



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

ARI-PEKKA LASSILA
SIIRTOILMAN KÄYTTÖ ILMANVAIHDOS-
SA
Diplomityö

Tarkastaja: professori Timo Kalema
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Luonnontieteiden tiedekunnan
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
3.4.2013.

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma

LASSILA, ARI-PEKKA: Siirtoilman käyttö ilmanvaihdossa

Diplomityö, 59 sivua

Kesäkuu 2013

Pääaine: Talotekniikka

Tarkastaja: professori Timo Kalema

Avainsanat: talotekniikka, ilmanvaihto, sisäilman laatu, siirtoilma, siirtoilma-aukot, hiilidioksidipitoisuus, tietokoneluokka, opetustila

Ihmiset viettävät valtaosan ajastaan sisätiloissa. Tämän vuoksi on tärkeää, että olosuhteet sisätiloissa ovat viihtyisät, turvalliset ja terveelliset. Talotekniikalla on vastuullinen tehtävä ylläpitää ja valvoa rakennusten hyvää sisäilmastoa. Talotekniikan kehittyessä sen osuus rakentamisesta ja rakentamisen kustannuksista on kasvanut merkittävästi viime vuosina. Rakennusten talotekniseen toimivuuteen kiinnitetään nykyään entistä enemmän huomiota. Tästä huolimatta talotekniikan puutteellisen toiminnan vuoksi aiheutuneita ongelmia sisäilmasto-olosuhteissa havaitaan jatkuvasti. Syitä talotekniikan puutteelliseen toimintaan voi olla useita. Osaltaan kohdatut ongelmat ovat johtuneet taloteknisten järjestelmien vikaantumisherkkyydestä sekä siitä, ettei järjestelmistä huolehtivien ihmisten osaaminen ole seurannut talotekniikan nopeaa kehitystä.

Tämän diplomityön tarkoituksena on edesauttaa varmatoimisten, sisäilmaston korkeaa laatua ylläpitävien taloteknisten järjestelmien kehitystä. Työn tavoitteena on tarkastella siirtoilman käytön mahdollisuuksia tilojen normaalin ilmanvaihdon tukena. On havaittu, että suljetun ja ihmisten läsnäololla kuormitetun tilan ilmanlaadun pitäminen hyvällä tasolla on haastavaa. Suljetun tilan ilmanlaadun huomattu parantuvan tehokkaasti avaamalla suora ilmayhteys, tyypillisesti oviaukko, viereiseen avaraan sisätilaan, esimerkiksi neuvotteluhuoneesta käytävään.

Tutkimushypoteesina on, että runsaasti kuormitettujen tilojen ilmanlaatua voitaisiin merkittävästi parantaa tasaamalla tiloihin koituvaa kuormitusta eri tilojen välillä siirtoilman avulla. Tämä työ rajautuu tarkastelemaan tarkemmin oppilaitosten tietokoneluokkia. Toisaalta työ pyrkii myös siihen, että työssä saavutettuja tuloksia voidaan hyödyntää soveltuvin osin muissakin tiloissa.

Havaittiin, että siirtoilman avulla on mahdollista parantaa sisäilmanlaatua tiloihin aiheutuvaa kuormitusta tasaamalla. Pelkkiä siirtoilma-aukkoja käytettäessä kuormituksen tasaamiseen osallistuvien tilojen välillä on oltava lämpötilaeroa ja aukkojen sijainti vaikuttaa saavutettaviin tuloksiin. Pienin puhaltimin varustetut siirtoilma-aukot toimivat tehokkaasti myös ilman lämpötilaeroa.

Taloudellisten hyötyjen laskettiin olevan merkittäviä, koska suurten ilmanvaihtokoneiden käyttäjät voidaan pitää tarkoituksenmukaisina. Siirtoilman välittämiseen käytettävät siirtoilmalaitteet ovat tekniikaltaan yksinkertaisia sekä käytännössä huoltovapaita. Siirtoilmalaitteiden ylläpito- ja investointikustannukset ovat hyvin maltilliset. Olemassa olevien taloteknisten järjestelmien mahdollisuudet on kuitenkin aina hyvä kartoittaa tapauskohtaisesti ennen uusien laitteiden asentamista.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Environmental and Energy Technology

Lassila, Ari-Pekka: Utilizing transfer air in ventilation

Master's of Science Thesis, 59 pages

June 2013

Major: Building Services Engineering

Examiner: Timo Kalema

Keywords: building services, ventilation, indoor air quality, transfer air, air transfer units, concentration of carbon dioxide, computer room, classroom

People spend most of their time indoors. That is why it is important that circumstances indoors are pleasant, safe and healthful. Building services, also known as heating, ventilation and air-conditioning (HVAC), have an essential mission to maintain and supervise the quality of indoor climate in buildings. While the technology of building services have developed rapidly during the recent years the part of their costs of total construction budgets have increased. More and more attention has been paid on the building services. Nevertheless, problems with indoor air quality caused by incorrectly working building services are identified constantly. There can be several reasons for the inoperability of HVAC-systems. One of the main reasons is that HVAC-systems are too complicated and probabilities of failures are too high. It has also been challenging to train people who take care of HVAC-systems as quickly as those systems have evolved.

The purpose of this master's of science thesis is to help developing reliable and user friendly building services that sustain the high quality of indoor climate. The intention of this thesis is to research possibilities of using transferred air to support mechanical ventilation of buildings. It has been noticed that maintaining high indoor air quality in small, crowded and closed spaces is difficult. Also, the indoor air quality of closed space has been seen to improve radically when an opening, typically a door, to an adjacent and large space is opened.

The hypothesis of this thesis was that indoor air quality of heavily crowded spaces could be significantly improved and load leveled by using transferred air. This thesis delimits to examine more precisely computer rooms in educational institutions. However, the priority is that the achieved results could be utilized in different kind of spaces as well.

It was detected that by using transferred air it is possible to compensate burden and further improve indoor air quality. If just simple gaps are used for transferring air temperature difference between spaces is needed. Also the positions of the gaps have an influence on the results achieved. In case where air transfer units are equipped with small electric fans, temperature difference is not needed to move air from space to another.

Economical benefits were calculated to be notable because running times of voluminous air-conditioning devices can be set up to be purposeful. Air transfer units are technically simple and practically free of maintenance. Investments and maintenance costs are minimal when utilizing transferred air. Anyhow, it is always reasonable to go through the possibilities of existing HVAC-systems before installing any new technical devices.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on tehty diplomityöksi talotekniikan pääaineeseen Teknisen suunnittelun laitokselle Tampereen teknillisessä yliopistossa. Työn teettäjänä toimi Suomen Yliopistokiinteistöt Oy, joka on veturiyhteyksensä RYM Oy:n Sisäympäristöohjelmaan kuuluvassa ”Oppimisen uudet tilat” –työpaketissa. Ohjelma toteutetaan vuosina 2011–2014 ja sen tavoitteena on löytää ratkaisuja, joilla edistetään tilojen toimivuutta ja edelleen tilan käyttäjien tuottavuutta, viihtyvyyttä ja terveyttä ekologisesti kestäväällä tavalla.

Työn tarkastajana ja ohjaajana toimi Teknisen suunnittelun laitoksen johtaja professori Timo Kalema, jota haluan kiittää hyvin sujuneesta yhteistyöstä. Kiitos Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:lle tutkimuksen rahoituksesta ja mielenkiintoisen hankkeen mahdollistamisesta. Suuret kiitokset dosentti Olli Niemelle, jonka innostava ja positiivinen asenne on ollut merkittävä apu tämän diplomityön tekemisessä. Kiitos Timo Mälköselälle ja MyllyConsultingin Hannu Myllymaalle arvokkaista neuvoista.

Lämpimimmät kiitokset perheelleni vuosien varrella saamastani mittaamattoman arvokkaasta, runsaasta ja pyyteettömästä tuesta.

Tampereella 26.6.2013

Ari-Pekka Lassila

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Aiheen taustaa	1
1.2	Työn tavoite ja rajaus.....	5
1.3	Työn suoritus	7
1.4	Diplomityön rakenne	8
2	SISÄILMASTO JA ILMANVAIHTO	9
2.1	Sisäilma ja sisäilmasto.....	9
2.2	Sisäilman tärkeimmät suureet	10
2.3	Sisäilmastoluokat sekä määräyksiä ja suosituksia sisäilman suureille.....	12
2.4	Ilmanvaihtotapoja.....	13
2.5	Määräyksiä ja ohjeita ilmanvaihdolle.....	15
2.6	Huonekohtaisia ilmanjakotapoja	16
3	SIIRTOILMA JA TUTKITTAVAT TILAT	19
3.1	Siirtoilma ja siirtoilma-aukot.....	19
3.2	TTY:n Konetalo.....	20
3.3	Konetalon tietokone luokat K1243 ja K1242.....	22
3.4	Konetalon aulan ATK-luokka K1103	23
4	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO	28
4.1	Tutkimusmenetelmät	28
4.2	Mittausvälineet	29
4.3	Siirtoilma-aukot ATK-luokkiin.....	33
4.4	Mittaustapahtumat	36
5	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	44
5.1	Siirtoilma-aukot ATK-luokassa K1243	44
5.2	Siirtoilmapuhaltimet ja -säleiköt ATK-luokassa K1103.....	48
5.3	Wirepas-mittausjärjestelmästä.....	53
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	55
	LÄHTEET.....	57

TERMEJÄ JA LYHENTEITÄ

CO₂: Molekyylikaava hiilidioksidille, joka on hiilestä ja hapesta koostuvat kemiallinen yhdiste.

dB: Desibeli. Akustiikassa käytetty dimensioton yksikkö, joka vertailee tehosuureiden suhteita logaritmisella asteikolla. Sisäilmaston kannalta tärkein desibeleillä mitattava suure on huoneen äänenpainetaso.

Diffuusio: Ilmiö, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään korkeammasta pitoisuudesta alempaan tasoihin pitoisuuserot konsentraatioerojen erojen perusteella.

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämpömäärä: Lämpömäärä, joka tarvitaan ilmanvaihdon ilmavirran lämmittämiseksi ulkoilman lämpötilasta huonelämpötilaan.

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve: Lämmitysenergian tarve, joka muodostuu ilman lämmittämisestä lämmöntalteenoton jälkeen tuloilman lämpötilaan ja mahdollisesta lämmittämisestä ennen lämmöntalteenottoa jäätymisen estämiseksi. (RakMK D5 2012, s. 3)

Ilmanvaihto: Huoneen ilman laadun ylläpitäminen johtamalla sinne ulkoilmaa tai muuta puhdasta ilmaa ja poistamalla sieltä sisäilmaa.

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho (kW/(m³/s)): Rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien, mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmaavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla riippuen kumpi on suurempi. (RakMK D2 2012, s. 3)

Ilmanvaihtokerroin: Kuvaa, kuinka monta kertaa aikayksikkö kohden huoneen ilma vaihtuu. Lasketaan jakamalla huoneeseen tuleva ilmavirta huoneen tilavuudella. $(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^3 = 1/\text{h}$

Ilmastointi: Huoneilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden ja ilman liikkeen hallinta tulo- tai kierrätysilmaa käsittelemällä.

Ilmaääneneristävyys: rakenteen kohdanneen ja rakenteen toiselle puolelle siirtyneen äänitehon suhde. (Kylliäinen 2006, s.47)

Ilmaääni: Äänilähteestä ilman välityksellä ympäristöön leviävä ääni. (RakMK C1 1998, s. 2)

Keskiäänitaso: Jatkuva vakioäänitaso, jonka tehollisarvo on sama kuin vaihtelevan äänitason keskimääräinen tehollisarvo määritellyllä ajanjaksolla. (RakMK C1 1998, s. 2)

Kierrätysilma: Ilma, joka palautuu ainoastaan samaan huonetilaan. (RakMK D2 2012, s. 4)

Konvektio: Lämmön siirtyminen lämpötilaerojen aiheuttamien virtausten mukana kaasussa tai nesteessä.

Käyttöaika tai käyttötunnit: Aika, jolloin rakennuksessa tai tilassa oleskellaan ja rakennusta tai tilaa käytetään sen käyttötarkoituksen mukaisesti. (SFS-EN 15251 2007)

Liukuva keskiarvo: Teknisen analyysin menetelmä, jossa suurelle määrälle tiettyjen ajanhetkien arvoja lasketaan vastaava arvo kahden tai useamman arvon keskiarvona.

Mittauskohina: Mikä tahansa ei toivottu signaali, joka summautuu mitattavaan signaaliin tai häiritsee haluttua signaalia. (TTY:n Systemiteknikan laitos 2013, s. 34)

Mittausresoluutio (erottelukyky): Anturin kyky erottaa toisiaan lähellä olevia mittaussuureen arvoja eli kuinka pienet erot näkyvät mitattavan suureen arvossa. Mittausresoluutio on eri asia kuin mittaustarkkuus. (Aumala 1999, s. 160)

Mittaustarkkuus: Kuvaa mittalaitteen kykyä antaa virheettömiä tuloksia. Ilmaistaan yleensä virherajojen avulla.

NDIR: Lyhenne sanoista “non-dispersive infrared”. Valoa hajottamaton infrapunasäteilyyn perustuva mittaustekniikka, jota käytetään etenkin tiettyjen savukaasujen jatkuvatoimiseen mittaamiseen. (Rahko, 2007)

Oleskeluvyöhyke: Se osa huonetilasta, jossa sisäilmastovaatimukset on suunniteltu toteutuviksi. Yleensä oleskeluvyöhyke on vähintään huonetilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat 0,5 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista. (RakMK D2, s. 4)

Palautusilma: Ilma, joka palautetaan tuloilmana siten, että palautettavassa ilmassa on kahden tai useamman eri huonetilan ilmaa. (RakMK D2, s. 4)

Poistoilma: Ilma, joka johdetaan pois huoneesta ja edelleen ulkoilmaan. (RakMK D2, s. 4)

Ppm: Lyhenne englanninkielisistä sanoista ”parts per million”. Ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin. Yleensä ja tässäkin työssä tarkoittaa tilavuuden miljoonasosaa.

Runkoääni: Rakenteessa tai muussa kiinteässä kappaleessa etenevä mekaaninen värähtely, joka aiheuttaa ilmaääntä. (RakMK C1 1998, s. 2)

Siiroilma: Ilma, joka johdetaan rakennuksen sisällä tilasta toiseen. (RakMK D2 2012, s. 4)

Tarpeenmukainen ilmanvaihto: Ilmanvaihtojärjestelmä, jossa ilmanvaihtoa säädetään tietyn sisätilassa olevan ilman epäpuhtauden tai henkilöiden läsnäolon perusteella. (SFS-EN 15251 2007)

Tilan tai huoneen ilmatilavuus: Huoneen sisäpintojen rajoittaman tilakappaleen tilavuus. (RakMK D5 2007, s. 4)

Tuloilma: Ilma, joka johdetaan huonetilaan. (RakMK D2 2012, s. 4)

Äänenpainetaso: Äänenä aistittavasta ilmanpaineen muutoksesta käytetään nimitystä äänenpaine. Äänenpainetaso [dB] saadaan, kun tarkasteltavaa äänenpainetta verrataan vertailuäänepaineeksi otettuun kuulokynnykseen 20 μ Pa. (Kylliäinen 2006, s. 28)

Ääniteho: Äänilähteen kyky tuottaa ääntä. (Kylliäinen 2006, s. 33)

1 JOHDANTO

Tässä kappaleessa perehdytetään lukija tutkimuksen aihepiiriin nostamalla esiin aiheen taustaa. Kappaleessa jäsennetään tutkimus ja perustellaan, miksi työ on tehty ja määritellään työn tavoitteet. Tässä kappaleessa myös rajataan aihepiiri ja kuvataan työn sisältö.

1.1 Aiheen taustaa

Yhteiskuntamme kehittyessä ihmiset viettävät sisätiloissa yhä suuremman osan ajastaan. Teollistuneissa maissa ihminen viettää jopa 90 - 95 prosenttia ajastaan sisätiloissa. Ihminen hengittää noin 40 kuutiometriä ilmaa vuorokaudessa ja valtaosan tästä siis sisäilmaa. (Haahtela, 2009) Tämän vuoksi on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että olosuhteet rakennuksissa olisivat turvalliset, terveelliset ja viihtyisät. Toisaalta, luonnonvarojen ehtyessä ja ihmisen ympäristöön kohdistamien haittavaikutusten lisääntyessä olisi äärimmäisen tärkeää toimia energiatehokkaasti, erityisesti uusiutumattoman energian kulutusta minimoiden sekä kestäväen kehityksen hengessä.

Rakennuksen käytönaikainen energiankulutus näyttelee rakennuksiin liittyvän energiataloudellisuuden kokonaiskuvassa merkittävää roolia. Esimerkiksi pientalon koko elinkaaren aiheuttamasta ympäristökuormituksesta arviolta 80 - 90 prosenttia aiheutuu käytönaikaisesta toiminnasta (Heinonen 2008, s.13). Rakennusten hyvällä käytönaikaisella energiatehokkuudella on siis mahdollista saavuttaa merkittäviä säästöjä sekä taloudellisessa mielessä että ympäristöä ajatellen.

Lämmöneristysten, lämmitysjärjestelmien, asumistottumusten, rakennuksen sijainnin ja monien muiden tekijöiden lisäksi ilmanvaihdolla ja sen käyttötavalla on suuri vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Ilmanvaihto kuluttaa runsaasti energiaa, joka on suureksi osaksi sähköä. On yleisesti tiedossa, että ilmanvaihdon osuus rakennusten energiankulutuksesta on noin kolmannes. On kuitenkin hyvin tapauskohtaista ja käytetyistä teknisistä ratkaisuista riippuvaa, mikä on ilmanvaihdon todellinen osuus energiankulutuksesta.

Energiaa kuluu ilmanvaihtokoneiden puhaltimien pyörittämiseen sekä etenkin talvella tiloihin tuotavan ilman lämmittämiseen. Tuloilman lämmittämässä hyödynnetään yleensä mahdollisuuksien mukaan poistoilman sisältämää lämpöä ottamalla sitä talteen lämmönsiirtimillä. Tuloilmaa on kuitenkin joskus lämmitettävä poistoilman lisäksi myös sähköllä tai kaukolämmöllä tiloihin vietävän tuloilman halutun lämpötilan saavuttamiseksi. Lisälämmityksen tarve muodostuu kylmimmillä keleillä sekä silloin, kun poistoilmaa ei sen likaisuuden vuoksi voida käyttää tuloilman lämmittämiseen. Tämän kaltaisia erillisiä poistoilmakanavia käytetään usein esimerkiksi

saniteettitilojen ja keittiöiden poistoilmanvaihdossa.

Toimisto- ja opetusrakennusten ilmanvaihdon käyttämää energiaa pyritään vähentämään asettamalla ilmanvaihtokoneille toiminta-ajat tilojen oletettujen käyttöaikojen mukaan. Nämä asetetut toiminta-ajat eivät välttämättä vastaa toteutuvia käyttöaikoja etenkin, kun tilojen käyttäjät ja käyttötarkoitus saattavat vuosien varrella muuttua useaan kertaan. Nykyään toimi- ja opetustiloja rakennettaessa pyritään tiloista tekemään muuntojoustavia, jotta ne pystyivät vastaamaan käyttäjien erilaisiin tarpeisiin rakennuksen elinkaaren aikana. Tilojen muuntojoustavuus tekee ilmanvaihdon toiminta-aikojen asettamisesta entistä haastavampaa.

Korjausrakentamisen osuus rakennustuotannon kokonaisarvosta on viime vuosina noussut. Vuonna 2009 korjausrakentamisen osuus talonrakentamisen kokonaisarvosta oli jo noin 45 prosenttia (Kojo & Lilja 2011, s.20). Talotekniikan kustannusten osuus korjausrakentamisessa on usein jopa noin puolet ja uudisrakentamisessakin noin kolmasosa kokonaiskustannuksista. Näin ollen talotekniikan yksinkertaistamisella olisi suuria taloudellisia vaikutuksia investointikustannuksiin. Lisäksi tilojen saneeraamiseen ryhtymisen kynns laskisi, mikäli hankkeiden kokonaiskustannuksia saataisiin alennuttua.

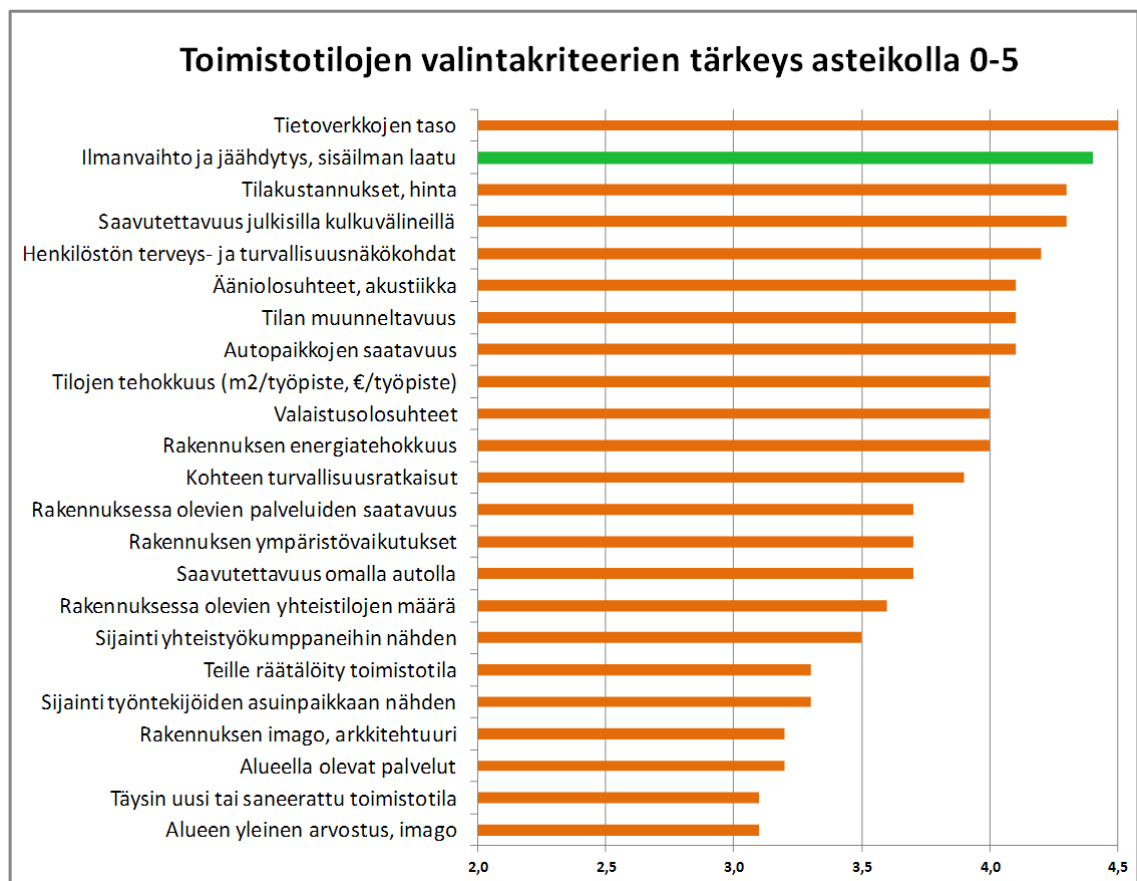
On havaittu, että erinomaisestikaan suunnitellut talotekniset järjestelmät eivät pelkällä olemassaolollaan vielä takaa hyviä sisäilmasto-olosuhteita, vaan ihmisten on osattava myös ylläpitää ja käyttää niitä. Talotekniset järjestelmät saattavat tiedon kulun puutteen vuoksi jäädä jopa kokonaan käyttämättä. Tällä saattaa edelleen olla merkittäviä vaikutuksia tilojen ilmanlaatuun. (Kalema et al. 2011, s. 78) Talotekniset järjestelmät eivät myöskään saisi olla tekniikaltaan herkästi vikaantuvia. Viat aiheuttavat aina kuluja ja vaivaa sekä reagointinopeudesta riippuen myös ilmanlaadun heikkenemistä. Taloteknisten järjestelmien tulisi siis olla riittävän yksinkertaisia käyttää ja huoltaa.

Suljettu, eli seinin, ovin ja ikkunoin rajattu pienehkö huone tai tila on hyvin tavallinen ja käytetty työskentelypaikka. Suljettu tila on usein käyttökelpoinen esimerkiksi silloin, kun halutaan työskennellä rauhassa tai käsitellä arkaluontoisia ja salassa pidettäviä asioita. Suljettu tila luo myös turvallisuuden ja yksityisyyden tunteen siellä työskenteleville. Toisaalta on huomattu, että suljetun tilan ilmanlaadun pitäminen hyvällä tasolla on haastavaa ja vaatii hyvin tehokasta ilmanvaihtoa. Tehokkaan ilmanlaadun toteuttaminen tehokkaasti ilman veto-ongelmia on haastavaa ja hyvin kallista. Oman mausteensa haasteeseen tuo käyttäjien toive tilojen muuntojoustavuudesta, joka on myös kiinteistön omistajan kannalta positiivinen tilojen ominaisuus.

