

Noora Pulli

# Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon osittainen soveltaminen luokkatilassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

10.3.2015

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Noora Pulli Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon osittainen soveltaminen luokkatilassa  35 sivua + 5 liitettä 10.3.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	lehtori Seppo Innanen
<p>Tämä insinöörityö on tehty osana EU-rahoitteista Smart Campus -hanketta, jonka tarkoituksena on kehittää ja parantaa kampusalueiden palveluita erityisesti energiatehokkuuden näkökulmasta. Talotekniikan koulutusohjelmasta projektissa työskenteli kolme opiskelijaa. Ryhmän tarkoituksena oli selvittää ja toteuttaa energiatehokkuuteen ja ilmanvaihtoon liittyviä parannustoimenpiteitä Metropolia Ammattikorkeakoulun kahden projektiin kohdennetun kampuksen, Leppävaaran ja Myyrmäen tiloihin.</p> <p>Tässä insinöörityössä keskitytään projektissa pilotointikohteeksi otettuun Myyrmäen kampuksen luokahuoneisiin, joihin hankkeen myötä suunniteltiin ja toteutettiin tarpeenmukainen ilmanvaihto. Työssä on esitetty tilojen lähtötilanne ja ilmamäärämittaukset sekä ryhmän ehdotuksien mukaiset ja toteutetut parannustoimenpiteet.</p> <p>Tarpeenmukaisesti ohjatut ilmanvaihtojärjestelmät ovat yksi vartenotettavista tavoista parantaa oppilaitosten tilojen energiatehokkuutta myös viihtyvyyden ja opiskelukyvyn näkökulmasta. Nykyaikana markkinoilla on monia tähän soveltuvia laitevaihtoehtoja ja uusia kehitetään koko ajan.</p>	
Avainsanat	tarpeenmukainen ilmanvaihto, Smart Campus, WISE

Author Title	Noora Pulli A partial demand controlled ventilation application in a class-room
Number of Pages Date	35 pages + 5 appendices 10 March 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>This final year project was made as a part of the Smart Campus project, in which the main goal was to identify and implement energy efficiency and ventilation-related improvement measures at the Leppävaara and Myyrmäki campuses of Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>This Bachelor's thesis focused on the pilot classrooms that were located in the Myyrmäki campus which was planned and implemented with demand controlled ventilation. Modifications and plans were made on the basis of the feedback that was collected from the school staff and students. The feedback showed that the classrooms suffered from defectiveness in ventilation and bad air quality, and therefore working in the classrooms was not comfortable.</p> <p>Due to the modifications, the classrooms gained a more balanced ventilation. Now it corresponds to the actual use of the classrooms. With demand controlled ventilation it is possible to achieve both energy savings and a balanced room ventilation which is particularly important in the studying environment.</p>	
Keywords	demand controlled ventilation, Smart Campus, WISE

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hankkeen taustat ja tutkimuskohteet	2
2.1	Smart Campus -hanke	2
2.2	Metropolia Ammattikorkeakoulu	2
2.3	Leppävaaran kampus	3
2.4	Myyrmäen kampus	3
3	Yleistä ilmanvaihdosta	4
3.1	Ilmanvaihto ja sisäilmasto	4
3.2	Sisäilman laadulle asetetut määräykset ja standardit	5
3.3	Lämpöolot	7
3.4	Ilman liike ja veto	7
3.5	Ilman epäpuhtaudet	8
3.6	Sisäilmaongelmat ja terveysvaikutukset kouluympäristössä	12
4	Ilmanvaihtojärjestelmät	13
4.1	Ilmanvaihtotavat	13
4.2	Tarpeenmukainen ilmanvaihto	14
4.3	Swegonin WISE-järjestelmän esittely	14
5	Pilottiluokkien esittely	17
5.1	Sähköisen huoltokirjan yhteenvetoraportin tarkastelua	17
5.2	Pilottiluokat	18
5.2.1	Pilottiluokka B243	19
5.2.2	Pilottiluokka B244	20
6	Mittausmenetelmät ja teoria	22
7	Mittaustulokset ja suunnitelmat	24
7.1	Mittaustulosten esittely	24
7.2	Mittaustulosten analysointia	25

7.3	Tavoitteet ja suunnitelmat	26
8	Toteutetut muutokset ja lopputulokset	28
8.1	Pilottiluokka B243	28
8.2	Pilottiluokka B244	29
8.3	Lopputuloksien tarkastelua	31
9	Yhteenveto	32
	Lähteet	33

#### Liitteet

Liite 1. Pilottiluokkien ilmamäärämittaukset tarkoilla arvoilla hankkeen alussa.

Liite 2. Pilottiluokka B244, ilmamäärämittauksen tulokset muutostöiden jälkeen.

Liite 3. Ilmanvaihtokone TK42, vaikutusaluekuva.

Liite 4. Ilmanvaihtokone TK42, tiedot.

Liite 5. Kuvia pilottiluokista hankkeen alussa ja muutostöiden jälkeen.

## Lyhenteet

CAC	<i>Clean Air Control.</i> Seoskaasuanturi
CAV	<i>Constant Air Volume.</i> Vakioilmavirta
DCV	<i>Demand Controlled Ventilation.</i> Tarpeenmukainen ilmanvaihto
MIV	Muuttuvailmavirta-ilmastointi
RakMK	Suomen rakentamismääräyskokoelma

## 1 Johdanto

Koulurakennusten sisäilmaongelmat ja niistä aiheutuneet seuraamukset ovat olleet lähivuosina hyvin yleinen aihe lehtien palstoilla. Vanha rakennuskanta, tilojen käytön muuttuminen, käyttäjämäärien lisääntyminen ja useat muut asiat ovat vaikuttaneet nykytilan saavuttamiseen. Saneeraustarve on suuri, mutta silti alati kiristyvät määräykset energiansäästön ja -kulutuksen näkökulmasta tulee huomioida, puhumattakaan valtion ja kuntien huonosta taloustilanteesta.

Puhdas sisäilma on tärkeä elementti niin rakennukselle itselleen kuin sen käyttäjäkunnalle. Huono sisäilma vaikuttaa yleiseen viihtyvyyteen, tuottavuuteen sekä aiheuttaa pahimmassa tapauksessa terveydellisiä ongelmia. Oppilaitosten vanhanaikaisten ilmanvaihtomenetelmien kapasiteetti ei riitä nykyaikana, jolloin oppilasmäärät ovat kasvaneet ja tilojen käyttöasteet ovat muuttuneet. Siksi monet laitevalmistajat ovat kehitelleet vuosien saatossa menetelmiä, joilla parantaa ja paikata ilmanvaihdon puutteita kustannustehokkaasti ja energiaa säästävästi, huomioiden tilojen muuntojoustavuusmahdollisuudet.

EU:n rahoittama Smart Campus -hanke on syksyllä 2012 alkanut kehittämishanke, jonka tarkoituksena on ollut kehittää korkeakoulujen kampusalueita. Suomessa pilottikohteina toimivat Metropolia Ammattikorkeakoulun toimipisteistä Espoon Leppävaara ja Vantaan Myyrmäki.

Hankkeessa oli mukana kaikki Metropolian klusterit. Kolmesta talotekniikan opiskelijasta koostunut ilmanvaihtoryhmämme aloitti työskentelyn vuoden 2013 alussa. Tehtävänäme oli selvittää ja toteuttaa pilottikohteiden energiatehokkuuteen ja ilmanvaihtoon liittyviä asioita sekä pohtia mahdollisia parannustoimenpiteitä. Jokainen ryhmässä ollut opiskelija teki oman insinööriytönsä projektin pohjalta keskittyen omaan osa-alueeseen.

Tämän insinööriyön pääpaino on hankkeen myötä pilottikohteeksi asetettujen luokkahuoneiden ilmanvaihdon parannustyö. Työssä esitellään luokkien lähtötilanne, suoritettavat mittaukset menetelmineen ja tuloksineen sekä suunnittelemamme ja toteutettavat muutokset.

## 2 Hankkeen taustat ja tutkimuskohteet

### 2.1 Smart Campus -hanke

Syksyllä 2012 Metropolia Ammattikorkeakoulussa alkanut Smart Campus -hanke on Euroopan unionin CIP-puiteohjelman (Competitiveness and Innovation framework Programme) rahoittama 2,5 vuotta kestävä hanke. Sen tavoitteena on ollut erilaisten palveluiden, toimintojen ja sovellusten kehittäminen, jotka muokkaavat energiatehokkuutta edistäviä taitoja käyttäjien näkökulmasta sekä parantaa hyvinvointia ja viihtyvyyttä. Hankkeen kokonaisbudjetti on 4,6 miljoonaa euroa. (1.)

Suomen lisäksi hankkeessa ovat olleet mukana Italia, Portugali sekä Ruotsi. Pilotointikohteina ovat olleet näiden kaupunkien korkeakoulujen kampusalueet Milanossa, Lissabonissa sekä Luulajassa. Kampusrakennusten energiatehokkuutta on pyritty parantaa mm. tietoteknisillä ratkaisuilla ja muuttamalla käyttäjien kulutustottumuksia. Hankkeen tavoitteena on ollut saavuttaa pilottikohteissa 20 %:n säästö energiankulutuksessa, josta 15 % on oletettu saavutettavan käyttäjien kulutustottumuksien muutoksella. (1.)

Hankkeen kehitystyötä on käytetty ns. Living Lab -tutkimuskonseptiin perustuen yhdessä käyttäjäryhmien kanssa. Eri käyttäjäryhmien kokemia kehitys- ja ongelmakohtia on kerätty mm. haastattelujen ja kyselyjen kautta, ja apuna on käytetty myös sosiaalista mediaa. (1.)

### 2.2 Metropolia Ammattikorkeakoulu

Metropolia Ammattikorkeakoulu on pääkaupunkiseudulla toimiva monialainen ja kansainvälinen ammattikorkeakoulu. Toimintansa se aloitti vuonna 2008, kun Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia ja EVTEK yhdistyivät. Vuonna 2014 koulun opiskelijamäärä oli 16 500 ja henkilöstömäärä 1 100. Metropolian koulutusaloja ovat liiketalous, kulttuuri, sosiaali- ja terveysala sekä tekniikka ja liikenne. (2.)

Suomessa pilottikohteiksi päätyivät Metropolian kampuksista Espoon Leppävaaran kampus sekä Vantaan Myyrmäen kampus.

### 2.3 Leppävaaran kampus

Leppävaaran toimipisteen kampuksen (kuva 1) A-osa on rakennettu vuonna 1988 ja B-osa vuonna 2002. Leppävaarassa toimii pelkästään tekniikan alan koulutusohjelmia. Molempien osien tilat koostuvat pääosin luokkahuoneista, toimistoista ja molemmissa osissa taloa sijaitsee auditorio. A-osassa sijaitsee tämän lisäksi liikuntasali.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan myös Leppävaaraan oli tarkoitus suunnitella ja toteuttaa pilotointiluokka tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla, mutta ajan puutteen myötä tästä luovuttiin projektin johdon päätöksellä. Kuitenkin kahden muun ryhmämme jäsenen insinööritöissä tarkastellaan Leppävaaran kampusta tarkemmin muilta osin. (25; 26.)



Kuva 1. Metropolia Ammattikorkeakoulun Leppävaaran kampus (1).

### 2.4 Myyrmäen kampus

Toisena tarkastelun alla olleista kohteista oli Metropolian Vantaalla sijaitseva Myyrmäen kampus (kuva 2). Kampus koostuu kahdesta osasta, joista A-osa on rakennettu Leppävaaran kampuksen tavoin vuonna 1988 ja B-osa vuonna 2001. Myyrmäessä opetetaan mm. liiketaloutta ja joitain tekniikan alan koulutusohjelmia.

Molempien osien ilmanvaihto on toteutettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. A-puolella on 13 ilmanvaihtokonetta ja B-puolella 9. Myyrmäen toimipisteessä on myös liikuntasali, joka on sijoitettu omaan erilliseen rakennukseen.



Kuva 2. Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen kampus (1).

### **3 Yleistä ilmanvaihdosta**

#### **3.1 Ilmanvaihto ja sisäilmasto**

Yleisesti ottaen ilmanvaihdon tehtävänä on tuoda puhdasta ilmaa hengitettäväksi ja poistaa rakennuksessa syntyvät mahdolliset epäpuhtaudet, liiallinen lämpö sekä kosteus. Puhdas ja raikas sisäilma on tärkeää kaikenlaisissa rakennuksissa, ja näin se luokin perustan viihtyvyydelle.

Ilman epäpuhtauksia syntyy niin ihmisen oman aineenvaihdunnan sivutuotteena kuin rakennuksesta itsestään. Syitä huonolle sisäilmalle voi olla useita, tai voi johtua myös

jostain yksittäisestä epäkohdasta. Siksi sisäilmasto-ongelmien selvittäminen ei ole aina helppoa.

