

Henry Lindgren

# Koulurakennuksen painesuhteiden mittaus liitettynä ilmavirtojen säätöön

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Helmikuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> <small>Mikkeli University of Applied Sciences</small>	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  20.02.2012				
<b>Tekijä(t)</b> Henry Lindgren	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikka				
<b>Nimeke</b>  Koulurakennuksen painesuhteiden mittaus liitettynä ilmavirtojen säätöön					
<b>Tiivistelmä</b>  Tämän opinnäytetyn tavoite oli selvittää miten ilmavirtojen säätöön tulisi liittää painesuhteiden mittaus. Tarkoituksena oli tehdä mittauksia peruskorjattuun koulurakennukseen johon samassa yhteydessä rakennettiin laajennusosa. Mittaukset tehtiin painesuhteisiin rakennuksen ulkovaipan yli ja rakennuksen sisäisiin painesuhteisiin sekä tilojen ilmavirtojen määriin.  Painesuhdemittauksiin ulkovaipan yli valittiin tiloja sattumanvaraisesti ympäri taloa. Rakennuksen sisäisiä painesuhteita mitattiin sattumanvaraisesti ympäri taloa niiden tilojen välillä, joiden painesuhteet tulisi erota keskenään. Ilmamäärämittausten paino oli niissä tiloissa joissa oli ilmanvaihtourakoitsijan toimitamien mittauspöytäkirjojen mukaan selvää eroavaisuutta suunnitellun ja toteutuneen ilmavirran välillä.  Mittauksissa saatiin selville, että rakennus oli mittauspisteissä alipaineinen ulkovaipan yli, kuten sen edellytetään olevankin. Sisäisissä painesuhteissa löytyi epäkohtia, josta koituu ääniongelmia suurien ilmavirtauksien takia ja jotka voivat mahdollisesti aiheuttaa kosteusrasitusta rakenteille pitkällä aikavälillä. Ilmamäärämittauksissa 80% mitatuista tiloista ilmavirrat joko ylittivät tai alittivat Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 huonekohtaiset ilmamääräpoikkeamat.  Mittauksia suoritettiin kahden päivän ajan, joten nämä mittaukset eivät paljasta kaikkia mahdollisia ongelmia, mitä rakennuksessa voi olla, mutta osoittaa sen, mitä täysin ulkopuolinen osapuoli saa esiin lyhyessä ajassa juuri valmistuneesta koulurakennuksen peruskorjauksesta ja laajennusosasta.  Painesuhdemittaukset tulisi liittää ilmamäärien säätöjen yhteyteen ja siitä tulisi tehdä pöytäkirja, jotta mahdolliset ongelmakohdat tulisivat esille ennen sisäilmaongelmien syntyä.					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Ilmanvaihto, ilmastointilaitteet, ilmanvaihtojärjestelmä, korjausrakentaminen, saneeraus, rakennus, sisäilma					
<b>Sivumäärä</b>  38+4	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 50%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Mika Kuusela	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Mikkelin kaupunki				

## DESCRIPTION

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  20.02.2012
<b>Author(s)</b>  Henry Lindgren	<b>Degree programme and option</b>  Building Services	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Pressure ratio in the school building connected to air flow adjustment		
<b>Abstract</b>  <p>The goal of this thesis was to find out how pressure ratio measurement should be added to air flow adjustment. The purpose was to make measurements in a renovated school building with an extension built at the same time with the renovation. Measurements were made over the building envelope. Also the internal pressure ratios and air flows were measured.</p> <p>Measuring points on the building envelope were chosen randomly. The internal pressure ratios were measured at points where the pressure ratios should differ from each other. Airflow measurements of weight were made in the places where there was clear disparity between planned and actual air flow.</p> <p>Measurements showed that the building had negative pressure over the envelope. Internal pressure ratios exhibited defects, leading to problem with the sound of large air flow. It can also cause moisture stress to structures in the long term. The air flow measurements showed that 80% of the measured air flows either exceed or undercut the Building Code of Finland D2 for room air flow deviations.</p> <p>Measurements were made in two days, so these measurements do not reveal all the possible problems but show how pressure ratio measurements should be accompanied by adjustment in connection with air flow rates. It should be a standard procedure so that potential problems could be highlighted before any indoor air problems.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Ventilation, air conditioners, ventilation system, renovate, renovation, building, indoor air		
<b>Pages</b>  38+4	<b>Language</b>  finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Mika Kuusela	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Mikkelin kaupunki	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ILMANVAIHTO JA ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄT .....	1
3	ILMANVAIHTO-OHJEET, MÄÄRÄYKSET JA LUOKITUKSET .....	3
3.1	Asumisterveysohje .....	4
3.2	Suomen rakentamismääräyskokoelma D2, rakennuksen sisäilma ja ilmanvaihto.....	5
3.3	Sisäilmastoluokka .....	9
4	PAINESUHTEET RAKENNUKSESSA.....	10
4.1	Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli.....	10
4.1.1	Ilman tiheyserojen vaikutus .....	11
4.1.2	Tuulen vaikutus.....	11
4.1.3	Ilmanvaihdon vaikutus.....	12
4.1.4	Yhteisvaikutus.....	12
4.2	Rakennuksen sisäiset painesuhteet .....	13
4.2.1	Ilmanvaihdon vaikutus ja ilman tiheyserot.....	13
4.2.2	Ilman liike rakennuksessa .....	13
5	TUTKIMUSKOHTTEEN ESITTELY.....	14
5.1	Koulurakennuksen peruskorjausosa .....	14
5.2	Koulurakennuksen laajennusosa.....	15
5.3	Vaadittu lopputulos kohteen ilmanvaihdossa .....	15
6	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	15
6.1	Ilmamäärien mittaaminen .....	16
6.1.1	Mittausvälineet.....	17
6.1.2	Mittaustapa.....	18
6.1.3	Mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät.....	18
6.2	Painesuhteiden mittaaminen .....	19
6.2.1	Mittausvälineet.....	19
6.2.2	Mittaustapa.....	19
6.2.3	Mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät.....	21
7	TULOKSET .....	22
7.1	Ilmamäärien mittaustulokset.....	22

7.2	Painesuhteet ulkovaipan yli .....	25
7.3	Rakennuksen sisäiset painesuhteet .....	26
8	TULOKSIEN ARVIOINTI.....	27
8.1	Uima-allasosasto ja sen alla sijaitseva huoltotila.....	27
8.2	Allaslaitehuoneen ylipaineisuus .....	28
8.3	Keittiön ylipaineisuus ympäröiviin tiloihin .....	29
8.4	Auditorion ylipaineisuus aulaan .....	30
8.5	B202 vaatetilan poistoilmanmäärä eroaa suunnitelmista.....	31
8.6	C118 luokan poistoilmanmäärä eroaa suunnitelmista .....	31
8.7	D211 WC:n poistoilmanmäärä eroaa huomattavasti suunnitelmista .....	32
8.8	E120 luokan poistoilmalaitteen äänitaso ylittyvät.....	32
8.9	E135 pesuhuoneen liiallinen poistoilmamäärä ja sen vaikutukset.....	33
9	PAINESUHTEIDEN MITTAUS LIITETTYNÄ ILMAVIRTOJEN SÄÄTÖÖN	34
10	POHDINTA .....	36
	LÄHTEET .....	38
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä tarkastellaan Mikkelin Raviradantiellä sijaitsevaa koulurakennusta painesuhteiden ja ilmamäärien kannalta. Koulurakennuksen vanhaa osaa on saneerattu ja samalla rakennettu kokonaan uusi koulurakennuksen lisäosa. Rakennuksen saneeraus aloitettiin vuoden 2010 loppupuolella ja kokonaisuudessaan rakennus lisäosineen valmistui vuoden 2011 loppupuolella. Tämän työn toimeenpanijana oli Mikkelin kaupungin tilakeskus, joka toimi hankkeessa rakennuttajana.

Työn tarkoituksena on tehdä tarkistusmittauksia koulurakennuksen painesuhteisiin ulkovaipan ylitse, sisäisiin painesuhteisiin sekä ilmanvaihdon määrään. Tavoitteena tälle työlle on selvittää kuinka ilmavirtojen säätöön tulisi liittää painesuhteiden mittaaminen. Mittaustuloksia verrataan aikaisempiin tutkimuksiin, määräyksiin, ilmanvaihtosuunnittelijan suunnitelmiin ja LVI-työselityksen vaatimuksiin.

Tarkistusmittaukset tehtiin joulukuussa 2011 kahtena peräkkäisenä päivänä. Ensimmäisenä päivänä mitattiin painesuhteita eri puolilla rakennusta ulkovaipan ylitse ja sisäisiä painesuhteita eri tilojen ja osastojen välillä. Toisena mittauspäivänä mittauksia tehtiin ilmamääriin eri puolilla rakennusta. Painesuhdemittaukset ulkovaipan yli suoritettiin ensimmäisenä mittauspäivänä, koska jälkimmäiseksi mittauspäiväksi oli ennustettu tuulisempaa säätä kuin ensimmäiselle mittauspäivälle.

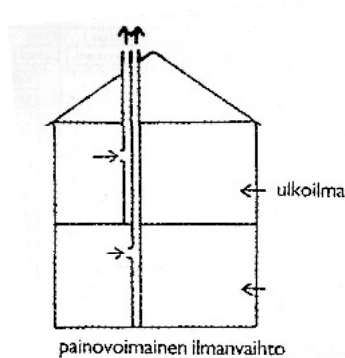
Tapasin mittausten ohessa Tapani Pyrhösen, joka on ennen eläkkeelle jäämistään työskennellyt Mikkelin kaupungilla erikoistuen rakennuksen painesuhteisiin. Pyrhönen neuvoi kuinka painesuhteita mitataan. Hänen mielestään rakennusten sisäilmaongelmat johtuvat usein vääristä painesuhteista rakennuksissa.

## 2 ILMANVAIHTO JA ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄT

*Ilmanvaihto* on huoneilman laadun ylläpitämistä ja parantamista huoneen ilmaa vaihtamalla.

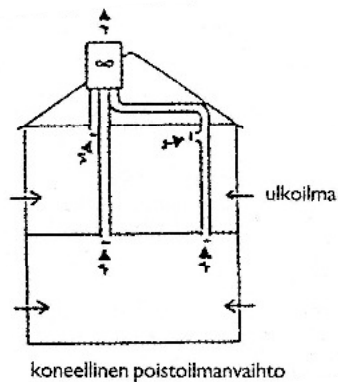
*Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän* toiminta perustuu korkeus- ja lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin: lämmin sisäilma kevyempänä virtaa pois-

toilmakanavasta ylöspäin ja ulos rakennuksesta, ja tilalle tulee ulkoilmaa sekä ulkoilmalaitteiden kautta että rakenteiden ilmavuotoina (kuva 1).



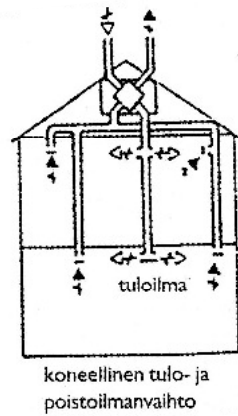
**KUVA 1. Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä /1, s. 59/**

*Koneellinen poistoilmajärjestelmä*, joka poistaa ilman rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla ja tilalle tulee ulkoilmaa sekä ulkoilmalaitteiden kautta että rakenteiden ilmavuotoina (kuva 2).



**KUVA 2. Koneellinen poistoilmajärjestelmä /1, s. 59/**

*Koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmässä* ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimien avulla ja tilalle tuodaan lämmitettyä/jäähdytettyä ja suodatettua ulkoilmaa puhaltimen avulla (kuva 3).



**KUVA 3. Koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä /1, s. 59/**

*Käyttöajalla* tarkoitetaan aikaa, jolloin rakennuksessa tai tilassa oleskellaan tai sitä muuten käytetään tarkoituksenmukaisesti.

*Oleskeluvyöhyke* on se osa huonetilasta, jossa sisäilmastovaatimukset on tarkoitettu toteutuvaksi: yleensä se on vähintään huonetilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista.

*Tuloilmaa* johdetaan huonetilaan, *poistoilmaa* johdetaan huonetilasta pois /2, s. 3-4/.

