

Teemu Rantanen

ILMASTOINTILAITOKSEN TOIMINTA JA PUHTAUS

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2014

ILMASTOINTILAITOKSEN TOIMINTA JA PUHTAUS

Rantanen, Teemu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Lokakuu 2014
Ohjaaja: Heinonen, Jarkko
Sivumäärä: 62
Liitteitä: 2

Asiasanat: ilmanvaihto, sisäilma, hygienia

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ilmanvaihtojärjestelmän ja sisäilman vaikutusta rakennuksen hygieniaan. Työssä koottiin yhteen sisäilmaa koskevia suunniteluohjeita ja viranomaismääräyksiä, arvioitiin rakennuksen ilmanpitävyyden vaikutusta ilmanvaihtoon ja rakennuksen sisäympäristöön sekä tutkittiin mahdollistaako tarpeenmukainen ilmanvaihto rakennuksen sisäilman virtaussuuntien vaihtelun suorittamalla kenttämittauksia. Tarkoituksena oli tuottaa lisätietoa HYGTECH-projektiin ilmanvaihdosta ja sisäilmasta.

Tutkimuskohteina toimivat Satakunnassa sijaitsevat päiväkotit ja sairaala. Päiväkodissa suoritettiin paine-eromittauksia yhden ryhmän ryhmä- ja lepohuoneen välillä sekä kahden ryhmän välillä pitkällä ja lyhyellä aikavälillä. Lisäksi ryhmissä suoritettiin hiilidioksidipitoisuusseurantaa Wirepas Oy:n langattomalla mittausjärjestelmällä. Toisena tutkimuskohteena oli sairaalan ilmanvaihtokoneeseen asennetut ilmanpuhdistajat. Tutkimus suoritettiin kirjallisuustutkimuksena. Kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena oli kerätä ilmanpuhdistajista taustatietoa mahdollisia lisätutkimuksia varten.

Tutkimustulosten perusteella tarpeenmukainen ilmanvaihto mahdollistaa ilmavirtojen liikkumissuunnan vaihtumisen. Sekä ryhmien välillä että ryhmien ryhmä- ja lepohuoneiden välillä ilmaa liikkui tilasta toiseen tilojen kuormituksen mukaan. Paineerot eivät olleet merkittäviä, mutta kuitenkin tarpeeksi suuria vaihtaakseen ilman virtaussuuntaa. Ryhmän sisäisillä paine-eroilla ryhmä- ja lepohuoneen välillä ei välttämättä ole suurta vaikutusta hygienian kannalta, sillä ihmiset ovat muutenkin läheisessä kontaktissa toistensa kanssa. Ryhmien välisten paine-erojen tasaamiseen tulisi puolestaan kiinnittää enemmän huomiota, koska sillä voitaisiin vähentää työpaikoilla ja hoitopaikoissa epäpuhtauksien leviäminen ilman mukana. Tähän voidaan vaikuttaa muun muassa tiivistämällä ulko- ja sisärakenteet paremmin, jotta ilma liikkuisi haluttua reittiä. Sisäilman puhtautta voitaisiin lisäksi edistää lisäämällä ilmanvaihdon tueksi erillisiä ilmanpuhdistajia.

CLEANLINESS AND OPERATION OF AN AIR CONDITIONING SYSTEM

Rantanen, Teemu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

October 2014

Supervisor: Heinonen, Jarkko

Number of pages: 62

Appendices: 2

Keywords: air conditioning, indoor air, hygiene

The purpose of this thesis was to study the effect of air conditioning system and indoor air to buildings hygiene. This study consists of guidelines and regulations concerning indoor air, estimate of the effect of air conditioning and the buildings airtightness on the indoor environment and studies how the variable air volume system (VAV) effects on the airflows between different spaces by performing field measurements. The aim of this study was to provide additional information about air conditioning and indoor air for the HYGTECH-project.

The study took place in a day care centre and hospital which are both located in Satakunta. In the day care centre was performed pressure difference measurements between a playroom and a resting room in a department and in addition between two different departments. A long period and short period measurements were performed. There was also carbon dioxide concentration monitoring being carried out at the same time by a wireless measurement system of Wirepas Ltd. The other research topic was an air cleaning device which was installed in one of the hospitals air conditioning device. The research was carried out as a literature survey. The purpose of the survey was to collect information of the air cleaner for further studies.

The results of this study show that VAV- system can affect to the airflows direction. The airflow can change its direction between both the play and resting room and two different departments depending on the occupation of these rooms. The pressure differences weren't significant but enough to have an effect on the airflows. The airflows in the departments might not be that important according to hygiene since people in that department are already in a close contact with each other. However, the air movement between different departments should have more attention because by minimizing the pressure differences between departments, you can possibly prevent the spreading of airborne impurities in schools, day care centres and office buildings. This can be affected by having airtight external and internal structures. Indoor air purity could also be enhanced by having separate air purifiers in support of the air conditioning.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	HYGTECH.....	7
2.1	Edeltävä HYGTECH-projekti.....	7
2.2	HYGTECH2-projekti.....	8
3	INFEKTIOIDEN LEVIÄMINEN.....	9
3.1	Sairaalainfektiot.....	9
3.2	Infektiotartunnat päiväkodeissa.....	10
4	SISÄILMASTO.....	11
4.1	Suomen RakMK D2:n mukainen sisäilmasto.....	11
4.2	Sisäilmastoluokitus 2008.....	13
4.3	Suomen RakMK D3.....	14
4.4	Sisäilman laatuvaatimukset.....	15
4.4.1	Päiväkotien sisäilman laatuvaatimukset.....	15
4.4.2	Sairaaloiden sisäilman laatuvaatimukset.....	16
4.5	Aiemmat tutkimukset.....	17
4.5.1	Päiväkotien sisäilman laatu ja ilmanvaihdon toimivuus 2000.....	17
4.5.2	Päiväkotien sisäilmastotutkimus 2012.....	19
5	RAKENTEIDEN TIIVEYDEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN PAINESUHTEISIIN.....	21
5.1	Ulkovaipan tiiveys.....	21
5.2	Sisärakenteiden tiiveys.....	24
5.3	Rakenteiden tiiveys kohdepäiväkodissa.....	26
6	SISÄILMAN PUHDISTUS.....	29
6.1	AOT-teknologia.....	29
6.2	RGF REME-ilmanpuhdistaja.....	31
6.3	Tehokkuus.....	34
6.3.1	MRSA-virus ja home.....	34
6.3.2	Sikainfluenssa eli H1N1-virus.....	36
6.3.3	Muita tuloksia.....	37
6.4	Turvallisuus.....	38
7	TUTKIMUSKOHTEET.....	39
7.1	Päiväkoti.....	39
7.1.1	Ilmastointi.....	39
7.1.2	Ilmanvaihtokoneet.....	40
7.1.3	Ilmanvaihdon suunnittelu-arvot ja automatiikka.....	41
7.2	Sairaalaosasto.....	44

7.2.1 Ilmastointi	45
8 MITTAUKSET	46
8.1 Mittauslaitteet	46
8.1.1 TSI Model 8710 DP-Calc -mikromanometri.....	46
8.1.2 Wirepas-mittari.....	47
8.2 Mittausjärjestelyt.....	49
9 TULOKSET JA TULOKSIEN ANALYSOINTI	52
9.1 Pitkäkestoiset mittaukset.....	52
9.2 Lyhytkestoiset mittaukset	55
10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	57
LÄHTEET.....	60
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Ihmiset viettävät 90 % elämästään sisätiloissa. Sisätiloissa ihmiset altistuvat erilaisille terveyttä uhkaaville mikrobeille, jotka voivat aiheuttaa vakaviakin sairauksia. Erittäin suuret kiinteistöt, joissa on paljon ihmisiä, ovat haasteellisia hygienian parantamisen kannalta. Tällaisia rakennuksia ovat muun muassa sairaalat, toimistorakennukset, koulut ja päiväkodit. (HYGTECH2 Projektisuunnitelma 2013.)

Sisätilojen mikrobiologiaa ja hygieniaa kiinteistöissä on lähdetty tutkimaan HYGTECH-hankkeessa. Hankkeessa mikrobiologiaa ja hygieniaa tutkitaan käyttöveissä, pinnoilla ja sisäilmassa. Tutkimukset toteutetaan täyden mittakaavan pilotti-kohteissa Living Lab -teeman mukaisesti. Pilotti-kohteina toimivat Satakunnassa sijaitsevat toimistokiinteistö, ikäihmisille suunnattu vuokrakerrostalo, omakotitalo, päiväkotit, koulu ja sairaalaosasto. Hankkeen tavoitteena on kerätä yhteen kiinteistöjen hygienian kannalta keskeiset tekijät ja teknologiset ratkaisut. (Heinonen, J ym. 2013.)

Tämä opinnäytetyö on osa HYGTECH2-projektia. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia sisäilman vaikutusta kohdekiinteistöjen hygieniaan. Tavoitteena on koota yhteen sisäilmastoon ja ilmanvaihtoon liittyviä ohjeita ja viranomaismääräyksiä, tutkia ja raportoida kohteiden ilmanvaihtokoneiden ja -järjestelmien toimintaperiaatteita sekä selvittää painesuhteiden ja kiinteistön rakenteiden tiiveyden vaikutusta epäpuhtauksien leviämiseen sisäilmassa.

Kohteiksi tähän opinnäytetyöhön valittiin Satakunnassa sijaitsevat päiväkotit ja sairaalaosasto. Päiväkodissa tutkittiin rakennuksen sisäisten rakenteiden tiiveyden vaikutusta epäpuhtauksien leviämiseen sisäilmassa ja selvitettiin ilmanvaihtokoneen toimintaa. Sairaalan yhdellä osastolla puolestaan tutkittiin ilmanvaihtokoneeseen asennettujen ilmanpuhdistuslaitteiden vaikutusta ilmanlaatuun. Työ on toteutettu kenttämittauksia ja kirjallisuutta apuna käyttäen. Työstä on rajattu pois mitoitukseen liittyvät laskelmat, äänitekniikka ja melu siltä osin kuin ne eivät vaikuta hygieniaan.

2 HYGTECH

Kiinteistöjen hygieniakonsepti HYGTECH on osa Satakunnan ammattikorkeakoulun tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa. Hankkeessa tutkitaan sisätilojen mikrobiologiaa ja hygieniaa pintamateriaaleilla, käyttövesijärjestelmissä ja sisäilmassa. Tutkimukset toteutetaan täyden mittakaavan pilottikohteissa Living Lab -teeman mukaisesti. HYGTECH-hankkeessa kootaan yhteen kiinteistöjen hygieeniset tekijät ja teknologiset ratkaisut koko arvoketjun osalta. Hankkeen tavoitteena on luoda hygieniakonsepti HYGTECH, jota voidaan hyödyntää kaikentyypisissä kiinteistöissä. Hankkeen päätoteuttaja on Satakunnan ammattikorkeakoulu, Porin yksikkö. Hankkeessa on lisäksi yhteistyössä muita korkeakouluja, yliopistoja ja kansainvälisiä yrityksiä. (HYGTECH2 Projektisuunnitelma 2013).

2.1 Edeltävä HYGTECH-projekti

HYGTECH-projektin kesto oli 1.4.2012 - 31.7.2013. Projektissa selvitettiin muun muassa, miten ja missä vaiheessa hygieniakonseptilla kannattaa lähestyä kiinteistöjä, niiden rakennuttajia, käyttäjiä yms. Projektissa koottiin myös tietoa liiketoimintakonseptin sisällöstä; millaisia tuotteita eri kiinteistöihin voi ja kannattaa asentaa sekä millaisia vaatimuksia tuotteiden käytettävyydelle annetaan. Liiketoimintakonseptin sisältöä tarkennettiin erilaisten projektin aikana tehtyjen tieteellisten tutkimusten tulosten avulla. (HYGTECH2 Projektisuunnitelma 2013).

HYGTECH-projektissa suoritettujen pintatutkimuksien lisäksi selvitettiin vesi- ja ilmanvaihtojärjestelmien sopivuutta HYGTECH-hankkeeseen. Vesijärjestelmissä painotettiin erityisesti veden monitorointia ja käsittelyä. Ilmanvaihtojärjestelmissä painotettiin myös monitorointia ja sen lisäksi ilmanvaihtojärjestelmän vaikutusta epäpuhtauksien leviämiseen rakennuksessa. (HYGTECH2 Projektisuunnitelma 2013).

HYGTECH-projektista on tehty lukuisia tieteis- ja lehtiartikkeleita, joista osa on saanut kansainvälistä huomiota.

2.2 HYGTECH2-projekti

HYGTECH2-projekti pohjautuu edeltävässä HYGTECH-projektissa saatuihin tuloksiin ja saavutuksiin. HYGTECH2-projektin kesto on 8/2013 - 10/2014. Projektissa jatketaan aiemmin tehtyä tutkimusta painottaen erityisesti konseptin rakentamista. Konseptin rakentamisen tueksi jatketaan aikaisemmin aloitettuja tutkimuksia pintoihin sekä vesi- ja ilmanvaihtojärjestelmiin liittyen. Liiketoimintakonseptin kehittämiseksi tässä projektissa hyödynnetään pilottikiinteistöjen edustajien kanssa muodostettua yhteistyötä, jotta konseptista saadaan mahdollisimman käyttökelpoinen tuleville asiakkaille. (HYGTECH2 Projektisuunnitelma 2013).

3 INFEKTIOIDEN LEVIÄMINEN

Hygienia on erityisen tärkeässä roolissa kiinteistöissä, joissa on paljon ihmisiä. Esimerkiksi sairaalassa ja hoitolaitoksissa sairastumisen riski on moninkertainen asuinrakennuksiin verrattuna. Sairaalassa samoissa rakennuksissa hoidetaan potilaita, joilla on infektioita tai joiden infektioherkkyys on kasvanut. Se voi johtua joko sairaudesta, lääkityksestä tai hoitotoimenpiteistä. (Työterveyslaitos 2012a, 16.) Tauteja aiheuttavat erilaiset bakteerit, virukset, sienet ja loiseläimet. Taudinaiheuttajat voivat levitä esimerkiksi kosketuksesta ja eritteiden välityksellä pinnoilta sekä ilman välityksellä. (Tuuppa & Varjonen 2014, 9 - 10; Työterveyslaitos 2012a, 16.)

3.1 Sairaalainfektiot

Sairaalainfektioksi kutsutaan sellaista bakteerin, viruksen tai sienen aiheuttamaa infektioautia, joka on saanut alkunsa hoidon aikana. Infektioita aiheuttavat niin sanottu sairaalabakteerit ovat yleensä samankaltaisia bakteereita kuin kotioloissa esiintyvät bakteerit, mutta ovat usein vastustuskykyisempiä tavallisesti käytetyille antibiooteille. Yleisimpiä sairaalainfektioityyppejä ovat muun muassa leikkaushaavainfektiot, keuhkokuume, ripulitaudit ja verenmyrkytys. (Lumio 2012; Tuuppa & Varjonen 2014, 9 - 10.) Euroopan tautikeskuksen ja Suomen Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen vuonna 2011 tekemässä prevalenssitutkimuksessa oli tavoitteena selvittää hoitoon liittyvien infektioiden esiintyvyyttä. Tutkimukseen osallistui 59 suomalaista akuuttisairaala ja yhteensä 9172 potilasta. Potilaista 7,4 %:lla eli noin joka neljänellätolista oli vähintään yksi hoitoon liittyvä infektio. Polikliinisiä ja päiväkirurgisia potilaita ei otettu tutkimuksessa huomioon. (Kärki & Lyytikäinen 2011, 39.)

Tavallisesti aiheuttajabakteeri on sellainen, jonka potilas on tuonut mukanaan sairaalaan tullessaan. Sairaalainfektioista syntyy arviolta noin kolmannes siten, että potilas saa tartunnan ulkopuolelta ja tällöin bakteerit ovat useimmiten peräisin muista potilaista. Yleisin bakteerien tartuntamuoto on kosketustartunta. Useimmiten bakteerien

välittyminen potilaasta toiseen tapahtuu hoitajien käsien välityksellä heidän hoitaessaan monia potilaita peräkkäin. Bakteerit voivat kuitenkin levitä myös huoneympäristön pinnoilta niitä kosketettaessa tai vierailijoiden käsien kautta. Ilman välityksellä, esimerkiksi aivastuksen kautta, tarttuvia tauteja on vähän. Tarkkaa tietoa ilmateitse välittyvistä sairaalainfektioista ei ole saatavilla. Yleisimmin annettu arvio niiden osuudesta on 10 % sairaalainfektioista. Ilman välityksellä tarttuvia tauteja ovat monet hengitysteiden virusinfektiot ja tuberkuloosi. Mikroskooppisten pienten hiukkasten levittämiä ja siten pitkien matkojenkin päähän tarttuvia infektioita, kuten vesirokko, on vielä vähemmän. Sairaaloissa on kuitenkin varauduttu näiden kaltaisiin infektioihin rakentamalla yli- tai alipaineisia eristystiloja. (Lumio 2012; Työterveyslaitos 2012a, 16.)

3.2 Infektiotartunnat päiväkodeissa

Päivähoidon päätavoite on edistää lapsen tasapainoista kehitystä sekä tarjota lapselle suotuisa kasvuympäristö. Päiväkotilasten on kuitenkin todettu sairastavan noin kaksi kertaa enemmän verrattuna kotona hoidettaviin lapsiin, etenkin alle kolmivuotiaina. Päivähoidon infektioriskit ilmenevät alle kouluikäisten kasvaneina terveydenhoitokuluna sekä vanhempien poissaoloina työpaikoilta. (Pukaralammi 2013, 7; Sosiaali- ja terveysministeriö 2005, 3.)

Päiväkotiolosuhteissa eniten leviävät tavalliset hengitystie- ja suolistoinfektiot, jotka ovat useimmiten viruksen aiheuttamia. Päiväkotihoidon on todettu lisäävän alle kaksivuotiailla muun muassa hengitystieinfektioiden esiintyvyyden lähes kaksinkertaiseksi ja keuhkokuumeen lähes kymmenkertaiseksi kotihoitoon verrattuna. Päiväkodeissa yleisimmin esiintyvät epidemiat ovat flunssa, suolistotaudit, vesirokko ja loissairaudet. (Renko & Uhari, 2001; Sosiaali- ja terveysministeriö 2005, 3.)

Yleisesti taudinaiheuttajat tarttuvat suorana tartuntana ihmisestä toiseen, suolen tai hengitystie-eritteiden välityksellä. Lisäksi tartunnan voi saada esimerkiksi kätellessä tai käsien kautta erilaisilta pinnoilta esimerkiksi oven kahvoista ja yhteisistä leluista. Myös suora- tai epäsuora sylkikontakti, esimerkiksi samasta lusikasta tai tutista, le-

vittää taudinaiheuttajia. (Renko & Uhari, 2001; Sosiaali- ja terveysministeriö 2005, 14 - 15.)

4 SISÄILMASTO

Sisäilmastoksi kutsutaan rakennuksessa tai tilassa olevaa sisäilmaa ja siihen vaikuttavien kemiallisten ja hiukkasmaisten epäpuhtauksien sekä fysikaalisten ja psykologisten olosuhteiden yhteisvaikutusta, joka kokonaisuudessaan vaikuttaa ihmisen terveyteen. Tärkeimpiä sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä ovat ilman lämpö- ja kosteusolosuhteet, veto, ilman kaasumaiset ja hiukkasmaiset epäpuhtaudet, säteily, melu sekä valaistus.