Sisäilmasto voidaan käsittää erilaisten fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden kokonaisuutena. Esim. kosteus, lämpöolosuhteet, ilman laatu ja valaistus ovat kaikki osa sisäilmastoa. Ilman laadulla sekä lämpöolosuhteilla on vaikutusta ihmisen hyvinvointiin ja viihtyvyyteen. Myös sisätilojen äänitaso tulee huomioida. (11.)

### 3.2 Sisäilman laadulle asetetut määräykset ja standardit

Sisäilman laadulle on asetettu tietyt laatuvaatimukset ja ohjearvoja. Ympäristöministeriö on määritellyt sisäilman olosuhteille minimiarvot Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2. Sen lisäksi Sisäilmayhdistys ry on laatinut sisäilman laadulle sisäilmastoluokitukset, jotka täydentävät määräyksiä paremman sisäilman saavuttamiseksi. Nämä ohjearvot ovat nähtävissä taulukoissa 1 ja 2. Sisäilmastoluokituksen mukaiset sisäilmastolle asetetut tavoitteet edesauttavat eri toimijoiden välistä yhteistyötä ja siten vähentävät terveyttä ja viihtyvyyttä vaarantavien ongelmien syntyminen riskiä. (9.)

Sisäilmastoluokkia on kolme: S1, S2 ja S3. Luokka S1 on paras ja vastaa yksilöllistä sisäilmastoa. Tällöin tyytyväisten osuus on suurin ja tilojen lämpöolot ovat viihtyisät eikä epäpuhtauslähteitä tai vetoa esiinny. Tilan käyttäjän katsotaan myös pystyvän hallitsemaan lämpöoloja. (9.)

Luokka S2 vastaa tasoltaan hyvää sisäilmastoa. Sisäilmassa ei esiinny häiritseviä hajuja eikä tiloissa tai sen rakenteissa esiinny ilman laatua heikentäviä vaurioita. Yleensä vetoakaan ei esiinny, mutta yllämpeneminen on mahdollista.

Luokan S3 sisäilman laatu on tyydyttävä, ja sen laatu, lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet vastaavat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 vähimmäisvaatimuksia. (9.)

Taulukko 1. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaiset vähimmäisilmavirrat oppilaitoksille (12).

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Äänitaso L <sub>A,eq,T</sub> / L <sub>A,max</sub> dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Opetustilat	6	3		33 / 38 *	0,20 / 0,30	#4, *C1 ohje
Käytävät / Aulat		4		38 / 43		#2
Liikuntasali:						#3
– liikuntasalikäyttö		2		38 / 43	0,30	
– juhlasalikäyttö		6		33 / 38	0,25	
Luentosali	8	6		33 / 38	0,20 / 0,30	#4
Ryhmätyötila	8	4		33 / 38	0,20 / 0,30	#4
Ruokala	6	5		33 / 38	0,25	
Varastot			0,35			#S
#1	Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.					
#2	Kiinteiden työpisteiden ilmamnopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.					
#3	Sisäilmasto ja ilmanvaihto mitoitetaan vaativimman käytön mukaisesti, oltava ohjattavissa tarpeen mukaan eri käyttötilanteisiin.					
#4	Tilan ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.					
#S	Voi käyttää siirtoilmaa					

Taulukko 2. Sisäilmayhdistys ry:n laatimat sisäilmastoluokat ja niiden mukaiset ulkoilmavirtojen mitoitusarvot (9).

Tila	Lattia-ala m <sup>2</sup> /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka/D2	
		dm <sup>3</sup> /s per henkilö	dm <sup>3</sup> /s per neliö	dm <sup>3</sup> /s per henkilö	dm <sup>3</sup> /s per neliö	dm <sup>3</sup> /s per henkilö	dm <sup>3</sup> /s per neliö
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
Hotellihuone	10	15	1,5	12	1,0	10	1,0
Käytävä ja porrashuone			1		0,5		0,5
Hissikuilu			8		8		8
Luokahuone	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Luentosali	1	11	10,5	8	7,5	6	6,0
Käytävä, aula koulussa	2	11	5,5	8	4,0		4,0
Aula	6	13	2,0	10	2,0		2,0
Päiväkoti	3	12	4,0	9	2,5	6	2,5
Päiväkodin märkäeteinen (poisto)			5		5		5

Sisäilman teknisiä tavoitearvoja rakennuksen käytön aikana on esitetty taulukossa 3. Tavoitearvot koskevat huonetilan ns. oleskeluvyöhykettä, joka alkaa lattiasta ja ulottuu 1,8 metrin korkeuteen sekä 0,6 metrin päähän seinistä (12). Ilman liikenopeuden osalta tämä tarkoittaa työpistettä 0,1 ja 1,1 metrin korkeudelta mitattuna (9).

Taulukko 3. Sisäilman teknisiä tavoitearvoja (9).

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila $t_{op}$ [°C]			
$t_u \leq 10$ °C	21,5*	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)^*$	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	24,5*	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $23 + 0,4 \times (t_u - 10)$ $t_u > 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u > 15$ °C: $t_{umax} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjäajasta]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	–
• asunnot	90 %	80 %	–

\* S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä  $t_{op} \pm 1,5$  °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.

### 3.3 Lämpöolot

Ehkä tärkein ilmastointisuunnittelun tavoite on sisätilojen oikea lämpötila, jolla luodaan perusta terveelliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle. Ihmiskehon aineenvaihdunta tuottaa lämpöä, jonka on poistettava ympäristöön, jotta ruumiin lämpötila ei nousisi liian korkeaksi, yli 37 °C. Korkea lämpötila kuormittaa elimistöä samalla tavoin kuin ruumiillinen työ. Viihtyvyyttä lämpötila on sitä alempi, mitä enemmän ihminen liikkuu, sillä tällöin lämmön tuotto on suurempi. (10.)

Lämpö voi siirtyä ympäristöön ihmiskehosta ilmaan konvektiona sekä säteilemällä ympäröiviin pintoihin. Ihminen voi säädellä lämmön siirtymistä ympäristöön vaatetuksella, mutta lämpötilan kokemisessa on jonkin verran myös yksilöllisiä eroja. Tutkimusten mukaan tavanomaisissa työ- ja asuintiloissa tyytyväisten käyttäjien osuus on suurimmillaan silloin, kun huonelämpötila on 21–23 °C. Tällöin myös tyytymättömien osuus on pienimmillään. (11.)

### 3.4 Ilman liike ja veto

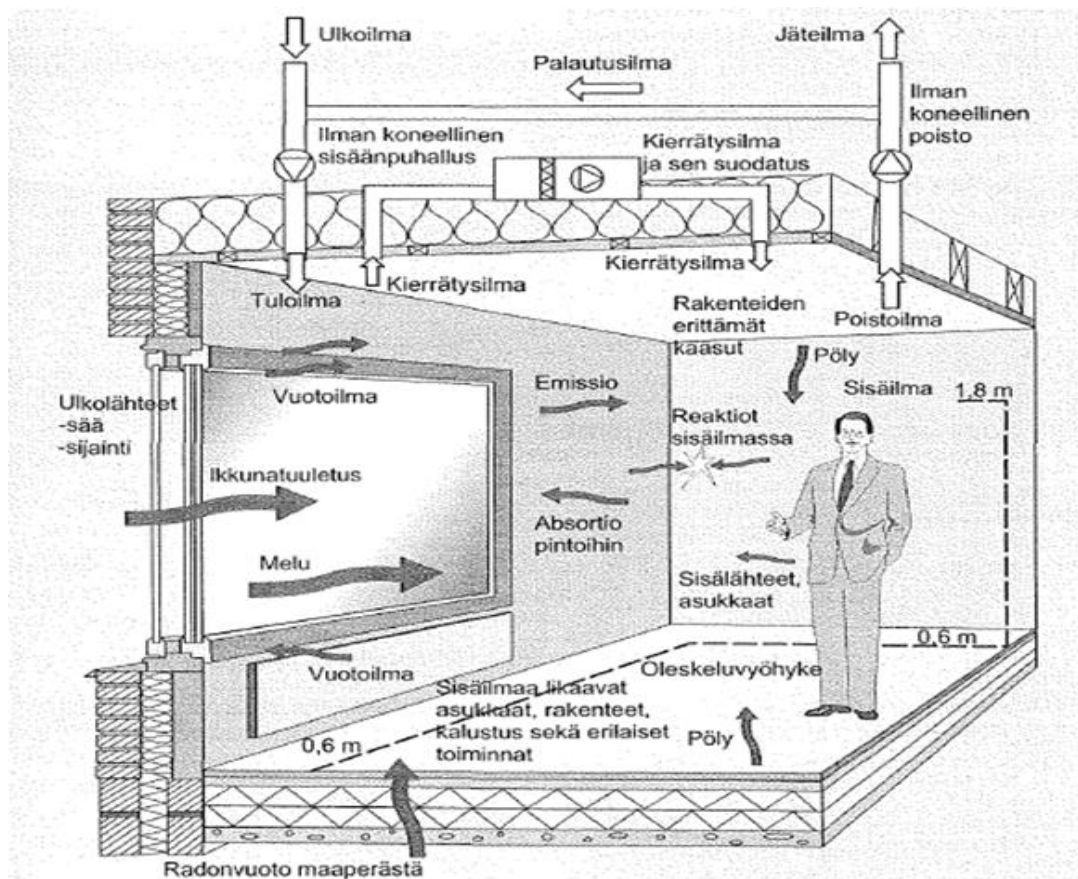
Vedon tunne aiheutuu tavanomaista voimakkaammasta paikallisesta lämmönsiirrosta iholla. Vedon aistimukseen vaikuttavia tekijöitä ovat ilman lämpötila, lämpösäteily sekä ilman liike (11). Kylmä huoneilma voi lisätä vedon tunnetta ja aiheuttaa mm.

sorminäppäryyden huononemista. Syitä huonelämpötilan vaihtelulle voivat olla esim. lämpökuormien ja ulkolämpötilan vaihtelut sekä säätölaitteiden toiminta (10). Herkimmin ihminen aistii vetoa niskassa, mutta myös käsien ja nilkkojen seudulla (11).

### 3.5 Ilman epäpuhtaudet

Sisäilman erilaiset epäpuhtaudet vaikuttavat ilman laatuun monin eri tavoin. Epäpuhtaudet voivat olla lähtöisin ulkoilmasta, ihmisestä itsestään tai rakennuksesta. Epäpuhtauspäästöt vaihtelevat ajallisesti, ja niihin vaikuttavat niin ihmisen toiminta kuin monet muut olosuhdetekijät, kuten huoneilman lämpötila sekä ilman suhteellinen kosteus. Ilmanvaihtoa ja muita teknisiä ratkaisuja, kuten ilmansuodatusta, voidaan tietyissä tapauksissa käyttää epäpuhtauksien torjunnassa ja vähentämisessä. (11.)

Kuvassa 3 on esitetty tyypillisiä sisäilman epäpuhtauslähteitä.



Kuva 3. Sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä ja epäpuhtauslähteitä (13).

Ilman epäpuhtauksia ovat esim. erilaiset kaasumaiset epäpuhtaudet, joita ovat mm. hiilidioksidi ja radon, joiden Sisäilmastoluokituksen mukaisia enimmäispitoisuuksia on kuvattu taulukossa 4.

Ilman hiilidioksidipitoisuus on yksi ilmanvaihdon mitoituksen peruste. Liiallisena määränä sisäilmassa se kertoo niin puutteellisesta ilmanvaihdosta kuin muista mahdollisista epäpuhtauksista ilmassa. Tyypillisiä liiallisesta sisäilman hiilidioksidipitoisuudesta aiheutuvia oireita ovat päänsärky, väsymys ja levottomuus, jotka laskevat suorituskykyä. Sisäilman ohjearvona hiilidioksidille voidaan pitää 1 200 ppm. (15.)

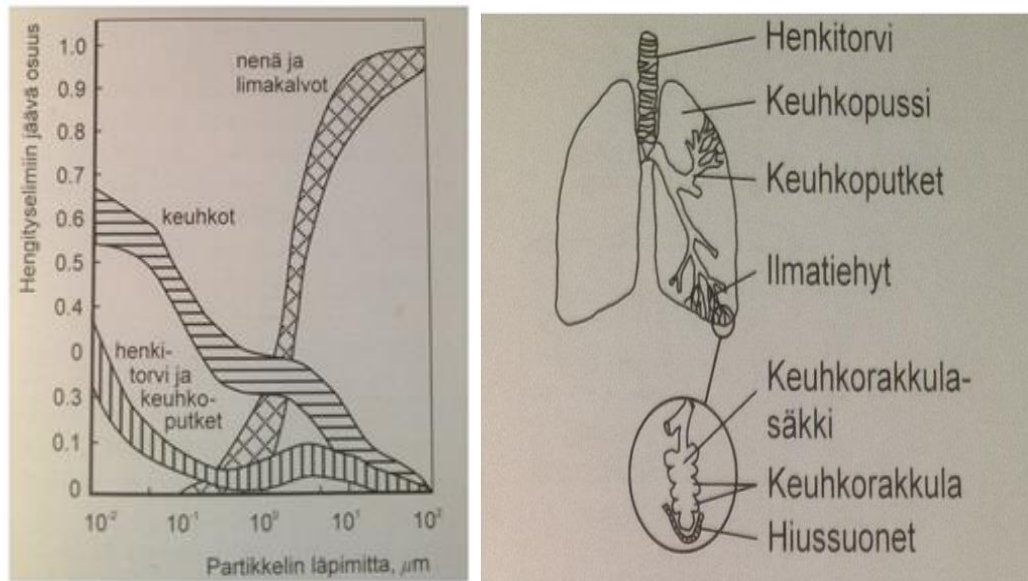
Radon on sisäilmassa esiintyvä näkymätön ja hajuton jalokaasu. Säteilyturvakeskuksen mukaan noin puolet suomalaisen saamasta säteilyannoksesta on peräisin huoneilman radonista. Radonista aiheutuvaan keuhkosityöpään sairastuu Suomessa noin 300 henkeä vuosittain. (16.)

