronic CP11 olosuhdemittari on mittalaite, jolla suoritettiin tutkimusten yhteydessä sisäilman olosuhteiden (hiilidioksidi, lämpötila ja suhteellinen kosteus) seurantamittauksia. Olosuhdemittarissa on laitteen yläosassa infrapuna-anturi, joka aistii sisäilman olosuhteissa tapahtuvia muutoksia. Seurantamittaukset suoritettiin pääasiassa seitsemän vuorokauden jaksoina ja tallennusväliksi oli asetettu viisi minuuttia.

Olosuhdemittausten avulla saatiin tietoa sisäilman olosuhteiden lisäksi ilmanvaihdon toiminnasta. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävän rakennustyyppin osalta saatiin tietoa sisäilman olosuhteista myös käyttöaikojen ulkopuolella (ilta- ja yöajat ja viikonloput). Kohteissa, joissa ilmanvaihdolle oli asetettu sisäilmastoluokituksen mukaiset tavoitearvot hiilidioksidipitoisuudelle ja lämpötilalle, voitiin asetettujen vaatimusten toteutumista tarkastella mittaustulosten perusteella. Mikäli sisäilmastoluokituksen mukaisia vaatimuksia ei ollut suunnitteluvaiheessa esitetty, tarkasteltiin olosuhdemittauksissa sisäilman olosuhteiden osalta Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 ja asumisterveysasetuksessa olevien vaatimusten toteutumista.

Alla olevassa taulukossa 9 on esitetty Rotronic CP11 olosuhdemittarin tarkkuudet ja toiminta-alueet. Tiedot on saatu valmistajan käyttöohjeista.

Taulukko 9. Rotronic CP11 laitetiedot. [CP11 Short instruction manual. 2014, s. 1].

Mitattava suure	Tarkkuus	Toiminta-alue (elektroniikka)
Suhteellinen kosteus (RH)	$\pm 3,0 \%$ 0,1...99,9 % 10-95 % lämpötilassa 25 °C $\pm 5,0 \%$ muut lämpötilat	-20...60 °C
Lämpötila (°C)	-20...60 °C $\pm 0,3$ °C lämpötila-alueella 5-40 °C	-20...60 °C
Hiilidioksidi (CO ²)	0...9999 ppm ± 30 ppm + 5 % tuloksesta 0...5000 ppm	0...50 °C

Opinnäytetyössä suoritettujen tutkimusten yhteydessä mittaukset suoritettiin eri mittalaitemäärillä tilaajan kanssa sovitun mukaisesti. Mikäli ilman laatua mittaava anturi oli asennettu huonetilaan, asennettiin yksi olosuhdemittari ilman laatua mittaavan anturin viereen.

7.2 Savukokeet tutkittavissa tiloissa

Kenttätutkimuksissa suoritettiin savukokeet ilmanjaon toiminnan selvittämiseksi. Savukokeet dokumentoitiin kuvaamalla kokeiden suoritus videolle tai valokuvaamalla. Savukokeiden suorittamisen videoimisella savukokeiden tuloksiin voidaan palata myöhemmin ja vertailla savukokeiden tuloksia laitevalmistajien simulointiohjelmien heittopituuksiin ja -kuvioihin.

Savukokeet suoritettiin tutkimuksissa siten, että savua laskettiin savukoneella tuloilman päätelaitteille joko niiden sivulta tai alapuolelta riippuen päätelaitteen tyypistä ja asennuspaikasta. Kattoon tai vapaasti asennetun päätelaitteen osalta toimittiin siten, että savu laskettiin laitteen alapuolelta kohti päätelaitetta. Seinälle asennettujen päätelaitteiden osalta toimittiin siten, että savu laskettiin joko laitteen sivulta tai alapuolelta. Edellä mainituilla tavoilla pyrittiin varmistumaan siitä, että savun leviäminen tapahtuisi laitevalmistajan suunnitteleamalla tavalla heittokuvion ja -pituuden osalta.

7.3 Ilmavirtamittaukset

Ilmavirtamittaukset suoritettiin useimmiten mittaamalla paine-eroa päätelaitteesta (yhteet) tai mittaamalla ilman virtausnopeus, paine ja ilmavirta pitot-putkella. Mikäli näillä menetelmillä mittaaminen ei onnistunut, käytettiin mittausmenetelmänä huppumittausta ja kuumalanka-anturia. Paine-eron ja pitot-putkella mittausta käytettiin useimmiten niiden luotettavuuden vuoksi. Luotettavan mittausmenetelmän käyttö korostuu erityisesti niissä tutkittavissa kohteissa, joihin on asennettu tarpeenmukainen ilmanvaihto.

Kokonaisilmavirrat

Kokonaisilmavirrat mitattiin IV-konehuoneessa olevista ilmanvaihtokanavista tai IV-konehuoneen läheisyydessä olevista kanavista asennuksista riippuen. Kokonaisilmavirtoja mitattiin pääosin kanavasta pitot-putkella. Pitot-putkella mittaamisen haasteeksi muodostui usein riittävän pitkän suoran osuuden puuttuminen ilmanvaihtokanavistosta. Näissä tapauksissa hyödynnettiin kuumalanka-anturia ja vertailtiin saatuja mittaustuloksia. Joissain tapauksissa, kun kanavaosuudet sijaitsevat ahtaassa paikassa, saatiin ilmavirta mitattua helpommin kuumalanka-anturilla siinä olevan teleskooppivarren ansiosta. Kuumalanka-anturin antamasta mittaustuloksesta (m/s) saadaan laskettua ilmavirta, kun tiedetään kanaviston halkaisija ja sen myötä kanavan pinta-ala.

Tilakohtaiset ilmavirrat

Tilakohtaisten ilmavirtojen mittauksessa pyrittiin hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan edellä mainittuja (kokonaisilmavirrat) mittausmenetelmiä, kun ilmavirtoja mitattiin kanavistosta. Pitot-putkella ja kuumalanka-anturilla tehtävien mittausten lisäksi tilakoh-

taisten ilmavirtojen mittauksissa voitiin hyödyntää paine-eromittausta, jolla saadaan mitattua paine-ero päätelaitteen yli. Menetelmä vaati aina päätelaitteen avaamisen, jonka yhteydessä tarkastettiin päätelaitteen malli ja valmistaja, valmistusvuosi sekä laitteen säätöarvo. Mikäli laitteeseen oli merkitty laitteen k-arvo, tämä otettiin ylös.

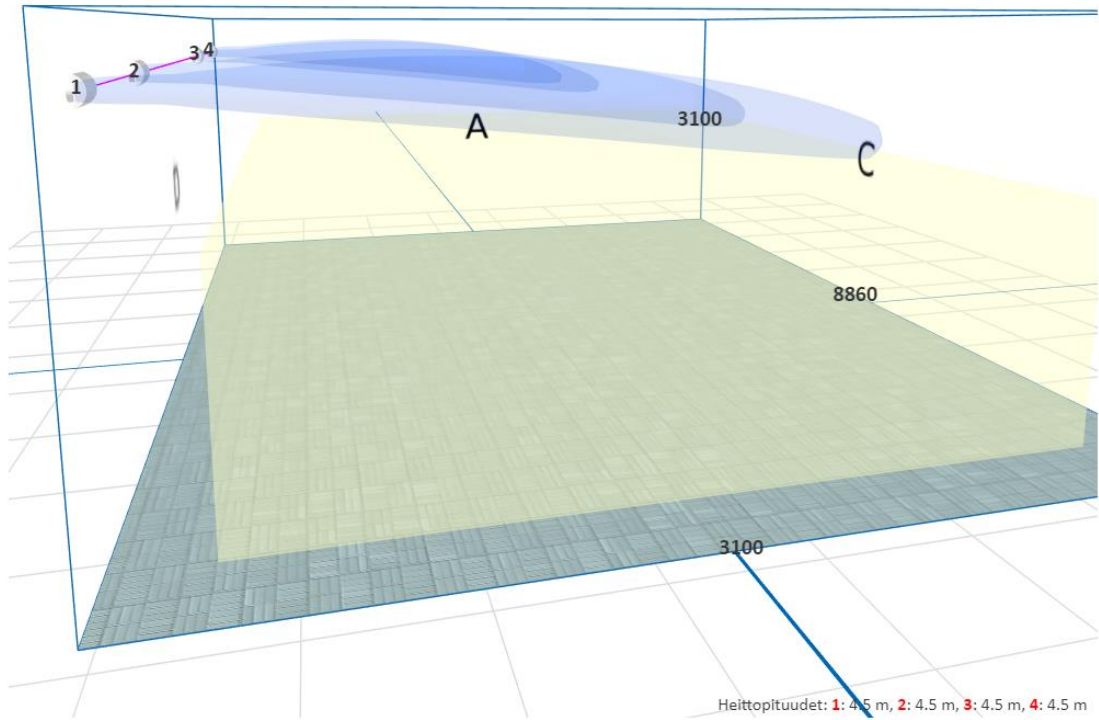
Tilakohtaisia ilmavirtoja mitattiin tarvittaessa huppumittarilla suoraan päätelaitteelta tai kuumalanka-anturilla (säleiköt). Huppumittauksella päätelaitteen mallin ja valmistajan ei tarvitse olla tiedossa. Huppumittauksessa mittalaitteen asetusten tulee olla oikein, jotta voidaan hyödyntää hupun kehikossa olevan lämpötila-anturin mittausominaisuudet. Huppumittauksella saadaan ilmavirta suoraan yksikössä l/s. Kuumalanka-anturin käytössä haasteena päätelaitteelta mitattaessa on virtausaukon määrittäminen. Virtausaukko ei ole säleikössä 100 %, vaan se vaihtelee eri säleikkömallien välillä. Mittausmenetelmä vaatii usein tiedon päätelaitteen mallista, jotta asiaa voidaan tarvittaessa selvittää laitevalmistajilta. Vaihtoehtoisesti säleiden määrä ja niiden mitat voidaan mitata ja vähentää niiden pinta-ala säleikön sisämittojen (kehysten sisäpuolinen osuus) pinta-alasta. Tämän jälkeen ilman virtausnopeus kerrotaan säleikön aukon pinta-alalla. Näissä tapauksissa mittausulos on suuntaa-antava ja niihin liittyy huomattava mittauksesta ja mittaajasta aiheutuva virhe.

7.4 Laitevalmistajien valintaohjelmat

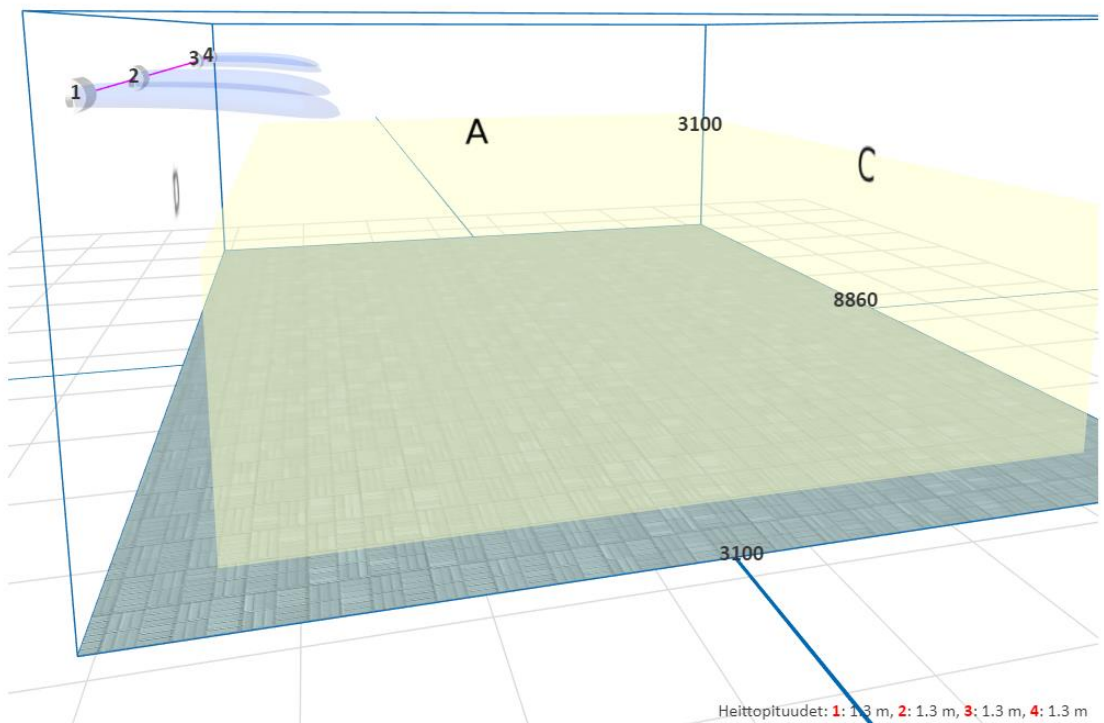
Laitevalmistajien valintaohjelmien avulla oli tarkoitus selvittää, voidaanko niiden avulla tehtävää simulointia verrata savukokeissa tehtäviin havaintoihin. Laitevalmistajat ovat kehittäneet erilaisia valintaohjelmia, joiden avulla voidaan simuloida tietyn päätelaitteen soveltuvuutta johonkin tiettyyn tilaan. Valintaohjelmien avulla voidaan simuloida tilanne niin maksimi- kuin minimi-ilmavirralla.