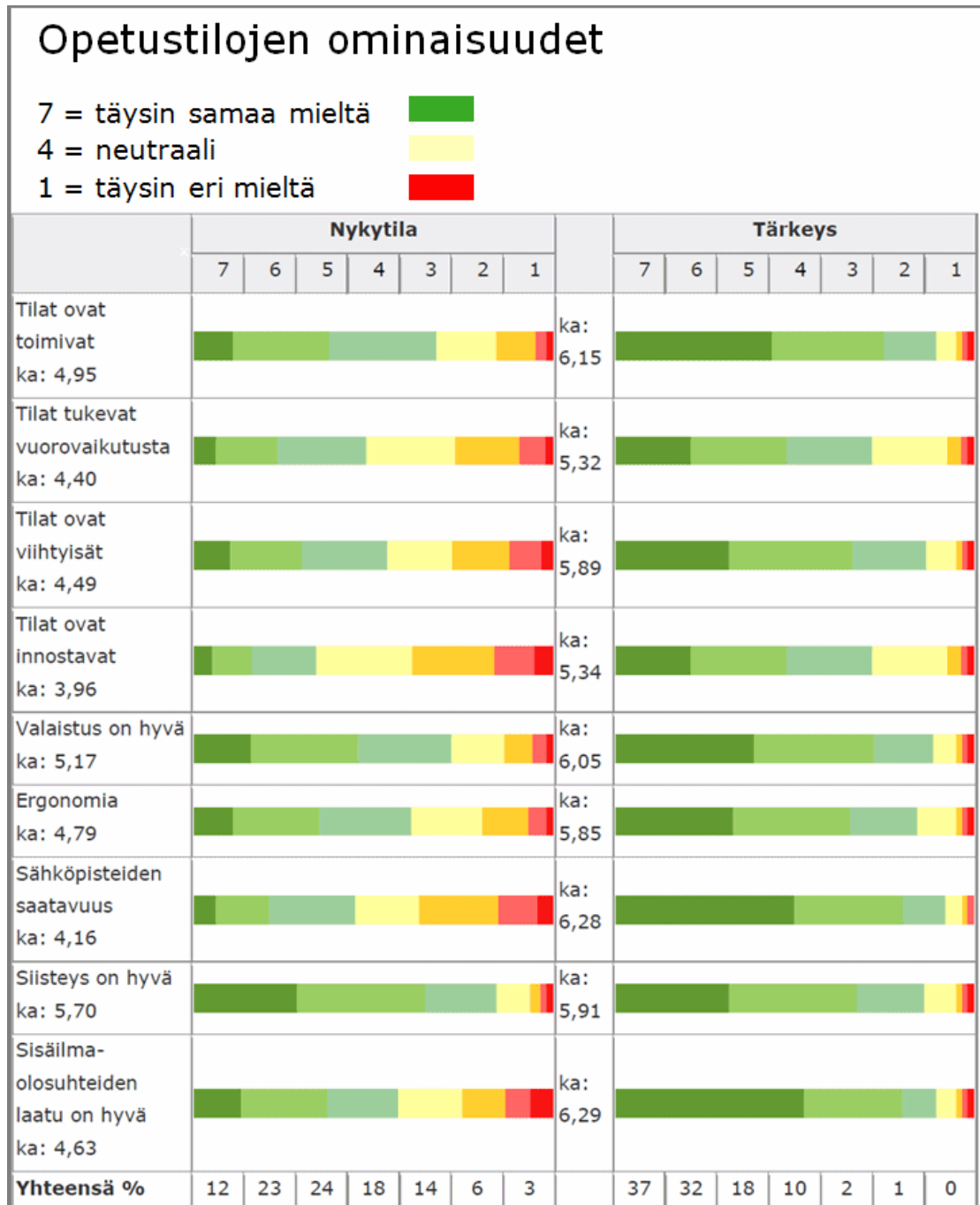
Ihmisten läsnäolon kuormittaman suljetun tilan ilmanlaadun on huomattu parantuvan tehokkaasti avaamalla suora ilmayhteys, tavallisimmin ovi, viereiseen sisätilaan, esimerkiksi neuvotteluhuoneesta käytävään. Oven tai ikkunan avaaminen kuormitetusta tilasta viereiseen raikkaampaan tilaan tai ulos on tilojen käyttäjien omatoiminen ilmanvaihtotapa. Näin on vaihdettu ilmaa rakennuksissa jo kauan ennen kuin nykyaikaisia ilmanvaihtokoneita oli edes olemassa. Ilman vaihtuvuus tilojen välillä perustuu eri lämpötiloissa olevan ilman erilaisiin tiheyksiin sekä tilojen väliseen

suoraan ilmayhteyteen, jonka muodostaa jonkinlainen siirtoilma-aukko. Tiheyserot eri lämpötiloissa olevien ilmojen välillä pyrkivät tasoittumaan ja aiheuttavat näin ilman liikettä. Tässä pätee sama periaate kuin niin sanotussa savupiippuilmiossa, jonka avulla perinteinen painovoimainen ilmanvaihto sekä tulipesien savukaasujen kulkeutuminen piippua pitkin ulos rakennuksesta toimivat.

Tilojen ilmanvaihto ja sisäilman laatu on erittäin tärkeä toimitilojen valintakriteeri. Skanska CDF Oy on jo kahdeksan vuoden ajan teettänyt asiantuntijaorganisaatio KTI Kiinteistötieto Oy:llä kyselytutkimuksen nimellä ”Tulevaisuuden työympäristö”. Tutkimus kartoittaa pääkaupunkiseudulla toimivien yli 50 työntekijän yritysten toimitilojen käyttöön ja tulevaisuudennäkymiin liittyviä kysymyksiä. Osa barometrin kysymyksistä liittyi toimistotilojen valintakriteerien tärkeyteen. Tilojen ilmanvaihdon ja sisäilman laadun huomattiin olevan erittäin tärkeä valintakriteeri. Kuvasta 1.1 voidaan nähdä, että ilmanvaihto ja ilmanlaatu ovat tietoverkkojen tason jälkeen toiseksi tärkein kriteeri ollen jopa tilakustannuksia ja hintaa merkittävämpi tekijä. (Skanska CDF Oy & KTI Kiinteistötieto Oy 2012, s. 21)



Kuva 1.1. Toimistotilojen valintakriteerien tärkeys pääkaupunkiseudun toimistotiloissa.



Kuva 1.2. Tilojen käyttäjien arvosanat opetustilojen ominaisuuksien nykytilasta ja tärkeydestä kymmenellä yliopistokampuksella Suomessa. (Suomen Yliopistokiinteistöt Oy 2013, s.7)

Myös yliopistomaailmassa sisäilman laatu koetaan ehdottoman tärkeäksi tekijäksi työhuoneen ja opetustilojen toimivuudessa. Suomen Yliopistokiinteistöt Oy teetti maaliskuussa 2013 yliopistojensa opiskelijoille ja henkilökunnalle Kampuskyselyn kymmenellä yliopistolla ympäri Suomea. Kyselyn tuloksia käytetään yrityksen omistamien kampusalueiden kehittämisessä. Vastauksia Kampuskyselyyn saatiin 8075. Vastaaajista kaksi kolmasosaa oli yliopistoilla opiskelevia ja yksi kolmasosa siellä työskenteleviä. Kun kyselyssä kysyttiin opetustilojen yhdeksän eri ominaisuuden nykytilaa ja tärkeyttä monivalintakysymyksellä asteikolla 1-7, nousi

sisäilmaolosuhteiden laatu kaikkein tärkeimmäksi. Myös työpisteiden ominaisuuksien tärkeydestä kysyttäessä sisäilmaolosuhteet nousivat yhdeksästä tekijästä kaikkein tärkeimmäksi. Sisäilmaolosuhteiden nykytilassa on vastaajien mukaan kehittämistä. Työpisteen tapauksessa sisäilmaolosuhteet olivat tilan ominaisuuksista vasta seitsemänneksi parhaiten kunnossa ja opetustiloissa viidenneksi parhaiten. Kaikkiaan yliopistotilojen nykytila sai verrattain hyvät arvosanat. Kuva 1.2 esittää opetustilojen saamat nykytilan ja tärkeyden arvosanat yhdeksälle eri tilan ominaisuudelle. (Suomen Yliopistokiinteistöt Oy, 2013)

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Tämän työn tavoitteena on perehtyä opetus- ja toimistorakennusten sisäilman laadun parantamiseen sekä kyseisten rakennusten talotekniikkaan liittyvään säästöpotentiaaliin. Tutkimushypoteesina on, että tilojen välisen siirtoilman käytön avulla voitaisiin parantaa tilojen ilmanlaatua, yksinkertaistaa taloteknisiä järjestelmiä ja edelleen parantaa talotekniikan toimintavarmuutta sekä muuntojoustavuutta. Ajatuksena on myös, että rakennusten varsinaisten ilmanvaihtokoneiden käyntiaika voidaan onnistuneesti määrittää aikaan, jolloin rakennuksen käyttö on kaikkein vilkkainta ja suurten ilmanvaihtokoneiden käyttö on tarkoituksenmukaista.

Huomionarvoista on, että tarkoituksena ei ole tutkia normaalin, rakennuksessa jo olevan koneellisen ilmanvaihdon korvaamista siirtoilman käytöllä. Sen sijaan työssä on tarkoituksena tutkia, voisivatko siirtoilma-aukot toimia normaalin ilmanvaihdon tukena tasaamalla tiloihin epätasaisesti käytön mukaan jakaantuvaa kuormitusta. Tavoitteena on selvittää, voidaanko siirtoilma-aukoilla parantaa sisäilman laatua ongelmallisissa kohteissa, joita kuormitetaan muista tiloista poikkeavalla tavalla. Työssä tarkastellaan tarkemmin oppilaitosten tietokoneluokkia, mutta tavoitteena on, että saatuja tuloksia voitaisiin hyödyntää soveltuvien osin muissakin tiloissa. Työssä tarkastellaan myös esimerkkikohteessa saavutettavaa energian säästöä ja taloudellista hyötyä laskennallisesti.

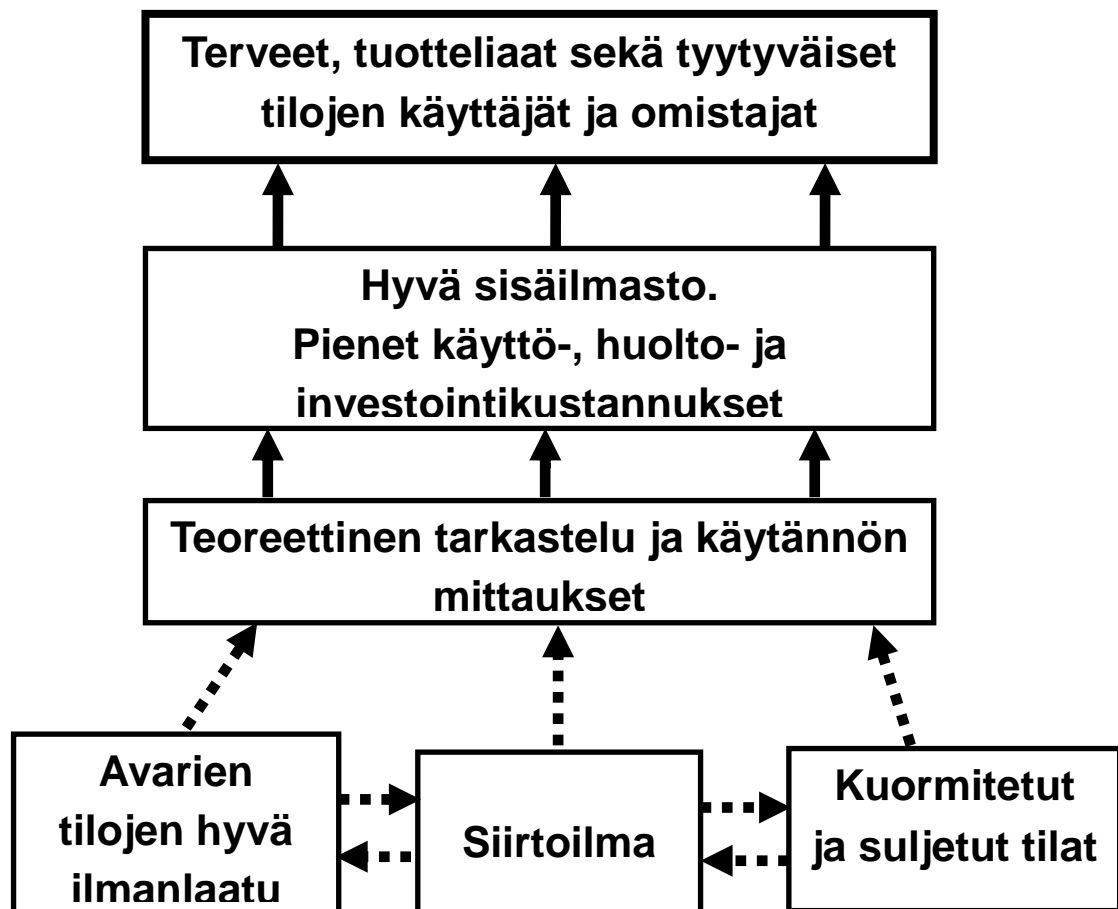
Poikkeuksellisesti kuormitetuilla tiloilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa tiloja, joita käytetään eri vuorokaudenaikoihin kuin muita tiloja. Käytännössä tämä tarkoittaa oppilaitos- ja toimistorakennusten tapauksessa erilaisten tilojen ilta- ja viikonloppukäyttöä. Esimerkiksi Tampereen teknillisellä yliopistolla opiskelijat voivat käyttää yliopiston tiloja ympäri vuorokauden ja myös viikonloppuisin. Erityisen suosittuja ilta- ja viikonloppu-aikaa ovat tietokoneluokat, joita tässäkin työssä lähemmin tarkastellaan.

Olemassa olevissa rakennuksissa ilmanvaihto on lähes poikkeuksetta toteutettu keskitetysti suurilla, useamman kuutiometrin sekuntinopeudella ilmaa puhaltavilla ilmanvaihtokoneilla. Suurilla ilmanvaihtokoneilla saavutetaan hyvä hyötysuhde, pieni laitemäärä ja helpompi huollettavuus. Iso ilmanvaihtokone kuluttaa käydessään paljon energiaa, joten niiden käyntiaikoja pyritään rajoittamaan mahdollisimman tarkoituksenmukaisiksi. Muista tiloista poikkeavasti kuormitetun tilan ollessa suuren

ilmanvaihtokoneen vaikutusalueella, muodostuu ongelmallinen tilanne, jossa suurta ilmanvaihtokonetta olisi tarpeen pitää päällä vain yhden tilan hyvän sisäilman laadun varmistamiseksi. Tässä työssä tarkastellaan mahdollisuutta tasata tiloihin kohdistuvaa ilman laatua huonontavaa kuormitusta siirtoilman avulla niin, että tilojen ilmanlaatu pysyy hyvällä tasolla, vaikka suuria ilmanvaihtokoneita ei pidetä päällä normaalien käyttötuntien ulkopuolella. Ilmanlaatua on arvioita hiilidioksidipitoisuuden perusteella.

Siirtoilman mahdollisista käyttökohteista keskitytään tarkemmin kahteen erilaiseen tapaukseen, joissa mahdollisuutta käyttää siirtoilmaa normaalin ilmanvaihdon tukena selvitettiin. Ensimmäinen tapaus oli tietokonehuone, jonka ilmanlaatua pyrittiin parantamaan tekemällä erilaisia siirtoilma-aukkoja sen seiniin. Toisessa tapauksessa tutkittiin myös tietokonehuonetta, mutta siinä käytettiin pienempiä siirtoilma-aukkoja ja siirtoilman kulkua tehostettiin pienillä sähkökäyttöisillä puhaltimilla.

Tässä työssä luodaan otsikolla ”**Siirtoilman käyttö ilmanvaihdossa**” katsaus siirtoilman käytön mahdollisuuksiin olla tukemassa ja tehostamassa rakennusten olemassa olevaa ilmanvaihtoa. Siirtoilman käyttö saattaa tulla käyttökelpoiseksi esimerkiksi käyttöajoiltaan muista tiloista poikkeavissa pienehköissä tiloissa, joiden takia suuren ilmanvaihtojärjestelmien käynnissä pito ei ole järkevää.



Kuva 1.3. Tutkimuksen lähtökohdat ja tavoitteet sekä niiden avulla tavoiteltavat päätavoitteet osana suurempaa sisäilmasto-projektia.

On huomattava, että energiatehokkuuteen pyritessä ei tule unohtaa ilmanvaihdon perimmäistä tarkoitusta ylläpitää turvallisia, terveellisiä ja viihtyisiä sisäilmasto-olosuhteita. Ilmanvaihtoa ei rakenneta, jotta se olisi mahdollisimman energiatehokas. Ilmanvaihto rakennetaan, jotta se osaltaan takaa hyvät olosuhteet sisätiloissa. Energiatehokkuus määritetäänkin usein energian käytön minimoinnin sijaan energian käytön optimointina. Toisin sanoen pyritään etsimään keinoja toteuttaa toimiva ilmanvaihto mahdollisimman pienellä energiankulutuksella. Tämänkin työn lähtökohdana on kuvan 1.4 mukaisesti se, että ilmanvaihto olisi osaltaan varmistamassa hyvää sisäilmastoa, joka edelleen takaisi terveet, tuotteliaat sekä tyytyväiset tilojen käyttäjät.

Ongelmallinen, globaalistikin vaikea taloudellinen tilanne, ympäristöystävällisyys ja energiatehokkuus muodostavat yhdessä haastavan yhtälön. Toisaalta, fiksusti toimittaessa voidaan edesauttaa asioita kaikista näistä näkökulmista katsottuna. Tämän työn tavoitteena on olla pienempi osa tämän haastavan prosessin eteenpäin viemisessä.

1.3 Työn suoritus

Työn suorituksen voidaan nähdä jakaantuneen kahteen toisiaan tukevaan osaan, joita olivat kirjallisuuskatsaus ja käytännön mittaukset. Näitä molempia osa-alueita vietiin eteenpäin samanaikaisesti. Lisäksi merkittävä työn suorituksen vaihe oli tämän kirjallisen opinnäytteen tuottaminen. Kirjoittamista pyrittiin viemään eteenpäin kirjallisuusselvityksen ja mittausten kanssa. Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin aiheeseen tutustumalla aihetta käsittelevään kirjallisuuteen mahdollisimman laadukkaita ja luotettavia lähteitä käyttäen. Kirjallisuuskatsauksen avulla saatiin käsitystä siitä, mitä aiheeseen liittyen on jo tehty ja tutkittu. Kirjallisuuskatsauksella luotiin lähtökohdat tutkimukselle ja tähän diplomityöhön sisällytettäviä asioita pystyttiin rajaamaan onnistuneesti ja muihin tutkimuksiin tukeutuen.

Koska sisäilman laadun parantaminen on sinänsä myös konkreettinen ja mitattavissa oleva tavoite, tarvittiin työn suorittamiseksi myös käytännön mittauksia sekä havainnointia. Mittauksilla saatiin mielenkiintoisia tuloksia vallitsevista olosuhteista sekä olosuhteisiin liittyvistä parannuspotentiaaleista. Tässä työssä saadut tärkeimmät tulokset sisäilman laatuun liittyen ovat nimenomaan mitattuja. ”Sitä saat, mitä mittaat.” kuuluu paljon käytetty sanonta, joka pätee etenkin monilla teknisillä aloilla.

Pelkkien siirtoilma-aukkojen tapauksessa tilan ilmanlaadun kehitystä tarkasteltiin tapauksessa, jossa kahden samankaltaisen tietokoneluokan väliseen seinään tehtiin aukko. Toisessa tapauksessa tarkasteltiin pienien siirtoilmapuhaltimien ja korvausilmasäleikköjen vaikutusta tietokoneluokan ilmanlaatuun.

1.4 Diplomityön rakenne

Tämän diplomityön rakenteen hahmottamiseksi sekä ulkoasun laadintaan on käytetty Tampereen teknillisen yliopiston opinnäytetyön kirjoittamiseen liittyvää ohjetta (Tampereen teknillinen yliopisto, 2006). Diplomityön ensimmäisessä kappaleessa johdatettiin lukija työn aiheeseen sekä rajattiin työ ja asetettiin sille tavoitteet. Toisessa kappaleessa esitetään aiheeseen liittyvät lähtökohdat sekä käydään läpi aiheeseen liittyvää teoriaa, jotta lukijan on helppo lähestyä käsiteltävää aihetta.

Työn kolmannessa kappaleessa lukija tutustutetaan tarkemmin nimenomaan tämän tutkimuksen kannalta relevantteihin asioihin ja lainalaisuuksiin. Kolmannessa kappaleessa pureudutaan vielä tarkemmin tämän työn käytännön tutkimuksen lähtökohtiin. Kolmannessa kappaleessa esitellään muun muassa tutkimuksen kohteena olleet tilat.

Neljännessä kappaleessa esitetään tarkasti työssä käytetyt menetelmät, jotta lukija ymmärtää, miten myöhemmin esitettävät tulokset on saatu. Neljännen kappaleen avulla myös menetelmien kriittinen arviointi on mahdollista.

Viidennessä kappaleessa esitetään mahdollisimman kattavasti tutkimuksessa saavutetut tärkeimmät tulokset. Koska mitattuja tuloksia tulee tähän tutkimukseen liittyen runsaasti, pyritään tulokset esittämään mahdollisimman havainnollisesti sekä kuvia että sanallista selostusta käyttämällä.

Kuudennessä kappaleessa vedetään tärkeimmät johtopäätökset ja kiteytetään työn tulokset tiiviissä muodossa. Kuudennessä kappaleessa myös lyhyesti arvioidaan työn onnistumista ja sitä, mitä aiheeseen liittyen voisi jatkossa tutkia.

2 SISÄILMASTO JA ILMANVAIHTO

Tässä luvussa esitellään opinnäytetyössä käytettävät tekniset, teoreettiset ja muut taustatiedot, jotka ovat välttämättömiä opinnäytetyössä myöhemmin selostettavien ratkaisujen ja käytettyjen menetelmien ymmärtämiselle.

2.1 Sisäilma ja sisäilmasto

Sisäilmayhdistyksen määritelmän mukaan sisäilma on sisätiloissa hengitettävää ilmaa, jossa ilman perusosien lisäksi saattaa olla eri lähteistä peräisin olevia kaasumaisia ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Sisäilmalla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä sitä rakenteiden rajaamaa ilmaa tiloissa, joissa ei ole pääsääntöisesti tuotannollisesta tai muusta poikkeavasta toiminnasta johtuvia päästöjä. Tällaisia tiloja ovat muun muassa asunnot, toimistot, koulut ja niin edelleen. (Sisäilmayhdistys, 2013a)

Sisäilmasto on sisäilmaa hieman laajempi sisäolosuhteita kuvaava kokonaisuus. Sisäilmasto muodostuu sisäilmasta ja siihen vaikuttavista fysikaalisista tekijöistä. Näitä fysikaalisia tekijöitä ovat; sisäilman kaasumaiset yhdisteet, sisäilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet, lämpötila, kosteus, ilman liike, säteily, valaistus ja melu (Sisäilmayhdistys, 2013a). Toimisto- ja opetusrakennusten normaaleja sisäilmaston kaasumaisia yhdisteitä ovat muun muassa haihtuvat orgaaniset yhdisteet, materiaalien kemialliset yhdisteet ja formaldehydi. Hiukkasmaisia epäpuhtauksia taas voisivat olla esimerkiksi huonepöly, liikenteen ja teollisuuden hiukkasmaiset epäpuhtaudet ja ihmisten sekä eläinten hilse.

Oleellinen osa sisäilman laatua on se, kuinka rakennusta ja sen tiloja käytetään. Ihmisten toiminta, tupakointi, käytetyt sisustus- ja rakennusmateriaalit, lemmikkieläimet, huonekasvit, siivouksen laatu, tiloissa tehtävät askareet sekä monet muut tilojen käyttäjän toimintaan liittyvät asiat vaikuttavat merkittävästi tilojen sisäilmaston muodostumiseen. Toimivalla talotekniikalla voidaan saada paljon aikaan, mutta tilojen asiallisen käytön merkitys on vähintään yhtä merkittävä. Myös rakennukselle ja sen tekniikalle tehtävät erilaiset huolto-, hoito-, siivous-, ylläpito- ja korjaustoimenpiteet näyttelevät merkittävää osaa sisätilojen ilmanlaadun muodostumisessa. Aivan kuten vaikkapa autot, myös rakennukset tarvitsevat jatkuvaa huoltoa ja huolenpitoa. Esimerkiksi huoltokirja on jo pitkään ollut autoihin kiinteästi kuuluva asiakirja, mutta yksityisomistuksessa oleviin rakennuksissa se on jopa harvinainen. Rakennusten tapauksessa huoltokirjaa kutsutaan rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeeksi. Rakentamismääräyskokoelman osan A4 mukaan rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje on tehtävä kaikkiin uudis- tai korjauskohteisiin, joita käytetään pysyvästi asumiseen tai työskentelyyn (Ympäristöministeriö 2000, s. 3).

2.2 Sisäilman tärkeimmät suureet

Lämpötila on sisäilman suureista yleisesti tunnetuin. Miltei joka kodissa on lämpömittarit ulko- ja sisälämpötilojen seurantaan. Lämpötila on kappaleen, myös ilman, sisäenergian määrä. Lämpötila siis kuvaa, miten lämmin tai kylmä jokin esine tai aine on. Lämpötilan SI-järjestelmän yksikkö on kelvin. Tässä diplomityössä käytetään kuitenkin celsiusasteita, koska se on suurena yleisesti huomattavasti käytetympi sisäilmaan liittyvissä asioissa.

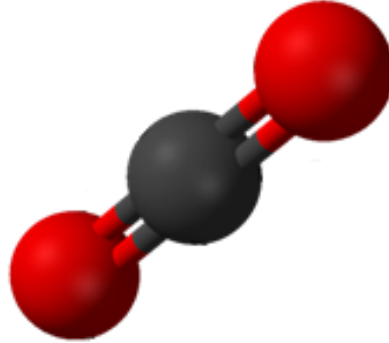
Lämpöolot ovat hieman lämpötilaa laajempi käsite ja ne koostuvat ilman lämpötilan lisäksi kosteuden ja virtausnopeuden sekä ympäröivien pintojen lämpötilojen yhteisvaikutuksesta. Ihmisen elimistö toimii parhaiten silloin, kun se luovuttaa lämpöä yhtä paljon kuin tuottaa. Lämpötasapainon tulisi pysyä yllä viihtyisästi ilman liiallisen kuumuuden aiheuttamaa hikoilua tai kylmyyden aiheuttamaa vapinaa ja muita reaktioita. Lämpötasapainoon vaikuttavat yksilölliset ominaisuudet, liikunta ja työ sekä lämmönhukka, joka määräytyy vaatetuksen sekä ympäristön lämpötilan, tuulen ja kosteuden mukaan. Niin sanottu operatiivinen lämpötila edustaa ihmisen tuntemaa kokonaislämpötilaa. Operatiivinen lämpötila ottaa huoneilman lämpötilan lisäksi huomioon myös ihmistä ympäröivien pintojen lämpötilat. Operatiivisen lämpötilan avulla kuvataan tarkemmin ihmisen aistimaa ja kokemaa lämpötilaa.