Sisäilman voidaan sanoa olevan hyvä jos suurin osa rakennuksen käyttäjistä on tyytyväisiä sisäilman laatuun eikä sisäilman haittatekijöistä ei koidu terveydelle haittaa. Sisäilmasto puolestaan on hyvä silloin, kun rakennuksen käyttäjät eivät koe kyseessä olevaan rakennukseen liittyviä oireita. (Sisäilmayhdistyksen www-sivut 2014.)

4.1 Suomen RakMK D2:n mukainen sisäilmasto

”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto.” (Suomen RakMK D2, 5.)

Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D2 ei ole annettu yksityiskohtaisesti vain päiväkodeille tai sairaaloille määritettyjä viranomaisohjeita, vaan samat ohjeet pätevät kaikkiin rakennuksiin.

Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona käytetään lämpötilaa 21 °C ja kesäkauden huonelämpötilan suunnitteluarvona käytetään arvoa 23 °C. Hyväksyttävä poikkeama oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan suunnittelu-

arvosta lämmityskaudella huoneen keskellä mitattuna 1,1 m:n korkeudella on ± 1 °C. (Suomen RakMK D2, 6.)

Rakennuksen sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisia kaasuja, hiukkasia, mikrobeja tai hajuja. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus huoneen käyttöaikana yleisissä sääoloissa on enintään 1200 ppm. Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea eikä kosteus saa tiivistyä rakenteisiin, niiden pinnoille tai ilmanvaihtojärjestelmään aiheuttaen kosteusvaurioita tai muuta terveydellistä haittaa. (Suomen RakMK D2, 7 - 8.)

Ilmanvaihdon on pystyttävä poistamaan sisäilmasta rakennusmateriaaleista ja ihmisistä sekä heidän toiminnoistaan aiheutuvat epäpuhtauspäästöt (Työterveyslaitos 2012, 11). Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on annettu arvoja hoitolaitosten ulkoilma- ja poistoilmavirroille, jotka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1: Hoitolaitoksien ilmapvirrat, äänitasot ja ilman nopeudet (Suomen RakMK D2 2012, 29)

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Sairaalan potilashuone	10	1,5		28 / 33 *	0,20 / 0,30	*C1 ohje
Sairaalan toimenpidehuone		2		33 / 38	0,20 / 0,30	#E
Sairaalan kuntoutushuone		2		33 / 38	0,20 / 0,30	
Sairaalan oleskelutila		3		33 / 38	0,20	
Lastenhoitotilat		2		33 / 38	0,20 / 0,30	
Pitkäaikaispotilaiden hoitotilat		2		33 / 38	0,20 / 0,30	#3
Käytävä		0,5		33 / 38	0,20 / 0,30	#2
Odotustilat		3		33 / 38	0,20 / 0,30	#2
Potilas- ja odotustilojen WC			30 / paikka	38 / 43	0,20	
Huuhdeluhuone			10	38 / 43	0,20	#3
Pidätettyjen vastaanottotila		3	1	33 / 38	0,20	#4
Putkakäytävä		3		38 / 43	0,20	
Juoppoputka		8	10	33 / 38	0,20	#S
Sellikäytävä		2		38 / 43	0,30	
Selli	8	2,5	3	33 / 38	0,20	#S
Päiväkodit:						
Lepohuoneet	6	2,5		28 / 33 *	0,20 / 0,30	*C1 ohje
Leikki- ja ryhmähuoneet	6	2,5		33 / 38	0,20 / 0,30	
Vesileikkihuone		2		33 / 38	0,20 / 0,30	
Eteinen		2		33 / 38	0,20	
Märkäeteinen			5			#3, #S
#1	Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.					
#2	Kiinteiden työpisteiden ilmankäytön ohjearvot kuten toimistohuoneissa.					
#3	Poistoilmavirtaa ja vastaavasti ulkoilmavirtaa suurennetaan kohdepoistojen ja / tai hajujen hallitsemisen edellyttämällä määrällä.					
#4	Poistoilma ympäröivien hygieni- ym. tilojen kautta.					
#E	Erikoistilojen, kuten leikkaussalien, toimenpidehuoneiden, röntgentilojen, välinehuoltotilojen, potilaiden pesuun käytettävien tilojen jne. ilmanvaihto suunnitellaan tapauskohtaisesti.					
#S	Siirtoilmavirta					

4.2 Sisäilmastoluokitus 2008

Sisäilmayhdistyksen julkaisema Sisäilmaluokitus 2008 esittää eri laatuluokkia sisäilmalle. Luokitusta on tarkoitus käyttää apuna rakennus- ja taloteknisessä suunnittelussa, urakoinnissa sekä rakennustarviketeollisuudessa, kun tavoitteena on rakentaa terveellisiä ja viihtyisiä rakennuksia. Luokitus antaa sisäilmaston tavoite- ja suunnitteluarvoja, jotka perustuvat nykyisiin standardeihin. Se ei kuitenkaan kumoa annettu- ja viranomaismääräyksiä.

Sisäilmaluokitus on kolmitasoinen. Siinä on laatuluokat S1, S2 ja S3, joista S1 kuvaa parhainta tasoa. S2 on asetettu perustasoksi. Tavoitteen asettaminen sisäilmalle auttaa parantamaan eri toimijoiden yhteistyötä ja vähentää siten terveydelle haitallisten ongelmien lähteitä sisäilmasta.

Laatuluokka S1 kuvaa yksilöllistä sisäilmastoa. Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä. Tiloissa ei ole havaittavia hajuja eikä sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät ja tilan käyttäjä pystyy säätämään lämpöoloja. Tilassa ei esiinny vetoa tai ylilämpenemistä. Tilassa on hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. S1-laatuluokassa hiilidioksidipitoisuuden enimmäisarvo huoneilmassa on 750 ppm, huoneilman lämpötilan raja-arvot ovat lämmityskaudella 21 °C - 22 °C ja kesällä 21 °C - 25 °C.

Laatuluokka S2 kuvaa hyvää sisäilmastoa. Tilan sisäilman laatu on hyvä ja häiritseviä hajuja ei esiinny. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei esiinny ilman laatua heikentäviä vaurioita eikä epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät ja vetoa ei yleensä esiinny, mutta ylilämpeneminen on mahdollista. Tiloissa on käyttötarkoitusta vastaavat hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. Hiilidioksidipitoisuus ei saa ylittää 900 ppm. Huoneilman lämpörajat ovat lämmityskaudella 20,5 °C - 22,5 °C ja kesällä 20,5 °C - 25,5 °C.

Laatuluokka S3 kuvaa tyydyttävää sisäilmastoa. Tilan sisäilman laatu, lämpöolot sekä ääni- ja valaistusolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. Hiilidioksidipitoisuuden raja-arvo on 1200 ppm. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan tulisi pysyä välillä 20 °C - 22 °C ja kesällä 20 °C - 26 °C.

Sisäilmaluokitus 2008 antaa omat ohjearvonsa laatuluokittain ilmavirroille päiväkodeissa ja sairaaloissa. Päiväkodeille ja sairaalatiiloille annettuja ohjearvoja on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2: Päiväkotien ja sairaalatiilojen ohjearvoja laatuluokittain (Sisäilmastoluokitus 2008, 14).

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka/D2	
		dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö	dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö	dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö
Luokkahuone	2	11	5,5	8	4	6	3
Luentosali	1	11	10,5	8	7,5	6	6
Käytävä, aula koulussa	2	11	5,5	8	4		4
Aula	6	13	2	10	2		2
Päiväkoti	3	12	4	9	2,5	6	2,5
Päiväkodin märkäeteinen			5		5		5
Lääkäriasema			3...4		2...3		
Sairaala (ei koske erikoistiloja) ²⁾			3...6		2...3		
Potilashuone		15	2	15	1,5	10	1,5
Leikkaussali ¹⁾			15...20		15...20		
Laboratorio ¹⁾			2...5		2...5		
Varasto, arkisto (poisto)			0,5		0,5		0,5
Kopiointi-, tulostushuone (poisto)			4		4		4
Työtilojen WC (poisto)		20		20		20	
Pesuhuone (poisto)			5		5		5
Pukuhuone			5		5		5
Siivoustila (poisto)			4		4		4
Jätehuone (poisto)			5...10		5...10		5

¹⁾ Prosessien aiheuttama ilmanvaihdon tarve tai yllämmön poistaminen tulee suunnitella tapauskohtaisesti

²⁾ Sairaalatiilojen sisäilmaston suunnittelusta ja ilmavirroista on tietoja raportissa *Sairaalailmanvaihdon suunnitteluohjeita* (Ryynänen 2007).

4.3 Suomen RakMK D3

Suomen Rakennusmääräyskokoelman osassa D3 annetaan ohjeita kesäajan huonelämpötilan hallintaan. D3:n mukaan rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että tilat eivät lämpene haitallisesti. Kesäajalla käytetään ensisijaisesti rakenteellisia keinoja yllämmön välttämiseksi.

Tarpeen tullen tilan kesäaikainen huonelämpötila on arvioitava. Arvio tehdään yleensä laskemalla kuukauden keskimääräisenä sisälämpötilana esimerkiksi rakennusmääräyskokoelman osassa D5 esitetyllä kuukausikeskiarvon laskentamenetelmällä, soveltuvien SFS EN -standardien mukaisesti tai muilla laskentamenetelmillä.

Kesäaikana kuukauden keskimääräisen sisälämpötilan suunnitteluarvona käytetään tavanomaisissa tiloissa arvoa 23 °C. Sisäilman lämpötila ei saa yleensä ylittää 25 °C:ta, jotta haitallista ylikämpöä ei esiintyisi.

4.4 Sisäilman laatuvaatimukset

Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D2 ja D3 annetut viranomaismääräykset eivät yleensä riitä tarjoamaan riittävää sisäilman laatua vaativissa kohteissa. On kuitenkin olemassa Suomen rakennusmääräyskokoelmien ja Sisäilmastoluokitus 2008 lisäksi muitakin oppaita ja ohjeita, joissa esitetään lisää ohjearvoja sisäilman laadun parantamiseksi.

4.4.1 Päiväkotien sisäilman laatuvaatimukset

Päiväkotien suunnittelulle tarkoitettussa RT-ohjekortissa (RT 96–1003 2010, 23) hyvien ja terveyttä edistävien olosuhteiden takaamiseksi päiväkotien sisäilmastoluokaksi suositellaan vähintään luokkaa S2. Rakennus tulisi varustaa koneellisella ilmanvaihdolla ja ilmanvaihdon tuloilma-aukot tulisi sijoittaa mahdollisimman puhtaaseen paikkaan. Oleskelu- ja työskentelytilat tulisi myös varustaa avattavilla ikkunoilla pikatuuletusta varten. Koska ilmanvaihto yleensä mitoitetaan tilakohtaisesti suurimman käyttäjämäärän mukaan, kannattaisi harkita läsnäolo-ohjaukseen tai CO₂-mittaukseen perustuvaa automaattista ilmanvaihdon ohjausta. Päiväkodin lattioiden tulee olla lämpimän tuntuisia, kuitenkin minimissään 19 °C. Luontevin ratkaisu on lattialämmitys.

Sosiaali- ja terveysministeriön oppaassa Asumisterveysohje 2003:1 on myös määritetty päiväkoteja koskevia sisäilman ohjearvoja. Jos sisäilman hiilidioksidipitoisuus ylittää 1500 ppm, ilmanlaatu ei ole terveydensuojelulain vaatimalla tasolla. Sisäilmanlaatua voidaan pitää tyydyttävänä hiilidioksidipitoisuuden ollessa 1200 ppm. Huoneilman lämpötilan hyvä taso on 21 °C:ta ja välttävä taso on 20 °C:ta. Huoneilman lämpötila ei saa ylittää 26 °C:ta, ellei lämpötilan nouseminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huonelämpötilan ei tulisi ylittää 24 °C:ta. Päivä-

kodeissa tulisi myös ottaa huomioon lattian lämpötila. Lattian pintalämpötilan hyvä taso on 20 °C:ta ja välttävä taso on 19 °C:ta. (Asumisterveysohje 2003.).

4.4.2 Sairaaloiden sisäilman laatuvaatimukset

Sairaalaolosuhteet vaativat parempaa sisäilman laatua kuin muut julkiset rakennukset. Toisin kuin päiväkotien kohdalla, Suomen RakMK osassa D2 ilmoitetut arvot ja ohjeet riittävät takaamaan tarvittavat olosuhteet sairaalaympäristöön. Edellä mainittua Sisäilmastoluokitusta 2008 ja lisäksi Jouko Ryytäsen opinnäytetyötä ”Sairaalailmanvaihdon suunnitteluohjeita” on käytetty sairaaloiden apuna sairaaloiden ilmanvaihdon suunnittelussa D2:n ohella.

Jouko Ryytäsen vuonna 2007 kirjoittamassa opinnäytetyössä ”Sairaalailmanvaihdon suunnitteluohjeita” annetaan ilmanvaihtoon ja sisäilmaan liittyviä suosituksia ja ohjeita kaikille sairaalassa sijaitseville tiloille. Tiloille annetaan puhtausluokituksia, jotka ovat standardin SFS-EN ISO 14644-1 mukaisia. Puhtausluokitukset ilmaistaan puhdastilojen ja puhtaiden alueiden ilman hiukkaspitoisuutena. ISO 14644 pätee vain kokoluokaltaan 0,1- 5 µm:n hiukkasiin. Kyseiset puhtausluokat ulottuvat ISO-luokasta 1 ISO-luokkaan 9. ISO-luokat on esitetty liitteessä 2. (SFS-EN ISO 14644-1, 6.)

Ohjeen mukaan kaikissa sairaaloissa tulisi olla savuttomat tilat. Tilat olisi myös hyvä varustaa CO₂-ohjautuvalla ilmanvaihdolla. CO₂-pitoisuuden yläraja-arvon tulisi olla 900 ppm, joka täyttää sisäilmastoluokan S2 vaatimukset.

Erittäin puhdasta ilmaa vaativien leikkausten, kuten silmä- tai transplaatioleikkausten tai ortopedisten leikkauksien, tulee leikkausalueen ilman puolesta täyttää ISO-luokka 5 tason puhtausvaatimukset. Suhteellisen kosteuden säädön tulee olla henkilökunnan salista säädettävissä kuin myös salin lämpötilan +/- 3 °C:een välillä. Lisäksi leikkaussalin tulee olla 15 Pa ylipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden, jotta ilma liikkuu salista alemman puhtausluokan tiloihin.

Yleiskirurgisien tilojen ilman tulisi täyttää ISO-luokka 7. Lämpötilan sekä suhteellisen kosteuden tulee olla samalla tavalla henkilökunnan säädettävissä kuin edellä mainituissa tiloissa. Ilman tulee kulkeutua alemman puhtausluokan tiloihin. Yleiskirurgiset tilat tehdään 10–15 Pa ylipaineisiksi muihin tiloihin nähden. Polikliinisten leikkausten ja infektionleikkausten tiloja koskevat lähes samat ohjeet kuin yleiskirurgisia tiloja. Poikkeuksena on, että infektiosalit tehdään tasapaineisiksi tai hieman alipaineisiksi. Polikliininen sali tehdään puolestaan ylipaineiseksi.

Eristystilojen ilman kulkusuunnille on annettu tapauskohtaiset ohjeet. Palovamma- ja keskostapausten tilassa käytetään sulkutilaa huoneen ja käytävän välillä. Huone on 15 Pa ylipaineinen viereisiin tiloihin nähden ja sulkutila on ylipaineinen käytävään nähden. Palovammapotilaiden huoneissa huoneen lämpötila asetetaan +28 - +32° hoidon alkuvaiheessa. Keskosten hoitotiloihin lämpötila ja suhteellinen kosteus säädetään tapauskohtaisesti.

Tartuntaeristystiloilla puolestaan ei ole tuloilmalle asetettuja erityisvaatimuksia. Poistoilmassa riittää F8-luokan suodatus. Lämpötila pysyy yleisissä tasoissa ja suhteellinen kosteus säädetään tapauskohtaisesti. Tilat tehdään 12 Pa alipaineisiksi ympäröiviin tiloihin nähden, jotta tartunta ei leviäisi huoneen ulkopuolelle.

Sairaalan ilmanvaihto-ohjeessa 2008 esitettyjä ilmavirtojen määriä ja muita ohjeita eri tiloille on esitetty Liitteessä 1.

4.5 Aiemmat tutkimukset

4.5.1 Päiväkotien sisäilman laatu ja ilmanvaihdon toimivuus 2000

Päiväkotien sisäilman laatuun liittyviä tutkimuksia on suoritettu jo aiemmin. Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy (TAKE) julkaisi vuonna 2000 väliraporttinsa tutkimuksesta ”Päiväkotien sisäilman laatu ja ilmanvaihdon toimivuus”. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää ratkaisut päiväkotien ilmanvaihdon puutteisiin, jotka ilmenevät huonona sisäilman laatuna tai rakennuksen suurena energiankulutuksena. (Jalas, J ym. 2000, 1.)

Tutkimukseen osallistuneista päiväkodeista 15 oli rakennettu 1990-luvulla ja neljä 1960–1980 -luvulla. 1990-luvulla rakennetuissa päiväkodeissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Päiväkodeissa suoritettiin kahden tunnin hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan ja suhteellisen kosteuden seurantamittaus sekä ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa selvittäviä mittauksia 32 lepohuoneessa lepohetken aikana. Lisäksi toteutettiin henkilökunnan kysely, johon osallistui päiväkotien henkilökunnasta yhteensä 209 henkilöä. (Jalas, J ym. 2000, 1; 24.)

Tutkimuksen tulosten perusteella todettiin, että järjestelmät eivät toimineet kunnolla. Yhteensä kuudessa lepohuoneessa hiilidioksidipitoisuus ylitti 1500 ppm mittauksen aikana, mikä ylittää reilusti nykyiset viranomaismääräykset. Lepohuoneista yksi oli vanhassa päiväkotirakennuksessa, jossa oli pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto. Yhteensä 12 lepohuoneessa puolestaan hiilidioksidipitoisuus pysyi alle 1000 ppm:n. Lepohuoneista kaksi oli vanhassa päiväkotirakennuksessa, jossa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. (Jalas, J ym. 2000, 1.)

Tuloilmavirta 15 lepohuoneessa poikkesi yli 20 % suunnitteluarvosta. Suomen rakennusmääräyskokoelman osan D2 asettama arvo sallitusta poikkeamasta huonekohdaisesti on maksimissaan 20 %. Näistä seitsemässä huoneessa tuloilmavirta oli huomattavasti suunnitteluarvoa suurempi ja kahdeksassa suunnitteluarvoa pienempi. Poistoilmavirta poikkesi yli 20 % suunnitteluarvosta 12 lepohuoneessa. Poistoilmavirta oli kaikissa huoneissa suunnitteluarvoa pienempi. (Jalas, J ym. 2000, 1.)

Kyselyn tuloksista havaittiin, että yli 40 % henkilökunnasta valitti tunkkaisesta ilmasta, lattioiden kylmyydestä tai kuivasta ilmasta yhdeksässä uudessa päiväkodissa. Kahdeksassa uudessa päiväkodissa yli 40 % henkilökunnasta valitti vaihtelevasta huonelämpötilasta ja vedosta. Sisäilmaongelmat esiintyivät pääasiallisesti talvella. (Jalas, J ym. 2000, 34.)