Tässä opinnäytetyössä on simuloitu valintaohjelma niiden tutkimuskohteiden osalta, joissa suoritettiin savukokeet ja joissa asennettujen päätelaitteiden valmistaja on kehittänyt valintaohjelman. Valintaohjelmalla simuloinnissa on käytetty otsapintanopeutta 0,15 m/s ja tuloilman lämpötilana 20 astetta. Simulointiohjelmassa havaittiin selkeämpiä eroja heittokuviossa ja pituudessa, kun tuloilman lämpötilaa muutettiin. Eräässä tilassa havaittiin tuloilman lämpötilan vaikutus ilman sekoittumiseen. Alilämpöinen tuloilma sekoittui paremmin tilaan kuin lähes huoneilman lämpötilaa vastaavan lämpöinen tuloilma. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 1. on esitetty pohjakuva tilasta, johon tehtiin ilman

heittokuvion ja -pituuden simulointia laitevalmistajan mitoitushjelmalla. Sivulla 60 olevassa kuvassa 2. on esitetty simulaatio maksimi-ilmavirralla ja kuvassa 3. minimi-ilmavirralla. Sivulla 61 olevassa kuvassa 4. on esitetty merkkisavun leviäminen tilaan maksimi-ilmavirralla 60 sekunnin kohdalla ja kuvassa 5. minimi-ilmavirralla 60 sekunnin kohdalla.



Kuva 2. Kuvassa on esitetty vastaava tila laitevalmistajan valintaohjelman avulla (maksimi-ilma-
virta).



Kuva 3. Kuvassa on esitetty vastaava tila laitevalmistajan valintaohjelman avulla (minimi-ilma-
virta).



Kuva 4. Merkkisavun leviäminen tilassa 100 %:n ilmavirralla 60 sekunnin kohdalla.



Kuva 5. Merkkisavun leviäminen tilassa 30 %:n ilmavirralla 60 sekunnin kohdalla.

Simuloinnin tuloksesta havaitaan, että päätelaitteen heittopituus ei ole riittävä kyseiseen tilaan maksimi-ilmavirralla. Tutkimuksissa kuitenkin havaittiin, että merkkisavu leviää tilassa ko. tapauksessa ja sen perusteella ilma vaikuttaa sekoittuvan tilassa hyvin. Minimi-ilmavirtatilanteessa valintaohjelmalla tehdyn simuloinnin ja savukokeiden tulokset tukevat toisiaan. Simuloinnin ja savukokeen osalta on kuitenkin huomioitava, etteivät ne ole

täysin relevantit vertailun osalta (savukokeen viive). Tuloksista voidaan todeta, että simuloinnin ja savukokeiden vertaamisella voidaan saada tukea tutkimuksen tulosten pohjaksi.

8 Toiminnan kehittäminen projektitoiminnassa

8.1 Kenttätutkimukset

Sitowise Oy:ssä on tehty aiemmin muutama ilmanvaihto- ja rakennusautomaatiojärjestelmäselvitys, joista on laadittu raportit tilaajalle. Ne esitellään tässä opinnäytetyössä case-tutkimuksina, joiden onnistumista arvioidaan seuraavassa luvussa esitetyllä tavalla. Projekteissa on ollut pieniä poikkeamia keskenään sisällön osalta. Tulosten arvioinnissa käytettävät kriteerit on pyritty valitsemaan siten, että tulokset ovat keskenään vertailukelpoiset. Tällä varmistetaan projektitoiminnan kehittämiseksi paras mahdollinen lähtökohta.

Opinnäytetyössä käsitellään neljää eri projektia, jotka on tehty aikavälillä 2016–2018. Kohteet sijaitsevat Uudellamaalla, ja ne ovat kouluja. Kohteiden esittelyssä käsiteltävien kohteiden perustiedot on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Kenttätutkimuskohteiden perustiedot

Kohde	Uudis- kohde (U) / Peruskor- jauskohde (P)	Rakennus- vuosi (U) / Peruskor- jausvuosi (P)	IMS- peltien valmis- taja	Ohjaus- peruste (hiilidi- oksidi CO ₂ , lämpö- tila LPT tai muu)	Suunnit- telupe- rusteet (Sisäil- masto- luokitus) ilman- vaihto (IV) ja lämmitys (L)	Antu- rin si- jainti	Ilmamää- rien oh- jaus ja säätö
Koulu 1	P	2011	Fläkt Woods	CO ₂ ja LPT	S2 (IV) ja S3 (L)	Huo- netila	Tilakohtai- nen
Koulu 2	P	2012	Swegon	CO ₂ ja LPT	S2 (IV) ja S3 (L)	Huo- netila	Vyöhyke
Koulu 3	U	2007	Halton	LPT	D2	Pois- toil- mana va	Vyöhyke
Koulu 4	U	2016	Fläkt Woods	CO ₂ ja LPT sekä läs- näolo	S1 (IV) ja S3 (L)	Pois- toil- maka- nava ja huo- netila	Tilakohtai- nen

Tutkittavien kohteiden ilmanvaihdolle ja lämpötilalle on asetettu sisäilmaluokituksen 2008 mukaiset vaatimukset sekä kumotun Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 vaatimukset. Ilmanvaihdolle ja lämpötilalle on tutkituissa kohteissa valittu keskenään eri luokitukset, esimerkiksi ilmanvaihto S2 ja lämpötila S3.

Tutkimuksen kohteena olevissa kohteissa kouluissa 1 – 4 suoritettiin tutkimukset sisäilmassa havaittujen ongelmien vuoksi. Kaikkien koulujen osalta epäiltiin ilmanvaihdon toimivan puutteellisesti. Sisäilman koettiin olevan pääosin huono ja tunkkainen. Joissakin kohteissa käyttäjät kertoivat kokevansa tilan lämpötilan korkeaksi. Koulussa 4 tutkimukset suoritettiin, sillä tilaaja halusi selvittää järjestelmän toiminnan ja siinä olevat puutteet projektin seuraavan vaiheen suunnittelutyön ohjausta varten. Lisäksi käyttäjät olivat reklamoineet huonosta ilman laadusta rakennuksen käyttöönoton jälkeen.

Tutkittavissa kouluissa oli koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä, joka oli varustettu osittain lämmöntalteenotolla. Kouluissa 1, 2 ja 4 ilmanvaihtojärjestelmä on hajautettu useammalle ilmanvaihtokoneelle. Koulu 3 oli varustettu yhdellä keskusilmanvaihtokoneella. Kouluissa 1, 2 ja 4 oli erillispoistoja ja niille käsikytkimiä eri puolilla rakennusta. Koulun 3 WC-tilojen ilmanvaihtoa hoidettiin keskusilmanvaihtokoneen runkokanavaan kytketyllä tulo-poistoilmanvaihtokoneella, joka oli varustettu lämmöntalteenotolla (ristivirta). Kyseinen ilmanvaihtokone huolehtii rakennuksen käyttöajan ulkopuolisesta ilmanvaihdosta.

Kaikissa tutkimuksissa suoritettiin automaatiojärjestelmän toimintakokeet. Koulussa 2 tarkastettiin lisäksi rakennusautomaatiojärjestelmän erillispisteet. Kaikissa tutkituissa kohteissa selvitettiin toteutuksen ja toiminnan vastaavuus suunnitelmiin verrattuna. Raportoinnissa nostettiin esiin toteutuksessa havaitut virheet ja puutteet suunniteltuun verrattuna, toimenpide-ehdotukset ja tarpeen vaatiessa esitettiin jatkotutkimustarpeet tai laadunvarmistustoimenpiteet ongelmien ja puutteiden korjaamiseksi.

Kaikissa kohteissa mitattiin tilakohtaisia ilmavirtoja, tarkastettiin IMS-peltien toiminta valvomosta ja kentältä (IMS-toimilaitteelta). Kouluissa 1 ja 2 mitattiin tilakohtaisten ilmavirtojen lisäksi osan rakennusta palvelevien ilmanvaihtokoneiden kokonaisilmavirtoja. Edellä mainittujen mittausten ja tarkastusten lisäksi jokaisessa kohteessa tehtiin sisäilman olosuhdemittaukset, jossa selvitettiin ilmanvaihtojärjestelmän ohjauksen (hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila) toimivuutta. Ohjausten toiminnan arviointia tehtiin vertaamalla

olosuhdemittauksien tuloksia rakennusautomaatiojärjestelmän mittaustuloksiin (trendi-seuranta) ja määrittelyyn sisäilmastoluokan tavoitearvoihin kouluissa, joissa suunnittelun pohjana oli käytetty sisäilmastoluokitusta. Kohteissa suoritettiin myös paine-eron seurantamittaukset. Tutkittujen kohteiden paine-erojen vaihtelu oli yleisesti vähäistä.

Edellä mainittujen tutkimusten lisäksi kohteissa suoritettiin koulua 4 lukuun ottamatta savukokeita pistokoemaisesti tiloihin, joissa suoritettiin ilmavirtojen mittauksia. Savukokeiden avulla pyrittiin selvittämään ilman sekoittumista tutkituissa tiloissa minimi- ja maksimi-ilmavirroilla. Ilmavirtojen mittaukset tehtiin kouluissa 1, 2 ja 3 maksimi-ilmavirtojen lisäksi minimi- ja/tai osailmavirroilla.

8.2 Ilmanvaihtojärjestelmistä tehdyt havainnot

Tutkimusten kohteena olleissa kouluissa tehdyt merkittävimmät havainnot liittyivät IMS-peltien asennuksiin. IMS-peltien asennuksissa ei usein oltu huomioitu laitevalmistajan ohjeistusta suojaetäisyyksien osalta. Koulussa 4 havaittiin tämän lisäksi, että IMS-pellin koko oli useissa opetusluokissa kanavakokoon verrattuna poikkeava ja kanavakoko oli pienennetty IMS-pellin molemmiin puolin IMS-pellin kokoa vastaavaksi.

Koulussa 1 ilmanvaihdon toiminnassa ei havaittu merkittäviä puutteita. Järjestelmässä havaitut puutteet liittyivät suurelta osin luokkatiloja palvelevien ilmanvaihtojärjestelmien osalta liian pieneksi mitoitettuihin ilmanvaihtokoneisiin, jotka eivät saavuttaneet paineen osalta asetusarvoa, joka aiheutti ilmanvaihdon tehostumisen. Ilman laatu pysyi hiilidioksidipitoisuuden osalta hyvällä tasolla, mutta huonelämpötilassa havaittiin sahaamista. Tämä johtuu lämpötilan säädön ohjauksesta ja asetelluista raja-arvoista, joista on kerrottu luvussa 8.3.

Koulujen 1, 2 ja 3 osalta havaittiin, että ilma sekoittui tiloissa hyvin maksimi-ilmavirralla. Minimii- ja osailmavirralla ilman sekoittuminen heikkeni johtuen ilman alhaisemmasta nopeudesta. Minimii- ja osailmavirtatilanteissa tiloissa ei ole vastaavaa kuormitusta kuin maksimi-ilmavirtatilanteissa, joten käyttäjille ilmavirtauksen heikentyminen ei välttämättä vaikuta lainkaan tai sen vaikutusta voidaan pitää vähäisenä. Koulussa 2 opetustilojen päätelaitteiden sijoittelu (seinäpuhallus) ei ollut IMS-järjestelmään soveltuva, sillä tuloilman puhallus tapahtui seinä-/otsapinnasta. Ilmanjakotavan puutteet korostuivat, kun tilojen IMS-pellit oli asennettu minimii- ja osailmavirtatilanteeseen, jolloin ilmasuihku putosi

alas liian aikaisin. Liian aikaisin alas putoava ilmasuihku saattaa aiheuttaa vedon tunnetta, mikäli tiloissa on käyttäjiä. Koulussa 2 havaittiin lisäksi toimimattomia IMS-peltejä.