Ilman suhteellinen kosteus kertoo, kuinka monta prosenttia ilmassa on vesihöyryä siitä määrästä, jonka ilma tiettyssä lämpötilassa pystyy itseensä sitomaan. Esimerkiksi suhteellisen kosteuden ollessa 50 prosenttia, pystyisi ilma sitomaan itseensä kyseisessä lämpötilassa vielä saman verran vettä kuin siinä jo on. Lämmin ilma pystyy sitomaan huomattavasti enemmän vesihöyryä kuin kylmä ilma. Esimerkiksi + 23 °C:n lämpötilassa ilma pystyy sitomaan itseensä 20,6 grammaa ja + 10 °C:n lämpötilassa 9,4 grammaa vettä kuutiometriä kohden (Vaisala Humidity Calculator, 2013).

Suhteellinen kosteus on viihtyisyyden ja terveyden kannalta tärkeä sisäilman suure. Ihmisen keuhkot tarvitsevat kosteaa ilmaa. Nenä, nielu ja henkitorvi kostuttavat hengitettyä ilmaa, mutta ne rasittuvat pitkäaikaisesta kuivassa ilmassa oleskelusta. Sisäilma ei siis saisi olla liian kuivaa. Sisäilman liiallinen kosteus taas voi aiheuttaa mikrobikasvustoa rakenteissa ja lisätä punkkien esiintyvyyttä. Korkea sisäilman kosteus on myös homesienten ja lahovaurioiden syntymistä edesauttava tekijä. Sisäilman suhteellinen kosteus on myös rakennusfysikaaliseen toimivuuteen liittyvä olennainen tekijä.

Hiilidioksidi on hiilestä ja hapesta koostuva kemiallinen yhdiste. Hiilidioksidimolekyyli on lineaarinen ja 232 pikometriä pitkä, ja piirroskuvan siitä voi nähdä kuvana 2.1. Hiilidioksidi on suurina pitoisuuksina terveydelle haitallista. Puhtaana kaasuna se syrjäyttää hapen ja voi tukahduttaa ihmisen. Alhaisten, alle 3000 ppm:n hiilidioksidipitoisuuksien pitkäaikaisia vaikutuksia ihmiseen on tutkittu hyvin vähän. Normaaleissa olosuhteissa hiilidioksidi esiintyy ainoastaan kaasuna ja se

härmistyy kiinteäksi vasta -78 °C :n lämpötilassa. Hiilidioksidin tiheys on noin $1,98\text{ kg/m}^3$, eli noin 1,5 kertaa ilman tiheys, joka on $1,2\text{ kg/m}^3$ sisäolosuhteissa. (Työterveyslaitos 2011, s.2)



Kuva 2.1. Hiilidioksidimolekyylä on lineaarinen ja noin 232 pikometrin pituinen. (Wikipedia, 2013)

Hiilidioksidipitoisuus on tärkeä ja runsaasti mitattu sekä käytetty sisäilman suure. Ihminen tuottaa hengittäessään hiilidioksidia ja hiilidioksidipitoisuus kuvaa ihmisperäisten päästöjen määrää ilmassa. Aktiivisuustasostaan ja koostaan riippuen ihminen tuottaa puhdasta hiilidioksidia noin 0,3–1,5 litraa minuutissa, äärimmäisessä rasituksessa enemmänkin. Hiilidioksidin tuoton määrä on suoraan verrannollinen fyysiseen aktiviteettiin ja hapenkulutukseen. Ihmisen hiilidioksidituoton ja hiilidioksidin suhteellisen helpon mitattavuuden vuoksi hiilidioksidipitoisuutta käytetään ilmanvaihdon mitoituksen perusteena tiloissa, joissa ihmisten aiheuttama kuormitus on merkittävin ilmanlaadua alentava tekijä. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus kuvaa siis ilmanvaihdon riittävyttä suhteessa ihmisten aiheuttamaan kuormitukseen. Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden on huomattu reagoivan nopeasti ihmisten läsnäoloon sisätiloissa ja hiilidioksidipitoisuutta käytetäänkin usein ohjaamaan tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

On huomionarvoista, että pelkästään hiilidioksidipitoisuus ei ole määräävä sisäilman laadun mittari. Hiilidioksidipitoisuuden on vain huomattu olevan suhteellisen helposti mitattavissa oleva ja hyvin muitakin ihmisperäisiä epäpuhtauksia edustava suure. Hiilidioksidipitoisuutta ilmassa kuvataan yleensä yksiköllä miljoonasosina tilavuudesta (ppm) tai mikrogrammana kuutiometrissä (mg/m^3). Tässä opinnäytetyössä käytetään hiilidioksidipitoisuuden suureena miljoonasosaa tilavuudesta (ppm).

Ilmakehän ja ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on ollut kasvussa viime vuosikymmeninä ihmisen runsaan fossiilisten polttoaineiden käytön seurauksena. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus vaihtelee hieman sijainnista riippuen. Ilmatieteen laitoksen Pallaksen asemalla kuukausittainen hiilidioksidipitoisuuden taso ylitti 400 ppm ensimmäisen kerran huhtikuussa 2012 (Ilmatieteen laitos, 2013). Tätä noin 400 ppm:n pitoisuutta voidaan pitää lähtötasona myös sisäilman hiilidioksidipitoisuudelle.

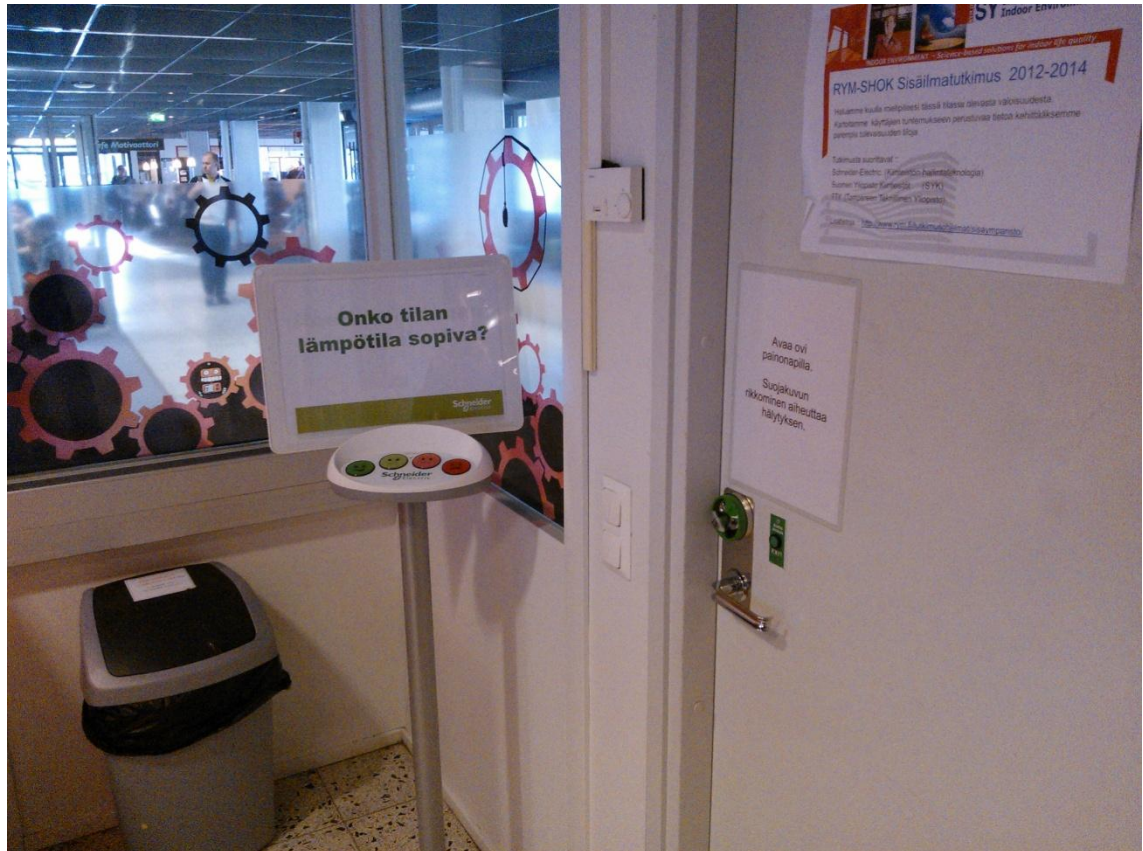
2.3 Sisäilmastoluokat sekä määräyksiä ja suosituksia sisäilman suureille

Sisäilmaan ja ilmanvaihtoon liittyvin määräyksin, asetuksin ja ohjein pyritään takaamaan kaikille rakennuksia käyttäville ihmiselle terveelliset, turvalliset ja viihtyisät sisäilmasto-olot vaikuttamalla rakennusten suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöön. Sisäilmayhdistys ry on vuonna 1990 perustettu aatteellinen yhdistys, jonka tarkoituksena on edistää rakennusten terveelliseen ja viihtyisään sisäilmastoon tähtäävää työtä (Sisäilmayhdistys, 2013b). Sisäilmayhdistyksen Sisäilmastoluokitus 2008 asettaa sisäilmaston kolmeen eri laatuluokkaan: S1 on paras ja yksilöllinen luokka, S2 on hyvä ja S3 on tyydyttävä sisäilmasto. Luokan S1 rakennuksessa on yksilöllinen sisäilmasto, ilmanlaatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus. S2 luokassa sallitaan S1 luokkaa suurempia lämpötilan nousuja esimerkiksi hellepäivinä sekä hetkellistä vetoa. S3 luokassa tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. (Säteri, 2008)

Sisäilman laatu ei ole täysin absoluuttinen arvo, vaan myös henkilökohtaisilla mieltymyksillä, mielipiteillä ja psykososiaalisilla tekijöillä on merkittävä vaikutus siihen, kuinka laadukkaaksi sisäilma koetaan. Sisäilman laatu on siis myös tottumiskysymys, muodostettu mielipide ja makuasia. Hyvää sisäilman laatua on melko vaikea määritellä pelkästään tiettyjen suureiden numeroarvojen avulla. Tämä lienee yksi syy siihen, miksi Sisäilmayhdistyksen Sisäilmastoluokituksessa sanalliset kuvailut olosuhteista ovat luokittelussa oleellisessa osassa. Numeeriset raja-arvot annetaan suureista ainoastaan lämpötilalle ja hiilidioksidille. Hiilidioksidipitoisuudelle annettavat maksimipitoisuudet luokittain ovat S1 750 ppm, S2 900 ppm ja S3 1200 ppm. Sisälämpötilan raja-arvot vaihtelevat luokituksessa ulkolämpötilan 24 tunnin keskiarvon mukaan. Luokassa S1 sisäilman lämpötilavaihteluiden tulee olla välillä 20 – 26 °C ja luokassa S2 välillä 20 – 27 °C. Lisäksi lämpötilalle annetaan 90 tai 95 prosentin pysyvyysvaatimukset huomattavasti kapeammalle tavoitealueelle.

Lainvoimaisen Suomen ympäristöministeriön asettaman rakentamismääräyskokoelman ilmanvaihtoa käsittelevä osa D2 määrää ilmanlaatuun liittyen seuraavaa: ”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilmassa ei esiinny haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja.” Lisäksi rakentamismääräyskokoelma ohjeistaa, että sisäilman hiilidioksidin pitoisuus tavanomaisissa sääoloissa ja huonetilan käyttöaikana on yleensä enintään 1200 ppm. Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan suunnitteluarvoksi D2 ohjeistaa lämmityskaudella 21 °C ja kesäkaudella 23 °C. (Ympäristöministeriö 2012, s. 6) Asumisterveysohjeen mukaan sisäilma ei ole terveydensuojalain vaatimukset täyttävää,

jos hiilidioksidipitoisuus on yli 2700 mg/m³ eli 1500 ppm (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, s. 22).



Kuva 2.2. Sisäilman laatua voidaan arvioida fysikaalisten suureiden mittaamisen lisäksi myös tilojen käyttäjille suunnatuilla kyselytutkimuksilla.

Mitattavien suureiden lisäksi yksi sisäilman laadun selvittämiseen ja luokitteluun käytetty keino on kyselytutkimus. Kyselytutkimuksissa kysytään tilojen käyttäjien tyytyväisyyttä sisäilmasto-olosuhteisiin. Voidaankin määritellä esimerkiksi, että sisäilma on hyvää, jos tietty osa rakennuksen käyttäjistä on tyytyväisiä sisäilman laatuun ja jos sisäilman haittatekijät eivät aiheuta terveydellistä vaaraa (Sisäilmayhdistys, 2013). Kuvassa 2.2 esiintyvä kyselylaite on yksi tapa selvittää, kuinka tyytyväisiä käyttäjät tiloihin ovat. Kyselytutkimuksia ja käyttäjien mielipiteitä kyseltäessä tehtäessä on otettava huomioon, että tutkimusten mukaan vähintään 5 prosenttia ihmisistä on aina tyytymättömiä sisäolosuhteisiin (Seppänen, O. 1988, sivu 12). Osa ihmisistä on siis joka tapauksessa tyytymättömiä, olivatpa olosuhteet millaiset tahansa.

2.4 Ilmanvaihtotapoja

Ilmanvaihdolla tarkoitetaan yleisesti huoneilman laadun ylläpitämistä ja parantamista huoneen ilmaa vaihtamalla. Ilmastoinnista puhutaan silloin, kun sisäilmaa käsitellään jotenkin sisäilman laadun, lämpötilan, kosteuden tai puhtauden parantamiseksi. Toimiva

ilmanvaihto on lähtökohta laadukkaalle sisäilmalle. Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti Suomessa yleisimmin käytetyt rakennusten ilmanvaihtotavat ottamatta erityisesti kantaa niiden toimivuuteen.

Ilmanvaihto perustuu aina paine-eroihin, joiden ansiosta ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Nämä paine-erot syntyvät luonnostaan lämpötila- ja korkeuserojen ansiosta tai koneellisesti puhaltimien avulla. Rakennusten ilmanvaihto voidaan toteuttaa joko niin sanottuna painovoimaisena tai koneellisena ilmanvaihtona. Näiden molempien periaatteiden ilmanvaihtotapoja tehostetaan usein tarpeen mukaan esimerkiksi ikkunatuuletuksella.

Perinteinen, luonnollisiin paine-eroihin perustuva niin sanottu painovoimainen ilmanvaihto oli aiemmin kaikkein käytetyin menetelmä. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ajatuksena on järjestää sekä tulo- että poistoilmalle vapaat virtausreitit rakennukseen ja sieltä ulos. Virtausreittien tulee olla riittävän vähän painehäviöitä aiheuttavat, jotta lämpötila- ja korkeuserojen aikaansaamat suhteellisen pienet paine-erot saisivat aikaan riittävän ilmanvaihdon. Käytännössä nämä virtausreitit toteutetaan tuloilman osalta seinissä olevien korvausilmareikien, korvausilmaventtiilien sekä rakennuksen vaipassa olevien vuotokohtien avulla. Poistoilma kulkeutuu ulos rakennuksesta tiloista rakennuksen katolle kulkevien poistoilmahormien kautta. Poistoilmahormeja on oltava useita, koska ilman ei haluta siirtyvän tilasta toiseen, ja toisaalta hormien on oltava mahdollisimman mutkattomia pienen painehäviön saavuttamiseksi.

Painovoimaisen ilmanvaihdon etuna on helppo ylläpito, sillä huollettavia koneita ei ole. Yhtenä ongelmana on huono säädettävyys, sillä luonnollisen paine-eron ja sitä kautta ilmanvaihdon syntyminen on voimakkaasti riippuvainen vallitsevista sääolosuhteista. Myös kylmän kulkeutuminen rakennukseen korvausilmaventtiilien tai muiden vaipan vuotokohtien kautta on hallitsematonta. Kehittyneiden tekniikoiden sekä rakennusten kiristyneiden energiatehokkuusvaatimusten myötä painovoimainen ilmanvaihto on saanut väistyä koneellisten ilmanvaihtotapojen tieltä. (Seppänen & Seppänen 1996, s. 166 - 168)

Asunnoissa hyvin yleinen ilmanvaihtotapa on koneellinen poistoilmanvaihto, jossa likainen ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti ja korvausilma tulee rakennukseen ikkunarakojen, korvausilmaventtiilien ja vuotokohtien kautta. Koneellisen poistoilmanvaihdolla voidaan saada aikaan parempi ilmanvaihtuvuus vuodenajasta ja sääolosuhteista riippumatta. Lisäksi rakennuksen sisällä sisäilman siirtyminen tilasta toiseen saadaan tapahtumaan halutulla tavalla koneellista poistoilmanvaihtoa käytettäessä.

Myös koneellisen poistoilmanvaihdon energiatehokkuus kärsii siitä, että korvausilma otetaan suoraan rakennukseen ulkoilmana sitä lämmittämättä. Myös veto-ongelmia esiintyy etenkin talviaikaan, jolloin sisään lämmittämättä vuotava ilma on kylmää. Myös rakenteiden epäpuhtauksia saattaa kulkeutua sisäilmaan, koska pelkkä poistoilmanvaihto saa aikaan vaipan tiiveydestä riippuen suurenkin paine-eron rakennuksen ja ulkoilman välille.

Julkisissa rakennuksissa ja uusimmissa asunnoissa yleisimmin käytetty ilmanvaihtotapa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Tässä ilmanvaihtotavassa sekä tulo- että poistoilman kuljettaminen hoidetaan koneellisesti. Tällaisella ilmanvaihtotekniikalla voidaan saada hallitusti aikaan riittävä ja vedoton ilmanvaihto kaikissa tiloissa ulko-olosuhteista riippumatta. Hallittu tuloilman tuonti mahdollistaa sen suodattamisen ja lämmittämisen, mikä parantaa sisäilmastoa useissa tapauksissa. Hallittu tuloilman tuonti taas mahdollistaa poistoilman sisältämän lämpöenergian hyödyntämisen tuloilman lämmittämiseen niin sanotuilla lämmön talteenottojärjestelmillä. Poistoilman lämmön talteenotto parantaa rakennusten energiatehokkuutta. Lämmön talteenottojärjestelmiä on lukuisia erilaisia ja niiden vuosihyötysuhde vaihtelee tyypillisesti välillä 0,45 – 0,75 (Ympäristöministeriö 2007, s.23).

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihto vaatii säännöllistä huoltoa. Vikaantuvia osia on muita ilmanvaihtotapoja huomattavasti enemmän. Ongelmia syntyy, mikäli koneet ja kanavat eivät ole kunnossa. Rakentamisen ja remonttien aikana on kiinnitettävä huomiota, etteivät kanavat likaannu rakennuspölyistä.

2.5 Määräyksiä ja ohjeita ilmanvaihdolle

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 luvun 3 alussa (Ympäristöministeriö 2012, s. 9) määrätään seuraavaa: ”Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo omalta osaltaan edellytykset tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle.” Tämän tilanteen saavuttamiseksi ilmanvaihdolle asetetaan myös tarkempia määräyksiä ja ohjeita. Määräyksiä ja ohjeita annetaan muun muassa ilmavirroille, äänitasoille, kanavien painetasoille, vaipan ja ulkoilman paine-eroille sekä ilman virtausnopeuksille oleskeluvyöhykkeellä. Tässä kappaleessa tutustutaan määräyksistä tämän tutkimuksen kannalta oleellisiin osiin.

Tiloihin johdettavien ulkoilmavirtojen määriin annetaan ohjeita ja määräyksiä, jotta rakennusten sisäilma pysyisi raikkaana. Ilmanvaihdon ulkoilmavirran määrän mitoittamiseen käytetään rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan sopivaa ilmanvaihdon suuruuden määräävää kriteeriä. Näitä kriteerejä voivat olla muun muassa ilman hiilidioksidipitoisuus, ihmisperäiset hajut, tupakan savu, kosteus ja rakennus- ja sisustusmateriaalien päästöt (Seppänen & Seppänen 1996, s. 163 - 164). Määräyksissä ja ohjeissa ulkoilmavirta määräytyy ensisijaisesti tilojen henkilömäärien perusteella. Mikäli henkilöiden lukumäärän mukaiseen mitoittamiseen ei kuitenkaan ole perusteita, käytetään huoneiden lattiapinta-alaan perustuvaa mitoittamista.

Oppilaitosten opetustilojen ilmavirroiksi Rakentamismääräyskokoelman osa D2 (Ympäristöministeriö 2012, liite 1, taulukko 3) ohjeistaa 6 litraa sekunnissa henkilöä kohden tai $3 \text{ dm}^3/(\text{sm}^2)$. Luentosaleihin puolestaan tuodaan D2:n ohjeiden mukaan 8 litraa sekunnissa henkilöä kohden tai 6 litraa sekunnissa lattianeliometriä kohden.

Oppilaitosten käytäville ja auloihin D2 opastaa tuotavan ulkoilmaa 4 litraa sekunnissa lattianeliömetriä kohden. Tässä työssä tutkittavat tietokoneluokat voidaan laskea kuuluviksi opetustiloihin. Lisäksi siirtoilmaideassa oleellisessa osassa ovat myös opetustilojen viereiset käytävät ja aulat.

”Ihmistä häiritsevä, haitallinen tai tarpeeton ääni on melua.”, sanotaan tutkimusraportissa Talonrakentamisen akustiikka (Kylliäinen 2006, s. 13). Kylliäinen (2006, s. 143) listaa edelleen, että rakennusten talotekniset järjestelmät vaikuttavat rakennusten ääniolosuhteisiin lähinnä kolmella tavalla; ilman virtausäänet, koneiden värähtelyn aiheuttamat runkoäänet sekä läpivientien rakenteiden ilma- tai askeläänieristyskykyä heikentävä vaikutus. Jotta ilmanvaihto ei tuottaisi liikaa melua, on sen akustiikkaan kiinnitettävä huomiota. Rakentamismääräyskokoelman osan C1 (Ympäristöministeriö 1998, s. 7) mukaan oppilaitosten luokkahuoneita vastaavissa tiloissa taloteknisten laitteiden aiheuttama suurin ohjeellinen keskiäänitaso on 33 dB (A) ja enimmäisäänitaso 38 dB (A). A-merkintä tarkoittaa mitattujen äänenpainetasojen painotusta niin, että luvut kuvaavat paremmin äänten häiritsevyyttä ihmiskorvan kannalta.

Rakennuksen eri huonetilojen painesuhteet pyritään aina suunnittelemaan siten, että ilma virtaa puhtaammista tiloista sellaisiin tiloihin, joissa syntyy enemmän epäpuhtauksia. Ulkoilmaan nähden rakennus pyritään suunnittelemaan yleensä lievästi alipaineiseksi, jottei muodostuisi riskiä kostean sisäilman kondensoitumisesta viileisiin ulkoseiniin. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa rakennuksen alipaineisuus ulkoilmaan nähden saadaan aikaan tekemällä poistoilmavirrasta hieman tuloilmavirtaa suurempi. Rakentamismääräyskokoelman osa D2 ohjeistaa, että rakennuksen alipaine ulkoilmaan nähden ei saisi olla suurempi kuin 30 Pa (Ympäristöministeriö 2012, s. 19).

Taulukko 1. Suositellut paine-erot rakennuksen ulkovaipan yli. Miinus-merkki tarkoittaa sisätilojen alipaineisuutta ulkoilmaan nähden. (Asumisterveysopas 2009, s. 60)

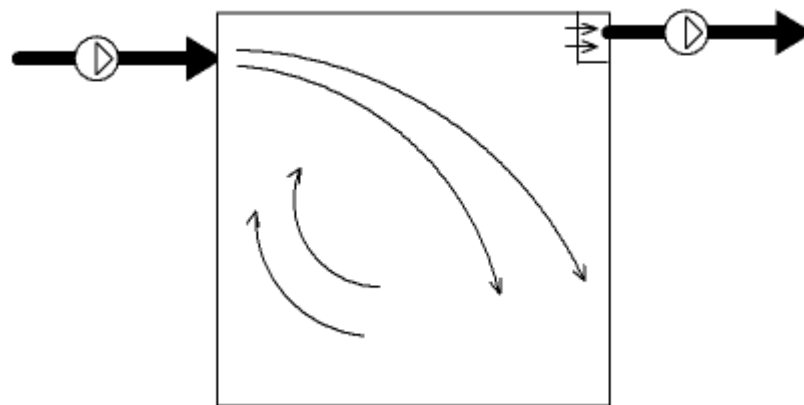
Ilmanvaihtotapa	Paine-ero	Huomautuksia
Painovoimainen ilmanvaihto	0... -5 Pa ulkoilmaan	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan
Koneellinen poistoilmanvaihto	-5... -20 Pa ulkoilmaan	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys	0... -2 Pa ulkoilmaan	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan

2.6 Huonekohtaisia ilmanjakotapoja

Sekoittavan ilmanjaon tarkoituksena on sekoittaa tuloilma huonetilassa jo olevaan ilmaan siten, että tilan lämpötila ja epäpuhtauskonsentraatiot olisivat mahdollisimman tasaiset joko koko huonetilassa tai valitulla alueella, esimerkiksi oleskeluvyöhykkeellä. Yleensä tuloilma tuodaan tilan yläosiin ja melko kovalla nopeudella, jotta saataisiin

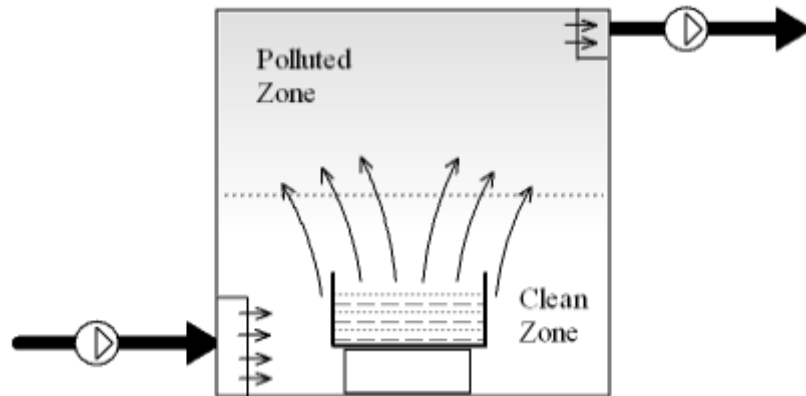
aikaan sekoittava vaikutus. Kuva 2.3 havainnollistaa ilmavirtojen liikettä huoneessa, jossa on sekoittava ilmanjakotapa.