4.5.2 Päiväkotien sisäilmastotutkimus 2012

Vuoden 2012 Sisäilmastoseminaarissa julkaistiin Päiväkotien sisäilmatutkimus -hankkeen tulokset. Hankkeessa kartoitettiin Suomen päiväkotien nykyistä sisäilman tasoa kahdella erillisellä kyselytutkimuksella sekä tutkittiin lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien toimintaa niihin painottuvilla sisäilmastomittauksilla. (Pulliainen 2012, 295.)

Tutkimus oli kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa suoritettiin valtakunnallinen sisäympäristökysely päiväkotien johtajille. Tarkoituksena oli saada perustietoa päiväkotien lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien toiminnasta, sisäympäristöongelmista, mahdollisista kosteusvaurioista ja sisäilman tasosta ylipäätään. Kysely oli käynnissä 21.9.2010 - 21.10.2010 ja vastauksia saatiin yhteensä 276 erillisestä päiväkodista, mikä on koko Suomen päiväkotien lukumäärästä 11,5 %. Toisessa osassa tehtiin viidellä paikkakunnalla kohdekohtaiset kyselyt 50 päiväkodin henkilökunnalle ja lisäksi suoritettiin olosuhdemittaukset 25:ssä näistä päiväkodeista. Tavoitteena oli saada mittaustuloksia kyselyiden lisäksi ja selvittää, tukevatko kyselyn tulokset ja mittauksien tulokset toisiaan. (LVI-talotekniikkateollisuus ry 2012, 7.)

Molemmissa kyselytutkimuksissa nousi esille samoja ongelmia sisäympäristön suhteen. Ensisijaisesti valitettiin kylmistä lattioista, vedosta ja tunkkaisuudesta. Parhaimmat arvosanat annettiin päiväkodeille, joissa oli koneelliset tulo- ja poistoilmanvaihtokoneet. Huonoimmat arvosanat annettiin päiväkodeille, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto. Tällaisia päiväkoteja oli 4 % valtakunnalliseen kyselyyn osallistuneista päiväkodeista. Tutkimuksessa todettiin, että ilmavaihdon puutteet voivat olla osasyllisiä kyselyissä esiin tulleisiin sisäilman ongelmiin. Todennäköisempää kuitenkin on se, että ainakin vakavimmat oireet johtuvat sellaisista sisäympäristön ongelmista, joita tämän tutkimuksen kyselyissä ei kartoitettu. (Pulliainen 2012, 296.)

Mittauksia suoritettiin viidellä eri paikkakunnalla, viidessä päiväkodissa jokaisella paikkakunnalla. Mittauksia tehtiin eri vuodenaikoina sekä kertaluonteisesti että jatkuvina viikon kestoisina mittauksina. Tutkimuksessa keskityttiin enemmän kertaluonteisiin mittauksiin. Mitattavina suureina oli mm. operatiivinen lämpötila, suh-

teellinen kosteus, hiilidioksidipitoisuus sekä tulo- ja poistoilmavirtojen määrät. Mittauksia suoritettiin lepo- ja leikkihuoneissa. (Pulliainen 2012, 296.)

Mittausten tuloksia verrattiin Suomen rakennusmääräyskokoelman osan D2 sekä Sisäilmastoluokitus 2008 ohjearvoihin. Mittausten tuloksista huomattiin, että talvella hiilidioksidipitoisuuden viranomaisten asettama raja-arvo 1200 ppm ylitettiin 12 kohteessa 25:stä joko lepo- tai leikkihuoneessa. Operatiivinen lämpötila jäi alle 20 °C:een talviaikana 6 %:ssa kohteista ja lattianpintalämpötila jäi alle 19 °C:een talviaikana 22 %:ssa kohteista. Operatiivinen lämpötila 23 °C ylittyi 8 %:ssa mittauksista talviaikaan ja 14 %:ssa kevät- ja syysaikaan. Ilmavirtojen poikkeamat suunnitteluarvoon verrattuna olivat suuria. Yli 30 %:n poikkeamia tuloilmavirtojen suunniteltujen ja mitattujen arvojen välillä mitattiin yli puolessa kohteista. (Pulliainen 2012, 296 - 298.)

Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että yleisesti päiväkotien sisäympäristössä ja ilmanvaihdossa on vieläkin parannettavaa. Tutkimuksessa todettiin, että ilmanvaihdon puutteet korostuivat varsinkin lepo- ja leikkihuoneissa. (Pulliainen 2012, 299.)

5 RAKENTEIDEN TIIVEYDEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN PAINESUHTEISIIN

Rakennuksen tiiveydellä on suuri vaikutus ilman käyttäytymiseen rakennuksen sisällä. Ilma liikkuu aina korkeammasta paineesta pienemmän paineen suuntaan eli ylipaineesta alipaineeseen. Rakennukset tehdään aina hieman alipaineisiksi ulkoilmaan nähden kosteusvaurioiden välttämiseksi. Helpoiten rakennus saadaan alipaineiseksi koneellisella ilmanvaihdolla. Ilmanvaihdon toimivuus riippuu sekä ulkovaipan että rakennuksen sisäisestä tiiveydestä. Huonosti tiivistetystä ulkovaipasta ilma tuo mukanaan hajuja, melua, mikrobeja yms. Lisäksi lämmin ja kostea sisäilma voi muodostaa kosteusvaurion, jos se pääsee vuotamaan ulkovaipan läpi. Huonosti tiivistetyt rakenteet voivat vaikeuttaa esimerkiksi ovien ja ikkunoiden avaamista sekä ilmanvaihdon oikeanlaista säätämistä. (Sisäilmayhdistyksen www-sivut 2014; Nybergh, C. 2014, 23.)

5.1 Ulkovaipan tiiveys

Rakennuksen ulko- ja sisärakenteiden tiiveydestä on mainittu Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa C3 (Suomen RakMK C3 2010, 5) seuraavaa:

2.3.1

Sekä rakennuksen vaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille tai rakenteille ja rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku.

Selostus

Rakennusten kosteusteknisestä suunnittelusta on määräyksiä ja ohjeita rakentamismääräyskokoelman osassa C2.

Selostus

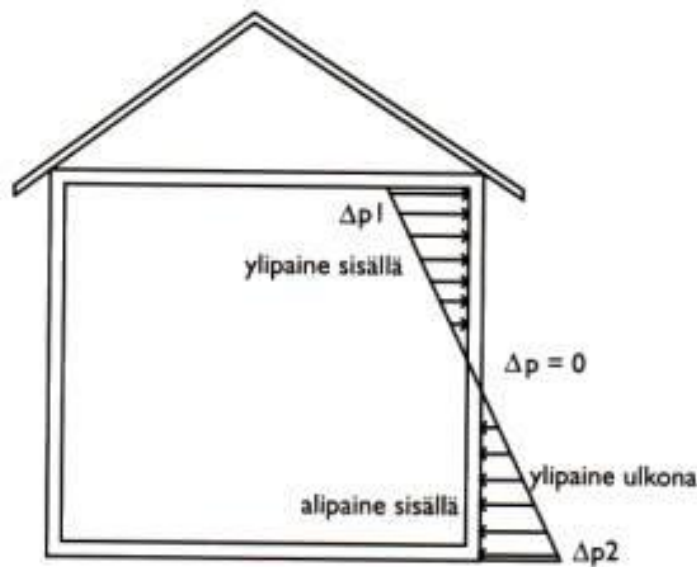
Rakennusten sisäilmaston ja ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelusta on määräyksiä ja ohjeita rakentamismääräyskokoelman osassa D2

2.3.2

Ikkunan ja oven liittyminen ympäröiviin rakenteisiin tulee olla ilmanpitävä. Karmin ja puitteen tiivistämiseen käytettävien tarvikkeiden tulee olla sellaisia, että ne kestävät käytössä esiintyvät rasitukset oleellisesti vaurioitumatta eivätkä aiheuta vaurioitumisen vaaraa ympäröiville rakenteille.

Yleisimpiä ulkovaipan vuotokohtia ovat ulkoseinän liitoskohdat ylä-, väli- ja alapohjaan, läpiviennit sekä ovet, ikkunat ja niiden liitoskohdat ulkoseinään. (Aho, H. & Korpi, M. (toim.) 2009, 9.)

Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaa kolme tekijää: ilman lämpötilaerot eli savupiippuvaikutus, tuuli sekä ilmanvaihto. Savupiippuvaikutuksella tarkoitetaan niin sanottua termistä paine-eroa, joka muodostuu sisä- ja ulkoilman välille. Terminen paine-ero on esitetty kuvassa 1. Rakennuksen sisällä ilma on lämpimämpää ja kevyempää kuin ulkona. Lämmin ilma nousee ylöspäin muodostaen samalla rakennuksen alaosaan alipaineen ja rakennuksen yläosaan ylipaineen. Terminen paine-ero on suurempi talvella, jolloin sisä- ja ulkoilman lämpötila ero on suurempi. (Sisäilmayhdistyksen www-sivut 2014; Nybergh, C. 2014, 9; Aho, H. & Korpi, M. (toim.) 2009, 7 - 8.)



Kuva 1: Lämpötilaeroista aiheutuva painejakauma. Painejakauma ei ole yleensä tasainen. (Sisäilmäyhdistyksen www-sivut 2014.)

Yli- tai alipaineisen alueen suuruus riippuu vuotokohtien sijainnista, joka voi vaihdella jokaisen rakennuksen välillä. Esimerkiksi jos vuotokohta on lähellä alapohjaa, lähes koko rakennus tai huone on ylipaineinen. Tästä voi seurata suuri kosteusvaurion riski, kun lämmin ja kostea sisäilma tiivistyy ulkovaipan rakenteisiin. Lisäksi suuri ylipaine voi kumota ilmanvaihdon tuottaman alipaineen. Jos vuotokohta on lähellä yläpohjaa, rakennuksesta tai huoneesta tulee vastaavasti alipaineinen. Tällöin kylmä ulkoilma aiheuttaa vedon tunnetta ja sisäpintojen kylmenemistä, joka voi lisätä rakennuksen energian kulutusta. Lisäksi ilman mukana voi kulkeutua melua, hajuja ja mikrobeja, jotka vaikuttavat asumisviihtyvyyteen. (Nybergh, C. 2014, 9; Aho, H. & Korpi, M. (toim.) 2009, 7 - 8.)

Tuulen vaikutus rakennuksen painesuhteisiin riippuu tuulen nopeudesta ja suunnasta, rakennuksen geometriasta sekä maaston muodoista. Tuulen aiheuttama paine-ero ilmenee siten, että tuulen puolella sisäilma on ulkoilmaan verrattuna alipaineinen. Rakennuksen sivuilla ja suojapuolella sisäilma on ulkoilmaan verrattuna ylipaineinen. Heikolla tuulella ei ole juurikaan vaikutusta rakennuksen painesuhteisiin. Kovalla tuulella voi olla paljonkin vaikutusta painesuhteisiin varsinkin silloin, kun tuulenpuoleinen seinä on huonosti tiivistetty. (Sisäilmäyhdistyksen www-sivut 2014; Nybergh, C. 2014, 16.)

Ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen painesuhteisiin riippuu ilmanvaihtojärjestelmästä. Painovoimainen ilmanvaihto toimii juuri sisä- ja ulkoilman välisen lämpötilaeron ja tuulen avulla. Talvella painovoimainen ilmanvaihto toimii parhaiten lämpötilaerojen ollessa suuria ja puolestaan kesällä voi olla, että ilma ei vaihdu ollenkaan. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa sisä- ja ulkorakenteet eivät saa olla liian tiiviitä. Koneellisessa poistojärjestelmässä korvausilma otetaan ulkoilmasta vaipan läpi. Ulkovaipan tulee siis jättää reittejä, joiden läpi ilma pääsee kulkemaan. Koneellinen poistojärjestelmä tekee rakennuksesta alipaineisen ulkoilmaan nähden, joten ilmanvaihto toimii myös kesällä. (Sisäilmayhdistyksen www-sivut 2014.)

Täysin koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä, jossa tulo- ja poistoilma hoidetaan koneellisesti, tarvitsee tiiviit sisä- ja ulkorakenteet toimiakseen oikein. Koneellinen ilmanvaihto tulee suunnitella ja säätää tarpeeksi tehokkaaksi, sillä täysin tiiviissä rakennuksessa ilma ei vaihdu käytännössä lainkaan vuotokohtien kautta. Täysin tiiviit rakenteet ovat kuitenkin käytännössä mahdottomia toteuttaa. Rakennus saadaan hieman alipaineiseksi säätämällä poistoilma hieman suuremmaksi kuin tuloilma ja näin ollen kosteus ei pääse imeytymään rakenteisiin. Tiiviit sisä- ja ulkorakenteet sekä oikein toimiva koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä parantavat myös sisäilman laatua suodattamalla ilmasta mikrobeja, hajuja ja muita epäpuhtauksia. (Aho, H. & Korpi, M. (toim.) 2009, 7 - 8; Nybergh, C. 2014, 19 - 20.)

5.2 Sisä rakenteiden tiiveys

Rakennuksen sisä rakenteita tiivistämällä pyritään vähentämään epäpuhtauksien leviämistä muihin rakennuksen tiloihin ja ohjaamaan likainen ilma ilmanvaihtojärjestelmään. Kuten aikaisemmin mainittiin, rakennusten sisäisiin rakenteisiin pätevät samat tiiveysvaatimukset kuin ulkovaipan rakenteisiin. Yleisesti sisä rakenteiden ilmanpitävyyteen ei kuitenkaan kiinnitetä samalla tavalla huomioita kuin ulkovaipan ilmanpitävyyteen.

Sairaaloissa sisärakenteiden tiiveyteen kiinnitetään enemmän huomiota, varsinkin eristystiloissa. Sairaaloiden eristystilojen sisäisten rakenteiden tiiveydellä on suuri merkitys, sillä eristystiloilla estetään potilaista lähtevien taudinaiheuttajien leviämistä tai suojataan heikkokuntoisia potilaita epäpuhtauksilta. Suomessa ei ole kansallisia eristystilojen suunnitteluohjeita, vaan suunnittelijat ovat kokemuksen kautta muodostaneet suunnittelukäytäntönsä. Suunnittelun lähtökohtana ovat olleet ilmavirrat, joilla ylläpidetään eristystilaa ali- tai ylipaineisena ympäröiviin tiloihin nähden, riippuen eristystilan käyttötarkoituksesta. Tulo- ja poistoilmaventtiilien sijaintiin on kiinnitetty vähän huomiota. Tilojen ilmatiiveyteen ei yleisesti ole kiinnitetty tarpeeksi huomioita eikä tilojen tiiveyttä ole mitattu. (Työterveyslaitos 2012b.)

Työterveyslaitoksen, Itä-Suomen yliopiston ja VTT:n yhteistyönä tekemässä tutkimuksessa vuonna 2012 pyrittiin selvittämään nykyisten eristystilojen toimintaa ja puutteita. Tutkimuksessa keskityttiin alipaineisten ilmaeristystilojen ilmanvaihto- ja rakennusteknisiin toimenpiteisiin, joilla estetään ilmapölyjen tarttuvien mikrobin leviämien eristystiloista muualle rakennukseen. Tutkimuksessa suoritettiin kenttämittauksia, joiden perusteella määritettiin suunnitteluohjeita tilojen ilmatiiveydelle, ilmanvaihdolle ja tilojen välisille paine-eroille. Mittauksia suoritettiin viidessä Suomen sairaalassa yhteensä 19 eristystilassa. Eristystiloista 13 luokiteltiin uusiksi (2008–2010) tiloiksi ja 6 vanhoiksi (1994–2005) tiloiksi. Sairaaloissa mitattiin ilman lämpötilaa, paine-eroja, tulo- ja poistoilmavirtoja, tilan tiiveyttä sekä ilman liikettä. (Työterveyslaitos 2012b.)

Sairaaloittain tarkasteltuna paine-erot eristystilan ja käytävän välillä olivat keskimääräisesti välillä -5 - -21 Pa. Uusissa eristystiloissa paine-ero oli keskimäärin -13 Pa ja vanhoissa -6 Pa. Osassa tiloja paine-ero vaihteli eri vuorokauden aikoihin. Tähän mahdollisesti vaikutti ilmanvaihdon erilainen käyttö päivä- ja yöaikaan. Joissakin tiloissa havaittiin paine-eroa vain sulkutilan ja käytävän välillä eli eristystilan ja sulkutilan välillä ei ollut paine-eroa. Tämän saattoi aiheuttaa väliseinärakenteiden vuodot, ilmavirtojen säädöt ja kanaviston tiiveys. (Työterveyslaitos 2012b.)

Tutkimuksen tulosten perusteella todettiin, että eristystilojen tiiveys on parantunut huomattavasti. Tiloista löytyi kuitenkin useita vuotokohtia, joita olivat tiivistämättömät läpiviennit, ikkunoiden ja ovien karmit sekä niiden ympäristö, sähköasennusko-

telot, pistorasiat, kytkimet ja kuoleutuneet ovien tiivisteet. Lisäksi todettiin, että pieniä vuotokohtia on useita, joten yhden vuotokohdan tiiveyden parantaminen ei juuri tee muutosta koko tilan tiiveyteen. (Työterveyslaitos 2012b.)

5.3 Rakenteiden tiiveys kohdepäiväkodissa

Päiväkodissa suoritettiin erilaisia sisäympäristömittauksia keväällä 2013, joiden joukossa suoritettiin rakennuksen ilmatiiveysmittaus. Rakennuksen ilmatiiveyden määrittämiseen käytetään paine-eromenetelmää, jossa luodaan puhaltimella 50 Pa:n paine-ero ulkoilmaan nähden. Lisäksi kyseisen paine-eron ylläpitämiseksi tarvittava ilmavirta mitataan ja kirjataan ylös. Tulokseksi saadaan ilmatiiveyden yksikkö, ilmanvuotoluku q_{50} , kun 50 Pa:n paine-eron ylläpitoon tunnin aikana tarvittava ilmamäärä jaetaan tutkittavan tilan vaipan pinta-alalla. Ilmanvuotoluku q_{50} esitetään muodossa [$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$]. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan mukaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä – ja alapohja. (Uusitalo, S. 2013, 18; Suomen RakMK D3 2012.)

Ulkovaipan tiiveydelle on vaatimus Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään 4 [$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$] eli rakennusvaipan neliön läpi saa virrata 4 kuutiota ilmaa tunnissa rakennuksen paine-eron ollessa 50 Pa ulkoilman ja sisätilan välillä. (Suomen RakMK D3 2012, 2.3.)

Päiväkodin ilmanpitävyysmittaus suoritettiin käyttämällä Blowerdoor-ovikehyksen ja -muovin, Retrotec 1000 -puhaltimen ja sen ohjausyksikön avulla. Mittausohjelmana käytettiin Retrotecin FanTestic -ohjelmaa. Ovikehys ja puhallin kiinnitettiin päiväkodin ryhmän 5 ulko-oveen kuvan 2 mukaisesti. Ilmanvaihto tukittiin mittausten ajaksi teippaamalla ja käyttämällä koneiden omia sulkupeltejä. Kaikki rakennusosan väliovet avattiin, ikkunat suljettiin sekä varmistettiin, että vesilukoissa oli vettä. (Uusitalo, S. 2013, 34.)