Koulussa 1 ja 2 havaittiin, että tuloilman lämpötila oli osassa tutkittuja tiloja melko korkea. Korkealla tuloilman lämpötilalla on vaikutusta ilman sekoittuvuuteen tilassa. Korkeassa tilassa kyseinen ilmiö korostuu siten, että lämmin ilma nousee ylöspäin ja jää sinne ns. patjaksi. Tämä aiheuttaa usein kokemuksen huonosta sisäilmasta tilan oleskeluvyöhykkeellä.

Koulussa 2 havaittiin, että määritellyn sisäilmastoluokan tavoite hiilidioksidipitoisuuden osalta ei täyttynyt kuormitustilanteessa. Kuormituksen jatkuessa pidempään, hiilidioksidipitoisuus nousi yli sisäilmastoluokituksen tavoitearvon. Olosuhteiden pysyvyyteen ei tutkimuksessa otettu kantaa. Suoritetuissa tutkimuksissa havaittiin, että kuormituksen päättymisen jälkeen aikaa kului pitkään, ennen kuin tilojen hiilidioksidipitoisuus saavutti käytönajan ulkopuolisen, normaalina pidetyn hiilidioksidipitoisuuden arvon (noin 400 ppm). Koulussa 3 sisäilman olosuhteet pysyivät melko hyvin hallinnassa koko mittausjakson ajan. Huonetilan lämpötila on pysynyt vuodenaikaan nähden maltillisena, sillä tutkimukset suoritettiin kesällä. Koulun 1 osalta ei otettu kantaa tilojen ylläampnemiseen, sillä tutkimus suoritettiin talvella. Koulussa 4 havaittiin, että sisäilman hiilidioksidipitoisuus ylitti sisäilmastoluokan S1 tavoitearvon (< 750 ppm) toistuvasti mittausjakson aikana kaikissa tutkituissa tiloissa. Yhdessä tilassa havaittiin lämpötilan osalta tavoitearvoja korkeampia lämpötiloja (operatiivinen lämpötila). Ylläampneminen on todennäköisesti johtunut vuodenaikasta, jolloin tutkimukset suoritettiin (huhti-toukokuu). Koulun 4 tutkimuksissa otettiin kantaa ylläampnemiseen, sillä suunnitelmissa oli tehty simulointi kaikkien tyyppitilojen sijasta vain yhteen luokkatilaan. Tutkimuksissa havaittiin, että yksi luokkatila täyttää rakentamismääräyskokoelman osan D3 vaatimuksen asetuntien osalta, joka on 150 tuntia 1.5–31.8. välisenä aikana. Muut tilat ylittivät D3:n asetuntimäärälle asetetun vaatimuksen.

Koulussa 3 ilmanvaihdon säädön osalta merkittävin havainto oli IMS-peltien irtikykentä (sähkö- ja automaatiojärjestelmä). IMS-pellit oli säädetty tiettyyn asentoon normaalin säätöpellin tavoin. Koulun 3 ilmavirtojen osalta havaittiin, että mitatut ilmavirrat poikkesivat vuoden 2009 suunnitelmista. Kahdessa tilassa havaittiin, että poistoilman päätelaitteiden sijainti on epäedullinen ilmanjaon kannalta, sillä osa tuloilmavirrasta pääsee virtaamaan suoraan poistoon.

Osassa tutkittuja kohteita kokonais- ja tilakohtaisissa ilmajärvöissä havaittiin suurempia poikkeamia Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (2012) hyväksymiin poikkeamiin verrattuna. Eryyisesti koulussa 2 ja 4 havaittiin, että poikkeamat tulo- ja poistoilmajärvöjen välillä tilakohtaisesti olivat selkeitä. Poikkeamat kasvoivat minimi- ja osailmajärvötilanteessa selkeämmin kuin maksimi-ilmajärvötilanteessa. Koulussa 4 ilmajärvöjen säätöön oli käytetty poikkeavaa menetelmää johtuen IMS-peltien, säätöpeltien (Iris) ja päätelaitteiden asennuspaikoista johtuen (laitevalmistajien suojaetäisyydet eivät toteutuneet). Poikkeavan säätötyön suorittamisen vuoksi IMS-peltien toimilaitteille oli aseteltu suunnitelmista poikkeavat arvot (poikkeutettuja arvoja). Kouluissa, joissa oli mitattu kokonaisilmajärvöjä ilmanvaihtokoneilta, havaittiin ilmajärvöjen poikkeamien olevan pääosin järjestelmäkohtaisesti määräysten salliman poikkeaman mukaisia. Tämän perusteella ilmanvaihtokoneiden ilmajärvöissä ei havaittu merkittäviä puutteita, joilla olisi vaikutusta koko järjestelmän ilmajärvöihin.

Kaikkissa tutkimuksen kohteissa havaittiin puutteita rakennusautomaatiojärjestelmässä. Koulussa 2, 3 ja 4 havaittiin puutteita mm. valvomoon ja IMS-peltien toimilaitteille asetuissa arvoissa. Tällä havaittiin olevan vaikutusta järjestelmän toimintaan. Koulussa 4 rakennusautomaatiojärjestelmässä olevia puutteita pidettiin sisäilman laadun kannalta merkittävinä. Koulun 4 osalta arvioitiin, että sisäilman laatuun vaikuttavat rakennus- ja huonekalujen materiaalien päästöt, sillä ilmajärvöä oli käytetty maksimi-ilmajärvöllä vain 3 kuukautta rakennuksen käyttöönoton jälkeen, jonka jälkeen ilmanvaihto oli asetettu käymään tarpeenmukaisena rakennusautomaatiojärjestelmän ohjaamana.

Koulussa 4 ilmanvaihtojärjestelmä on varustettu osittain vakioilmajärvöä säätimillä IMS-peltien lisäksi. Vakioilmajärvöä säätimen takana on IMS-peltelejä, joiden ohjaus vaikuttaa vakioilmajärvöä säätimen takana olevien tilojen ilmajärvöihin IMS-pellin ohjauksen mukaan. IMS-pellin avautuminen (tehostus) pienensi vakioilmajärvöä säätimen takana olevien tilojen ilmajärvöjä. IMS-pellin säädön muuttuessa minimi-ilmajärvöllä vakioilmajärvöä säätimien takana olevien tilojen ilmajärvöt kasvoivat. IMS-peltien kenttälaitteista havaittiin, että IMS-peltien toimilaitteiden lukemat vilkkuvat. Tämä johtui siitä, ettei IMS saavuttanut sille asetettua ilmajärvön asetusarvoa.

8.3 Rakennusautomaatiojärjestelmästä tehdyt havainnot

Kouluissa 1 ja 2 havaittiin, että trendiseurannan lämpötila- ja hiilidioksidipitoisuuden mitatut arvot olivat erityisesti öisin ja viikonloppuisin normaalia korkeampia. Trendiseurannan ja olosuhdemittausten tulosten välillä havaittiin 50–200 ppm eroja sekä lämpötilassa noin 1 °C:een eroja (koulu 2). Sisäilman kannalta eroja voidaan pitää huomattavana, sillä näillä voidaan arvioida olevan selkeä vaikutus ilmanvaihdon oikea-aikaiseen ohjaukseen. Yleisesti koulujen 1 ja 2 osalta todettiin, että huonetilaan sijoitettu lämpötilaa ja hiilidioksidipitoisuutta mittaavan anturin mittaustulokset antavat oikean kuvan tilojen olosuhteista. Huonetilaan asennettu anturi huomioi lämpötilan osalta myös operatiivisen lämpötilan kanavaan asennettua anturia paremmin. Koulun 2 osalta havaittiin, että hiilidioksidipitoisuuden muunnostaulukot poikkeavat suunnitellun ja toteutuksen välillä ja lämpötilan tehostuksen raja-arvoissa havaittiin lämpötilan asetellun niin alhaiseksi, että se johtaa ilmanvaihdon jatkuvaan tehostukseen. Lämpötilakompensoinnissa havaittiin puutteita tuloilman puhalluslämpötilan osalta huonelämpötilan muuttuessa (muunnostaulukko puuttui). Koulussa 1 havaittiin, että IMS-pellit eivät olleet osana huonelämpötilan säätöä ja lämmityspatterien patteriventtiilien säätö toimi on/off -periaatteella, mikä aiheutti lämpötilan sahaamista. Ilmanvaihtokoneiden osalta havaittiin, että ne oli suunniteltu vakionopeusperiaatteella toimiviksi, mutta ne oli varustettu paineanturein, joiden avulla säädettiin kanavapainetta. Kanavapainesäädön avulla IMS-peltien vaatima painetaso ilmavirtojen tehostukseen saavutettiin.

Tutkituissa kouluissa havaittiin puutteita käsikytkimien toiminnassa. Puutteet saattoivat liittyä niiden toimimattomuuteen, väärän koneen tehostamiseen tai toimintaan väärässä tilanteessa. Pakko-ohjauksissa ja lukituksissa havaittiin virheitä lähes kaikissa tutkituissa kouluissa. Osaltaan puutteita havaittiin palopelleissä ja niiden toiminnan tarkastuksissa. Koulussa 1 palopeltejä ei oltu liitetty valvomoon, joten niiden tila ei tule kiinteistöhuollon tietoon, mikä voi aiheuttaa ongelmia yksittäisen palopellin sulkeutuessa.

Koulussa 3 merkittävin rakennusautomaatiojärjestelmän puute liittyi irtikytkettyihin IMS-pelteihin. Näin ollen energian säästö ilmanvaihtojärjestelmien osalta jää toteutumatta. Puutteita havaittiin lisäksi aikaohjelmissa eikä automaatiojärjestelmä ollut ajan tasalla. Ajantasaisuuden puutteissa havaittiin mm. grafiikkakuvaajien puutteet suunnitelmien ja toteutuksen välillä.

Koulussa 4 havaittiin, että toimintakokeet oli suoritettu puutteellisesti. Koulussa 4 rakennusautomaatiojärjestelmän puutteet liittyivät tämän lisäksi ohjelmointi- ja asennusvirheisiin. Kohteessa oli takuu aika käynnissä. Suoritettujen tutkimusten pohjalta suoritettiin korjauksia ja muutoksia rakennusautomaatiojärjestelmään. Rakennusautomaatiojärjestelmässä havaittiin ilmavirtojen säätökäyrien poikkeamia (hiilidioksidipitoisuus, ppm), minimi- ja maksimi-ilmavirtojen poikkeamia suunnitellusta, virheellisesti aseteltuja säätöviestejä (0–10 V) sekä IMS-peltien (tulo- ja poistoilma) ilmavirran mittaustietojen puutteet. Valvomoon tulevan tiedon mukaan ilmavirrat jäivät merkittävästi asetusarvosta. IMS-peltien ohjaukseen vaikuttavien automaatioasennusten todettiin vaikuttavan koulun sisäilman laatuun merkittävästi.

Koulussa 4 asetettiin tilojen ohjausperusteena olevien lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden trendiseuranta tutkimusten aloittamisen yhteydessä, sillä trendiseurantaa ei oltu toteutettu. Tutkimuksen yhteydessä suoritettujen olosuhdemittausten (hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila) tuloksia ja trendiseurannan mittaustuloksia verrattiin toisiinsa. Tulosten havaittiin olevan toisiaan vastaavat molempien mitattujen suureiden osalta. Tutkimuksissa havaittiin, että poistoilmakanavaan asennetun anturin mittaustulokset vastaavat hyvin sisäilman olosuhteita. Huomiona kuitenkin todettiin, että kanavaan asennettu anturi ei huomioi tilojen ylälämpenemistä, sillä anturi mittaa poistoilman lämpötilaa huoneilman lämpötilan sijaan.

Koulussa 4 oli asennettu paineantureita ilmanvaihtokoneesta riippuen 2–4 kpl. Paineanturit on asennettu ilmanvaihtokanavien runko- ja haarakanaviin. Paineanturien avulla järjestelmää olisi tarkoitus ohjata siten, että prosentuaalisesti eniten jäävän mukaan ohjataan puhallinta. Tämä aiheuttaa järjestelmässä huomattavaa huojuntaa, sillä ei-aktiiviset paineanturit voivat vaikuttaa ilmavirran säätöyksessä jääden prosentuaalisesti eniten, jolloin puhaltimelta pyytävä paineanturi vaihtuu ja ohjaa puhallinta. Tällä arvioitiin olevan huomattava vaikutus järjestelmän toimintaan ja sisäilman laatuun.