Sekoittava ilmanjako pitää sisäilman laadun tasaisena kaikkialla tilassa. Tuloilman suuren nopeuden takia on suunnittelussa kiinnitettävä erityistä huomiota tuloilmalaitteiden akustisiin ominaisuuksiin meluongelmien estämiseksi sekä tuloilman oikeaan suuntaamiseen käyttäjien vedontunteen välttämiseksi. Sekoittavassa ilmanvaihdossa poistoilmassa on suurin piirtein yhtä paljon epäpuhtauksia kuin huoneessa keskimäärin. Sekoittava ilmanjakotapa on hyvin yleisesti käytetty ilmanjakotapa, jolla huolehditaan yleensä muun muassa luokkahuoneiden ja makuuhuoneiden ilmanlaadusta.



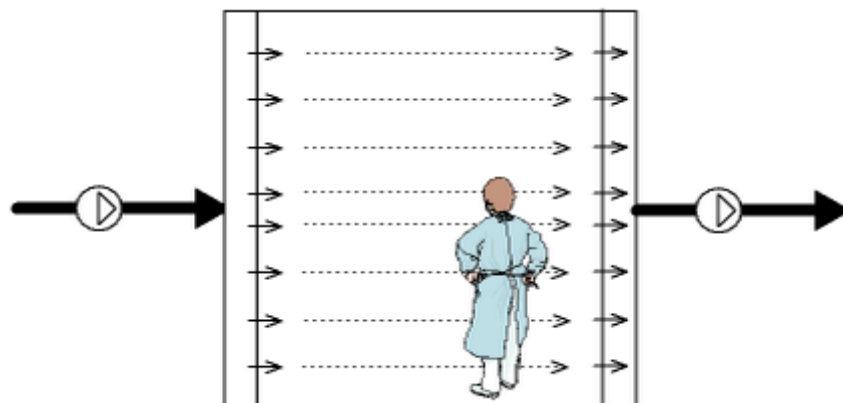
Kuva 2.3. Sekoittavan ilmanjakotavan periaate. (EngineerToolBox, 2013)

Syrjäyttävän ilmanvaihdon periaatteena on pitää oleskeluvyöhykkeen ilmanlaatu hyvänä ohjaamalla epäpuhdas ilma kohti poistoilmanvaihtoa, joka sijaitsee yleensä huoneen yläosissa. Huonelämpötilaa viileämpi tuloilma johdetaan huonetilan alaosiin pienellä nopeudella kuvan 2.4 osoittamalla tavalla. Syrjäyttävässä ilmanvaihdossa on ajatuksena käyttää hyväksi ihmisten ja muiden huoneessa olevien lämpökuormien lämmittävää vaikutusta niin, että tuloilma lämpenee, kevenee ja nousee huonetilassa ylemmäs kohti poistoilmakanavia. Syrjäyttävässä ilmanvaihdossa poistoilman epäpuhtauspitoisuudet ovatkin huonetilan keskiarvoa suuremmat. Syrjäyttävää ilmanjakotapaa käytetään usein esimerkiksi auditorioissa, elokuvateattereissa ja suurissa luentosaleissa.



Kuva 2.4. Syrjäyttävän ilmanjakotavan periaate. (EngineerToolBox, 2013)

Mäntäperiaatteen mukaisen eli laminaarisen ilmanjaon tavoitteena on saada tilaan tasainen suora ja pyörteetön ilmavirtaus tuloilmakojeesta poistoilmakojeeseen. Laminaarisessa ilmanjaossa tuloilma tuodaan tilaan suuresta pinta-alasta ja alhaisella nopeudella. Usein tuloilma tuodaan tilaan ylhäältä katosta, ja suurta tuloilmapäätettä sanotaankin laminaarikatoksi. Laminaarinen ilmanjako voi toimia myös seinästä seinään, kuten kuvassa 2.5 on esitetty. Laminaarisessa ilmanjaossa ilmamäärät ovat suuria, ja siksi osa poistoilmasta kierrätetään uudelleen tilaan suodatettuna kierrätysilmana. Laminaarista ilmanjakoa käytetään etenkin tiloissa, joissa vaaditaan tavallista korkeampaa puhtaustasoa, esimerkiksi leikkaussaleissa.



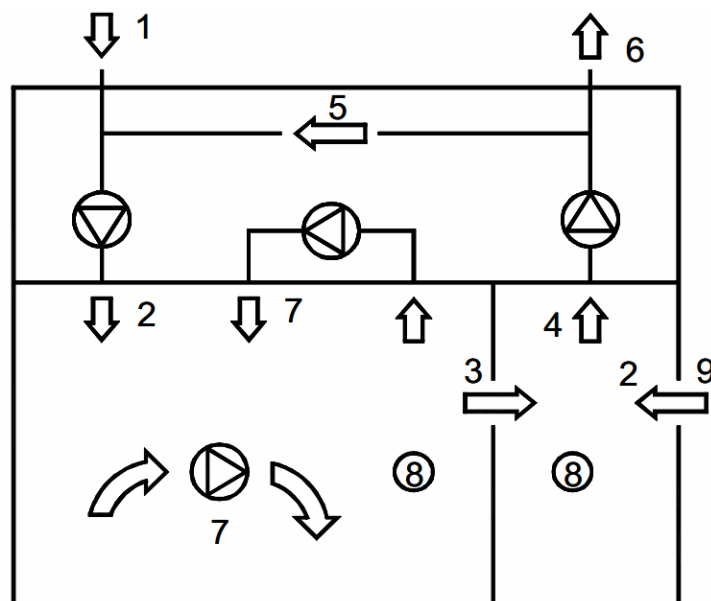
Kuva 2.5. Laminaarisen ilmanjakotavan periaate. (EngineerToolBox, 2013)

Erilaisia ilmanjakotapoja koneellisessa ilmanvaihdossa on tässä esiteltyjen kolmen lisäksi muitakin. Ei voida sanoa, mikä jakotapa olisi selvästi muita parempi, vaan jokaiselle ilmanjakotavalle on omat käyttökohteensa ja ilmanjakotapa on valittava tapauskohtaisesti. Ilmanjakotapaa valittaessa on otettava huomioon lukuisia tilaan ja rakennukseen liittyviä asioita. Näitä asioita ovat esimerkiksi tilan käyttötarkoitus nyt ja vastaisuudessa, käytettävissä olevat resurssit ja tavoiteltava laatutaso.

3 SIIRTOILMA JA TUTKITTAVAT TILAT

3.1 Siirtoilma ja siirtoilma-aukot

Siirtoilmaksi sanotaan ilmaa, joka siirtyy kanavoimatta rakennuksen sisällä tilasta toiseen. Lähes poikkeuksetta ilmanvaihto pyritään suunnittelemaan siten, että ilma siirtyisi rakennuksen sisällä ilmanvaihdon kannalta puhtaista tiloista, esimerkiksi makuuhuoneista, kohti likaisia tiloja kuten keittiö ja saniteettitilat. Juuri tämä rakennuksen sisällä huoneista toisiin siirtyvä sisäilma on siirtoilmaa. Rakentamismääräyskokoelman osa D2 (Ympäristöministeriö 2012, s. 12) antaa poistoilmaluokituksen, jonka poistoilmaluokan 1 kuvaus on seuraava: ”Poistoilma, joka sisältää vain vähän epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet ovat pääasiallisesti lähtöisin ihmisistä tai rakenteista. Ilma soveltuu palautus- ja siirtoilmaksi.” Ja edelleen tilaesimerkkeinä annetaan: ”Toimistotilat ja niiden yhteydessä olevat pienet varastotilat, yleisöpalvelutilat, opetustilat, eräät kokoontumistilat sekä liiketilat, joissa ei ole hajukuormitusta.” Rakentamismääräyskokoelman osa D2 tarkoittaa myöhemmin seuraavasti: ”Palautus- ja siirtoilmana saadaan käyttää vain ilmanpuhtaudeltaan samanarvoisten tai puhtaampien tilojen ilmaa, joka ei saa sisältää haitallisia määriä epäpuhtauksia.” Rakentamismääräyskokoelman osan D2 kuva esitetään kuvana 3.1 ja se näyttää ilmanvaihdossa eri ilmavirroista käytetyt nimitykset.



Kuva 3.1. Ilmavirtojen nimitykset: 1. ulkoilma, 2. tuloilma, 3. siirtoilma, 4. poistoilma, 5. palautusilma, 6. jäteilma, 7. kierrätysilma, 8. sisäilma ja 9. ulkoilma eli korvausilma. (Ympäristöministeriö 2012, s. 4)

Siirtoilma-aukot ovat lyhyitä ilmankulkureittejä kahden tilan tai tilan ja ulkoilman välillä. Siirtoilma-aukko tehdään tyypillisesti seinään ja kohtaan, josta on tarpeen johdattaa siirtoilmaa tilasta toiseen. Hyvin tavallisesti siirtoilma-aukon voi nähdä WC- tai suihkutilojen ja viereisen aulan, käytävän tai pukuhuoneen välisessä seinässä. Usein siirtoilma-aukko sijoitetaan myös WC-tilojen oveen tai oven päälle. WC- ja pesuhuonetiloiissa on lähes poikkeuksetta pelkkä poistoilmanvaihto, jotta painesuhteet säilyisivät siirtoilma-ajatuksen kannalta edullisina ja edelleen välttyttäisiin likaisen ja kostean ilman kulkeutumiselta viereisiin tiloihin. Pelkkä poistoilmanvaihto tarkoittaa sitä, että tilat tulevat alipaineiseksi viereisiin tiloihin nähden ja tiloihin tulee saada jostain korvausilmaa. WC-tiloihin tuloilma tuleekin viereisistä tiloista siirtoilmana siirtoilma-aukkojen kautta. Pientaloissa WC-tilojen siirtoilma-aukkona toimii usein oven kynnyksrakko, joka sekkin otetaan huomioon ilmanvaihtosuunnittelussa siirtoilman kulkureittinä.

Siirtoilma-aukon sijainti ja tilan käyttötarkoitus määräävät, millainen siirtoilma-aukko on sopiva. Tilojen välisiin seiniin rakennettavat siirtoilma-aukot voivat olla pelkkiä yksinkertaisia reikiä mutta myös hieman monimutkaisempia ilmankulkureittejä, jotka toimivat esimerkiksi eristävät ilmaääntä eivätkä siten päästä lävitseen melua. Tekniikkaa tai akustisia ominaisuuksia sisältäviä siirtoilma-aukkoja kutsutaan usein siirtoilmalaitteiksi. Akustiset vaatimukset ja ilmankulkureittien monimutkaisuus hankaloittavat ilman kulkua siirtoilma-aukon läpi. Suuremman painehäviön voittamiseksi tarvitaan suurempi paine-ero. Siirtoilma-aukon painehäviö onkin yksi siirtoilman käyttöä suunniteltaessa huomioon otettava asia. Akustiset siirtoilmalaitteet varustetaan usein koneellisin puhaltimin suuremman paine-eron aikaansaamiseksi ja ilman kulun tehostamiseksi.

Tässä työssä käytettiin TTY:n Konetalon tietokonehuokkien K1243 ja K1242 välisessä seinässä siirtoilma-aukkoja, jotka olivat pelkkiä aukkoja seinissä. Tietokonehuokkaan K1103 puolestaan tehtiin neljä siirtoilma-aukkoa. Näistä kaksi oli pelkkiä ritilöin naamioituja aukkoja kevyessä väliseinässä. Toiset kaksi aukkoa oli varustettu pienitehoisilla puhaltimilla, jotka tehostivat ilman liikettä siirtoilma-aukon yli. Tässä työssä asennetuissa siirtoilma-aukoissa ei ollut erityisiä akustisia ominaisuuksia.

3.2 TTY:n Konetalo

Molemmat tässä työssä tutkittavat tietokonehuokat sijaitsevat Tampereen Hervannassa Tampereen teknillisellä yliopistolla rakennuksessa nimeltä Konetalo. Konetalo on TTY:n Hervannan kampuksen ensimmäinen rakennus ja se on valmistunut vuonna 1974. Viisikerroksisen Konetalon omistaa Suomen Yliopistokiinteistöt Oy ja siinä on huoneistoalaa noin 26000 neliometriä ja lämmintä tilavuutta noin 115000 kuutiometriä. Konetalo on neliön muotoinen ja sen sisällä on suuri sisäpiha. Kaksi rakennuksen sivua on toteutettu kaksikäytäväratkaisuna, jossa keskelle jää erilaisia sosiaali-, varasto ynnä

muita tiloja. Kaksi muuta sivua on toteutettu yhdellä käytävällä, jossa työtilat sijaitsevat käytävän molemmilla puolilla. Rakennuksessa on oppimistiloja, laboratoriotiloja, toimistotilaa ja verstaiteja.

Kuvassa 3.2 esiintyvän Konetalon tiloissa toimii muun muassa Teknisen suunnittelun laitos, TTY:n kielikeskus, ravintola Newton ja kahvila Motivaattori. Rakennuksen käyttö on vilkkainta toimisto-aikaan eli arkisin aamukahdeksasta iltapäivään kello neljään. Konetaloa on peruskorjattu kuudessa vaiheessa vuosina 1999 - 2004. Tässä työssä tarkemmin tutkittavat tilat rakennusosassa C on remontoitu kolmannessa vaiheessa. Uudet ilmanvaihtokoneet tutkittavien tilojen rakennusosalle C on asennettu vuonna 2004. Uusin suurehko remontti Konetalossa tehtiin vuoden 2012 aikana, jolloin rakennukseen vaihdettiin ikkunat ja uudistettiin ulkovuorausta osittain. Konetalon yksittäisten tilojen käyttötarkoitus on vaihdellut vuosien varrella runsaasti käyttäjän eli yliopiston tarpeiden mukaan.



Kuva 3.2. TTY:n Konetalo valmistui Tampereen Hervantaan vuonna 1974.

Konetalossa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, joka on päällä arkisin kello 6.45 – 17.15. Perjantaina ilmanvaihto sammutetaan iltapäivällä tuntia muita arkipäiviä aiemmin. Saniteettitilojen erilliset poistoilmakoneet ovat päällä vuorokauden ympäri. Konetalon yleiset aula- ja ryhmätyötilat sekä luokat ovat aina opiskelijoiden käytössä. Tämä vapaa ympärivuorokautinen käyttö saa aikaan runsaasti rakennuksen varsinaisten käyttötuntien ulkopuolista käyttöä, esimerkiksi juuri tässä työssä tutkittavien

tietokonealuokkien osalta. Rakennusta lämmitetään kaukolämmöllä ja osassa tiloista on jäähdytys.

3.3 Konetalon tietokoneluokat K1243 ja K1242

Toinen tässä tutkimuksessa kokeellisin mittauksin tarkastelluista tiloista oli Tampereen teknillisen yliopiston Konetalon ensimmäisessä kerroksessa sijaitseva tietokonealuokka K1243 ja sen viereinen luokka K1242. Luokkia käyttävät suureksi osaksi Teknisen suunnittelun laitoksen kursseilla opiskelevat CAD-piirustusten laatimiseen. Luokassa K1243 on noin 25 tietokonetta ja kaikkiaan noin 40 istumapaikkaa. Vieressä sijaitsee samanlainen tietokonealuokka K1242, mutta se on pohjaratkaisultaan luokan K1243 peilikuva. Molempien luokkien pituus on 9,0 metriä, leveys 8,1 metriä ja korkeus 3,0 metriä. Luokkien lattiapinta-alat siis ovat 73 neliometriä ja tilavuudet 219 kuutiometriä. Molemmat luokat K1243 ja K1242 ovat normaalisti opiskelijoiden vapaassa käytössä. Luokkien ovet pidetään kuitenkin aina turvallisuussyistä lukittuina, jotteivät ulkopuoliset pääse tiloihin. Tässä tutkimuksessa tehtyjen mittausten ajaksi luokat kuitenkin suljettiin normaalilta käytöltä valitun mittausasetelman vuoksi. Kuvassa 3.3 näytetään tietokonealuokka K1243, jossa tämän tutkimuksen mittauksia tehtiin.



Kuva 3.3. Konetalon tietokonealuokassa K1243 on noin 25 tietokonetta ja siellä opiskellaan muun muassa koneenpiirustusta CAD-ohjelmilla.

Luokkien normaali ilmanvaihto on päällä arkisin kello 6.45 – 17.15 välisenä aikana, kuten muukin Konetalon ilmanvaihto. Luokkien ilmanjako on toteutettu sekoittavana siten, että tuloilma tuodaan yläkautta kolmella tuloilmapäätteellä ja poistoilma imetään käytävän puoleiselta seinältä läheltä katonrajaa. Luokkien ilmavirrat ilmanvaihdon ollessa päällä ovat suunnitelmien mukaan $300 \text{ dm}^3/\text{s}$. Ilmamäärien todettiin myös normaalissa käytännön tilanteessa toteutuvan melko samansuuruisina kuin suunnitelmien ilmavirrat. Luokan käyttötarkoituksen mukaan sen sisäilma on luokiteltavissa Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaiseen poistoilmaluokkaan 1. Yksi luokkien seinistä on ulkoseinää, yksi rajautuu pitkään käytävään luokkien vieressä ja kaksi seinää on luokkien välisiä seiniä. Luokkia jäähdytetään koneellisesti puhallinkonvektoreiden ja kierrätysilman avulla. Puhallinkonvektorit ovat käyttäjien käsin säädettävissä.

3.4 Konetalon aulan ATK-luokka K1103

Toinen tämän tutkimuksen kohde oli Konetalon pääaulan tietokonealuokka K1103, joka voidaan nähdä sisäpuolelta kuvassa 3.4. Luokka on opiskelijoiden vapaassa käytössä kulkukortin avulla vuorokauden ympäri ja vuoden jokaisena päivänä. Tietokonealuokkaa käytetään ryhmätöiden tekemiseen, tulostamiseen, vapaa-ajan käyttöön ja moniin muihin tietokonetta vaativiin askareisiin. Luokka on keskeisen sijaintinsa vuoksi suosittu ja sen 26 tietokonepaikkaa ovat etenkin päivisin aina lähes täynnä. Koska luokka on opiskelijoille aina avoin, jatkuu käyttö iltamyöhään etenkin arkipäivisin. Luokka on 10,5 metriä pitkä, 6 metriä leveä ja 3,5 metriä korkea, ja sen tilavuus on 221 kuutiometriä. Tällä luokalla ei ole lainkaan ulkoseinää ja heti sen vieressä on Konetalon tilava aula. Luokalla on kolme ovea aulaan, mutta vain yksi ovista on päivittäisessä käytössä. Luokan ovet eivät ole äänieristettyjä. Aulan ja sen viereisten tilojen pohjapiirros lattiapinta-aloineen esitetään kuvana 3.5.



Kuva 3.4. TTY:n Konetalon ATK-luokka K1103 sisäpuolelta.

Luokan K1103 ilmanvaihto on suurten ilmanvaihtokoneiden palvelualueella. Vesikatolla sijaitsevilla ilmanvaihtokoneilla vaihdetaan ilmaa rakennusosan C tiloissa neljässä eri kerroksessa. Tulopuolen ilmanvaihtokoneen ilmanvaihtomäärä on piirustusten mukaan yhteensä $6100 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja poistopuolen ilmanvaihtokoneen yhteensä $5120 \text{ dm}^3/\text{s}$. Erillistä huippuimurein toteutettuja poistoilmanvaihtoa rakennusosassa C on kohdepoistoissa, vetokaapeissa ja kemiallisissa varastoissa kojeluettelon mukaan yhteensä $1755 \text{ dm}^3/\text{s}$. Kokonaisilmavirrat tässä rakennusosassa ovat siis noin $6100 \text{ dm}^3/\text{s}$ tuloilmaa ja $6875 \text{ dm}^3/\text{s}$ poistoilmaa. Ilmanvaihtokoneet ovat käynnissä arkipäivisin kello 6.45 ja 17.15 välisenä aikana. Perjantaina ilmanvaihto sammuu tuntia aiemmin.

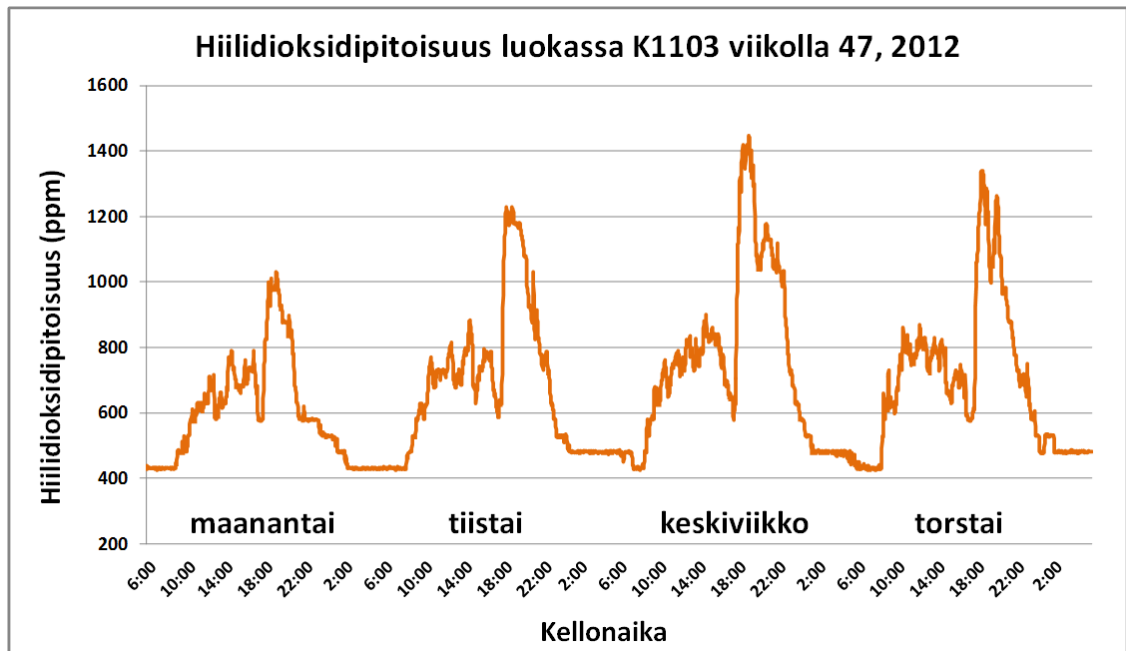
Luokan K1103 ilmanjako on toteutettu sekoittavana ilmanvaihtoa siten, että sekä poisto- että tuloilmapäätteet ovat huoneen yläosissa lähellä katonrajaa. Poisto- ja tuloilmavirrat ovat suunnitelmien mukaan $250 \text{ dm}^3/\text{s}$. Näiden määrien todettiin mittauksin toteutuvan myös käytännössä. Normaalisti tässä tietokoneluokassa on koneellinen jäähdytys ja se on toteutettu käyttäjien säädettävissä olevien vesijäähdytteisin puhallinkonvektoreiden ja kierrätysilman avulla. Koska puhallinkonvektoreiden toiminnassa oli epävarmuutta, päätettiin ne kytkeä kokonaan pois päältä tämän tutkimuksen ajaksi. Luokassa ei ole mitään erityisiä päästö- tai kosteuslähteitä, joten merkittävimpänä päästölähteenä ja ilmanvaihdon mitoittavana tekijänä voidaan pitää ihmisten lukumäärää tilassa. Luokan ja viereisen aulan käyttötarkoituksen mukaan niiden sisäilma on luokiteltavissa

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaiseen poistoilmaluokkaan 1.

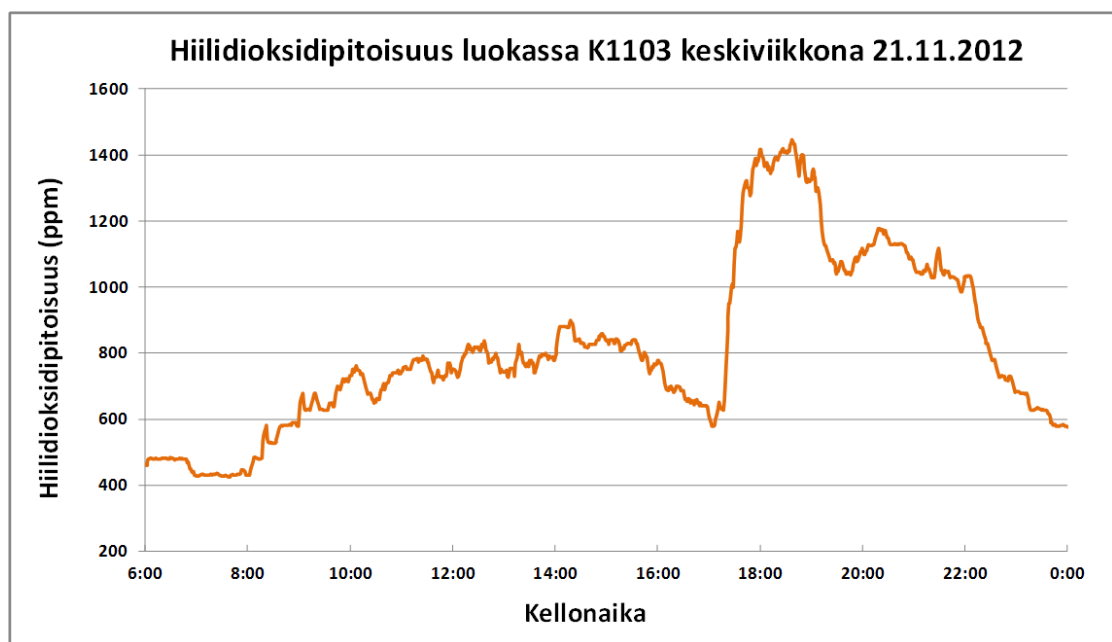


Kuva 3.5. Tampereen teknillisen yliopiston Konetalon sisäntuloaulan pohjapiirros lattiapinta-aloineen. Siirtoilmapuhaltimien vaikutusta sisäilman laatuun tutkittiin ATK-luokassa K1103, joka on rajattu kuvassa punaisella katkoviivalla.