Kuva 2: Ilmatiiveysmittauksessa käytetyt tarvikkeet (Uusitalo, S. 2013, 34).

Mittauksista tehtiin tiiveysmittausraportti, joka on esitetty Samuli Uusitalon opinnäytetyössä Sisäympäristömittaukset HYGTECH-projektin pilottikohteissa. Ilmanvuotoluvun q_{50} saatiin arvoksi $2,5 \text{ [m}^3/(\text{h m}^2)]$. Tulos täyttää vähimmäisvaatimuksen $4 \text{ [m}^3/(\text{hm}^2)]$ ja osuu väliin $2,1 - 3,0$ täyttäen tiiveysluokan E vaatimukset, jotka vastaavat tyydyttävää tiiveystasoa. (Uusitalo, S. 2013, 41.)

Päiväkodin sisärakenteiden tiiveyttä ei ole erityisesti mitattu tai tutkittu aiemmin, joten niiden tiiveydestä ei ole tarkkaa tietoa. Silmämääräisesti tarkastettuna sisärakenteet aukotuksineen vaikuttivat hyvin tiivistetyiltä. Ovien ja ikkunoiden tiivistenaumat olivat uusia ja hyvässä kunnossa. Tiivistämättömiä kohtia ei löytynyt. Putkien läpiviennit oli tiivistetty tiivistemassalla. Tiivistämättömiä läpivientejä ei huomattu. Sisärakenteiden tiiveyttä voitaisiin tarkemmin tutkia esimerkiksi savu- ja merkkiainemittauksilla. Kuvassa 3 on esitetty tiivistettyjä läpivientejä.



Kuva 3: Päiväkodin ilmastointikanavien läpivientien tiivistykset

6 SISÄILMAN PUHDISTUS

Tavoiteltaessa hyvänlaatuista sisäilmaa käytetään usein perinteisen ilmanvaihdon lisäksi puhtautta edistäviä laitteita. Jos epäpuhtauslähteitä on paljon, aina ei edes tehostettu ilmanvaihto riitä tuomaan tarvittavaa sisäilman laatua. On olemassa erilaisia ilmansuodattimia tai ilmanpuhdistajia, joilla lisätään ilmanvaihdon kykyä puhdistaa sisäilmaa.

Sisäilman puhdistukseen liittyviä asioita tutkittiin tarkemmin sairaalan osastolla, joka on yksi HYGTECH2-projektin pilottikohteista. Osaston ilmanvaihtoon on asennettu Suomessa uudenlaista teknologiaa käyttävä ilmanpuhdistaja. Kyseinen ilmanpuhdistaja hyödyntää voimakkaan UV-valon, katalyyttisen materiaalin ja hapettajien yhdistelmää. Tällaisella yhdistelmällä on todettu olevan hyviä antimikrobisia ominaisuuksia ja kyseistä teknologiaa on jo käytetty vuosia veden, ruoan ja pintojen puhdistuksessa. Teknologiaa kutsutaan Advanced Oxidation Technology eli AOT-teknologiaksi.

6.1 AOT-teknologia

Advanced Oxidation Technology eli AOT-teknologia on alun perin yhdysvaltalaisen RGF Environmental Group -yrityksen kehittämä. Ensimmäiset AOT-teknologiaa käyttävät tuotteet tehtiin vuonna 1985. Teknologian tarkoituksena on pyrkiä jäljittelemään luonnon omia ilmanpuhdistuskeinoja. AOT-teknologia on yleisnimitys photohydroionisaatiota ja hapettajien yhdistelmää käyttävälle teknologialle. Photohydroionisaatiota käyttäviä laitteita kutsutaan PHI-laitteiksi. Photohydroionisaatiossa korkean intensiteetin UV-valo kohdistetaan katalyyttiselle materiaalille kosteassa ilmassa. Katalyyttinen materiaali yhdessä UV-valon kanssa alkavat hajottaa ilman molekyylejä tuottaen pieniä määriä hapettajia, kuten otsonia ja vetyperoksidia. Teknologia on suunniteltu siten, että hapettajien pitoisuudet eivät ylitä annettuja raja-arvoja ja

näin ollen eivät aiheuta terveydelle haittaa. (Norketek Oy:n www-sivut 2014; Franken 2011.)

UV-valo, otsoni sekä vetyperoksidi ovat kaikki voimakkaita hapettajia, joita käytetään myös erikseen desinfiointissa. Kaikissa on hyvät ja huonot puolensa. UV-valoa on käytetty jo vuosia ilman, veden ja lääketieteellisten työkalujen puhdistuksessa. UV-valo pystyy puhdistamaan ilmaa, kun bakteerit yms. osuvat suoraan säteilyn kohdalle. Lisäksi etuna on, että UV-teknologia ei haittaa ilmastointilaitoksen toimintaa ja lamput voidaan asentaa suoraan ilmastointikoneeseen tai erilliseen kammioon. Huonoiksi puoliksi on havaittu, että UV-säteily tarvitsee pitkään kestävän, suoran sekä läheisen kontaktin, jotta se pystyy tehokkaasti poistamaan epäpuhtauksia ilmastosta. Lisäksi UV-valon lähde täytyy suojata, koska säteily voi olla haitallista iholle ja silmille. (Franken 2011; RGF:n www-sivut 2014.)

Otsonia pidetään hyvänä puhdistusmetodinä ja sitä käytetään laajasti maailmalla ilman, veden ja elintarvikkeiden desinfiointiin. Se pystyy tuhoamaan bakteereita, viruksia sekä homeita varsin alhaisilla pitoisuuksilla nopeasti. Otsoni on kemiallisesti aktiivinen voimakas hapetin. Ilman ja sen epäpuhtauksien välillä syntyy hapetusreaktioita, joissa otsoni hapettaa ilman pienhiukkasia tuhoten ne. Sivutuotteena reaktiossa syntyy happea. (Oxygenium www-sivut 2014.) Otsonin käytössä on myös haitta- puolensa. Otsonia pidetään ihmisille vaarallisena aineena liian suurina pitoisuuksina. Otsoni on ylähengitysteitä ärsyttävä kaasu ja allergisilla otsoni voi voimistaa samanaikaisesti sisään hengitetyn allergeenin vaikutusta sekä astmatikoille otsoni voi tuottaa haitallisia terveysvaikutuksia. Otsonia käytettäessä pitää aina noudattaa ja seurata annettuja viranomaisarvoja. Suomessa otsonin haitalliseksi pitoisuudeksi työolosuhteissa on määritetty 0,05 ppm kahdeksan tunnin altistumisjaksoa kohti. (Oxygenium www-sivut 2014; Työterveyslaitoksen www-sivut 2014.)

Toinen PHI-prosessissa syntyvä hapettaja on vetyperoksidi. Vetyperoksidi on myös voimakkaasti hapettava aine, jota yleensä valmistetaan kemiallisesti. Kotitalouksissa vetyperoksidi tunnetaan paremmin esimerkiksi tekstiilien ja hiusten valkaisuaineena ja lääketieteellisuuden desinfiointiaineena. (Wikipedia 2014.) Vetyperoksidia esiintyy kuitenkin luonnollisesti ilmassakin, tosin pienempinä pitoisuuksina. Vetyperoksidia luonnehditaan luonnon omaksi ilmanpuhdistajaksi. Ilmassa esiintyessään vetyperok-

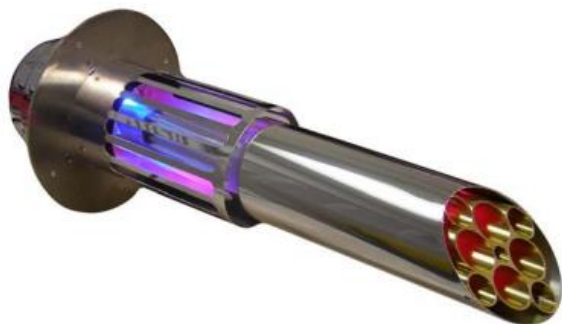
sidi hajoaa nopeasti vedeksi ja hapeksi. Vetyperoksidia pidetään varsin turvallisenä verrattuna muihin antimikrobisiin aineisiin. (Franken 2011.)

Osana prosessia käytetään katalyyttistä materiaalia. Yleisesti katalyytin tarkoituksena on rikkoa molekyylien sidoksia, irrottaa elektroneja, pidättää ja irrottaa atomeja, varastaa muita elektroneja ja imeä vesihöyryä. PHI-laitteissa UV-lamppu on hydrofiiliossa rodiumin, hopean ja kuparin muodostamassa metallipäällysteisessä kennossa. Lisäksi kenno on tuettu titaanidioksidilla, joka toimii katalyyttinä. Hydrofiilinen pinnoite edistää kosteutta, rodium tukee ei-toivottujen hapettavien yhdisteiden muuntamista turvallisemmiksi. Hopea sekä kupari lisäävät haluttujen reaktioiden määrää. Titaanidioksidi reagoi UV-valon ja kostean ilman kanssa muodostaen hapettajia, jotka luovat halutun puhdistusta edistävän yhdistelmän. (Norketek Oy:n www-sivut 2014; Franken 2011, 84.)

AOT-teknologiassa yhdistetään edellä mainittujen metodien hyvät antimikrobiset puolet. UV-valo on kestävä kuoren sisällä, joten siitä ei koidu varaa terveydelle. Käyttämällä edellä mainittuja kolmea hapettajaa yhdessä voidaan ympäristöä puhdistaa paremmin ja hapettajien pitoisuudet voidaan myös pitää alhaisina, sillä samaan puhdistustehoon ei tarvita samaa määrää yhtä hapettajaa kuin jos hapettajia käytettäisiin kutakin erikseen.

6.2 RGF REME-ilmanpuhdistaja

Sairaalan osaston ilmanvaihtokoneeseen asennettu laite on RGF:n Reflective Electro Magnetic Energy Cell, lyhyemmin ilmaistuna REME-kenno, joka on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4: RGF REME- laite (RGF Enviromental Group Inc:n www-sivut 2014).

REME-kenno on tällä hetkellä AOT-teknologian viimeisin malli. Aikaisemmat mallit pystyivät poistamaan vain kaasumaisia epäpuhtauksia ilmasta, mutta REME-kenno tehoaa myös ilman pienhiukkasiin. REME-kenno hyödyntää samanlaista PHI-teknologiaa kuin aikaisemmat mallit. Aikaisemmista malleista poiketen REME keskittyy enemmän vetyperoksidien hyödyntämiseen ja sen lisäksi hapettajamolekyyleille annetaan sähköinen varaus. Laite asennetaan ilmanvaihtokanavaan tai – koneeseen ja tarvitsee ainoastaan sähköä toimiakseen. Siinä ei ole mitään liikkuvia osia, vaan ilma ohjataan laitteeseen ilmastointilaitoksen omalla ilmannopeudella.

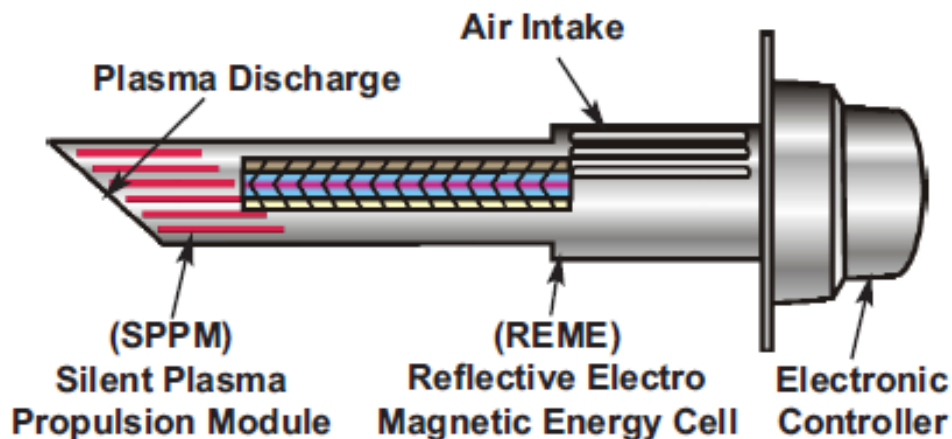
Sairaalan osaston ilmastointikoneisiin on asennettu kaksi REME-kennoa, jotka on esitetty kuvissa 5 ja 6. (Fink n.d 2014; Norketek Oy:n www-sivut 2014.)



Kuva 5: Ensimmäinen sairaalan ilmastointikoneen REME-kennoista

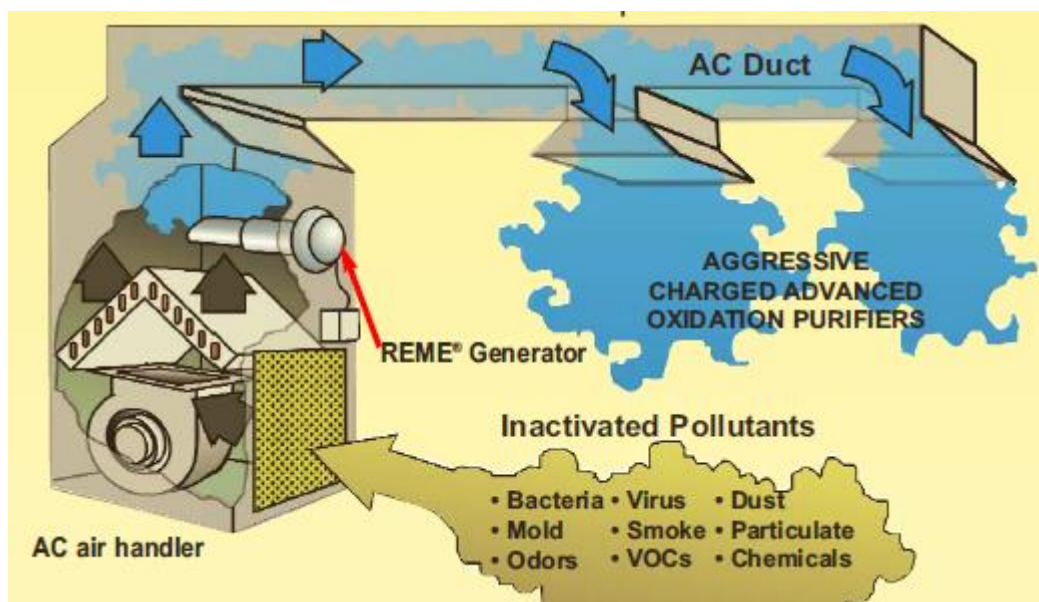


Kuva 6: Toinen sairaalan ilmastointikoneen REME-kennoista



Kuva 7: REME-kennon osat (Global Healing Center www-sivut 2014).

Kuvassa 7 on esitetty REME- kennon rakenne. Laite tarvitsee toimiakseen 230 V pistokkeen. Ilma kulkeutuu laitteeseen laitteen tyvessä olevan säleikön kautta ilmastointijärjestelmän omalla ilmavirralla. Ilma ohjautuu kennoon, jossa sähkömagneettisen energian - joka tässä tapauksessa on UV-valoa - ja katalyytin avulla muodostetaan puhdistavaa plasmaa hapettajista ja kosteudesta. Plasmalle annetaan sähköinen varaus ja sähköisen varauksen saaneet hapettajamolekyylit etsivät epäpuhtauksia ilmasta ja kiinnittyvät niihin. Seurauksena molekyylit yhdistyvät yhä suuremmiksi partikkeleiksi tullen näin ollen raskaammiksi ja poistuvat helpommin poistoilmavirran mukana tai putoavat lattialle poistuen hengitysilma. Plasma ohjataan laitteen päässä sijaitsevan suuttimen kautta takaisin ilmanvaihtoon. Plasma jatkaa ilman puhdistusta huoneilmassa. REME-kennon yksinkertaistettua toimintaa on kuvattu kuvassa 8. (Franken 2011; RGF:n www-sivut 2014.)



Kuva 8: REME-ilmanpuhdistajan asennus ja toimintaperiaate (REME Brochure 2014).

Puhdistava plasma muodostuu ilmassa esiintyvistä hapettajista ja ilman kosteudesta. Hapettajia ovat jo aikaisemmin mainitut otsoni, vetyperoksidi ja UV-valo. Lisäksi prosessissa syntyy muita lyhytaikaisia välituotteita, kuten hydroksyyliiradikaaleja. Kaikki kennon tuottamat hapettajat ovat kaasumaisessa muodossa ja lopuksi hajoavat hapeksi ja vedyksi. REME-kennossa tapahtuvaan prosessiin ei lisätä ylimääräisiä kemikaaleja, vaan kaikkia hapettajia ja prosessissa syntyviä sivutuotteita esiintyy luonnollisesti myös ulkoilmassa. (Norketek Oy:n www-sivut 2014; Franken 2011.)

6.3 Tehokkuus

6.3.1 MRSA-virus ja home

AOT-teknologian vaikutusta mikrobiologisten pitoisuuksien vähenemiseen terveydenhuoltorakennuksissa tutkittiin vuonna 2011 Laurence Franken kirjoittamassa tohtorin tutkinnon väitöskirjassa *Advanced Oxidation Treatment in a Health Care Building for Reducing Microbiological Populations in the Air and on Surfaces*. Tehdyissä tutkimuksissa haluttiin selvittää, vähentääkö päivittäinen 12 tunnin AOT-tekninen

käsittely, käyttäen PHI-yksiköitä, merkittävästi ilmassa ja pinnoilla esiintyviä mikrobiologisia hiukkasia. (Franken 2011.)

Tutkittavat mikrobit olivat ilmassa esiintyvä home sekä pinoilla tutkittava MRSA-virus. Lisäksi pinoilla tutkittiin *Staphylococcus aureus* -bakteeria sekä *Pseudomonas*-bakteeria, jotka voivat muun muassa aiheuttaa keuhkokuumetta. Kaikkia mahdollisia bakteereita ja viruksia ei ollut järkevää tutkimuksessa tutkia, joten valitut mikrobit simuloivat muita bakteereita, joita voi rakennuksesta löytyä. (Franken 2011, 77.)

Tutkimus suoritettiin Wyandotte County Health Department -sairaalan kahdella poliklinikalla Kansasissa Yhdysvalloissa. Tutkimukset tapahtuivat kolmikerroksisen rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa. Rakennuksessa on keskitetty ilmanvaihto ja lämpötila pyrittiin pitämään koko ajan noin 22 °C:ssa. Tutkittavia huoneita olivat rakennuksen pohjoispuolella sijaitseva potilaiden odotushuone, pediatriiset testihuoneet, yleiset klinikan tutkintahuoneet sekä rakennuksen eteläpuolella olevat hoitajien toimistotilat. (Franken 2011, 77 - 79.)

Rakennukseen asennettiin yhteensä 4 PHI-yksikköä rakennuksen ensimmäiseen kerrokseen siten, että jokaista noin 280 m² kohden oli yksi laite. Laitteet olivat päällä 12 tuntia päivässä. Laitteiden puhdistustehoa tutkittiin erilaisilla etäisyyksillä laitteista. Puhdistustehoa ilmaperäisiä mikrobeja kohtaan arvioitiin noin 1,5; 3, 6, 9 ja 12 metrin etäisyyksiltä. Pinnoilla esiintyviin mikrobeihin kohdistuvaa puhdistustehoa arvioitiin kahdella vyöhykkeellä. Ensimmäinen vyöhyke oli 0 - 6 metrin etäisyydellä PHI-yksiköstä ja toinen vyöhyke 6 - 12 metrin etäisyydellä. Tutkittaviksi pinnoiksi valittiin yleisesti huoneista löytyviä pintoja, kuten pöytiä ja tuoleja. (Franken 2011, 76 - 78.)