*Paine-erolla* tarkoitetaan ilmanvaihdossa sitä, kun ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään paineeseen: paine-ero saadaan aikaan joko puhaltimilla (koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä) tai lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksella (painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä). /3./

### 3 ILMANVAIHTO-OHJEET, MÄÄRÄYKSET JA LUOKITUKSET

Ilmanvaihtoon liittyy määräyksiä, ohjeistuksia ja erilaisia luokituksia. Ohjeistuksella annetaan fysikaalisille, kemiallisille ja biologisille tekijöille raja-arvoja terveydensuojelulain nojalla ja määräysten on täytettävä nämä arvot. Määräyksiä voidaan pitää minimiarvoina joiden tulee täyttyä. Mikäli halutaan rakennukseen parempi sisäilmasto,



voidaan sisäilman tavoitteena käyttää sisäilmastoluokitus 2008 mukaisia sisäilmaston tavoitearvoja.

### **3.1 Asumisterveysohje**

Asumisterveysohje on luotu terveydensuojelulain perusteella, sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö voi antaa tarkempia ohjeita asunnoille ja oleskeluun tarkoitetuille tiloille, jotta tilat pysyvät terveellisinä käyttäjille.

Ilmanvaihdon tarkoituksena on pitää rakennuksen sisäilma puhtana epäpuhtauksista, jotka ovat peräisin ihmisistä, maaperästä (radon), ulkoilmasta, rakennusmateriaaleista sekä asumisen aiheuttamista toiminnoista. Sisäilman epäpuhtaudet ovat pääasiassa kemiallisia yhdisteitä ja niille altistuminen riippuu kolmesta päätekijästä: epäpuhtauspäästöistä, ilmanvaihdosta ja altistusajasta. Ihminen oleskelee paljon ajastaan sisätiloissa ja sisäilman laatuun voidaan vaikuttaa pääasiassa ilmanvaihdon kautta. Epäpuhtauspäästöjä voidaan karsia käyttämällä vähäpäästöisiä rakennusmateriaaleja. Ilmanvaihtoa voidaan tehostaa, mikäli halutaan vähentää sisäilmassa ihmisestä peräisin olevia epäpuhtauksia. Ilmanvaihdon tehostaminen on yleensä ainut käytettävissä oleva keino.

Ilmanvaihto, joka on suunniteltu tai toteutettu väärin, voi aiheuttaa haittaa terveydelle. Ilmanvaihdon aiheuttamia haittoja voi olla melu, vedon tunne, ilman hiilidioksidin määrän kasvu sekä epäpuhtauksien kulkeutuminen oleskeluvyöhykkeelle. /4, s. 25./

Ihminen tuottaa sisäilmaan hiilidioksidia, jonka poistamiseen tarvitaan tuloilmaa 4 l/s henkilöä kohden. Kun otetaan huomioon rakennuksen muut epäpuhtauslähteet, niin tuloilmaa tarvitaan 8 -10 l/s henkilöä kohden. Ilmanvaihdon minimivaatimustasona on rakennusmääräyskokoelma D2. /4, s. 26./

### **3.2 Suomen rakentamismääräyskokoelma D2, rakennuksen sisäilma ja ilmanvaihto**

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 vaatimukset ovat olemassa minimivaatimuksina ilmanvaihtorakentamiselle, jonka vaatimukset on täytettävä uudisrakentamisessa.

Määräyskokoelma D2 koskee uudisrakentamista ja korjausrakentamisessa määräykset ovat sitovia soveltuvin osin, joka riippuu rakennustyön laajuudesta ja rakennuksen käyttötarkoituksesta, kunnan rakennusvalvontaviranomainen päättää viime kädessä asiasta. Kokoelman lähtökohtana on, että oleskeluvyöhykkeellä kaikissa normaaleissa sääoloissa ja käyttötilanteissa saavutetaan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. /2./

Ilmanvaihtolaitoksen huonekohtaiset poikkeamat ilmavirtoihin saavat olla korkeintaan  $\pm 20\%$  suunnitellusta ilmavirrasta (kuva 9). /2, s. 26/

Kokoelma antaa ilmanvaihtolaitoksille seuraavanlaisia ohjeita, vaatimuksia ja raja-arvoja: kuva 4 antaa arvoja oleskeluvyöhykkeiden lämpöoloille. Kuva 5 kertoo ääniolosuhteille rakennuksessa. Kuva 6 kertoo ilman jaosta ja poistosta. Kuva 7 kertoo kanaviston tiiveyksistä. Kuva 8 kertoo ilmanvaihtolaitteistojen energiatehokkuudesta. Kuva 9 kertoo ilmanvaihtolaitoksen sallituista raja-arvoista ja kuva 10 kertoo ilmanlaadun pitoisuuksista.

## 2.2.1.1

Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21 °C. Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan kesäkauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 23 °C.

Perustellusta syystä voidaan huonelämpötila suunnitella ohjearvosta poikkeavasti. Tällaisia lämmityskauden lämpötilojen tilakohtaisia ohjearvoja esitetään taulukossa 1.

Hyväksyttävä poikkeama oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvosta huonetilan keskellä 1,1 m:n korkeudella on  $\pm 1$  °C.

*Taulukko 1. Lämmityskauden huonelämpötilan tilakohtaisia ohjearvoja tiloille, joiden huonelämpötilan suunnitteluarvo ei ole 21 °C. Ohjearvoja käytettäessä on huolehdittava, ettei viereisten tilojen viihtyisyys heikkene.*

Tila	Huonelämpötila °C
Porrashuone	17
Kylpyhuone, pesuhuone	22
Kuivaushuone	24
Myymälä	18
– myymälän kiinteä työpiste	21
Liikuntahalli	18
Kirkkosali	18
Tehdashalli, keskiraskas työ	17
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17

**KUVA 4. Oleskeluvyöhykkeiden lämpöolot /2, s. 6/**

## 2.4.1

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että rakennuksessa on viihtyisät äänolosuhteet.

## 2.4.1.1

LVIS-laitteiden tilakohtaisia äänitaso-ohjearvoja on esitetty liitteessä 1. LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden äänitehotasot sekä laskelmat järjestelmien aiheuttamista äänitasoista huonetiloissa esitetään erityissuunnitelmissa tai selvityksissä.

**KUVA 5. Äänolosuhteet rakennuksessa /2, s. 8/**

## 3.6.1

Tuloilma on johdettava huonetiloihin siten, että ilma virtaa koko oleskeluvyöhykkeelle vedottomasti ja poistaa tehokkaasti huonetilassa syntyvät epäpuhtaudet käyttöaikana. Likaantunut ilma ei saa palautua haitallisessa määrin takaisin oleskeluvyöhykkeelle.

## 3.6.1.1

Ilmanvaihto suunnitellaan mahdollisimman tehokkaaksi siten, että tuloilma virtaa koko oleskeluvyöhykkeelle ja epäpuhtaudet kulkeutuvat suoraan poistoilman päätelaitteisiin leviämättä huonetilaan. Tuloilma ei saa virrata suoraan oleskeluvyöhykkeen ohi poistoilman päätelaitteisiin.

**KUVA 6. Ilman jako ja poisto /2, s. 14/**

## 3.7.1

Ilmanvaihtojärjestelmän ja sen osien tulee olla riittävän tiiviit ja lujat.

## 3.7.1.1

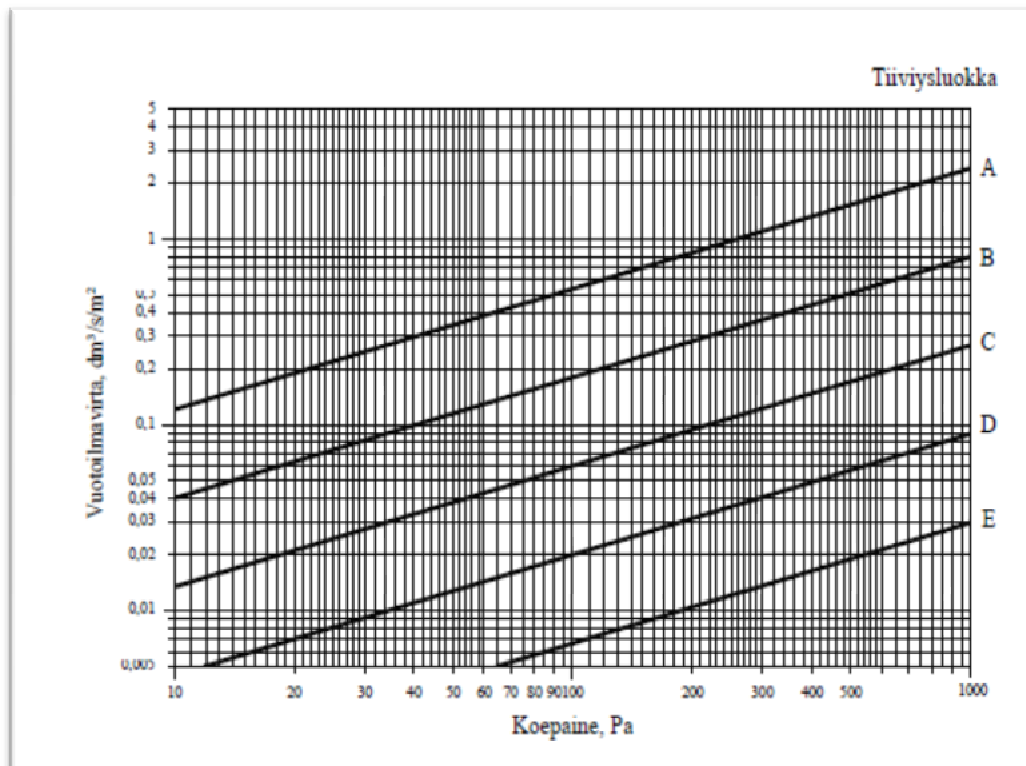
Ilmanvaihtojärjestelmän kanavisto on yleensä riittävän tiivis, kun se on tiiviydeltään vähintään tiiviy.luokkaa B. Tiiviy.luokan B suurin sallittu vuotoilmavirta on esitetty yhtälönä taulukossa 6 ja käyrätönä kuvassa 3.

## 3.7.1.2

Tavanomaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä saavutetaan kanaviston tiiviy.luokka B yleensä, kun käytettävien ilmakekanavien ja kanavanosien tiiviy.luokka on C.

## 3.7.1.3

Ilmanvaihtokone on yleensä riittävän tiivis, kun se on vaipan tiiviydeltään vähintään tiiviy.luokkaa A ja vuotoilmavirta tulo- ja poistopuolen välillä on enintään 6 % ilmanvaihtokoneen nimellisilmavirrasta koepaineella 300 Pa.



KUVA 7. Ilmanvaihtojärjestelmän tiiviy. ja paineet /2, s. 16/

#### 4.1.1

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo omalta osaltaan edellytykset tehokkaalle energiankäytölle.

Ilmanvaihdon energiatehokkuus varmistetaan rakennuksen käytön kannalta tarkoituksenmukaisilla keinoilla tinkimättä terveellisestä, turvallisesta ja viihtyisästä sisäilmastosta.

##### 4.1.1.1

Ilmanvaihdon tehokkaan energiankäytön edellytykset varmistetaan tarkoituksenmukaisilla suunnittelu- ja toteutusratkaisulla, kuten ilmanvaihtolaitteiden toiminta-alueiden ja toiminta-aikojen ryhmitelyllä, ilmanvaihdon tarpeenmukaisella ohjauksella sekä poistoilman lämmöntalteenoton tarpeenmukaisella toiminnalla.

##### 4.1.1.2

Kanavat ja kammiot lämmöneristetään siten, ettei ilmavirran ja ympäristön välinen lämpötilaero aiheuta tarpeetonta energiankulutusta, ilmavirran lämpenemistä tai jäähtymistä eikä sisäilmaston tai säätoimintojen huononemista.

##### 4.1.1.3

Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava siten, että järjestelmän ottama sähköteho voidaan helposti mitata.

##### 4.1.1.4.

Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s)  
Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s).