Koska luokkaa K1103 käytetään paljon myös toimistoajan ulkopuolella, huomattiin luokan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden nousevan etenkin arki-iltaisain huomattavasti normaalia korkeammalle. Hiilidioksidipitoisuus kohoaa heti ilmanvaihtokoneiden sammuttua myöhään iltapäivällä kello 17.15 alkaen. Luokan tunkkaisuus aistittiin myös paikan päällä havainnoimalla. Kuva 3.6 esittää luokan K1103 sisäilman hiilidioksidipitoisuuden viikolla 47 vuonna 2012 maanantaista torstaihin. Kuva 3.7 näyttää ilman hiilidioksidipitoisuuden tarkemmin yhdeltä päivältä eli keskiviikolta 21.11.2012.



Kuva 3.6. Luokan K1103 sisäilman hiilidioksidipitoisuus viikolla 47 vuonna 2012. Kuvasta voidaan helposti nähdä, kuinka hiilidioksidipitoisuus nousee klo 17 jälkeen.



Kuva 3.7. Luokan K1103 yhden arkipäivän hiilidioksidipitoisuus keskiviikolta 21.11.2012. Liian pieni ilmanvaihto näkyy selvästi hiilidioksidipitoisuudessa iltpäivällä klo 17.15 alkaen.

Kuvasta 3.5 ja vielä tarkemmin kuvasta 3.6 nähdään, että hiilidioksidipitoisuus luokassa nousee alkuillasta liian korkeaksi. Yhtenä vaihtoehtona pitoisuuden kurissa pitämiseen olisi ilmanvaihtojärjestelmän käyntiaikojen muuttaminen luokan K1103 käyttötuntien mukaisiksi. Suurten, noin kuusi kuutiometriä sekunnissa ilmaa vaihtavien ilmanvaihtokoneiden käyttäminen pelkästään yhden tietokonehuoneen takia ei kuitenkaan

kuulostanut järkevältä. Toisaalta, viereisessä tilavassa Konetalon aulassa sisäilma laatu pysyy iltaisinkin hyvänä, joten ratkaisua luokassa K1103 havaittuun ongelmaan lähdettiin hakemaan siirtoilman hyödyntämisestä tämän diplomityön puitteissa.

4 TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

4.1 Tutkimusmenetelmät

Tässä työssä selvitettiin, voitaisiinko siirtoilmaa käyttämällä tasata tilojen kuormitusta ja edelleen merkittävästi parantaa sisäilman laatua tutkittavissa tuloissa. Siirtoilman käytön vaikuttavuutta tilojen ilmanlaatuun tutkittiin mittauksin ja havainnoin. Mittaustapahtumat pyrittiin järjestämään niin, että mittaustuloksiin vaikuttavat muuttujat, kuten tiloihin ja ilmanvaihtoon liittyvät asiat siirtoilmaa lukuun ottamatta, pysyisivät mahdollisimman muuttumattomina. Näin menetellen pyrittiin saamaan vertailukelpoisia tuloksia nimenomaan siirtoilman käytön aikaansaamista vaikutuksista sisäilman laatuun. Tämän työn tutkimusasetelmana käytettiin vertailumenetelmää, jossa vertailtiin tilojen sisäilman viihtyisyyttä indikoivaa, jo aiemmin tässä työssä esiteltyä sisäilman hiilidioksidipitoisuutta. Myös muita suureita mitattiin tulosten tueksi.

Tutkimuksen perusajatuksena oli kuormittaa tiloja ja niiden ilmanvaihtoa joko ihmisten läsnäololla tai synteettisellä hiilidioksidilla. Kuormitustapahtumia järjestettiin kaksi toisiaan vastaavaa, joista toisessa siirtoilmaidea oli käytössä ja toisessa ei. Näitä kahta kuormitustapahtumaa vertailemalla oli tarkoitus päästä selville siitä, onko siirtoilman käytöllä merkittävää vaikutusta sisäilman laatuun kyseisissä tapauksissa. Erilaisten ratkaisujen toimivuutta mitattiin lähinnä sisäilman hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan avulla. Tässä työssä ei pyritty muodostamaan mittaustapahtumiin erityisen tarkkoja olosuhteita, kuten laboratorio-olosuhteissa olisi mahdollista tehdä. Enemmänkin ajatuksena oli tarkastella erilaisien ratkaisujen toimivuutta oikeaa käytäntöä vastaavissa tilanteissa keskittymättä liikaa vähäpätöisiin yksityiskohtiin. Kaikki olosuhteisiin ja tuloksiin merkittävästi vaikuttavat asiat ympäristössä ja tutkimusmenetelmissä otettiin kuitenkin huomioon. Yksi tutkittavista tiloista oli Konetalon aulan tietokonehuone K1103, joka esiintyy kuvassa 4.1 sisääntuloaulasta kuvattuna.

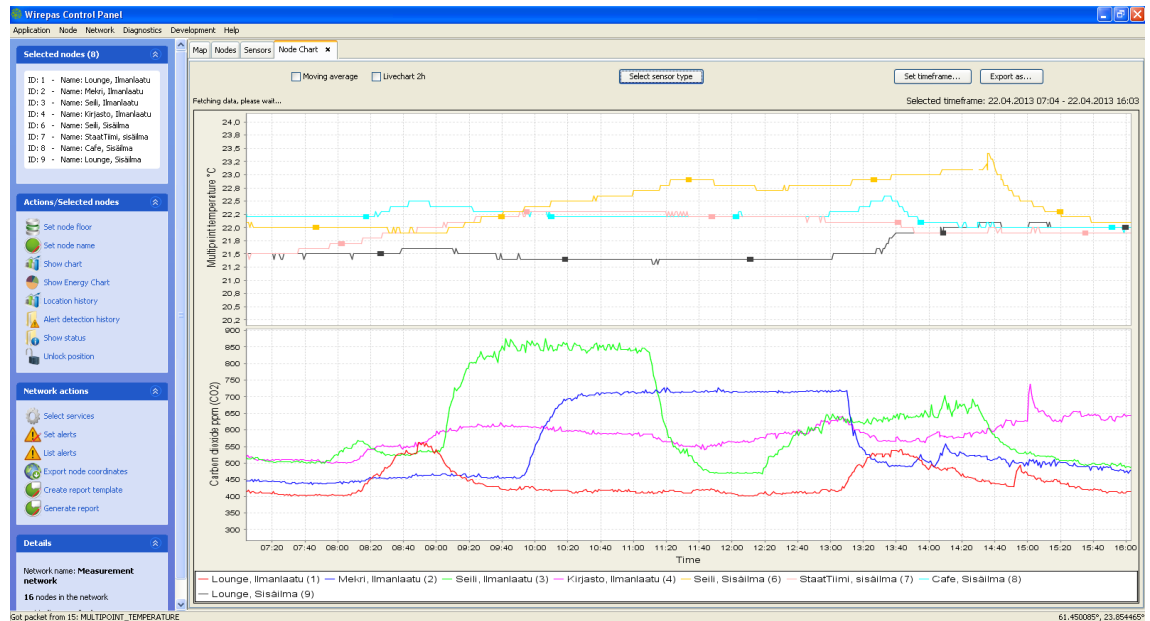


Kuva 4.1. Tutkimuksen kohteena ollut TTY:n Konetalon aulan ATK-luokka K1103. Kaksi luokan siirtoilma-aukkoa näkyy ikkunoiden yläpuolella. Perusajatuksena oli selvittää, voitaisiinko kuormitetun tilan ilmanlaatua parantaa siirtoilman avulla.

4.2 Mittausvälineet

Tämän tutkimuksen kannalta merkittävien sisäilman suureiden mittaamiseen ja mittaustulosten keruuseen käytettiin liikuteltavaa Wirepas-mittausjärjestelmää. Wirepas-mittausjärjestelmä on alun perin kehitetty Tampereen teknillisellä yliopistolla ja sen on kaupallistanut yritys nimeltä Wirepas Oy. Tämä langaton järjestelmä mittaa ja tallentaa mittaustulokset sisäilman suureista kuten hiilidioksidipitoisuudesta, lämpötilasta, valaistusvoimakkuudesta ja suhteellisesta kosteudesta. Järjestelmän anturit muodostavat tiedonsiirtoverkon, joka välittää tiedot yhdyspisteelle. Yhdyspiste siirtää tiedot edelleen Internet-yhteyden avulla palvelimen tietokantaan.

Palvelimen tietokannasta mittaustuloksia voidaan tarkastella reaaliaikaisesti Wirepasin kehittämällä Java-pohjaisella Wirepas Control Panel – käyttöliittymällä, jonka yksi näkymä esitetään kuvassa 4.2. Control Panelia voidaan käyttää tietokoneella tai mobiililaitteella missä tahansa Internet-yhteyden avulla. Control Panelissa käyttäjä pystyy tarkastelemaan haluamiensa antureiden mittaustuloksia reaaliaikaisesti ja myös jälkikäteen valitsemiltaan aikaväleiltä. Control Panelin kautta käyttäjä voi siirtää mittaustulokset haluamaansa taulukkolaskentaohjelmaan. Taulukkolaskentaohjelmaa käytettiin tämänkin tutkimuksen mittaustuloksia tarkasteltaessa ja käsiteltäessä. Mittaustuloksia esitetään tarkemmin tämän työn viidennessä luvussa.



Kuva 4.2. Näkymä Wirepas Control Panel – käyttöliittymässä. Kuvaan on esimerkin vuoksi haettu kahdeksan anturin mittaamat lämpötila- ja hiilidioksidipitoisuuskäyrät erään tamperelaisen toimiston arkipäivältä.

Wirepas-anturit sijoitettiin mittaamaan luokkien oleskeluvyöhykkeille edustaviin paikkoihin. Luokan K1243 tapauksessa antureita sijoitettiin runsaasti eri puolille luokkaa, jotta voitiin varmistua synteettisen hiilidioksidin jakautuneen tasaisesti luokan sisäilmaan. Luokassa K1103 anturien sijoittamisessa kiinnitettiin erityistä huomiota siihen, että mittaukset edustavat käyttäjän kokemia olosuhteita. Toisaalta varottiin sijoittamasta antureita liian lähelle käyttäjiä, jottei yksittäisen ihmisen läsnäolo lähellä anturia vääristäisi mittaus tuloksia. Antureita ei sijoitettu tulo- ja poistoilmalaitteiden läheisyyteen. Savukynän avulla varmistettiin, etteivät anturit olleet tuloilmasuihkun tai ikkunoiden vuodon aiheuttamien virtausten kohdalla. Molempien luokkien tapauksessa mittaustapahtumia seurattiin myös paikanpäällä, jolloin voitiin varmistua siitä, ettei mittaolosuhteissa tapahtunut mitään normaalista poikkeavaa, joka olisi saattanut aiheuttaa virhettä tuloksiin.

Ilman hiilidioksidipitoisuuden mittaamiseen käytettyjen Wirepas-mittareissa käytetyt anturit olivat nimeltään Dynament Premier Infrared Gas Sensor (sertificated). Anturin toiminta on NDIR-tekniikan mukaista ja perustuu kaasumaisen hiilidioksidin kykyyn absorboida infrapunasäteilyä. Antureiden mittausalue oli 0 – 5000 ppm, ja se oli riittävä tämän tutkimuksen tarpeisiin. Valmistaja ilmoittaa antureiden tarkkuudeksi +/- 2 prosenttia mittausalueen maksimista tai 10 prosenttia mittaustuloksesta riippuen siitä kumpi on suurempi. Tämän mukaan esimerkiksi 1000 ppm:n pitoisuudessa anturien tarkkuus on +/- 100 ppm. Käytännössä mittareiden huomattiin olevan tätä tarkempia, ja mittaustulosten nähtiin olevan poikkeuksetta korkeintaan +/- 70 ppm:n päässä oikeasta.

Antureiden mittausrésoluutiolla, josta käytetään myös nimeä erottelukyky tai erottelukynnys, tarkoitetaan anturin kykyä erottaa toisiaan lähellä olevien mittaussuureiden arvoja. On myös huomattava, että sähköisissä mittareissa

lukematarkkuus ei ole sama asia kuin erottelukyky, vaan lukematarkkuus voidaan usein asettaa erittäin tarkaksi erottelutarkkuudesta riippumatta. Wirepasin hiilidioksidiantureiden mittausresoluutio välillä 0 – 2500 ppm oli 50 ppm ja 100 ppm välillä 2500 – 5000 ppm. Tässä tutkimuksessa ilman hiilidioksidipitoisuus pysyi alle 2500 ppm:n, joten mittausresoluutio oli 50 ppm. Lukematarkkuus Wirepasin järjestelmässä on 1 ppm. Kuvassa 4.3 voidaan nähdä kaikki Wirepas-mittausjärjestelmään kuuluvat komponentit kantosalkkuunsa koottuna. Valkoiset laitteet ovat antureita, niissä on vaihtelevasti valmiuksia eri suureiden mittaamiseen. Kuvassa 4.4 verkkovirtaa toimiakseen tarvitseva hiilidioksidianturi on asennettu seinään mittaamaan erään neuvotteluhuoneen sisäilman hiilidioksidipitoisuutta.



Kuva 4.3. Tutkimuksissa sisäilman suureiden mittaamiseen käytetty Wirepasin mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmä kantosalkkunaan.



Kuva 4.4. Wirepasin hiilidioksidipitoisuutta mittaava anturi. Hiilidioksidimittaus vaatii korkeamman jännitteen ja anturi on muista antureista poiketen kytkettävä verkkovirtaan. Myös paristokäyttöisiä malleja hiilidioksidipitoisuuden mittaamiseen on nykyään saatavilla.

Tutkimuksessa käytetyt hiilidioksidi- ja lämpötila-anturit kalibroitiin vertailumenetelmällä, jossa anturit sijoitettiin vierekkäin mittaamaan ja niiden näyttämiä vertailtiin referenssimittarina toimineeseen käsimittariin TSI Airflow TA460. Wirepas-antureiden näyttämiä verrattiin käsimittarin tuloksiin eri lämpötiloissa ja erilaisilla hiilidioksidipitoisuuksilla. Wirepas-antureiden tuloksiin tehdyt korjaukset olivat verrattain pieniä. Wirepasin hiilidioksidiantureiden mittaustuloksiin tehtiin korjauksia välillä 0 ... 70 ppm ja lämpötila-antureiden mittaustuloksiin välillä 0,1 – 0,8 °C. Toisaalta mittareiden absoluuttinen tarkkuus ei ollut tässä tutkimuksessa ensiarvoisen tärkeää, koska mitatessa käytettiin aina samoja mittareita samoissa paikoissa. Näin menetellen tuloksia kootessa pystyttiin vertaamaan saman mittarin mittaamia tuloksia. Systemaattinen mittausrvirhe suuntaan tai toiseen ei siis ollut tässä tapauksessa äärimmäisen vahingollista.

Käsimittaria TSI Airflow TA460 ja sen kahta mittauspäätä 964 Probe sekä 980 Probe käytettiin paitsi kalibrointiin niin myös mittausten aikana hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan sekä suhteellisen kosteuden seuraamiseen. Käsimittaria ja sen paine-eroanturia käytettiin lisäksi ilmanvaihdon ilmamäärien mittaamiseen tässä työssä tarkastelluissa tietokoneluokissa. Kuvassa 4.5 oleva käsimittari antaa tulokset välittömästi mittausrviiveen ollessa hyvin lyhyt. Nopeasti

toimiva käsimittari oli erittäin kätevä työkalu tilanteen välittömään tarkasteluun pidempiaikaisen mittaamisen tukena.



Kuva 4.5. Kalibroinnissa ja mittausten tukena käytetty käsimittari TSI Airflow TA460 ja sen kaksi mittauspäätä. Ilmavirran nopeuden mittaamiseen 964 Probe ja hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan sekä suhteellisen kosteuden mittaamiseen 980 Probe.

Varsinaisten mittaamisten lisäksi tutkimuksissa oli tarpeen käyttää myös normaalia paikan päällä tehtävää havainnointia. Ihmisten lukumäärä tiloissa oli tärkeä muuttuja ilmanvaihtoratkaisujen toimivuutta arvioitaessa. Ihmisten lukumäärä todettiin paikan päällä havainnoiden. Ihmisten lukumäärä tarkasteltavassa tilassa laskettiin ja kirjattiin ylös viiden minuutin välein.

4.3 Siirtoilma-aukot ATK-luokkiin

Luokkien K1242 ja K1243 välillä tutkittiin pelkän siirtoilma-aukon vaikutusta sisäilman laatuun liittyviin kysymyksiin. Koska haluttiin tutkia muodoltaan ja kooltaan erilaisen sekä eri tavalla sijoitettujen aukkojen vaikutus ilman vaihtuvuuteen, päätettiin luokkien väliseen seinään tehdä suurehko aukko. Aukon alareuna on 8 senttimetriä ja yläreuna 273 senttimetriä lattiapinnan yläpuolella eli vajaan kolmenkymmenen metrin päässä luokan katosta. Aukko on siis 265 senttimetriä korkea ja leveyttä sillä on 116 senttimetriä. Aukko ei ole aivan yhtenäinen, sillä seinässä aukon läpi kulkee

vaakatasossa johtokouru vajaan metrin korkeudella lattiasta. Erilaiset aukot muodostettiin peittämällä suurta aukkoa 5 senttimetrin paksuisella eristelevyllä.



Kuva 4.6. Luokkien K1242 ja K1243 välille tehty siirtoilma-aukko. Koko aukko on 265 senttimetriä korkea ja 116 senttimetriä leveä. Aukko tai osa siitä voitiin tarpeen mukaan peittää eristelevyin.

Tietokonehuoneen K1103 iltaisin kohonneeseen hiilidioksidipitoisuuteen lähdettiin hakemaan ratkaisua siirtoilman avulla. Laitetoimittajaksi valittiin suomalainen Mobair. Luokan K1103 kevyisiin kipsiväliseiniin tehtiin neljä aukkoa, joista kahteen asennettiin Mobair 4101 siirtoilmasäleiköt ja kahteen Mobair 4100 lämmönsiirtopuhaltimet, joista yksi esiintyy läheltä kuvattuna kuvassa 4.7. Kuvassa 4.8 näkyvät lämmönsiirtopuhaltimet asennettiin puhaltamaan ilmaa luokasta K1103 pois päin kohti WC-käytävää. Puhaltimien puhaltamalla ilmaa ulos tarvitaan luokkaan korvausilmaa. Korvausilmaa luokkaan tulee luokan toiselle seinälle asennettujen siirtoilmasäleikköjen kautta. Toki korvausilmaa virtaa luokkaan myös muiden aukkojen kuten ovirakojen kautta.



Kuva 4.7. Mobair 4100 siirtoilmalaite asennettuna luokan K1103 ja Konetalon aulan WC-käytävän väliseen seinään.



Kuva 4.8. ATK-luokan K1103 WC-käytävän puoleinen sivu, jonne siirtoilmapuhaltimet puhaltavat ilmaa ulos ATK-luokasta käytävään. Puhaltimien säleiköt ovat siistit ja ovat nähtävissä kuvan yläreunassa ikkunoiden yläpuolella.

Kaikkien luokkaan K1103 tehtyjen siirtoilma-aukkojen leveys on 545 millimetriä ja korkeus 210 millimetriä. Valmistajan tietojen mukaan yksi siirtoilmalaite siirtää ilmaa 60 litraa sekunnissa, joten kaksi puhallinta siirtää yhteensä 120 litraa ilmaa sekunnissa. Puhaltimet toimivat 12 voltin tasavirtamoottoreilla ja niiden tehontarve on vain 4 wattia puhallinta kohden. 8 watin sähköteholla pystytään siis siirtämään 120 litraa ilmaa sekunnissa. Virtansa siirtoilmalaitteen saavat normaalista pistorasiasta muuntajan kautta.

4.4 Mittaustapahtumat

Siirtoilmaidean toimivuuden kuormitusta tasaavana tekijänä tarkastelemiseksi tässä työssä luotiin erilaisia mittausjärjestelyä kahteen eri paikkaan; luokkiin K1243 ja K1242 sekä tietokonealuokkaan K1103. Nämä luokat esiteltiin tiloina tarkemmin tämän työn kappaleessa 3. Luokan K1243 tapauksessa siirtoilmaideaa tutkittiin viereisen samankaltaisen luokan K1242 kanssa. Luokassa K1103 siirtoilmaa vaihdettiin viereisen Konetalon aulan kanssa.

Luokassa K1243 ja sen viereisessä samankaltaisessa luokassa K1242 tutkittiin pelkän siirtoilma-aukon vaikutusta hiilidioksidipitoisuuden muutoksiin. Vertailtavaksi mittaukseksi otettiin tilan kyky laskea hiilidioksidipitoisuutta pitoisuudesta 2000 ppm alkaen. Molempien tilojen ilmanvaihto tukittiin muovein ja teippaamalla huolellisesti kuvan 4.9 mukaisella tavalla. Täysin tiiviiksi päätelaitteiden peittoa ei etenkään poistoilmanvaihdon osalta saatu, mutta tiivistykset olivat samat eri tilanteissa, joten saatavien mittaustulosten vertailu toisiinsa oli mahdollista. Luokat myös suljettiin normaalilta käytöltä mittausten ajaksi. Myös luokan ovet ja ikkunat pidettiin kiinni. Ilmanvaihdon ja luokan sulkemiseen päädyttiin, jotta muiden kuin tilojen välisen siirtoilman vaikutukset saavutettaviin tuloksiin voitiin sulkea pois mahdollisimman hyvin.

Luokan K1243 ilman hiilidioksidipitoisuutta nostettiin puhtaan synteettisen hiilidioksidin avulla. Ennen mittausten aloittamista luokan K1242 ilma pidettiin raikkaana sisäilmana, eli sen hiilidioksidipitoisuus noin arvossa 500 ppm. Hiilidioksidia laskettiin luokkaan K1243 paineistetusta pullosta venttiilin avulla. Huoneilmaa sekoitettiin tuulettimin niin kauan, että haluttu hiilidioksidipitoisuuden taso saavutettiin tasaisesti koko luokassa. Wirepas-anturit eri puolilla luokkaa kertoivat pitoisuudet reaaliaikaisesti. Lisäksi apuna käytettiin mukana kannettavaa Airflow-käsimittaria.



Kuva 4.9. Tuloilmapäätteet muovitettiin ja teipattiin huolellisesti ilmanvaihdon vaikutuksen poistamiseksi luokissa K1243 ja K1242.

Synteettisen hiilidioksidin käyttöön päädyttiin, koska ihmisten käyttö hiilidioksidin lähteenä olisi ollut vaikeasti hallittava muuttuja kahdessa tilassa, joista poistuu ja johon tulee jatkuvasti ihmisiä. Synteettistä hiilidioksidia käytettäessä erilaisten ratkaisujen vertailu toisiinsa oli huomattavasti suoraviivaisempaa. Lisäksi, kun luokat K1242 ja K1243 olivat suljetut normaalilta käytöltä, voitiin varmistua siitä, ettei esimerkiksi luokan ovien ja ikkunoiden avaaminen vaikuttanut tuloksiin. Otettiin myös huomioon, että alas lattianrajaan saattaisi synteettistä hiilidioksidia käytettäessä muodostua korkeampi pitoisuus. Kerrostuman aiheuttaisi hiilidioksidin ilmaa korkeampi tiheys ja sen jäähtyminen korkeasta paineesta pois päästettäessä. Huoneilmaa voimakkaasti sekoittamalla sekä kattavasti mittaamalla varmistettiin pitoisuuden tasaisuus koko luokassa.

Vertailtavaksi mittaustapahtumaksi otettiin hiilidioksidipitoisuuden lasku alkaen pitoisuudesta 2000 ppm. Näin meneteltiin siksi, koska arvioitiin, ettei painepullosta saada venttiilin avulla annosteltua riittävän tarkasti hiilidioksidin määrää, joka vastaisi esimerkiksi tietyn ihmismäärän jatkuvaa oleskelua tilassa. Niinpä päädyttiin laskemaan luokkaan K1243 hiilidioksidia ja sitä sekoitettiin tuulettimin, kunnes mitattiin sama 2000 ppm:n pitoisuus kaikkialla luokassa. Hiilidioksidipullo ja käytetyt tuulettimet esiintyvät kuvassa 4.9. Lisäksi luokkien normaali koneellinen ilmanvaihto suljettiin tutkimusten ajaksi, jotta nimenomaan siirtoilma-aukkojen vaikutukset tulisivat

paremmin näkyviin. Näin saatiin vertailukelpoinen lähtökohta erilaisten siirtoilmaratkaisujen vertailuun ja niiden toimivuuden arviointiin.