Muita tyypillisiä huoneilmassa esiintyviä epäpuhtauksia ovat mm. ammoniakki, formaldehydi ja hiilimonoksidi eli häkä. (11.)

Taulukko 4. Ilman laadun tavoitearvoja (9).

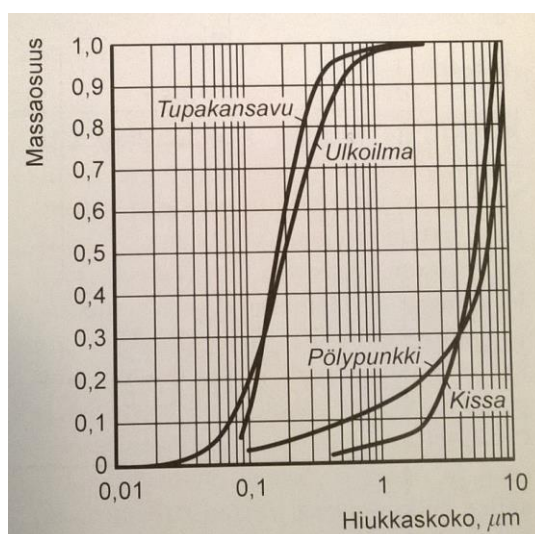
	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus [ppm]	<750	<900	<1 200
Radonpitoisuus [Bq/m <sup>3</sup> ]	<100	<100	<200
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjäajasta]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	
• asunnot	90 %	80 %	

Erilaisten hiukkasten ja partikkelien terveysvaikutukset riippuvat niiden koosta, koostumuksesta sekä kiinnittymiskohdasta hengityselimissä. Kuvassa 4 on esitetty joidenkin hiukkasten kiinnittyminen hengityselimien eri osiin. Suuret yli 2 µm:n hiukkaset kiinnittyvät ylempiin hengitysteihin, ja sitä pienemmät hiukkaset kulkeutuvat keuhkojen ääreisosiin. Keuhkojen ääreisosissa hiukkasten sisältämät myrkylliset ainesosat imeytyvät helposti kudoksiin. (11.)



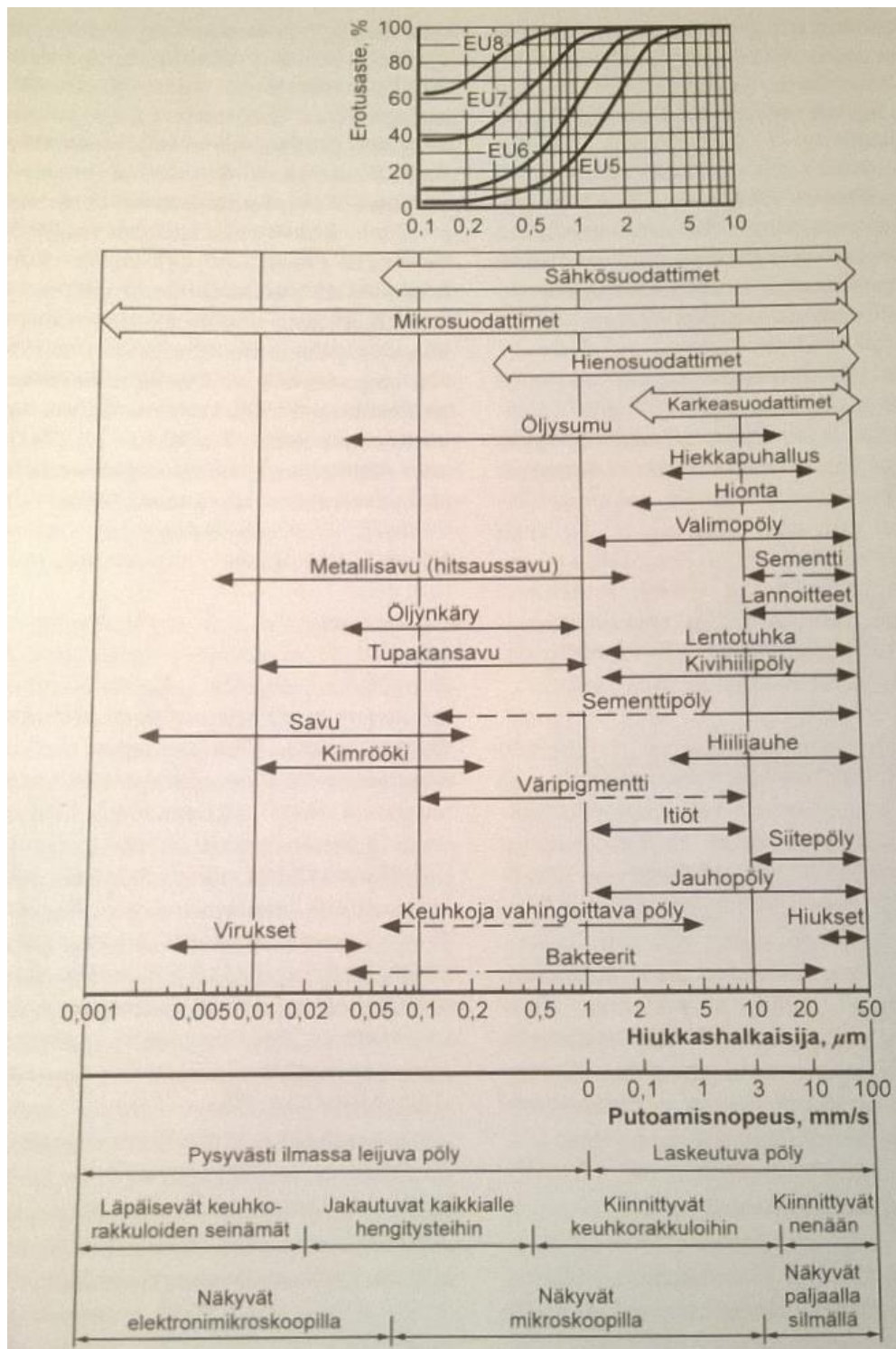
Kuva 4. Partikkelien kiinnittyminen hengityselimien eri osiin (11).

Kaasumaisten epäpuhtauksien lisäksi on olemassa kiinteitä epäpuhtauksia, kuten pölyhiukkaset. Valkuaisainepitoinen pöly on erityisen haitallinen terveydelle allergisoivan vaikutuksensa takia. Haitalliseksi tunnetut leijuvan pölyn pitoisuudet ovat erilaiset eri käyttökohteissa, joten esim. teollisuustilojen pitoisuusarvot eivät ole sovellettavissa toimisto- ja asuintiloihin. Kuvassa 5 on esitetty eräiden pölyjen jakautuminen eri hiukkassuuruuksille. Jos tiloissa on suuri henkilötiheys tai siellä käsitellään pölyävää materiaalia, on korkeita pitoisuuksia odotettavissa. Selvästi raja-arvoja korkeampia pitoisuuksia on mitattu mm. koululuokissa. (11.)



Kuva 5. Joidenkin pölyjen kumulatiivinen hiukkaskokojakauma (11).

Biologisia epäpuhtauksia ovat allergeenit, pölypunkit, homeet sekä erilaiset bakteerit ja virukset. Kuvassa 6 on havainnollistettu erikokoisten hiukkasten ominaisuuksia.



Kuva 6. Erikokoisten hiukkasten ominaisuuksia (11).

### 3.6 Sisäilmaongelmat ja terveystvaikutukset kouluympäristössä

Mediasta voi lukea lähes viikoittain sisäilmasto-ongelmista kärsivistä koulurakennuksista. Suomessa on suuri koulurakennuskanta ja erityisen ajankohtaisessa asemassa ovat 1960–1980-luvun korjausta kaipaavat koulurakennukset. Näissä on havaittu sisäilmaongelmien lisäksi myös kosteusvaurioita. Osassa rakennuksista tilanne on päässyt jopa niin huonoon kuntoon, että koulurakennuksia on jouduttu korjausyrityksistä huolimatta purkamaan kokonaan. (4.)

Yleisin ilmanvaihtojärjestelmä vanhemman kannan koulurakennuksissa on painovoimainen ilmanvaihto koneellisella poistoilmanvaihdolla. Useiden koulurakennusten käytössä on tapahtunut vuosien kuluessa muutoksia eikä tämän kaltaisilla järjestelmillä pystytä vastaamaan nykyaikaisiin sisäilman laadulle asetettuihin vaatimuksiin. Oppilasmäärät ovat kasvaneet, oppitunnit ovat pidempiä ja toisinaan tiloille on käyttöä myös iltaisin. Tilojen suuri hiilidioksidipitoisuus ja korvausilmaventtiilien puute tai niiden tukkiminen vetosyistä ovat tyypillinen esimerkki painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan ongelmista. (4.)

Uudemman rakennuskannan koulurakennukset varustetaan nykyisin pelkästään koneellisella tulo-/poistoilmajärjestelmällä. Oikeanlaisella suunnittelulla, asennuksella, säädöllä sekä ohjeiden mukaisella huolto- ja tarkastusvälillä voidaan taata hyvä ja riittävä sisäilmasto. Nykyaikaisilla järjestelmillä pystytään myös ohjata ilmanvaihtoa tarpeen mukaan sinne, missä sitä kulloinkin tarvitaan, riittävästi ja energiaa säästävästi.

Huonolla sisäilmalla on todettu olevan useitakin terveystvaikutuksia. Yleisiä, mutta vakavasti otettavia esimerkkejä ovat väsymys, päänsärky, hengityselinten tulehdukset sekä erilaiset ihottumat. Jo nuorella iällä huonon sisäilman ja kosteusvaurioiden aiheuttamille terveydellisille haitoille altistuminen voivat vaikuttaa vielä vanhemmallakin iällä.

Vuonna 1996 peruskoulutason oppilaitoksille tehdyn kyselytutkimuksen (5) mukaan arvioitiin noin neljäsosalla koulurakennuksia esiintyvän kosteusvaurioita. Kyselyn mukaan yleisemmiksi ongelmiksi koettiin riittämätön ilmanvaihto ja veto. Myöhemmin vuonna 2007 teetetyn vastaavanlaisen kyselyn (6) tuloksien perusteella homeesta ja kosteusvaurioista valitti enää 6 % kouluista, kun taas riittämätön sisäilma koettiin

edelleen yleisimmäksi ongelmakohdaksi (vastanneista 41 %). Toiseksi yleisenä ongelmana koettiin lämpötila (vastanneista 27 %). Vaikka edellä mainittujen kyselyjen tulokset ovatkin peruskoulutasolta, on oletettavaa että tulokset ovat yleisesti päteviä ja verrattavissa koko koulurakennuskannan osalta.

## 4 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihtojärjestelmän valinta riippuu jokaisen rakennuksen kohdalla useasta tekijästä, joita ovat mm. rakennuksen käyttötarkoitus, sijainti, sisäiset kuormitustekijät, sisäilmastovaatimukset sekä muunneltavuus. Ilmastoinnille asetetut tavoitteet sekä kustannukset on myös usein sovittava yhteen, jolloin vaihtoehtoja on punnittava. Siksi valinnassa on hyvä huomioida myös energiankulutus-, ympäristö- ja kustannustavoitteet. (11.)

### 4.1 Ilmanvaihtotavat

Asuinrakennuksissa yleisimmät ilmanvaihtotavat ovat koneellinen ilmanvaihto ja koneellinen poistoilmanvaihto sekä lukumääräisesti vähemmän toteutettu painovoimainen ilmanvaihto. Liike- ja toimistorakennuksissa käytetyimmät ilmanvaihtotavat ovat

- vakioilmanvaihto
- vakioilmavirta-ilmastointi
- ilmastointipalkki-ilmastointi
- puhallinkonvektori-ilmastointi
- muuttuvilmavirta-ilmastointi

Koulurakennusten ilmanvaihto on yleensä toteutettu vakioilmanvaihdolla. Joidenkin tilojen ja luokkahuoneiden osalta vakioilmanvaihtoa on voitu tukea luokkahuonekohtaisella säädöllä tai puhallinkonvektoreilla. (11.)