##### 4.1.1.5

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho voi olla suurempi kuin 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s), jos esimerkiksi rakennuksen sisäilmaston hallinta edellyttää tavanomaisesta poikkeavaa ilmastointia.

**KUVA 8. Ilmanvaihtolaitoksen energiatehokkuus /2, s. 23/**

#### 5.1.2.4

Ilmanvaihtojärjestelmän virtaus-, ääni-, sähkö- ja lämpötekniset suoritusarvot mitataan vähintään järjestelmän käyttöajan tehostamattomalla mitoitusilmavirralla ja asunnoissa myös tehostetulla mitoitusilmavirralla. Hyväksyttävät poikkeamat mitoitusarvoista ovat yleensä seuraavat:

- 1) ilmavirta järjestelmäkohtaisesti ± 10 %;
- 2) ilmavirta huonekohtaisesti ± 20 %;
- 3) ilman nopeus oleskeluvyöhykkeellä + 0,05 m/s;
- 4) sähköteho + 10 %; sekä
- 5) lämmitysteho -10 %.

**KUVA 9. Ilmanvaihtojärjestelmän sallitut raja-arvot /2, s. 26/**

#### 2.3.1.1

Sisäilman hiilidioksidin pitoisuus tavanomaisissa sääoloissa ja huonetilan käyttöaikana on yleensä enintään 2160 mg/m<sup>3</sup> (1200 ppm).

#### 2.3.1.2

Sisäilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi rikkidioksidin, typpidioksidin, hiukkasten, lyijyn, hiilimonoksidin tai bentseenin pitoisuudet ovat yleensä enintään ilmanlaadusta annetun valtioneuvoston asetuksen (711/2001) mukaisia.

#### 2.3.1.3

Sisäilman laadun suunnittelussa käytettäviä epäpuhtauksien pitoisuusarvoja esitetään taulukossa 3. Suunnittelun ohjearvot koskevat kuusi kuukautta käytössä ollutta rakennusta, jonka ilmanvaihto on pidetty jatkuvasti käynnissä käyttäjän ilmanvaihdon ilmavirralla. Pitoisuuksien mittaamisessa käytetään sosiaali- ja terveysministeriön ohjeessa esitetyjä menetelmiä.

*Taulukko 3. Sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuden arvoja rakennuksen sisäilmaston suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi.*

Epäpuhtaus	Yksikkö	Suunnittelun ohjearvo Pitoisuus enintään
Ammoniakki ja amiinit	µg/m <sup>3</sup>	20
Asbesti	kuitua/cm <sup>3</sup>	0
Formaldehydi	µg/m <sup>3</sup>	50
Hiilimonoksidi	mg/m <sup>3</sup>	8
Hiukkaset PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>	50
Radon	Bq/m <sup>3</sup>	200 (vuosikeskiarvo)
Styreeni	µg/m <sup>3</sup>	1

**KUVA 10. Ilmanlaadun pitoisuudet /2, s. 7/**

### 3.3 Sisäilmastoluokka

Määräyskokoelman antamia vaatimuksia voidaan pitää minivaatimuksina. Käytössä on myös käytössä Sisäilmastoluokitus 2008, kun halutaan käyttäjän kannalta rakennukselle parempi lopputulos sisäilmaston osalta.

Sisäilmaluokitus on tarkoitettu käytettäväksi kun halutaan rakentaa terveellisimpiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Luokitusta voidaan käyttää soveltuvien osien saneeraus- ja korjaustöissä. Luokitus antaa sisäilmaston tavoite- ja suunnitteluarvot.

Sisäilmastoluokkien tarkoituksena on jo suunnitteluvaiheessa suunnitella sellainen rakennus, jossa on omanlaisensa sisäilmasto-olot. Sisäilmastoluokkia on kolme: S1, S2 ja S3. Jokaiselle luokalle on annettu omat vaatimukset lämpötilojen säädeltävyyden ja lämpötilojen vaihtelun osalta. Ilmavirtojen suuruudet riippuvat myös sisäilmastoluokasta. Luokka S3 on sama kuin Suomen rakentamismääräyskokoelman minimi-

vaatimus. Taulukossa 1. on esitelty sisäilmastoluokituksen 2008 vaatimuksia eri sisäilmaluokkien välillä. /5./

**TAULUKKO 1. Sisäilmastoluokitus 2008. Luokkahuoneilmamäärät. /5./**

	S1	S2	S3
Ilmamäärä [ $\text{dm}^3/\text{s}, \text{hlö}$ ]	12	8	6
Ilmamäärä [ $\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ ]	5,5	4	3
Hiilidioksidipitoisuus [ppm]	<750	<900	<1200
Ilman liikenopeuden tavoitearvot [m/s]:			
$t_{\text{ilma}}=21^\circ\text{C}$	<0,14	<0,17	<0,2 (talvi)
$t_{\text{ilma}}=23^\circ\text{C}$	<0,16	<0,2	
$t_{\text{ilma}}=25^\circ\text{C}$	<0,2	<0,25	<0,3 (kesä)
Jäähdytysjärjestelmän suunnitteluarvo [ $^\circ\text{C}$ ]	25	25	-
Lämpötilakohtainen säädettävyys, talvi [ $^\circ\text{C}$ ]	20...23	-	-
Lämpötilakohtainen säädettävyys, kesä [ $^\circ\text{C}$ ]	23...25	-	-

#### 4 PAINESUHTEET RAKENNUKSESSA

Rakennuksen painesuhteet voidaan jakaa kahteen kategoriaan: rakennuksen painesuhteet ulkovaipan yli ja rakennuksen sisäisiin painesuhteisiin. Painesuhteella tarkoitetaan ilman liikettä korkeammasta paineesta pienempään paineeseen. Rakennuksen painesuhde ulkovaipan yli tulisi olla niin, että rakennus on hieman alipaineinen ulkoilmaan nähden, jolloin rakennuksen käytössä syntyvä kosteus ei aiheuta kosteusrasitetta rakenteille. Rakennuksen sisäisissä painesuhteissa tulisi ilman siirtyä puhtaammista tiloista likaisiin tiloihin.

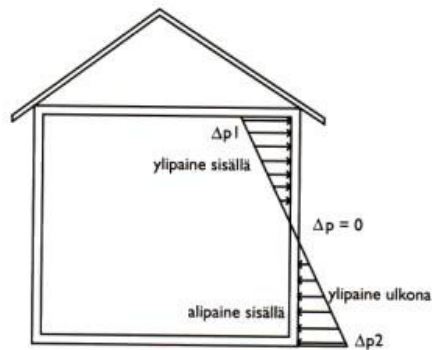
##### 4.1 Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli

Rakennuksen painesuhde ulkovaipan ylitse muodostuu kolmesta tekijästä: rakennuksen ilman tiheyserot (savupiippuvaikutus), tuulen takia sekä ilmanvaihdon takia ja kaikista näistä muodostuu paine-ero ulkoilman ja sisäilman välillä /1, s. 60/.

#### 4.1.1 Ilman tiheyserojen vaikutus

Paine-ero syntyy kun lämmin ilma nousee ylös ja kylmä ilma laskeutuu alas, johtuen siitä että lämmin ilma on kevyempää kuin kylmä ilma. Paine-ero muuttuu sen mukaan, kun lämpötilaero sisällä ja ulkona muuttuu. Talvella ilman tiheyserot ovat suurimmillaan ja kesällä pienimmillään. Tiheyserot kasvavat rakennuksen korkeuden mukaan, ja sen syystä yli kymmenen metriä korkeat rakennukset pyritään jaottelemaan tilan suhteen. Kansankielellä rakennuksen sisäisistä tiheyseroista käytetään ilmaisua savupiippuvaikutus.

Neutraaliakselin ( $\Delta p = 0$ ) tarkkaa sijaintia on vaikea määrittää. Sen sijainti riippuu rakennuksen ulkovaipan tiiveydestä, mutta voidaan olettaa, että neutraaliakseli sijaitsee noin puolivälissä rakennuksen sisäilmatilavuutta (kuva 11) . Kun sisä- ja ulkolämpötila eroa on 20 °C, neutraaliakselilta ylöspäin ylipaine nousee 0,9 Pa/m. /1, s. 58./



**KUVA 11. Lämpötilaeroista rakennukseen kohdistuva painejakauma /1, s. 58/**

#### 4.1.2 Tuulen vaikutus

Tuulen vaikutus rakennukseen on ajoittaista ja sen suuruus, ja suunta vaihtelevat paljon. Rakennuksen tuulenpuoleiselle sivulle syntyy ylipainetta, ja sivuille ja suojan puolelle alipainetta. Rakennuksen sisälle tuulenpuoleinen sivu aiheuttaa alipaineen ja tuulensuojaiselle puolelle ylipaineen ulkoilman paineeseen nähden. /1, s.57-58./



### 4.1.3 Ilmanvaihdon vaikutus

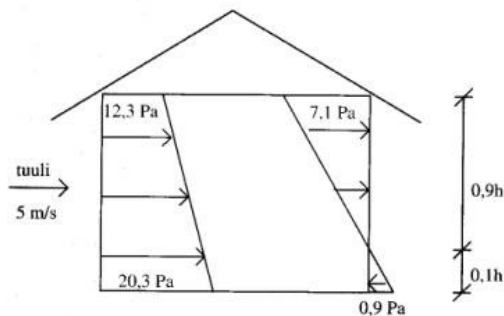
Ilmanvaihdon aiheuttama painesuhde ulkovaipan yli riippuu ilmanvaihdon toteutuksesta. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilman tiheyserot määräävät ilmanvaihdon tehokkuuden. Kesällä tiheyserot ovat erittäin pienet, joten ilman vaihtuvuus on heikkoa. Talvella tiheyserot ovat suurimmillaan, ja tällöin painovoimainen ilmanvaihto on tehokkaimmillaan.

Koneellisen poistoilmanvaihdon aiheuttama painesuhde ulkovaipan yli riippuu ilmanvaihtolaitteiston tehokkuudesta ja korvausilman saannista. /1, s. 59/. Pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto aiheuttaa keskimäärin suuremman paine-eron rakennuksen ulkovaipan yli kuin koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä /6, s. 32/.

### 4.1.4 Yhteisvaikutus

Painesuhteet muuttuvat tuulisuuden, vuodenajan ja ilmanvaihdon tehokkuuden mukaan. Yhteisvaikutus on laskettavissa (kuva 12), kun tiedetään tuulen määrä, tuulen suunta, rakennuksen muoto sekä lämpötilaero sisä- ja ulkotilan välillä, joten kosteuskonvektion aiheuttama kosteusvaurioriski on arvioitavissa mittaamalla paine-ero ulkovaipan yli. Kosteusvaurio on mahdollinen, jos rakennus on ylipaineinen ulkoilmaan nähden. /1, s. 60/

”Rakennus suunnitellaan yleensä ulkoilmaan nähden hieman alipaineiseksi, jotta voitaisiin välttyä kosteusvaurioilta rakenteissa sekä mikrobien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Alipaine ei kuitenkaan saa yleensä olla suurempi kuin 30 Pa.” /2, s. 19/



**KUVA 12. Tuulen, lämpötilaeroista ja ilmanvaihdon aiheuttama yhteisvaikutus esimerkki /1, s.61/**

## **4.2 Rakennuksen sisäiset painesuhteet**

Rakennuksen sisäisiin painesuhteisiin vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmä, ilman tiheyserot (savupiippuvaikutus) ja tuuli. Painesuhteiden tulee olla oikeanlaiset, sillä ilmavirtaukset kuljettavat mukanaan vesihöyryä ja epäpuhtauksia, niiden tulee liikkua rakennuksessa puhtaammista tiloista likaisempiin tiloihin. /2./

### **4.2.1 Ilmanvaihdon vaikutus ja ilman tiheyserot**

Ilmanvaihtojärjestelmässä vaikuttaa painesuhteisiin sen säädöt, kunto ja ilmanvaihdon toteutustapa. Epäedullisin tilanne on kun käytössä on koneellinen poistoilmanvaihto ja korvausilman saantia ei ole järjestetty kunnolla, jolloin ilma kulkeutuu rakennukseen rakennuksen ilmapuotokohdista.