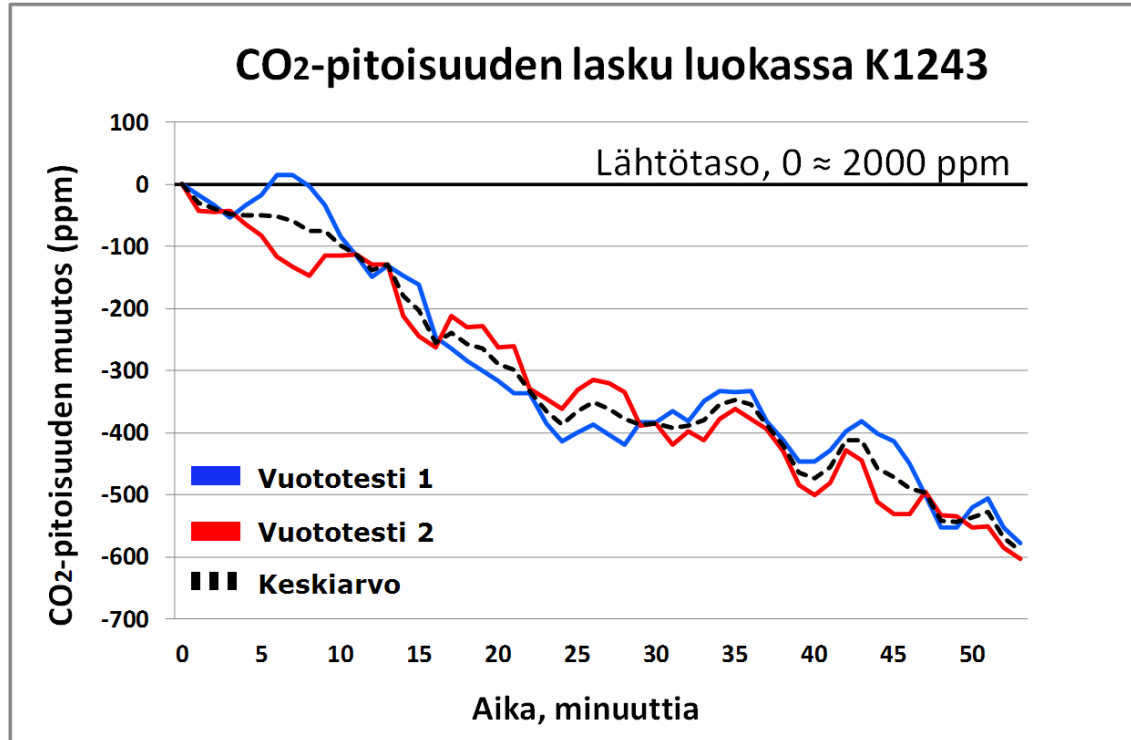


Kuva 4.10. Luokkaan K1243 laskettiin synteettistä hiilidioksidia ja ilmaa sekoitettiin tuulettimin niin kauan, että tietty pitoisuus saavutettiin tasaisesti koko luokassa.

Kaikissa tiloissa ilma vaihtuu varsinaisen ilmanvaihdon lisäksi myös vuotamalla esimerkiksi rakenteellisten vuotojen kautta. Tämän vuoksi luokalle K1243 tehtiin ennen testejä kaksi mittausta, joiden avulla selvitettiin, kuinka nopeasti hiilidioksidipitoisuus laskee luokassa itsestään vailla normaalin ilmanvaihdon, tuuletuksen tai siirtoilman vaikutusta. Olosuhteet olivat näissä kahdessa testissä samanlaiset kuin varsinaisissa mittauksissa. Vuototesteissä luokan K1243 hiilidioksidipitoisuus nostettiin arvoon 2000 ppm synteettisen hiilidioksidin avulla. Kun tasainen arvo 2000 ppm saavutettiin koko luokassa, ryhdyttiin seuraamaan, kuinka nopeasti luokan ilman hiilidioksidipitoisuus laskee seuraavien tuntien aikana ilman avoimia ovia ja ikkunoita.

Tämä mittaus toistettiin kahteen kertaan ja tulokset ovat nähtävissä kuvassa 4.11. Kahden mittauskerran keskiarvosta saatiin tilan rakenteellisten vuotojen ja jäljelle jääneen ilmanvaihdon aiheuttama hiilidioksidipitoisuuden lasku, johon erilaisten siirtoilmaratkaisujen vaikuttavuutta voitiin vertailla. Luokan hiilidioksidipitoisuuden laskun huomattiin olevan suhteellisen nopeaa. Rakennusten rakenteellisten vuotojen määrää arvioidaan yleensä vuotoilmakerroimen avulla. Vuotoilmakerroin kertoo, kuinka nopeasti tilan ilma vaihtuu pelkästään rakenteellisten vuotojen takia. Uudet rakennukset

pyritään tekemään tiiviiksi ja niissä vuotoilmakertoimen arvoksi pyritään saamaan noin 0,05 1/h. Olemassa oleville rakennuksille tyypillinen vuotoilmakerroin on 0,16 1/h. Luokan K1243 tilavuuden ollessa 216 m³ saadaan vuotoilmakertoimella 0,16 1/h luokan vuotoilman määräksi noin 10 dm³/s.



Kuva 4.11. Luokan K1243 rakenteellisten vuotojen ja jäljelle jääneen ilmanvaihdon aiheuttama hiilidioksidipitoisuuden lasku pitoisuudesta 2000 ppm alkaen kahdella mittauskerralla sekä näiden kahden mittauksen keskiarvo.

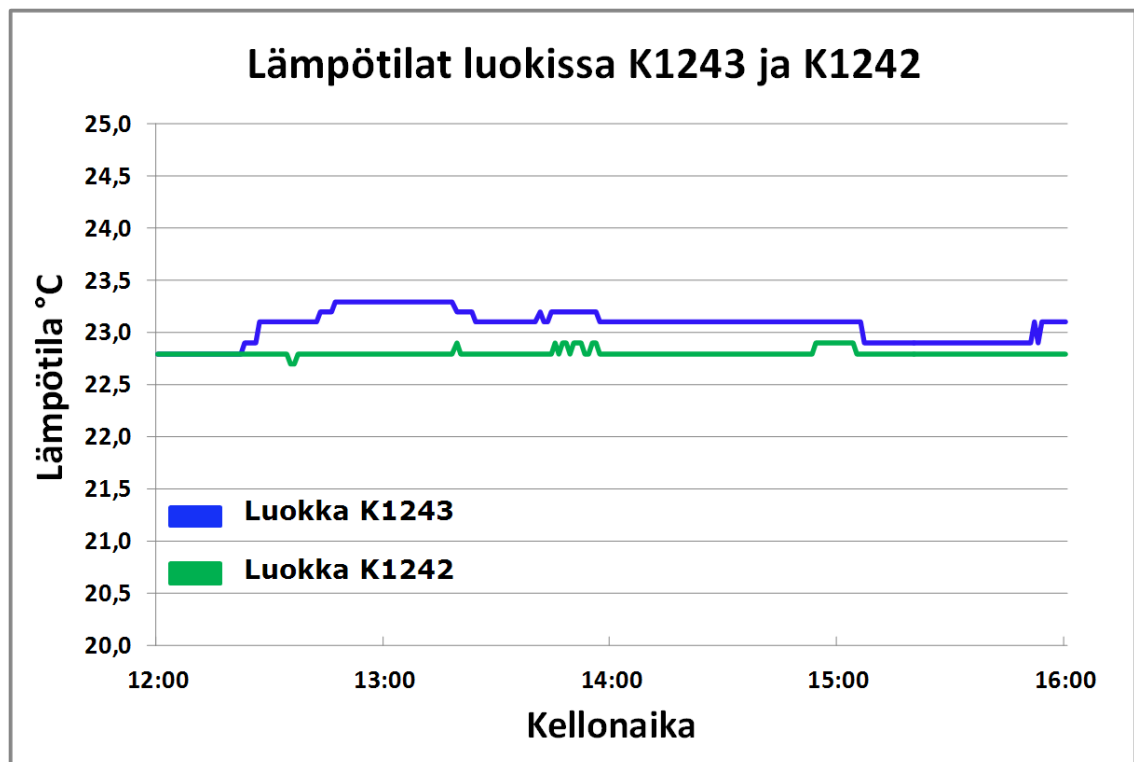
Tampereen teknillisellä yliopistolla kehitettyä tilan hiilidioksidipitoisuutta erilaisissa tilanteissa ennustavaa laskentaohjelmaa (Viot, 2012) ja vuototesteistä saatuja hiilidioksidipitoisuuden laskuja käyttämällä saadaan tilassa vallinneeksi ilmanvaihdoksi noin 33 dm³/s. Lasketun vuotoilman määrän 10 dm³/s ja lasketun ilmanvaihdon erotuksen voidaan päätellä johtuvan siitä, ettei luokan normaalia ilmanvaihtoa suuruudeltaan 300 dm³/s onnistuttu täysin sulkemaan. Etenkin poistoilmapäätteiden, joita luokassa on peräti seitsemän kappaletta, peittäminen oli haastavaa. Päätteiden ollessa peitettynä todettiin merkkisavun avulla ilmanvaihtokanaviin kulkeutuvan pieni määrä ilmaa peittämisestä huolimatta. Laskennallisen tarkastelun avulla jäljelle jääneen koneellisen ilmanvaihdon voidaan sanoa olleen hieman reilu 20 dm³/s kaikissa mittaustilanteissa.

Ilman tiheys muuttuu lämpötilan muuttuessa. Eri lämpötilassa olevilla ilmoilla on erilaiset tiheydet. Tiheyserot taas pyrkivät tasoittumaan, mikä aiheuttaa ilman liikettä. Tämän vuoksi näissäkin mittauksissa lämpötilan ja etenkin lämpötilaerojen rooli on merkittävä siirtoilma-aukkojen toimivuutta tarkasteltaessa.

Molempien luokkien K1242 sekä K1243 puhallinkonvektoreita ja tietokoneita

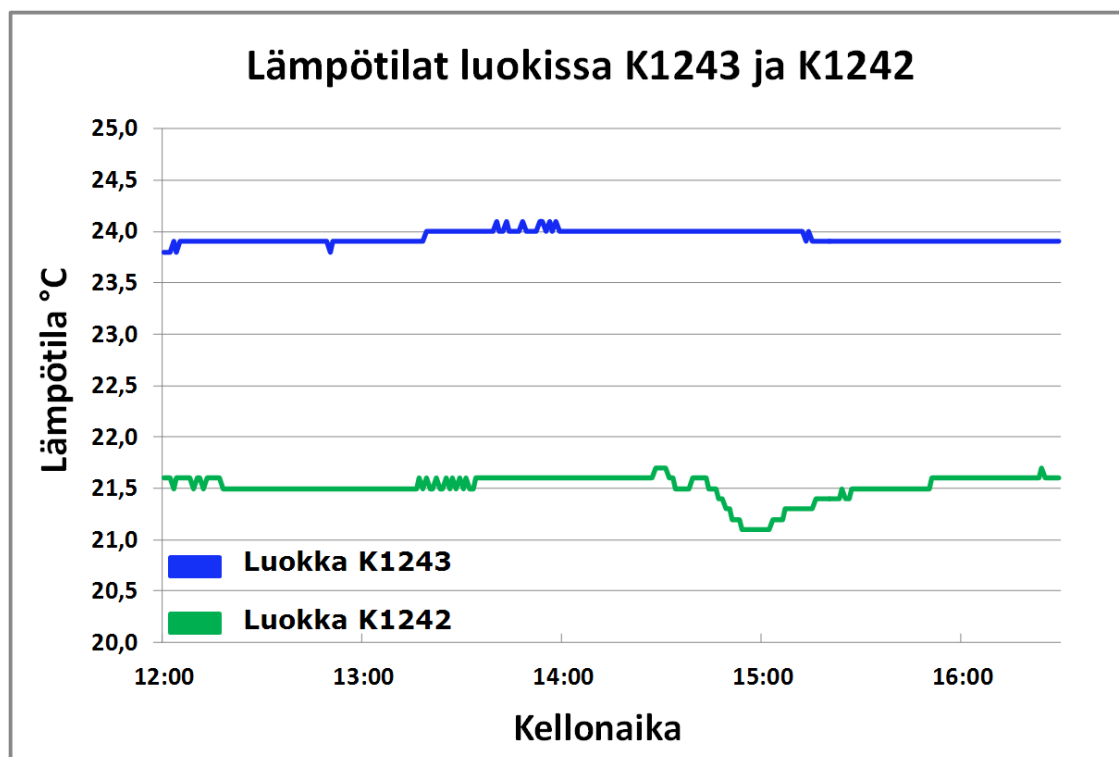
käytettiin hyödyksi, kun haluttiin muuttaa luokkien ilman lämpötilaa. Jos oli tarvetta luokkien sisäilman jäähdyttämiseen, säädettiin puhallinkonvektoreita. Mikäli luokkia haluttiin lämmittää, käynnistettiin tietokoneita sisäilmaa lämmittämään. Ensimmäisessä varsinaisesti siirtoilma-aukkoja testaavassa mittauksessa haluttiin selvittää, voiko yksinkertainen siirtoilma-aukko ilman puhaltimia toimia ilman lämpötilaerojen aikaansaamia konvektiivisia virtauksia. Kuinka tehokkaasti luokkien väliset pitoisuuserot tasautuvat pelkästään diffuusion eli pitoisuuserojen tasaantumisen vaikutuksesta?

Ensimmäisessä mittauksessa luokkien lämpötilat pyrittiin saamaan mahdollisimman lähelle toisiaan, jotta lämpötilaerojen aikaansaamat ilmavirtaukset aukon läpi olisivat mahdollisimman vähäisiä. Puhallinkonvektoreiden ja tietokoneiden avulla tutkimuksen kannalta toimivien sisäilman lämpötilojen saavuttaminen onnistui hyvin molemmissa luokissa. Varsinainen mittaus toteutettiin kello 13:45 ja 14:45 välisenä aikana, jolloin tilojen lämpötilaero oli keskimäärin 0,3 K siten, että luokka K1243 oli hieman lämpimämpi. Kuvassa 4.12 näkyvät lämpötilat mitattiin 1,8 metrin korkeudella lattiasta keskellä luokkaa. Lämpötilaa mitattiin myös 1,3 metrin ja 0,4 metrin korkeuksilla lattiasta. Koska luokkien ilmaa sekoitettiin tuulettimin, ei lämpötilakerrostumaa päässyt tapahtumaan. Niinpä mitatuissa lämpötiloissa ei korkeussuunnassa ollut merkittävää eroa, ja alla olevaan kuvaan 4.12 otettiin mukaan kummastakin luokasta vain yhden anturin mitaamat lämpötilat.



Kuva 4.12. Luokkien K1243 ja K1242 lämpötilat ensimmäisessä mittauksessa, jossa pyrittiin saamaan luokkien lämpötilat mahdollisimman lähelle toisiaan.

Toisessa ja kolmannessa luokkiin K1242 ja K1243 liittyvässä mittauksessa luokkien välille haluttiin ensimmäisestä mittauksesta poiketen luoda lämpötilaero. Näissä mittauksissa tarkoituksena oli tutkia, kuinka merkittävä vaikutus lämpötilaerolla ja aukkojen sijainnilla on siirtoilmaidean toimivuuteen. Toista ja kolmatta mittaukskertaa voitiin vertailla paitsi toisiinsa niin myös luokalle K1243 tehtyihin vuototesteihin. Lämpötilaeron luomisessa luokkien välille onnistuttiin ja tulokset voidaan nähdä kuvasta 4.13. Varsinaiset mittaukset tehtiin tässä tapauksessa kello 13:15 - 14:15 sekä 15:25 -16:25 välisinä aikoina. Lämpötilaerot luokkien välillä näinä ajanhetkinä olivat keskimäärin 2,3 ja 2,4 celsiusastetta.

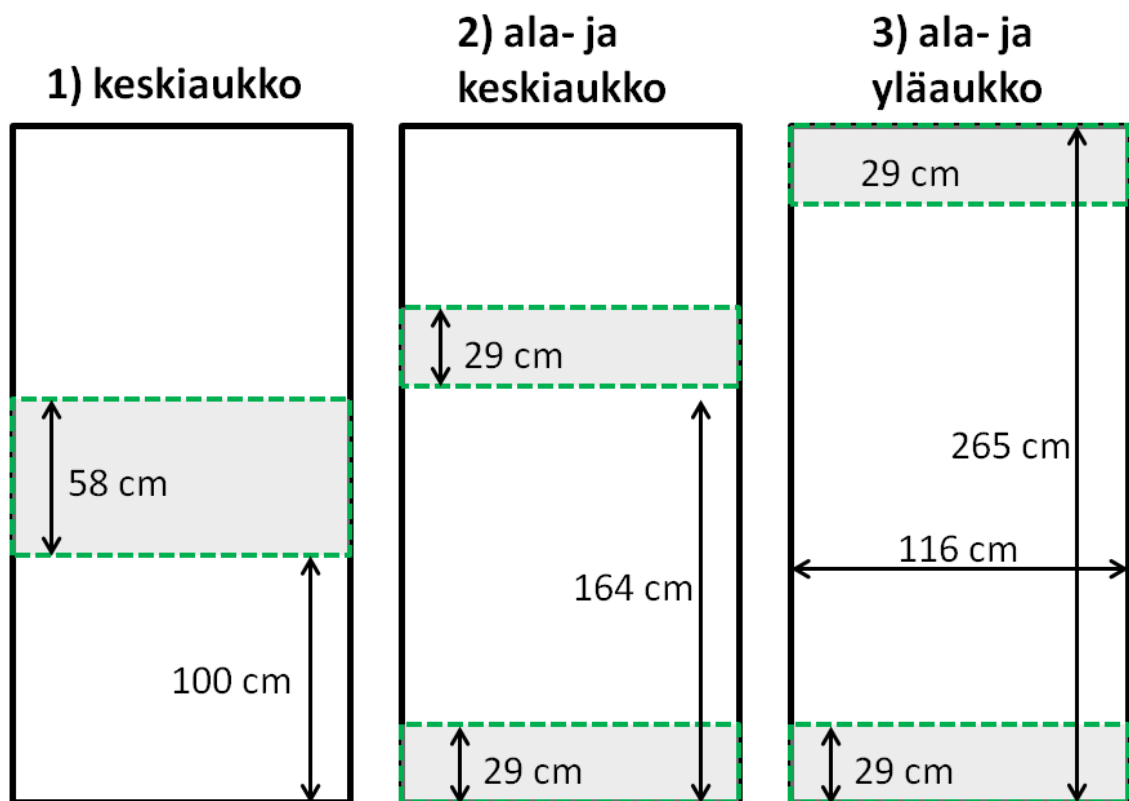


Kuva 4.13. Luokkien K1243 ja K1242 lämpötilan toisessa ja kolmannessa mittauksessa, joissa haluttiin luoda luokkien välille noin kahden asteen lämpötilaero.

Luokkien K1242 ja K1243 väliseen suureen 265 senttimetriä korkeaan ja 116 senttimetriä leveään aukkoon tehtiin kolme erilaista mittausasetelmaa, joita kutsutaan tässä työssä nimillä keskiaukko, ala- ja keskiaukko sekä ala- ja yläaukko. Näiden kolmen erilaisen aukon mitat ja sijainnit voi nähdä kuvassa 4.14. Kaikkien kolmen mittausasetelman aukkojen pinta-ala oli sama 0,67 neliometriä. Vain aukkojen sijainti oli asetelmissa erilainen. Ensimmäisessä mittauksessa, kun haluttiin tutkia siirtoilma-aukon toimivuutta ilman lämpötilaeroja, tutkittavaksi aukoksi valittiin korkeussuunnassa keskellä seinää oleva 58 senttimetriä korkea ja 116 senttimetriä leveä keskiaukko. Aukon sijainnilla etäällä katosta ja lattiasta haluttiin edelleen varmistaa, etteivät mahdollisten pientenkään lämpötilaerojen aiheuttamat virtaukset vaikuta

tuloksiin tässä ensimmäisessä mittauksessa.

Toisella mittauskerralla luokkien K1242 ja K1243 välille muodostettiin reilun kahden celsiusasteen lämpötilaero ja tutkittaviksi aukoksi valittiin aivan alhaalla lähellä lattianrajaa ja normaalin oven yläreunan eli noin kahden metrin korkeudella olevilla aukoilla, jotka molemmat olivat 29 senttimetriä korkeita ja 116 senttimetriä leveitä. Kolmannella mittauskerralla oli toisen mittauskerran tapaan reilun kahden kelvinin lämpötilaero. Aukkojen koot olivat yhtä suuret kuin toisella mittauskerralla. Aukon alaosa pidettiin samassa paikassa kuin toisella mittauskerralla. Aukon yläosa sen sijaan nostettiin lähelle katon rajaa, jotta nähtäisiin, kuinka suuri vaikutus aukkojen korkeussuuntaisella erolla on.



Kuva 4.14. Hahmotelma luokkien K1242 ja K1243 välillä testattujen siirtoilma-aukkojen mitoista ja sijainneista.

Aiemmin tässä työssä esiteltyyn luokkaan K1103 valmisteltiin kahta erilaista mittaustapahtumaa. Siirtoilma-aukkojen ja siirtoilmapuhaltimien toimivuutta testattiin normaaleissa käyttötilanteissa tiistaina, keskiviikkona ja torstaina kahdella viikolla talvella 2013. Kaikkiaan mittaus ja laskennat toteutettiin siis kuutena arki-iltana. Ensimmäisellä viikolla siirtoilmapuhaltimet ja siirtoilmasäleiköt olivat käytössä ja toiseksi viikoksi puhaltimet sammutettiin ja aukot teipattiin umpeen kuvan 4.15 näyttämällä tavalla siirtoilman vaikutuksen poistamiseksi. Näin päästiin vertailemaan sitä, onko siirtoilman käytöllä vaikutusta tietokoneluokan K1103 sisäilman laatuun.



Kuva 4.15. Muovitettu siirtoilma-aukko luokan K1103 seinässä. Kun haluttiin tutkia luokan sisäilman laatua ilman siirtoilman vaikutusta aukkojen asennuksen jälkeen, muovitettiin siirtoilma-aukot mittausten ajaksi.

Luokan K1103 tapauksessa huomio kiinnittyi erityisesti aikaan, jolloin normaali ilmanvaihto kytkeytyy pois päältä myöhään iltapäivällä klo 17.15. Toisin kuin luokkien K1242 ja K1243 tapauksessa luokka K1103 oli siis aivan normaalissa opiskelijoiden käytössä tutkimuksen aikana. Tilan käyttäjiä ei erikseen tiedotettu tutkimuksesta, vaan käyttäytymisen haluttiin olevan normaalia tilan käyttöä. Koska tilassa olevien ihmisten lukumäärä on tärkeä tekijä tilan hiilidioksidipitoisuuden muodostumisessa, tilaa käyttävien ihmisten lukumäärä luokassa kirjattiin ylös viiden minuutin välein paikan päällä laskemalla. Näin menetellen saatiin selville luokkaan ihmisistä syntyvä kuormitus, joka on ilman hiilidioksidipitoisuuden ohella toinen tärkeä tämän luokan tuloksissa huomioon otettava muuttuja.

5 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO

Tässä työn viidennessä kappaleessa esitellään lukijalle työssä saavutetut tulokset ja niiden merkitys. Tulokset ja niiden tarkastelu on jaettu kolmeen lukuun. Ensimmäisessä luvussa tarkastellaan siirtoilma-aukkojen tuloksia luokassa K1243. Toisessa luvussa esitetään TTY:n Konetalon aulan ATK-luokassa K1103 siirtoilman käytöllä saavutettuja tuloksia. Kolmannessa kappaleessa arvioidaan Wirepas-järjestelmän toimivuutta tämän työn kaltaisissa tutkimuksissa.

Wirepasin Control Panelin antamaa mittausdataa hiilidioksidipitoisuudesta ja lämpötiloista on käsitelty ja kuvaajia on piirretty taulukkolaskentaohjelmalla. Taulukkolaskentaohjelmalla luotiin myös tässä ja edellisessä kappaleessa esiteltävät kuvat mittaustuloksista. Käyriä piirrettäessä niitä muokattiin hieman laskemalla käyrän arvopisteiksi liukuvan keskiarvon tulokset. Näin menetellen tiedonsiirtosignaalin voimakkuuden vaihtelusta aiheutuvan mittauskohinan vaikutukset eivät näy käyrän jokaisessa arvossa. Käyrä on täten sileämpi ja helpommin luettavissa. Mittauskohinan vaikutukset mittaustuloksiin ovat häviävän pieniä ja niiden aiheuttamat virheet tasoittuvat pidemmällä seurantajaksolla.

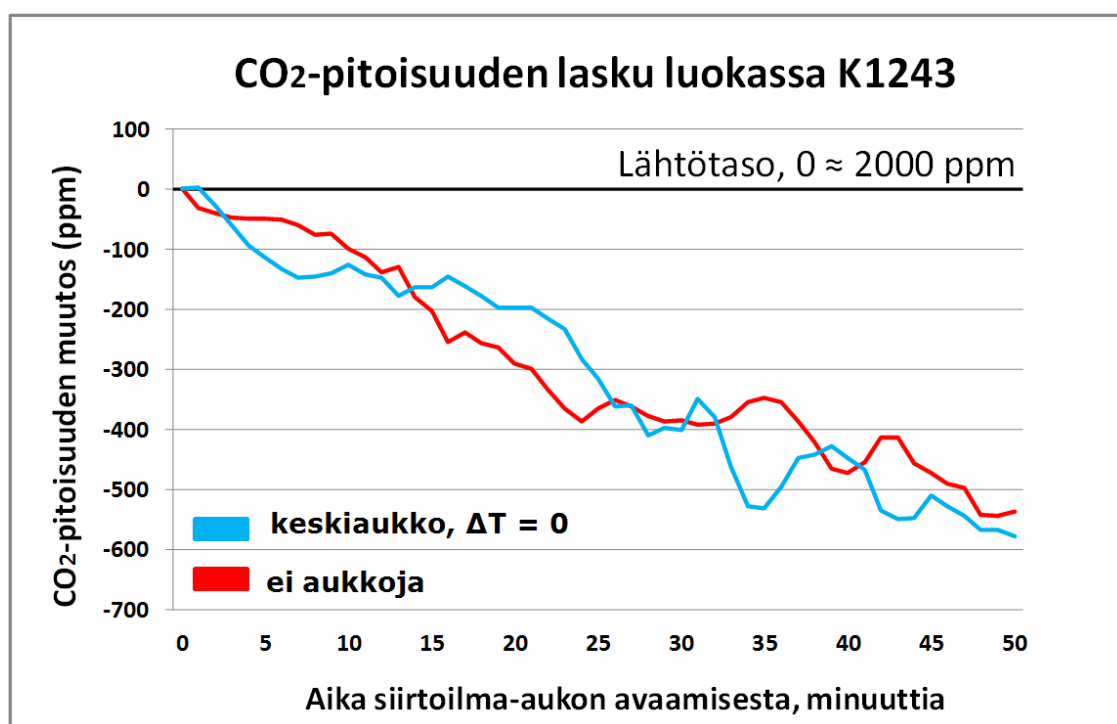
5.1 Siirtoilma-aukot ATK-luokassa K1243

Tietokoneluokassa K1243 tavoitteena oli tutkia erilaisten siirtoilma-aukkojen kykyä laskea huoneilman kohonnutta hiilidioksidipitoisuutta. Luokkien K1243 ja K1242 väliseen seinään tehtiin suuri aukko, johon voitiin rakentaa erilaisia aukkoja eristelevyjen avulla halutussa koossa ja haluttuun kohtaan. Molempien luokkien ilmanvaihto, ovet ja ikkunat suljettiin tutkimusten ajaksi, jotta muiden kuin tutkittujen siirtoilma-aukkojen vaikutus tässä kappaleessa esiteltäviin tuloksiin olisi mahdollisimman vähäinen.

