

Markus Järvenpää

TALOTEKNIikka AVOTOIMISTON MUUTOKSISSA

Energiatekniikan koulutusohjelma

2012

TALOTEKNIikka AVOTOIMISTON MUUTOKSISSA

Järvenpää, Markus
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2012
Ohjaaja: Heinonen, Jarkko
Sivumäärä: 47
Liitteitä: 3

Asiasanat: avotoimisto, sisäilmasto, lämpötilaolosuhteet, ilmavirta

Suomessa rakennetaan yhä enemmän uusia avotoimistotiloja ja myös vanhoja toimistotiloja saneerataan avotoimistoiksi väliseiniä poistamalla. Toimitilat ovat yrityksille kalliita vuokrata, joten pienempään tilaan on kustannustehokkaampaa sijoittaa useampi työpiste. Avotoimistossa työpisteiden suuren tiheyden takia talotekniikan toimivuus sisäilmaston hallitsemiseksi korostuu entisestään. Huonot lämpötilaolosuhteet ja ilmanlaatu edesauttavat työtehon heikentymistä. Asiantuntijaryhmän kokoama Sisäilmastoluokitus 2008 antaa sisäilmaston suunnittelijoille ja urakoitsijoille ohjeita ja vertailuarvoja hyvän sisäilmaston toteuttamiseksi.

Opinnäytetyön päätavoitteena oli olla mukana valtakunnallisessa Työterveyslaitoksen johtamassa ”käyttäjälähtöiset toimitilat” (TOTI) – tutkimushankkeessa ja tehdä talotekniikan pitkäikäistutkimukset kolmesta erillisestä tutkimuskohteesta. Tutkimuskohteina olivat Vaasassa sijaitseva toimistorakennuksen, OP-Keskus OPK:n ja Wärtsilä Finland Oy:n avotoimistotilat. Pitkäikäistutkimuksiin kuuluivat kohteiden LVIA-järjestelmien suunnitelmien mukaisen toimivuuden tarkastaminen ja dokumentointi. Kohteissa tutkittiin paikan päällä LVIA-järjestelmien toiminta katselmoiden ja mittauksia suorittaen, sekä perehdyttiin käytettävissä olleisiin talotekniikan dokumentteihin. Sisäilmaston mittaukset suoritettiin yhteistyössä Työterveyslaitoksen tutkijoiden kanssa. Tutkimusten jälkeen jokaisesta kohteesta raportoitiin tilan käyttäjälle sisäilmaston laadusta ja talotekniikan toimivuudesta.

Tutkimusten ja mittausten perusteella on talotekniikan toimivuuteen tärkeätä kiinnittää huomiota, jos tilojen sijoittelua tai käyttötarkoitusta muutetaan. Työntekijät ja tietotyön luonne ovat nykyään huomattavasti vaativampia sisäilmaston kannalta. Rakennusautomaatiojärjestelmiä käyttävien henkilöiden ammattitaito on tärkeässä osassa hyvän sisäilmaston toteutumiseksi.

BUILDING SERVICES WHEN OPEN-PLAN OFFICE LAYOUT IS CHANGING

Järvenpää, Markus

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Energy Engineering

May 2012

Supervisor: Heinonen, Jarkko

Number of pages: 47

Appendices: 3

Keywords: open-plan office, indoor climate, temperature conditions, air flow

In Finland more and more new open-plan offices are built and also old offices are renovated to open-plan offices by removing the partitions. The premises are costly for companies to rent, so a smaller space is more cost effective to place more of the workstations. High density of the workstations in open-plan office makes building services for controlling indoor climate very important. Poor temperature conditions and indoor air quality contribute to the deterioration of working efficiency. Classification of Indoor Climate 2008, assembled by the group of experts, gives guidance and benchmarks for designers and contractors for the implementation of good indoor climate.

The aim of this thesis was to be part of the national research project called TOTI, lead by Finnish Institute of Occupational Health and make HVAC longitudinal studies of three separate research site. The study focused on open-plan offices of office building in Vaasa, OP-Pohjola Group Central Cooperative and Wärtsilä Finland Ltd. Longitudinal studies included testing and documentation of the HVAC systems and plans. Indoor climate measurements were carried out in collaboration with researchers from Institute of Occupational Health. After researches results were reported for the users, including indoor air quality and state of the building services.

According research results it is important to draw attention to the operation of building services, if layout or purpose of use is changing. The workers and the nature of knowledge work are now much more demanding in terms of indoor climate. Professional skill of people using building automation systems is an important part of the realization of a good indoor climate.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Hankkeen tausta.....	6
1.2	Hankkeen tavoite	6
1.3	Hankkeen toteutus.....	7
2	SISÄILMASTOLUOKITUS.....	8
2.1	Sisäilmastoluokitus 2008	8
2.2	Sisäilmastoluokituksen käyttö	8
2.3	Sisäilmastoluokat	9
2.4	Sisäilmaston tavoitearvot.....	10
2.4.1	Lämpöolosuhteiden tavoitearvot	10
2.4.2	Ilman laadun tavoitearvot.....	13
2.4.3	Ääniolosuhteiden tavoitearvot.....	14
2.4.4	Valaistuksen tavoitearvot	15
3	ILMASTOINTIJÄRJESTELMIEN TARKASTUSMENETELMÄT	16
3.1	Asiakirjat ja katselmointi	16
3.2	Virtausnopeuden ja ilmavirran mittaustavat	16
3.3	TOTI-hankkeen mittaustavat	20
4	TOIMISTORAKENNUS, VAASA	21
4.1	Kohteen kuvaus ennen tilojen parannusta	21
4.1.1	Ilmanvaihtojärjestelmän toimintakaavio	23
4.1.2	Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaselostus	24
4.2	Mittaukset ennen tilojen parannusta	26
4.3	Jäähdytystehontarpeen arviointi	27
4.3.1	Arvio, Sisäilmastoluokitus 2008 käyttöprofiilien perusteella.....	27
4.3.2	Laskenta tiedossa olevalla käyttöprofiililla.....	28
4.4	Johtopäätökset ennen tilojen parannusta.....	29
5	OP-KESKUS OPK, HELSINKI.....	30
5.1	Kohteen kuvaus tilojen parannuksen jälkeen.....	30
5.1.1	ilmanvaihtojärjestelmän toimintakaavio	32
5.1.2	Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaselostus	33
5.2	Mittaukset tilojen parannuksen jälkeen	34
5.3	Jäähdytystehontarpeen arviointi	34
5.3.1	Arvio, Sisäilmastoluokitus 2008 käyttöprofiililla	34
5.3.2	Laskenta, tiedossa olevalla käyttöprofiililla.....	35
5.4	Johtopäätökset tilojen parannuksen jälkeen.....	36
6	WÄRTSILÄ FINLAND OY, TURKU	37

6.1 Kohteen kuvaus tilojen parannuksen jälkeen.....	37
6.1.1 Ilmanvaihtojärjestelmän toimintakaavio	39
6.1.2 Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaselostus	40
6.2 Mittaukset tilojen parannuksen jälkeen	40
6.3 Jäähdytystehontarpeen arviointi	40
6.3.1 Arvio, Sisäilmastoluokitus 2008 käyttöprofiilien perusteella	40
6.3.2 Laskenta, tiedossa olevalla käyttöprofiililla.....	41
6.4 Johtopäätökset tilojen parannuksen jälkeen.....	42
7 YHTEENVETO KAIKISTA KOHTEISTA	43
7.1 Tuloilmavirrat ja ilmanlaatu	43
7.2 Rakennusautomaatiojärjestelmät	43
7.3 Työterveyslaitoksen mittaukset ja tulokset.....	44
7.4 Jäähdytystehontarpeet.....	45
LÄHTEET.....	47
LIITTEET	

LIITELUETTELO

LIITE 1 Toimistorakennus, Vaasa: Pohjakuva ja ilmanvaihdon päätelaitteet

LIITE 2 OP-Keskus OPK, Helsinki: Pohjakuva ja aktiivipalkit

LIITE 3 Wärtsilä Finland Oy, Turku: Toisen kerroksen pohjakuva ja ilmanvaihdon päätelaitteet

1 JOHDANTO

1.1 Hankkeen tausta

Avotoimistojen osuus toimistotiloista on viime vuosina ollut selvässä kasvussa. Käytävissä olevat neliöt pystytään hyödyntämään avotoimistomallilla kustannustehokkaasti. Joustava, muunneltava ja erilaisia tilaratkaisuja mahdollistava toimisto on haasteellinen sisäympäristön kannalta. Avotoimistoissa melu ja puheyksityisyyden puute, korkeat lämpötilat ja veto sekä huono ilmanlaatu häiritsevät usein työn tekemistä. Jos edellä mainittuihin asioihin ei jo suunnitteluvaiheessa ole kiinnitetty huomiota, niin olosuhteet työntekijälle saattavat olla huonot. Käyttäjälähtöiset toimistotilat (TOTI) -hankkeessa selvitetään, miten avotoimistoja voidaan kehittää paremmaksi viihtyisyyden ja työn teon kannalta.

”Tutkimusnäyttö näiden eri sisäympäristötekijöiden vaikutuksista toimistotyölle avotoimistoissa on ollut tähän asti hyvin vähäistä. Tutkimukset on tehty ympäristöissä, jotka eivät vastaa todellisia avotoimisto-olosuhteita. Tämä on kansainvälisestikin uutta ja ainutlaatuista.” korostaa hanketta johtava dosentti Valtteri Hongisto Työterveyslaitoksesta. (Työterveyslaitoksen www-sivut 2011)

1.2 Hankkeen tavoite

Käyttäjälähtöiset toimistotilat (TOTI) -hankkeessa tavoitteena on kehittää ratkaisuja, joilla voidaan saada aikaan toimiston olosuhteet tietotyöympäristönä optimaaliksi. Edellisiin hankkeisiin nähden uutuutena on sisäympäristön kokonaisvaltainen tarkastelu yhden tutkimusryhmän toimesta. Tutkimusryhmä toteuttaa lämpöolojen, valaistuksen, akustiikan ja sisustuksen tarkastelun. Tavoitteena on siis kehittää sisäympäristöltään optimaalisia ja sekä kenttäoloissa että laboratoriossa tutkittuja avotoimistoratkaisuja. Lisäksi tutkimushankkeen tavoitteena on luoda menetelmä tietotyötoimiston sisäympäristön olosuhteiden arvioimiseksi ja kehittämiseksi. Opinnäytetyön ta-

voitteena oli tutkia kohteissa paikan päällä LVIA-järjestelmien toiminta katselmoiden ja mittauksia suorittaen, sekä perehtyä käytettävissä olleisiin talotekniikan dokumentteihin.

1.3 Hankkeen toteutus

TOTI-hanke kuuluu Tekesin TILA-ohjelmaan. Hankkeen päätoteuttajana on Työterveyslaitos (TTL) ja muita mukana olevia tutkimuslaitoksia ovat Aalto-yliopisto, Turun yliopisto ja Satakunnan ammattikorkeakoulu. TOTI-hanketta rahoittavat Tekes, aiemmin mainitut organisaatiot ja tutkimuksessa mukana olevat yritykset.

TOTI-hankkeessa tutkimusmenetelminä ovat laboratorio-, interventio- ja kenttätutkimukset. Tutkimukset kattavat kiinteistöliiketoiminnan, rakennusfysiikan ja kognitiivisen psykologian tieteenalat. Työterveyslaitoksen Turun toimipisteeseen rakennettun ainutlaatuisen laboratorion tutkimusolosuhteet vastaavat normaalia avotoimistoa.

Tutkimushanke toteutetaan neljässä osiossa: sisäympäristön tuotekonseptien kehittäminen, tietotyön vaatimuksien osoittaminen toimistotiloille, toimivien ratkaisujen pilotointi sekä arviointityökalun ja ohjeiden laadinta. Tämä opinnäytetyö kuuluu osana toimivien ratkaisujen pilotointiin ja tutkimukset on toteutettu työpaikoilla tehtävien pitkittäistutkimusten muodossa. Opinnäytetyö kuuluu osana Satakunnan ammattikorkeakoulun vastuualueeseen, kohteiden LVIA-järjestelmien suunnitelmien mukaisen toimivuuden tarkistamiseen ja dokumentointiin. Mittaukset suoritettiin yhteistyössä TTL:n kanssa. Me mittasimme päätelaitteista ilmavirtojen määriä ja vertasimme niitä suunniteltuihin arvoihin. TTL:n tutkijat mittasivat lämpötilaa, ilman virtausnopeutta ja hiilidioksidipitoisuutta oleskeluvyöhykkeellä. Lisäksi yhdessä teimme savutuskokeita ilmasuihkujen tarkistamiseksi ja arvioimme sisäisiä lämpökuormia työpisteiden määrän perusteella. Tutkimuspäivän jälkeen järjestelmäkatselmoinnin ja suoritettujen mittausten perusteella laadittiin raportti tilan käyttäjällä LVIA-järjestelmien toimivuudesta.

