



Satakunnan ammattikorkeakoulu

Jaakko Seppälä

TILAILMASTOINNIN LASKENTAMALLIN  
KENTTÄMITTAUKSET

Tekniikka Pori  
Energiatekniikan koulutusohjelma

2008

## TIIVISTELMÄ

### TILAILMASTOINNIN LASKENTAMALLIN KENTTÄMITTAUKSET

Seppälä, Jaakko  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2008  
Sandberg, Esa  
UDK: 621.317, 697.1, 697.9  
Sivumäärä: 32

Asiasanat: ilmanjako, lämpötilan ja epäpuhtauspitoisuuden kerrostuminen, vyöhyke-periaate

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella, suorittaa, analysoida ja raportoida tilailmastoinnin laskentamalliin liittyvät kenttämittaukset. Laskentamalli ja opinnäytetyö liittyivät SAMKin laajempaan tutkimushankkeeseen.

Kenttämittaukset suoritettiin Satakunnan ammattikorkeakoulussa Tekniikka Porin lvi-laboratorioluokassa, jota palvelevat kiinteistön lvi-järjestelmä ja laitteet. Ensin toteutettiin lämpötilan kerrostumismittaukset ja sitten erikseen epäpuhtauspitoisuuden kerrostumisen mittaukset yhteistyössä Työterveyslaitoksen tutkijoiden kanssa merkkiainemenetelmää käyttäen.

Mittaustuloksia analysoitiin ja piirrettiin lämpötilan ja epäpuhtauspitoisuuden kerrostumisen kuvaajat ajan funktiona yhteensä seitsemälle mittausasetelmatapaukselle. Lisäksi näille laskettiin lämpötilatehokkuudet ja epäpuhtauspitoisuuksien poistotehokkuudet. Saatuja mittaustuloksia verrattiin IDA-simulointiohjelmalla laskettuihin tuloksiin.

Mittaustulokset osoittavat, että rakenteiden massiivisuudella on suuri merkitys lämpötilan käyttäytymiseen ajan funktiona. IDA-simulointitulokset täsmäsivät varsin hyvin mittaustuloksiin. Mittaustulokset tullaan käyttämään jatkossa tutkimushankkeen laskentamallin testauksessa.

## ABSTRACT

### FIELD MEASUREMENTS ON A CALCULATION MODEL FOR ROOM AIR CONDITIONING

Seppälä, Jaakko  
Satakunta University of Applied Sciences  
Degree Programme in Energy Technology  
May 2008  
Sandberg, Esa  
UDC: 621.317, 697.1, 697.9  
Number of Pages: 32

Key Words: air distribution, stratification of temperature and contaminant concentration, zoning strategy

---

The purpose of this thesis was to plan, implement, analyse and report the field measurements on a calculation model for room air conditioning. The calculation model and the thesis are both part of a large research project at Satakunta University of Applied Sciences.

Field measurements were carried out in the HVAC laboratory classroom at the Technology Pori of Satakunta University of Applied Sciences. HVAC systems and equipment for measurements were available at the lab. First we measured the stratification of temperature and then, together with researchers from the Finnish Institute of Occupational Health, we separately measured the stratification of contaminant concentration, using the tracer method.

The results of the measurements were analysed. We then drew graphs of the temperature and contaminant concentration stratification as a function of time for seven different measurement combinations. In addition, we calculated for them the temperature effectiveness rates and the contaminant removal effectiveness rates. The measurements were then compared with the results calculated by the IDA simulation program.