Kun käytössä on koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä, säädöllä ja laitteiston oikeanlaisella huollolla saadaan sisäiset painesuhteet pysymään oikeanlaisina. /2./

Ilman tiheyserot rakennuksen sisällä käyttäytyvät kohdan 4.1.1 mukaisesti.

### **4.2.2 Ilman liike rakennuksessa**

Rakennuksen sisällä ilman tulee liikkua puhtaammista tiloista sellaisiin tiloihin, joissa syntyy enemmän epäpuhtauksia. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi saniteetti- ja pesutilat, keittiöt, varastot ja vastaavat: ne tulee suunnitella alipaineisiksi muihin tiloihin nähden. /2, s. 19./

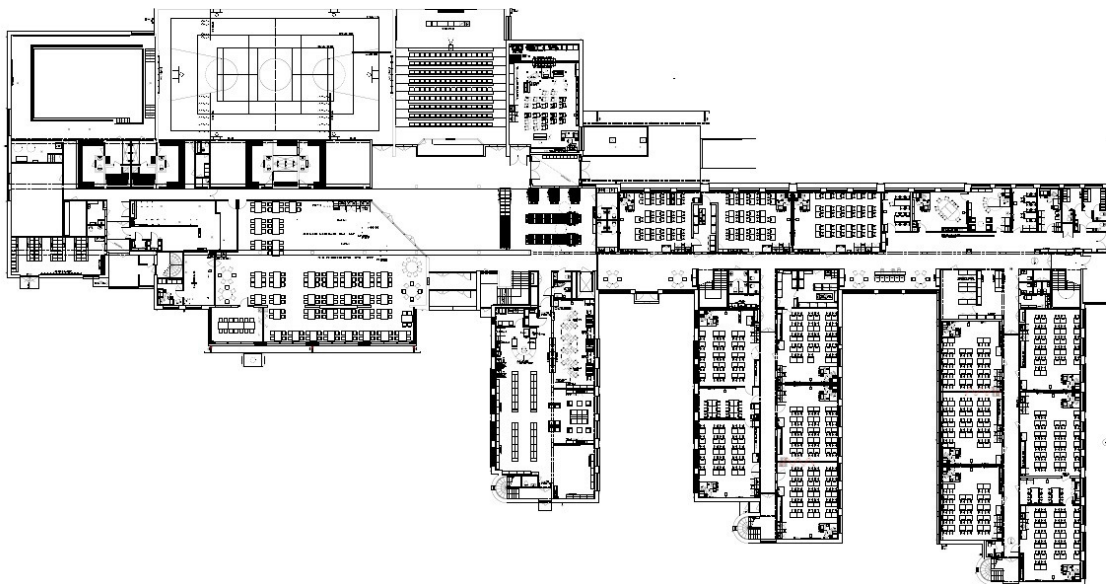
Ilmavirtauksiin rakennuksissa vaikuttaa merkittävästi rakenteiden ilmatiiveys. Paineet eivät saa aiheuttaa kosteusrasitusta rakenteille, joten korvausilman saannista täytyy huolehtia, ettei ilmanvaihto ala ”repiä” ilmaa rakenteiden ilmapuodoista. Ilmavirtaukset voivat kulkea saumoista, halkeamista, putkikanaaleista ja tarkistusluukuista. Kun ilma ei kulje sille tarkoitettuja reittejä voi ilmavirtauksen mukana kulkeutua epäpuhtauksia ja hajuja. Huonosta korvausilman saannista esimerkkinä ovat tilojen väliset ovet, jotka pitävät ääntä.

## 5 TUTKIMUSKOHTTEEN ESITTELY

Rakennuksesta tuli valmistuttuaan Kalevankankaan koulu, jossa toimii ala-aste ja yläaste. Vuonna 2008 tehdyn alustavan tilankäyttöarvion mukaan opiskelijamäärät tulisi olemaan rakennuksessa keskimäärin 480-580 oppilasta ja lisäksi 106 erityisoppilasta. Kokonaisuudessaan peruskorjausosan korjauksiin ja laajennusosan rakennustöihin varattiin noin yhdeksän miljoonaa euroa rahaa. Rakennustyöt aloitettiin syksyllä 2010 ja kokonaisuudessaan rakennustyöt päättyivät vuoden 2011 loppuun mennessä.

### 5.1 Koulurakennuksen peruskorjausosa

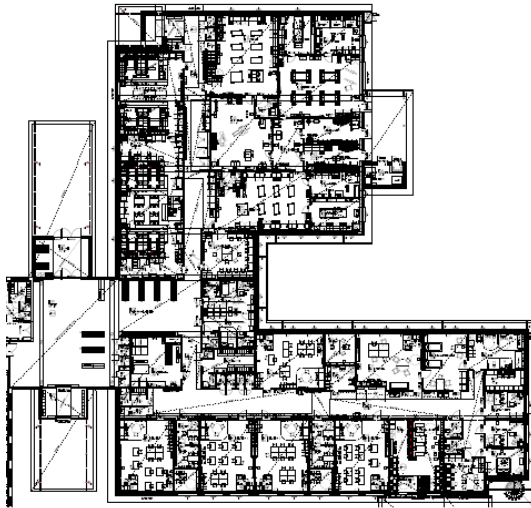
Rakennus (kuva 13) on rakennettu 1980-luvulla koulurakennukseksi ja on ollut opetuskäytössä näihin päiviin asti. Ennen peruskorjausta rakennuksessa toimi Mikkelin ammattikorkeakoulun sosiaali- ja terveydenhoitoalan oppilaitos. Rakennuksessa sijaitsee uima-allasosasto, liikuntahalli, auditorio, ruokala, opettajien toimistot ja opetusluokat 7-9 luokkalaisille. Peruskorjauksessa ilmanvaihtoa parannettiin uusimalla ilmanvaihtojärjestelmää.



**KUVA 13. Koulurakennuksen peruskorjausosa 1. krs.**

## 5.2 Koulurakennuksen laajennusosa

Peruskorjauksen yhteydessä kouluun rakennettiin pohjois puolelle lisäsiipi (kuva 14), jossa toimii luokat 1-6 ja erityisluokat. Tiloissa on myös yläasteen käyttöön kotitalousluokat ja teknisen työn luokat.



**KUVA 14. Koulurakennuksen laajennusosa.**

## 5.3 Vaadittu lopputulos kohteen ilmanvaihdossa

Rakennuksen ilmanvaihdolle on asetettu korkeampi taso kuin Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 vaatii. Vaatimuksena on sisäilmastoluokasta S2, mutta kesälämpötilojen osalta saa nousta S3-luokkaan. Tämä siis tarkoittaa, että jokaiselle henkilölle on tultava raitista tuloilmaa  $8 \text{ dm}^3/\text{s}$  tai lattiapinta-alan mukaan  $4 \text{ dm}^3/\text{m}^2$ . /5./

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaudelle on asetettu puhtausluokka P2, joka tarkoittaa että ilmanvaihtokanavien sisäpinnoilla saa olla käyttöönotettaessa likaa enintään  $2,5\text{g}/\text{m}^2$ . Nämä testit tehdään pistokokein visuaalisella menetelmällä.

## 6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Mittaukset suoritettiin ilmanvaihtokoneiden käydessä normaalisti. Mittaustilanteessa koko ilmanvaihtolaitos toimi täydellä teholla. Tämä käytiin toteamassa kiinteistöval-

vontaohjelmistosta. Kokonaisilmavirtoja ei tarkistettu tässä yhteydessä, sillä ilmavirtoja tarkasteltiin tilakohtaisesti.

Ilmanvaihtojärjestelmän mittauspöytäkirjoja tarkastellessa kävi ilmi että rakennuksessa on paljon sellaisia tiloja joiden ilmamäärät ovat jääneet selvästi suunnitelluista ilmavirroista, joten ilmavirtamittauksissa valittiin mitattavaksi pääasiassa niitä tiloja joiden suunnitellut ilmavirrat eivät toteutuneet. Mittauspisteitä valittiin myös sattumanvaraisesti ympäri taloa sellaisistakin tiloista, joissa ei ollut ilmamäärissä pöytäkirjojen mukaan heittoa. Syitä ilmavirtojen alittumiseen suunnitelmiin nähden voi olla, että ilmanvaihtokoneelta ei riitä suunniteltua määrää painetta, jolloin ilmamäärä jää pienemmäksi kuin mitä on suunniteltu. Pöytäkirjoista ilmeni myös, että rakennuksessa on sellaisia tiloja joiden ilmavirrat ovat ylittyneet suunnitellusta. Tiloja joissa ilmavirrat ylittyvät selvästi ovat yleensä ne tilat jotka sijaitsevat ilmanvaihtokoneen läheisyydessä, jolloin päätelaitteelle tulee suunniteltua enemmän painetta.

Mittauksia ei pystytty tekemään aivan kaikissa tiloissa, joita oli etukäteen tarkoitus mitata. Tällaisia tiloja olivat esimerkiksi puukäsityöluokat, jotka eivät olleet vielä valmiina käyttöön mittaushetkellä. Lisäksi mittauksia rajoitti tilojen käyttö ja mittausaika. Mittaukset suoritettiin 14.–15.12.2011. Ensimmäisenä päivänä tapasin Tapani Pyrhösen, joka neuvoi minua mittaamaan painesuhteita rakennuksessa. Pyrhönen toimi Mikkelin kaupungilla kunnossapidossa erikoistuen rakennuksen painesuhteisiin ennen eläkkeelle siirtymistään. Rakennuksen sisäisiä painesuhteita ja painesuhteita ulkovaipan ylitse mittasin ensimmäisenä mittauspäivänä, koska sääennusteen mukaan tuulisuus oli arvioitu pienemmäksi kuin seuraavalle päivälle. Toisena mittauspäivänä suoritettiin ilmamäärien mittaus.

## **6.1 Ilmamäärien mittaus**

Ilmamäärien tarkistusmittauksia tehtiin yhteensä 18 erikokoisissa ja eri käyttötarkoitukseen suunnitelluissa tiloissa. Mittauksia tehtiin niihin tiloihin/päätelaitteisiin, joihin päästiin käsiksi ilman suurempia toimenpiteitä.

### 6.1.1 Mittausvälineet

Mittausvälineinä oli käytössä TSI Airflow PH721 –balometri (kuva 15) ja TSI Airflow TA460 -mikromanometri (kuva 16), johon lisävarusteena mittariin oli sondi lautasventtiileiden paine-eromittaukseen.



**KUVA 15. TSI Airflow –balometri**

TSI Airflow –balometri oli kalibroitu viimeksi helmikuussa 2011.



**KUVA 16. TSI Airflow –mikromanometri johon liitettynä sondi**

TSI Airflow –mikromanometri oli kalibroitu viimeksi joulukuussa 2009.

### 6.1.2 Mittaustapa

Mittauksia tehtiin pääasiassa mikromanometrilla päätelaitteesta paine-eromittauksella, mutta balometrimittausta käytettiin muutamaaan päätelaitteeseen sen helppokäyttöisyyden vuoksi.

Ilmavirtojen laskukaava paine-erolla ja k-arvolla.

$$q_v = k \times \sqrt{\Delta p_m} = [dm^3 / s], \quad (1)$$

jossa k on päätelaitteen asennon k-arvo ja  $\Delta p_m$  on päätelaitteen paine-ero.

K-arvo määräytyy päätelaittevalmistajan venttiilin ominaisuuksien, asennustavan ja asennon mukaan. Paine-ero päätelaitteeseen määräytyy ilmanvaihtokoneen, säätöpelien ja kanaviston mukaan. Kaavaa 1 on käytetty taulukossa 3 ja liite 1 ilmavirtojen laskemiseen päätelaitteista. Taulukko 1 on lyhennelmä mittaustuloksista liite 1:stä.

### 6.1.3 Mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät

Mittaustuloksiin vaikuttaa millä teholla ilmanvaihtoa ajetaan, mutta mittauksien yhteydessä käytiin kiinteistövalvontaohjelmistosta toteamassa, että koko rakennuksen ilmanvaihtoa pidettiin täydellä teholla. Ilmanvaihtojärjestelmä on säädetty samoilla asetuksilla.