Tutkimuksessa suoritettiin verrokkimittaukset ennen PHI-yksiköiden asentamista. Mittaukset suoritettiin kolmena eri päivänä saman viikon aikana. Tämän jälkeen mittauksia suoritettiin päivinä 5, 10, 20 ja 30 laitteiden asentamisen ja puhdistuksen aloittamisesta. Laitteet olivat käynnissä 12 tuntia päivässä, mutta eivät klinikoiden aukioloaikoina. Ilmanäytteet kerättiin mekaanisella ilmakeräimellä, joka sattumanva-

raisesti imi ilmaa huoneesta. Yksi näyte kerättiin 100 litrasta ilmaa. Jokaisella etäisyydellä suoritettiin kaksi näytteen ottoa. Yhteensä ilmanäytteitä kerättiin koko tutkimuksen aikana 210. Pintanäytteet otettiin pyyhkäisemällä samojen tilojen pintoja ja aikaisemmin mainituilta etäisyyksiltä. Näytteenotto suoritettiin samoina ajankohtina ilmanäytteiden kanssa ja yhteensä pintanäytteitä kerättiin 252. Näytteet viljeltiin lopuksi laboratoriossa. (Franken 2011, 80 - 82.)

Tehtyjen mittausten ja niiden analysoinnin perusteella huomattiin tilastollisesti huomattava yhteneväisyys AOT-käsittelyn ja homeen, MRSA-viruksen ja muiden tutkittujen bakteerien vähenemisen välillä. AOT-käsittelyllä päästiin yli 90 %:n suuruisiin poistolukemiin mitatuilla alueilla. (Franken 2011, 121 - 124.)

6.3.2 Sikainfluenssa eli H1N1-virus

Lokakuussa 2009 suoritettiin tutkimus, jossa tutkittiin photohydroionisaation vaikutusta H1N1- eli sikainfluenssavirukseen ruostumattomilla teräspinnoilla. Tutkimuksen suoritti Kansasin State -yliopisto laboratorio-olosuhteissa.

Tutkimus suoritettiin testikammiossa. Kammio varustettiin PHI-laitteella kaksi tuntia ennen teräslevyjen tuomista kammioon. Näin olosuhteet saatiin tasapainoon. Tutkimuksessa käytettyjä ruostumattomia teräslevyjä oli 12 kappaletta, joihin kaikkiin oli viljelty H1N1-virusta. Mittaukset suoritettiin 0, 2, 4, 8, 12 ja 24 tunnin kohdilla. Tutkimuksessa suoritettiin myös verrokkitutkimus samassa testikammiossa, johon ei asennettu PHI-laitetta. Kammiossa mitattiin lämpötilaa, ilman kosteutta sekä otsoni- ja vetyperoksidipitoisuuksia. (Kansas State University 2009.) Tutkimuksesta saadut tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4: H1N1-viruksen keskiarvopitoisuudet teräslevyjen pinnoilla photohydroionisaatiokäsittelyn jälkeen mittaushetkillä (Kansas State University 2009).

Sample	<i>Influenza A H1N1</i> Treated with PHI Cell Log CFU/cm ²	<i>Influenza A H1N1</i> Control Log CFU/cm ²
Initial – 0 Time	6.5	6.7
2 Hours	3.9	6.7
4 Hours	1.4	6.6
6 Hours	BDL	6.1
8 Hours	BDL	5.9
12 Hours	BDL	6.0
24 Hours	BDL	6.1

Taulukosta 4 nähdään photohydroionisaation vaikutus H1N1-virukseen ruostumatomilla teräspinnoilla. Kuuden tunnin vaikutuksen jälkeen teräspinnoilla ei havaittu H1N1-virusta eikä viruksen uusiutumista havaittu 8, 12 ja 24 tunnin kohdalla. Verrokkitutkimuksen tulokset ovat taulukossa oikealla puolella. Otsonin pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,01 - 0,03 ppm, vetyperoksidin pitoisuudet olivat välillä 0,04 - 0,11 ppm, ilman suhteellinen kosteus vaihteli välillä 43 - 63 % sekä lämpötila vaihteli välillä 20,5 °C - 21,7 °C. (Kansas State University 2009.)

Tutkimus osoittaa, että PHI-käsittelyllä onnistuttiin tehokkaasti tuhoamaan H1N1-virusta testipinnoilta. Tutkimus kuitenkin suoritettiin laboratoriossa, joten tulokset voivat erota aidossa testiympäristössä.

6.3.3 Muita tuloksia

Edellä mainittujen tutkimusten lisäksi RGF Enviromental Groupin www-sivuilla on julkaistu muita tehtyjä tutkimuksia, joissa on tutkittu AOT-laitteiden tehoa.

C&W Engineering -insinööritoimisto suoritti tutkimuksen, jossa arvioitiin AOT-tekniikan vaikutusta hajuihin. Tutkittavia hajuja olivat puhdistuskemikaalit, lemmitteistä lähtöisin olevat hajut sekä hajuvesien tuoksut. Testi suoritettiin kahdessa noin 14 m³ kokoisessa testikammiossa ja kymmenhenkinen raati arvioi hajujen voimakkuutta aistinvaraisesti ennen ja jälkeen AOT-käsittelyn. Tuloksiksi saatiin, että

AOT-käsittely onnistui vähentämään puhdistuskemikaalien hajujäämiä 55 %, lemmeikeistä lähteviä hajuja 72 % ja 63 % hajuvesien tuoksuista 24 tunnin aikana. (RGF Testitulokset 2009.)

C&W Engineering -insinööritoimisto suoritti myös toisen tutkimuksen, joka koski tupakansavun hajuja ja savun partikkeleita. Tutkimus suoritettiin samalla tavalla kuin edellä mainittu paitsi, että savupartikkeleita mitattiin laserhiukkaslaskimella. Kymmenhenkisen hajuraadin mukaan AOT-teknologia vähensi tupakan hajua 70 % vuorokauden aikana. Laseria käyttäneellä hiukkaslaskimella mitattujen arvojen pohjalta todettiin, että savuhiukkaset olivat vähentyneet 25 % vuorokauden aikana. (RGF Testitulokset 2009.)

6.4 Turvallisuus

Edellä mainitut tutkimukset osoittavat, että AOT-teknologialla pystytään vähentämään viruksia ja bakteereita, kemikaalijäämiä, hajuja sekä hometta tehokkaasti. On myös tärkeää tietää, onko laitetta turvallista käyttää, varsinkin kun on kyseessä otsonia ja UV-säteilyä hyödyntävä teknologia.

Otsonin työperäiselle altistumiselle on annettu Suomessa haitalliseksi tunnettu pitoisuus: HTP-arvo 0,05 ppm kahdeksan tunnin altistumisjaksoa kohti. Työterveyslaitoksen raportissa vuonna 2004 (5230-2004-22756 B) mitattiin 56 m³:n testihuoneessa otsonipitoisuudeksi 0,03 - 0,04 ppm AOT-ilmanpuhdistajan ollessa käynnissä. Testi kuitenkin suoritettiin laitteilla, jotka ovat jo poistuneet tuotannosta. (Norketek Oy:n www-sivut 2014.)

Vetyperoksidia esiintyy ilmassa luonnollisesti ja se hajoaa melko nopeasti vedeksi ja hapeksi. AOT-teknologian ilmanpuhdistusprosesseissa syntyy vetyperoksidia noin 0,01 ppm. Ihmiselle ärsytystä aiheuttaa 0,05 - 0,08 ppm ja 0,08 - 0,5 ppm on terveydelle haitallista. Lisäksi RGF:n mukaan koskaan ei ole raportoitu vetyperoksidien aiheuttavan terveysriskiä. (Norketek Oy:n www-sivut 2014.)

7 TUTKIMUSKOhteET

7.1 Päiväkoti

Yksi tämän opinnäytetyön tarkasteltavista kohteista on päiväkodin laajennusosa. Laajennuksen hyötyala on 856 neliömetriä. Päiväkoti on otettu käyttöön syksyllä 2012. (Uusitalo 2013, 25).

Päiväkodissa on viisi lasten hoitoryhmää, joista yksi on vuorohoitoryhmä. Yhdessä ryhmässä on suunniteltu olevan samaan aikaan maksimissaan 21 lasta ja tarvittava henkilökunta. Ryhmät on suunniteltu toistensa kanssa lähes samanlaisiksi. Ryhmät 1, 2, 3 ja 4 ovat identtiset lukuun ottamatta 1. ryhmän märkäeteisessä sijaitsevaa pientä wc:tä. Ryhmät koostuvat lepoahuoneesta, ryhmähuoneesta, pienryhmähuoneesta, märkäeteisestä, eteisestä, wc:stä, varastosta ja teknisestä tilasta. Kunkin ryhmän pinta-alaksi muodostuu 125 m². Viidennessä ryhmässä eli vuororyhmässä on edellisten huoneiden lisäksi henkilökunnan vessa ja pieni wc-tila märkäeteisessä, kuten 1. ryhmässä. Ryhmän 5 pinta-ala on 123,2 m². (Uusitalo 2013, 25).

Tässä opinnäytetyössä tullaan tarkastelemaan tarkemmin ryhmien 1 ja 2 ilmanvaihtoa ja -koneita. Ryhmät 1 ja 2 toimivat muiden ryhmien referenssitiloina.

7.1.1 Ilmastointi

Päiväkodissa käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Jokaisessa ryhmässä sijaitsee oma ilmanvaihtokone. Ilmanjako hoidetaan sekoittavan ilmanvaihdon periaatteen mukaan. Sekoittavassa ilmanjaossa pyritään tuloilma sekoittamaan huoneilmaan mahdollisimman tehokkaasti. Tämä saadaan aikaan ilmasuihkuilla, joiden nopeus heti tuloilmalaitteen jälkeen on suuri. Suihku tunkeutuu syvälle huoneilmaan ja samalla huoneilma sekoittuu tuloilmaan. Näin huoneeseen saadaan tasaiset olosuhteet.

Sekoittava ilmanjako soveltuu erityisesti tiloihin, joissa ei ole voimakkaita paikallisia epäpuhtauslähteitä. (Seppänen & Seppänen 1997, 194.)

Päiväkodin ilmastointi on toteutettu muuttuvailmavirta- eli MIV-järjestelmällä. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmavirta ei ole vakio vaan voi muuttua käytön aikana. Järjestelmän huoneyksikölle ohjataan vakiolämpöistä ilmaa, joka on aina kylmempää kuin huoneilma. Huonelämpötilan hallinta tapahtuu ilmavirtaa muuttamalla: ilmavirran kasvaessa huoneeseen tuleva jäähdytysteho kasvaa. MIV-ilmastointi sopii kohteisiin, joissa lämpökuormat ovat suuret ja joilla on suuri vaihtelu erilaisissa käyttötilanteissa. (Seppänen, O ym. 2004, 59). Esimerkiksi päiväkodin hoitoryhmien henkilömäärän vaihteluihin muuttuvailmavirtajärjestelmä sopii erinomaisesti.

Päiväkodin ilmastointijärjestelmä on rakennettu toimimaan tarpeen mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmastointijärjestelmä toimii kohteen kuormituksen mukaan. Esimerkiksi ilmastointijärjestelmä ei tuhlaa samaa määrää energiaa tyhjän huoneen ilmanvaihtoon kuin järjestelmä käyttäisi täyden huoneen ilmanvaihtoon. Täten voidaan säästää energia ja kustannuksia. Mitattava kuormitus voi vaihdella käyttökohteen mukaan. Yleisimpiä seurattavia kuormituksia ovat lämpötila, henkilömäärä ja hiilidioksidipitoisuus. (Seppänen, O ym. 2004, 64).

Päiväkodissa kaikkien ryhmien lepo- ja ryhmähuoneisiin on asennettu sekä lämpötila- että hiilidioksidianturit, joiden mukaan ilmastointijärjestelmä säätelee tuloilmavirran suuruutta. Ilmavirtojen suuruuksia puolestaan säädetään käyttämällä kanavissa säätöpeltejä, jotka joko aukeavat tai sulkeutuvat riippuen antureiden ilmoittamista lämpötila- ja hiilidioksidipitoisuusarvoista.

7.1.2 Ilmanvaihtokoneet

Koska päiväkodin hoitoryhmät ovat suunnilleen samanlaiset, myös niiden ilmanvaihtotarpeet ovat samaa luokkaa. Näin ollen ilmanvaihtokoneet ovat lähes samanlaiset. Ryhmän 5 ilmanvaihtokone on hieman suurempi teholuokaltaan, mutta sen rakenne ja toimintaperiaate on sama kuin muiden ryhmien ilmanvaihtokoneissa.

Koneissa on lämmöntalteenotto eli LTO, joka on toteutettu levylämmönsiirtimellä. Levylämmönsiirtimessä ulko- ja poistoilmakanavat menevät ristiin ja poistoilmalla lämmitetään ulkoilmaa metallilevyn kautta. Ilmanvaihtokone on myös varustettu LTO:n ohituskanavalla kesäkautta varten, jolloin ulkoilma ei tarvitse lämmitystä. LTO:n jälkeen ovat lämmitys- ja jäähdytyspatterit, joilla ilma lämmitetään tai jäähdytetään haluttuun lämpötilaan, jos LTO:lla lämpötilaa ei saavuteta.

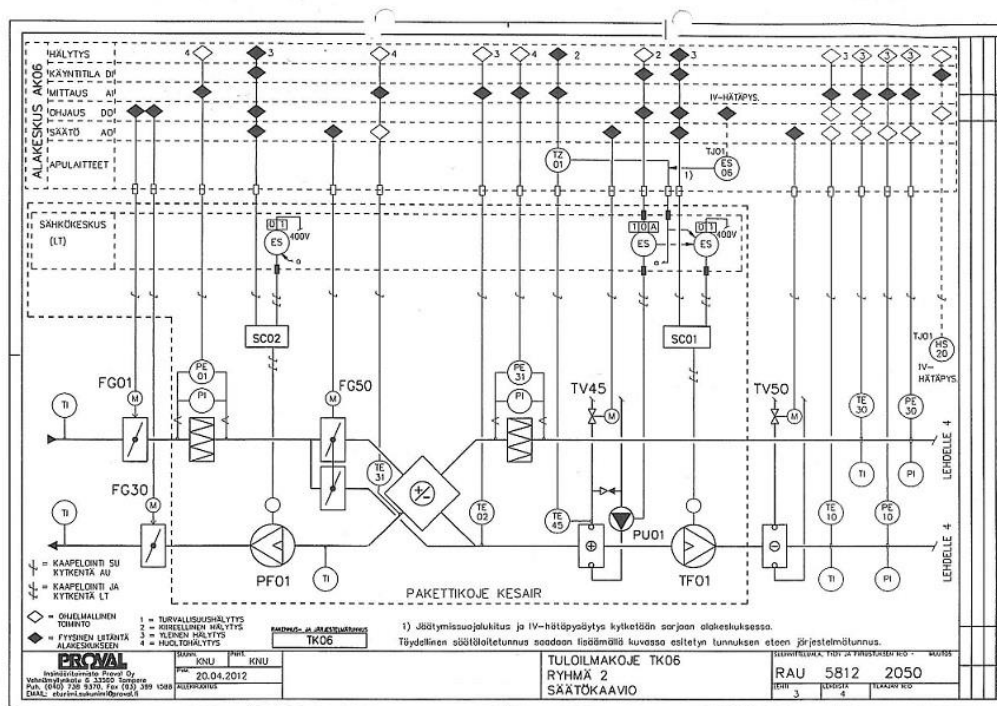
Ilmanvaihtokone on varusteltu hienojakoisilla suodattimilla. Ulkoilmakanavassa on EU7 eli F7 luokan suodatin, jonka erotusaste 0,4 µm partikkeleille on 80–90 %. Poistoilmakanavassa on EU5 eli F5 luokan suodatin, jonka erotusaste on samankokoisille partikkeleille 40–50%. Ilmansuodatinluokat on määritelty standardissa EN 779:2011 (Rehva 11 2011, 34). Molemmat suodattimet ovat sijoitettu tulo- ja poistoilmakanavaan ennen LTO:ta, jotta se likaantuisi mahdollisimman vähän.

Ulko- ja jäteilmakanavissa on tiiviit sulkupellit, jotta kylmä ulkoilma ei pääse valumaan vapaasti sisälle rakennukseen, kun ilmanvaihtokone on sammuksissa esimerkiksi sähkökatkoksen vuoksi. Ilmanvaihtokone on varustettu erilaisilla antureilla, jotka seuraavat ilmanvaihtokoneen osien painehäviöitä sekä ilman lämpötilaa niin ulkona kuin kanavissa.

7.1.3 Ilmanvaihdon suunnitteluarvot ja automatiikka

Ilmastointikoneen automaatio huolehtii koneen oikeanlaisesta toiminnasta. Se huolehtii ilmamäärien säädöstä, koneen käynnistyksestä ja pysäytyksestä sekä ilman lämmittämisestä, jäähdyttämisestä ja suodattamisesta. Ilmanvaihtokoneen automatiikkaa voidaan ohjalla tietokoneen avulla muuttamalla järjestelmän oletusarvoja. Järjestelmässä voidaan muuttaa käynnistys- ja pysäytysaikoja, puhallusilman lämpötiloja, ilmamääriä jne. Automaatiojärjestelmä huolehtii näiden asetusarvojen noudattamisesta ja sopeuttaa ilmastointikoneen toiminnan niiden mukaisiksi. Järjestelmässä on erilaisia mittausantureita, joiden antamiin mittaustietoihin järjestelmä vertaa käyttäjän asettamia asetusarvoja ja säättää ilmastointikoneen toimintaa. Automaatiojärjestelmän avulla voidaan helposti seurata ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa ja kerätä mahdollista raportointitietoa.

Päiväkodin ryhmien ilmastointikoneiden käyntiä ohjataan kuvassa 9 esitetyn säätökaavion mukaan. Ilmanvaihtokoneiden automaation toimintaa esitetään automaatiojärjestelmän ohjeissa, jotka löytyvät yleensä koneen läheisyydestä.



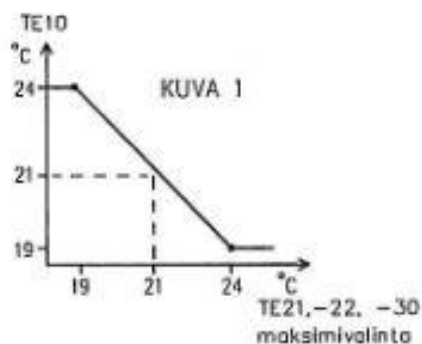
Kuva 9: Päiväkodin ilmanvaihtokoneiden säätökaavio

Ilmastointikoneet käynnistyvät ja pysähtyvät niille määritetyn aikaohjelman mukaisesti. Aikaohjelmaan on syötetty päiväkohtaiset käynnistys- ja pysäytysajat. Lisäksi normaalin käyttäjän ulkopuolella ilmastointikoneet saadaan kunkin ryhmän eteisessä sijaitsevalla ajastimella käyntiin määräajaksi, joka on maksimissaan neljä tuntia.