## 4.2 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu ns. MIV-järjestelmään eli muuttuvailmavirta-ilmastointiin. Muuttuvailmavirta-ilmastointi soveltuu hyvin tiloihin, joissa tarvitaan suuria ilmavirtoja ja lämpökuormat ovat suuret. Myös kuormituksen suuri vaihtelu eri käyttötilanteissa on tällaisille tiloille tyypillistä. Näitä tiloja ovat kokous- ja neuvottelutilat sekä luokkahuoneet. (11.)

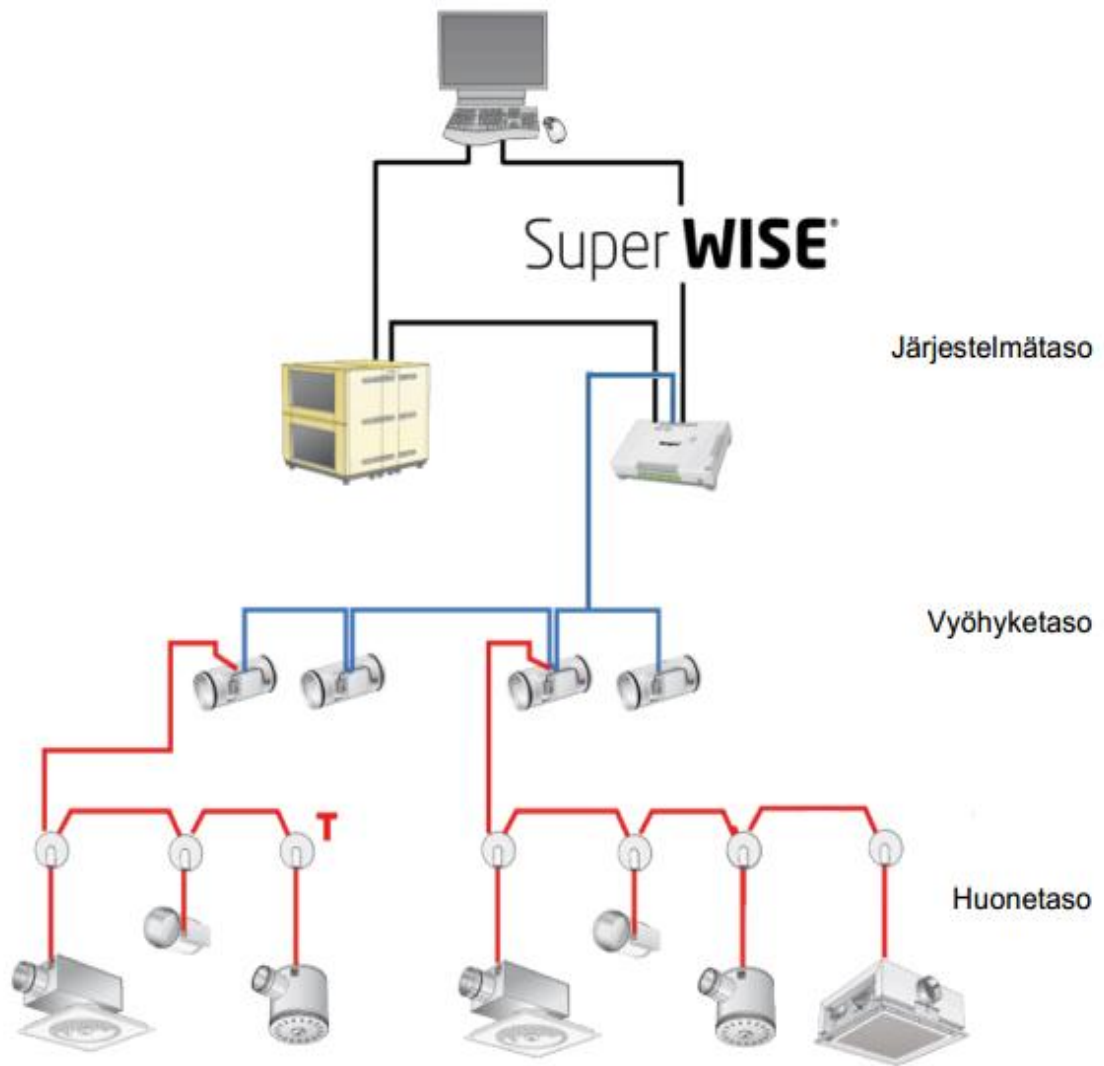
Tarpeenmukaisesti ohjatuissa ilmanvaihtojärjestelmissä ilmavirran säätö tapahtuu mittausarvon mukaan, joka voi perustua esim. ilman laatuun, läsnäoloon tai ilman hiilidioksidipitoisuuteen. Järjestelmä koostuu keskuslaitteistosta, siirtolaitteistosta ja huonelaitteistosta. Jotta järjestelmä toimisi oikein, kaikkien järjestelmään liittyvien komponenttien on täytettävä niille asetettavat vaatimukset. Tämä on tärkeää huomioida kohteissa, joissa ilmanvaihtoa tai -järjestelmää halutaan parantaa tai muuttaa jälkikäteen. (11.)

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan parantaa sisäilmastoa sekä säästää energiaa. Tarpeeton ilmanvaihdon käyttö kuluttaa turhaan puhaltimen sähköenergiaa sekä ilmanvaihdon jäähdyttämiseen ja lämmittämiseen tarvittavaa energiaa. (11.)

## 4.3 Swegonin WISE-järjestelmän esittely

Smart Campus -hankkeen yhteistyökumppanina toimi Oy Swegon Ab, joka kehittää, markkinoi ja valmistaa erilaisia tuotteita ja ratkaisuja ilmanvaihtojärjestelmiin. Pilottiluokkien sijainti saman IV-koneen vaikutusalueella, sekä ilmanvaihtojärjestelmän ja siihen liittyvän rakennusautomaation soveltuminen Swegonin WISE-järjestelmäksi muuttamiselle olivat optimaaliset.

WISE-järjestelmällä voidaan ohjata useampaa järjestelmää samanaikaisesti, kuten esim. ilmanvaihtoa, jäähdytystä ja valaistusta. Tällöin järjestelmästä voidaan saada kompakti kokonaisuus. Järjestelmä antaa mahdollisuudet toteuttaa koko kiinteistön kattava ratkaisu tai vain huone- ja vyöhykekohtaisia ratkaisuja. Järjestelmää voi seurata ja hallita etänä valvomosta etäohjelman avulla (21). Kuvassa 7 on esitetty WISE-järjestelmän säätökaavio, joka helpottaa järjestelmän havainnollistamista.



Kuva 7. Swegonin WISE-järjestelmäkaavio (22).

WISE-järjestelmän älykäs ilmavirtasäädin, ADAPT Damper (kuva 8), voidaan asentaa tulo- ja poistoilmakanavaan ja sen tehtävänä on säädellä ilmavirtaa esiasetetuilla minimi-, maksimi- ja poissaoloilmavirroilla. Järjestelmä voi koostua huonekohtaisista kanavasäätimistä ja/tai aktiivista ADAPT-päätelaitteista. ADAPT-Damperissa on sisäänrakennettu lämpötila-anturi sekä ilmanlaatua havainnoiva CAC-anturi. Aktiivisessa ADAPT-päätelaitteessa lämpötilan ja läsnäolon mittaus on sisäänrakennettu. (20.)



Kuva 8. ADAPT-Damper-ilmavirtasäädin (20).

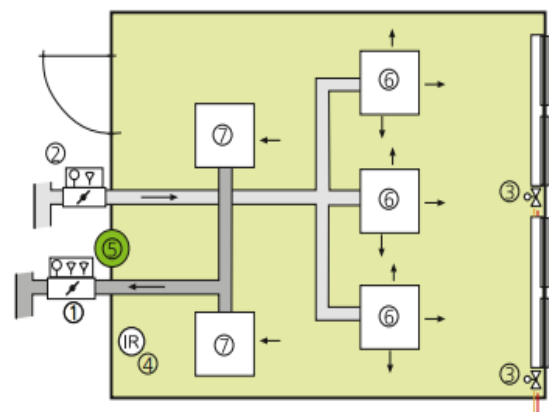
Huonesäätöjärjestelmä toimii itsenäisesti, mutta se kommunikoi erillisen kiinteistöautomaation kanssa järjestelmäkeskus Super WISE:n kautta. Järjestelmää voidaan tarvittaessa laajentaa myöhemmin tulevaisuudessa uusilla ADAPT-säätimillä, sillä Super WISE-järjestelmäkeskus tunnistaa nämä automaattisesti. (20.)

Kuvassa 9 on havainnollistettu WISE:n eri komponenttien toimintaa ja ilmavirtakaavio selkeämmin.

#### Osat

1. Huonesäätöpelti ADAPT Damper (isäntä) poistoilmalle sisäänrakennetulla lämpötila-anturilla, ilmanlaatuanturilla, ilmavirran mittauslaitteella ja ilmavirtojen ohjauksella motorisoidun pellin avulla.
2. Huonesäätöpelti ADAPT Damper (orja) tuloilmalle sisäänrakennetulla lämpötila-anturilla, ilmavirran mittauslaitteella ja ilmavirtojen ohjauksella motorisoidun pellin avulla.
3. Patterin venttiilitoimilaite
4. Läsnaöoloanturi
5. Kytentärasia (toimitetaan isäntäpellin mukana)
6. Tuloilmalaite, joka pystyy käsittelemään vaihtuvia ilmavirtoja ja suuria alilämpötiloja, esim. LOCKZONE, COLIBRI ja EAGLE Ceiling
7. Poistoilmalaite, esim. PELICAN Ceiling

#### Ilmavirtakaavio



Kuva 9. Esimerkki, tarpeenmukainen ilmanvaihto huonesäätöpellillä ja lämmityspattereiden ohjauksella (21).

## 5 Pilottiluokkien esittely

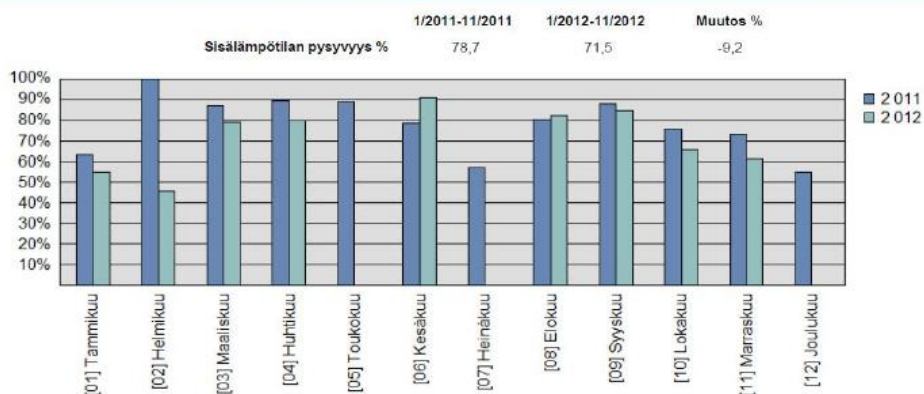
### 5.1 Sähköisen huoltokirjan yhteenvetoraportin tarkastelua

Myyrmäen toimipisteen kiinteistön tilaa ja energiankulutusta seurataan mm. Granlund Oy:n RYHTI-järjestelmän avulla. Järjestelmän pohjalta laaditussa vuoden 2012 yhteenvetoraportissa oli nähtävissä jonkinasteisia puutteita koko kiinteistön osalta sekä pilottiluokkiinkin vaikuttavan ilmanvaihtokone TK42:n alueella. Raportin mukaan toimipisteessä sekä lämpöenergian että vedenkulutus ovat laskeneet edelliseen vuoteen verrattuna, mutta sähköenergian kulutus on noussut. (14.)

Yhteenvetoraportissa oli nähtävissä vertailu mm. kiinteistön sisälämpötilan pysyvyydestä tavoitearvoissa ajanjaksolta tammikuu 2011 – marraskuu 2012. Tilojen lämpötilaolosuhteita seurataan huone- ja poistolämpötilamittauksilla. Prosentuaalisesti vuonna 2011 seurattujen kuukausien sisälämpötilan pysyvyys toteutui 78,7-prosenttisesti, kun taas vuonna 2012 enää 71,5-prosenttisesti. Sisälämpötiloissa oli siis tapahtunut 9,2 %:n muutos huonompaan. Osittain tuota pudotusta pystytään selittämään sillä, että vertailua esittävästä kaaviosta 1 puuttui kokonaan vuoden 2012 kesäkuun tulos. (14.)

Ajanjakso = Tammikuu / 2011 - Marraskuu / 2012

Kiinteistö = Vantaa



Kaavio 1. Sisäilmalämpötilan pysyvyys tavoitearvoissa (14).