Vaihtuvilmavirtasäätimet vaikuttaisivat mittaustuloksiin, mutta näissä mittauksissa sellaisia tiloja ei mitattu, joissa niitä olisi.

Ilmanvaihtolaitosta ei kannata lähteä mittaamaan, mikäli tuulennopeus rakennuksen ympäristössä ylittää 10 m/s tai ulkolämpötila alittaa paikkakunnan mitoituslämpötilan.

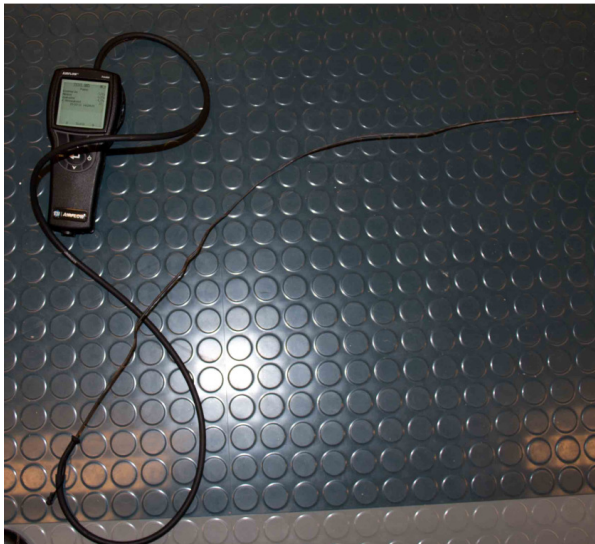
/7, s. 11./

## 6.2 Painesuhteiden mittaus

Painesuhdemittauksia ulkovaipan ylitse suoritettiin 12 ja sisäisiä painesuhdemittauksia 13 kappaletta. Mittaukset suoritettiin ympäri rakennusta osaksi valittuna sattumalta ja osaksi niistä tiloista joissa on ilmamäärien kanssa ongelmaa.

### 6.2.1 Mittausvälineet

Mittausvälineenä oli käytössä sama mittari kuin ilmavirtojen mittauksessa (kohta 6.1.1), mutta lisävarusteena oli käytössä ohut kapilaariputki (kuva 17), jolla voi mitata ahtaista aukoista paine-eroja, kuten ikkunan ja oven karmin raoista.

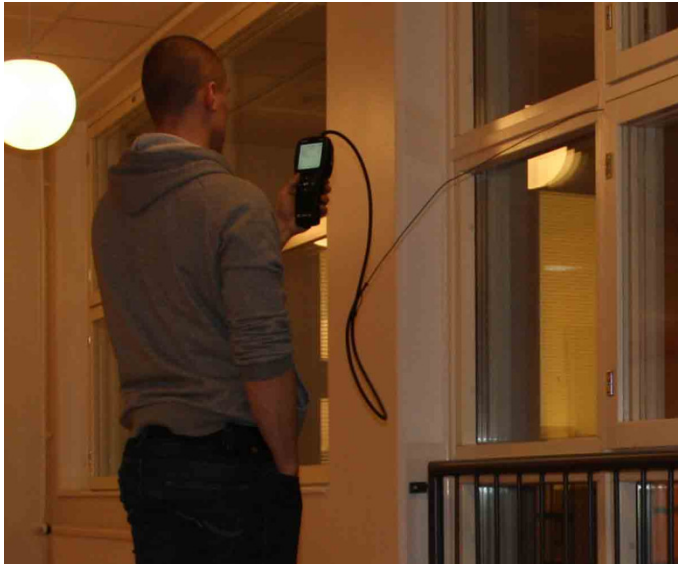


**KUVA 17. TSI Airflow –mikromanometri liitettynä kapilaariputkeen**

### 6.2.2 Mittaustapa

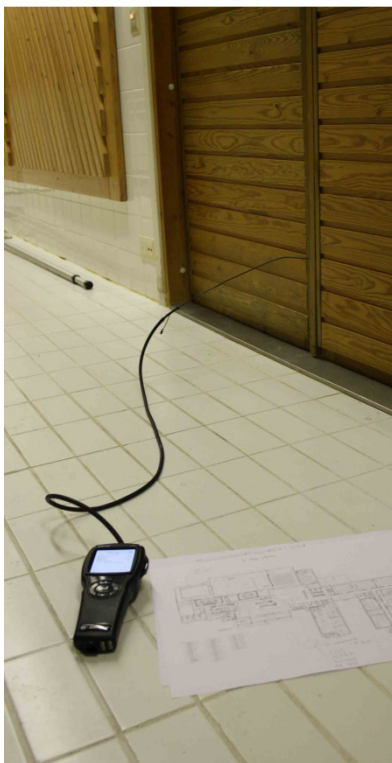
Painesuhdemittaukset ulkovaipan yli tehtiin ikkunoista ja ovista (kuva 18). Tuulisuuden vaikutuksesta hetkellinen mittaustulos heittelee jonkin verran, joten mittaustavaksi valitsin 60 sekunnin keskiarvomittauksen. Mikäli mittaustuloksesta näkyi selvästi tuulenpuuskien vaikutus, mittaus tehtiin uudestaan.





**KUVA 18. Painesuhdemittaus ulkovaipan yli ikkunasta**

Rakennuksen sisäisiä painesuhhteita mitattiin rakennuksen eri tilojen välillä ovista (kuva 19). Painesuhhteita osastojen välillä mitattiin myös 60 sekunnin keskiarvolla. Painesuhhteiden pieni huojuminen johtui ilmeisimmin rakennuksen käytöstä, kun ovia availtiin jatkuvasti eri puolilla rakennusta.



**KUVA 19. Painesuhdemittaus uima-allasosaston ja käytävän välillä**

Ilman liikkeen suuntien varmistamiseksi käytössä oli savuampulli (kuva 20), jolla painesuhdemittauksen lisäksi pystyy varmistamaan, kumpaan suuntaan ilma liikkuu varmasti, ja näin selviävät, ovatko painesuhteet tarkoituksen mukaiset. /7, s. 9./



**KUVA 20. Merkkisavutesti keittiön ylipaineisuuden toteamiseksi**

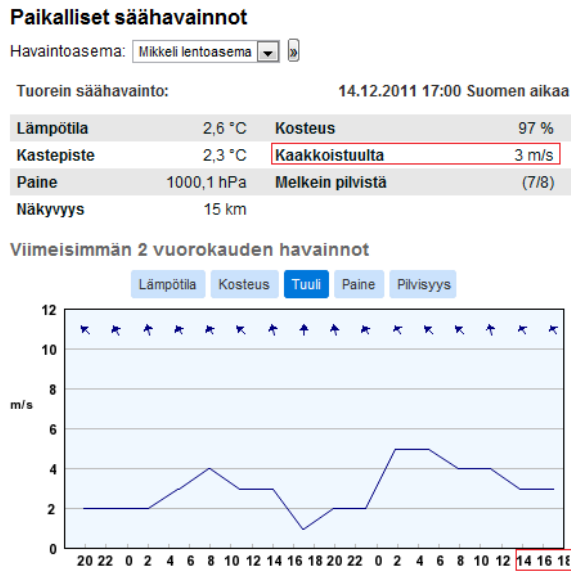
### 6.2.3 Mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät

Painesuhdemittauksia ulkovaipan yli häiritsevä tekijä on tuuli, koska paine-ero rakennuksen sisä- ja ulkopuolella on keskimäärin niin pieni, että pienikin tuulenpuuska voi sekoittaa mittaustuloksen. Mittaushetkellä Ilmatieteenlaitoksen säähavainnot (kuva 21) ilmoittavat mittausten hetkellä Mikkelissä olleen 3 m/s kaakkoistuuli, joten mittaustuloksiin täytyy suhtautua hieman skeptisesti. Sääolosuhteet tarkistettiin myös rakennuksen ulkopuolella kuumalanka-anemometrillä. (Taulukko 2.)

Painesuhdemittauksiin vaikuttavat myös samat asiat kuin kohdassa 6.1.3.

### TAULUKKO 2. Sääolosuhteet rakennuksen pihalla 14.12.2011 klo 14:55.

	keskiarvo	maksimi	minimi	yksikkö
<i>60 sek. mittaus</i>				
Tuulisuus	0,92	1,61	0,26	<i>m/s</i>
Ilmanpaine	99,0	99,0	99,0	<i>kPa</i>
Lämpötila	2,7	3,0	2,4	<i>°C</i>
Suht. Kosteus	62,5	68,1	58,3	<i>%rh</i>



**KUVA 21. Sähavainnot mittausten ajalta 14.12.2011 klo 14-18 /8/**

## 7 TULOKSET

Tulokset on jaoteltu kolmeen eri taulukkoon: huonetilojen ilmamäärämittaukset, painesuhdemittaukset ulkovaipan yli ja sisäisiin painesuhteisiin. Tuulisuus mittaushetkellä oli säähavaintojen mukaan 3 m/s (kuva 21), joten painesuhdemittaustuloksia tulee tarkastella hieman kriittisesti.

Käytettäessä TSI Airflow –mikromanometria mittari nollattiin näyttämään arvoa 0 Pa ennen jokaista mittausta, jotta mittaustulos olisi mahdollisimman luotettava. Käytettäessä TSI Airflow -balometria tarkastettiin, että mittari näyttää arvoa 0 l/s ennen mittausta.

### 7.1 Ilmamäärien mittaustulokset

Ilmamäärämittauksissa painopiste oli niissä tiloissa, joissa mittauspöytäkirjojen mukaan oli suurimpia heittoja verrattuna ilmanvaihtosuunnitelmiin. Taulukko 3 esittää tiloista mitatut ilmamäärät ja suunnitellun ilmamäärän. Ilmavirrat saavat määräysten mukaan erota  $\pm 20\%$  tilakohtaisesti. /2, s. 26/

Taulukkoon 3 on laskettu prosentteina, kuinka paljon mitattu ilmavirta eroaa suunnitellusta ilmavirrasta. **Punaisella** merkityt prosenttiluvut kertovat sen, kuinka monta prosenttia ilmavirta alittaa vaaditun ilmavirran. **Oranssilla** merkityt prosenttiluvut kertovat, kuinka monta prosenttia ilmavirta ylittää vaaditun ilmavirran.

Liitteessä 1 olevasta taulukosta näkee tarkistusmittauksista päätelaittekohtaiset asento-, paine-ero- ja ilmamäärätiedot. Liitteestä käy myös ilmi, paljonko urakoitsija on mitannut ilmavirtaa päätelaitteista.

### TAULUKKO 3. Ilmavirtojen mittaustulokset

Tila	Tulo/poisto	Vaadittu ilmamäärä	Tarkistusmitattu ilmamäärä	Ero
		<i>dm<sup>3</sup>/s</i>	<i>dm<sup>3</sup>/s</i>	%
A123	Uima-allasosasto			
	tulo	400	349	-13 %
	poisto	?	ei mitattu	
	Altaan huoltotila			
	poisto	?	-52,7	-
A118	WC			
	poisto	-20	-9,7	<b>-52 %</b>
A205	Siivoushuone			
	poisto	-30	-20,9	<b>-30 %</b>
A220	Kopiointi			
	tulo	50	34,4	<b>-31 %</b>
	poisto	-90	-92,1	2 %
B108	Lukupaiikka			
	tulo	65	77	18 %
	poisto	-65	-28,1	<b>-57 %</b>
B116	Käytävä			
	tulo	60	85	42 %
B202	Vaatetila			
	poisto	-60	-32,5	<b>-46 %</b>
C118	Luokka			
	tulo	110	105,6	-4 %
	poisto	-190	-73,6	<b>-61 %</b>
C203	Atk			
	tulo	190	116,9	<b>-38 %</b>
	poisto	-180	-137,4	<b>-24 %</b>
C213	Luokka			
	tulo	170	162,4	-4 %
	poisto	-170	-166	-2 %
D101+D114	Käytävä			
	tulo	400	574	44 %
	poisto	-220	-166	<b>-25 %</b>
D106	Vahtimestari			
	tulo	30	19,4	<b>-35 %</b>
	poisto	-30	-24,8	-17 %
D211	WC			
	poisto	-20	-2,6	<b>-87 %</b>
E120	Luokka			
	tulo	120	117,1	-2 %
	poisto	-120	-156,7	31 %
E135	Pesuhuone			
	tulo	50	54	8 %
	poisto	-120	-224,9	87 %
E136	Asentoharj.			
	tulo	80	45,8	<b>-43 %</b>
	poisto	-80	-76,9	-4 %
E137	Luokka			
	tulo	100	94,7	-5 %
	poisto	-80	-99,2	24 %

Kuten taulukosta 3. nähdään, ilmavirrat jäävät suunnitellusta ilmamäärästä monessa tilassa merkittävästi. Tämä johtuu osaksi siitä, että kanaviston kauimmaisiin päihin ei riitä ilmanvaihtokoneelta painetta. Jos tilannetta lähdetään korjaamaan ilmanvaihtokoneen painetta nostamalla, ilmanvaihtokoneen lähimmäisissä päätelaitteissa paine kasvaa ja niiden virtausta joudutaan kuristamaan lisää, josta voi syntyä ääntä.