Ensimmäisessä mittauksessa siirtoilmaidean toimivuutta lähdettiin kokeilemaan korkeussuunnassa keskellä seinää olevalla 58 senttimetriä korkealla ja 118 leveällä aukolla. Lämpötilan aiheuttaman konvektion vaikutus haluttiin sulkea pois, joten luokkien K1243 ja K1242 sisäilmojen lämpötilat pyrittiin saamaan mahdollisimman lähelle toisiaan. Suljetun luokan K1243 hiilidioksidipitoisuus nostettiin synteettisellä hiilidioksidilla tasaisesti koko luokassa arvoon 2000 ppm. Luokan K1242, johon luokkaa K1243 on tarkoitus siirtoilma-aukon avulla tuulettaa, hiilidioksidipitoisuus oli tässä vaiheessa alhainen noin 500 ppm. Tämän jälkeen aukko luokkaan K1242 avattiin ja hiilidioksidipitoisuuden laskunopeutta luokassa K1243 seurattiin.

Kuvassa 5.1 esitetään ensimmäisen luokassa K1243 tehdyn mittauksen tulokset ensimmäisten viidenkymmenen minuutin aikana siirtoilma-aukon avaamisesta.

Hiilidioksidin laskunopeutta tällä mittauskerralla kuvaa vaaleansininen käyrä. Kuvassa on myös aiemmin luokalle tehtyjen kahden vuotokokeen keskiarvon punainen käyrä. Tämä punainen ”ei aukkoja”-käyrä edustaa sitä, kuinka nopeasti hiilidioksidipitoisuus laskee luokassa itsestään rakenteellisten vuotojen vaikutuksesta. Kun pelkästään vuotojen aiheuttamaa käyrää verrataan tapaukseen, jossa aukko viereiseen luokkaan oli avattuna, voidaan nähdä, ettei aukolla ole merkittävää vaikutusta hiilidioksidipitoisuuden laskunopeuteen. Tämän tuloksen avulla voidaankin todeta, ettei pitoisuserojen tasoittumista tapahdu luokkien välillä pelkästään diffuusion avulla. Aukon toimimattomuuden syyksi arvioidaan tilojen välisen lämpötilaeron puuttumista.

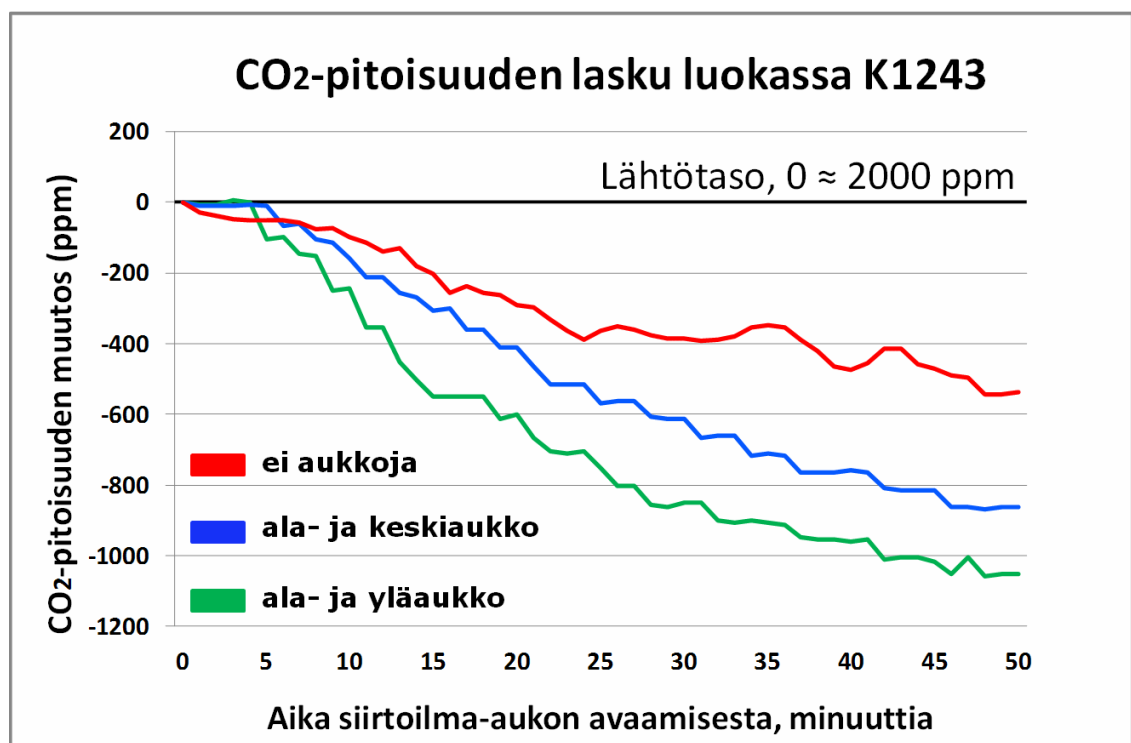


Kuva 5.1. Muutokset luokan K1243 hiilidioksidipitoisuudessa, kun luokkien välillä ei ole lämpötilaeroa. Sininen käyrä kuvaa tilannetta keskiaukolla ja punainen, kun siirtoilma-aukkoa ei ollut.

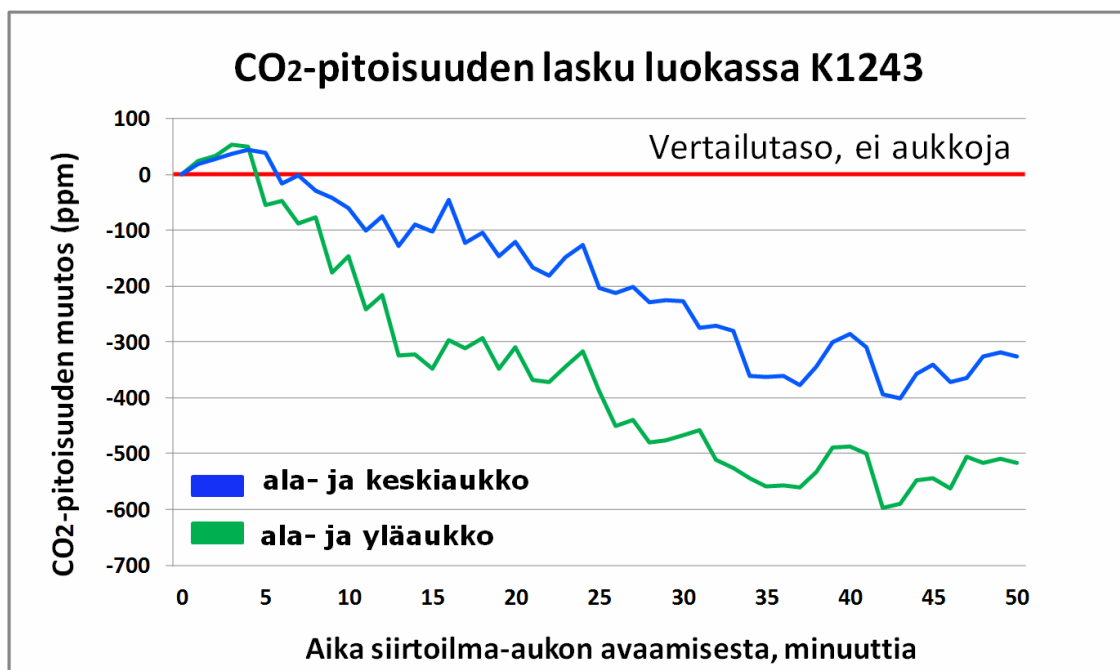
Ensimmäisen mittauskerran kokemusten perusteella toiseksi ja kolmanneksi mittauskerraksi mittausasetelmaa muutettiin hieman sekä aukkojen että luokkien lämpötilojen osalta. Toisella ja kolmannella kerralla haluttiin selvittää, kuinka tehokkaasti sisäilman laatua olisi mahdollista parantaa pelkkien siirtoilma-aukkojen avulla, kun tilojen välillä on lämpötilaeroa. Yhden korkeussuunnassa keskellä sijaitsevan aukon sijaan näissä mittauksissa aukko jaettiin kahteen osaan, joiden pinta-ala oli yhteensä ensimmäisen mittauksen aukon suuruinen. Aukon alaosa oli toisessa ja kolmannessa mittauksessa samassa paikassa, mutta yläosa oli toisessa mittauksessa vajaan kahden metrin korkeudella ja kolmannessa mittauksessa lähellä katonrajaa noin kahden ja puolen metrin korkeudella (katso kuva 4.14).

Hiilidioksidipitoisuuden huomattiin laskevan huomattavasti nopeammin, kun

tilojen välillä on lämpötilaeroa. Lisäksi asiaan vaikuttaa merkittävästi myös siirtoilma-aukkojen korkeussuuntainen sijainti. Aivan alhaalla lähellä lattiaa ja ylhäällä lähellä katonrajaa sijainneet aukot toimivat selvästi tehokkaammin kuin alhaalla ja noin kahden metrin korkeudella sijainneet aukot. Kuvasta 5.2 voidaan nähdä ala- ja keskiaukon sekä ala- ja yläaukon vertailu tilanteeseen, jossa hiilidioksidipitoisuuden laskua aiheuttaa ainoastaan tilan rakenteelliset vuodot. Ala- ja yläaukko laskee pitoisuutta ensimmäisen viidentoista minuutin aikana noin 200 ppm enemmän kuin ala- ja keskiaukko ja noin 300 ppm enemmän kuin tila ilman siirtoilma-aukkoja. Kolmen varttitunnin kohdalla eroa on 200 ja 500 ppm. Kuvassa 5.3 on siirtoilma-aukkojen vertailu- eli nollatasoksi otettu pelkkien rakenteellisten vuotojen aikaansaama pitoisuuden muutos. Näin nähdään vielä paremmin siirtoilma-aukkojen tuoma vaikutus.



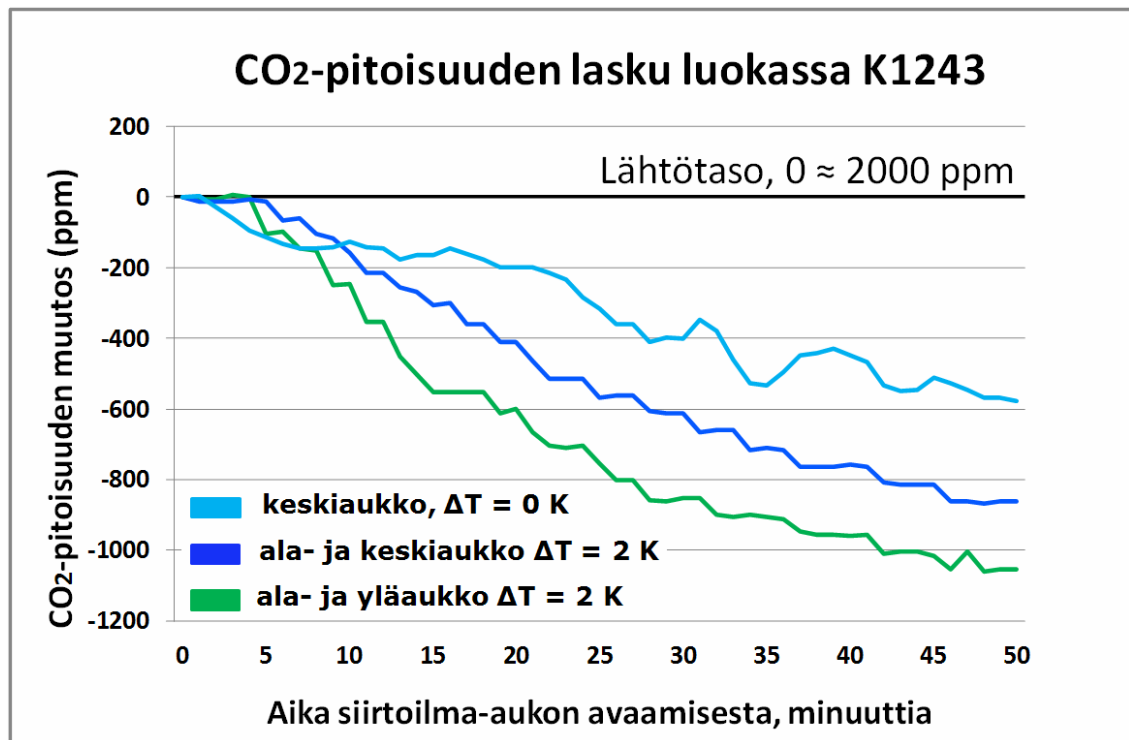
Kuva 5.2. Hiilidioksidipitoisuuden lasku luokassa K1243 ilman siirtoilma-aukkoja sekä ala- keskiaukon tai ala- ja yläaukon ollessa avoimina, kun luokkien välillä on reilun kahden asteen lämpötilaero.



Kuva 5.3. Ala- ja keskiaukon sekä ala- ja yläaukon aiheuttamat hiilidioksidipitoisuuden muutokset, kun tilan vuototestien keskiarvo on otettu vertailu- eli nollatasoksi.

Kuvaan 5.4 on koottu kaikkien kolmen erilaisen siirtoilma-aukkoasetelman aiheuttamat muutokset luokan K1243 hiilidioksidipitoisuudessa ensimmäisten 50 minuutin aikana aukon avaamisen jälkeen pitoisuudesta 2000 ppm alkaen. Näiden kolmen asetelman mitat ja sijainnit esitettiin aiemmin kuvassa 4.14. Keskiaukon eli vaaleansinisen käyrän tapauksessa tilojen välillä ei ollut lämpötilaeroa (kuva 4.12). Ala- ja keskiaukon sekä ala- ja yläaukon mittauksissa lämpötilaeroa tilojen välillä oli hieman reilu kaksi astetta (kuva 4.13). Kuvasta 5.4 voidaan helposti nähdä aukkojen tehokkuusjärjestys hiilidioksidipitoisuutta laskevana tekijänä.

Mikäli siirtoilma-aukkojen tehokkuutta halutaan käyrien lisäksi vertailla yhtenä lukuna, onnistuu se laskemalla aukosta virtaavan ilmavirran suhde tilojen välisen lämpötilaeron ja aukon pinta-alan tuloon. Toisin sanoen aukon tehokkuusluku saadaan laskemalla kaavalla $\varepsilon = q/(A\Delta T)$ ja luku kertoo aukon aikaansaaman ilmavirran määrän suhteessa aukon pinta-alaan ja tilojen väliseen lämpötilaeroon. Aukoista virrannut ilmavirta saatiin selville mitattujen hiilidioksidipitoisuuksien avulla laskentaohjelmalla (Viot, 2012). Rakenteellisten vuotojen ja jäljelle jääneen koneellisen ilmanvaihdon osuus pitoisuutta laskevana tekijänä otettiin laskennassa huomioon. Ala- ja keskiaukon tapauksessa aukkojen läpi kulkeneeksi ilmavirraksi saatiin $41 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja ala- ja yläaukon tapauksessa $71 \text{ dm}^3/\text{s}$. Lämpötilaero tilojen välillä oli keskimäärin $2,3 \text{ K}$ ja molempien aukkojärjestelmien pinta-ala $0,67 \text{ m}^2$. Näistä luvuista laskemalla saadaan tehokkuusluvuksi ala- ja keskiaukolle $27 \text{ dm}^3/\text{sm}^2\text{K}$ ja ala- ja yläaukolle $41 \text{ dm}^3/\text{sm}^2\text{K}$.



Kuva 5.4. Kolmen tutkitun siirtoilma-aukon aikaansaamat laskut hiilidioksidipitoisuudessa, kun lähtötaso on 2000 ppm ja tarkastelu-aika 50 minuuttia.

Saavutetuista tuloksista voidaan päätellä, että mikäli tilojen kuormitusta halutaan tasata ja ilmanlaatua parantaa pelkkien siirtoilma-aukkojen avulla, täytyy kuormituksen tasaamiseen osallistuvien tilojen välillä olla lämpötilaeroa. Lisäksi siirtoilma-aukkojen vaikutusta edelleen tehostaa se, että aukon kokonaiskorkeus on mahdollisimman suuri. Toisin sanoen siirtoilma-aukot on sijoitettava korkeussuunnassa kauaksi toisistaan niin, että aukkojen sijainti tehostaa lämpötilaerojen aiheuttamia konvektiivisia virtauksia niiden läpi. Lisäksi kahden aukon tapauksessa toteutuu tilanne, jossa molemmissa aukoissa ilmaa liikkuu vain yhteen suuntaan. Toisesta aukosta ilmaa tulee sisään tilaan ja toisesta ulos. Tällöin ilmavirtojen liikkuminen on tehokkaampaa, kun eri suuntiin kulkevien ilmavirtojen aiheuttamaa ilman pyörteilyä aukon suulle syntyy vähemmän.

5.2 Siirtoilmapuhaltimet ja -säleiköt ATK-luokassa K1103

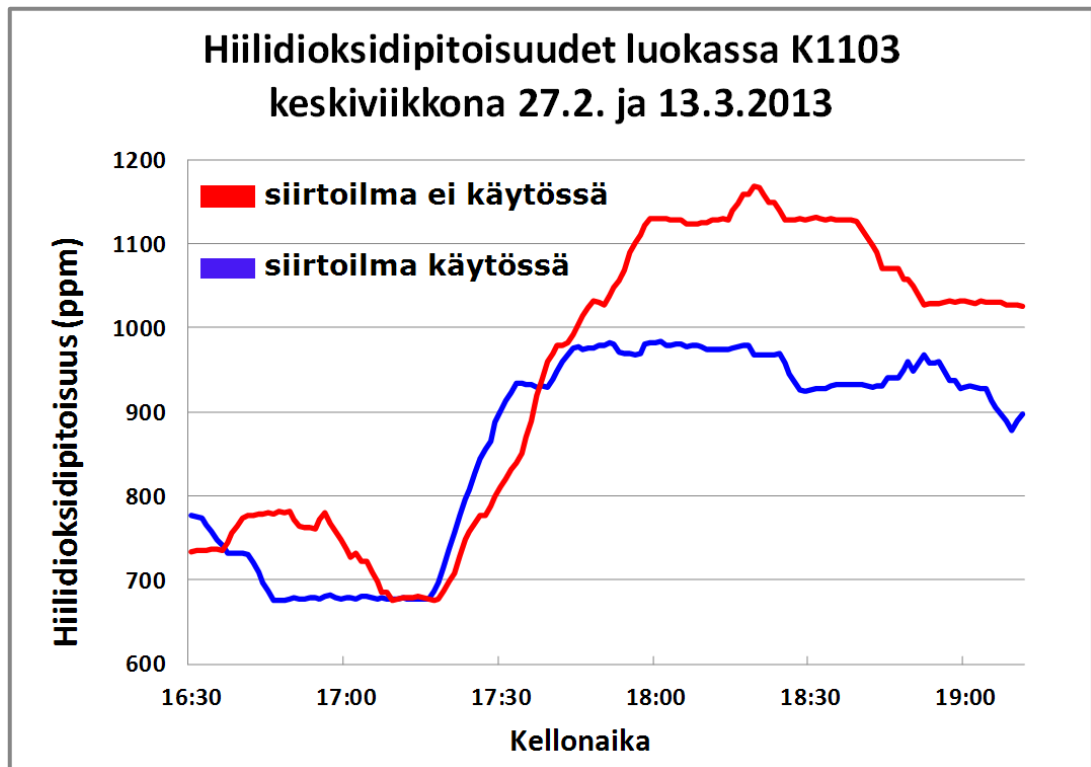
Tietokoneluokassa K1103 tilaa kuormittavana tekijänä käytettiin ihmisten läsnäoloa tilassa normaalissa käyttötilanteessa. Mittauksia suoritettiin ja ihmisten lukumääriä luokassa laskettiin kahtena viikkona tiistaista torstaihin eli yhteensä kuutena arki-iltana. Tässä kappaleessa tarkasteltaviksi tuloksiksi valittiin tiistaiden ja keskiviikkojen illat. Näinä iltoina tilojen käyttäjämäärät olivat melko hyvin toisiaan vastaavat. Eroa käyttäjämäärissä oli kuitenkin sen verran, että ne on hyvä ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa. Tilan käyttäjämäärät kirjattiin ylös viiden minuutin välein. Alla olevassa kuvassa esitetään kaikkien neljän mittauspäivän käyttäjämäärät luokassa K1103 kymmenen minuutin välein aikavälillä 16:50 – 19:00.

Taulukko 2. Luokan K1103 käyttäjämäärät ajankohdilta, jolloin siirtoilmaidean toimivuutta tilassa tutkittiin.

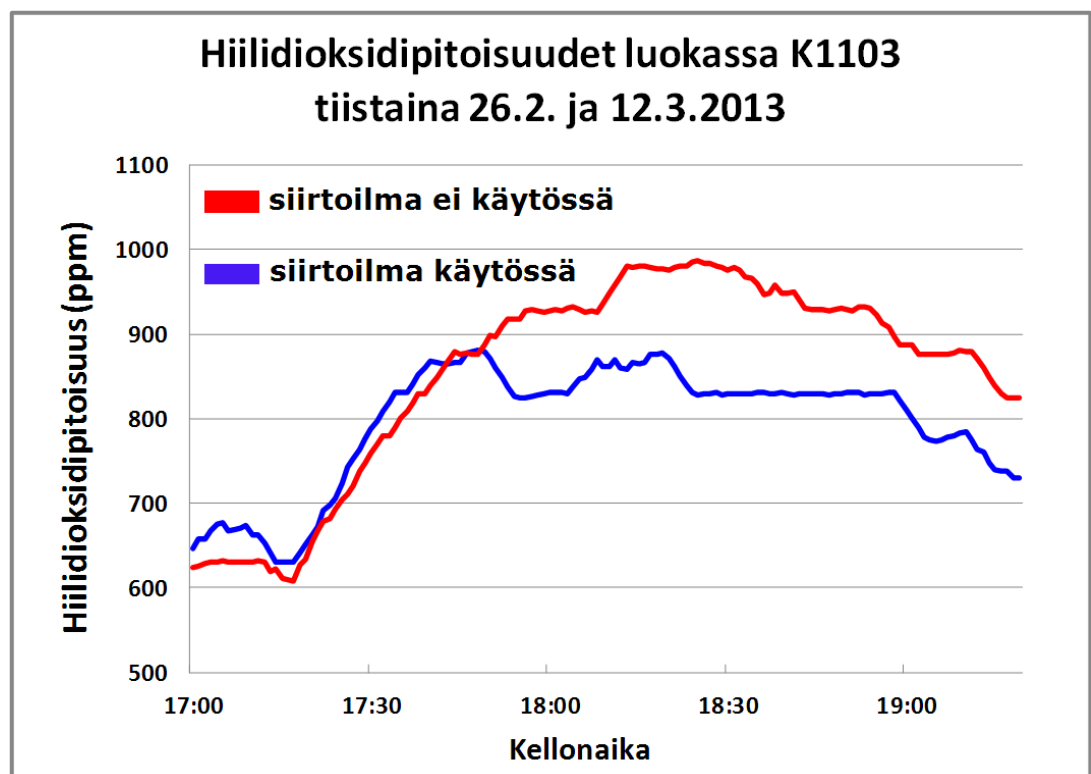
	16:50	17:00	17:10	17:20	17:30	17:40	17:50	18:00	18:10	18:20	18:30	18:40	18:50	19:00
Ti 26.2.	12	16	11	12	12	9	9	11	10	8	8	7	7	6
Ti 12.3.	13	13	12	10	10	9	9	7	10	9	8	7	6	6
Ke 27.2.	12	17	16	18	16	16	15	15	13	10	12	12	13	11
Ke 13.3.	18	15	13	12	10	12	13	13	12	12	9	8	8	7

Luokassa K1103 tehtyjen mittausten tuloksia on nähtävissä kuvissa 5.5. ja 5.6. Molemmissa kuvaajissa sininen käyrä kuvaa huoneilman hiilidioksidipitoisuutta silloin, kun siirtoilma-aukot ja -puhaltimet ovat käytössä. Punainen käyrää taas piirtää hiilidioksidipitoisuuden silloin, kun siirtoilmaidea on otettu pois käytöstä aukot muovittamalla. Rakennuksen koneellisen ilmanvaihdon kytkeytyminen pois päältä iltapäivällä kello 17:15 voidaan nähdä molemmista kuvissa. Aivan selvästi erotettavissa on myös ero hiilidioksidipitoisuuden nousussa riippuen siitä, onko siirtoilma ollut käytössä vai ei. Keskiviikkojen mittauksissa huoneilman hiilidioksidipitoisuus on pysynyt noin 150 ppm alemmalla tasolla siirtoilmaa käytettäessä. Tiistaiden mittauksissa ero on reilu 100 ppm siirtoilman käytön hyväksi.