Kuvassa 10 on nähtävissä yhteenvetoraportista saatu kuvaaja, jossa on näytetty lämpötilan vaihteluvälin tilavertailu ajanjaksolta lokakuu – marraskuu 2012 usean

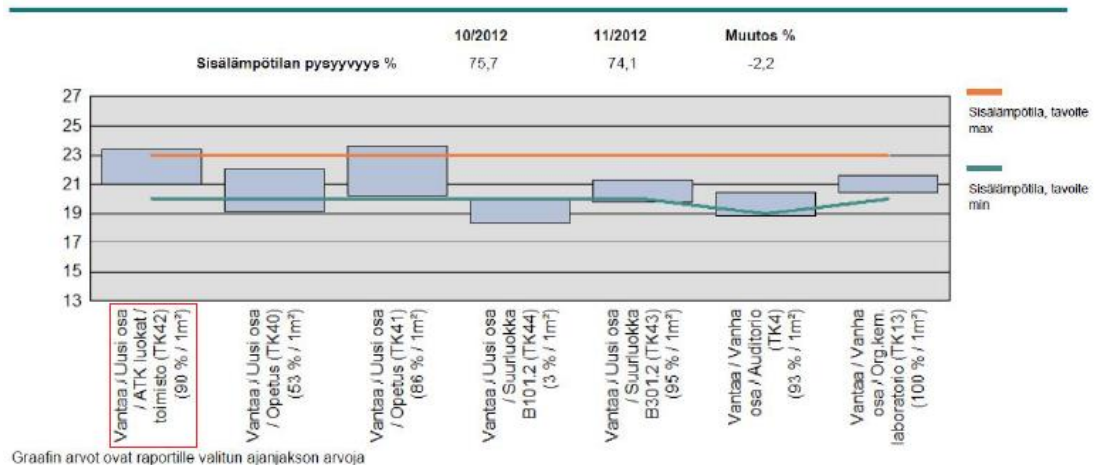
Myyrmäen kiinteistön ilmanvaihtokoneen osalta. Kuvaajasta voi nähdä, että sisälämpötilan pysyvyys on laskenut kuukauden aikana 2,2 %.

Sisäilmastoluokituksessa on määritelty tavoitearvot lämpötilan pysyvyydelle (taulukko 3) mm. opetustiloille. Luokassa S1 olosuhteiden pysyvyydeksi on asetettu 95 % käyttöajasta ja luokassa S2 se on 90 %. Heikoimmalle luokalle S3 tuota arvoa ei ole erikseen määritelty (9). Kuvasta 10 voi nähdä, että TK42 kuitenkin täyttää S2-luokan vaatimustason, vaikka se on ylittänytkin sille asetetun sisälämpötilan maksimiarvon 23 °C.

Ajanjakso = Lokakuu - Marraskuu / 2012

Kiinteistö = Vantaa

Tilaryhmä = Suodatus ehdot viimeisellä sivulla.



Kuva 10. Lämpötilan vaihteluvälin tilaverailu. Pilottiluokkiin vaikuttavan ilmanvaihtokoneen TK42 osuus on ympyröitynä kuvaajassa (14).

## 5.2 Pilottiluokat

Hankkeen myötä tarkemman tarkastelun alle päätyneet pilottiluokat sijaitsivat Myyrmäen kampuksen uudemmalla puolella B-osan 2. kerroksessa. Kummankin huoneen ilmanjaon periaate oli sekoittava, ja jäähdytys tapahtui ilmanvaihdon avulla. Koska hankkeessa pyrittiin energiaa säästäviin ratkaisuihin, päädyttiin pilottiluokkien kohdalla soveltamaan tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Samalla käytävällä on ATK-luokkia, toimistoja sekä laboratoriotiloja. Syitä pilotointikohteeksi valinnalle oli mm. se, että molemmat luokat sijaitsivat saman ilmanvaihtokoneen TK42 vaikutusalueella. Vaikutusaluekuva on katsottavissa liitteestä 3.

Tutkittavan kohteen käytävällä on tapahtunut vuosien saatossa joitakin tilamuutoksia. Hankkeessa käsiteltävät pilottiluokat toimivat nykyään ATK-tilana sekä tavanomaisena opetustilana, mutta aikaisemmin ne ovat toimineen laboratorioina, mikä sekin toimi yhtenä valintasyynä pilotoinnille.

Hankkeen myötä koulun henkilökunnalle ja opiskelijoille tehtyjen kyselyjen mukaan näissä luokkatiloissa oli havaittu lämmön nousua ja tunkkaisuutta päivän aikana. Luokkien ilmanvaihtojärjestelmän komponentit olivat myös hyvin esillä, joten hankkeen myötä mahdollisten uusien laitteiden asennustyö olisi helppoa. Liitteessä 5 on katsottavissa lisää valokuvia luokista hankkeen alussa.

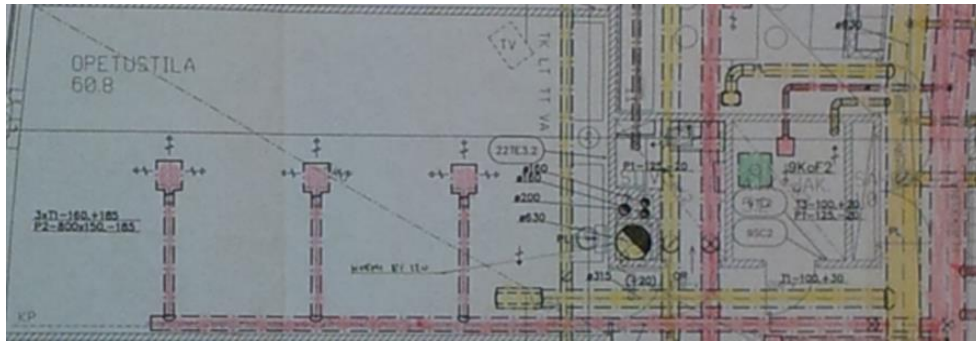
### 5.2.1 Pilottiluokka B243

Pilottiluokka B243 (kuva 11) on 60,8 m<sup>2</sup>:n kokoinen tavanomainen luokkahuone. Tuloilmaventtiilejä tilassa oli 3 kpl hajottimiseen ja yksi isohko poistoilmaventtiili. Tuloilman pääkanavan halkaisija oli 315 mm ja haarat 160 mm. Poistupuolen kanava oli halkaisijaltaan 315 mm.

Tarkastelumme seurauksena totesimme, että tilan ilmanjako oli toteutettu alkuperäisten piirustuksien mukaisesti (kuva 12).



Kuva 11. Pilottiluokka B243, lähtötilanne.



Kuva 12. Pilottiluokka B243, alkuperäiset piirustukset, lähtötilanne.

### 5.2.2 Pilottiluokka B244

Pilottiluokka B244 (kuvat 13 ja 14) on pinta-alaltaan 84 m<sup>2</sup>:n tila, joka toimii nykyään ATK-luokkana. Ajalta, jolloin luokka oli toiminut laboratoriona, on viitteitä mm. tilan ovella, jonka yhteydessä oli näkyvillä käytöstä poistettu hätäsuihkun paikka.



Kuva 13. Pilottiluokka B244, lähtötilanne.

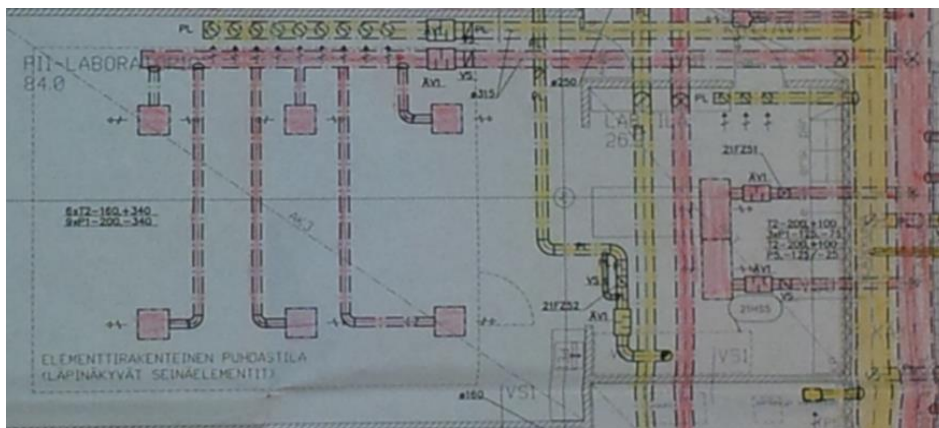
Tilan ilmanjako oli toteutettu usealla eri ratkaisulla eikä tilan ilmanjakoa ole käyttötavan muutoksen jälkeen muunnettu vastaamaan uutta tarkoitusta. Kuten kuvasta 13 näkee, tilassa on useita tietokoneita, joiden voi olettaa aiheuttavan tilaan ylimääräistä lämpöä.

Tilan ilmanvaihtosuunnitelma poikkesi myös piirustuksissa nykytilasta (kuva 15). Esim. luokan keskiosaan vedetty ylimääräinen poistoilmaventtiili ei näy piirustuksissa lainkaan, kuten ei myöskään kuvassa 14 näkyvä tuloilmalaatikko. Havaitsimme edellä mainitun tuloilmalaatikon alapuolisen istumapaikan kohdalla huomattavan vedon tunteen.

Sekä tulo- että poistoilman kanavat olivat halkaisijaltaan 315 mm ja tuloilman haaraosat 160 mm.



Kuva 14. Pilottiluokka B244, lähtötilanne. Vasemmalla alhaalla näkyy käytöstä poistettu hätäsuihku. Kuvassa myös piirustuksista puuttuva tuloilmalaatikko ja poistoilmaventtiili.



Kuva 15. Pilottiluokka B244:n piirustukset lähtötilanteessa.

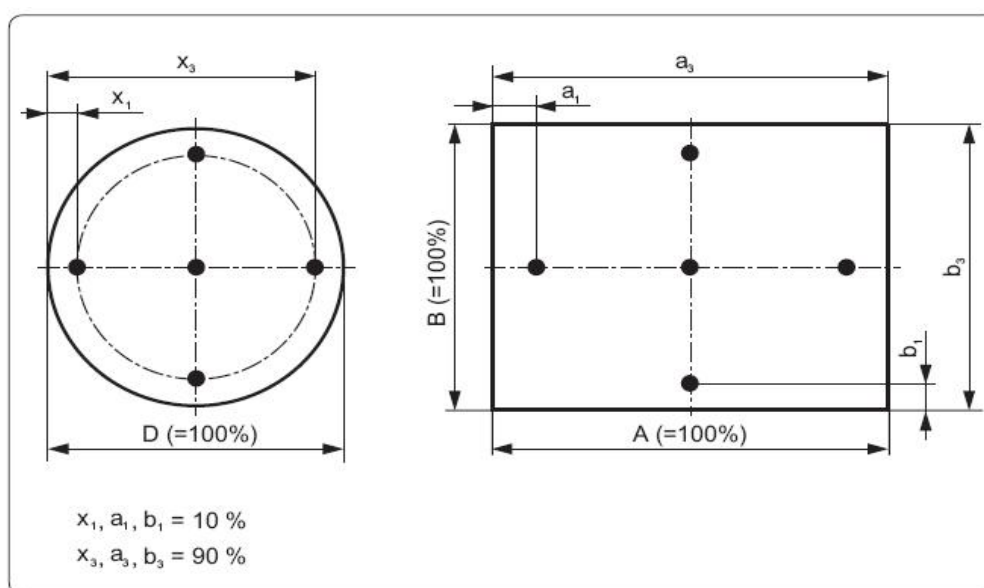
## 6 Mittausmenetelmät ja teoria

Selvittääksemme tilakohtaiset ilmavirrat ne täytyi mitata. Selvitimme myös pilottiluokkiin vaikuttavan ilmanvaihtokoneen TK42 konekohtaiset tiedot sekä ilmamäärät, jotka ovat katsottavissa liitteestä 4.

Mittaukset suoritettiin pääasiallisesti niin sanotulla viiden pisteen menetelmällä pitotputken avulla yhdessä ryhmämme jäsenten kanssa. Ilmanvaihtokonehuoneessa mittaukset suoritettiin koneen pääkanavista ja luokkatiloissa näkyvistä kanavista. Monipistemittauksen etuna on käytön joustavuus sekä suhteellisen hyvä luotettavuus. (8.)

Viiden pisteen menetelmässä paine-eromittaus tehdään kanavan poikkileikkauksen viidessä pisteessä kuvan 16 osoittamissa kohdissa eli kanavan keskeltä sekä 10 % kanavan halkaisijasta otetulla etäisyydellä kaikista reunoista. Tässä on otettu huomioon virtausnopeuden vaihtelu. (8.)

Menetelmää käytettäessä on huomioitava myös sille asetetut rajoitukset erimuotoisille kanaville, jotka ovat pyöreille kanaville  $D = 150 - 400$  mm ja suorakaidekanaville  $A$  ja  $B = 150 - 500$  mm. Kertoimet menetelmälle ovat pyöreälle kanavalle  $k = 1,0$  ja suorakaidekanavalle  $k = 0,96$ . (8.)



Kuva 16. Viiden pisteen mittausmenetelmä (8).

Ilman virtausnopeus lasketaan mitatusta paine-erosta Bernoullin yhtälöstä johdetulla kaavalla:

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

jossa

$\Delta p$  on mitattu paine-ero ja  $\rho$  on ilman tiheys  $1,2 \text{ kg/m}^3$ .