2 SISÄILMASTOLUOKITUS

2.1 Sisäilmastoluokitus 2008

Hyvän sisäilmaston aikaansaaminen on nykyisin yksi tärkeimmistä tavoitteista työ- ja asuintilojen rakentamisessa. Tämä edellyttää usean asian huomioonottamista suunnittelussa, rakentamisessa ja valmiin rakennuksen käytön kaikissa vaiheissa. Sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä ovat ilmastointi-, ilmanvaihto-, lämmitys- ja jäähdytyslaitteet, rakennustekniikka ja rakentamiseen käytetyt materiaalit. Luonnollisesti myös valmiin rakennuksen käyttö ja kunnossapito vaikuttavat sisäilmastoon. Sisäilmastoluokitus 2008 –asiakirja korvaa 2001 ilmestyneen Sisäilmastoluokitus 2000:n ja sen on laatinut Sisäilmayhdistys ry diplomi-insinööri Jorma Säterin johdolla. (Sisäilmastoluokitus 2008, 1-2)

2.2 Sisäilmastoluokituksen käyttö

Sisäilmastoluokitus 2008 on tarkoitettu apuvälineeksi rakennus- ja talotekniseen suunnitteluun ja urakointiin sekä rakennustarviketeollisuudelle. Luokitus ohjaa saavuttamaan asetetut tavoitteet entistä terveellisempien ja viihtyisämpiä rakennusten rakentamisessa. Uudisrakentamisen lisäksi luokitusta voidaan käyttää soveltuvien osien myös korjausrakentamisessa. Sisäilmastoluokitus 2008 antaa suunnittelu- ja tavoitearvot sisäilmastolle. LVI- ja rakennusselostuksessa voidaan viitata luokitusasiakirjaan. Sisäilmastoluokitus 2008 täydentää Suomen rakentamismääräyksiä, rakennusselostusohjetta (RT 15-10723, RT 15-10921), LVI-selostusohjetta (LVI 03-10360), rakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia (MaalausRYL 2001, RunkoRYL 2000, TalotekniikkaRYL 2002, SisäRYL 2000), urakkarajaliitteen mallia (LVI 03-10299, RT 16-10699), LVI- ja RT-ohjekortteja sekä muita rakentamiseen liittyviä asiakirjoja. Huomionarvoista on se, ettei luokitus kumoa viranomaissäännöksiä ja niistä julkaisuja tulkintoja. (Sisäilmastoluokitus 2008, 3)

2.3 Sisäilmastoluokat

Sisäilmastoluokitus on jaettu kolmeen luokkaan. Vaatimattomin taso sisäilmaluokituksessa vastaa maankäyttö- ja rakennuslain (LVI YM-00365, RT YM1-21357, KH YM-10488) sekä terveydensuojelulain 309/2006 (LVI STM-00341, RT STM-21319, KH STM-10460) vaatimuksia. Parhaan sisäilmastoluokan saavuttavissa rakennuksissa tyytyväisten tilojen käyttäjien osuus on suurempi. Eri suureiden suunnittelu- ja tavoitearvot voidaan valita eri sisäilmastoluokista. Jos on tarpeen, niin voidaan jonkin suureen arvo määritellä tapauskohtaisesti.

S1: Yksilöllinen sisäilmasto

Sisäilman laatu on tilassa erittäin hyvä eikä hajuja ole havaittavissa. Epäpuhtauslähteitä ja ilman laatua heikentäviä vaurioita ei ole sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa. Lämpöolot ovat tilan käyttäjälle viihtyisät eikä yllämpenemistä tai vetoa esiinny oleskeluvyöhykkeellä ja tilan käyttäjä pystyy myös yksilöllisesti säätämään ja hallitsemaan lämpöoloja. Ääniolosuhteet ovat erittäin hyvät tilojen käyttötarkoituksen mukaan. Valaistus on yksilöllisesti säädettävissä, jotta valaistusolosuhteet ovat hyvät. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4)

S2: Hyvä sisäilmasto

Sisäilman laatu on hyvä eikä häiritseviä hajuja esiinny tilassa. Epäpuhtauslähteitä ja ilman laatua heikentäviä vaurioita ei ole sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa. Lämpöolot ovat tilassa hyvät. Tilassa ei yleensä esiinny vetoa, mutta kesäpäivinä yllämpeneminen on mahdollista. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät valaistus- ja ääniolosuhteet. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4)

S3: Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu sekä lämpö-, valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. Tämä luokka ei tosin vastaa tilan käyttäjien odotuksia sisäilmastolle monessakaan tapauksessa. Rakennuttajien ja suunnittelijoiden tulisi ohjeistaa tilaajaa paremman sisäilmastoluokan aikaansaamiseksi, vaikka raken-

nuskustannukset nousevatkin vähimmäisvaatimuksiin verrattuna. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4)

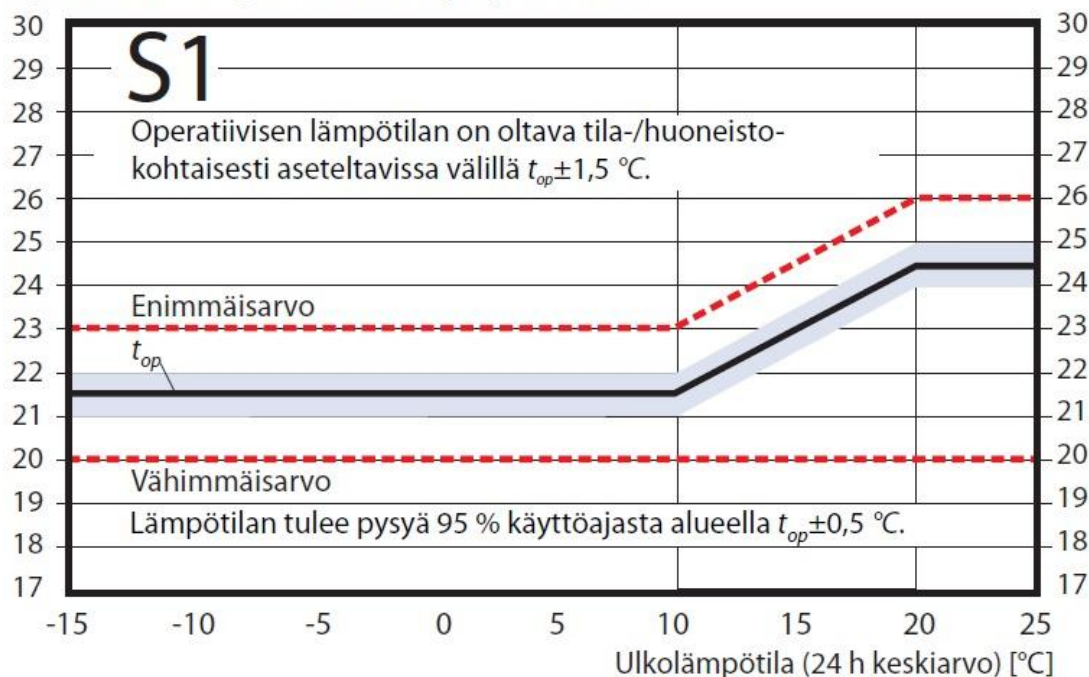
2.4 Sisäilmaston tavoitearvot

Rakennushankkeen suunnittelussa käytetään teknisiä tavoitearvoja sisäilmaston tavoitetason määrittelemiseksi. Tavoitearvot koskevat huonetilan oleskeluvyöhykettä. Oleskeluvyöhyke on määritetty ympäristöministeriön laatimassa rakentamismääräyskokoelmassa D2. Oleskeluvyöhyke alkaa lattiasta ja ulottuu 1,8 metrin korkeuteen sekä 0,6 metrin päähän seinistä. Ilman liikenopeus mitataan 0,1 ja 1,1 metrin korkeudelta. Ääniolosuhteita yleensä tarkastellaan joko 1,2 metrin tai 1,5 metrin korkeudelta lattian pinnasta. Askel- ja ilmaääneneristävyyden sekä jälkikaiunta-ajan mittaukset tehdään kansainvälisten standardien mukaisesti. Esitettyjä tavoitearvoja voidaan käyttää myös sisäilmaston laadun tarkastamisessa ja mittaamisessa. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4)

2.4.1 Lämpöolosuhteiden tavoitearvot

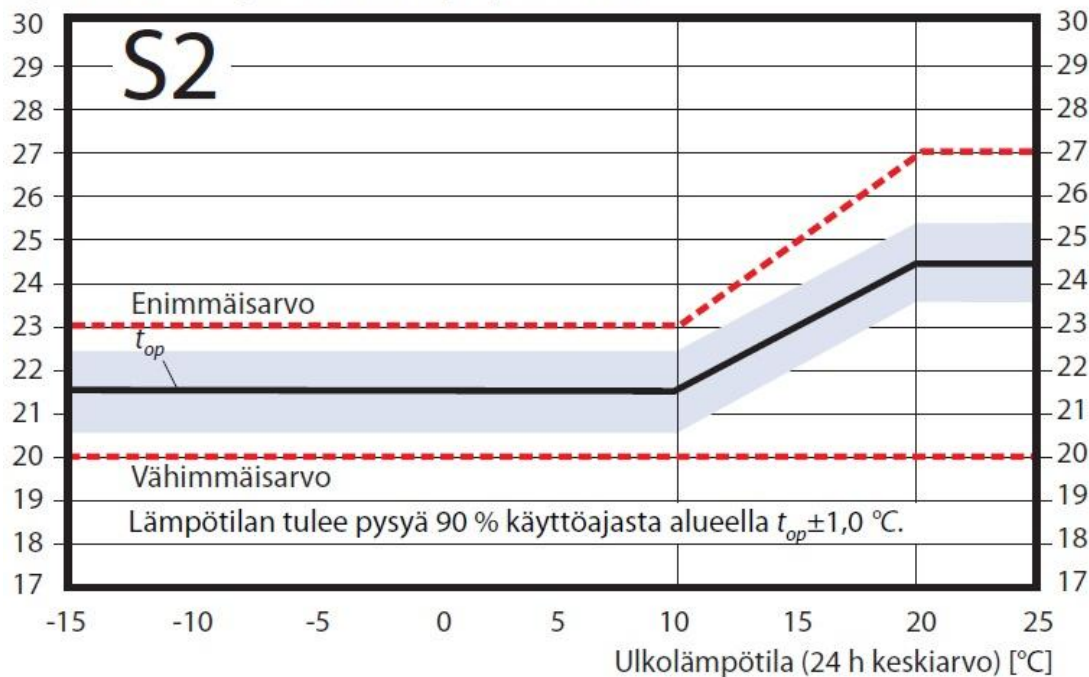
Lämpöolosuhteiden hallitseminen Suomen vaihtelevissa ulkolämpötiloissa on haasteellista. Talviaikaan tilat tarvitsevat runsaasti lämmittämistä ja kesäaikaan tilan lämpötila nousee helposti yli tavoitearvojen ilman koneellista jäähdytystä. Kuvissa 1-3 ulkolämpötilalla t_u tarkoitetaan ulkoilman 24 tunnin liukuvaa keskiarvoa lähimmällä säähavaintoasemalla. Operatiivinen lämpötila t_{op} tarkoittaa lämpötilaa oleskeluvyöhykkeellä. Lämpötila mitataan esimerkiksi sähköisellä anturilla tai nestepatsaslämpömittarilla oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 metrin korkeudelta standardin SFS 5511 (LVI 014-10187, SFS-käsikirja 103) mukaisesti. Työpisteessä mittaus tehdään 0,6 metrin korkeudelta. (Sisäilmastoluokitus 2008, 5)

Operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä [°C]



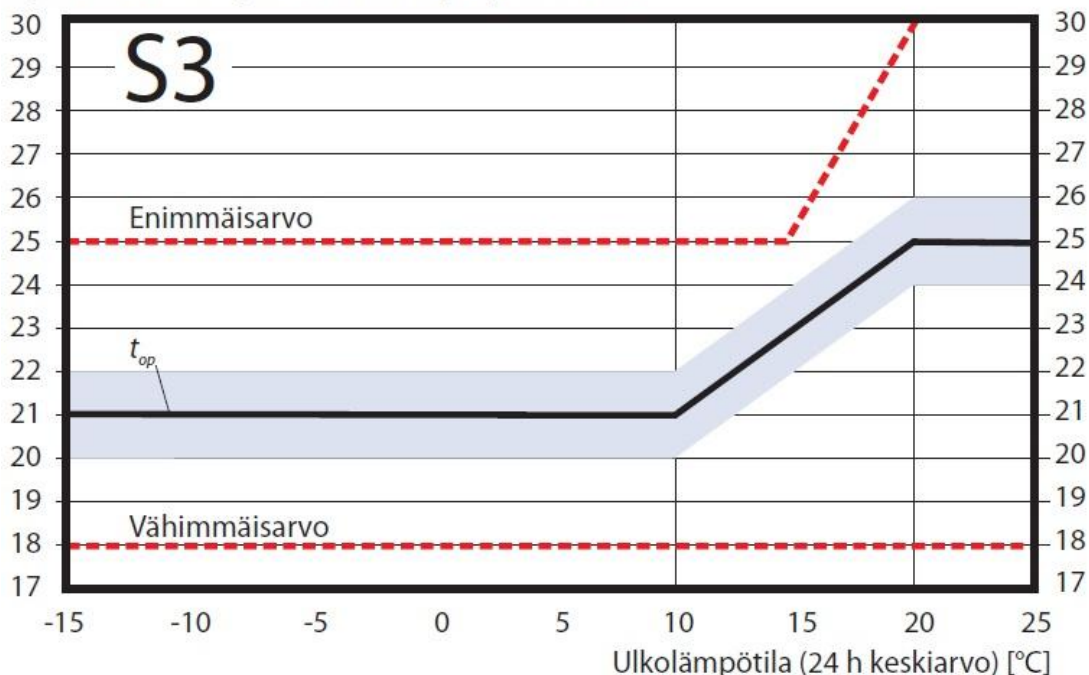
Kuva 1 Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokassa S1. Tummennettu alue kuvaa tavoitelämpötilan ja sisäilmastoluokan sallitun poikkeaman tavoitearvoaluetta. (Sisäilmastoluokitus 2008, 6)

Operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä [°C]



Kuva 2 Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokassa S2. Tummennettu alue kuvaa tavoitelämpötilan ja sisäilmastoluokan sallitun poikkeaman tavoitearvoaluetta. (Sisäilmastoluokitus 2008, 6)

Operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä [°C]



Kuva 3 Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokassa S3. Tummennettu alue kuvaa tavoitelämpötilan ja sisäilmastoluokan sallitun poikkeaman tavoitearvoaluetta. (Sisäilmastoluokitus 2008, 6)

Tilojen käyttöprofiili ja sisäiset lämpökuormat vaikuttavat lämmitys- ja jäähdytystehontarpeeseen. Taulukossa 1 on ohjearvot laskentaa varten. Jos on tiedossa tarkemmat käyttöajat ja sisäiset kuormat, niitä käyttämällä laskenta tarkentuu vastaamaan todellisuutta. (Sisäilmastoluokitus 2008, 5)

Taulukko 1 Toimistotilojen käyttöprofiilit ja laskennalliset sisäiset lämpökuormat. (Sisäilmastoluokitus 2008, 12)

Rakennus/tila	Kellonaika	Käyttöaika		Henkilötiheys m ² /hlö	Käyttöaste	Valaistus W/m ²	Laitteet W/m ²	Ihmiset ^{1),4)} W/m ²
		h/vrk	vrk/vko					
Toimistotilat	07:00-18:00	11	5	12	0.55	12	15	6
Neuvottelutilat	08:00-17:00	9	5	3	0.6	12	18...60	25

1) Ei sisällä latenttilämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

4) Simulointiohjelmissa käytetään henkilön lämmönluovutuksena 125 W (1,2 met, kehon pinta-ala 1,8 m²).