8.4 Tehtyjen projektien ja raportoinnin arviointi

IVA-järjestelmäselvitysten sisältö oli määritelty pitkälti tarjouksissa, jotka on toimitettu tiilajille ennen työn suorittamista. Raporteista on havaittavissa, että suunnitelmista, jotka on saatu selvitysten lähtötiedoksi, on löydetty ongelmia selittäviä tekijöitä. Kaikkien tutkittujen koulujen kohdalla on selkeää, että automaation merkitys on osaltaan ollut suuri

IMS-järjestelmän toiminnan kannalta. Projektit ovat siinä mielessä onnistuneet, että selvitysten avulla on löydetty ongelmia, jotka on mahdollista ratkaista selkeiden toimenpiteiden avulla. IVA-järjestelmäselvitykset eivät ole sisällöllisesti vastanneet täysin ilmanvaihtojärjestelmän kuntotutkimusta. Tavallisella ilmanvaihdon kuntotutkimuksella ei todennäköisesti olisi voitu perehtyä yhtä syvästi esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmän toimintaan ja sen mahdollisiin puutteisiin.

Lähtötietojen saaminen on ollut osin haastavaa kohteesta riippuen. Kohteen sähköisessä muodossa (projektipankit ja huoltokirjat) olevat tiedot eivät välttämättä ole ajan tasalla, vaan niihin on saattanut tulla muutoksia. Lähtötiedoissa on ollut hyvää erityisesti se, että perusparannuskohteiden aiempien tutkimusten raporteja on saatu nähtäville. Raporteista on saatu tietoa kohteessa olevista, ilmanvaihtojärjestelmääkin koskevista ongelmista. Tutkittujen kohteiden piirustuksia on saatu käyttöön hyvin, mutta on puuttunut joitakin piirustuksia, joita olisi tarvittu selvitysten tekemisen aikana ja tulosten analysointia varten. Lähtötietojen lisäksi selvitysten aloittamista ennen tehdyllä kohdekäynnillä koko tutkimusryhmän kanssa olisi voitu vaikuttaa tutkimusten aloittamisen sujuvuuteen.

Tehtyjen selvitysten raporteissa ei otettu selkeästi kantaa olosuhteiden pysyvyyteen tutkittujen kohteiden osalta. Tähän olisi hyvä kiinnittää huomiota jatkossa analysoitaessa tutkittavien tilojen olosuhteita (hiilidioksidipitoisuus ja tilan lämpötila) ja tuoda esiin suunnittelun perusteena olevan sisäilmastoluokituksen tai rakentamisen määräysten vaatimukset olosuhteiden pysyvyydestä. Selvityksen laajuudesta riippuen voisi olla paikallaan harkita, tuotaisiinko ilmapvirtausten mittauksissa havaituista epäkohdista enemmän tietoa raporttiin pelkkien liitteiden asemesta. Olosuhdemittausten suorittamisen osalta mittauksia on suoritettu kohdekohtaisesti riittävällä tasolla (mittalaitteiden määrä). Koulun 2 mittaus tuloksista havaittiin, ettei neljällä olosuhdemittarilla verrattuna esimerkiksi kahdella olosuhdemittarilla suoritettuihin olosuhdemittauksiin saada merkittävää hyötyä. Mikäli tilat on varustettu huoneantureilla, on olosuhdemittarin asentaminen huoneanturin viereen perusteltua trendikäyrän ja olosuhdemittausten tulosten vertailua ajatellen. Esimerkiksi mahdollinen vika huoneanturissa tulee tällä tavoin todennäköisesti ilmi.

Rakennusautomaatiojärjestelmiin liittyvissä selvityksissä esiin tulleet epäkohdat olivat selkeitä ja kertovat omalta osaltaan suunnittelun ja toteutuksen yhdistämisen haasteista sekä toteutuksessa vaadittavan yhteistyön haasteista eri alojen urakoitsijoiden välillä (ilmanvaihto, rakennusautomaatio ja sähkö). Rakennusautomaatiojärjestelmän osalta olisi

voitu ottaa laajemmin kantaa huoneanturien itsekälibroinnin toimintaan, mikäli käytettävissä olisi valmistajan työkalu huoneanturin toiminnan selvittämiseen. On kuitenkin ymmärrettävää, ettei kaikkia työkaluja voida hankkia, sillä eri valmistajilla voi olla omat työkalunsa vastaavan tyyppiselle huoneanturille. Selvityksien tarkoitus on ollut löytää järjestelmän ongelmakohdat ja esittää toimenpiteet niiden korjaamiseksi, eikä laatia koko järjestelmän kattavaa korjaussuunnitelmaa. Selvitysten tutkimuksissa ja raportoinnissa on käynyt selkeästi ilmi, että rakennusautomaatiojärjestelmän toimintakokeiden suorittaminen on perusteltua jokaisen IVA-järjestelmäselvityksen yhteydessä.

Rakennusautomaatiojärjestelmää koskevassa raportoinnissa olisi voinut paikoin kiinnittää huomiota eri asioiden esitystapojen selkeyteen. Raportoinnissa on tällä hetkellä selkeitä otsikoita muun muassa ilmanvaihtokoneille, palopelleille ja erillispisteille. Raportoinnissa on kerrottu riittävän yksinkertaisesti käytössä oleva rakennusautomaatiojärjestelmä, valvomon ja VAKien sijainnit rakennuksessa sekä tutkitut asiat. Raportoinnissa voisi kokeilla esimerkiksi taulukkomuotoista esitystapaa tilanteissa, joissa kerrotaan muun muassa erillispisteiden, ilmanvaihtokoneiden tai palopeltien testaukseen liittyviä asioita.

Raportointi on siinä mielessä onnistunut, että ilmanvaihtojärjestelmien ja rakennusautomaatiojärjestelmän raportoinnissa ei ole tullut mainittavia päällekkäisyyksiä vaan ne ovat omia kokonaisuuksiaan. Johtopäätökset on myös alaotsikoitu siten, että tietyn kokonaisuuden asiat käsitellään yhdessä kohdassa, jolloin kokonaisuus pysyy selkeänä ja paremmin ymmärrettävänä.

8.5 Tutkimuksissa huomioitavat asiat tulevaisuudessa

IVA-järjestelmäselvityksissä tulisi jatkossa kiinnittää huomiota tarjouksen sisältöön huomioiden järjestelmän ikä, IMS-peltien tekniikka sekä kohteen laajuus ja tiedossa olevat ongelmat. Tarjouksessa olisi hyvä kiinnittää huomiota eri mittauksen suorittamisen laajuuteen ja määrään. Olosuhdemittauksiin käytettävien olosuhdemittareiden määrän määrittelyssä olisi oleellista huomioida, onko kohteessa huoneanturit vai kanavistoon asennetut anturit. Tarjoukseen olisi hyvä määrittää selkeästi verrokkitiloja koskevat selvitykset, mikäli tilaaja on kohdentanut selvityksen koskemaan tiettyjä tiloja (ongelmatilat). Tutkittavien tilojen määrää ei ole välttämätöntä määrittää kovin tarkasti, mutta suuntaa-

antava määrä esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden palvelualueittain tai koko tutkimusalueelta saattaisi helpottaa kokonaisuuden hallintaa erilaisten mittausten suunnittelua ajatellen. Näin on jo osittain toimittu ja tilaajan määrittämät ongelmatilat on aina perusteltua tutkia.

Tutkimusten suorittamisessa olisi hyvä kiinnittää ilmavirtamittausten osalta huomiota mitauspaikkaan, kun mitataan ilmavirtoja IMS-pellin läheisyydestä. Mittausten suorittamista IMS-pellin molemmiin puolin voisi olla paikallaan harkita, jotta saataisiin tietoa IMS-pellin kuristuksesta eri ilmavirroilla. Ilmavirtamittausten ohella voisi tarkastella staattisen ja dynaamisen paineen mittaamista tulo- ja poistoilmakanavista heti ilmanvaihtokoneen jälkeen sekä puhaltimilta mahdollisuuksien mukaan. Näiden avulla voitaisiin varmistua järjestelmän paineentuoton tason oikeellisuudesta. Edellä mainitut mittaukset suoritettaisiin vastaavilla IMS-peltien asennoilla, kuin tilojen ilmavirtamittaukset. Mikäli ilmanvaihtokoneiden mitoitusajot ovat käytettävissä, voitaisiin mitoitusilmavirtatilanteen mitattuja arvoja verrata ilmanvaihtokoneen mitoitusajon arvoihin. Ilmanvaihtokoneeseen kohdistuvien mittausten osalta voitaisiin konsultoida laitevalmistajan edustajaa ilmanvaihtokoneiden minimi- ja osailmavirtamitoitusten saamiseksi. Tällä tavoin voitaisiin vertailla mitoituksen toteutumista käytännössä ja arvioida ilmanvaihtokoneen vaikutusta koko järjestelmän toiminnan kannalta. Mikäli tiloissa on koettu ääniin liittyviä ongelmia, voisi tutkimuksen sisällön osalta tarkastella äänimittausten tarvetta.

Suunnitelmien tarkastukseen olisi hyvä kiinnittää jatkossa enemmän huomiota. Huomiota tulisi kiinnittää IMS-peltien osalta haastatteluissa esiin nousseisiin tekijöihin (toiminta-alueet, soveltuvuus suunniteltuun rakennusautomaatiojärjestelmään). Vastaavat tarkastukset tulisi tehdä myös kohteen ilmanvaihtokoneille. Ilmanvaihtokoneilta olisi hyvä tarkastaa laminaarisen ilmavirtauksen riski minimi- ja osailmavirtatilanteissa. Osa suunnitelmien tarkastusta on järjestelmällinen toteutuksen läpikäynti kohteella ja verrata toteutusta suunniteltuun.

Jatkossa lähtötietojen riittävyyteen tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Selvityksissä riittävien lähtötietojen saanti on ensiarvoisen tärkeää tutkimussuunnitelman laatimisen näkökulmasta ja tärkeimpien tutkimuskohtien määrittämiseksi. Puutteelliset lähtötiedot vaikuttavat selvitysten suorittamiseen sillä kohteella joudutaan etsimään puuttuvia tietoja ja perehtymään aineistoon vielä siinä vaiheessa, kun tutkimuksia olisi jo voitava suorittaa. Lähtötiedoilla on merkitystä myös siltä osin, onko kohteessa tehty tutkimuksia

aiemmin ja mihin mahdolliset tutkimukset on kohdennettu. Mikäli laitteiden tiedot (ilmanvaihtokoneet, IMS-pellit ym.) olisi saatavilla hyvissä ajoin ennen selvityksen kenttätutkimuksia, olisi suunnitelmien tarkastus mahdollista suorittaa ennen kenttätutkimusten suorittamista. Tällä tavalla toimimalla suunnitelmien mahdolliset epäkohdat olisivat tiedossa jo ennen kenttätutkimusten suorittamista. Suunnitelmien tarkastus ja läpikäynti antaisi mahdollisuuden suunnitella kenttätutkimuksia tarkemmin etukäteen, mikäli tilaajalta ei ole tullut selkeää informaatiota tiloista, joihin kenttätutkimukset tulisi keskittää.

Kohdekäynnillä (tutustumiskäynti kohteessa) on suuri merkitys ennen tarjouksen jättämistä mutta tämän lisäksi ennen kenttätutkimusten suorittamista. Tarjouksen laatinut henkilö on usein suorittanut kohdekäynnin tarjouksen laadintaa varten ja keskustellut tilaajan kanssa eri vaihtoehdoista liittyen selvitysten sisältöön. Muulla tutkimusryhmällä ei ole usein kohteesta muuta tietoa kuin tarjous ja tilaajan toimittamat ja tutkimusryhmän hankkimat lähtötiedot ennen kenttätutkimusten suorittamista. Kohdekäynti ennen kenttätutkimusten suorittamista helpottaisi muun tutkimusryhmän ”sisäänajoa” kohteeseen. Ennen kenttätutkimuksia suoritettavan kohdekäynnin tarkoitus olisi tutustua kohteeseen tutkimusten suunnittelua varten. Kenttätutkimusten suunnittelua ja lähtötietojen läpikäyntiä helpottaa, kun kohteen hahmottaa kokonaisuudessaan todellisina tiloina papereissa esitetyn tiedon lisäksi. Kenttätutkimuksia ennen tehtävällä kohdekäynnillä voitaisiin tarkastaa muun muassa rakennusautomaatiojärjestelmästä mahdolliset trendiseurannat (onko niitä tallennettu) ja asettaa ne tarvittaessa. Samalla voitaisiin tiedustella kiinteistöhuollolta tarvittavat tiedot rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöä varten sekä kohteen ilmanvaihtojärjestelmän tiedossa olevat puutteet ja ongelmat. Rakennusautomaatiojärjestelmään liittyvien tiedustelujen yhteydessä voisi pyrkiä selvittämään, onko huoneantureiden itsekalibrointi käytössä, mikäli kohteessa on kyseisellä ominaisuudella varustetut huoneanturit. Ilmanvaihtokonehuoneiden ja IV-konehuoneiden asennusten näkeminen luonnossa antaa mahdollisuuden määrittää ilmavirtamittauksiin liittyviä tekijöitä ja haasteita sekä eri vaihtoehtojen määrittämisen mittausten suorittamiseksi.