Pyöreän kanavan poikkipinta-ala lasketaan kaavalla:

$$A = \pi r^2 \quad (2)$$

jossa

$r^2$  on kanavan säde korotettuna toiseen potenssiin.

Kantikkaan kanavan poikkipinta-ala lasketaan kaavalla:

$$A = ab \quad (3)$$

jossa

$a$  ja  $b$  ovat kanavan sivujen pituudet.

Mitoitusvirtaaman  $q_v$  saa kertomalla poikkipinta-alan ja virtausnopeuksien keskiarvon keskenään kaavan 3 mukaisesti

$$q_v = vA \quad (4)$$

jossa  $v$  on kaavalla 1 laskettu ilman virtausnopeus ja  $A$  on kaavalla 2 tai 3 laskettu kanavan poikkipinta-ala.

## 7 Mittaustulokset ja suunnitelmat

### 7.1 Mittaustulosten esittely

Taulukoissa 5–8 on esitetty saadut mittaustulokset pilottiluokkien ilmamäärien osalta hankkeen alussa. Mittaukset ja laskelmat on suoritettu luvun 6 esitetyillä menetelmillä. Mittaustuloksia on tässä kohtaa pyöristetty hieman, mutta tarkemmat mittaustulokset ovat katsottavissa liitteestä 1.

Taulukko 5. Pilottiluokka B243, ilmamäärämittaukset tuloilman osalta.

Luokkahuone B243					
TULOILMA					
Kanavakoko		250 mm			
Mittauspisteet	$\Delta P$ pa	v m/s	ka dm <sup>3</sup> /s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	8	4,00			
2.	8	4,00			
3.	7	3,74			
4.	8	4,00			
5.	9	4,24			
			39,97	4,91	196

Taulukko 6. Pilottiluokka B243, ilmamäärämittaukset poistoilman osalta.

Luokkahuone B243					
POISTOILMA					
Kanavakoko		315 mm			
Mittauspisteet	$\Delta P$ pa	v m/s	ka dm <sup>3</sup> /s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	8	4,00			
2.	6	3,46			
3.	5	3,16			
4.	7	3,74			
5.	7	3,74			
			36,22	3,14	114

Taulukko 7. Pilottiluokka B244, ilmamäärämittaus tuloilman osalta.

Luokkahuone B244					
TULOILMA					
Kanavakoko		250 mm			
Mittauspisteet	$\Delta P$ pa	v m/s	ka dm <sup>3</sup> /s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	10	4,47			
2.	9	4,24			
3.	7	3,74			
4.	10	4,47			
5.	6	3,46			
			40,79	4,91	200

Taulukko 8. Pilottiluokka B244, ilmamäärämittaukset poistoilman osalta.

Luokkahuone B244					
POISTOILMA					
Kanavakoko		200 mm			
Mittauspisteet	$\Delta P$ pa	v m/s	ka dm <sup>3</sup> /s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	5	3,16			
2.	5	3,16			
3.	6	3,46			
4.	4	2,83			
5.	5	3,16			
			31,56	3,14	99

## 7.2 Mittaustulosten analysointia

Kun mittauksista saatuja tuloksia verrataan esim. RakMK:n osan D2 määrittämiin ilmamääriin, voidaan todeta, että tilojen ilmanvaihdossa on ollut puutteita. Tilojen ilmanvaihto on selvästi mitoitettu ylipaineiseksi, jonka voidaan olettaa olevan ajalta, jolloin tilat toimivat laboratorioina. Ilmanvaihtoa ei ollut säädetty vastaamaan luokkahuoneiden nykyistä käyttötarkoitusta. Etenkin luokkahuone B244:n poistoilman

määrä oli aivan liian pieni vastatakseen ATK-luokan vaatimuksia, sillä läpi vuorokauden päällä olevat tietokoneet tuottavat paljon lämpöä.

Tuloksilla voidaan selittää tiloissa havaittu huono sisäilma, lämpö sekä tunkkaisuus, sillä sekä tulo- että poistoilman määrä ovat jopa merkittävästi liian pienet verrattaessa määräyksien mukaisiin suosituksiin. Vertailu on esitetty taulukossa 9. Tilojen ilmanvaihto vastaa Sisäilmastoluokituksen mukaista luokkaa S3.

Taulukko 9. Pilottiluokkien ilmamäärät RakMK:n osan D2 mukaisilla arvoilla.

B243		
Tilan pinta-ala	60,8	m <sup>2</sup>
Tulo/poistoilmamäärä (D2)	3	(dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>
	<b>182</b>	<b>dm<sup>3</sup>/s</b>

B244		
Tilan pinta-ala	84	m <sup>2</sup>
Tulo/poistoilmamäärä (D2)	3	(dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>
	<b>252</b>	<b>dm<sup>3</sup>/s</b>

### 7.3 Tavoitteet ja suunnitelmat

Pilotoinnin myötä päädyttiin soveltamaan opetustiloihin tarpeenmukainen ilmanvaihto Swegonin järjestelmällä sekä modernisoimalla tiloihin kiinteistöautomaatio. Tavoitteiksi asetettiin energiansäästö ilmanvaihdon tehokkaammalla ohjauksella sekä huonekohtaisen seurannan avulla. Jotta järjestelmä toimisi oikein, muutettiin pilottiluokkiin vaikuttava tavanomaisella vakioilmavirralla (CAV) toimiva ilmanvaihtokone TK42 taajuusmuuttajaohjatuksi ja tarpeenmukaisesti säätäväksi (DCV). Muutokset siis rajattiin pelkästään pilottiluokkiin, eikä koko ilmanvaihtokone TK42:n vaikutusalueen tiloihin.

Luokkahuoneiden ilmamääräsäätö suunniteltiin siten, että runkokanavasta lähtevään haaraan sijoitettiin tavanomaisen säätöpellin tilalle Swegonin ADAPT Damper. Asennus tehtiin sekä tulo- että poistoilmakanavaan. Ilmamääräsäädinten sijoitus tapahtui käytävän puolelle, jotta välttyttäisiin mahdollisilta ääni- ja huoltohaitoilta.

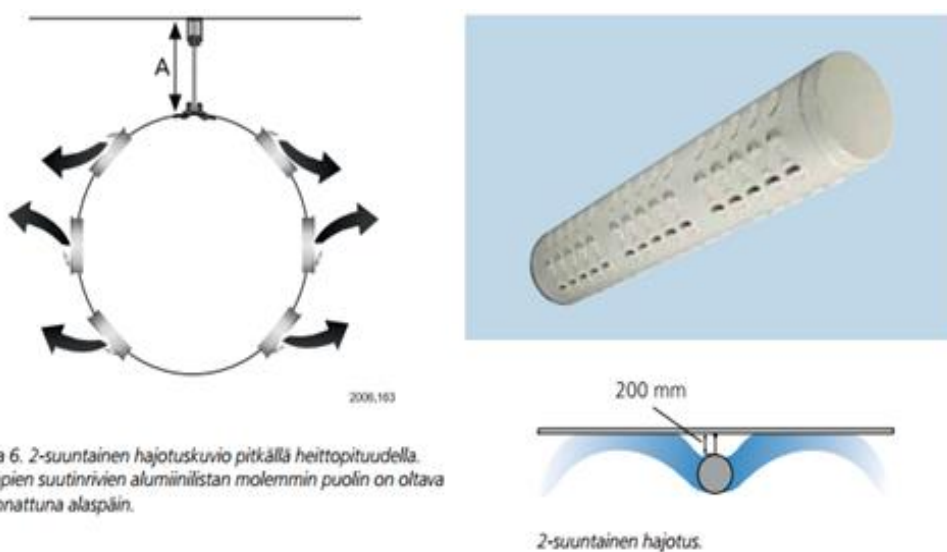
Poistoilman lämpötilaa ja laatua tarkkailisi tästä eteenpäin ADAPT Damperin CAC- ja lämpötila-anturi. Säädin säätää tarvittavaa ilmavirtaa mittauksen perusteella. Kummallekin luokkatilalle on ADAPT Damperiin poissaolotilanteessa aseteltu poissaoloilmavirta. Läsnaoloanturin havaitessa tiloissa liikettä säätyy ADAPT Damper minimi-ilmavirralla. Kuormituksen kasvaessa ADAPT Damper lisää ilmavirtaan tarpeen

mukaan. Ilmavirtaa säättävän ADAPT-pellin avautuessa tilan ilmamäärä kasvaa. Tällöin kanavistossa mitattava paine laskee, jolloin kone nostaa puhaltimen kierroksia lisäten ilmamäärää, ja saavuttaakseen sille määritellyn painetasen tietyssä pisteessä kanavistoa. Tätä kautta kone siis reagoi muuttuneeseen tarpeeseen, ja lopputuloksena tilaan saadaan suurempi ilmamäärä.

Ilmanvaihdon näkyvien komponenttien osalta suurimman muutoksen koki ATK-luokka B244, sillä projektin kuluessa luokkahuone B243 muuntui opintotoimiston käyttöön. Kuitenkin tilan B243 olemassa olevien ilmanvaihdon pääte-elinten todettiin toimivan uudella tarpeenmukaisella ohjauksella.

Luokan B244 osalta tuloilman pääte-elimet vaihtuivat neljään Swegonin IBIS-suutinkanavaan, jotka on esitetty kuvassa 17. Suutinrivien määrä asennetuissa kanavissa on 4. Poistoilman osalta vanha kanavaosa pääte-elimineen hyödynnettiin. Varsinaiset asennus- ja muutostyöt tehtiin kuvan 18 suunnitelmien mukaisesti. Suunnitelmat tehtiin siten, ettei muutostöistä aiheutunut haittaa tilojen rakenteille ja ettei esim. ikkunoiden ”pullistumista” tapahtuisi. Tavoitteenamme oli myös saavuttaa tiloihin Sisäilmastoluokituksen mukainen S2-luokka.

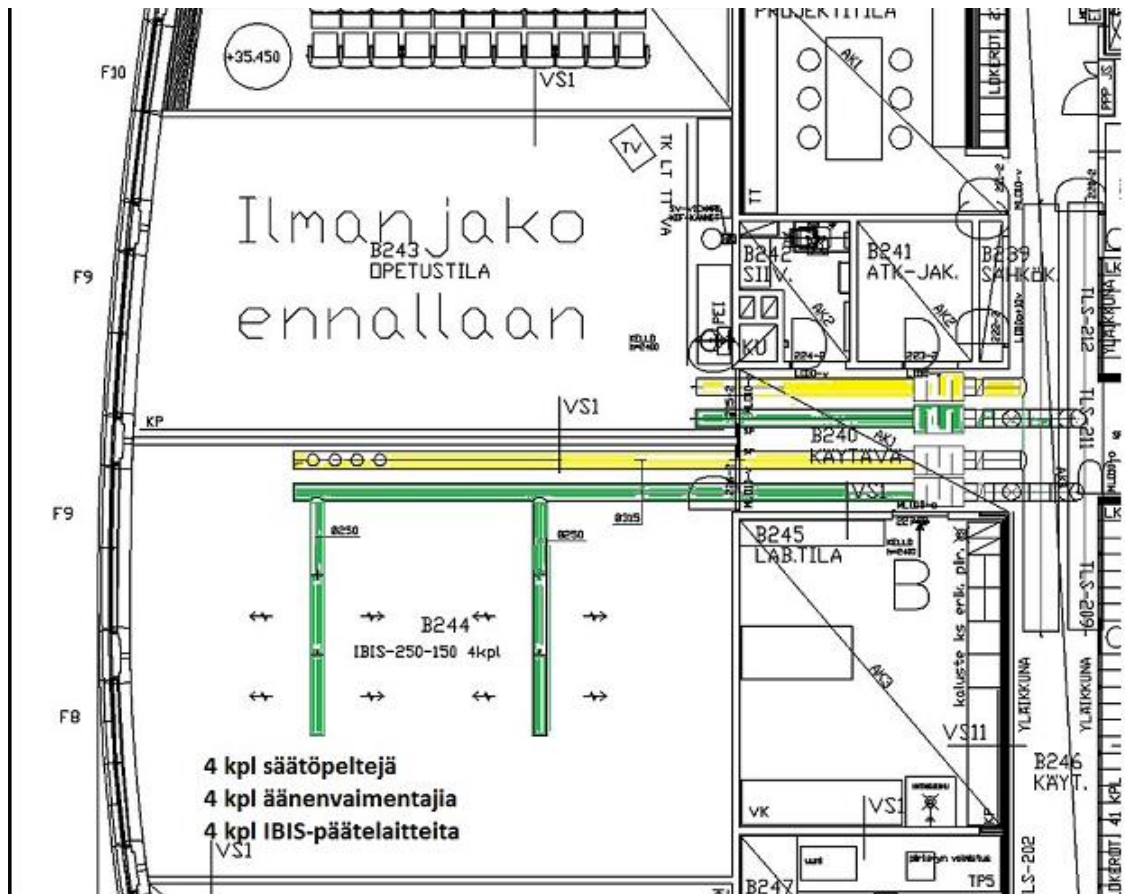
Pilotoinnin myötä tehtävistä asennus- ja muutostöistä aiheutuvat kustannus- ja kannattavuuslaskelmat sekä tarjouspyynnöt on laskettu ja esitelty toisissa hankkeessa mukana olleiden opiskelijoiden insinööritöissä.