Taulukko 2 Ilman liikenopeuden tavoitearvot. (Sisäilmastoluokitus 2008, 6)

	S1-luokka	S2-luokka	S3-luokka
t _{ilma} = 21 °C	< 0,14 m/s	< 0,17 m/s	0,2 m/s (talvi)
t _{ilma} = 23 °C	< 0,16 m/s	< 0,20 m/s	
t _{ilma} = 25 °C	< 0,20 m/s	< 0,25 m/s	0,3 m/s (kesä)

Taulukko 3 Toimi- ja opetustilojen ym. työtilojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunnittelu-
voja. (Sisäilmastoluokitus 2008, 13)

Suure	Yksikkö	S1	S2	S3	Huom.
Jäähdytysjärjestelmän suunnittelu-arvo	°C	25	25	25	I
Lämmitysjärjestelmän suunnittelu-arvo	°C	21,5	21,5	21,5	I
Lämpötilan tilakohtainen säädettävyys, talvi	°C	20...23	-	-	II
Lämpötilan tilakohtainen säädettävyys, kesä	°C	23...25	-	-	II
Ilman nopeus, $t_{ilma} = 21$ °C	m/s	<0,14	<0,17	<0,20	III
Ilman nopeus, $t_{ilma} = 23$ °C	m/s	<0,16	<0,20	<0,25	III
Ilman nopeus, $t_{ilma} = 25$ °C	m/s	<0,20	<0,25	<0,35	III
Pystysuuntainen lämpötilaero	°C	2	3	4	IV
Lattian pintalämpötila, vähintään	°C	19	19	17	V
Lattian pintalämpötila, enintään (lattialämmitys)	°C	29	29	31	V
Ilman suhteellinen kosteus, talvi	%	>25	-	-	VI

- I Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunnittelu-arvot ovat tarkoitettu tehomitoituksen ja komponenttien valinnan ensimmäisiksi oletusarvoiksi. Valitun järjestelmän toiminta on tarkastettava laskennallisesti eri mitoitusolosuhteissa, ja suunnitteluratkaisua on muutettava, jos luokan mukaiset lämpötilatavoitearvot eivät täyty.
- II Lämpötilan säädettävyydellä tarkoitetaan huonelämpötilan säätömahdollisuutta suunnittelu-arvosta. Mitoitavissa sääolosuhteissa kesällä edellytetään säätömahdollisuutta vain suunnittelu-arvoa korkeampiin lämpötiloihin ja talvella suunnittelu-arvoa alaisempiin lämpötiloihin. Vyöhyke- tai järjestelmäkohtaisessa säädössä samaan vyöhykkeeseen kuuluvien huoneiden lämpötilat saavat poiketa toisistaan enintään ± 1 °C, kun ko. tilojen sisäiset kuormat ovat tilan suunnittelun käytön mukaiset.
- III Ilman nopeudella tarkoitetaan kolmen minuutin suuntariippumatonta keskiarvoa oleskeluvyöhykkeellä. Se mitataan esimerkiksi kuumalanka-anemometrillä standardin SFS 5511 (LVI 014-10187, SFS-käsikirja 103) mukaisesti.
- IV Lämpötilaerolla pystysuunnassa tarkoitetaan lämpötilaeroa nilkkojen ja niskan välillä, mittauskorkeudet 0,1 m ja 1,1 m (istumatyö).
- V Lattian pintalämpötila ei saa missään oleskeluvyöhykkeen kohdassa olla esitetyn alueen ulkopuolella. Kylpy- ja pesuhuoneissa suositeltava lattian pintalämpötila on korkeintaan 27 °C. Pintalämpötila mitataan esimerkiksi infrapunälämpömittarilla tai kosketusanturilla standardin SFS 5511 (LVI 014-10187, SFS-käsikirja 103) mukaisesti.
- VI Ilman suhteellinen kosteus voi lyhytaikaisesti pakkashuippujen aikana laskea alle tavoitearvon. Ilman suhteellisen kosteuden tulee olla alle 60 %. Ilmaa kostutettaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, etteivät kostutuslaitteet lisää ilman epäpuhtauksia. Ilman suhteellinen kosteus mitataan esimerkiksi psykrometrillä tai kapasitiivisella anturilla standardin SFS 5511 (LVI 014-10187, SFS-käsikirja 103) mukaisesti.

2.4.2 Ilman laadun tavoitearvot

Hiilidioksiditavoitearvot koskevat ihmisperäistä hiilidioksidia ja se voidaan mitata esimerkiksi infrapunamittarilla. Radonpitoisuus määritetään Säteilyturvakeskuksen hyväksymällä laitteella tai mittausmenetelmällä. Hiilidioksiditavoitearvoihin päästään riittäväillä ilmavirroilla (Taulukko 5) ja mahdolliset radonpitoisuudet voidaan poistaa radonputkistolla.

Taulukko 4 Ilman laadun tavoitearvot. (Sisäilmastoluokitus 2008, 6)

	S1-luokka	S2-luokka	S3-luokka
Hilidioksidipitoisuus [ppm]	< 750	< 900	< 1200
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	< 100	< 100	< 200
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	
• asunnot	90 %	80 %	

Taulukko 5 Toimitilojen ulkoilmavirtojen mitoitusarvot normaalissa käyttötilanteessa. (Sisäilmastoluokitus 2008, 14)

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka/D2	
		dm ³ /s/hlö	dm ³ /s/m ²	dm ³ /s/hlö	dm ³ /s/m ²	dm ³ /s/hlö	dm ³ /s/m ²
Toimitila, normaali tilatehokkuus	12	16	1.5	13	1.5		1.5
Toimitila, suuri tilatehokkuus	8	14	2.0	11	1.5		1.5
Neuvotteluhuone	3	12	4.0	9	4.0	8	4.0
Taukotila, kahvio	1.5	11	7.0	8	5.0		5.0
Käytävä ja porrashuone			1		0.5		0.5
Hissikuilu			8		8		8
Ruokala ja kahvila	2	11	6...8	8	5...6	6	5.0
Varasto, arkisto (poistoilma)			0.5		0.5		0.5
Kopiointi-, tulostushuone (poistoilma)			4		4		4
Työtilojen WC (poistoilma)		20		20		20	
Pesuhuone (poistoilma)			5		5		5
Pukuhuone			5		5		5
Löylyhuone			3		2		2
Siivoustila (poistoilma)			4		4		4
Jätehuone (poistoilma)			5...10		5...10		5

Taulukon 5 mukaiset ulkoilmavirrat saattavat edellyttää huonelämpötilan hallinnan tai muuntojoustoon varautumisen kannalta suurempia ilmavirtoja. (Sisäilmastoluokitus 2008, 5)

2.4.3 Ääniolosuhteiden tavoitearvot

Ääniolosuhteet rakennuksessa suunnitellaan standardin *SFS 5907 Rakennusten akustinen luokitus* mukaisesti. Standardin A-luokka vastaa tavoitetasoista korkeinta, ja C-luokka vähimmäistasoa. Tilan akustinen luokka valitaan tilakohtaisesti. Sisäilmastoluokassa S1 tavoitetasona on standardin luokka B, mutta tilakohtaisesti voidaan valita tavoitearvot myös luokista A tai C. Sisäilmastoluokassa S2 pyrkimyksenä on vä-

hintään standardin luokka C, mutta tilakohtaisesti voidaan valita tavoitearvoja myös luokasta B. (Sisäilmastoluokitus 2008, 5)

Taulukko 6 Esimerkkejä akustisten suureiden tavoitearvoista tavanomaisiin toimistotiloihin. (Sisäilmastoluokitus 2008, 7)

Tila ja suure	Merkintä	yksikkö	S1-luokka	S2-luokka	S3-luokka
1-2 hengen toimistohuone					
Ilmaääneneristysluku työhuoneiden välillä	R'_w	dB	≥ 44	≥ 40	≥ 35
Ilmaääneneristysluku käytävälle	R'_w	dB	≥ 30	≥ 25	-
Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista	$L'_{n,w}$	dB	≤ 63	≤ 63	≤ 63
Jälkikaiunta-aika	T	s	$\leq 0,5$	$\leq 0,6$	$\leq 0,7$
LVIS-laitteiden äänitaso	$L_{A,eq}$	dB	≤ 35	≤ 35	≤ 40
Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso	$L_{A,eq,07-22}$	dB	≤ 40	≤ 40	≤ 40
Neuvotteluhuone					
Ilmaääneneristysluku työhuoneiden välillä	R'_w	dB	≥ 48	≥ 44	≥ 40
Ilmaääneneristysluku käytävälle	R'_w	dB	≥ 35	≥ 30	≥ 30
Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista	$L'_{n,w}$	dB	≤ 58	≤ 63	≤ 63
Jälkikaiunta-aika	T	s	$\leq 0,5$	$\leq 0,6$	$\leq 0,7$
LVIS-laitteiden äänitaso	$L_{A,eq}$	dB	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso	$L_{A,eq,07-22}$	dB	≤ 35	≤ 35	≤ 40
Avotilatoimisto					
Ilmaääneneristysluku työhuoneiden välillä	R'_w	dB	≥ 30	≥ 25	≥ 25
Ilmaääneneristysluku käytävälle	R'_w	dB	≥ 35	≥ 30	≥ 30
Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista	$L'_{n,w}$	dB	≤ 63	≤ 63	≤ 63
Puheen leviämismvaimennusaste	DL_2	dB	≥ 11	≥ 9	≥ 7
Häiritsevyyssäde	r_D	m	≤ 8	≤ 11	≤ 11
LVIS-laitteiden äänitaso	$L_{A,eq}$	dB	40...42	40...42	40...42
Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso	$L_{A,eq,07-22}$	dB	≤ 40	≤ 40	≤ 45

2.4.4 Valaistuksen tavoitearvot

Valaistus sisätilojen työkohteille suunnitellaan standardin *SFS-EN 12464-1* mukaisesti. Standardissa esitetään vain vähimmäisvaatimustaso. Yleisvalaistuksen suunnittelu tehdään myös S1- ja S2-luokissa vähimmäisvaatimustasoa noudattaen. S1-luokassa tulee työpisteiden valaistuksen olla käyttäjän säädettävissä. Tilan käyttötarkoituksen mukaan niille valitaan standardin SFS-EN 12464-1 luvun 5 mukaiset valaistusvoimakkuus, tasaisuus, häikäisyindeksi ja värintoistoindeksi. Standardin lisäksi sisäilmastoluokituksessa esitetään lisävaatimuksia asuintilojen, keittiöiden, kylpyhuoneiden ja työalueiden valaistusvoimakkuuden tulee olla vähintään 300 lx. Myös S1-luokan asuintiloissa tulee olla valaisinpistorasia himmenninohjauksella ja ikku-

noissa säädettävä auringonsuojaus, kuten säleverhot tai markiisit. (Sisäilmastoluokitus 2008, 5-6)

Taulukko 7 Esimerkkejä valaistussuunnittelun tavoitearvoista SFS-EN 12464-1 mukaan. (Sisäilmastoluokitus 2008, 6)

Valaistusvoimakkuus, työalue [lx]	>500
Valaistusvoimakkuus, lähialue [lx]	>300
Häikäisyindeksi UGR_L	<19
Värintoistoindeksi R_a	>80

3 ILMASTOINTIJÄRJESTELMIEN TARKASTUSMENETELMÄT

3.1 Asiakirjat ja katselmointi

LVIA-järjestelmää tutkiessa tärkeässä osassa ovat kohteen LVIA-suunnittelijan tekemät suunnitelmat, piirustukset ja kaaviot. Piirustuksia tutkimalla saa ilmanvaihtojärjestelmästä kokonaisuutena hyvän käsityksen, koska usein rakenteisiin piilotetut kanavistot eivät suoraan ole näkyvillä tilaan. Paikan päällä katselmointiin kuuluu laitteiden ja kanavistojen tutkiminen ja niiden vertaaminen suunnitelmiin. Ilmanvaihtokoneen käynnin ja käyntitehon tarkistus mittaushetkellä kuuluu myös katselmointiin.

3.2 Virtausnopeuden ja ilmavirran mittaustavat

Ilmastointijärjestelmän mittausten onnistumisen kannalta olennaista on käyttötarkoitukseen soveltuvan ja kalibroidun mittausvälineen valinta sekä mittauksien suorittaminen mittaushjeita käyttäen. Mittausten suunnittelu ja häiriötekijöiden arvioiminen on myös tärkeää. Mittausten aikana tilojen käyttö tulisi vastata normaalia käyttöä, jotta tulokset vastaisivat todellisia olosuhteita. Ilman virtausnopeutta ja ilmavirran suuruutta voidaan mitata monella eri tavalla ja laitteella. (LVI-ohjekortti 014-10290, KH 20-00260, 1-3)

Mekaanisissa mittareissa kuten siipipyöriänemometri (Kuva 4) ja kuppianemometri niiden herkästi laakeroidut siipipyörät pyörivät ilmavirran vaikutuksesta, sitä nopeammin, mitä isompi ilman virtausnopeus on. Siipipyörän pyörimisnopeus on lähes suoraan verrannollinen ilman virtausnopeuteen. Mittaustulos mekaanisella mittarilla kuvaa ilman keskinopeutta siipipyörän peittämällä alueella. (LVI-ohjekortti 014-10290, KH 20-00260, 8)



Kuva 4 Siipipyöriänemometri.