Poistopuhaltimen käynti on lukittu tuloilmapuhaltimen käyntiin. Joten jos toinen puhaltimista ei toimi tai ei käy johtuen muusta syystä, toinen puhallin pysähtyy myös. Lisäksi ilmastointikone ei voi käydä, mikäli lämmityspatterin kiertovesipumppu ei käy, jäätymissuoja tai palovaaratoiminto on lauennut tai IV-hätäpysäytyspainike on painettu päälle.

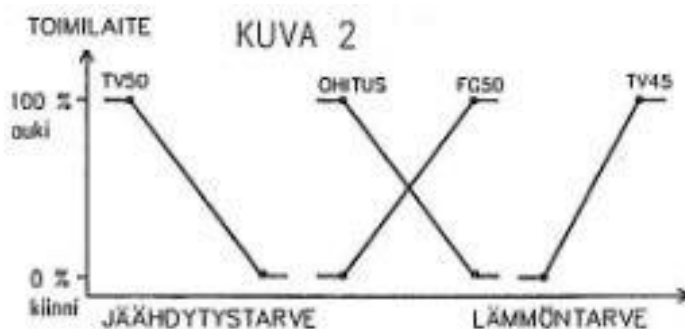
Ilmastointikoneen ollessa käynnissä tulo- ja poistoilmakanavassa olevat kanavaanturit mittaavat virtaavan ilman lämpötilaa ja vertaavat sitä annettuihin asetusarvoihin. Tuloilman lämpötila on poistoilmaohjattu kuvaajan 1 mukaisesti. Lämpötila-

anturi TE10 mittaa tuloilman lämpötilaa tuloilmakanavassa. Tuloilmaa pyritään lämmittämään tai jäädyttämään TE10:n antamaan asetusarvoon, joka puolestaan riippuu poistoilman lämpötila-anturin TE30 antamasta lämpötilalukemasta. Yleensä huoneen lämpötilan halutaan pysyvän arvossa 21 °C. Jos poistoilma laskee esimerkiksi arvoon 19 °C, tuloilma tulee lämmittää arvoon 24 °C, jotta huonelämpötila pysyy halutussa arvossa. Poistoilman lämmitessä tapahtuu päinvastainen säätö. Tuloilma ei kuitenkaan voi olla lämpimämpää kuin ylärajan asetusarvo 24 °C tai kylmempää kuin alarajan asetusarvo 19 °C.



Kuvaaja 1: Tuloilman lämpötilan säätökaavio

Tuloilman lämmitys tai jäädytys tapahtuu lämmitys- ja jäädytyspattereilla sekä lämmöntalteenotolla. Lämpötila-anturi TE10 säätää sarjassa lämmitys- ja jäädytyspatterien säätöventtiileitä TV45 ja TV50 sekä LTO:n pellistöä FG50 kuvaajan 2 osoittamalla tavalla. Jäädytystarpeen ollessa suurimmillaan, jäädytysventtiili TV50 sekä LTO:n ohituskanava ovat täysin auki. Tuloilman viilentyessä automatiikka säätää ensin jäädytysventtiiliä TV50 pienemmälle. Tämän jälkeen LTO:n ohitus sulkeutuu ja sulkupelti FG50 aukeaa, päästämällä ilman lämmöntalteenottoon. Lämmitystarpeen kasvaessa automaatiojärjestelmä säätää ensin lämmöntalteenottoa suuremmalle. Lämmöntalteenoton ollessa maksimiasennossa, järjestelmä lämmittää tuloilmaa lämmityspatterilla avaamalla lämmityslinjan moottoriventtiiliä TV45. Ulkoilman lämmitessä automatiikka säätää järjestelmää käänteisessä järjestyksessä.



Kuvaaja 2: Lämmitys- ja jäähdytysventtiilien sekä LTO:n pellistön säätökaavio

Hiilidioksidipitoisuus kasvaa sen mukaan, mitä enemmän ihmisiä tilassa on, kasvat-
taen tarvittavan ilman määrää. Ryhmä- ja lepohuoneissa sijaitsevien CO₂-antureiden
antamien arvojen perusteella automatiikka säätää ryhmä- ja lepohuoneiden tulo- ja
poistokanavassa sijaitsevia moottoripeltejä, jotka joko kuristavat tai suurentavat tule-
van ilman määrää. Pellit liikkuvat välillä 55 % - 100 %, jossa 100 % on täysin auki.
CO₂-pitoisuuden ollessa alaraja-arvossaan 500 ppm tai vähemmän, huoneiden moot-
toripellit ovat 55 % auki. Tällöin huoneessa toimii normaali ilmanvaihto. Hiilidioksi-
dipitoisuuden asetusarvoksi tilassa on määritetty 700 ppm. Tämä tarkoittaa sitä, että
hiilidioksidipitoisuuden lähentyessä arvoa 700 ppm automatiikka avaa moottoripelte-
jä päästämällä huoneeseen lisää ilmaa. Hiilidioksidipitoisuuden laskiessa selvästi alle
700 ppm moottoripellit sulkeutuvat takaisin minimiasentoonsa. Huoneiden yläraja-
arvoksi on asetettu 900 ppm, jota ei saa ylittää.

Ilmastointikoneiden tulo- ja poistoilmapuhaltimet ovat jatkuvasääteisiä. Puhaltimien
kierrosnopeuksia säädetään tulo- ja poistoilmakanavassa sijaitsevien paineanturien
PE10 ja PE30 avulla. Tulo- ja poistoilmakanaville on määritelty vakiopaineet. Esi-
merkiksi ryhmä- ja lepohuoneiden moottoripeltien kuristaessa huoneisiin menevää
ilmavirtaa, paine kanavissa kasvaa. PE10 ja PE30 arvojen perusteella automatiikka
pienentää puhaltimien kierrosnopeutta, jolloin ilmavirran suuruus pienenee ja kana-
vien paine laskee määriteltyyn asetusarvoon.

7.2 Sairaalaosasto

Tutkittava sairaalaosasto sijaitsee rakennuksen 1. kerroksessa. Osasto on jaettu kah-
deksi eri osastoksi L1A ja L1B. L1A-osastolla hoidetaan 0 - 16 -vuotiaita lapsia ja

nuoria, joilla on yleensä jokin tulehdussairaus. Suurin osa potilaista saapuu osastolle mihin vuorokauden aikaan tahansa tarvitessaan äkillistä sairaalahoitoa. Osastolla toteutetaan myös vastasairastuneiden diabeetikoiden alkuhoito, hoidon opetus ja ohjaus. Osastolla on 10 potilashuonetta.

L1B-osastolla puolestaan hoidetaan sairaita vastasyntyneitä, jotka tarvitsevat tehostettua tarkkailua ja hoitoa. Osastolla hoidetaan myös alle vuoden ikäisiä kirurgisia potilaita, tutkimuspotilaita ja jatkohoitoon muista sairaaloista tulevia potilaita. Osastolla on seitsemän potilashuonetta, joista yksi on kuuden hengen tehohoituhuone ja kuusi yhden tai kahden hengen potilashuoneita.

Koko osastolla sijaitsee potilashuoneiden lisäksi muun muassa lääkärin ja osastohoitajan huoneet, kaksi osastotoimistoa, kaksi osastokeittiötä, varastohuoneita sekä henkilökunnan huone.

7.2.1 Ilmastointi

Osaston ilmastointi hoidetaan kahdella tuloilmakoneella ja kolmella poistoilmakoneella. Samoilla koneilla hoidetaan myös rakennuksen muiden kerrosten ilmanvaihto. Tuloilmakone TK01 ja poistoilmakone PK01 hoitavat osaston toimistojen, sosiaalitoimistojen, käytävien yms. yleisten tilojen ilmanvaihdon. Tuloilmakone TK02 ja poistoilmakone PK02 puolestaan hoitavat kaikkien osaston potilashuoneiden ilmanvaihdon. WC:n, jätehuollon ja keittiöiden tilat on yhdistetty omaan poistoilmapuhaltimeen PK05.

Koneissa käytetään nestekiertoista lämmöntalteenottojärjestelmää, jossa poistoilmasta siirretään lämpöä tuloilmaan nesteen välityksellä. Poistoilmakone PK01 on kytketty tuloilmakoneeseen TK01. PK02 ja lisäksi PK05 on kytketty tuloilmakoneeseen TK02. LTO:n jälkeen tuloilmakoneissa on lämmitys- ja jäähdytyspatterit. Jokaisessa tuloilmakanavassa on lisäksi jälkilämmityspatterit, jotta huoneisiin menee varmasti oikean lämpöistä ilmaa.

8 MITTAUKSET

Päiväkodissa suoritettiin kenttämittauksia, joiden tarkoituksena oli selvittää päiväkodissa olevan tarpeenmukaisen ilmanvaihdon vaikutusta tilojen painesuhteisiin. Mittauksissa suoritettiin paine-eromittauksia ryhmän 2 ryhmä- ja lepohuoneen välillä sekä ryhmien 2 ja 1 välillä. Samaan aikaan päiväkodissa oli käynnissä ilman hiilidioksidipitoisuuden mittausta ja seuranta.

Päiväkodissa suoritettiin kaksi eri mittausta: lyhyt ja pitkä mittausta. Lyhyessä mittauksessa paine-eroja mitattiin 2.10.2014 noin 2,5 tunnin ajan, alkaen noin klo 12.00. Tarkoituksena oli tutkia miten ilmanvaihtojärjestelmä reagoi nopeisiin muutoksiin. Mittausväliksi asetettiin 10 sekuntia. Pitkässä mittauksessa mittalaitteet jätettiin päiväkotiin 23.9.2014 - 2.10.2014 ajaksi. Tarkoituksena oli seurata painesuhteiden muutoksia pidemmällä aikavälillä. Mittausväliksi asetettiin 10 minuuttia.

8.1 Mittauslaitteet

8.1.1 TSI Model 8710 DP-Calc -mikromanometri

Paine-eromittaukset suoritettiin kahdella TSI Model 8710 DP-Calc -mikromanometrillä, jotka on esitetty kuvassa 10. Mittari sopii muun muassa tarkastajille ja ilmastointimittauksien ammattilaiselle paine-eron, ilman nopeuden ja tilavuusvirran mittauksiin. Lisävarusteina mittariin saa myös esimerkiksi lämpötilan ja kosteuden anturit sekä staattisenpaineen anturin. Mittarissa on automaattinen nollaus-toiminto eli mittaria ei tarvitse kalibroida manuaalisesti jokaisen mittauslukeman välillä. Mittarilla voidaan suorittaa kertamittauksia ja siinä on dataloggausmahdollisuus pidemmän aikavälin mittauksia varten. Mittausdata voidaan siirtää tietokoneelle TSI:n LogDat2 -ohjelmalla. Mittarin mittausalue paine-ero mittauksissa on ± 3735 Pa ja mittaustarkkuus on $\pm 0,25$ Pa tai 2 % lukemasta. (TSI www-sivut 2014; Teknocalor www-sivut 2014.)



Kuva 10: Mittalaitteet: Mikromanometrit ja ilmaletkua. Kiinnityksessä käytettiin kaksipuolista teippiä ja maalarinteippiä.

8.1.2 Wirepas-mittari

Paine-ero mittauksien aikana ryhmissä 1 ja 2 seurattiin myös CO₂-pitoisuutta, ilman suhteellista kosteutta sekä huoneilman lämpötilaa. Seuranta suoritettiin Wirepas Oy:n langattomilla mittauslaitteilla. Langaton mittari on esitetty kuvassa 11. CO₂-pitoisuuden ja lämpötilan seurannan avulla voidaan arvioida miten ihmiset sijoittuivat tiloissa paine-eromittausten aikaan. Suuri hiilidioksidipitoisuus viittaa siihen, että tilassa on ihmisiä. Tällöin tilaan tuleva ilmamäärä kasvaa ja mahdollisesti paine-erot muuttuvat eri tilojen välillä. Lisäksi seurannasta nähdään, toimiiko ilmastointijärjestelmä suunnitellulla tavalla. Wirepas CO₂ -antureita oli asennettu yksi kappale molempien ryhmien ryhmähuoneisiin.



Kuva 11: Wirepas CO₂ -anturi ryhmän 2 ryhmähuoneessa (oikealla)

Wirepas-mittalaitteet muodostavat keskenään mittausverkon kytkeytymällä toisiinsa mesh-tekniikan avulla. Mittalaitteet on valmiiksi ohjelmoitu liittymään mittausverkkoon automaattisesti, joten uusia mittalaitteita on helppo lisätä. Samalla antureiden muodostaman verkon peittoalue kasvaa. Jos jokin mittauslaite vikaantuu, muut mittalaitteet pyrkivät uudelleenreitittämään mittausdatan lähetyksen muiden mittalaitteiden kautta gateway-laitteelle, joka lähettää tiedon edelleen tietokoneelle. Jos yhteys katkeaa verkon sisällä, voi jokainen mittalaite tallentaa mittausdatansa muistiinsa ja lähettää sen eteenpäin heti, kun yhteys verkkoon on palautunut. (Kukka 2012, 38.)

Wirepas-mittalaitteet käyttävät tiedonsiirtoon 2,4 GHz:n taajuuskaistaa, jolla voidaan saavuttaa olosuhteista riippuen 10–50m kantama. Wirepas Oy:ltä löytyy monia eri mittauksia varten suunnattuja antureita, joista asiakas voi koota haluamansa kokonaisuuden tarpeidensa mukaan. Yksi mittalaite voi sisältää jopa seitsemän anturia.

Tässä tutkimuksessa tarvitaan kuitenkin vain CO₂-pitoisuuden mittausta, joten muuta mittausdataa ei käsitellä. CO₂-anturin mittausalue on 0–2000 ppm ja tarkkuus ± 50 ppm +2 %. (Kukka 2012, 38–39.)

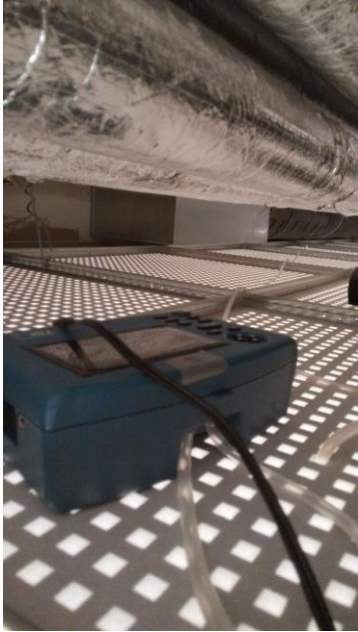
8.2 Mittausjärjestelyt

Koska päiväkodissa työskenneltiin normaalisti mittausten aikana, tuli mittaukset suorittaa mahdollisimman huomaamattomasti ja päiväkodin rutiinia häiritsemättä. Varsinkin ilmaletkut, joiden kautta ilma kulkeutui mitattavista tiloista mikromanometriin, tuli kiinnittää mahdollisimman ylös, jotta lapset eivät päässeet niihin käsiksi. Mittareiden asennuksia on esitetty kuvissa 12 – 15.

Ryhmä- ja lepohuoneen väliset mittaukset suoritettiin ryhmässä 2. Mikromanometri sijoitettiin ryhmähuoneen alaslasketun katon päälle samaan tilaan ilmastointikanavien kanssa. Ilmaletku vietiin alaslaskettua kattoa pitkin lepohuoneen ovelle. Letku vietiin oven karmeja pitkin oven ali lepohuoneeseen. Letkun pää kiinnitettiin lopuksi oven yläpuolelle. Toinen ilmaletku asennettiin alaslasketun katon läpi ryhmähuoneeseen. Letkujen päät pyrittiin kiinnittämään samalle korkeudelle, jotta paine-eroa mitattaisiin samoissa olosuhteissa.

Ryhmän 1 ja 2 välisissä mittauksissa mikromanometri kiinnitettiin ryhmän 2 puolella sijaitsevaan varastotilaan. Varastotilasta ilmaletkut vietiin ryhmän 2 eteiseen ja toinen letkuista edelleen alaslasketun katon kautta ryhmän 1 eteiseen.

Lopuksi mittareihin asetettiin halutut mittausvälit ja arvot. Pidemmät mittaukset kestivät noin viikon, jonka jälkeen suoritettiin lyhyet mittaukset. Nämä mittaukset kestivät noin 2,5 tuntia, jonka aikana lapset nukkuivat lepohuoneessa ja myöhemmin siirtyivät ryhmähuoneen puolelle.



Kuva 12: Mikromanometri alaslasketun katon päällä. Ilmaletkun vienti ryhmän 2 lepohuoneeseen.



Kuva 13: Ryhmään 2 sijoitetun mikromanometrin asennuspaikka.



Kuva 14: Toinen mikromanometri ryhmän 2 varastohuoneessa. Ilmaletkut vietiin ryhmän 2 ja 1 eteisiin varastohuoneen oven alta.

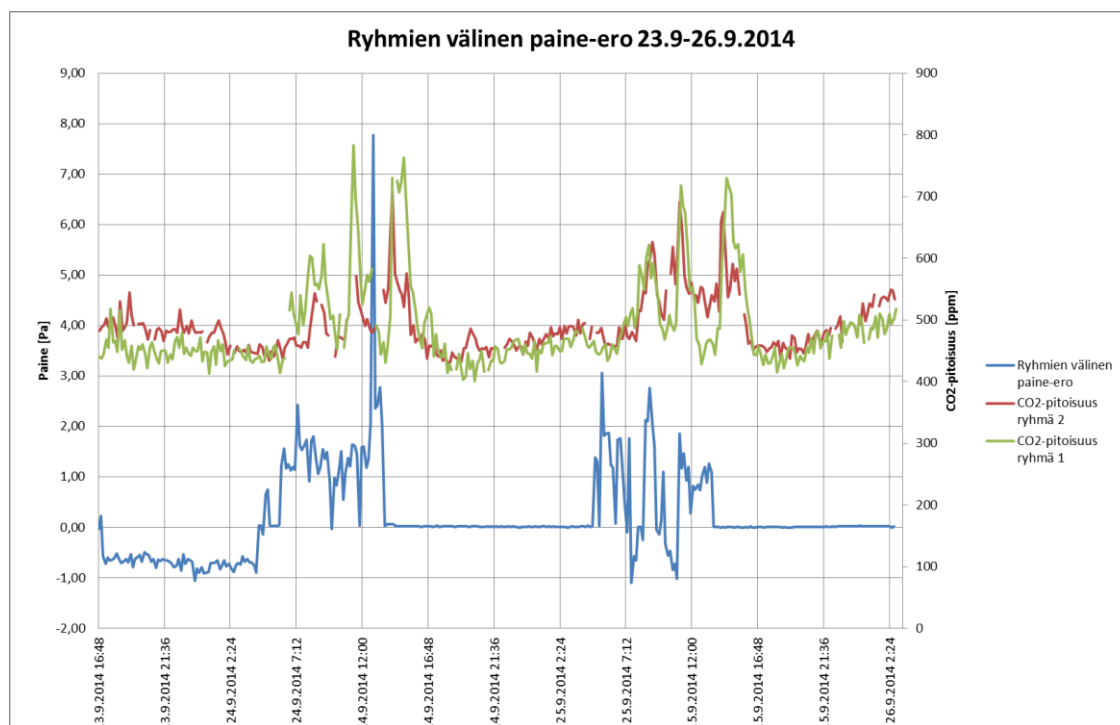


Kuva 15: Ilmaletkujen vienti ovilistoja pitkin.