Raportoinnissa voisi kiinnittää vastaisuudessa enemmän huomiota käytettäviin termeihin. Raportoinnissa erityisesti rakennusautomaatiojärjestelmää koskevat termit eivät välttämättä avaudu maallikolle, sillä IMS-järjestelmä ei ole ilmanvaihtojärjestelmänä yleisesti kaikista tyyppillisin. Sanavalintojen ja ilmaisujen osalta voisi miettiä, löytyisikö niihin maallikolle ymmärrettävämpiä esitysmuotoja. Yhtenä vaihtoehtona voisi olla taulukon laatiminen raportin alkuun, jossa on selitetty käytetyt termit maallikolle ymmärrettävästi

ja yleinen selostus IMS-järjestelmän toimintaperiaatteesta yleisellä tasolla. Raportoinnissa voitaisiin pyrkiä yhdenmukaistamaan rakennusautomaatiojärjestelmää ja ilmanvaihtojärjestelmää käsittelevien osien ulkoasua siten, että luotaisiin kokonaan uusi raporttipohja IVA-järjestelmäselvityksille.

Tulevaisuudessa tilaajan kanssa olisi hyvä keskustella siitä, voidaanko magicad-tiedostot pyytää tutkimuksia varten kohteen suunnittelun suorittaneelta taholta. Magicad-tiedostojen avulla voitaisiin tarvittaessa simuloida ilmapvirtamitoituksen muutoksia olemassa olevan järjestelmän näkökulmasta siten, kun se aikanaan on suunniteltu. Tässä tulee kuitenkin muistaa, että saadut tulokset ovat suuntaa-antavia nimenomaan siksi, että järjestelmän toteutus voi poiketa kanaviston ja päätelaitteiden osalta huomattavastikin suunnitellusta. Mikäli poikkeamat ovat huomattavia, voidaan magicad-tiedostojen avulla tarkastella esimerkiksi yksittäistä tilaa koko järjestelmän sijaan. Magicad-tiedostojen osalta on hyvä miettiä ennen niiden pyytämistä, saadaanko niistä kokonaisuuden kannalta merkittävää hyötyä.

IVA-järjestelmäselvitysten osalta voitaisiin miettiä, olisiko mahdollisuutta kehittää palvelua siten, että tarjottaisiin käytön opastusta IMS-järjestelmän käyttöön liittyvissä asioissa. Opastus koskisi erityisesti rakennusautomaatiojärjestelmää. Tapauskohtaisesti voitaisiin ehdottaa lyhyen infon järjestämistä tai tietopakettien laatimista siitä, kuinka tilojen käyttäjät voivat vaikuttaa IMS-järjestelmän toimintaan kyseessä olevassa kohteessa sekä IMS-järjestelmän yleisestä toimintaperiaatteesta.

Yhtenä asiana voisi harkita palvelun laajentamista siten, että suoritettaisiin kolmannen osapuolen tarkastuksia suunnitelmille kohteisiin, johon on suunniteltu tarpeenmukainen ilmanvaihto. Tarkastus suoritettaisiin ilmanvaihdolle ja rakennusautomaatiojärjestelmälle kiinnittäen huomiota haastatteluissa esille nousseisiin asiakohtiin ja IVA-järjestelmäselvityksistä saatuihin kokemuksiin. Tarkastusten avulla olisi mahdollista ennaltaehkäistä virheitä toteutusaikana. Tarkastuksessa tulisi olla vähintään ilmanvaihdon ja rakennusautomaatiojärjestelmän asiantuntijat. Laadukkaan tarkastuksen edellytys on, että tarkastajilla on kokemusta tarpeenmukaisesta ilmanvaihdosta ja että toimintaperiaatteet tulevat ymmärretyksi siten, kuin ne on suunniteltu.

9 Mittauspöytäkirjojen kehittäminen

Ilmanvaihdon mittauspöytäkirja on oleellinen osa IVA-järjestelmäselvityksen sekä IV-kuntotutkimuksen raporttia. Mittauspöytäkirjassa esitetään tutkimusten kannalta oleellista tietoa ilmanvaihtojärjestelmän toimivuudesta ja tilojen olosuhteista. Kuntotutkimusraportit ovat usein julkisia, jonka vuoksi on tärkeää, että myös niin sanottu maallikko ymmärtää tutkimusraportissa esitetyt tulokset ja jatkotutkimusten tarpeen. Mittauspöytäkirjan osalta raporttia lukevalle henkilölle korostuu niiden selkeys ja helppolukuisuus. Raportin laatijalle mittauspöytäkirjan osalta korostuu selkeä ja yksinkertainen täyttäminen sekä eri päätelaitteiden tietojen saanti mahdollisimman nopeasti ja helposti. Nykytilanteessa mittauspöytäkirjasta ei ole IVA-järjestelmäselvityksille yhtä selkeää mallia, toisin kuin ilmanvaihdon tutkimuksille (vakioilmavirtaiset järjestelmät).

Mittauspöytäkirjassa esitetään tiedot mittauksen suorittaneesta henkilöstä, mittausajankohdasta, vallinneista sääolosuhteista sekä käytetystä mittalaitteistosta. Mittauspöytäkirjassa esitetään tilojen suunnitellut ja mitatut ilmavirrat sekä tutkittujen tilojen päätelaitteiden malli ja koko. Päätelaitteiden osalta mittauspöytäkirjassa esitetään tieto laitteen säätöarvosta, k-arvosta tai avaumasta. Mittaustavasta riippuen mittauspöytäkirjassa esitetään tieto mittausmenetelmästä sekä mitatuista suureista (paine-ero, ilmavirta tai ilman virtausnopeus).

Mittauspöytäkirjan täyttämisen haaste liittyy sen rakenteeseen sekä päätelaitteista saatavien tietojen hankkimiseen. Päätelaitteiden tiedon hankkimiseen liittyy oleellisena osana päätelaitteisiin liittyvän tiedon keräys kenttätutkimusten yhteydessä. Mitattaessa paine-eroa muun muassa säätöpellistä tai päätelaitteen mittayhteistä tulee tutkijalla olla tiedossa säätöpellin tai päätelaitteen valmistaja, malli, valmistusvuosi ja säätöasento. Näiden tietojen perusteella voidaan etsiä laitevalmistajien mittaus- ja säätöoppaista oikeat tiedot, mikäli näitä ei ole annettu laitteessa olevassa tarrassa tai ne ovat ajan saatossa irronneet tai kuluneet pois. Tietojen saamiseen saatetaan tarvita laitevalmistajien apua, sillä joissakin tapauksissa mittaus- ja säätöoppaista ei löydetä oikeaa mallia tai siihen liittyviä tietoja.

Mittauspöytäkirjan täytön osalta Sitowisessä on pääosin käytetty k-arvojen interpolointia tapauksissa, joissa laitevalmistajan taulukossa ei ole k-arvoa mitatulle avauksen arvolle. Tämä menettelytapa on käytössä tulo- ja poistoilmaventtiilien kohdalla, joiden avauma mitataan rakotulkin avulla. Edellä mainituissa päätelaitetyypeissä laitevalmistaja antaa

päätelaitteelle k-arvon avauman perusteella. Hajottajissa kyseistä ilmiötä ei usein esiinny, sillä niiden k-arvo on riippuvainen päätelaitteen asennustavasta ja suojaetäisyydestä mutkiin ja T-haaroihin.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään mittauspöytäkirjan layoutiin ja tarvittavien kohtien kehittämiseen, jotta mittauspöytäkirjan täyttämistä saadaan sujuvammaksi ja varmistetaan samanlaisten mittauspöytäkirjojen käyttö raportin laatijasta riippumatta. Mittauspöytäkirjan ulkoasun vastaavuus tekijästä riippumatta kertoo ammattimaisuudesta ja harkitusta kokonaisuudesta. Aiemmin käytettyihin mittauspöytäkirjoihin pyydettiin palautetta ja kehitettäviä kohtia niitä työssään käyttäviltä henkilöiltä. Kehitystyötä vietiin eteenpäin saatujen palautteiden ja kehitettävien kohtien pohjalta.

Mittauspöytäkirjan eri versiot

Sitowisessä on käytetty IV-kuntotutkimustyyppistä riippuen erilaisia mittauspöytäkirjapohjia. Tämä johtuu pääosin mittauspöytäkirjaan täytettävän tiedon määrästä, jonka tarve on usein vähäisempi ilmanvaihdon kuntotutkimuksessa, joissa tutkitaan useimmiten vakioilmavirtaista ilmanvaihtojärjestelmää. Mittauspöytäkirjat on esitetty siten, etteivät tutkimuskohteet ole tunnistettavissa asiakirjojen sisällöstä. Ilmanvaihdon mittauspöytäkirjan eri versiot ovat liitteessä 2.

Mittauspöytäkirjapohjaa 1 käytettiin kouluun 2 suoritettussa IVA-järjestelmäselvityksessä. Mittauspöytäkirjaa täytettäessä huomattiin, että sen täyttö vie aikaa ja luettavuus ei ole kovin sujuva. Toisaalta todettiin, että mittauspöytäkirjassa on kaikki se tieto, joka siinä tulee olla. Jatkoa ajatellen tätä pohjaa tulisi kuitenkin pyrkiä yksinkertaistamaan, jotta sen täyttäminen helpottuisi ja ajankäyttö tehostuisi. Mittauspöytäkirjapohjassa 1 on esitetty yhden IMS-peltien asennon mittausten tulokset. Muilla IMS-peltien asennoilla suoritettujen mittausten tulokset on esitetty vastaavalla tavalla excelin toiselle välilehdelle tehdyssä, vastaavassa mittauspöytäkirjapohjassa.

Mittauspöytäkirjapohjan 2 layoutia on jo muokattu mittauspöytäkirjapohjaan 1 verrattuna. Mittauspöytäkirjapohjassa 2 on sarakkeet mittauspöytäkirjapohjasta 1 poiketen IMS-pellin toimilaitteelta tarkistetuille mittaus- ja asetusarvoille.

Mittauspöytäkirjapohjassa 1 esitettyihin tietoihin verrattuna suurin poikkeama liittyy mitausmenetelmän esitystapaan. Mittauspöytäkirjapohjaa 3 käytettiin koulun 1 IVA-järjestelmäselvityksessä. Vastaavaa mittauspöytäkirjapohjaa käytettiin koulun 4 IVA-järjestelmäselvityksessä. Mittaukset on suoritettu pitot-putkella kanavasta mittaamalla sekä hupulla mittaamalla. Näin ollen paine-eroihin ja päätelaitteisiin liittyviä mittaustietoja ei ole ollut tarpeen esittää. Mittauspöytäkirjapohjassa 3 esitettyssä mittauspöytäkirjassa on esitetty yhden IMS-peltien asennon mittausten tulokset. Muilla IMS-peltien asennoilla suoritettujen mittausten tulokset on esitetty vastaavalla tavalla excelin toiselle välilehdelle tehdyssä, vastaavassa mittauspöytäkirjapohjassa.

Mittauspöytäkirjapohjassa 4 on esitetty suunnitelmien tiedot, mittaustiedot, päätelaitteiden tiedot sekä IMS-peltien asentoon liittyvät tiedot. Tiedot ovat tässä mittauspöytäkirjapohjassa yksinkertaisessa muodossa. Tämä mittauspöytäkirjapohja täytettiin siten, että IMSin eri asennoille (vallitseva tilanne ja täysin auki) täytettiin omat mittauspöytäkirjapohjat ja IMSin asentoon liittyvä tieto esitettiin Huom.-sarakkeessa. Erona mittauspöytäkirjapohjassa 4 esitettyihin mittauspöytäkirjoihin on se, ettei tässä versiossa ole esitetty poikkeamia mitattujen ja suunniteltujen ilmavirtojen välillä, vaan ne esitettiin erillisessä taulukossa, joka oli liitetty raporttiin.