Virtauspainetta mittaavat mittalaitteet perustuvat Bernoullin yhtälöön (Kaava 1).

$$p_{kok} = p_{st} + p_d + \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (1)$$

p_{kok} = kokonaispaine, Pa

p_{st} = staattinen paine, Pa

p_d = dynaaminen paine, Pa

v = virtausnopeus, m/s

ρ = virtaavan aineen tiheys, kg/m³

Ilmakanavien virtausmittauksissa yleisimmin käytetty mittalaite on pitot-putki. Pitot-putken menetelmä perustuu virtauksen kokonaispaineen ja staattisen paineen erotuksen mittaamiseen. Sähköistetyissä versioissa mittalaite (kuva 5) antaa käyttäjälle suoraan virtauksen nopeuslukeman. (LVI-ohjekortti 014-10290, KH 20-00260, 8)

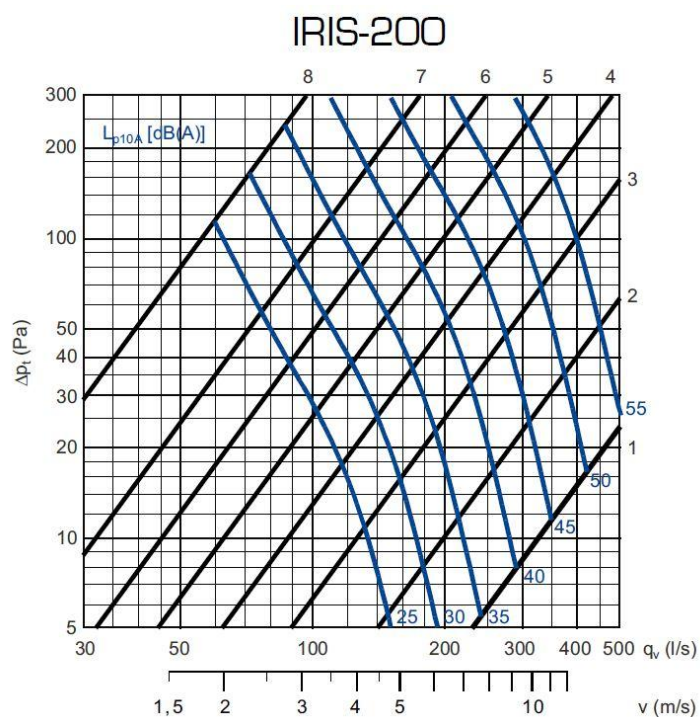


Kuva 5 Mikromanometri pitot-putkella.

Kuristusmittarit ovat kanavistoon kiinteästi asennettuja mittalaitteita. Iirissäädin (Kuva 6) on erittäin käytännöllinen kiinteä mittalaite, koska se soveltuu myös mittaamisen lisäksi ilmavirtojen tasapainottamiseen. Iirissäätimessä mitataan painetta säätimen molemmilta puolilta. Paine-eron ja säätimen asennon yhteinen piste sijoitetaan laitevalmistajan säätökäyrästön, minkä jälkeen virtausnopeus ja tilavuusvirta ovat luettavissa käyrästön (Kuva 7) alaosasta. (LVI-ohjekortti 014-10290, KH 20-00260, 9)



Kuva 6 Iirissäädin.



Kuva 7 Iirissäätimen säätökäyrästä.

Anturin jäähtymiseen perustuvassa mittarissa, eli balometrissä (Kuva 8) kuumalan-kaverkko jäähtyy tiiviisti hupun kautta kulkevan tulo- tai poistoilmavirran ansiosta ja tämän jälkeen päätelaite antaa virtausnopeuden ja ilmamäärän. (LVI-ohjekortti 014-10290, KH 20-00260, 8)



Kuva 8 SwemaFlow huppumittari, eli balometri.

3.3 TOTI-hankkeen mittaustavat

Kaikkien suoritettujen mittausten aikana toimistotilat olivat työntekijöiden normaalissa käytössä. Mittaustilanteet vaativat hienotunteisuutta ja kohteliaisuutta, jotta työntekijät eivät häiriintyneet liikaa. Valmiissa avotoimistotilassa tulo- ja poistoilma- virtojen mittaaminen hoitui järkevimmin päätelaitteen päälle asetettavalla huppumittarilla. Sellaisissa paikoissa, missä suoraan päätelaitteen alapuolella ei ollut työpistettä, sai paine-eron myös mitattua suoraan päätelaitteen mittausyhteistä. Paineerolla saa valmistajan päätelaitteen käyrästä selvitettyä ilmamäärän ja virtausnopeuden.

Työnjako kohteiden mittauksissa suoritettiin siten, että TTL:n tutkijat mittasivat lämpötiloja, virtausnopeuksia ja hiilidioksidipitoisuuksia useassa työpisteessä ja Satakunnan ammattikorkeakoulun tutkijapari mittasi ilmavirtoja päätelaitteista. Yhteistyönä tehtiin ilmasuihkujen savutuskokeita ja arvioitiin sisäisiä lämpökuormia jäähdytystehon kannalta.

4 TOIMISTORAKENNUS, VAASA



Kuva 9 Toimistorakennus Vaasassa.

4.1 Kohteen kuvaus ennen tilojen parannusta

Tutkittavana kohteena oli Vaasan keskustassa sijaitsevan toimistorakennuksen avotoimistotilat. Tuloilman reikähajottajat (LIITE 1) sijaitsivat julkisivun vieressä ja poistoilman päätelaitteet (LIITE 1) käytävällä tilojen keskialueella. Avotoimistotiloja palveleva ilmanvaihtokone sijaitsi erillisessä IV-konehuoneessa. Sama ilmanvaihtokone palveli myös muita kerroksia. Tiloihin on myöhemmin asennettu erillinen jäähdytysjärjestelmä puhallinkonvektoreilla, mikä toimi itsenäisesti ja ei ollut yhteydessä ilmastointi- ja lämmitysjärjestelmään. Jokaiselle puhallinkonvektoriparille (LIITE 1) oli kauko-ohjaimet, jotka olivat työntekijöiden säädettävissä. Puhallinkonvektorien asetusrivot vaihtelivat paljon työntekijöiden tottumuksista riippuen.

Rakennusautomaatiojärjestelmä oli uusittu tiloissa myöhemmin, mutta sen käyttöönotto ja hallinta oli kesken. Rakennuksen valvomosta ei löytynyt talotekniikan dokumentaatioita eikä valvomossa työskennellyt henkilö ollut juurikaan perehtynyt käy-

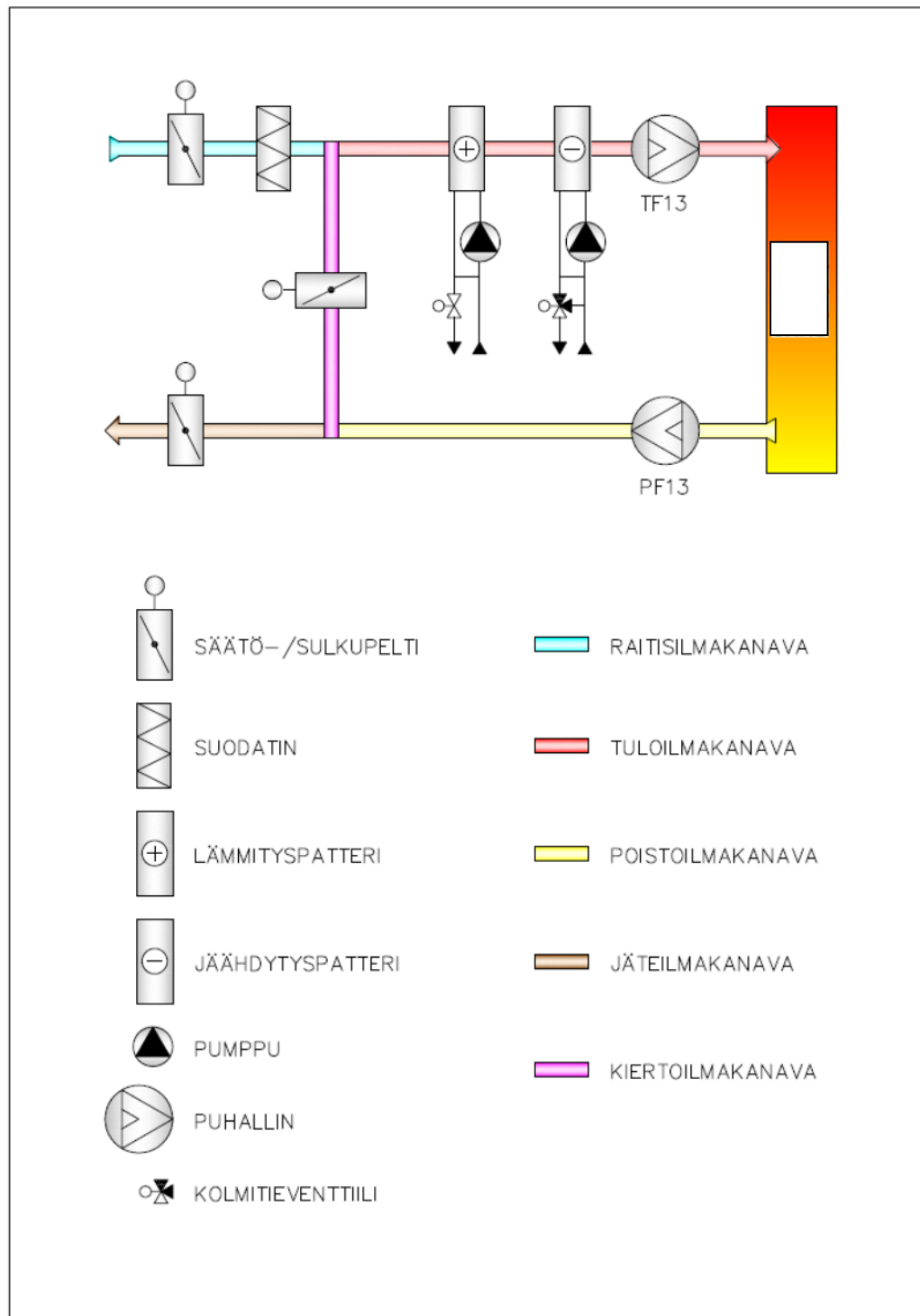
tössä olleen valvomo-ohjelmiston mahdollisuuksiin. Ilmanvaihtojärjestelmää ajettiin valvomosta syötetyn aikaohjelman mukaisesti ja sisäilmastoa koskevien valitusten jälkeen ilmamäärää joko lisättiin tai vähennettiin.

Tuloilman päätelaitteita oli monin paikoin tukittu teipeillä ja paperivirityksillä (kuva 9), koska päätelaitteen vaikutusalueella olleet työntekijät olivat kokeneet vedontunnetta. Myös jäähdytysjärjestelmän puhallinkonvektorien ohjaimiin oli teipattu ”älä kajoja tähän ohjaimen” –ohjelappuja.



Kuva 10 Teipattu ja paperilla viritetty tuloilman päätelaite.

4.1.1 Ilmanvaihtojärjestelmän toimintakaavio



Kuva 11 Toimintakaavio.

4.1.2 Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaselostus

Ilmanvaihtokojeen käyntiä ohjataan kiinteistönvalvontajärjestelmästä aikaohjelman mukaan. Aikaohjelman ulkopuolella ilmanvaihtokoje voidaan ohjata käyntiin lisäaikakytkimellä, niin sanotulla munakellolla. Tuloilman lämpötila pidetään järjestelmässä asetusarvossaan. Lämmitystarpeen kasvaessa säätö ohjaa järjestelmää portaittain. Ensimmäisenä portaana kiinteistövalvontajärjestelmä säättää jäähdytyspatterin venttiiliä ja jäähdytysverkoston pumppua, toisena portaana raitis- ja kiertoilmapeltiä sekä kolmantena portaana lämmityspatteriverkoston venttiiliä. Ilmavirtojen säätö on vyöhykekohtaisesti ja tuloilman paine pidetään tuloilmakammiossa vakioasetusarvossa. Myös poistoilman paine pidetään vakioasetusarvossa.



Kuva 12 Lämpötila- ja paineanturit tuloilmakammiossa.



Kuva 13 Lämpötila-antureita poistoilmakanavissa.

Ilmanvaihtokoneen palvelualueisiin kuuluvat kerrokset on jaettu etelä- ja pohjoisvyöhykkeisiin. Kunkin vyöhykkeen säätöpeltä ohjataan kiinteistövalvontajärjestelmän aikaohjelmalla. Työajan ulkopuolella säätöpellit ovat kiinni. Sekä tulo- että poistoilman lämpötila pidetään asetusarvossaan ohjaamalla säätöpeltä. Tuloilmasäädön mittausarvona käytetään suurinta poistoilman mittausarvoa. Lisäksi vyöhykekohtaisille säätöpelleille on minimi ja maksimi rajat säätöparametreina. Ilmanvaihtokoneen pysähtyessä säätöpellit sulkeutuvat.



Kuva 14 Vyöhykekohtaiset tuloilmakanavat säätöpelleillä.

Toimistotiloihin on myöhemmin asennettu erillinen puhallinkonvektoreilla toimiva jäähdytysjärjestelmä. Jäähdytysjärjestelmä ei ole yhteydessä ilmastointijärjestelmään kiinteistövalvontajärjestelmän kautta ja sen toiminnasta vastaa eri organisaatio kuin ilmanvaihtojärjestelmän toiminnasta. Puhallinkonvektoreiden ohjaimia on sijoitettu vyöhykkeille ja ne ovat työntekijöiden säädettävissä. Jäähdytysverkoston kompressorin käyntilupaa ohjataan kiinteistövalvontajärjestelmästä ulkolämpötilan mukaan. Jäähdytysyksikön oma automatiikka pitää menoveden lämpötilan asetusarvossaan.



Kuva 15 Chiller puhallinkonvektori sisäilman jäähdyttämiseen.

4.2 Mittaukset ennen tilojen parannusta

Kohteen ilmavirtojen mittaukset tehtiin julkisivun vieressä sijaitsevista tuloilman päätelaitteista. Mittausvälineenä oli SwemaFlow:n huppumittari (Kuva 8). Mittaushetkellä ulkolämpötila oli noin 10 °C. Sisään tiloihin puhalletun tuloilman lämpötila oli noin 16 °C. Ilmavirrat olivat keskimäärin tuloilman päätelaitteissa 15–20 l/s, pois lukien teipatut päätelaitteet. Kerroskohtaisen tuloilman määrittäminen mitatun paineeron avulla osoittautui mahdottomaksi, koska tuloilmakanavaan jälkeinpäin asennettujen moottorisäätöpeltien tyyppi ei käynyt mistään saatavilla olleista dokumentaatioista selväksi.