Lisäksi on huomioitava taulukossa 2 esitelyjen ihmisten lukumäärien vaikutus asiaan. Mittausten ensimmäisellä viikolla keskiviikkona 27.2, jolloin siirtoilma oli käytössä, luokassa K1103 oli normaalin ilmanvaihdon sammuttua klo 17:20 – 19:00 välisenä aikana keskimäärin 14 ihmistä. Toisen viikon keskiviikkona 13.3. taas oli samalla aikavälillä keskimäärin 11 ihmistä. Huolimatta siitä, että ensimmäisellä viikolla tilassa oli 3 ihmistä enemmän, pystyttiin luokan hiilidioksidipitoisuus pitämään noin 150 ppm alempana! Tiistaiden tapauksessa vastaava tarkastelu antaa samansuuntaiset tulokset - hiilidioksidipitoisuus pysyy noin 100 ppm alempana, vaikka tilassa oli keskimäärin yksi ihminen enemmän siirtoilmaa käytettäessä. Kuvissa 5.5 ja 5.6 esitetään luokan K1103 hiilidioksidipitoisuudet tutkittuina iltoina. Kuvaan 5.5 on otettu vertailuun keskiviikkojen pitoisuudet ja kuvaan 5.6 tiistaiden pitoisuudet.

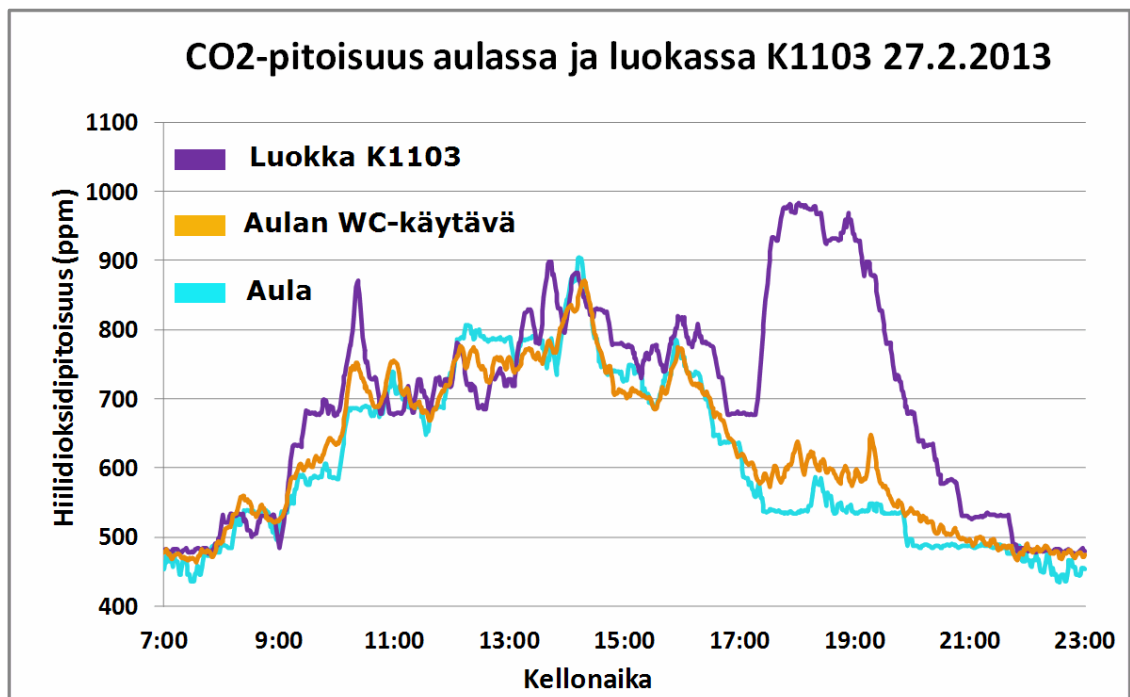


Kuva 5.5. Luokan K1103 hiilidioksidipitoisuudet tutkittuina keskiviikkoina. Pitoisuus pysyi siirtoilmaa käytettäessä ilmanvaihdon sammuttua noin 150 ppm alempana kuin ilman siirtoilmaa, vaikka tilassa oli keskimäärin kolme ihmistä enemmän.



Kuva 5.6. Luokan K1103 hiilidioksidipitoisuudet tutkittuina tiistaina. Pitoisuus pysyi siirtoilmaa käytettäessä noin 100 ppm alempana kuin ilman siirtoilmaa, vaikka tilassa oli tuolloin keskimäärin yksi ihminen enemmän.

Siirtoilma luokkaan otetaan siis siirtoilma-aukkojen avulla Konetalon aulasta ja ilmaa poistetaan luokasta siirtoilmana aulan WC-käytävälle. Konetalon aulan hiilidioksidipitoisuutta alla olevassa kuvassa esittää vaaleansininen käyrä ja WC-käytävän hiilidioksidipitoisuutta keltainen käyrä. Kuvasta voidaan nähdä, ettei aulan WC-käytävän sisäilman laatu juurikaan kärsi luokan K1103 käytetyn ilman siirtämisestä sinne. Ero vaaleansinisen käyrän kuvaamaan aulan hiilidioksidipitoisuuteen on nähtävissä, mutta se on hyvin pieni. Tämä siitäkin huolimatta, että myös aulan koneellinen ilmanvaihto sammuu samaan aikaan kuin luokan K1103. Aulan sisäilman laadun pysyminen hyvällä tasolla voidaan nähdä selittyvän siirtoilmaa vastaanottavan aulan suurella tilavuudella. Tietokonehuoneen hieman huonompilaatuinen ilma laimenee tehokkaasti suuremman tilan ilmaan eikä ongelmaa ilman laadussa synny. Kuormituksen tasaamisen idea minkään tilan ilman laatua merkittävästi huonontamatta toteutuu tässä tapauksessa hyvin.



Kuva 5.7. Normaalin arkipäivän hiilidioksidipitoisuudet Konetalon aulassa ja luokassa K1103, kun siirtoilmapuhaltimet ovat käytössä. Aulan WC-käytävän ilman laatu ei merkittävästi huonone luokan K1103 siirtoilman kulkeutumisesta sinne.

Siirtoilman käyttö tilan ilmanvaihdossa vaikuttaa tämän tilan tapauksessa toimivan sisäilman hiilidioksidipitoisuutta laskevana tekijänä. Luokan K1103 lämpötiloihin ei pystytty vaikuttamaan tämän tutkimuksen verrattain pienillä siirtoilmamäärillä. Konetalon aulan ja tietokonehuoneen välisen seinän ilmasteneristävyyden luonnollisesti heikkeni neljän siirtoilma-aukon asentamisesta. Eristävyys ei kuitenkaan heikentynyt merkittävästi koko seinärakennetta tarkasteltaessa, sillä luokasta aulaan johtaa kolme ovea, jotka eivät ole ääntä eristäviksi valmistettuja. Eristävyyden heikkenemisellä ei muutenkaan ollut käytännön merkitystä tässä tilassa, jonka sisäiset äänilähteet ovat

huomattavasti ulkoisia äänilähteitä suuremmat. Luokan 25 tietokonetta saavat aikaan huomattavasti korkeamman keskiäänitason kuin aulan normaali käyttö. Siirtoilmapuhaltimet ovat myös hyvin hiljaisia eivätkä aiheuta ilmastointia tai runkoääntä.

On selvää, että mikäli Konetalon suuria ilmanvaihtokoneita pidettäisiin päällä kolme tuntia pidempään, pysyisi tietokonehuoneen K1103 sisäilman laatu hyvänä iltaisinakin. Lyhyt laskennallinen tarkastelu nostaa kuitenkin esille pienten siirtoilmalaitteiden käyttöä puoltavan taloudellisen seikan. Luokka K1103 sijaitsee alueella, jota palvelee 6100 dm³/s puhaltava tuloilmakone ja 5120 dm³/s poistava ilmanvaihtokone. Lisäksi on erillistä poistoilmanvaihtoa niin, että kokonaisuudessaan koneellisen poistoilman määrä on hieman tuloilmaa suurempi.

SFP-oppaan (LVI-talotekniikkateollisuus ry 2009, s. 6) mukaan ilmavaihtojärjestelmän ominaissähköteho on rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien, mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla riippuen kumpi on suurempi. Konetalon tavanomaisen ilmavaihtojärjestelmän ominaissähkötehoksi voidaan arvioida 2,5 kW/(m³/s). Tuloilman määrällä kerrottuna ilmanvaihtolaitteiden ottamaksi sähkötehoksi saadaan 15,25 kW. Käyttöaikaa ilmanvaihtokoneelle tulisi luokan K1103 takia noin 60 tuntia lisää kuukaudessa. Tämä tarkoittaa 900 kWh:n sähkönkulutusta kuukautta kohden. Sähkön maksaessa esimerkiksi 0,12 €/kWh aiheutuu ilmanvaihtokoneiden jatkoajasta joka kuukausi noin 110 euron lisä sähkölaskuun. Luokan K1103 siirtoilmapuhaltimien ottaman 8 watin ympärivuorokautinen käyttö kuluttaa sähköä kuukaudessa hieman vajaa 6 kilowattituntia, eli normaaleihin ilmanvaihtokoneisiin nähden mitättömän vähän.

Puhaltimien sähkön lisäksi energiaa kuluu merkittävä määrä tuloilman lämmittämiseen. Konetalossa tuloilmaa lämmitetään kaukolämmöllä. Lämmityksen määrän tarve riippuu ulkoilman lämpötilasta eli vuodenajasta. Tarvittavan kaukolämmön määrän selvittämiseksi on laskettava ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve. Nettotarve lasketaan Rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavan 3.11 (Ympäristöministeriö 2012b, s. 21) mukaan. Kaava esitetään kuvana 5.8.

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad (3.11)$$

jossa

Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Kuva 5.8. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve lasketaan kuvassa esiintyvällä kaavalla. (Ympäristöministeriö 2012b, s. 21)

Konetaloon liittyvistä arkistoista ja kojeluettelosta löytyi tieto, että kyseiset ilmanvaihtokoneet on varustettu lämmöntalteenotolla, jonka hyötysuhde on 37 prosenttia. Ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde on 10,5/24 ja viikoittainen 5/7. Tuloilman sisäänpuhalluslämpötilaksi arvioitiin tavanomainen 18 °C. Sää tiedot eli ulkolämpötilat laskentaan otettiin Rakentamismääräyskokoelman osan D3 taulukosta L2.2 (Ympäristöministeriö 2012a, s. 30). Näistä lähtötiedoista laskemalla saatiin tämän ilmanvaihtokoneen kaukolämmön tarpeeksi esimerkiksi neljän talvikuukauden joulukuusta maaliskuuhun noin 6000 kWh kilowattituntia kuukautta kohden ja vuoden kaikille kuukausille vuoden aikana keskimäärin 3200 kilowattituntia. Kaukolämmön maksaessa esimerkiksi noin 0,08 €/kWh tulee ilmanvaihtokoneiden lisätunneilta talvikuukausina noin 500 euroa lisäkustannusta. Vuoden ympäri laskettaessa lisähintaa yhdelle kuukaudelle tulee keskimäärin noin 260 euroa.

Otettaessa huomioon suurten ilmanvaihtokoneiden arkipäivien kolmen lisätunnin aiheuttama muutos kaukolämmön ja sähkön kulutuksessa, tulee kolmesta lisätunnista keskimäärin 370 euron lisäkustannukset kuukaudessa. Luokan K1103 siirtoilmalaitteet asennuksineen maksoivat yhteensä 1350 euroa, joten investoinnin takaisinmaksuajaksi saadaan vajaa neljä kuukautta. Takaisinmaksuajan jälkeen investointi on yhä kannattavampi, kun oletetaan energian hintojen nousevan totuttuun tahtiin.

5.3 Wirepas-mittausjärjestelmästä

Wirepas todettiin luotettavaksi ja käteväksi järjestelmäksi tärkeimpien sisäilman suureiden mittaamiseen ja mittaustiedon tallentamiseen. Wirepas-järjestelmän asennus todettiin helpoksi ja nopeaksi. Erityisen kätevän Wirepas-järjestelmästä tekee sen

etäluettavuus. Wirepas-järjestelmän mittaamaa ja keräämää dataa voi reaaliaikaisesti tarkastella tietokoneella tai mobiililaitteella missä tahansa Internet-yhteyden avulla. Tämä säästää monissa muissa järjestelmissä vaaditulta tietojen erilliseltä tietokoneelle tallentamiselta. Mittaustulosten tallentaminen palvelimen tietokantaan mahdollistaa myös mittauksen jatkumisen katkotta.

Valmistajan antureille lupaamassa tarkkuudessa on toivomisen varaa etenkin, jos antureita on tarkoitus käyttää tarkkaan tutkimukseen. Toisaalta, tässä tutkimuksessa mittareiden absoluuttinen tarkkuus ei ollut ensiarvoisen tärkeää, koska mittaukset tehtiin samoilla mittareilla ja tuloksissa verrattiin samojen mittareiden mittaamia tuloksia erilaisilla tutkimusasetelmilla. Absoluuttisten mittaustulosten sijaan tärkeämpää oli selvittää, muodostuuko siirtoilmaa käytettäessä eroa tilanteeseen, jossa ei hyödynnetty siirtoilmaa.

Wirepas-järjestelmän toimintavarmuus on erittäin hyvä, sillä tekniikasta aiheutuneita ja käyttäjästä riippumattomia katkoksia ei mittauksissa juurikaan esiintynyt. Järjestelmää käytettäessä on oltava huolellinen, että käytettävissä paristoissa on riittävästi jännitettä. Anturit eivät saa olla liian kaukana toisistaan eikä niiden väleillä saa olla suuria kiinteitä esteitä, jotta tiedonsiirto antureiden välillä ei esty. Mittausjärjestelmän käyttöönotto on verrattain yksinkertaista ja sujuu muutaman pystytyskerran jälkeen jo hyvinkin nopeasti.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tutkittiin siirtoilman mahdollisuuksia parantaa sisäilman laatua rakennuksen normaalin ilmanvaihdon tukena. Ajatuksena oli, että runsaasti kuormitettujen tilojen hiilidioksidikuormitusta voitaisiin tasata viereisiin tiloihin ja laajemmalle alueelle siirtoilman avulla. Tarkemmin tarkasteltiin oppilaitoksen kolmea tietokonealuokkaa. Luokkiin asennettiin tämän tutkimuksen puitteissa siirtoilma-aukkoja ja siirtoilmapuhaltimia idean käytännön toimivuuden tarkastelemiseksi. Ilman laadun arviointiin käytettiin ilman hiilidioksidipitoisuutta. Tutkittavia tiloja kuormitettiin ihmisten normaalilla läsnäololla tai synteettisellä hiilidioksidilla sen mukaan, kumman käyttö oli tutkimusasetelman kannalta otollisempaa.

Huomattiin, että siirtoilman avulla voidaan saavuttaa merkittäviä tuloksia sisäilman laadun parantamisessa. Erityisen käyttökelpoisen siirtoilman käytön huomattiin olevan kohteissa, joissa olemassa olevien taloteknisten järjestelmien puitteissa ilmanlaadun parantaminen ei ole mahdollista tai taloudellisesti järkevää. Jos esimerkiksi käyttötunneilta muista poikkeava tila on suurten ilmanvaihtokoneiden palvelualueella, kannattaa siirtoilman käytön mahdollisuutta ehdottomasti selvittää suurten ilmanvaihtokoneiden käyntiaikojen pidentämisen sijaan. Laskennallinen tarkastelu osoitti, että suurien ilmanvaihtokoneiden käyntiaikojen pidentäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. Siirtoilmalaitteiden hankinta ja asennus on useisiin muihin taloteknisiin korjauksiin nähden hyvin edullista eikä investoinnin takaisinmaksuaika ei ole pitkä.

Luokkien K1243 ja K1242 mittauksissa huomattiin, että luokkien välille tehty siirtoilma-aukko ilman puhallinta vaatii toimiakseen tilojen välisen lämpötilaeron. Pelkkä siirtoilma-aukko toimii käytännössä tehokkaasti tapauksessa, jossa tilojen välille syntyy lämpötilaero esimerkiksi tiloissa sijaitsevien tietokoneiden tai muiden lämmönlähteiden vaikutuksesta. Näin erilaisten lämpökuormien hukkalämpö saadaan hyödynnetyksi sisäilman laadun parantamisessa. Luokan K1243 hiilidioksidipitoisuus laski siirtoilma-aukkojen avulla huomattavasti nopeammin kuin pelkkien rakenteellisten vuotojen takia.

Luokan K1243 tutkimuksissa huomattiin myös, että siirtoilma-aukkojen sijainneilla on merkittävä vaikutus aukkojen tehokkuuteen. Siirtoilma-aukot olisi hyvä tehdä vähintään kahdessa eri osassa ja osat tulisi sijoittaa korkeussuunnassa kauaksi toisiaan. Normaalisissa huonekorkeudessa tämä tarkoittaa lähelle katonrajaa ja lattiaa. Näin menetellen lämpötilan kerrostuminen huonetilassa edelleen tehostaa konvektiivisia virtauksia. Lisäksi kahden aukon tapauksessa toteutuu tilanne, jossa molemmissa aukoissa ilmaa liikkuu pääasiassa vain yhteen suuntaan. Tällöin kulkevat ilmavirrat

eivät häiritse toisiaan ja liikkuminen on tehokkaampaa, kun pyörteilyä aukon suulle syntyy vähemmän.

Äänitekniset tarkastelut tiloille on tehtävä tapauskohtaisesti. On arvioitava, millaisia akustisia ominaisuuksia asennettavilta siirtoilmalaitteilta vaaditaan. Tässä työssä tutkittujen ääntä eristämättömien aukkojen kaltaisia ratkaisuja ei tule asentaa paikkoihin, joissa siirtoilmaa hyödyntävien tilojen välillä ei suvaita ilmaäänien kulkua. Seinään tehty suuri aukko romuttaa tiiviin seinän ilmaääneneristävyyden ja äänet kulkeutuvat helposti tilasta toiseen. Mikäli seinän ääneneristävyys ei ole tärkeää, saadaan jo pienilläkin puhaltimien sähkötehoilla paljon aikaan.

Luokan K1103 normaalin ilmanvaihdon sammumisen jälkeistä ilman laatua pystyttiin merkittävästi parantamaan vaihtamalla siirtoilmaa viereisen aulan kanssa. Luokkaan K1103 asennettujen siirtoilmapuhaltimien äänet ovat hyvin hiljaiset, ja lisäksi ne peittyvät luokan tietokoneiden ja tilan käytön äänien alle. Luokan K1103 tapauksessa seinien ilmaääneneristävyys ei merkittävästi heikentynyt siirtoilmalaitteiden asentamisesta, koska luokassa on kolme äänieristämätöntä ovea. Lisäksi tilan käyttö ei ole erityistä hiljaisuutta vaativaa. Luokan K1103 korkeaa lämpötilaa ei pystytty laskemaan siirtoilman avulla. Tilojen jäähdytys on hoidettava muilla keinoin. Luokan K1103 tapauksessa se tarkoittaa luokassa jo olevien puhallinkonvektoreiden kunnostamista.

Tilasta toiseen kulkevan siirtoilman tulee olla verrattain puhdasta. Tilojen, joissa siirtoilmaa käytetään, tulee olla käyttötarkoitukseltaan sellaisia, ettei tilojen käytöstä synny sisäilmaan haitallisia määriä päästöjä. Siirtoilmana voi käyttää vain ilmanpuhtaudeltaan samanarvoisten tai puhtaampien tilojen ilmaa. Siirtoilman käytön järjestyminen ja laiteratkaisu on mietittävä tapauskohtaisesti. Rakennuksissa jo olemassa olevien ilmanvaihtolaitteiden mahdollisuudet kannattaa hyödyntää täysimääräisesti ennen uusien laitteiden asentamista. Hyvin usein rakennuksessa ilmennyt ilmanvaihto-ongelma on korjattavissa vanhojen laitteiden toiminnan optimoinnilla.

Tämä opinnäytetyö oli mittauksineen ja tutkimuksineen työläs, mutta saavutettujen tulosten koetaan olevan onnistuneita. Mittausten ja tutkimuskysymysten asettelu oli monivaiheinen oppimisprosessi, jossa onnistuttiin hyvin ja josta opittiin paljon. Vaikka suureiden mittaustarkkuus ei yltänyt tässä tutkimuksessa huipputasolle, saavutettiin tutkimukselle asetetut tavoitteet hyvin.

Tämän tutkimuksen aiheesta riittää vielä tutkittavaa. Esimerkiksi ilmamääriltään luokan K1103 siirtoilmalaitteita suurempien laitteiden toimivuutta olisi mielenkiintoista tutkia tämän tutkimuksen tilojen kaltaisissa olosuhteissa. Luokkaan asennettujen laitteiden ottama sähköteho kun on hyvin pieni eivätkä ilmavirrataan ole erityisen suuret. Ilmavirralla ja sähkökulutukseltaan suurempia siirtoilmalaitteita käyttämällä saatettaisiin hyvinkin päästä vielä parempiin tuloksiin ilman, että taloudelliset kulut kasvaisivat liian korkeiksi. Useimmissa tiloissa tilaa erottavilla seinärakenteilla yhtenä tehtävänä on estää ilmaääntä siirtymästä tilaan tai tilasta ulos. Näin ollen akustisesti hyvin toimivien siirtoilmalaitteiden tutkiminen tämän tutkimuksen kaltaisilla tutkimusasetelmilla olisi myös hyödyllistä.

LÄHTEET

Asumisterveysopas, Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeen soveltamisopas. 2009. Pori. Ympäristö- ja terveystieteiden tutkimuskeskus.

Aumala, O. 1999. Mittaustekniikan perusteet. Otatieto Oy. Helsinki. 223 s.

EngineerToolBox. 2013. Tools and Basic Information for Design, Engineering and Construction of Technical Applications. [WWW]. [viitattu 2.5.2013]. Saatavissa: http://www.engineeringtoolbox.com/ventilation-efficiency-d_124.html

Haahtela, Tari. 2009. Miksi sisäilma on tärkeää? Helsinki. Kustannus Oy Duodecim. [WWW]. [viitattu 26.4.2013]. Saatavissa: http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=alg00299#T2

Heinonen, Sirkka. 2008. Hidas asuminen ja hiiliyhdykskunta. Sitran Energiaohjelma ja Tulevaisuuden tutkimuskeskus. 40 s.

Ilmatieteen laitos. 2013. Hiilidioksidipitoisuus ylittänyt Pallaksella 400 ppm:n tason. [WWW]. [viitattu 20.5.2013]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/658924>

Kalema, Timo et al. 2012. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkisten rakennusten energiatehokkuuden parantaminen. Tampere. 133 s.

Kojo, R., Lilja, R. 2011. Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen. Helsinki. Ympäristöministeriö. 86 s.

Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos. Tampere. 198 s.

LVI-teknologiateollisuus ry. 2009. SFP-opas, Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. 25 s.

Rahko, Pasi. 2007. NDIR-tekniikka kaasujen monikomponenttianalyysissä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Tampere. 91 s.

Seppänen, Olli. 1988. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. LVI-kustannus Oy. Rauma. 347 s.

Seppänen, O., Seppänen, M. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Sisäilmayhdistys ry. Jyväskylä. 279 s.

Sisäilmayhdistys ry. 2013a. Espoo. Viitattu 22.1.2013

Saatavissa:

http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/perustietoa/

Sisäilmayhdistys ry. 2013b. Espoo. Viitattu 12.3.2013.

Saatavissa:

http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/tietoa_yhdistyksesta/

Skanska CDF Oy ja KTI Kiinteistötieto Oy. 2012. Tulevaisuuden työympäristö – barometri 2012. Helsinki. 39 s.

Saatavissa:

http://www.kti.fi/kti/doc/ajankohtaista/TulevaisuudenTyoymparistoBarometri_2012.pdf

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje. Helsinki. 93 s.

Saatavissa:

http://www.valvira.fi/files/tiedostot/a/s/asumisterveysohje_STM_2003.pdf

Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2007. Standardi SFS-EN 15251, Sisäympäristön lähtötiedot rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet. Helsinki. 82 s.

Suomen Yliopistokiinteistöt Oy. Kampuskysely 2013: Kuinka kampus kookuttaa? Tulosraportti. Tampere. 11 s.

Systemiteknikan laitos, Tampereen teknillinen yliopisto. 2013. MIT-1010 Mittaustekniikka, luento 5. Tampere. 40 s.

Säteri, Jorma. 2008. Sisäilmastoluokitus. Sisäilmayhdistys, Espoo. 22s.

Tampereen teknillinen yliopisto. 2006. Opinnäytetyön kirjoittaminen Tampereen teknillisessä yliopistossa. 31 s.

Työterveyslaitos. 2011. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet –turvallisuusohjeet. OVA-ohje: Hiilidioksidi. 7 s. [WWW]. [viitattu 13.3.2013].

Saatavissa:

<http://www.ttl.fi/ova/hiilidioksidi.pdf>

Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 1998.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1. Ääneneristys ja meluntorjunta

rakennuksessa. Helsinki. 9 s.

Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 2000.
Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa A4. Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje.
Helsinki. 7 s.

Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 2007.
Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja
lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki. 72 s.

Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 2012a.
Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Rakennusten energiatehokkuus.
Helsinki. 35 s.

Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 2012b.
Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja
lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki. 74 s.

Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 2012.
Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto.
Helsinki. 23s.

Vaisala Humidity Calculator 2.2. 2013. [WWW]. [viitattu 27.4.2013].
Saatavissa:
http://www.vaisala.com/humiditycalculator/vaisala_humidity_calculator.html

Vapaa tietosanakirja Wikipedia. 2013. [WWW]. [viitattu 27.2.2013].
Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide#cite_note-48

Viot, Maxime. 2012. Predictive model for the carbon dioxide concentration of indoor
spaces in school buildings. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 91 s.