10 Johtopäätökset

10.1 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Suomessa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon on havaittu olevan vielä niin sanotusti lapsen kengissä. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa vältellään rakennuttajien toimesta usein siksi, että järjestelmät on havaittu toimimattomiksi tai niissä on havaittu ongelmia ajan saatossa. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon hyödyt tiedostetaan yleisesti erityisesti energian säästön näkökulmasta silloin, kun järjestelmä toimii oikein. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toteuttaminen on kalliimpaa kuin vakioilmavirtaisen järjestelmän toteuttaminen, joka usein vaikuttaa rakennuttajien päätökseen ilmanvaihtojärjestelmän tyyppiä valittaessa. IMS-järjestelmä vaatii edellä mainittujen tekijöiden lisäksi osaavan suunnittelun ja toteutuksen. Yleisesti on havaittu, että valmistajien ohjeistuksia muun muassa suojaetäisyyksistä ei ole huomioitu riittävästi.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdolla on selvästi tulevaisuus. Negatiivisesta maineestaan huolimatta tarpeenmukaista ilmanvaihtoa tarvitaan edelleen. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tarve liittyy kiristyneisiin energiatehokkuuden määräyksiin, jotka tulevat EU:n direktiiveistä. Lähes nollaenergiarakentaminen ei tuonut Suomessa merkittäviä muutoksia E-lukuihin verrattuna aiempiin E-lukuihin. Selvää on, että ilmanvaihtojärjestelmillä voidaan vaikuttaa sähköenergian kulutukseen erityisesti puhaltimien osalta. Energian kulutukseen voidaan vaikuttaa konkreettisimmin puhaltimien oikealla mitoituksella, aikaohjelmien oikealla määrittelyllä, ohjausperusteiden valinnalla ja rakennusautomaatiojärjestelmään tehdyillä ohjelmoinneilla ja asennuksilla.

Tarpeenmukainen ilmanvaihto on toteutettavissa tulevaisuudessakin useilla eri tekniikoilla. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon mittalaitteet ja -tekniikat kehittyvät kovaa vauhtia. Ultraääni- ja radiotaajuuteen perustuvat järjestelmät ovat tulleet markkinoille. Näillä on vaikutusta esimerkiksi kaapelointiin siten, että sen tarve vähenee dynaamiseen painemittauksen perustuvaan tekniikkaan verrattuna. Uudet tekniikat vaativat valmistajien mukaan aiempaa vähemmän suojaetäisyyksiä erilaisten mutkien jälkeen ilmanvirran kohdistuessa aiempaa paremmin mittalaipan antureihin.

Tulevaisuudessa on oleellista miettiä syitä, jotka ovat aiheuttaneet aiemmin ongelmia IMS-järjestelmän toimintaan. Kiinnittämällä huomiota näihin tekijöihin aina ketjun alusta

lähtien ja pyrkimällä ehkäisemään niitä, voidaan varmistaa toimiva ilmanvaihtojärjestelmä valmiissa uudis- tai peruskorjatussa rakennuksessa. Toimiva IMS-järjestelmä säästää parhaassa tapauksessa energiaa ja varmistaa hyvän ja turvallisen sisäilman tiloja käyttäville ihmisille.

IMS-järjestelmän toimintaan liittyy oleellisena osana oikein tehty suunnittelu ja toteutus. IMS-järjestelmässä korostuvat kokonaisuudessaan ilmanvaihtojärjestelmän osien oikea mitoitus (ilmanvaihtokoneet, kanavat, päätelaitteet, IMS-pellit ym.) sekä ilmanjaon ja sisäilman olosuhteiden riittävä simulointi. Eriolaisten tilanteiden simulointi korostuu muun muassa ilmanjaon osalta, jotta havaitaan mahdolliset puutteet eri päätelaitteilla erityisesti minimi- ja osailmavirroilla. Ilmanvaihtokoneen mitoituksessa tulee huomioida riittävästi jokaisen komponentin suoritusarvot eri tilanteissa. Suunnitteluvaiheessa tulisi kiinnittää huomiota myös laitevalmistajien ohjeisiin muun muassa IMS-peltien suojaetäisyyksistä. Rakentamisvaiheessa tulee kiinnittää huomiota suunnitelmien mukaiseen toteutukseen ja tarvittaessa tehdä muutoksia, jotta voidaan varmistua laitevalmistajien ohjeistusten mukaisesta toteutuksesta. Käytännön työssä on havaittu, että suojaetäisyyksiä ei ole usein huomioitu riittävästi. Joissain tapauksissa on havaittu, että IMS-pellin toimilaitte on asennettu siten, ettei näyttöä voida nähdä tarkastusluukun kautta lainkaan, IMS-pelti tai mittalaippa on asennettu väärin päin. Osassa tutkimuksia on havaittu, että IMS-pellin toimilaitteelle asetut parametrit muun muassa säätöviestien osalta ovat saattaneet olla virheellisiä.

Huomionarvoista on myös, että dynaamisen paineen mittaukseen perustuvassa tekniikassa mittausvirhe mittalaipassa dynaamisen paineen mittaukseen perustuvassa menetelmässä on +/- 10 % (Fläkt Woods). Vastaavat virhemarginaalit ovat myös ultraäänitekniikalla tapauksissa, joissa virtausnopeus ei saavuta tavoitearvoa. Mahdolliset poikkeamat IMS-pellin toimilaitteen näytöltä luettavissa ilmavirroissa ovat mahdollisia verrattaessa niitä esimerkiksi pitot-putkella kanavasta mitattuun ilmavirtaan. Käytännön työssä on havaittu, että IMS-peltien toimilaitteiden ja eri ilmavirtamittausmenetelmien mittaustulosten välillä on huomattavia eroja. Tämä johtuu todennäköisimmin ilmavirtamittausmenetelmien virheestä ja mittalaittevirheestä sekä aiemmin mainitusta IMS-pellin toimilaitteen lukeman virheestä (dynaamisen paineen mittauksen virhe). Poikkeamia saattaa aiheutua tilanteessa, jossa ilmanvaihtokonetta ajetaan vakionopeudella ja IMS-pellin asennon muutoksilla vaikutetaan tila- tai aluekohtaisiin ilmavirtoihin. Tällaisessa tapauksessa painehäviö IMS-pellin yli voi olla hyvin suuri, mikä vaikuttaa mittaustarkkuuteen.

10.2 Laitevalmistajien valintaohjelmien soveltuvuus ja luotettavuus

Valintaohjelmia voidaan käyttää apuna, mikäli kohteeseen on asennettu suunnitelmien mukaiset päätelaitteet ja päätelaitteet valmistaneella yrityksellä on käytössään valintaohjelma, jolla saa simuloitua ilman heittokuviota ja -pituutta. Simuloinnin tarkkuuteen vaikuttavat tuloilman lämpötilan arvot. Tuloilman lämpötilaa olisi hyvä mitata kohteissa useammin, jotta sitä voidaan verrata suunniteltuun (IV-koneen mitoitus) ja tarkastella simulointia oikealla tuloilman lämpötilalla. Valintaohjelmalla tehtävän simuloinnin vaatimat pinta-alatiedot ja päätelaitteiden sijainnat saa riittävällä tarkkuudella ilmanvaihto- ja arkkitehtisuunnitelmista. Tilakorkeuteen liittyvä tieto on usein puutteellinen, sillä suunnitelmat ovat usein 2D-suunnitelmia. Tilakorkeuteen liittyvä tieto tulee ottaa kohteella kattopinnasta, jotta simuloinnista saadaan tilakorkeuden osalta riittävän tarkka. Simuloinnin merkitys korostuu korkeassa tilassa, sillä sen avulla saataisiin tietoa ilman sekoittumisesta tilan alaosassa (oleskeluvyöhykkeellä) ja sekoittumiseen liittyvistä puutteista. Savukokeita tehdessä ilman sekoittumisen rajat saattavat paikoin hämärtyä savun hälvetessä, joten simuloinnin avulla voidaan pyrkiä täydentämään savukokeissa saatuja tuloksia.

Laitevalmistajat kehittävät valintaohjelmiaan jatkuvasti ja IVA-järjestelmäselvitysten suorittamisen yhteydessä on hyvä tarkistaa, onko valintaohjelmiin tullut muutoksia tai onko valintaohjelma yleensä käytettävissä. Case-tutkimuksessa olevien kohteiden osalta simulaatiot suoritettiin vain yhden laitevalmistajan ohjelmalla. Tämä johtui siitä, että koulussa 4 jossa oli Fläkt Groupin laitteet, ei suoritettu lainkaan savukokeita. Fläkt Groupilla on käytössään valintaohjelma, mutta savukokeiden ja simuloinnin tuloksia ei olisi ollut mahdollista verrata toisiinsa edellä mainitusta syystä. Laitevalmistajien valintaohjelmien luotettavuutta IVA-järjestelmäselvitysten työkaluna voidaan pitää suunta-antavana.

10.3 Haastattelujen tulokset

Laitevalmistajien haastatteluista saatiin tietoa laitteista ja niiden toimintaan vaikuttavista tekijöistä. Haastatteluissa merkittävimpinä ongelmiin liittyvinä tekijöinä nousivat IMS-peltien suojaetäisyydet, dynaamisen paineenmittauksen laitteissa likaantumiseen liittyvät tekijät ja siitä aiheutuneet ongelmat sekä rakennusautomaatiojärjestelmän merkittävyys kokonaisuuden ja järjestelmän toiminnan kannalta. Haastatteluista saadut tiedot antoivat

tukea sille ajatukselle, että IMS-järjestelmää tehtäessä eri osa-alueissa olisi parantamisen varaa ja yhteistyön tulisi olla nykyistä tiiviimpää, jotta voitaisiin varmistua järjestelmän oikeasta toiminnasta. IVA-järjestelmäselvitykselle on haastattelun tulosten perusteella tarve ja olemassa oleva kokonaisuus on suhteellisen hyvä. Haastattelun tulosten perusteella on hyvä miettiä eri osa-alueiden painottamista, kun IVA-järjestelmäselvityksiä toteutetaan. Merkittävimmät kehityskohteet liittyvät suunnitelmien ja toteutuksen tarkasteluun (vastaavuus). Tämä korostuu erityisesti ilmanvaihtojärjestelmässä, sillä rakennusautomaatiossa suunnitelmien ja toteutuksen vertailua tehdään muun muassa toimintakokeiden avulla.

Haastattelujen tulosten perusteella saatiin viitteitä siitä, että ilmanvaihtokoneelle voisi olla paikallaan tehdä laajempia tarkastuksia mahdollisuuksien mukaan. Mittaustuloksia voitaisiin vertailla niin suunnitelmiin kuin rakennusautomaatiojärjestelmän esittämiin mitaustietoihin. Ilmanvaihtokoneiden mitoituksen mahdolliset puutteet tulisivat havaituksi ja vaikutus koko järjestelmään huomioiduksi aiempaa tarkemmin. Niiden ratkaisemiseen voitaisiin hakea paremmin apua laitevalmistajaa konsultoimalla, jolloin ratkaisemiseen saataisiin laitteisiin perehtyneen tahon näkemys ja kokemus.

Haastatteluissa esiin tulleiden seikkojen osalta huomioitavaa on, että ilman sekoittumiseen liittyviä tekijöitä on hyvä selvittää myös jatkossa. Aistinvarainen tarkastelu päätelaitteiden sijoittelun toimivuudesta on myös oleellinen osa selvitystä. Päätelaitteiden sijoittelu korostuu kohteissa, joissa tilaan on asennettu huoneanturi, joka mittaa ilman laatua. Päätelaitteiden epäedullinen sijainti voi vaikuttaa mittaustuloksiin. Mikäli anturoinnin tiedetään olevan kanavassa, on tuloilmalaitteen sijainti suhteessa poistoilmalaitteisiin hyvä tarkastaa, ettei mittaustulos vääristyisi tuloilman laimentaessa poistoilmaa (hiilidioksidipitoisuus).