Ilmasuihkuja myös havainnollistettiin savutuskokeilla. Useammassa kohdassa tuloilmasuihku ja puhallinkonvektorin jäähdytysilmasuihku törmäsivät ja suuntautuivat alas työntekijän päälle. Myös teipatuissa ja papereilla viritetyissä tuloilman päätelaitteissa tuloilmasuihkut suuntautuivat huonosti ja aiheuttivat törmäyksiä muiden ilmasuihkujen kanssa.

4.3 Jäähdytystehontarpeen arviointi

Tilan sisäisistä kuormista johtuva jäähdytystehontarve voidaan arvioida karkeasti Sisäilmastoluokitus 2008:ssa annettujen tyypillisten käyttöprofiilien mukaan (Taulukko 1), joka vastaa henkilökuormitusta $12 \text{ m}^2/\text{hlö}$ (Kaava 3). Jäähdytystehontarve kohteessa laskettiin tilan todellisen käyttöprofiilin perusteella (Kaava 4).

Toimistorakennuksen avotoimisto-osuuden kokonaispinta-ala (Kaava 2):

$$A_{kok} = A_{tp} + A_{muut} + A_{käyt} \quad (2)$$

$$A_{kok} = 310\text{m}^2 + 66\text{m}^2 + 80\text{m}^2$$

$$A_{kok} = 456\text{m}^2$$

$$A_{kok} = \textit{kerroksen avonaisen tilan kokonais pinta – ala, m}^2$$

$$A_{tp} = \textit{avonaisten työpisteiden pinta – ala, m}^2$$

$$A_{muut} = \textit{muiden avonaisten tilojen pinta – ala, m}^2$$

$$A_{käyt} = \textit{avonaisten käytävien pinta – ala, m}^2$$

4.3.1 Arvio, Sisäilmastoluokitus 2008 käyttöprofiilien perusteella

Sisäiset lämpökuormat (Taulukko 1 ja Kaava 3):

$$P_{kok1} = P_{ih1} + P_{la1} + P_{va1} \quad (3)$$

$$P_{kok1} = 6 \text{ W/m}^2 + 15 \text{ W/m}^2 + 12 \text{ W/m}^2$$

$$P_{kok1} = 33 \text{ W/m}^2$$

P_{kok1} = sisäiset lämpökuormat pinta – alaa kohden, W/m^2

P_{ih1} = ihmisistä aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m^2

P_{la1} = laitteista aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m^2

P_{va1} =

valaistuksesta aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m^2

Jäähdytystehontarve (Kaava 4):

$$P_{jääh1} = \frac{P_{kok1} * A_{kok}}{1000W/kW} \quad (4)$$

$$P_{jääh1} = \frac{33W/m^2 * 456m^2}{1000W/kW}$$

$$P_{jääh1} = 15,048kW \approx 15kW$$

$P_{jääh1}$ = jäähdytystehontarve, kW

4.3.2 Laskenta tiedossa olevalla käyttöprofiililla

Sisäiset lämpökuormat (Kaava 5):

$$P_{kok2} = \left(\frac{P_{työp2} * kpl_{tp2}}{A_{kok}} \right) + P_{va2} \quad (5)$$

$$P_{kok2} = \left(\frac{(80+150) \frac{W}{kpl} * 48kpl}{456m^2} \right) + 12 W/m^2$$

$$P_{kok2} = 24,2 + 12 W/m^2$$

$$P_{kok2} = 36,2 W/m^2 \approx 36W/m^2$$

P_{kok2} = sisäiset lämpökuormat pinta – alaa kohden, W/m^2

$P_{työp2}$ = ihmisestä ja tietokoneesta aiheutuva lämpökuorma, W/kpl

kpl_{tp2} = työpisteiden lukumäärä, kpl

P_{va1} =

valaistuksesta aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m^2

Jäähdytystehontarve (Kaava 4):

$$P_{jääh2} = \frac{P_{kok2} * A_{kok}}{1000W/kW} \quad (4)$$

$$P_{jääh2} = \frac{36W/m^2 * 456m^2}{1000W/kW}$$

$$P_{jääh2} = 16,42kW \approx 16kW$$

$$P_{jääh2} = \text{jäähdytystehontarve, kW}$$

Jäähdytystehontarpeen ero eri tavoilla laskettuna muodostuu henkilötiheyden erosta. Tavassa 1 henkilötiheyden taulukkoarvona (Taulukko 1) on $12 m^2/hlö$, kun taas tavalla 2 laskettuna se on $\frac{456m^2}{48hlö} = 9,5 m^2/hlö$.

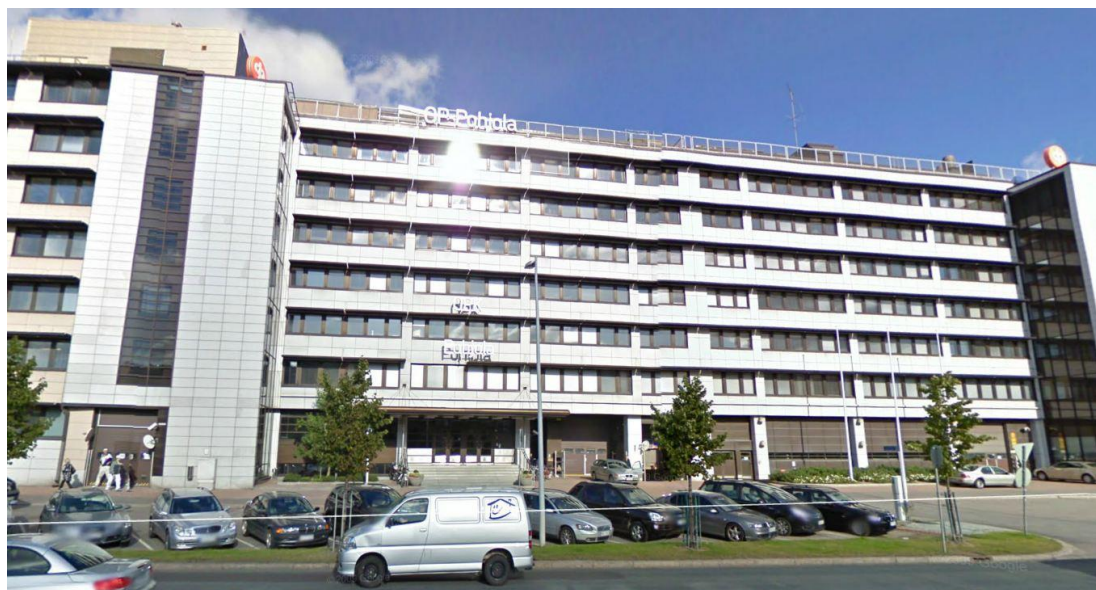
4.4 Johtopäätökset ennen tilojen parannusta

Kohteen ilmanvaihtojärjestelmässä oli huomattavasti enemmän potentiaalia hallita avotoimistoalueen ilmanlaatua ja lämpöolosuhteita kuin mittaushetkellä oli käytössä. Uusitun rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöönotto oli jäänyt kesken ja näin ollen olosuhteet ja laitteiden toiminta eivät olleet hallittavissa. Tästä hyvänä esimerkkinä on se, että puhallinkonvektoreilla toimiva jäähdytysjärjestelmä ei ollut kytkettynä rakennusautomaatiojärjestelmään. Keväisin ja syksyisin sopivan ulkolämpötilan valitessa sekä lämmitys- että jäähdytysjärjestelmät ovat mahdollisesti molemmat yhtä aikaa päällä.

Mitatut ilmamäärät tuloilman päätelaitteista olivat riittävän kokoiset saavuttamaan S1-luokan ilmanlaadun vaatimukset. Kuitenkin ilmavirtasuihkujen suuntauksissa oli useammassa tuloilman päätelaitteessa parannettavaa. Suuntaamalla ilmavirtasuihkut uudestaan saadaan poistettua työntekijöille kohdistuva vedon tunne. Myös työntekijöitä pitäisi ohjeistaa siinä, että tuloilmalaitteiden teippaaminen ja peittäminen sekoittaa järjestelmän toimivuutta.

Lämmön talteenottoa ilmanvaihtojärjestelmässä ei tällä hetkellä ollut. Energiankulutuksen kannalta lämmön talteenoton lisääminen olisi pitkällä aikavälillä taloudellisesti kannattavaa.

5 OP-KESKUS OPK, HELSINKI



Kuva 16 OP-Keskus OPK, Helsingissä.

5.1 Kohteen kuvaus tilojen parannuksen jälkeen

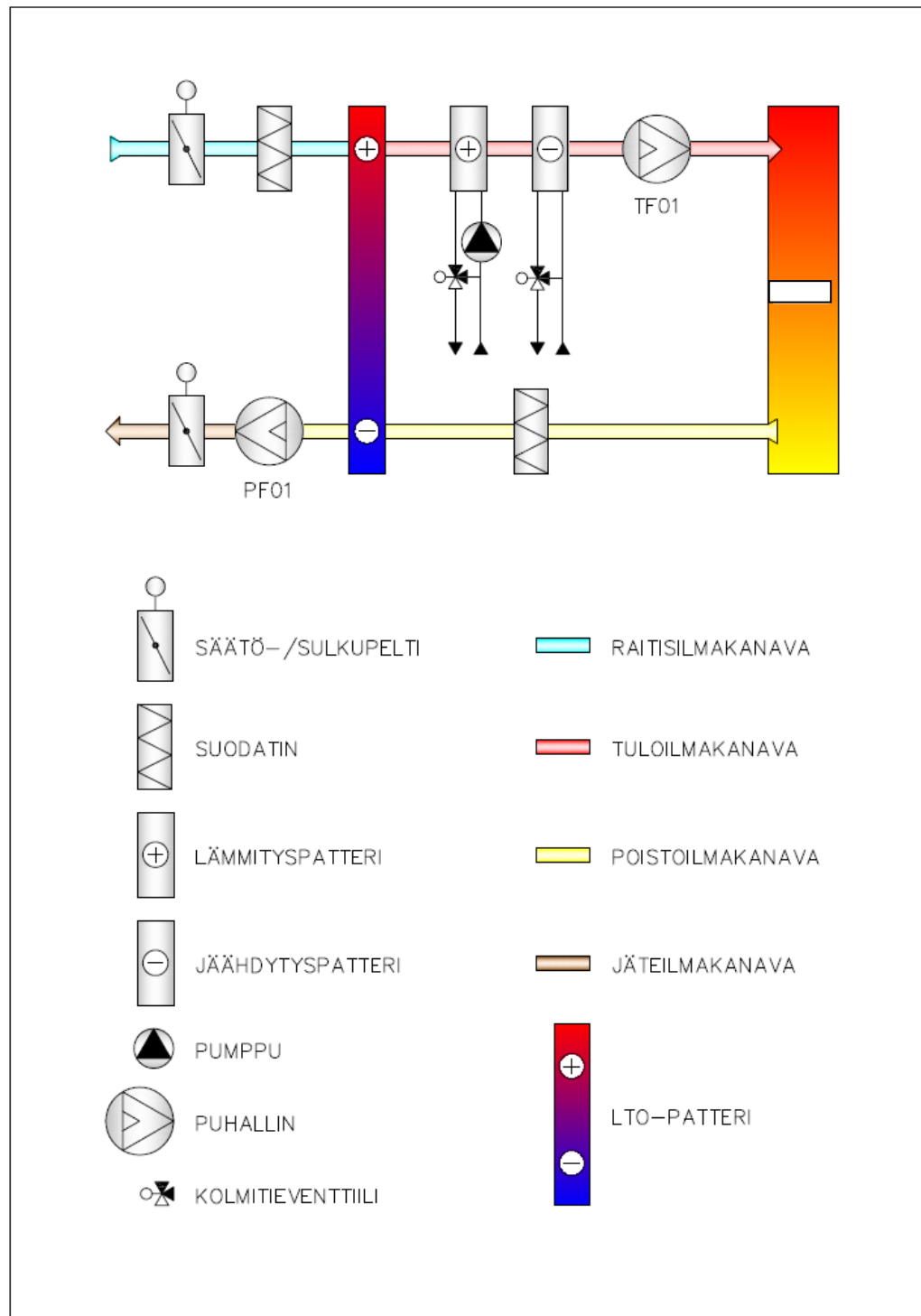
Tutkittavana kohteena olivat Helsingissä sijaitsevan OP-Keskuksen avotoimistotilat (LIITE 2). Ennen saneerausta tuloilma jaettiin tiloihin suutinkanavajärjestelmällä. Nyt saneerauksen jälkeen tuloilma jaetaan tiloihin pääosin aktiivisilla jäähdytyspalkkeilla (Kuva 17). Koko kiinteistön talotekniikkaa hallitaan keskitetysti kiinteistössä sijaitsevasta valvomosta ammattitaitoisen henkilökunnan toimesta. Tiloja palveleva ilmanvaihtokone sijaitsee erillisessä IV-konehuoneessa ja sama kone palvelee myös muutamaa muuta kerrosta. Ilmanvaihtokoneessa on lämmitys- ja jäähdytyspatterit tuloilmalle sekä jälkeinpäin asennettu nestekiertoinen lämmön talteenotto poistoilmasta.

Tiloissa sijaitsevien lämmityspatterien termostaatit on yhdistetty rakennusautomaatiojärjestelmään eli samanaikaista lämmitystä pattereilla ja jäädytystä aktiivipalkeilla ei pitäisi tapahtua. Avokonttoreissa on käyttäjillä vyöhykekohtainen lämpötilan säätömahdollisuus.



Kuva 17 Aktiivipalkki ja savutuskoe.