## 7.2 Painesuhteet ulkovaipan yli

Painesuhdemittaukset ulkovaipan ylitse suoritettiin eri puolilta rakennusta pääosin 1. kerroksesta. Taulukosta 4 ilmenevät tulokset. Tuloksista tilojen F104 ja F105 mittaus hylätään, koska tilojen uusista ikkunoista mittaukset epäonnistuivat.

### TAULUKKO 4. Painesuhteet ulkovaipan yli mittaustulokset

Tila	Tilan selite	Mittaus	Painesuhde	Huomautus
			<i>Pa</i>	
1. krs				
A101	Tuulikaappi	Ovi	-5,7	
A103	Tuulikaappi	Ovi	-3,5	
A123	Uima-allashuone	Ikkuna	-7,1	
C118	Kotiluokka	Ikkuna	-1,0	Tilan poistoilmamäärä jäänyt suunnitellusta
D101	Oleskelu/käytävä	Ikkuna	-3,8	
D102	Ryhmätyö	Ikkuna	-6,0	
E120	Kotiluokka	Ikkuna	-7,2	Tilan poistoilmalaite pitää kovaa ääntä
E136	Eha 2/Asento	Ikkuna	-6,0	Tilan väliovi käytävään pitää ääntä
<del>F104</del>	<del>Kotitalousluokka</del>	<del>Ikkuna</del>	<del>0,4</del>	<del>Mittaus epäonnistunut, hylätään</del>
<del>F105</del>	<del>Vaatehuone</del>	<del>Ikkuna</del>	<del>0,1</del>	<del>Mittaus epäonnistunut, hylätään</del>
2. krs				
C204	ATK/kielistudio	Ikkuna	-4,9	
D201	Oleskelu/käytävä	Ikkuna	-2,6	

Taulukosta 4 ilmenee, että mittauspisteissä ympäri rakennusta rakennus on alipaineinen ulkoilman paineeseen nähden. Keskiarvo painesuhteelle on 4,8 Pa alipainetta ulkoilmaan nähden.

Kim Seppäsen tutkimuksessa, jossa tutkittiin asuinrakennusten painesuhdetta ulkovi-  
pan yli, keskiarvoksi painesuhteelle koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmissä oli  
6,0 Pa alipainetta ulkoilmaan nähden /6, s. 32/.

### 7.3 Rakennuksen sisäiset painesuhteet

Mittaustulokset ilmenevät taulukosta 5, jossa **punaisella** on esitetty tilojen välinen  
paine-ero on melko suuri. **Oranssilla** on esitetty ne tilat, joissa ilma liikkuu likaisesta  
tilasta puhtaaseen tilaan.

**TAULUKKO 5. Rakennuksen sisäiset painesuhdemittaustulokset**

Tila josta mitataan		Tila jonne mitataan		Paine- ero Pa	Ilman liikkeen suunta
Tila	Selite	Tila	Selite		
1.krs					
A102	Aula	A148	Auditorio	-19,5	auditoriosta aulaan
A102	Aula	A148	Auditorio	-19,8	auditoriosta aulaan
A116	Tuulikaappi	A111	Keittiö	-0,4	keittiöstä tuulikaappiin
A123	Uima-allasosasto	A132	Käytävä	-4,5	käytävästä allasosastolle
A132	Käytävä	A122	Allaslaitehuone	0,4	laitehuoneesta käytävään
A146	Käytävä	A106	Palautus/keittiö	-0,2	keittiöstä käytävälle
C112	Käytävä	C118	Kotiluokka	-3,4	luokasta käytävään
E110	Käytävä	E136	Käytävä	41,9	käytävältä asentoharjoitustilaan
E110	Käytävä	E137	Kotiluokka	12,4	käytävältä kotiluokkaan
E136	Asentoharjoitus	E135	Pesuhuone	-3	asentoharjoitus tilasta pesuhuoneeseen
E137	Kotiluokka	E136	Asentoharjoitus	26,8	kotiluokasta asentoharjoitusluokkaan
F109	Käytävä	F106	Kotitalousluokka	-9,0	luokasta käytävään
2. krs					
D202	Käytävä	D221	Porrashuone	0,2	käytävästä portaikkoon

Taulukosta 5 nähdään, että viidessä mittauspisteessä paine-erot tilojen välillä ovat  
suuria. Määräyksissä ei ole annettu sisäisille painesuhteille raja-arvoja.

## 8 TULOKSIEN ARVIOINTI

Tuloksia arvioidaan niiden tilojen osalta, joiden mittauksissa esiintyi ongelmia tai kyseessä on ns. erityistä huomiota vaativa tila, kuten esimerkiksi uima-allastilat allaslaitehuoneineen.

Kuvilla on havainnollistettu tilojen ilmavirtauksia nuolin ja paineluvuilla. Kuvissa esiintyvä sininen nuoli kuvaa tuulensuuntaa.

### 8.1 Uima-allasosasto ja sen alla sijaitseva huoltotila

Uima-allasosaston tuloilmamäärä on jäänyt suunnitelmista 13%, ja tämä on hyväksyttävää. Poistoilmanmäärän mittaaminen ei onnistunut vanhoista päätelaitteista, mutta ilmanvaihtourakoitsijan mittauspöytäkirjoista käy ilmi, että ilmaa poistuu 320 l/s. Pesuhuoneissa sijaitsevat poistoventtiilit tekevät poistoilmavirrallaan allasosastosta alipaineisen käytävään nähden ja ulkovaipan yli.

Uima-allasosastolla oli taulukon 6 mukaiset olosuhteet painesuhteita mitattaessa. Uima-allasosasto on selvästi alipaineinen ulkovaipan ylitse (7,1 Pa), joten on todennäköistä ettei kosteusrasitusta aiheudu rakenteisiin.

Uima-allasosaston alapuolella on huoltotila (kuva 22), jota ihmisaistimuksella voi luonnehtia viileäksi ja kuivaksi tilaksi. Tilan tuloilmanvaihto on hoidettu kahdella tuloilmalaitteella ja poistoilmanvaihto kahdella poistoilmalaitteella. Lisäksi tilaan on kaksi korvausilmaventtiiliä seinässä.

#### TAULUKKO 6. Uima-allasosaston olosuhteet mittaushetkellä

Lämpötila	23,7 °C
Kosteus	45,4 rh%

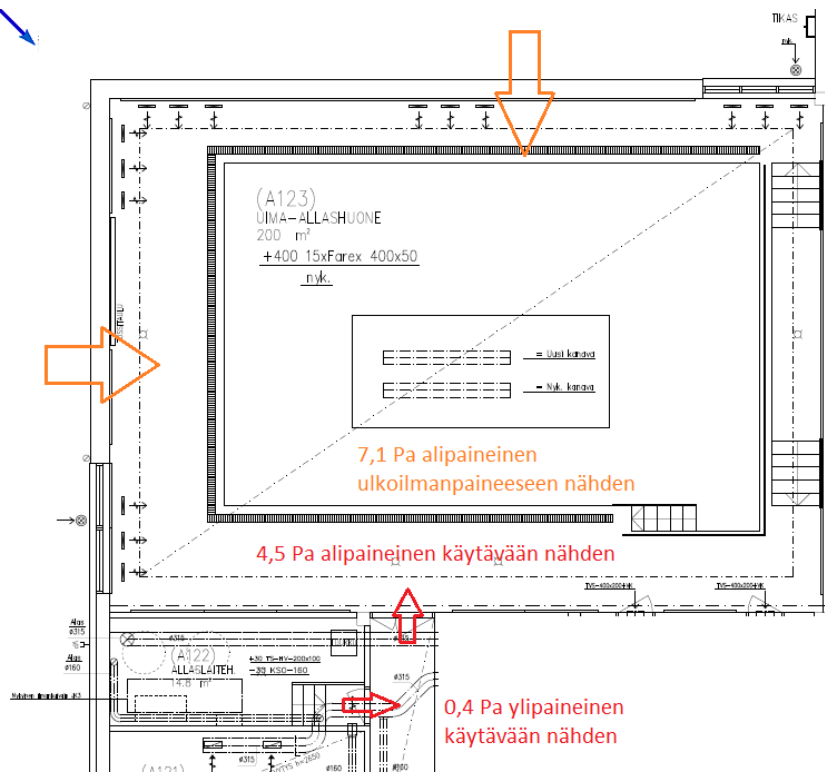




**KUVA 22. Uima-altaan huoltotila**

## **8.2 Allaslaitehuoneen ylipaineisuus**

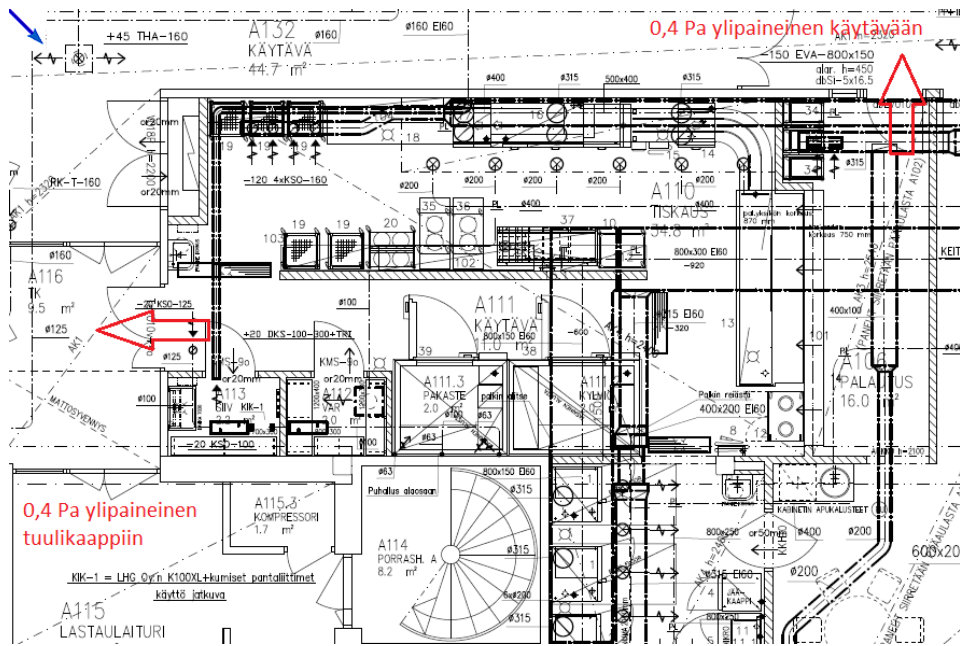
Allaslaitehuone sijaitsee uima-allasosaston vieressä (kuva 23), ja se on 0,4 Pa ylipaineinen käytävään nähden. Allaslaitehuoneessa säilytetään kemiallisia aineita, ja täten ne voivat kulkeutua käytävälle ilmavirtauksen mukana. Todennäköistä on, että nämä mahdolliset aineet ilmassa siirtyvät ilman mukana uima-allasosastolle. Ylipaineisuus todettiin paine-eromittauksen lisäksi merkkisavutestillä.