10.4 Aiemmin tehtyjen projektien tulokset

Projektien onnistumisen kannalta riittävien lähtötietojen sekä tarjouksen merkitystä ei voi vähätellä. Tarjouksessa esitetyt asiakohdat ohjaavat selvitysten toteuttamista ja raportointia. Tilaaajan kanssa keskustellessa on hyvä varmistaa, että molemmilla osapuolilla on sama käsitys IVA-järjestelmäselvityksessä suoritettavista mittauksista ja tutkimuksista. Tällä ehkäistään jatkoselvitysten tarvetta ja varmistetaan, että selvitykset kohdennetaan oikeisiin asioihin riittävän laajasti. Näin aiemmin tehdyissä projekteissa on myös

ollut. IVA-selvityksiä tarjotessa on hyvä muistaa, että tarjouksessa tulee huomioida jokainen kohde ja laatia tarjous sen mukaan. IVA-järjestelmäselvityksestä ei ole suotavaa tehdä täysin bulkkitavaraa, jotta yksilöllisyys ja räätälöitävyys säilyvät.

Aiemmin tehdyt projektit osoittavat, että IVA-järjestelmäselvitys on tutkimustyyppinä tarpeellinen ja että sillä voidaan perehtyä syvällisemmin IMS-järjestelmän toimintaan, siihen vaikuttaviin tekijöihin ja järjestelmässä oleviin mahdollisiin puutteisiin. Tutkimustyyppi mahdollistaa suunnitelmien mukaisen toteutuksen selvittämisen kohteella muiden tutkimusten yhteydessä. Tavallinen ilmanvaihdon kuntotutkimus ei ota välttämättä riittävästi kantaa esimerkiksi automaatiojärjestelmään, jolloin merkittävä osa järjestelmän toimintaan liittyvistä tekijöistä voisi jäädä havaitsematta kokonaan.

Aiemmin tehdyissä selvityksissä on löydetty selkeitä ongelmia ja puutteita suunnittelun ja toteutuksen välillä. Osassa suoritettuja selvityksiä havaittiin, että suunnittelun lähtökohdaksi määritellyt sisäilmastoluokituksen sisäilmastoluokat eivät täytyneet sisäilman laadun (hiilidioksidipitoisuus osalta). Rakennusautomaatiojärjestelmästä löydettiin kaikissa tutkituissa kohteissa puutteita, joissa yhdessä todettiin olevan merkittävä vaikutus sisäilman laatuun. Projektien merkittävämpänä tuloksena voidaan todeta, että tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä rakennusautomaatiojärjestelmän oikealla suunnittelulla ja toteutuksella sekä toteutuksessa eri osapuolten välisellä yhteistyöllä on merkitystä järjestelmän toiminnan kannalta.

Toteutettujen selvitysten osalta havaittiin, että kenttätutkimuksien suorittamista ja raportointia voitaisiin edelleen kehittää. Raportointiin liittyvät muutostarpeet ovat kuitenkin suhteellisen vähäisiä, mutta niiden avulla raportointia voitaisiin selkeyttää muun muassa raportin ulkonäön ja asian esitystavan yksinkertaistamisen avulla. Raportoinnissa ei ole joidenkin asioiden esitystavan osalta huomioitu riittävästi sitä, että lukija voi olla maalikko, jolle IMS-järjestelmä on täysin vieras ilmanvaihtojärjestelmä. Raportin termistöä voidaan selkeyttää esimerkiksi luettelon avulla, jossa on esitetty raportissa esitetyt termit. Lisäksi raporttiin voitaisiin sisällyttää selostus tarpeenmukaisen ilmanvaihdon (IMS-järjestelmän) toimintaperiaatteesta yleisellä tasolla. Tilaajien kanssa voisi olla tarpeellista käydä keskustelua siitä, olisiko tarpeen pitää kiinteistöhuollolle käytönopastusta rakennusautomaatiojärjestelmän osalta tai tilojen käyttäjille info siitä, kuinka he voivat vaikuttaa IMS-järjestelmän toimintaan.

Toteutettujen selvitysten osalta voidaan todeta, että kohteisiin, joihin suunnitellaan tarpeenmukaista ilmanvaihtoa, voitaisiin hyötyä kolmannen osapuolen tarkastuksesta. Tämä mahdollistaisi epäkohtiin puuttumisen jo suunnitteluvaiheessa, jolloin toteutusvaiheessa tapahtuvia virheitä ja puutteita saataisiin ehkäistyä ennalta.

10.5 Mittauspöytäkirjan kehitystyön tulokset

Aiemmin haasteena oli, ettei IVA-järjestelmäselvityksille ollut käytössä selkeää ja helpposti täytettävää mittauspöytäkirjapohjaa. Aiemmin tehdyissä IVA-järjestelmäselvityksissä käytetyissä mittauspöytäpohjissa havaittiin olevan monia hyviä asioita ja kohtia, mutta yksinkertaistamisen koettiin olevan paikallaan. Kehitystyön pohjana käytettiin pääasiassa liitteessä 2 esitettyjä mittauspöytäkirjapohjia. Mittauspöytäkirjapohjan kehitystyössä huomioitiin Sitowise Oy:n muiden asiakirjojen ulkonäköä ja värimaailmaa, jotta se toimisi niin liitteenä kuin itsenäisesti käytettynä asiakirjana siten, että se on helppo tunnistaa Sitowise Oy:n asiakirjaksi. Mittauspöytäkirjapohjan haluttiin erottuvan muiden yritysten mittauspöytäkirjapohjista. Mittauspöytäkirjapohjan kehittelyn lähtökohtana oli, että samaa mittauspöytäkirjan pohjaa tulee voida käyttää IVA-järjestelmäselvitysten lisäksi myös ilmanvaihdon kuntotutkimuksissa, joissa tutkitaan useimmiten vakioilmavirtaisia ilmanvaihtojärjestelmiä. Mittauspöytäkirjapohjan kehitystyön tuloksena saatiin käyttöön mittauspöytäkirjapohja, jota voidaan käytön vakiintuessa hioa ja muokata sen mukaan, että käyttö helpottuu ja rutinoituu.

Käytössä olevissa mittauspöytäpohjissa olevat, merkittävimmät haasteet ovat liittyneet niissä olevaan sarakkeiden tai rivien puutteeseen tapauksissa, joissa tiloissa on ollut useampia päätelaitteita tai kanavistosta on mitattu esimerkiksi nopeutta. Ilman nopeudelle ei ole ollut omaa saraketta, jolloin on jouduttu käyttämään toisen mitattavan yksikön saraketta ja esittämään mittauksien tulokset yksiköineen. Lopputuloksessa IVA-järjestelmäselvityksien mitattavat suureet on huomioitu selkeästi siten, että niille on tehty mittauspöytäkirjaan omat sarakkeensa. Näitä ovat esimerkiksi IMS-peltien toimilaitteilta ja valvomosta luettavat asetusarvot ja mittausarvot sekä sarake ilman nopeudelle.

Mittauspöytäkirjan kehittelyä lähestyttiin käytössä olevien raporttipohjien ja niissä käytetyn fontin ja värimaailman kautta. Mittauspöytäkirjan kehittämisen ajatuksena on osal-

taan yhtenäistä käytettäviä asiakirjoja myös ulkonäöllisesti ja varmistaa, että eri henkilöiden laatimat asiakirjat noudattaisivat samaa rakennetta ja ulkoasua, eikä räätälöityyttä tulisi juuri muusta, kun ilmanvaihtojärjestelmän tyypistä riippuen.

Osaltaan kehitystyötä tehtiin siten, että IVA-järjestelmäselvityksen mittauspöytäkirja tulostetaan A3-koossa johtuen sen suuremmasta tietomäärästä (IMS-laitteet). Vakioilmavirtaisen ilmanvaihtojärjestelmän kuntotutkimuksen mittauspöytäkirjan tuli olla tulostettavissa mahdollisuuksien mukaan A4-kokoon. Tämä korostuu tapauksissa, jossa raportin muut liitteet ovat myös koossa A4.

Mittaustuloksista on usein koostettu erillinen taulukko, jossa on esitetty tiloittain/ilmanvaihtokoneittain suunnitellut ja mitatut ilmavirrat sekä poikkeamat suunniteltuihin ilmavirtoihin verrattuna. Sallitut poikkeamat ylittävät poikkeamat on esitetty erillisessä taulukossa punaisella. Poikkeamat ovat järjestelmäkohtaisesti $\pm 10\%$ ja tilakohtaisesti $\pm 20\%$. Tämä otettiin huomioon mittauspöytäkirjan kehitystyössä siten, että erillinen taulukko voitaisiin jättää pois, mikäli ilmanvaihdon poikkeamat voitaisiin esittää mittauspöytäkirjassa.

Mittauspöytäkirjan kehitystyön yhteydessä havaittiin, että mittauspöytäkirjaa olisi mahdollista kehittää edelleen. Mittauspöytäkirjan edelleen kehittäminen vaatisi merkittäviä muutoksia ja ohjelmallisuutta käytettävän mittauspöytäkirjapohjan alle. Tämä edellyttäisi tietokannan laadintaa, jolloin mekaaninen työ ja tiedon etsiminen eri lähteistä vähenisi oleellisesti. Tämä tehostaisi projektitoimintaa ja vähentäisi mittauspöytäkirjoihin täytettävien tietojen virheiden riskiä eri henkilöiden välillä.

Lähteet

Aalto, E., Laine, J., Leskinen, S., Pekkinen, J., Pekkonen, J., Rantama, M. & Sandberg, E. 1990. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Muuttuvilmavirtaiset ilmastointijärjestelmät suunnitteluohje. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö.

Holopainen, R., Pasanen, P., Railio, J., Säteri, J. & Virranta P. 2008. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. s. 95-128. Keuruu: Opetushallitus.

Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. Loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista. 2017. Finvac ry. Helsinki.

Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2017. Finvac ry. Helsinki.

Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Sandberg, E. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: Ilmastointitekniikka: osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sisäilmayhdistys. Sisäilmastoluokitus 2018. Helsinki: Sisäilmayhdistys.

Sisäilmayhdistys. Sisäilmastoluokitus 2018-14052018. Helsinki: Sisäilmayhdistys.

Sisäilmayhdistys. Sisäilmastoluokitus 2008. Helsinki: Sisäilmayhdistys.

Sisäilmayhdistys. Sisäilmastoluokitus 2000. Helsinki: Sisäilmayhdistys.

Rotronic AG. 2014. CP11 Short instruction manual. Rotronic AG.

TSI Incorporated. 2012. 8715 DP-Calc™ paine-eromittarin ja 8380 Accubalance® huppumittarin käyttöohje. TSI Incorporated.

Yleiskuvaus. Tarpeenmukainen ilmanvaihto. Huipputuotteet tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon. 2016. Swegon Solutions.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 1007/2017. 2017. Suomen säädöskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Haastattelut

Grönlund, Niclas. 2017. Tuoteryhmäpäällikkö, Swegon Solutions, Espoo. Haastattelu 1.12.2017.

Järvelä, Jussi. 2017. Tuotepäällikkö, Halton Oy, Kausala. Haastattelu 30.11.2017.

Karlsson, Tuukka. 2017. Asiakkuuspäällikkö, Fläkt Group Oy, Espoo. Haastattelu 29.11.2017.

Leander, Tryggve. 2017. Markkinointipäällikkö, Swegon Solutions, Espoo. Haastattelu 1.12.2017.

IMS-peltejä koskevat kysymykset

- Mitkä mielestäsi ovat olleet nykyisien IMS-pelti- ja säätötekniikan ongelmat?
- Mitkä ovat mielestäsi merkittävimmät asiat ilmanvaihtojärjestelmän säädettävyydessä (kun kyseessä on korkean tilan ilmanvaihto)?
- Mitkä ovat merkittävimmät IMSin toimintaan vaikuttavat tekijät?
- Mikä merkitys IMSin oikealla mitoituksella on järjestelmän toimivuudelle?
- Mikä merkitys IV-koneen ja kanaviston oikealla mitoituksella on IMS-järjestelmän toimivuudelle?
- Mitkä ovat yleisimmät virheet mm. IMSien asennuksissa?
- Mikä merkitys suojaetäisyyksillä on ilmamääräsäätimen toimintaan (kanaviston muotokappaleet, koon muutokset yms.)
- Mikä merkitys ohjausperusteen valinnalla on IMS-järjestelmän toiminnalle?
- Millä tavoin voitaisiin vaikuttaa ohjausten parempaan toimivuuteen (CO₂, Ipt yms.)?
- Mikä merkitys on IMSin toimilaitteeseen asennettavilla parametreilla?
- Mikä merkitys ilmavirtojen säätötoimenpiteillä on IMS-järjestelmän toimivuuden kannalta (IV-tekniikan mittaus ja säätö vs. asetukset säätimelle ja automaatioon)?
- Mikä vaikutus automaatioasennuksilla ja mahdollisilla säätöasennusten virheillä on järjestelmän toimivuuden kannalta (toimilaite, valvomo jne.)?
- Mitkä tekijät häiritsevät eniten järjestelmän toimintaa?