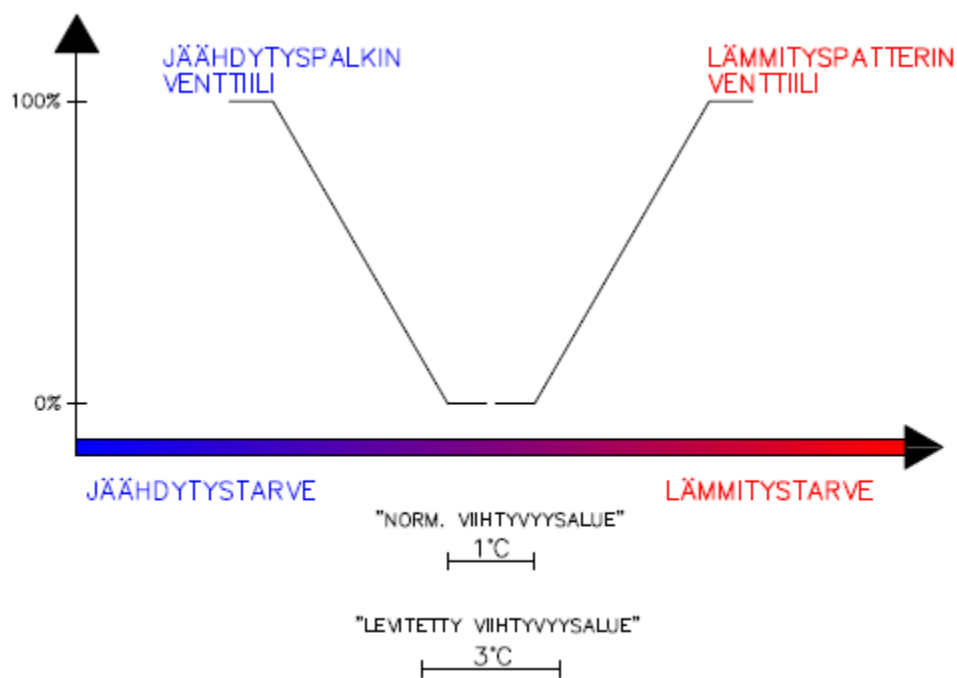
5.1.1 ilmanvaihtojärjestelmän toimintakaavio



Kuva 18 Toimintakaavio.

5.1.2 Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaselostus

Ilmanvaihtokoneen puhaltimissa on mahdollisuus ilmavirtojen säätöön. Toimisto- huoneissa ja avutiloissa tilakohtaista lämmitystä ja jäähdytystä hallitaan jäähdytys- palkkien ja lämmityspattereiden avulla mitatun huonelämpötilan mukaan. Mitatun huone- tai vyöhykelämpötilan perusteella säädetään jäähdytyspalkin venttiiliä ja lämmityspatterin venttiiliä. Jos tilassa on useampi jäähdytys- tai lämmitysventtiili, on jäähdytys- ja lämmitysventtiilit kytketty keskenään rinnan omissa järjestelmissään. Huoneen ja vyöhykkeen lämpötilojen asetusarvoja voidaan poikkeuttaa esim. ± 2 °C huonetilassa olevasta asetusarvopotentiometrillä.



Kuva 19 Jäähdytyspalkkien ja lämmityspatterien venttiilien säätöalueet.

Jokaiselle säätöpiirille voidaan asettaa normaalivaikeus, jolloin säätö toimii ”normaalilla viihtyvyydellä”, sekä poissaoloaika, jolloin säätö toimii ”levitetyllä viihtyvyydellä”. ”Levitetyllä viihtyvyydellä” sallitaan huonelämpötilan vaihdella

normaalia laajemmissa rajoissa ilman, että jäähdytys- tai lämmitysenergiaa käytetään. Tuloilmakoneen ollessa pysähdyksissä jäähdytyspalkkien venttiilit ovat kiinni.

5.2 Mittaukset tilojen parannuksen jälkeen

Tuloilmavirrat mitattiin pistokokein aktiivipalkkien mittausyhteistä paine-eron avulla. Mittaushetkellä ulkolämpötila oli $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisään puhallettavan tuloilman lämpötila oli $20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Suunnitelmissa isoille aktiivipalkeille on mitoitettu tuloilmavirraksi 30 l/s. Muutamalle pienemmälle palkille mitoitus on 24 l/s. Kaikissa mittaamissamme tuloilmalaitteissa mittaustulokset vastasivat erittäin hyvin suunniteltuja arvoja. Konaistuloilmavirta oli 1736 l/s, mikä vastaa noin $1,8\text{ l/s m}^2$. Mittaushetkellä tuloilmapuhallin oli 85 %:n teholla ja poistoilmapuhallin 90 %:n teholla käynnissä. Lämmön talteenotto oli täydellä teholla päällä. Ulkoilmavirta $1,8\text{ l/s m}^2$ toteuttaa Sisäilmaluokituksen S1 arvot.

5.3 Jäähdytystehontarpeen arviointi

5.3.1 Arvio, Sisäilmastoluokitus 2008 käyttöprofiililla

Sisäiset lämpökuormat (Taulukko 1 ja Kaava 3):

$$P_{kok1} = P_{ih1} + P_{la1} + P_{va1} \quad (3)$$

$$P_{kok1} = 6\text{ W/m}^2 + 15\text{ W/m}^2 + 12\text{ W/m}^2$$

$$P_{kok1} = 33\text{ W/m}^2$$

$$P_{kok1} = \text{sisäiset lämpökuormat pinta – alaa kohden, W/m}^2$$

$$P_{ih1} = \text{ihmisistä aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m}^2$$

$$P_{la1} = \text{laitteista aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m}^2$$

$$P_{va1} =$$

$$\text{valaistuksesta aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m}^2$$

Jäähdytystehontarve (Kaava 4):

$$P_{jääh1} = \frac{P_{kok1} * A_{kok}}{1000W/kW} \quad (4)$$

$$P_{jääh1} = \frac{33W/m^2 * 964m^2}{1000W/kW}$$

$$P_{jääh1} = 31,81kW \approx 32kW$$

$$P_{jääh1} = \text{jäähdytystehontarve, kW}$$

5.3.2 Laskenta, tiedossa olevalla käyttöprofiililla

Sisäiset lämpökuormat (Kaava 5):

$$P_{kok2} = \left(\frac{P_{työp2} * kpl_{tp2}}{A_{kok}} \right) + P_{va2} \quad (5)$$

$$P_{kok2} = \left(\frac{(80+150) \frac{W}{kpl} * 50kpl}{964m^2} \right) + 12 W/m^2$$

$$P_{kok2} = 11,9 + 12 W/m^2$$

$$P_{kok2} = 23,9 W/m^2 \approx 24W/m^2$$

$$P_{kok2} = \text{sisäiset lämpökuormat pinta – alaa kohden, W/m}^2$$

$$P_{työp2} = \text{ihmisestä ja tietokoneesta aiheutuva lämpökuorma, W/kpl}$$

$$kpl_{tp2} = \text{työpisteiden lukumäärä, kpl}$$

$$P_{va1} =$$

$$\text{valaistuksesta aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m}^2$$

Jäähdytystehontarve (Kaava 4):

$$P_{jääh2} = \frac{P_{kok2} * A_{kok}}{1000W/kW} \quad (4)$$

$$P_{jääh2} = \frac{23,9W/m^2 * 964m^2}{1000W/kW}$$

$$P_{jääh2} = 23,0kW \approx 23kW$$

$$P_{jääh2} = \text{jäähdytystehontarve, kW}$$

Tässä kohteessa todellinen henkilötiheys on niin lähellä taulukoitua arvoa, että eri tavoilla lasketuille jäähdytystehontarpeille ei muodostunut eroa.

5.4 Johtopäätökset tilojen parannuksen jälkeen

Ensimmäinen vierailu valvomossa antoi heti erittäin hyvän vaikutelman talotekniikan kunnosta ja ylläpidosta. Valvomossa työskennellyt henkilökunta oli ammattitaitoista ja heille luodut työkalut ja valvontajärjestelmät olivat kattavat. Jokaisesta ilmanvaihdon päätelaitteesta löytyi dokumentit ja automaatiojärjestelmästä sai tarvittavat tulosteet.

Jäähdytyspalkkien toimivaan asennuskorkeuteen oli kiinnitetty huomiota. Avotoimitilan katossa oli useita poikittaisia kattopalkkeja, joiden alapinta oli alempana kuin muun katto-osan alapinta. Jäähdytyspalkit olivat asennettu niin, että tuloilmasuihku ei törmännyt välittömästi kattopalkkiin ja siitä laskeutunut työntekijän päälle. Muutenkin tuloilman jako oli toteutettu mainiosti, eikä liiallisia törmäyksiä tapahtunut.

Kaiken kaikkiaan talotekniikan saneerauksen toteutus oli mielestäni onnistunut tutkittavassa kohteessa hyvin. Ilmavirrat ja jäähdytysteho olivat molemmat riittäviä. Myös patteritermostaattien yhdistäminen rakennusautomaatiojärjestelmään luo lämpöolosuhteiden hallittavuutta sekä mahdollistaa muunneltavuutta.

6 WÄRTSILÄ FINLAND OY, TURKU



Kuva 20 Wärtsilän toimistorakennus Turussa.

6.1 Kohteen kuvaus tilojen parannuksen jälkeen

Tutkittavana kohteena olivat Turussa sijaitsevan Wärtsilä Finland Oy:n toisen kerroksen avotoimistotilat (LIITE 3). Tilat sijaitsevat vanhassa tehdasrakennuksessa, joka on nykyään kokonaan toimistokäytössä. Toisen kerroksen toimistotiloja palveleva ilmanvaihtokone sijaitsee kolmannessa kerroksessa IV-konehuoneessa. Ilmanvaihtokoneessa on muuttuvan ilmavirran järjestelmä, VAV-järjestelmä. Tuloilmavirtaa säädetään IV-koneella vakiokanavapainesäädöllä koneen jälkeen tuloilmakammiossa. Erillisissä työ-, neuvottelu- ja taukutiloissa on ilmavirtaussäätimet. Avotoimistotiloissa tulo- ja poistoilmavirrat on määritelty vakioiksi. IV-koneessa on lämmitys- ja jäähdytyspatterit, sekä jälkeinpäin asennettu nestekiertoinen lämmön talteenotto. Tuloilman päätelaitteet on osassa avotoimistotilaa asennettu katonrajaan (Kuva 21) ja osassa tiloja vapaa-asennuksena (Kuva 22). Koko kiinteistön talotekniikkaa ohjataan kiinteistössä sijaitsevasta valvomosta.

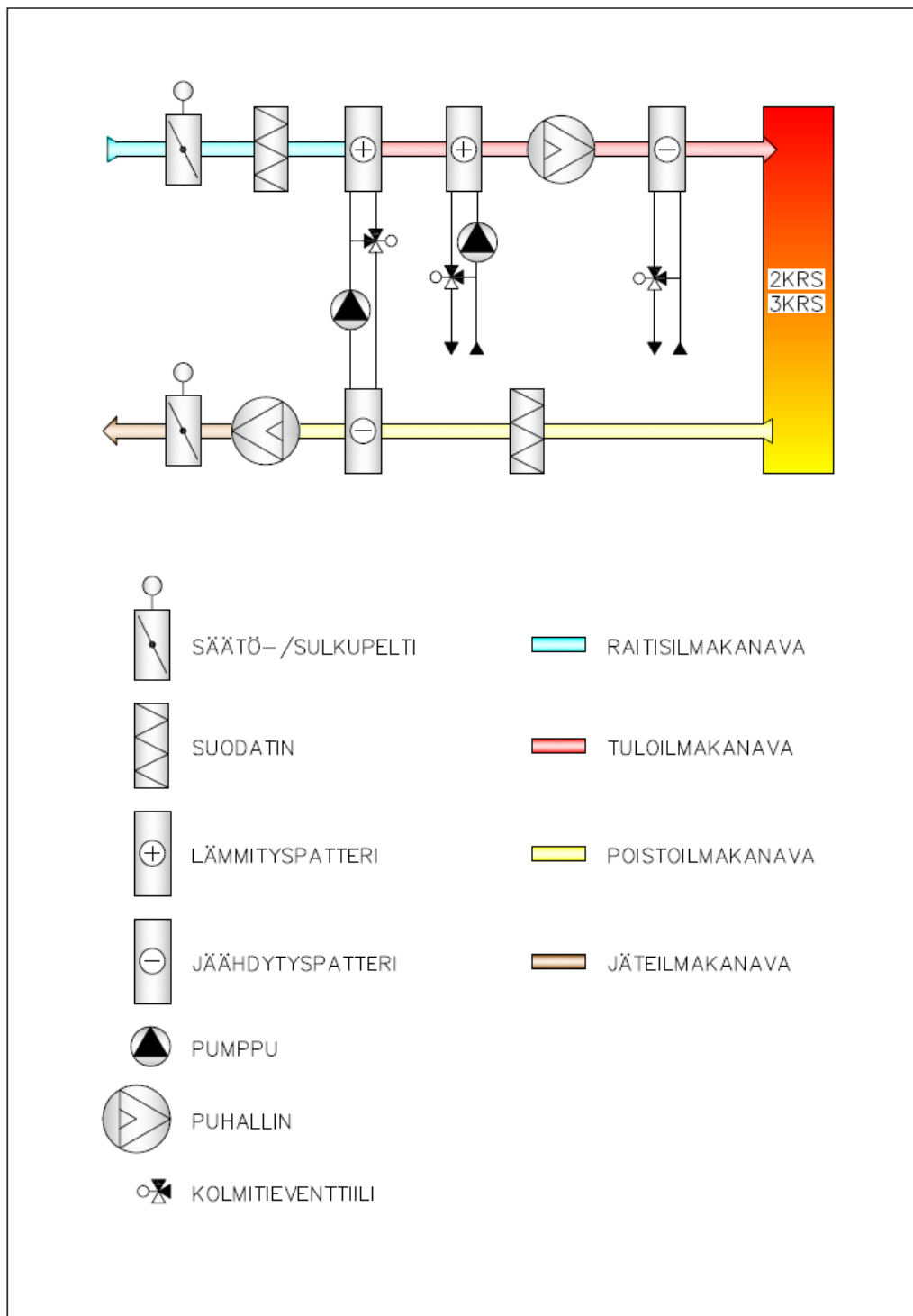


Kuva 21 Katon rajaan asennettuja tuloilman päätelaitteita.



Kuva 22 Vapaa-asennettuja tuloilman päätelaitteita.

6.1.1 Ilmanvaihtojärjestelmän toimintakaavio



Kuva 23 Toimintakaavio.