**KUVA 23. Uima-allasosasto ja allaslaitehuone**

### 8.3 Keittiön ylipaineisuus ympäröiviin tiloihin

Keittiön ilmanvaihdon määrää ei mitattu, mutta painesuhdemittauksilla keittiötä ympäröiviin oviin todettiin keittiön olevan ylipaineinen tuulikaappiin ja käytävään (kuva 24). Näin ei pitäisi olla, vaan ilman tulisi liikkua puhtaammasta tilasta likaisempaan tilaan ja keittiö on epäpuhtaampi kuin käytävä. Näillä mittauksilla ei selviä miksi keittiö on ylipaineinen. Ylipaineisuus todettiin paine-ero mittauksen lisäksi merkkisavutestillä (kuva 20).

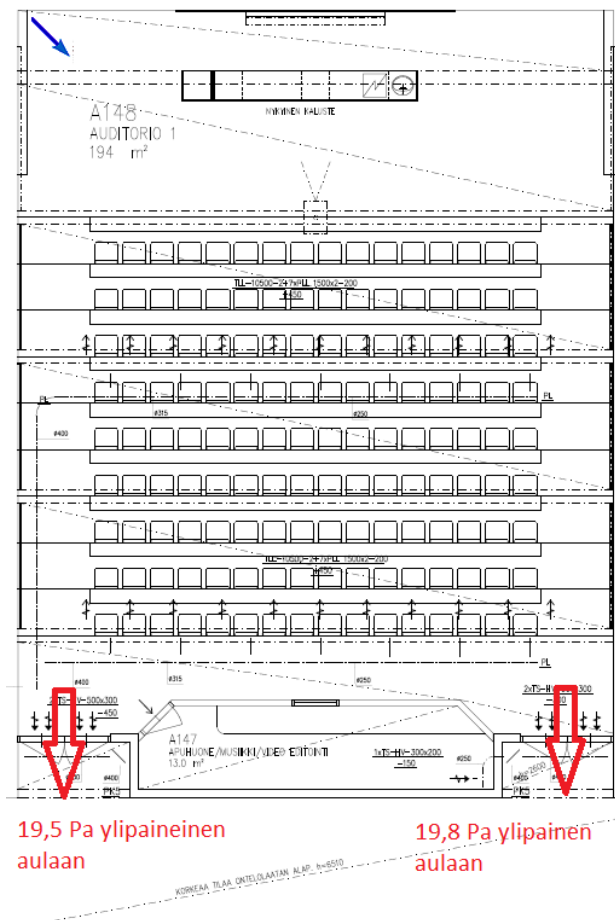


**KUVA 24. Keittiön ilmavirtaukset viereisiin tiloihin**

#### 8.4 Auditorion ylipaineisuus aulaan

Painesuhdemittauksessa ilmeni auditorion (kuva 25) reilu ylipaineisuus aulaan nähden (noin 19,7 Pa). Auditoriosta painesuhdetta ulkovaipan yli ei ollut mahdollista mitata, sillä tilasta ei ole ikkunoita tai ovia ulkoilmaan. Mikäli auditorio on ylipaineinen ulkovaipan yli, saattaa siitä aiheutua rakenteille kosteusrasitusta.

Mittauksissa ei ollut mahdollisuutta mitata ilmavirtoja, mutta urakoitsijan mittauspöytäkirjojen mukaan tuloilmaan johdetaan tilaan 740 l/s ja poistetaan 790 l/s, joten tilan pitäisi olla tämän mittauksen mukaan hieman alipaineinen.



**KUVA 25. Auditorio**

### 8.5 B202 vaateilman poistoilmamäärä eroaa suunnitelmista

Tilan B202 poistoilmamäärä on jäänyt noin puolella suunnitellusta ilmamäärästä. Tilaan mentäessä ilman tunkkaisuuden havaitsee välittömästi. Tilassa oli mittaushetkellä paljon ulkovaatteita. Syynä ilmamäärän jäämiseen suunnitelmista voidaan pitää paineen riittämättömyyttä kanaviston häntäpäähän.

### 8.6 C118 luokan poistoilmamäärä eroaa suunnitelmista

Tilan C118 kotiluokan poistoilmavaihto on jäänyt 61%:iin suunnitelmista, mutta tuloilmaa tulee suunniteltu määrä. Tämä voi johtaa siihen, että tila on ylipaineinen ulkovaipan yli, jolloin kosteudesta voi koitua haittaa rakenteille. Painesuhdemittauksessa ulkovaipan yli kotiluokka kuitenkin osoittautui hieman alipaineiseksi ulkoilmaan

nähdessä (1,0 Pa). Poistoilman määrän jäämiseen suunnitelmista voi vaikuttaa tilan sijainti kanaviston häntäpäässä.

### **8.7 D211 WC:n poistoilmamäärä eroaa huomattavasti suunnitelmista**

Tilassa D211 (kuva 26) poistoilmavirran määrä on jäänyt 87% suunnitelmista. Tämä on suuri virhe tilasta, jossa syntyy paljon epäpuhtauksia. Venttiilinä on KSO-100, jonka asento on -8, eli venttiilissä on paljon varaa kasvattaa ilmavirtaa. Urakoitsijan mittauspöytäkirjojen mukaan venttiilistä on samalla asentoarvolla mitattu suunniteltu arvo poistoilmamäärää (20 l/s). Poistokoneena tilasta toimii huippuimuri.



**KUVA 26. Tila D211 jonka ilmamäärä eroaa suunnitelmista**

### **8.8 E120 luokan poistoilmalaitteen äänitaso ylittyvät**

Luokassa E120 poistoilmalaitteen (kuva 27) ilmamäärä ylittyy 31% suunnitelmista, ja tästä syntyy luokkaan häiritsevän paljon melua. Luokassa työskentelee erityisoppilaita, joille ulkoiset häiriöt voivat aiheuttaa keskittymisvaikeuksia. Päätelaitteen valmistajan esitteistä katsottuna ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttaman paine-eron ja ilmamäärän mukaan päätelaite tuottaa huonetilaan yli 35 dB(A) äänenpaineen. Suomen rakennusmääräyskokoelmat ja sisäilmastoluokitus 2008 sallivat luokahuoneeseen korkeintaan 33 dB(A):n äänenpaineen ilmanvaihtolaitteista.

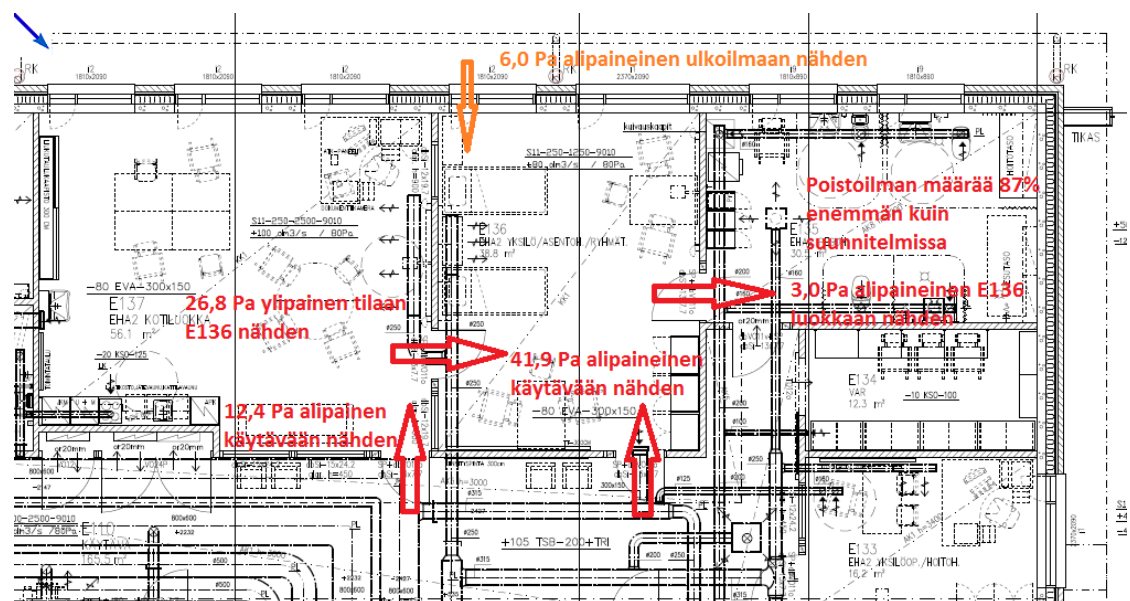


KUVA 27. Häiritsevää ääntä tuottava päätelaite luokkahuoneessa E120

### 8.9 E135 pesuhuoneen liiallinen poistoilmamäärä ja sen vaikutukset

Tila E135 on erittäin alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden johtuen 87% liiallisesta poistoilman määrästä. Suurella poistoilmanmäärällä on suurin vaikutus viereiseen E136 tilaan. Tilasta E135 poistuu suunnitellun 120 l/s sijasta 225 l/s, mikä aiheuttaa tilan E136 ja käytävän välisen oven kovaäänisen suhinan oven kiinni ollessa. Tämän oven ja käytävän välinen paine-ero on 41,9 Pa. Kuva 28 havainnollistaa ilman liikesuunnat tilojen E135, E136 ja E137 välillä.

Tilan E136 tilannetta pahentaa vielä se, että tilan tuloilmamäärä on jäänyt 43% suunnitellusta. Liiallisesta alipaineisuudesta voi olla kosteusrasitusta rakenteille pitkällä aikavälillä.



KUVA 28. Tilojen E135, E136 ja E137 ilmavirtaukset

## 9 PAINESUHTEIDEN MITTAUS LIITETTYNÄ ILMAVIRTOJEN SÄÄTÖÖN

Ilmanvaihtojärjestelmää säädettäessä standardin SFS 5512 mukaan (kuva 29) tulee painesuhteet tarkastaa, että ne ovat oikeanmukaiset. Standardi esittää mittaustavoiksi savuampulli tarkistuksen, jolla on helppo ja nopea selvittää ilman liikkeen suunta tilojen välillä, sekä tarkemman paine-eromittauksen esimerkiksi sähköisellä manometrillä.

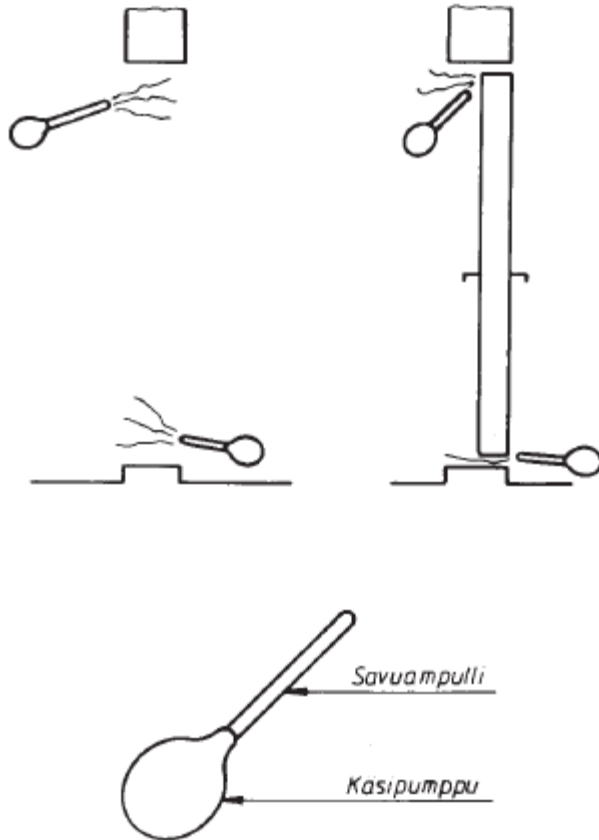
Rakennuksen painesuhdemittaukset tulisi liittää osaksi ilmanvaihtojärjestelmän säätöä vaatimuksella LVI-suunnitelmiin ja tuloksista koottaisiin ilmamäärämittauspöytäkirjan tapainen pöytäkirja. Liite 2:ssa on esitetty esimerkki siitä, minkälainen tämä mittauspöytäkirja voisi olla. Pöytäkirjasta voisi analysoida mahdollisia ongelmakohtia, joita voisi korjata ennen sisäilmaongelmien syntyä säätämällä rakennuksen tuloilman ja poistoilman suhdetta ja lisäämällä siirtoilmasäleikköjä ilman liikettä parantamiseksi. Lisäksi Suomen rakentamismääräyskokoelmiin olisi hyvä lisätä selvät suositukset maksimi painesuhteille eri käyttötilanteissa ja eri ilmanvaihtojärjestelmissä. Tällä hetkellä Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 ottaa kantaa vain painesuhteeseen ulkovaipan yli, joka tulisi olla maksimissaan 30 Pa alipaineinen ulkoilmaan nähden.