- Mitä LVI-asennuksissa tulisi ottaa erityisesti huomioon?
- Mitä RAU-asennuksissa tulisi ottaa erityisesti huomioon?
- Onko toimintakokeiden taso mielestäsi riittävää IMS-järjestelmien käyttöön-
otossa?
- Mitä olisi hyvä ottaa huomioon, kun lähdetään tekemään IVA-järjestelmäselvi-
tystä? Mitä tulisi tarkastaa suunnitelmista ja mitä kentällä?
- Oletko saanut rakennuttajilta tai käyttäjiltä tietoa järjestelmän toimivuudesta,
kun rakennus on käytössä?
- Mitkä ovat olleet yleisimmät tiedot, mitä rakennuttajilta ja käyttäjiltä on tullut?
- Mikä on huollon ja ylläpidon merkitys järjestelmän toimivuudelle?
- Mistä IMS-järjestelmään liittyvät ongelmat ovat mielestäsi johtuneet (ongelmat,
joista alalla yleisesti puhutaan)?
- Toivoisitko enemmän yhteistyötä suunnittelua ja/tai IV-kuntotutkimusta suorit-
tavan tahon välille, kun suunnitellaan korkeiden tilojen ilmanvaihtoa?
- Mikä on IMS-peltien ja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tulevaisuus?
- Onko sinulla tietoa, onko järjestelmien tutkimuksissa tehty mittauksia useam-
malla, kuin yhdellä olosuhdemittarilla?
- Muut kommentit?

Ilmanjakoa koskevat kysymykset

- Millä perusteella suosittelisit päätelaitetta tilanteessa, jossa suunniteltava kohde on ns. korkea tila?
- Onko jokin tietty ilmanjakotapa ja päätelaitetyyppi, jota suosittelisit korkeaan tilaan?
- Mitkä ovat kriittiset tekijät päätelaitteiden ja ilmanjakotavan valinnassa?
- Millä perusteella suosittelet jotain tiettyä päätelaitetta ja ilmanjakotyyppiä, jos kyseessä on koulun opetusluokka?
- Tuovatko suunnittelijat riittävästi esiin, että päätelaitteet tulevat korkeaan tilaan? Jos ei, miten arvioit sen vaikuttavan lopputulokseen?
- Pyydetäänkö päätelaitteiden valintaan mielestäsi riittävästi neuvoja?
- Jos ei ole tiedossa, että päätelaitteet tulevat korkeaan tilaan, kuinka oleellisesti laitevalintaa koskeva virhe kasvaa?
- Mitkä tekijät vaikuttavat päätelaite- ja ilmanjakotapaan tapauksessa, jossa kyseessä on IMS-järjestelmä vai vaikuttaako se mitenkään?
- Mitkä ovat kriittiset tekijät päätelaitteen mitoituksessa, kun kyseessä on IMS-järjestelmä?
- Mikä on suojaetäisyyksien merkitys ilmanjaon toimivuudessa? Tiedätkö tässä olevan eroa vakioilmavirtaisen ja IMS-järjestelmän välillä?
- Mikä on mielestäsi tuloilman lämpötilan merkitys ilmanjaon toimivuuden kannalta?
- Mitkä ovat ilmanjaon toimivuuden kannalta kriittisimmät tekijät IMS-järjestelmässä?

- Mitkä ovat merkittävimmät tekijät äänien ehkäisemisessä ilmanjaon osalta, kun kyseessä on IMS-järjestelmä?
- Onko ilmavirtojen mittaukseen ja säätöön mielestäsi riittävää osaamista? Jos ei, miten tilannetta voisi parantaa?
- Mitkä muut tekijät ilmanjaon ohella vaikuttavat mielestäsi korkeiden tilojen ilmanvaihdon toimivuuteen?
- Mitä suosittelisit tehtävän tapauksessa, jossa ilmanjakotapa ja/tai päätelaite on valittu väärin?
- Korreloivatko savukokeet mielestäsi keskenään heittokuvion ja -pituuden osalta simulointiohjelman antamiin tietoihin verrattuna?
- Saatko riittävästi tietoa tuotteidenne toimivuudesta suoraan kiinteistön omistajilta ja/tai käyttäjiltä?
- Tehdäänkö eri tahojen välillä mielestäsi riittävästi yhteistyötä (suunnittelijat, urakoitsijat, rakennuttajat yms.)?
- Muut kommentit?

Ilmanvaihtokoneita koskevat kysymykset

- Mikä vaikutus ilmanvaihtokoneeseen liittyvään suositukseen on sillä, että palvelualueella on korkeita tiloja vai vaikuttaako tämä lainkaan? Suositellaanko kyseiselle tilalle mahdollisesti kokonaan omaa konetta?
- Onko IMS-järjestelmällä vaikutusta ilmanvaihtokoneeseen liittyvään suositukseen?
- Korostavatko suunnittelijat riittävästi, että kohteessa on myös korkeita tiloja?
- Tuodaanko IMS-järjestelmää riittävästi esille koneen mitoitusajoa pyydetessä?
- Olisiko kyseisessä tilanteessa suositeltavaa mitoittaa kone siten, että kanavaan jää enemmän painetta, kun mitä suunnittelija ilmoittaa?
- Mitkä ovat suurimmat riskit ilmanvaihdon toimivuudelle, jos ilmanvaihtokoneen mitoituksessa tulee virheitä?
- Korostuvatko em. riskit, jos kyseessä on IMS-järjestelmä?
- Onko ilmanvaihtokoneessa jokin yksittäinen komponentti, minkä mitoituksella on erityisesti merkitystä, kun kohteessa on IMS-järjestelmä ja korkeita tiloja?
- Onko sinulla näkemystä siitä, mikä vaikutus ilmanvaihtokanavien asennuksella (koneen jälkeen IV-konehuoneessa) on järjestelmän toimivuudelle?
- Onko MagiCAD mielestäsi riittävän luotettava mitoitus työkalu ilmanvaihtokoneen mitoitusta ajatellen?
- Onko tietoa siitä, että mahdolliset puutteet suunnittelussa olisivat aiheuttaneet ongelmia järjestelmän käytössä (suunnitteluohjelmat vs. toteutus)? Kanaviston säätöä ei tarvitse huomioida.

- Onko ollut tilanteita, että kanavistoon ei ole saatu riittävästi painetta korkean tilan ilmanvaihdon osalta? Jos on ollut, niin mistä arvelet sen johtuneen?
- Onko ollut tilanteita, että kanavistoon ei ole saatu riittävästi painetta IMS-järjestelmän toiminnan kannalta? Jos on ollut, niin mistä arvelet sen johtuneen?
- Toivoisitteko enemmän yhteistyötä suunnittelua ja/tai IV-kuntotutkimusta suorittavan tahon välille, kun suunnitellaan korkeiden tilojen ilmanvaihtoa?
- Millä tavoin ongelmia korkeissa tiloissa ja IMS-järjestelmällisissä kohteissa voitaisiin mielestäsi ehkäistä?

Projektin nimi Sointi	Mittauspöytäkirja														
	Mittauskohteita:						Mittauspaikkoja:								
	Tuloilma						Poistoilma								
Tila	Huonenumero	Väline	Tuloilma	Kanavakoko	Ilman nopeus, m/s	Ilmavirta mitattu dm ³ /s	Ilmavirta suunniteltu dm ³ /s	Mittaus / suunniteltu	Väline	Poistoilma	Kanavakoko	Ilman nopeus, m/s	Ilmavirta mitattu dm ³ /s	Ilmavirta suunniteltu dm ³ /s	Mittaus / suunniteltu
	1016	Z02TK	Zsalaikkakko	d=200	2,7	84	-	-	Z02TK	ZKSCQP-200	d=200	d=200	82	-	-
OT	2003	Z15TK				156	132	18 %	Z15TK		d=250		154	132	16 %
OT	3001	Z15TK		d=250	3,1	155	132	17 %	Z15TK		d=250	3	150	132	14 %
OT	2006	Z17TK				146	132	11 %	Z17TK				149	132	13 %
OT	3004	Z17TK				148	132	12 %	Z17TK				153	132	16 %
OT	3006	Z17TK				157	132	19 %	Z17TK				149	132	8 %

Projektin nimi Sointi	Mittauspöytäkirja														
	Mittauskohteita:						Mittauspaikkoja:								
	Tuloilma						Poistoilma								
Tila	Huonenumero	Väline	Tuloilma	Kanavakoko	Ilman nopeus, m/s	Ilmavirta mitattu dm ³ /s	Ilmavirta suunniteltu dm ³ /s	Mittaus / suunniteltu	Väline	Poistoilma	Kanavakoko	Ilman nopeus, m/s	Ilmavirta mitattu dm ³ /s	Ilmavirta suunniteltu dm ³ /s	Mittaus / suunniteltu
	1016	Z02TK	Zsalaikkakko	d=200	4,4	138	-	-	Z02TK	ZKSCQP-200	d=200	d=200	106	-	-
OT	2001	Z15TK				263	240	10 %	Z15TK				255	240	7 %
OT	2003	Z15TK				235	240	-2 %	Z15TK				261	240	9 %
OT	3001	Z15TK		d=250	5	246	240	3 %	Z15TK		d=150	4,8	260	240	8 %
OT	3003	Z15TK		d=250	4,7	230	240	-5 %	Z15TK		d=250	5,1	248	240	3 %
OT	2004	Z17TK				250	240	4 %	Z17TK				263	240	10 %
OT	2006	Z17TK				259	240	8 %	Z17TK				254	240	6 %
OT	3004	Z17TK				269	240	12 %	Z17TK				265	240	10 %
OT	3006	Z17TK				262	240	9 %	Z17TK				257	240	7 %

Kuva 8. Mittauspöytäkirjapohja, versio 3.

wise GROUP		ILMAMÄÄRIEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA		Mittaja			Sivu	
				Valvoja			Pvm.	
				Osoite				
Huonetila / mittauspaikka Krs. / piir.n:o	Suunn. q _v (l/s)	Mittauslaite tai Venttiilityyppi	Asetus, avaus	Mitattu arvo Δp _m (Pa)	Todettu q _v (l/s)	Huom.	Lpa dB(A)	Kone- tunnus
	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma		
	65	Halton TRI/S	28,3	4,5	60	normitilanne		
	50	-	-	-	-	normitilanne		
	20	Halton TRI/S	16,2	4	32	normitilanne		
	20	säleikkö	-	0,6 m/s	15	normitilanne		
	40	Halton TRI/S	16,2	4	32	normitilanne		
	40	2xKSO-160	6,2/6,2	11,2/13,8	38	normitilanne		
	40	Halton TRI/S	16,9	4	32	normitilanne		
	40	2xKSO-160	6,02/6,02	8,2/10,2	36	normitilanne		
	40	Halton TRI/S	28,3	2	40	normitilanne		
	40	säleikkö	-	1,4 m/s	42	normitilanne		
Käytetyt mittauslaitteet: Accubalance 8380								
Sääolosuhteet:								

wise GROUP		ILMAMÄÄRIEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA		Mittaja			Sivu	
				Valvoja			Pvm.	
				Osoite				
Huonetila / mittauspaikka Krs. / piir.n:o	Suunn. q _v (l/s)	Mittauslaite tai Venttiilityyppi	Asetus, avaus	Mitattu arvo Δp _m (Pa)	Todettu q _v (l/s)	Huom.	Lpa dB(A)	Kone- tunnus
	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma		
	65	Halton TRI/S	28,3	6	69	IMS auki		
	50	-	-	-	-	IMS auki		
	20	Halton TRI/S	16,2	5	36	IMS auki		
	20	säleikkö	-	1,4 m/s	36	IMS auki		
	40	Halton TRI/S	16,2	8	47	IMS auki		
	40	2xKSO-160	6,2/6,2	17/14	48	IMS auki		
	40	Halton TRI/S	16,9	7,6	46	IMS auki		
	40	2xKSO-160	6,02/6,02	13,1/16,5	45	IMS auki		
	40	Halton TRI/S	28,3	2,5	44	IMS auki		
	40	säleikkö	-	1,7 m/s	51	IMS auki		
Käytetyt mittauslaitteet: Accubalance 8380								
Sääolosuhteet:								

Kuva 9. Mittauspöytäkirjapohja, versio 4.