6.1.2 Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaselostus

Tuloilmavirta säädetään IV-koneella vakiokanavapainesäädöllä. IMS-huoneissa lämpötila- ja hiilidioksidianturit ohjaavat ilmavirtasäätimiä lisäämään ilmavirtaa tilan sisäisen lämpö- ja ilmanlaatukuormien kasvaessa. Tuloilman lämpötilaa säädetään poistoilman lämpötilan mukaan. Poistoilman lämpötilan ylittäessä asetusarvon tuloilmaa aletaan jäähdyttämään IV-koneen jäähdytyspatterilla. Lämmön talteenotossa on käytössä hyötysuhdelaskenta, joka antaa hälytyksen, jos hyötysuhde on alle 40 %.

6.2 Mittaukset tilojen parannuksen jälkeen

Tuloilmavirrat mitattiin pistokokein tuloilman päätelaitteiden mittausyhteistä paineeron avulla ja osasta päätelaitteita SwemaFlow:n huppumittarilla (Kuva 8). Mittaushetkellä ulkolämpötila oli -12 °C . Mittaustuloksia verrattiin saneerauksen jälkeen suoritettun ilmanvaihdon säädön mittaustuloksiin ja ilmavirrat vastasivat hyvin suunniteltuja arvoja. Kokonaistuloilmavirta oli noin $2,18\text{ m}^3/\text{s}$ avotoimistoalueelle. Kun kokonaistuloilmavirta jaetaan avotoimistoalueen pinta-alalla 740 m^2 , niin saadaan tulokseksi $2,9\text{ l/s/m}^2$. Tuloilmavirta vastaa Sisäilmastoluokitus 2008:n luokkaa S1 (Taulukko 6). Ilmasuihkuja havainnollistettiin myös savutuskokeilla. Muutamissa paikoissa tuloilmavirrat törmäsivät ja suuntautuivat alaspäin työpisteen päälle. Tämä johtui siitä, että tuloilmaelimet olivat liian lähekkäin. Osassa paikoissa tuloilmaelimet sijaitsivat katossa olevan portaan vieressä (Kuva 21) ja ilmavirta pääsi tippumaan alas liian aikaisin. Automaatiojärjestelmästä saadut tiedot vastasivat hyvin mitattuja arvoja.

6.3 Jäähdytystehontarpeen arviointi

6.3.1 Arvio, Sisäilmastoluokitus 2008 käyttöprofiilien perusteella

Sisäiset lämpökuormat (Taulukko 1 ja Kaava 3):

$$P_{kok1} = P_{ih1} + P_{la1} + P_{va1} \quad (3)$$

$$P_{kok1} = 6\text{ W/m}^2 + 15\text{ W/m}^2 + 12\text{ W/m}^2$$

$$P_{kok1} = 33 \text{ W/m}^2$$

P_{kok1} = sisäiset lämpökuormat pinta – alaa kohden, W/m^2

P_{ih1} = ihmisistä aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m^2

P_{la1} = laitteista aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m^2

P_{va1} =

valaistuksesta aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m^2

Jäähdytystehontarve (Kaava 4):

$$P_{jääh1} = \frac{P_{kok1} * A_{kok}}{1000 \text{ W/kW}} \quad (4)$$

$$P_{jääh1} = \frac{33 \text{ W/m}^2 * 740 \text{ m}^2}{1000 \text{ W/kW}}$$

$$P_{jääh1} = 24,42 \text{ kW} \approx 24 \text{ kW}$$

$P_{jääh1}$ = jäähdytystehontarve, kW

6.3.2 Laskenta, tiedossa olevalla käyttöprofiililla

Sisäiset lämpökuormat (Kaava 5):

$$P_{kok2} = \left(\frac{P_{työp2} * kpl_{tp2}}{A_{kok}} \right) + P_{va2} \quad (5)$$

$$P_{kok2} = \left(\frac{(80+150) \frac{\text{W}}{\text{kpl}} * 65 \text{ kpl}}{740 \text{ m}^2} \right) + 12 \text{ W/m}^2$$

$$P_{kok2} = 20,2 + 12 \text{ W/m}^2$$

$$P_{kok2} = 32,2 \text{ W/m}^2 \approx 32 \text{ W/m}^2$$

P_{kok2} = sisäiset lämpökuormat pinta – alaa kohden, W/m^2

$P_{työp2}$ = ihmisestä ja tietokoneesta aiheutuva lämpökuorma, W/kpl

kpl_{tp2} = työpisteiden lukumäärä, kpl

P_{va1} =

valaistuksesta aiheutuva lämpökuorma pinta – alaa kohden, W/m^2

Jäähdytystehontarve (Kaava 4):

$$P_{\text{jääh2}} = \frac{P_{\text{kok2}} * A_{\text{kok}}}{1000W/kW} \quad (4)$$

$$P_{\text{jääh2}} = \frac{32,2W/m^2 * 740m^2}{1000W/kW}$$

$$P_{\text{jääh2}} = 23,8kW \approx 24kW$$

$$P_{\text{jääh2}} = \text{jäähdytystehontarve, kW}$$

Tässä kohteessa todellinen henkilötiheys on niin lähellä taulukoitua arvoa, että eri tavoilla lasketuille jäähdytystehontarpeille ei muodostunut eroa.

6.4 Johtopäätökset tilojen parannuksen jälkeen

Tuloilmavirrat olivat riittävät hyvän ilmanlaadun takaamiseksi avotoimistotiloissa. Tuloilmaelinten sijoittelussa ja ilmavirtojen jakautumisessa jäi kuitenkin toivomisen varaa. Avotoimistoalueen keskivaiheilla tuloilmavirrat olivat pienehköt verrattuna alueella oleviin lämpökuormiin ja näin ollen jäähdytysteho saattaa olla riittämätön ja sisälämpötila voi nousta kesällä liian korkeaksi. Muutaman tuloilmaelimen ilmasuihkuja oli työntekijän toimesta uudelleen ohjattu ja suunnattu paperivirityksillä, koska työntekijä oli tuntenut vetoa. Vedon tunne johtui siitä, että kaksi tuloilmaelintä oli liian lähekkäin ja niiden ilmasuihkut pääsivät törmäämään ja suuntautumaan alaspäin. Myös katossa olevan portaan viereen asennetut tuloilmaelimet eivät toimineet optimaalisella tavalla, koska tuloilmasuihku pääsi tippumaan liian aikaisin alas oleskeluvyöhykkeelle.

Rakennusautomaatiojärjestelmä oli saneerauksen yhteydessä päivitetty ohjaamaan ja hallitsemaan kokonaisuutta hyvin. Myös automaatiojärjestelmää käyttävä henkilökunta hallitsi järjestelmän käytön.

7 YHTEENVETO KAIKISTA KOHTEISTA

7.1 Tuloilmavirrat ja ilmanlaatu

Jokaisessa tutkimuskohteessa tuloilmavirrat olivat riittävät takaamaan hyvän ilmanlaadun avotoimistotiloihin. Ilmanjaon ongelmat tulevat kuitenkin esiin tuloilmasuihkujen suuntauksissa ja tuloilmaelinten sijoittelussa. Ilmanvaihdon suunnittelijalla on monesti käytössä vain tilojen pohjakuvat ja niiden perusteella hän sijoittelee tuloilmaelimet mielestään sopiville paikoille. Pohjakuvissa esitetyt työpisteiden lopulliset sijainnit saattavat olla jotain aivan muuta, kuin ilmanvaihdon suunnittelijalle on annettu lähtötietoina. Näiden ongelmien poistamiseksi olisi hyvä, että ilmanvaihdon suunnittelija ja sisustusarkkitehti välittäisivät tietoa keskenään projektin edetessä. Tämä ei kuitenkaan monesti toteudu, esimerkiksi aikataulu- ja kustannussyistä.

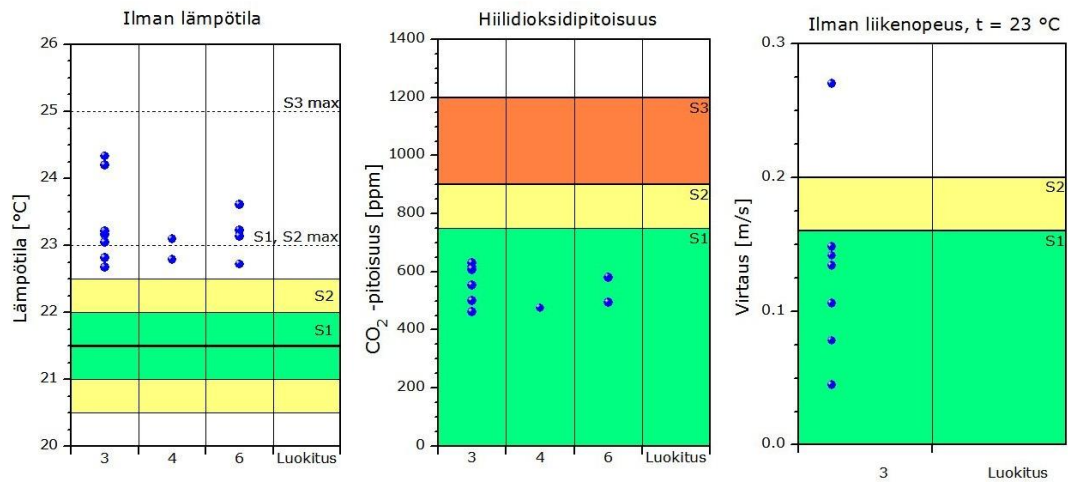
7.2 Rakennusautomaatiojärjestelmät

Talotekniikan toimivuuden kannalta rakennusautomaatiojärjestelmä on erittäin oleellisessa osassa. Saneerausten ja järjestelmien lisäämisen yhteydessä pitäisi rakennusautomaatiojärjestelmä päivittää hallitsemaan uutta kokonaisuutta. Vaasassa sijaitsevan toimistorakennuksen avotoimistotiloihin oli jälkeinpäin asennettu erillinen puhallinkonvektoreilla toimiva jäähdytysjärjestelmä, jota ei oltu kytketty rakennusautomaatiojärjestelmään. Tämän seurauksena lämpöolosuhteet eivät olleet enää rakennusautomaatiota käyttävien henkilöiden hallinnassa. Myös rakennusautomaatiojärjestelmää käyttävän henkilökunnan on oleellista osata käyttää järjestelmää riittävästi.

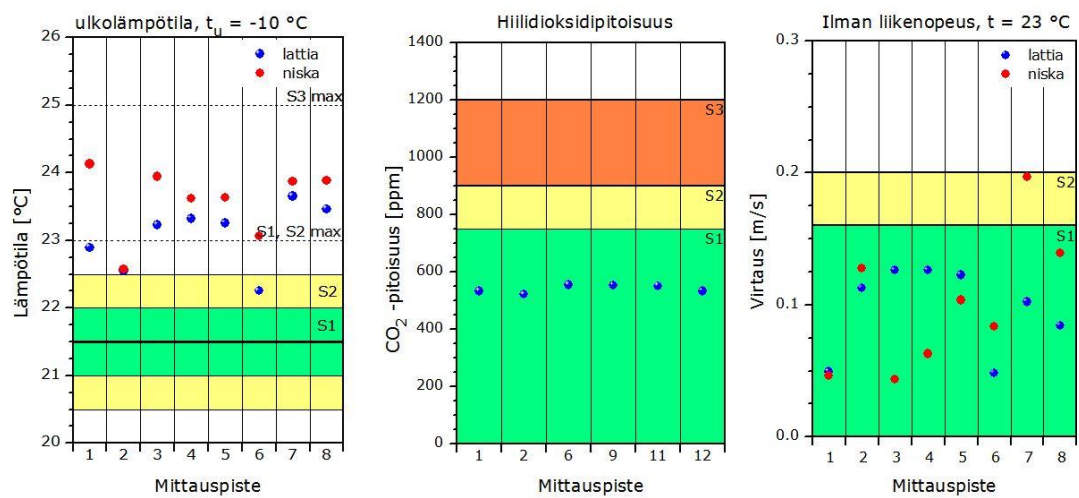
7.3 Työterveyslaitoksen mittaukset ja tulokset

Työterveyslaitoksen tutkijat mittasivat joka tutkimuskohteessa oleskeluvyöhykkeillä ilman lämpötilaa, hiilidioksidipitoisuutta ja ilman liikenopeutta (Kuvat 24–26).

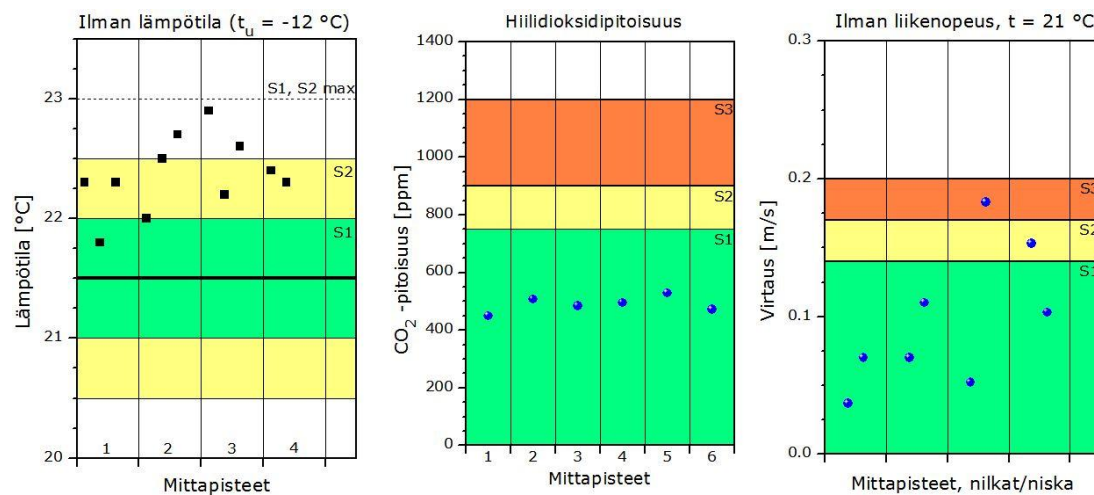
Sisäilmastoluokituksen laatuluokat:
 S1 = yksilöllinen
 S2 = hyvä
 S3 = tyydyttävä, täyttää määräykset



Kuva 24 Toimistorakennus, Vaasa. Työterveyslaitoksen mittaustulokset.