Rakennuksen painesuhteet ulkovaipan yli tulisi tarkistaa eri puolilta/kerroksilta rakennusta tyynellä säällä (tuulisuus alle 3 m/s), jolloin mittaustulokset ovat luotettavimmillaan. Rakennuksen sisäiset painesuhteet tulisi tarkastaa niiden tilojen väliltä, joissa ilman liikkeen suunta on ilmeinen, esimerkiksi käytävältä liikkeen suunta on saniteetitiloihin päin. Tällöin mitattaisiin oven ollessa kiinni näiden tilojen välinen paine-ero ja vahvistukseksi mittaukselle tarkistettaisiin savuampullilla ilman liikkeen suunta.

## 7 PAINESUHTEET JA PAINE-EROJEN MITTAUS

### 7.1 Painesuhteiden toteaminen

Ilmavirtojen tarkastuksen yhteydessä tarkastetaan myös, että rakennuksen painesuhteet ovat tarkoituksenmukaiset. Tarkastus tehdään huonetiloissa, huoneistoissa tms. yleensä päästämällä merkkipölyä huonetilaan, oviaukkoon, -rakoon tai siirtoilmavirtaan kuvan 14 mukaisesti.



Kuva 14

### 7.2 Paine-eron mittaus rakennuksissa

Savukokeiden lisäksi mitataan paine-ero rakennuksen ja ulkoilman välillä, kahden rinnakkaisen tai päällekkäisen huone-tilan välillä tai huoneiston sekä huoneistojen ja porrashuoneiden välillä. Mittauksiin tarvitaan yleensä paine-eron mittari (alue 0 ... 100 Pa; nestemanometri, kalvomittari, tai sähköinen manometri), mittausletku sekä ohut läpivientiputki (esim. kappilaariputkisondi). Mittausperiaate esitetään kuvassa 15.

**KUVA 29. Standardin SFS 5512 ohjeet painesuhdemittauksesta /7, s. 9-10/**



## 10 POHDINTA

Tarkoituksena oli suorittaa koeluontoisesti tarkistusmittauksia juuri peruskorjattuun koulurakennukseen johon samassa yhteydessä rakennettiin laajennusosa. Mittauksia suoritettiin rakennuksen painesuhteisiin ulkovaipan yli ja rakennuksen sisäisiin painesuhteisiin ja lisäksi tilojen ilmamääriä mitattiin.

Tavoitteena tälle työlle oli selvittää kuinka ilmavirtojen säätöön tulisi liittää painesuhteiden mittaaminen. Painesuhteiden mittaaminen voitaisiin liittää ilmanvaihtojärjestelmän säätöön tavanomaiseksi rutiiniksi esimerkiksi lisäämällä tämä vaatimukseksi LVI-suunnitelmiin ja Suomen rakentamismääräyskokoelma D2:seen. Mittauksessa tarkistettaisiin rakennuksen alipaineisuus ulkoilmaa nähden ja sisäisten painesuhteiden oikeellisuus.

Koulurakennuksen mittauksiin käytettiin kaksi päivää, joten läheskään kaikkia ongelmakohtia ei rakennuksesta varmasti löytynyt, joten voidaan olettaa niitä olevan enemmänkin.

Rakennuksen painesuhteita mitattaessa tuulisuus oli 3 m/s ilmatieteenlaitoksen havaintojen perusteella. Rakennuksen pihalla mitattaessa tuulisuutta tuulenpuuskien voimakkuus ylsi 1,6 m/s. Tästä syystä tuloksiin kannattaa suhtautua pienellä varauksella.

Rakennuksen painesuhteita ulkovaipan yli mitattaessa kävi ilmi, että valituissa mittauspisteissä rakennus oli alipaineinen, kuten rakennuksen kuuluukin olla. Mielestäni ainakin tilojen A148 ja E135 painesuhteet tulisi vielä tarkistusmitata ulkovaipan yli, jotta voitaisiin arvioida mahdollisia sisäilmaongelmia jatkossa. Tila A148 on ylipaineinen aulaan nähden, mutta näissä mittauksissa ei ollut mahdollista tarkistaa painetta ulkovaipan ylitse. Tila E135 on hyvin alipaineinen ympäröiviin tiloihin johtuen ylisuuresta poistoilman määrästä. Ilmamäärää tulisi saada laskettua suunniteltuihin arvoihin, jotta sen aiheuttamat oven suhinaäänet häviäisivät ja rakenteille ei aiheutuisi kosteusrasitusta.

Ilmanvaihdon ilmamääriä tarkistusmitattaessa, mittauspisteiksi valittiin pääasiassa ne tilat, joissa oli ennestään ilmanvaihtourakoitsijan toimittamien mittauspöytäkirjojen

mukaan selvää vajautta ilmamäärissä. Mitattuja tiloja oli yhteensä 18, joista 15 tilassa oli Suomen rakennusmääräyskokoelman D2 vastainen poikkeavuus tilakohtaisissa ilmavirroissa.

Tässä työssä pääsin tutustumaan painesuhteiden mittaamiseen rakennuksessa ensimmäistä kertaa ja ymmärsin niiden merkityksen sisäilmaongelmien suhteen. Hämmästyin myös, miten vähän rakentamismääräykset käsittelevät painesuhteita. Esimerkiksi rakennuksen sisäisille painesuhteille ei ole annettu minkäänlaisia sallittuja raja-arvoja.

Ennen Tapani Pyrhösen tapaamista en uskonut painesuhteilla olevan kovinkaan suurta merkitystä rakennuksissa, mutta tapaamisen jälkeen tulin vakuuttuneeksi niiden tärkeydestä. Rakentamismääräyskokoelmat käsittelevät liian vähän painesuhteita ja niiden merkityksiä rakennuksen hyvinvoinnissa, joten niiden merkityskin on jäänyt rakentamisen ”arkipäivässä” vähäisiksi. Olen tavannut aikaisemmin työelämässä rakennuksissa tiloihin, joiden painesuhteet ovat olleet suuret tilojen välillä, mutta koska tilojen ilmavirrat ovat olleet linjassa Suomen rakentamismääräyskokoelmien vaatimuksiin, niin näihin epäkohtiin ei ole tarvinnut puuttua.

## LÄHTEET

1. Ympäristöministeriö. Ympäristöopas 28. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Helsinki 1997
2. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2, Helsinki. 2008.
3. Sisäilmayhdistys. Ilmanvaihdon perusteet. Verkkodokumentti.  
[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon\\_perusteet/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon_perusteet/)  
Päivitetty 27.10.1995. Luettu 8.1.2012
4. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. Asumisterveysohje. Helsinki. 2003:1
5. Rakennustieto. Sisäilmastoluokitus 2008. RT 07-10946. Päivitetty 17.12.2009. Luettu 30.12.2011
6. Kim Seppänen. Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli. Kuopio: Itä-Suomen yliopisto, Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate. 9/2010.
7. Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi SFS5512. Helsinki. Maaliskuu 1992.
8. Ilmatieteenlaitos. Mikkelin säähavainnot. Verkkodokumentti.  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/saa/Mikkeli> Päivitetty 14.12.2011 klo 17:00. Luettu 14.12.2011 klo 19:30.
9. Tapani Pyrhösen haastattelu 14.12.2011

## LIITE 1.

Tila	Tulo/poisto	Päätelaite	Koko	Asento	K-arvo	Paine-ero	Vaadittu	Mitattu	Tarkistusmitattaus
Tilanro.						Pa	dm <sup>3</sup> /s	dm <sup>3</sup> /s	dm <sup>3</sup> /s
A123	Uima-allasosasto								
	Tuloilma	Farex	400x50						
		#1							0,0
		#2							19,0
		#3							26,0
		#4							20,0
		#5							23,0
		#6							24,0
		#7							21,0
		#8							14,0
		#9							28,0
		#10							22,0
		#11							36,0
		#12							25,0
		#13							32,0
		#14							31,0
		#15							28,0
		yht.					400,0	340,0	349,0
		Ero vaadittuun						-15 %	-13 %
	Uima-altaan alatila								
	Poistoilma	KSO	160						
		#1		20	7,1	15	-	-	-27,5
		#2		15	6,2	16,5	-	-	-25,2
		yht.							-52,7
A118	WC								
	Poistoilma	URH	100						
		#1		17	2,7	13	-20,0	-8,0	-9,7
		Ero vaadittuun						-60 %	-51 %
A205	Sivoushuone								
	Poistoilma	URH	100						
		#1		15	2,56	66,5	-30,0	-23,0	-20,9
		Ero vaadittuun						-23 %	-30 %
A220	Kopiointi								
	Poistoilma	KSO	160						
		#1		13	5,85	24			-28,7
		#2		13	5,85	26,5			-30,1
		#3		13	5,85	32,5			-33,4
		yht.					-90,0	-75,0	-92,1
		Ero vaadittuun						-17 %	2 %
A220	Kopiointi								
	Tuloilma	S11	160						
		#1		176	0,03	42,5	50,0	40,0	34,4
		Ero vaadittuun						-20 %	-31 %
B108	Lukupaiikka								
	Poistoilma	URH	125						
		#1		20	4,3	9			-12,9
		#2		20	4,3	12,5			-15,2
		yht.					-65,0	-24,0	-28,1
		Ero vaadittuun						-63 %	-57 %
B108	Lukupaiikka								
	Tuloilma	TS-HV	125						
		#1							42,0
		#2							35,0
		yht.					65,0	52,0	77,0
		Ero vaadittuun						-20 %	18 %



## LIITE 1.

Tila	Tulo/poisto	Päätelaite	Koko	Asento	K-arvo	Paine-ero	Vaadittu	Mitattu	Tarkistusmittaus
						Pa	dm <sup>3</sup> /s	dm <sup>3</sup> /s	dm <sup>3</sup> /s
<i>Tilanne.</i>									
D106	Vahtimestari Poistoilma	KSO #1	160	15	6,2	16	-30,0	?	-24,8 -17 %
Ero vaadittuun									
D106	Vahtimestari Tuloilma	S11 #1	125	132	0,03	24	30,0	?	19,4 -35 %
Ero vaadittuun									
D211	Wc Poistoilma	KSO #1	100	-8	1,18	4,7	-20,0	?	-2,6 -87 %
Ero vaadittuun									
E120	Luokka Poistoilma	EVA #1	500x150	5	16,43	91	-120,0	-120,0	-156,7 0 % 31 %
Ero vaadittuun									
E120	Luokka Tuloilma	S11 #1 #2 yht.	200	360 360	0,03 0,03	33 26	60,0 60,0 120,0	86,4 79,4 165,8	62,0 55,1 117,1 38 % -2 %
Ero vaadittuun									
E135	Pesuhuone Poistoilma	KSO #1 #2 #3 #4 #5 yht.	160	-5 -5 -5 -5 -5	4,4 4,4 4,4 4,4 4,4	119 97 90 108 110			-48,0 -43,3 -41,7 -45,7 -46,1 -224,9 0 % 87 %
Ero vaadittuun									
E135	Pesuhuone Tuloilma	DKS #1	160				50,0	49,0	54,0 -2 % 8 %
Ero vaadittuun									
E136	Asentoharj. Poistoilma	EVA #1	300x150	5	9	73	-80,0	-80,0	-76,9 0 % -4 %
Ero vaadittuun									
E136	Asentoharj. Tuloilma	S11 #1	250	180	0,03	72	80,0	50,1	45,8 -37 % -43 %
Ero vaadittuun									
E137	Luokka Poistoilma	EVA #1	300x150	7	12,5	63	-80,0	-85,0	-99,2 6 % 24 %
Ero vaadittuun									
E137	Luokka Tuloilma	S11 #1	250	476	0,03	44	100,0	122,0	94,7 22 % -5 %
Ero vaadittuun									