9 TULOKSET JA TULOKSIEN ANALYSOINTI

Mittausdata siirrettiin mittareista tietokoneelle LogDat-ohjelmalla. Tiedonsiirrossa ilmeni ongelmia, joiden vuoksi osa molempien mittausten mittausdatasta oli käyttökelvotonta. Mittausdataa saatiin kuitenkin tarpeeksi analysointia varten. Mittausdatasta haluttiin saada selville, vaikuttaako tarpeenmukainen ilmanvaihto tilojen painesuhteisiin, ja jos vaikuttaa, niin kuinka voimakkaasti. Lisäksi haluttiin arvioida, toimiiko ilmastointi halutulla tavalla. Mittausdatasta tehtiin kuvaajat, joilla voidaan havainnollistaa tilojen painesuhteita.

9.1 Pitkäkestoiset mittaukset

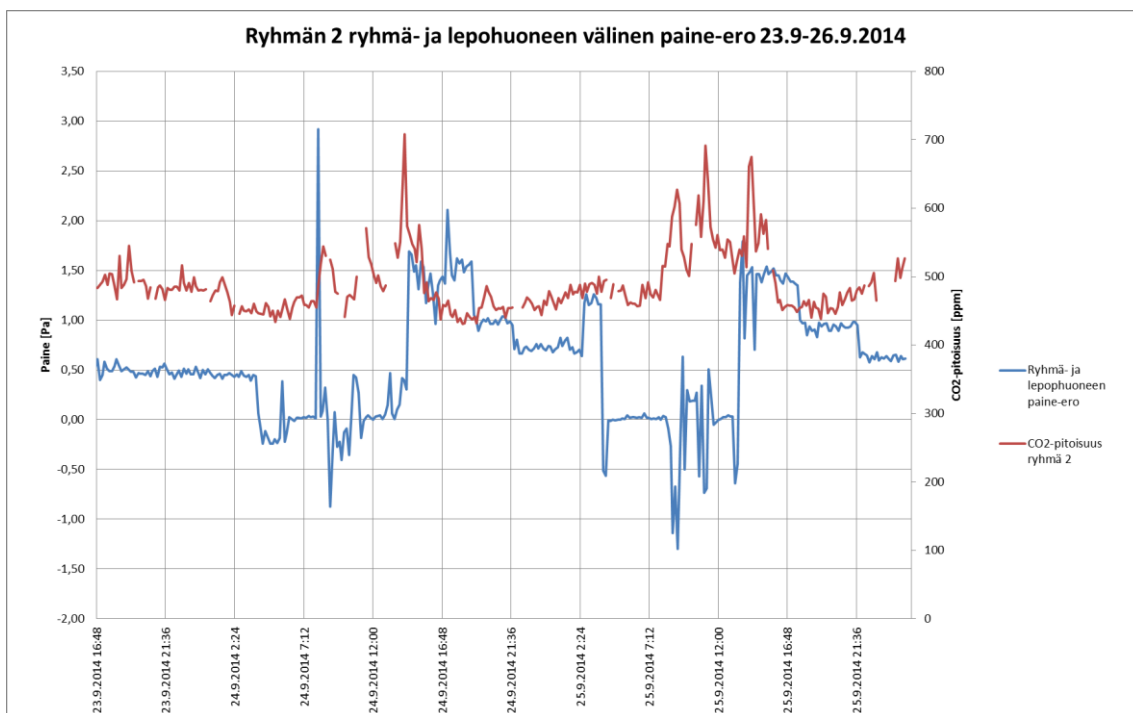


Kuvaaja 3: Ryhmän 1 eteisen ja ryhmän 2 eteisen välinen paine-ero 23.9–26.9.2014

Kuvaajassa 3 on esitetty ryhmien välinen paine-ero eteisten välioven yli välillä 23.9.–26.9.2014. Vaaka-akselilla on esitetty päivämäärä ja sen perässä kellonaika. Vasen pystyakseli osoittaa paine-eron Pascaleina ja oikea pystyakseli puolestaan CO₂-pitoisuutta. CO₂-pitoisuudet on mitattu kunkin ryhmän ryhmähuoneesta. CO₂-pitoisuuskäyrillä voidaan arvioida tilojen kuormitusta ja verrata niitä painesuhteen käyttäytymiseen.

Kuvaajasta voidaan huomata, että ryhmien välillä on vallinnut pieni paine-ero, noin 1 Pa:n suuruinen, 23.9. yöllä. Tämä johtuu siitä, että ryhmästä 1 poistetaan enemmän ilmaa märkäeteisen vessan vuoksi. Kuitenkin 24.9 ja 25.9 paine-ero on ollut lähes 0 Pa. Todennäköisesti ryhmien välinen ovi on jätetty auki, jolloin paine on tasaantunut. Ryhmään 1 ensimmäinen lapsi saapui noin klo 6.15 ja ryhmään 2 noin klo 6.40. Olettavasti päiväkotiin saapuu työntekijöitä aikaisemmin, mikä selittää aamun CO₂-pitoisuuksien ja paine-eron vaihtelun. Viimeinen lapsi lähti ryhmästä 1 noin klo 15.30 ja ryhmästä 2 noin klo 15.40, jonka jälkeen ryhmiin tulivat siistijät.

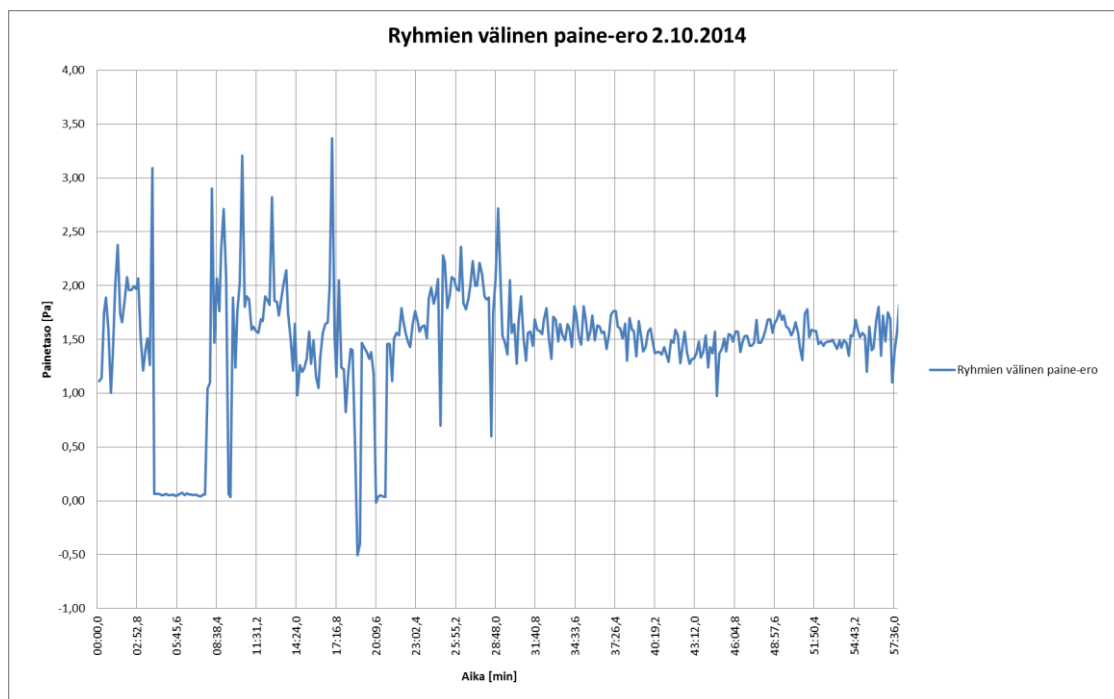
Yleisesti mittausjakson aikana paine-suhteen vaihtelut eivät ole suuria. Keskimäärin painesuhde vaihteli välillä -1,1 Pa – 3,1 Pa. Kuitenkin 24.9. hieman ennen klo 13.00 ryhmien välillä oli lähes 8 Pa:n suuruinen paine-ero. Tämä voi johtua siitä, että toisessa ryhmässä on ollut enemmän kuormitusta, jolloin myös ilmanvaihto on ollut suurempi kuin toisessa ryhmässä. Tällöin ilmaa voi siirtyä ryhmästä toiseen. Kuvaajasta ei kuitenkaan voida sanoa tarkasti miten ilmanvaihtojärjestelmä säätyy. Mittauslukemat on otettu 10 minuutin välein, jonka aikana paine-ero ja CO₂-pitoisuudet ovat voineet vaihdella enemmänkin. Kuvaajan perusteella voidaan kuitenkin todeta, että ilmaa on liikkunut molempiin suuntiin ryhmien välillä. Lisäksi mittauksien aikana CO₂-pitoisuus ei ylitä yläraja-arvoa 900 ppm, joten tilojen ilmastointi toimii halutulla tavalla.



Kuvaaja 4: Ryhmän 2 ryhmä- ja lepohuoneen välinen paine-ero 23.9–26.9.2014

Kuvaajassa 4 on esitetty ryhmän 2 ryhmä- ja lepohuoneen välinen paine-ero samalla aikavälillä kuin edellä. Ryhmä- ja lepohuoneiden välinen paine-ero vaihtelee keskimäärin samalla välillä kuin ryhmän 1 ja 2 välillä. Tilojen välistä ovea pidetään yleensä kiinni, jolloin tilojen välille syntyy paineentason vaihtelua. Kuvaajasta nähdään, että myös ryhmä- ja lepohuoneen välillä painetaso vaihtelee ylipaineesta alipaineeseen, joten ilma liikkuu molempiin suuntiin tilojen välillä.

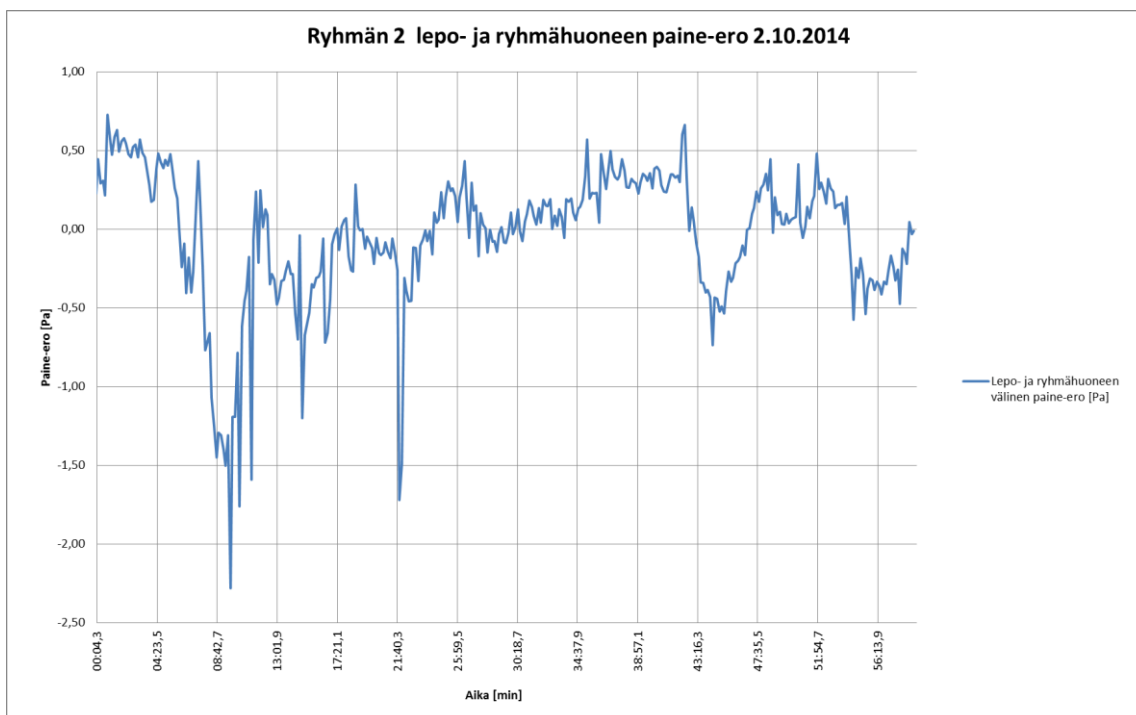
9.2 Lyhytkestoiset mittaukset



Kuvaaja 5: Ryhmän 1 ja 2 välinen paine-ero 2.10.2014

Kuvaajassa 5 on esitetty ryhmän 1 ja 2 välinen paine-ero 2.10.2014. Mittaukset aloitettiin noin klo 12.00 ja ne kestivät noin 2,5 tuntia. Osa mittausdatasta oli kuitenkin käyttökeltvotonta, joten kuvaajassa näkyy paine-ero noin tunnin ajalta eli noin klo 12.00- 13.00. Mittauslukemat otettiin 10 sekunnin välein. Kuvaajan vaaka-akselilla on esitetty aika minuutteina ja pystyakselilla paine-ero Pascaleina. Mittausten aikana lapset nukkuivat lepoahuoneissa.

Ryhmiä välisessä paine-erossa ei tapahdu suuria muutoksia. Toinen ryhmistä on lähes koko ajan ylipaineinen mittauksen aikana. Paine-ero vaihtelee välillä noin 3,5 Pa - -0,5 Pa. Ensimmäisen puolen tunnin aikana tapahtuva vaihtelu johtuu todennäköisesti ryhmien välillä tapahtuneesta liikkumisesta ja ovien availusta. Tämän vuoksi kuvaajasta ei pysty arvioimaan kuinka nopeasti ilmanvaihto kykenee reagoimaan tilojen muuttuneisiin olosuhteisiin.



Kuvaaja 6: Ryhmän 2 ryhmä- ja lepo huoneen välinen paine-ero 2.10.2014

Kuvaajassa 6 on esitetty puolestaan ryhmän 2 ryhmä- ja lepo huoneen välinen paine-ero tunnin ajalta klo 12.00–13.00. Mittauksen aikana lapset olivat nukkumassa lepo huoneessa. Paine-eron suuruus vaihteli välillä -2,3 Pa - 0,73 Pa. Ryhmä- ja lepo huoneen välillä ilman liikkumissuunta vaihteli enemmän kuin ryhmien 1 ja 2 välillä. Ilmaa liikkui selvästi tilojen välillä molempiin suuntiin.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia sisäilmaston ja ilmanvaihdon vaikutusta rakennuksen hygieniaan. Tutkimuskohteina toimivat Satakunnassa sijaitsevat päiväkotit ja sairaala. Päiväkodissa tarkoituksena oli tutkia kenttämittauksin vaikuttaako tarpeenmukainen ilmanvaihto rakennuksen sisäilman liikkeisiin. Sairaalassa suoritettiin kirjallisuustutkimus sairaalan ilmanvaihtokoneeseen asennetuista ilmanpuhdistajista. Lisäksi pyrittiin selvittämään rakennuksen ulko- ja sisä rakenteiden tiiveyden vaikutusta ilmanvaihtoon ja sisäilmastoon, selostamaan kohteiden ilmanvaihtojärjestelmien toimintaa sekä kokoamaan sisäilmaa ja ilmanvaihtoa koskevia määräyksiä ja ohjeita sairaaloiden ja päiväkotien kannalta.

Työn tavoitteissa onnistuttiin suhteellisen hyvin. Kaikkia suunniteltuja mittauksia ei voitu suorittaa aikataulullisista ja teknisistä syistä. Lisäksi osa mittaustuloksista oli käyttökelvottomia mahdollisesti jonkinlaisen virhetoiminnon vuoksi. Työssä onnistuttiin raportoimaan kohteiden ilmanvaihtojärjestelmiä ja niiden toimintaa. Tietojen pohjalta on hyvä lähteä suorittamaan mahdollisia jatkoselvityksiä tai käyttämään aineistoa aihetta koskevissa tutkimuksissa.

Kenttämittauksissa päiväkodissa mitattiin paine-eroja ryhmien 1 ja 2 välillä sekä ryhmä- ja lepohuoneen välillä ryhmässä 2. Paine-eroja mitattiin sekä pitkäaikaisesti että lyhytaikaisesti. Ryhmä- ja lepohuoneissa oli tarpeenmukainen ilmanvaihto hiili-dioksidipitoisuusohjauksella. Mittaustulosten perusteella todettiin, että ilmaa virtaa ryhmä- ja lepohuoneen välillä molempiin suuntiin riippuen tilojen kuormituksesta. Paine-eron suuruus ei kuitenkaan ollut suurta, mikä pienentää huoneesta toiseen liikkuvan ilman määrää. Lisäksi ilman liikkuminen ryhmän sisällä ei välttämättä ole niin merkittävää mikrobien leviämisen kannalta, koska ryhmän sisällä ihmiset ovat kuitenkin paljon tekemisissä keskenään.

Ryhmien 1 ja 2 välillä ilmeni myös paine-eroa. Ryhmästä 1 poistetaan kokonaisuudessaan enemmän ilmaa kuin ryhmästä 2, joten ryhmä 2 on hieman ylipaineinen

ryhmään 1 nähden. Mittaustuloksista huomattiin, että päivän aikana myös ryhmä 2 oli alipaineinen ryhmään 1 nähden. Ilmaa siis liikkui ryhmien välillä molempiin suuntiin, vaikkakin paine-erot eivät olleet kovinkaan suuria. Ilman liikkeitä ryhmien välillä olisi hyvä ottaa paremmin huomioon ilmanvaihdon säädössä ja suunnittelussa. Paine-erojen minimoinnilla voitaisiin vähentää ilmajäliteiden taudinaiheuttajien leviäminen ryhmien välillä.

Ilmanvaihdon oikeanlaiseen toimintaan ja ilman liikkeisiin rakennuksen sisällä vaikuttaa rakennuksen sisä- ja ulkoilmavaihtojen tiiveys. Sisä- ja ulkoilmavaihtojen tiiveydelle ei ole annettu erillisiä ohjeita. Sisä- ja ulkoilmavaihtajat tulisi kuitenkin tiivistää samoin periaattein kuin ulkoilmavaihtajat. Huonosti tiivistetyt sisä- ja ulkoilmavaihtajat päästävät hajuja, mikrobeja ja muita epäpuhtauksia leviämään rakennuksessa. Tiivistämättömien sisä- ja ulkoilmavaihtajien vuoksi ilmanvaihto ei välttämättä toimi suunnitellulla tavalla. Tiivistämällä sisä- ja ulkoilmavaihtajien vuotokohtia paremmin voitaisiin vaikuttaa enemmän ilman liikkeisiin ja ohjata liikkeistä ilmaa haluttuihin tiloihin, joista se sitten poistetaan. Sairaaloissa on kiinnitetty sisä- ja ulkoilmavaihtajien tiiveyteen enemmän huomiota eristystilojen osalta. On tärkeää, että eristystila pitää epäpuhtaudet sisällään tai ulkopuolella, riippuen tilan käyttötarkoituksesta. Samanlaista periaatetta voitaisiin jossain määrin hyödyntää myös esimerkiksi koulu-, päiväkotij- ja toimistorakennuksissa, joissa työskentelee runsaasti ihmisiä samaan aikaan.

Ilmanvaihdon toimintaan ja yleisesti rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaa myös ulkoilmavaihtajien tiiveys. Mikäli ulkoilmavaihtajissa on paljon vuotokohtia, sisä- ja ulkoilmavaihtajien välille muodostuva termien paine-ero eli savupiippuvaikutus voimistuu. Pahimmassa tapauksessa tilasta tai rakennuksen osasta tulee ylipaineinen, jolloin sisäilma voi tiivistyä ulkoilmavaihtajien rakenteisiin luodon kosteusongelman. Lisäksi liiallinen ylipaine voi kääntää ilmanvaihdon toiminnan päinvastaiseksi.