Kuva 25 OP-Keskus OPK, Helsinki. Työterveyslaitoksen mittaustulokset.



Kuva 26 Wärtsilä Finland Oy, Turku. Työterveyslaitoksen mittau tulokset.

Jokaisessa tutkimuskohteessa ilmanlaatu hiilidioksidipitoisuuden osalta oli Sisäilmastoluokitus 2008:n luokassa S1. Myös ilman liikenopeudet oleskeluvyöhykkeellä olivat suurimmaksi osaksi S1-luokassa. Ilman lämpötila oli kahdessa ensimmäisessä kohteessa selvästi koholla, vaikka ulkolämpötila ei vastannut kesän korkeita lämpötiloja.

7.4 Jäähdytystehontarpeet

Kaikkien tutkimuskohteiden jäähdytysjärjestelmät olivat kokonaisjäähdytysteholtaan riittävät avotoimistotilojen lämpötilaolojen hallitsemiseen. Vaasassa sijaitsevan toimistorakennuksen erillinen puhallinkonvektorijärjestelmä saattaa aiheuttaa ongelmia kesällä, koska sitä ei ole yhdistetty mitenkään rakennusautomaatiojärjestelmään.

Ulkoisiin lämpökuormiin vaikuttavat rakenteiden ulkoseinien lämmöneristävyys ja tiiveys, ikkunapinta-alat ja niiden suunta sekä aurinkosuojaukset. Ulkoisien lämpökuormien laskenta on jätetty tässä opinnäytetyössä huomioimatta. Voidaan kuitenkin todeta, että jos rakennuksessa on paljon ikkunapinta-alaa kaakon, etelän ja lounaan suuntaan on aurinkosuojaukseen kiinnitettävä erityistä huomiota. Aurinkosuojauksena laseista sisään tulevalle lämpösäteilylle toimivat markiisit ja sälekaihtimet. Nyky-

sillä simulointiohjelmilla, kuten IDA Indoor Climate and Energy 4 ja MagiCAD Comfort & Energy, pystytään tarkasti määrittämään säädätan ja rakennuksen geometrian perusteella jäähdytystehontarpeet ja myös jäähdytykseen käytetty energia vuositasolla.

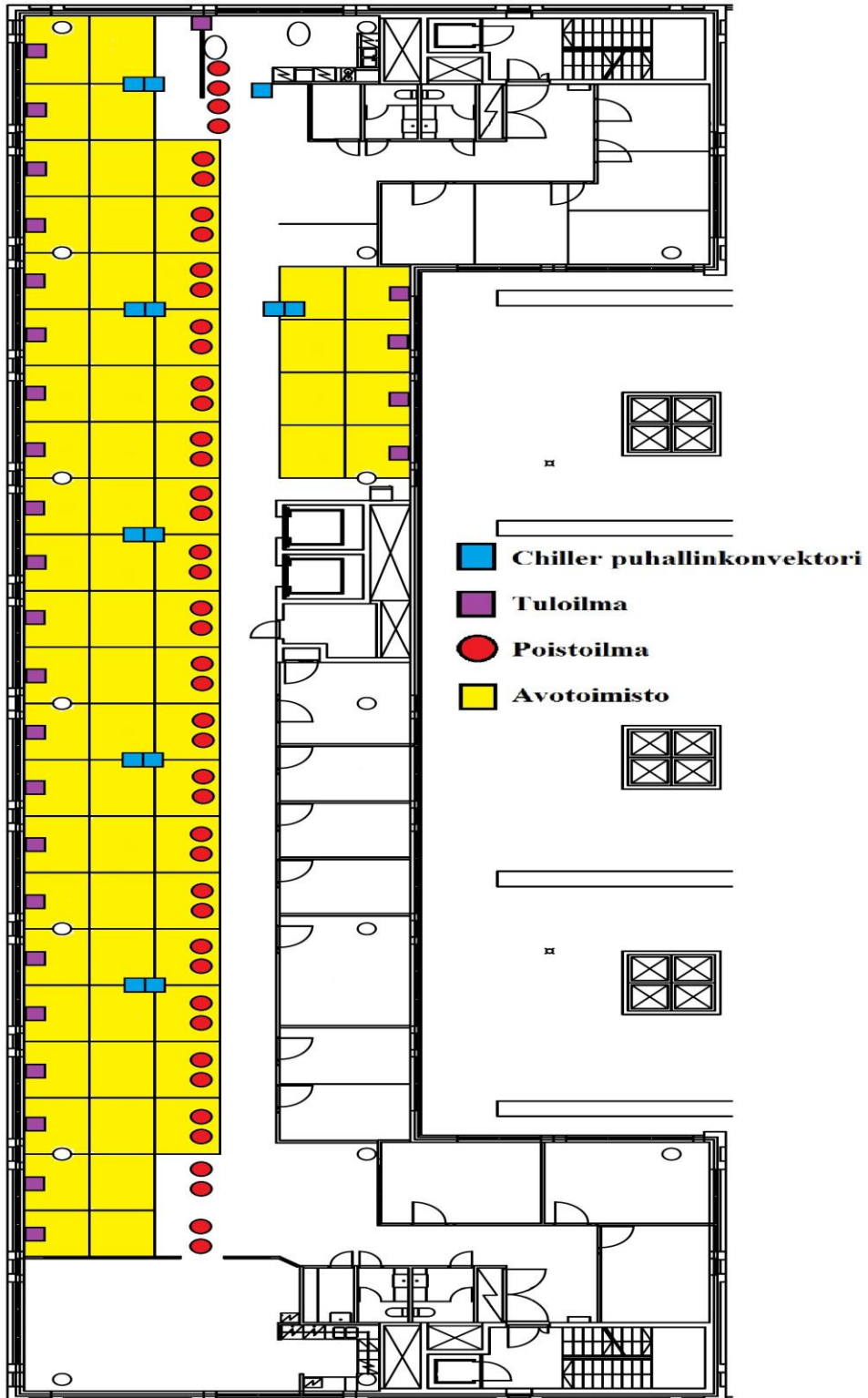
LÄHTEET

LVI-ohjekortti 014-10290, KH 20-00260. LVI-laitosten mittaukset. 1999. Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto.

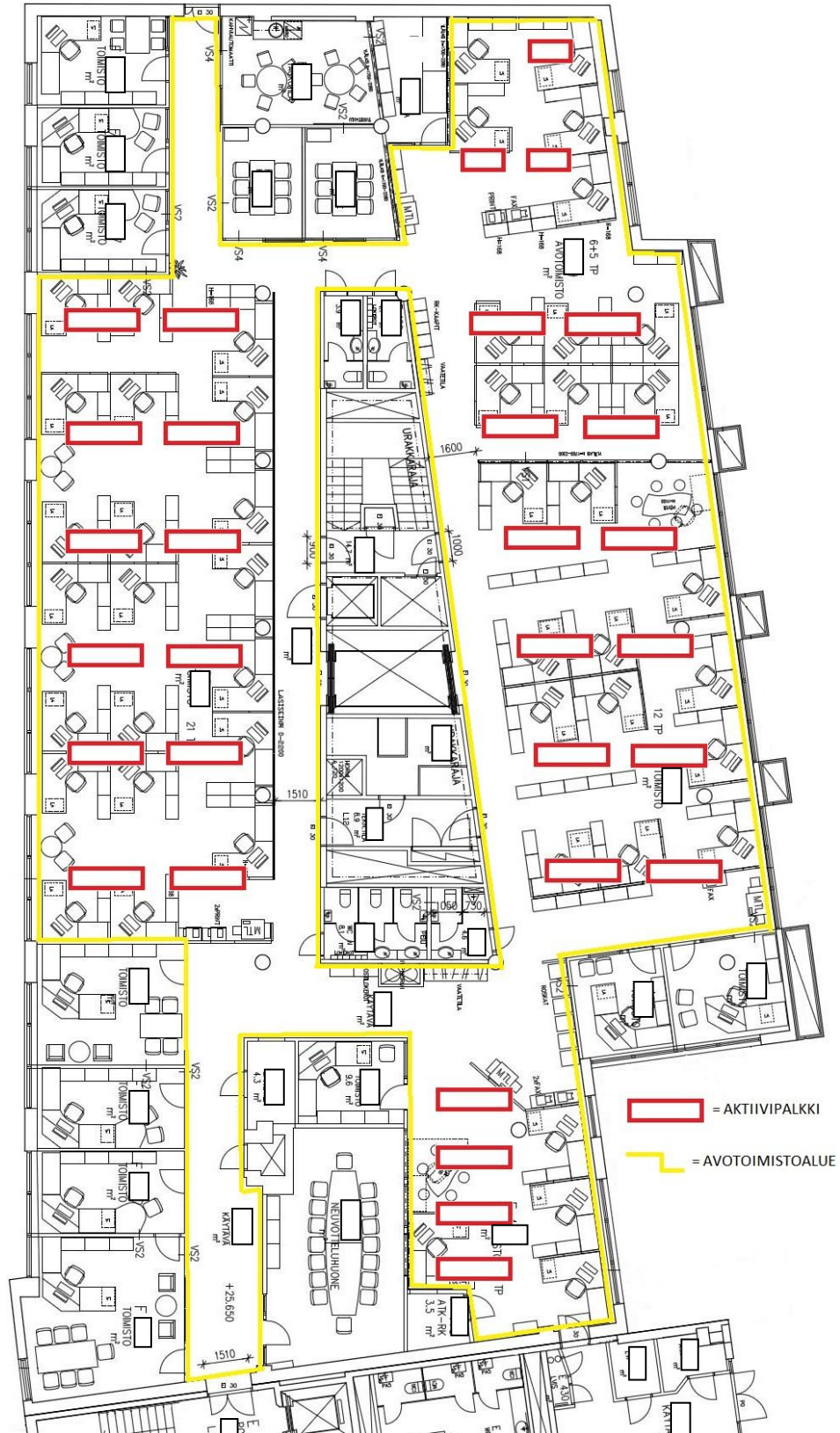
Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. 2008. Espoo: Sisäilmayhdistys ry.

Työterveyslaitoksen www-sivut. Viitattu 26.12.2011. <http://www.ttl.fi>

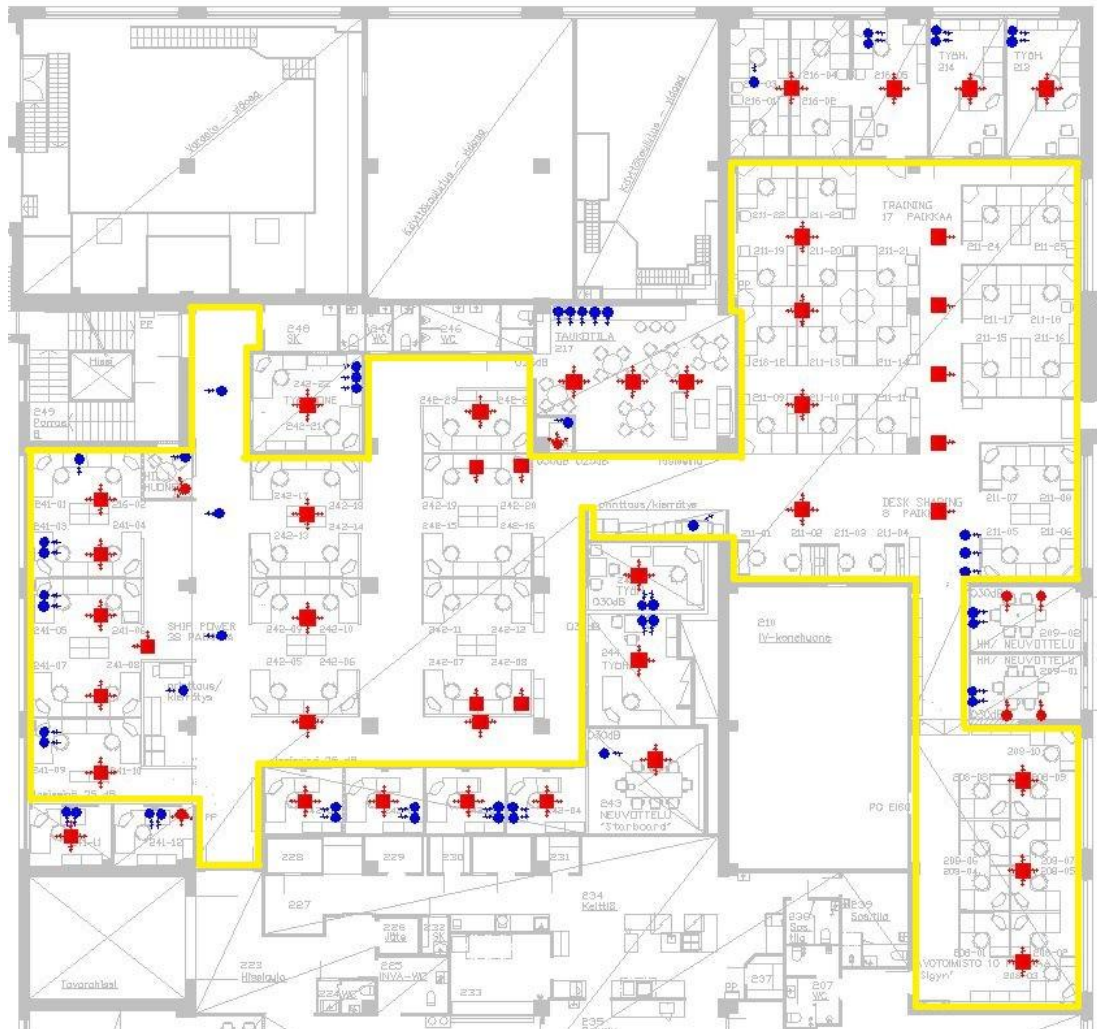
Toimistorakennus, Vaasa: Pohjakuva ja ilmanvaihdon päätelaitteet



OP-Keskus OPK, Helsinki: Pohjakuva ja aktiivipalkit



Wärtsilä Finland Oy, Turku: Toisen kerroksen pohjakuva ja ilmanvaihdon päätelaitteet



 Tuloilmalaite

 Poistoilmalaite

 Avotoimistoalue