Kuva 6. 2-suuntainen hajotuskuvio pitkällä heittopituudella. Ylimpien suutinrivien alumiinilistan molemmin puolin on oltava suunnattuna alaspäin.

2-suuntainen hajotus.

Kuva 17. Havainnekuva Swegonin IBIS-suutinkanavasta (23).



Kuva 18. Suunnitellut muutokset pilottiluokkien osalta.

## 8 Toteutetut muutokset ja lopputulokset

Asennus- ja muutostyöt tehtiin luvussa 7 esitettyjen suunnitelmien mukaisesti. Uusien ilmamääräsäädinten asennus tehtiin luokkien ulkopuolelle ja nyt poissaoloilmavirta on asetettu kummallekin tilalle arvoon  $0,5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ . Ilmavirta säätyy minimi-ilmavirralla  $1 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ , kun läsnäoloanturi havaitsee luokassa liikettä, minkä jälkeen ADAPT-huonesäädin lisää ilmavirtaa tarpeen mukaan aina arvoon  $4 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$  saakka.

### 8.1 Pilottiluokka B243

Kuten luvun 7 suunnitelmissa mainittiin, luokka B243 koki vähiten näkyviä muutoksia verrattaessa toiseen pilottiluokkaan. Tila on nyt opintotoimiston käytössä. Kuitenkin luokka on nyt tarpeenmukaisesti ohjattu ja alustavan palautteen mukaan tilan

ilmanvaihdossa ei ole havaittu merkittäviä puutteita. Vaikka muutosta ei voida aivan täydellisesti verrata lähtötilanteeseen, on tila kuitenkin tarpeen vaatiessa muutettavissa takaisin luokkahuoneeksi ja tällöin myös ilmanvaihto tulee muuntautumaan lähes itsestään vastaamaan uutta käyttötarkoitusta.

## 8.2 Pilottiluokka B244

Luokan B244 muutokset ovat nähtävissä kuvissa 19 ja 20. Tilan ilmanjako on nyt yhtenäisempi ja selkeämmin toteutettu. Tuloilman IBIS-päätelaitteiden ilmavirran hajotuskuvio jakaa ilman tasaisemmin koko luokkaan, eikä vedon tunnetta pitäisi aiheutua etenkin yksittäisillä istumapaikoilla, mikä oli aikaisemmin yksi tilan ilmanvaihdossa havaituista ongelmista.

Tuloilman päätelaitteet on asennettu katonrajaan siten, ettei tilan loisteputkivalaisimet aiheuta pääte-elimeltä lähtevälle ilmasuihkulle esteitä vaan ilmavirtaus saa levittäytyä tilaan optimaalisella tavalla.

Tilan jäähdytys tapahtuu edelleen ilmanvaihdon avulla, mutta koska luokan ilmanvaihto on nyt mitoitettu vastaamaan sen varsinaista käyttötarkoitusta, saadaan tilaan suurempi jäähdysteho. Näin ollen tietokoneista aiheutuva lämpökuorma saadaan katettua parannetulla ilmanvaihtoratkaisulla.



Kuva 19. B244:n ilmastointiratkaisu muutostöiden jälkeen.



Kuva 20. B244:n muutostyöt kuvattuna ovelta.

Luokan B244 osalta suoritimme jälkitarkasteluna uudet ilmamäärämittaukset muutostöiden jälkeen. Mittauksissa käytimme samaa monipistemittausmenetelmää, kuten aiemmissakin mittauksissa hankkeen alkuvaiheessa.

Tulokset on esitetty taulukoissa 10 ja 11. Tässäkin tapauksessa tuloksia on pyöristetty hieman, mutta tarkemmat arvot ovat nähtävissä liittessä 2. Taulukoon on myös merkitty vertailun vuoksi myös Swegonin etäohjelmasta luetut tulokset. Mittaushetkellä luokka oli ollut tyhjiällä jo jonkin aikaa, ja läsnäolomme tilassa käsitti lähinnä valmistavat toimenpiteet mittausta varten sekä itse mittauksen.

Taulukko 10. Luokkahuone B244 muutostöiden jälkeen tuloilman osalta. Merkintä  $k = 36,1$  on valmistajan ohjeiden mukainen korjauserroin kanavakoolle 250 mm.

Luokkahuone B244 IBIS 250 $k = 36,1$					
TULOILMA					
Kanavakoko	250	Swegonin mittaus:		147	dm <sup>3</sup> /s
Mittauspisteet	$\Delta p$ Pa	v m/s	ka m/s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	8	3,65			
2.	6	3,16			
3.	6	3,16			
4.	7	3,42			
5.	4	2,58			
			3,19	0,05	157

Taulukko11. Luokkahuone B244 muutostöiden jälkeen poistoilman osalta.

Luokkahuone B244						
POISTOILMA						
Kanavakoko	200	Swegonin mittaus:			103	dm <sup>3</sup> /s
Mittauspisteet	$\Delta p$ Pa	v m/s	ka m/s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s	
1.	8	3,65				
2.	8	3,65				
3.	8	3,65				
4.	7	3,42				
5.	8	3,65				
			3,60	0,03	113	

Poikkeama ryhmämme ja Swegonin mittaustuloksien välillä on selitettävissä monipistemenetelmän mittausvirhemarginaalista. Swegonin mittaustulos on kirjattu suoraan järjestelmän etäohjelman antamista arvoista. On kuitenkin selvää, että tulokset ovat hankkeen alussa tehtyihin mittauksiin verrattuna paljon tasapainoisemmat.

### 8.3 Lopputuloksien tarkastelua

Muutostöistä ja tuloksista päätellen Smart Campus -hankkeen myötä tehty pilotointi oli hyödyllinen. Aiempaan tilanteeseen verrattuna luokat palvelevat nyt paremmin käyttäjäkuntaa, ja tiloissa työskentelyn voidaan olettaa olevan mielekkäämpää. Kun esim. pilottiluokan B244 ilmamääriä verrataan hankkeen alussa mitattuihin arvoihin, on niistä pääteltävissä että ilmamäärät ovat muutostöiden jälkeen riittävämmät. Ne saavuttavat myös Sisäilmastoluokituksen S2-luokkaa vastaavat arvot, kun hankkeen alussa ne vastasivat huonointa S3-luokkaa.

Tehdyt muutostyöt antavat myös mahdollisuuden soveltaa tarpeenmukaista ilmanvaihtoa muihin luokkahuoneisiin tai laajentaa järjestelmä koko kampukseen. Tämä on mahdollista siksi, että WISE:n järjestelmä tunnistaa siihen myös jälkikäteen asennettavat saman järjestelmän laitteet.

## 9 Yhteenveto

Smart Campus -hankkeen myötä pilottiluokkien ilmanvaihtoa saatiin parannettua tilojen alkuperäiseen tilanteeseen nähden. Tilojen ilmanvaihto on nyt toteutettu vastaamaan todellista käyttötarkoitusta ja samalla tarpeenmukaisella ilmanvaihdon ohjauksella saavutetaan säästöjä energiankulutuksessa. Suoritettujen mittausten perusteella ilmanvaihto täyttää paremmin myös määräysten mukaiset arvot.

Pilottiluokkien osalta nykyisen järjestelmän yhteyteen voitaisiin lisätä nykyisen lämpötilaa ja läsnäoloa aistivien antureiden lisäksi esim. valaistuksen ja patteritermostaattien säätömahdollisuus Swegonin Super WISEn avulla. Tällöin voitaisiin saavuttaa lisää säästöjä energiankulutuksen näkökulmasta, vaikka jo nykyisillä muutoksilla niitä saavutettiin. Tämä olisi kuitenkin varsin varteenotettava asia Metropolian tulevaisuudessa, kun kampukset vähenevät 16 toimipisteestä vain neljään, mikä aiheuttaa varmasti tilamuutoksia ja kampuskohtaisia opiskelijamäärien kasvua suurentaen tilojen käyttöasteita.

Myös valaistuksen uudelleen sijoittelua olisi ollut hyvä tarkastella niin käyttäjien näkökulmasta kuin ilmanvaihdon toimivuuden takia. Usein valaistuksen ja ilmanvaihdon päätelaitteiden sijoittelu on toteutettu siten, että päätelaitteista lähtevä ilmasuihku ei pääse virtaamaan suunnitellulla ja halutulla tavalla, vaan se ikään kuin törmää ilmasuihkun ”reitille” osuvaan valaisimeen ja näin ollen ilmavirtaus taittuu lähes kokonaan valaisimelta alaspäin. Tämä aiheuttaa hyvin usein vedon tunnetta. Luokan B244 osalta tuloilman ilmavirtaus kulkee lähes optimaalisella tavalla, mutta tilanne saattaa olla hyvinkin erilainen monien muiden tilojen osalta.

Yleisellä tasolla koulurakennuksienkin saneerauksia ajatellen on keksitty uusia tapoja ja työkaluja arvioida eri korjausratkaisuja tämän kaltaisissa projekteissa. Uusilla optimointimenetelmillä eri ratkaisuja voidaan punnita kannattavuuden ja elinkaarikustannusten näkökulmasta, ja näin ollen sulkea pois huonoimpia vaihtoehtoja jo alkuvaiheessa. Optimointimenetelmillä voidaan määrittää lisäksi useita eri toteutusvaihtoehtoja eri tavoitetasoille riippuen korjausratkaisun laajuudesta.

## Lähteet

- 1 Smart Campus -hanke. Verkkodokumentti. <http://smartcampus.metropolia.fi/> Luettu 12.1.2015.
- 2 Tietoa Metropoliaista. 2015. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Verkkodokumentti. <http://www.metropolia.fi/tietoa-metropoliasta/> Luettu 12.1.2015.
- 3 Perustietoa sisäilmasta. 2015. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys. <http://www.sisailmayhdistys.fi/paasivuista-toinen/> Luettu 12.1.2015.
- 4 Hildén, Sari. 2011. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Verkkodokumentti. Rakennustieto Oy. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110603.pdf> Luettu 12.1.2015.
- 5 Kurnitski J., Palonen J., Enberg S., Ruotsalainen R. 1996. Koulujen sisäilmasto-rehtorikysely ja sisäilmastomittaukset. Raportti B43. Teknillinen korkeakoulu, LVI-laboratorio, Espoo. Luettu 14.1.2015
- 6 Rimpilä M., Rigoff A-M., Kuusela J., Peltonen H. (toim.) 2007. Hyvinvoinnin ja terveyden edistäminen peruskouluissa – perusraportti kysely 7.-9. vuosiluokkien kouluille. Verkojulkaisu. Opetushallitus ja Stakes. [http://www.oph.fi/download/46848\\_hyvvoinnined.pdf](http://www.oph.fi/download/46848_hyvvoinnined.pdf) Luettu 14.1.2015.
- 7 Kurnitski, Jarek. Koulurakennusten sisäilmasto-ongelmien ja kosteusvaurioiden korjaamisen oppaat. Verkojulkaisu. Rakennustieto. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090702.pdf> Luettu 12.1.2015.
- 8 Harju, Pentti. 2006. Talotekniikan automaatio, mittaus ja säätö. Kouvola. Penan Tieto-Opus Ky.
- 9 Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. LVI-kortti, LVI 05-10440. Rakennustietosäätiö 2014.
- 10 Rakennusten sisäilmasto. 1989. LVI-kortti, LVI 05-10144. Rakennustietosäätiö.
- 11 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 12 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 13 Harju, Pentti. 2008. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. Solverpalvelut Oy, Anjalankoski. Penan Tieto-Opus Ky.