Päiväkodissa sisä- ja ulkoilmavaihtajien tiiveyttä arvioitiin silmämääräisesti, eikä rakenteiden tiiveydessä huomattu puutteita. Ovien ja ikkunoiden tiivisteet olivat ehjiä sekä putki- ja sähköläpiviennit oli eristetty. Tiiveyttä voitaisiin selvittää paremmin esimerkiksi savu- tai merkkiainekokeilla. Päiväkodin ulkoilmavaihtajien tiiveys oli tyydyttävää luokkaa. Ulkoilmavaihtajien tiiveyteen pystytään parhaiten vaikuttamaan huolellisella rakentamisella.

Puhdasta sisäilmaa voidaan tuottaa ilmanvaihdon lisäksi erilaisilla ilmanpuhdistajilla, jotka hyödyntävät muun muassa UV-valoa, sähköä ja suodattimia. Sairaalan ilmanvaihtokoneeseen asennetut REME-kennot hyödynsivät Suomessa varsin tuntematonta tekniikka puhdistukseen ilmaa. REME-kennoja ja vastaavia laitteita on käytetty muualla maailmassa jo hetken aikaa. Yleisesti kyseisestä teknologiasta tehdyt tutkimukset ja niiden tulokset ovat olleet hyviä. REME-kennon on kerrottu puhdistavan ilman lisäksi myös pintojen epäpuhtauksia. Epäpuhtauksien poistoprosenttien on luvattu olevan erittäin korkeita eikä laitteiden ei ole raportoitu aiheuttaneen terveydellistä haittaa. REME-kenno ja sen käyttämä teknologia voisi olla hyvä osa HYGTECH-konseptia. Laitteelle olisi kuitenkin hyvä suorittaa lisää kenttäkokeita Suomen olosuhteissa, jotta varmistuttaisiin laitteen antamista lupauksista.

LÄHTEET

Aho, H. & Korpi, M. (toim.) 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka, tutkimusraportti 141. Viitattu 21.9.2014.
http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/20820/ilmanpitavien_rakenteiden_ja_liitosten_toteutus_asuinrakennuksissa.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Asumisterveysohje 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö 2003

Franken, L. 2011. Advanced Oxidation Treatment in a Health Care Building for Reducing Microbiological Populations in the Air and on Surfaces. Tohtorin väitöskirja. Walden University. Saatuna sähköisenä Norketek Oy:ltä 24.4.2014.

Fink, R. n.d. RGF's Advanced Oxidation Technology. RGF Environmental Group, Inc. Viitattu 10.5.2014. <http://www.rgfairpurification.com/pdf/Advanced-Oxidation-Technology.pdf>

Global Healing Center www-sivut. Viitattu 9.10.2014.
<http://www.globalhealingcenter.com>

Heinonen, J., Inkinen, J., Kukka, M., Mäkinen, R. & Ahonen, M. 2013. HYGTECH-tutkimuksella kohti hygieenisempiä sisätiloja. Sisäilmastoseminaari 2013 – SIY Raportti 31. Jyväskylä: Bookwell Oy.

Infektoriskin vähentäminen päivähoidossa. 2005. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2005:28. Viitattu 22.10.2014.
http://www.stm.fi/c/document_library/get_file?folderId=28707&name=DLFE-3645.pdf&title=Infektoriskin_vahentaminen_paivahoidossa_fi.pdf

Jalas, J., Karjalainen, K. & Kimari, P. 2000. Päiväkotien sisäilman laatu ja ilmanvaihdon toimivuus. Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy raportti 46.

Kukka, M. 2012. Langattomat anturiverkot kiinteistön olosuhteiden seurannassa. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 11.10.2014.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53566/Kukka_Marko.pdf?sequence=1

Kärki, T & Lyytikäinen, O. 2013. Hoitoon liittyvien infektioiden esiintyvyys Suomessa 2011. Suomen Lääkärilehti. 1 - 2/2013, 39–42. Viitattu 22.10.2014.
<http://www.thl.fi>

Lumio, J. 2012. Sairaalainfektiot ja sairaalabakteerit. Viitattu 7.10.2014.
<http://www.terveyskirjasto.fi>

Norketek Oy:n www-sivut. Viitattu 9.4.2014. <http://www.norketek.fi/>

Nybergh, C. 2014. Hormivaikutuksen hallinta korkeissa asuinkerrosrakennuksissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Energia- ja LVI-tekniikan koulutusohjelma. Saatu sähköisenä Esa Sandbergilta 18.9.2014

Oxygenium www-sivut 2014. Viitattu 25.4.2014. <http://oxygenium.pro/>

Pukaralammi, S. 2013. Kiinteistöjen hygieniakonsepti HYGTECH- Pilottituotteiden käyttäjät päiväkotit Petäjässä. YAMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu. 2.4.2014.
https://moodle19.samk.fi/tutkimus/pluginfile.php/4037/mod_resource/content/0/Opinaeytyoe_silja_pukaralammi.pdf

Pullainen, M. 2012. Päiväkotien sisäilmatutkimuksen tulokset. Teoksessa Sisäilmastoseminaari 2012 - SIY raportti 30. Jyväskylä: Bookwell Oy, 295 - 300.

Päiväkotien sisäilmatutkimus raportti. 2012. LVI-talotekniikkateollisuus ry. Viitattu 4.4.2014.
http://www.mamk.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/mamk/embeds/mamkwwstructure/18148_Paivakotien_sisailmatutkimus.pdf

Ratkaisuja sisäympäristöjen hygienian hallintaan ”HYGTECH2”. Projektisuunnitelma. Saatu sähköisenä Jarkko Heinoselta 1.4.2014.

Rehva 11 2011. Air Filtration in HVAC Systems. Frossa: Forssan Kirjapaino Oy

Renko, M. & Uhari, M. 2001. Infektioiden ehkäisy päiväkodeissa. Duodecim. 117, 1093 - 1098.

REME Brochure. RGF Environmental Group, Inc. Viitattu 15.5.2014.
<http://www.rgfairpurification.com/pdf/REME-Brochure.pdf>

REME Technology. RGF Environmental Group, Inc. Viitattu 15.5.2015.
<http://www.rgfairpurification.com/pdf/REME-Technology.pdf>

RGF Environmental Group, Inc www-sivut. Viitattu 9.4.2014. <http://www.rgf.com>

Research Report – Evaluation of Photohydroionization (PHI TM) for the Inactivation of Influenza A H1N1 on Stainless Steel Surfaces. 2009. Kansas State University. Saatu sähköisenä Norketek Oy:ltä 23.4.2014.

RT 96-11003. Päiväkotien suunnittelu. 2012. Helsinki: Rakennustieto. Viitattu 2.4.2014. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Seppänen O, Seppänen M. 1997. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: Gummerus Kirjapaino Oy

Seppänen, O., Hausen, A., Hyvärinen, K., Heikkilä, P., Kaappola, E., Kosonen, R., Oksanen, R., Railio, J., Ripatti, H., Saari, A., Tarvainen, K. & Vuolle, M. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy

SFS-EN ISO 14644-1. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 1: Classification of air cleanliness. 2000. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS

Sisäilmayhdistyksen www-sivut. Viitattu 13.3.2014. <http://www.sisailmayhdistys.fi/>

Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Espoo. 2008

Suomen RakMK C3. 2010. Rakennusten lämmöneristys. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2008. www.finlex.fi

Suomen RakMK D2. 2012. Rakennusten sisäilma ja ilmanvaihto. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012. www.finlex.fi

Suomen RakMK D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012. www.finlex.fi

Teknocalor Oy:n www-sivut. Viitattu 13.10.2014. <http://www.teknocalor.fi>

TSI:n www-sivut. Viitattu 3.10.2014. <http://www.tsi.com>

Tuuppa, A & Varjonen, J. 2014. Aseptiikan ja käsihygienian toteutuminen päivystyspoliklinikalla. AMK-opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 22.10.2014. http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73956/Tuuppa_Anu_Varjonen_Jenna.pdf?sequence=1

Työterveyslaitos 2012a. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistaminen sairaaloiden vuodeosastoilla. Tampere: Juvenes Print – Tampereen Yliopistopaino Oy

Työterveyslaitos 2012b. Ilmavälitteisten infektioiden hallinta sairaaloiden eristystiloissa, loppuraportti. Tampere: Juvenes Print – Tampereen Yliopistopaino Oy

Uusitalo, S. 2013. Sisäympäristömittaukset HYGTECH-projektin pilottikohteissa. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Wikipedia www-sivut. Viitattu 25.4.2014. <http://fi.wikipedia.org/>

LIITTEET

LIITE 1: Ryynänen, J. Sairaalan ilmanvaihto-ohje 2008. Tilakortit 1 - 4. Taulukkoja 4 kpl.

LIITE 2: Standardi SFS-EN ISO 14644-1. Puhdastilojen ja puhtasvyöhykkeiden ilman hiukkaspitoisuuden mukaiset puhtasluokat. Taulukko 1 kpl.

Sairaalan ilmanvaihto-ohje 2008 Tilakortti 1 vers.04

Tila	Ulkoilma- virta	Ulkoilmavirta	Poistoilma- virta	Ilman- vaihto kerroin	Ilman nopeus	Suhteellinen kosteus %	Lämpötila	Suodatu s luokka	Aänitaso	Paine suhde	Lähde	Huom.
	(dm3/s)/ henkilö	(dm3/s)/m2	(dm3/s)/m2	1/h	talvi/kesä		talvi/kesä	F	dB/A			
Potilas- ja osastotilat												
Oleskelutila	10	3	3		0,17/0,25	-	21/25	8	33		SH1990	
Potilashuone	15	2	2		0,17/0,25	-	22/25	8	28		SH1990	(1)
Vastasyntyneiden huone	4	2	2			30 - 65	24/26	8	28		SH1990	(1)
Odotustila ja päivähuone	10	3	3		0,17/0,25	-	21/25	8	28		SH1990	
Liinavaateva-rasto /puhdas		1	0,5			-	20/26	8	35	Ylip.		
Pyykki / jäte-tilat		S	6			-	20/26		40	Alip.	SH1990	
Osastokeittiö		4	4		0,17/0,25	-	20/25	8	33		SH1990	
Siivoustilat			4				20/26		40		SH1990	
Lääkehuone		6	6		0,17/0,25		21/25	8	28		SH1990	(2)
Käytävä		0,8	0,8		0,17/0,25	-	21/25	8	33		SH1990	
Tupakkahuo.		16	16				20/26	7	33	Alip.	SH1990	(3)
Osastokanslia	12	4	4				21/26	8	28			(4)
Tutkimush.		6	6		0,17/0,25		21/26	8	28		SH1990	
WC		S	30/ paikka						35		SH1990	
Suihkutila		S	25				22		35		SH1990	(5)
Suihkutila, useampia suihkuja			40 / suihku				22		35		SH1990	(5)
Puhdas huoltohuone		3	3				22	8	28		SH1990	
Likainen huoltohuone, huuhteluhuone		7	8				21	7	40		SH1990	

Sairaalan ilmanvaihto-ohje 2008 Tilakortti 2

vers. 04

Tila	Ulkoilma- virta (dm3/s)/ henkilö	Ulkoilmavirta (dm3/s)/m2	Poistoilmavirta (dm3/s)/m2	Ilmanvaihto kerroin 1/h	Ilman nopeus talvi/kesä	Suhteellinen kosteus %	Lämpötila talvi/kesä	Suodatus luokka	Aänitaso dB/A	Paine suhde	Lähde	Huom.
Leikkaus- ja synn. osast.												
-ortopedia ym.		14 -22	14 - 22	17	>0,2	45 - 55	22+/-1	12	28	Ylip.	TA1994 SH1990	(5)
-yleiskirurgia		14 - 22	14 -22	17	>0,2	45 – 55	22+/-1	10	28	Ylip.	TA1994 SH1990	(6)
-polikliiniset ja infektio		14 - 22	14 - 22	17	>0,2	45 - 55	22	10	28	Ylip. / Alip.	TA1994 SH1990	(7)
Heräämö	15	6	6				23 / 25	8	28		SH1990	(8)
Synnytyssali	15	8	8			30 - 65	24 / 25	8	28		SH1990	
Eristystilat												
-leukemia suojaeristys	25	4	4			50	22 +/- 1	10	28	Ylip.	TA1994	(9)
-palovamma 2-suunt. erist.	30	6	6			20 - 25	28 – 32	10	28	Ylip./ alip.	TA1994	(10)
-keskoset ja vastasynt.	19	3	3			30- 50	25 +/-1	10	28	Ylip.	TA1994	(11)
-tartuntaer.	25	4	4	3 -10		30 - 40	22 – 24	8	28	Alip.	TA1994	(12)
Apteekki												
vastaanotto ja varastot, ym.		5 - 10	5 - 10	4-6		-	20 / 23	8	33		TA1994	(13)
valmistelu		7 - 10	7 - 10	5 - 15		-	20 / 23	8			TA1994	(14)
valmistus sterillituotteet				10 - 20		-	22 +/-2	10	33	Ylip.	TA1994	(15)
käsittely		8 - 10	8 - 10			35 - 50	22 +/- 2	10	33	Ylip.	TA1994	(16)
sytostaattih.		5 - 10	5 - 10			-	20 – 23	8 / 13	33	Alip.	TA1994	(17)
sytoست. salku		15 - 20	5 - 20			-	20 – 23	8	33	Ylip.	TA1994	(18)
isotooppilab.		?	?	?		-	20 - 23	8 / 12	33	Alip.	TA1994	(19)
radiofarmas. steriili huone				17		-	20 – 23	12	33		TA1994	(20)

Sairaalan ilmanvaihto-ohje 2008

Tilakortti 3

vers. 04



Tila	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/ henkilö	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Ilmanvaihto kerroin 1/h	Ilman nopeus talvi/kesä	Suhteellinen kosteus %	Lämpötila talvi/kesä	Suodatus luokka F	Aänitaso dB/A	Paine suhde	Lähde	Huom.
Välinehuolto												
vastaanotto		3-5	3 - 5	4 - 6	0,2 / 0,3	-	n. 20	8	40		TA1994	(21)
pesu		8	8	10 - 15	0,2 / 0,3	-	20 - 23	8	45	Ylip.	TA1994	(22)
tark. ja pakk.		3	3	5 - 10	0,2 / 0,3	-	20 - 23	8	40	Ylip.	TA1994	(23)
sterilointi ja sterilivarasto		8	8	10 - 15		-	22 +/-2	12	40	Ylip.	TA1994	(24)
Laboratorio-tilat												
biosuojaus-taso 1	5	4 - 5	4 - 5			-	20 - 23	8	33	Alip.	TA1994	(25)
biosuojaus-taso 2	5	4 - 5	4 - 5			-	20 - 23	8	33	Alip.	TA1994	(26)
biosuojaus taso 3	5	4 - 5	4 - 5			-	20 - 23	8	33	Alip.	TA1994	(27)
biosuojaus taso 4				6 - 16		35 - 50	22 +/-2	12	33	Alip.	TA1994	(28)
Kliininen kemia		5	5		0,2 / 0,3	-	21 - 23	8	33			
Kliininen mikrobiologia		5	5		0,2 / 0,3	-	21 - 23	8	33			
Patologia		5	5		0,2 / 0,3	-	21 - 23	8	33			

Sairaalan ilmanvaihto-ohje 2008 Tilakortti 4

vers. 04

Tila	Ulkoilma- virta	Ulkoilmavirta	Poistoilmavirta	Ilman- vaihto kerroin	Ilman nopeus	Suhteellinen kosteus %	Lämpötila	Suodatus luokka	Äänitaso	Paine suhde	Lähde	Huom.
	(dm ³ /s)/ henkilö	(dm ³ /s)/m ²	(dm ³ /s)/m ²	1/h	talvi/kesä		talvi/kesä	F	dB/A			
Toimenpide-tilat												
potilashuone/ tehohoito	25	4	4		0,17/0,25	30-50	22 / 25	8	28		SH1990	
Pki-toimenpideh.	15	8	8		0,17/0,25	30-50	21 / 25	8	28		SH1990	
Tutkimush.	15	4 - 6	4 - 6		0,2	-	21	8	28		SH1990	(29)
Kipsaushuone	15	4	4		0,2	-	22	8	33		SH1990	
Toimenpide huone	15	8	8		0,17/0,25	-	22 / 25	8	28		SH1990	
Röntgen vastaanott.	15	4	4		0,17/0,25	-	22 / 25	8	28		SH1990	
Röntgen toimenpideh.	12	4	4			30 - 65	22 / 25	8	33	Ylip.	SH1990	
Kuulo tutkimus	15	4	4		0,17/0,25		21 / 25	8	25			
Sädehoitoh.	15	4	4		0,17/0,25		21 / 24	8	33			
Dialyysi	15	4	4		0,17/0,25		21 / 24	8	33			
Fysikaalinen hoito												
potilaskoht.		3	3		0,17 / 0,25	-	22 / 23	8	33		SH1990	
ryhmäkunt.	15	8	8		0,2 / 0,3	-	18 / 20	8	33		SH1990	
vesiliikunta		5	5		0,2 / 0,3	-	24	8	33		SH1990	
testaushuone	15	8	8		0,2 / 0,3	-	20 / 24	8	33			

Sairaalan ilmanvaihto-ohje 2008 Tilikortti 5 vers. 04

Tila	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/ henkilö	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Ilmanvaihto kerroin 1/h	Ilman nopeus talvi/kesä	Suhteellinen kosteus %	Lämpötila talvi/kesä	Suodatus luokka	Aänitaso dB/A	Paine suhde	Lähde	Huom.
Ravinto- huolto												
Ruoan valmistus	15	5	5		0,2 / 0,3	-	20 / 26	8	40		SH1990	(31)
Kuivavarasto		2	2			-	20 / 23	8	40			
Astianpesu	15	5	5		0,2 / 0,3	-	20 / 26	8	40		SH1990	
Hygieniatilat												
pesuhuone			25 / paikka						35	Alip.	SH1990	
WC-tila			30 / paikka						35	Alip.	SH1990	
Obduktio		10	10		0,2		18	8	33	Alip.	SH1990	(32)
Obduktio, oikeuslääk.		25	25					8	33	Alip.		
Vainajien säilytys		1	1				4	8	35	Alip.		

LIITE 2

Taulukko 1 Puhdastilojen ja puhdasvyöhykkeiden valitut ilman hiukkaspitoisuuden mukaiset puhtausluokat

ISO luokitus numero (<i>N</i>)	Suurimmat hiukkaspitoisuusrajat (hiukkasia/m ³ ilmaa) hiukkasille, jotka ovat yhtä suuria tai suurempia kuin alla esitetyt tarkasteltavat koot (pitoisuusrajat on laskettu kohdassa 3.2 olevan yhtälön (1) mukaan)					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO luokka 1	10	2				
ISO luokka 2	100	24	10	4		
ISO luokka 3	1 000	237	102	35	8	
ISO luokka 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO luokka 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO luokka 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO luokka 7				352 000	83 200	2 930
ISO luokka 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO luokka 9				35 200 000	8 320 000	293 000

HUOM. Mittausmenetelmiin liittyvät epätarkkuudet edellyttävät, että pitoisuusarvot esitetään ainoastaan kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella luokitustasoa määritettäessä