- 14 RYHTI huoltokirja, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Granlund Oy.
- 15 Käyttäjälähtöiset toimistotilat, tilaratkaisut, sisäympäristö ja tuottavuus, TOTI-hankkeen loppuraportti. Verkkodokumentti. Työterveyslaitos.  
[http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/TOTI\\_loppuraportti.pdf](http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/TOTI_loppuraportti.pdf) Luettu 12.1.2015.
- 16 Säteily ympäristössä, radon. Verkkodokumentti. 2015. Säteilyturvakeskus.  
<http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi/Fl/radon/> Luettu 12.1.2015.
- 17 Seppänen, Olli. 2005. Sisäympäristö ja tuottavuus. Verkkojulkaisu. Rakennustieto Oy. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050703.pdf> Luettu 12.1.2015.
- 18 Asikainen V., (toim.). 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen, Osa 1: Kiinteistön omistajan opas sisäilmaongelmaisten koulurakennusten kunnan tutkimiseen ja korjaushankkeisiin. Verkkojulkaisu. Opetushallitus.  
[http://www.oph.fi/download/46462\\_sisailmaongelmaisten\\_koulurakennusten\\_korjaaminen.pdf](http://www.oph.fi/download/46462_sisailmaongelmaisten_koulurakennusten_korjaaminen.pdf) Luettu 27.1.2015.
- 19 Multiparameter Demand-Controlled Ventilation. HPAC Engineering. 2009. Verkkodokumentti. <https://d1qkyo3pi1c9bx.cloudfront.net/D7021408-671F-42FA-837E-DEB20A6B3D76/e71951ae-0b77-4adb-a8c7-8973afe19789.pdf> Luettu 12.1.2015.
- 20 ADAPT Damper. Huonelaitteet Swegonin tarpeenmukaiseen WISE-ilmanvaihtojärjestelmään. 2014. Verkkodokumentti. Swegon AB.  
<http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/fi/ADAPTDc.pdf> Luettu 12.1.2015.
- 21 Yleiskuvaus, Tarpeenmukainen ilmanvaihto. 2014. Verkkodokumentti. Swegon AB.  
<http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/Demand%20controlled%20ventilation/fi/DCV-overview.pdf> Luettu 12.1.2015.
- 22 Super WISE. Järjestelmätuotteet Swegonin tarpeenmukaiseen ilmanvaihtojärjestelmään. 2014. Verkkodokumentti. Swegon AB.  
<http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/fi/SuperWISE.pdf> Luettu 12.1.2015.
- 23 IBIS, suutinkanava. 2014. Verkkodokumentti. Swegon AB.  
<http://www.swegon.com/Global/PDFs/Air%20diffusers/Duct%20diffusers/fi/IBISa.pdf> Luettu 12.1.2015.
- 24 Lindroos, Hannu. 2015. Aluepäällikkö, Oy Swegon Ab, Espoo. Keskustelut 13.2.2015.

- 25 Törnblom, Kristian. 2013. Tarpeenmukainen ilmanvaihto luokkatiloissa. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Espoo.
- 26 Tikkanen, Anssi. 2013. Ilmanvaihdon toiminnan tutkimus ja kehittäminen koulurakennuksessa. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Espoo.

**Liite 1. Pilottiluokkien ilmamäärämittaukset tarkoilla arvoilla hankkeen alussa.**

Luokkahuone B243		Mittauspäivä: 24.1.2013			
<b>TULOILMA</b>					
Kanavakoko 250 mm					
Mittauspisteet	$\Delta P$ pa	v m/s	ka dm <sup>3</sup> /s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	8	4,00000			
2.	8	4,00000			
3.	7	3,74166			
4.	8	4,00000			
5.	9	4,24264			
			39,96860	4,90874	<b>196,195</b>

Luokkahuone B243		Mittauspäivä: 24.1.2013			
<b>POISTOILMA</b>					
Kanavakoko 315 mm					
Mittauspisteet	$\Delta P$ pa	v m/s	ka dm <sup>3</sup> /s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	8	4,00000			
2.	6	3,46410			
3.	5	3,16228			
4.	7	3,74166			
5.	7	3,74166			
			36,21939	3,14159	<b>113,787</b>

Luokkahuone B244		Mittauspäivä: 24.1.2013			
TULOILMA					
Kanavakoko		250 mm			
Mittauspisteet	$\Delta P$ pa	v m/s	ka dm <sup>3</sup> /s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	10	4,47214			
2.	9	4,24264			
3.	7	3,74166			
4.	10	4,47214			
5.	6	3,46410			
			40,78534	4,90874	<b>200,205</b>

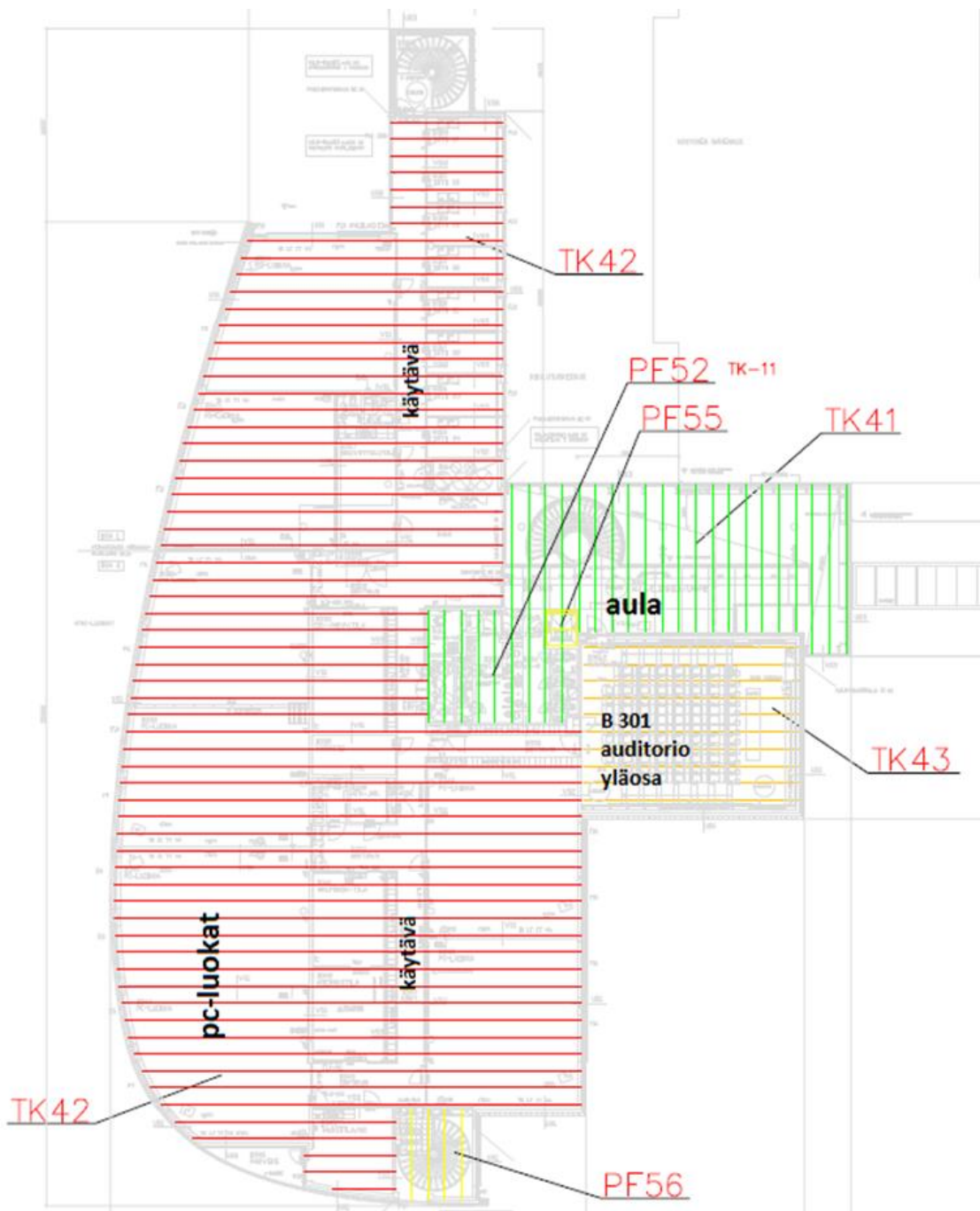
Luokkahuone B244		Mittauspäivä: 24.1.2013			
POISTOILMA					
Kanavakoko		200 mm			
Mittauspisteet	$\Delta P$ pa	v m/s	ka dm <sup>3</sup> /s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	5	3,16228			
2.	5	3,16228			
3.	6	3,46410			
4.	4	2,82843			
5.	5	3,16228			
			31,55872	3,14159	<b>99,145</b>

**Liite 2. Pilottiluokka B244, ilmamäärämittauksen tulokset muutostöiden jälkeen.**

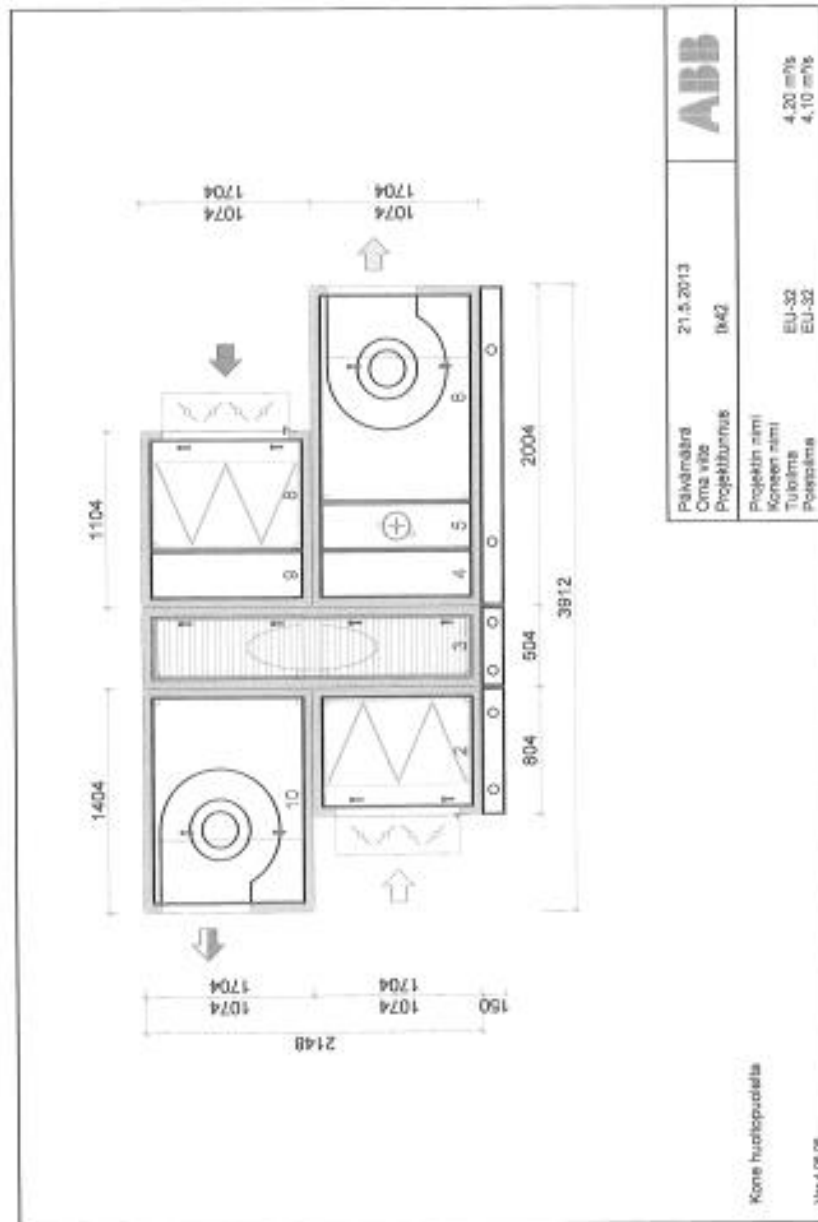
Luokkahuone B244 IBIS 250 k= 36,1					
TULOILMA					
Kanavakoko		250	Swegonin mittaus:		147 dm <sup>3</sup> /s
Mittauspisteet	$\Delta p$ Pa	v m/s	ka m/s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	8	3,65148			
2.	6	3,16228			
3.	6	3,16228			
4.	7	3,41565			
5.	4	2,58199			
			3,195	0,049	156,821

Luokkahuone B244					
POISTOILMA					
Kanavakoko		200	Swegonin mittaus:		103 dm <sup>3</sup> /s
Mittauspisteet	$\Delta p$ Pa	v m/s	ka m/s	A m <sup>2</sup>	qv dm <sup>3</sup> /s
1.	8	3,65148			
2.	8	3,65148			
3.	8	3,65148			
4.	7	3,41565			
5.	8	3,65148			
			3,604	0,031	113,233

Liite 3. Ilmanvaihtokone TK43, vaikutusaluekuva.



Liite 4. Ilmanvaihtokone TK42, tiedot.



Taulukko a) Ilmanvaihtokone TK42, tiedot.

	<b>TF42</b>	<b>PF42</b>
Tyyppi	EULB-41-2-3-5-1-04-1-2	EULB-41-2-3-5-1-01-1-1
Ilmavirta, qv (m <sup>3</sup> /s)	4,2	4,1
Kokonaispaineentuotto, dp (Pa)	915	775
Teho, P (kW)	4,8	4,0
N (%)	78	80
Puhallin	APAL-4-00750	APAL-4-00550-2-0
Teho, P (kW)	7,5	5,5

**Liite 5. Kuvia pilottiluokista hankkeen alussa ja muutostöiden jälkeen.**



Kuva a) Luokka B243 ovelta hankkeen alussa.



Kuva b) Luokka B244:n tuloilmalaatikko, joka ei näkynyt piirustuksissa.



Kuva c) Luokka B244 muutostöiden jälkeen.



Kuva d) Luokka B244 muutostöiden jälkeen. IBIS-tuloilman päätelaitteiden sijoittelu katonrajassa.