The results of the measurements show that the massiveness of structures is very important to the way in which temperature acts as a function of time. The IDA simulation results were almost identical to the field measurements results. In the future, the results of the measurement will be used in testing the calculation model of the research project.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TILAILMASTOINNIN PERIAATTEET .....	6
2.1	Tilailmastoinnin periaatteiden luokittelu .....	6
2.1.1	Luokittelu .....	6
2.1.2	Tehokkuusindeksit .....	8
2.2	Ilmanjakomenetelmät.....	9
2.2.1	Sekoittava ilmanjako .....	9
2.2.2	Syrjäyttävä ilmanjako.....	10
2.3	Vyöhykeperiaate .....	11
3	MITTAUSKOHDDE .....	12
4	MITTAUKSET .....	15
4.1	Mittausten tavoitteet .....	15
4.2	Mittauslaitteet .....	15
4.3	Mittausmenetelmät.....	16
4.4	Mittausasetelma .....	18
5	MITTAUSTULOKSET.....	20
5.1	Lämpötilan kerrostuminen.....	20
5.2	Virtausten visualisointi merkkisavulla.....	23
5.3	Epäpuhtauspitoisuuden kerrostuminen .....	25
6	IDA- SIMULOINTI .....	27
7	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT.....	31
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö liittyy Satakunnan ammattikorkeakoulun Tekniikan Porin yksikössä meneillään olevaan Tekesin ja yritysten rahoittamaan Maksimutkimushankkeeseen, joka toteutetaan yhteistyössä Työterveyslaitoksen (TTL) kanssa. Hankkeessa laaditaan tilailmastoinnin vyöhykeperiaatteen lämmön- ja epäpuhtauden kerrostumisen aikariippuva 2-vyöhykelaskentamalli, jonka laatii SAMKissa Esa Sandberg. Laskentamallia testataan laboratoriomittauksin ja kenttämittauksin. Laboratoriomittaukset tehdään TTL:n laboratoriossa Turussa. Molemmissa mittauksissa käytetään samantyyppisiä ilmanjakolaitteita, mutta laboratoriomittauksissa on kevyet ja kenttämittauksissa raskaat seinämärakenteet.

Työn tavoitteena oli suunnitella, suorittaa, analysoida ja raportoida kenttämittaukset SAMKissa Tekniikka Porin Ivi-laboratorioluokassa, jota palvelevat kiinteistön Ivi-järjestelmä ja laitteet. Lämpötilakerrostumisen mittaukset suoritettiin ensin ja epäpuhtauspitoisuuden kerrostumisen mittaukset erikseen yhteistyössä TTL:n tutkijoiden kanssa merkkiainemenetelmää käyttäen.

Mittaustulosten analysoinnin jälkeen tuloksia verrattiin IDA-simulointiohjelmalla saatuihin tuloksiin ja verrataan opinnäytetyön valmistumisen jälkeen laskentamalliin.

## 2 TILAILMASTOINNIN PERIAATTEET

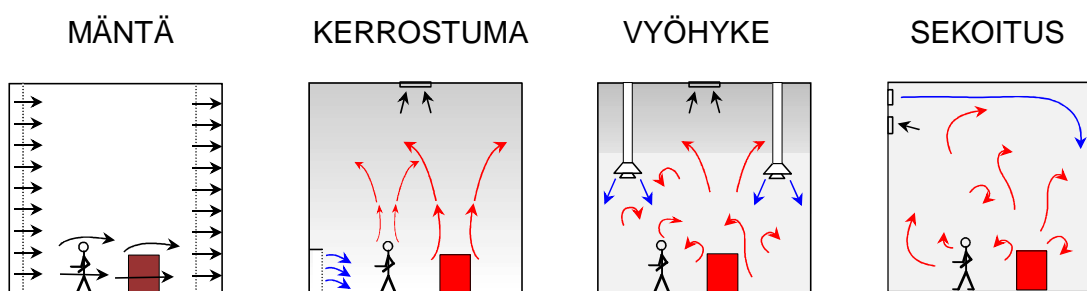
### 2.1 Tilailmastoinnin periaatteiden luokittelu

Tilailmastoinnin avulla on tarkoitus hallita tilan olosuhteita ja tavoitetasoja halutusti eri kuormitustilanteissa mahdollisimman taloudellisesti. Oikean periaatteen valinta riippuu tilassa käytetystä ilmastointijärjestelmästä ja siellä vallitsevista olosuhteista, joita ovat esimerkiksi tilassa käytetyt prosessit ja ulkopuoliset häiriöt, kuten vuotoilmavirrat ja kylmät seinäpinnat. Oikea menetelmä tulee valita siten, että sitä voidaan soveltaa mahdollisimman tehokkaasti ja, että sillä saadaan aikaan halutut olosuhteet. Monesti on kannattavaa soveltaa useampaa periaatetta ilmastointilaitoksen käyttötilanteesta riippuen, kuten esimerkiksi talvi- ja kesätilanteissa.

Vaikka ilmanjakojärjestelmä on usein pääasiallinen menetelmä halutun periaatteen toteuttamisessa, saatetaan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän avulla nostevoimia hyödyntämällä selvittä tietyissä tapauksissa ilman koneellista tuloilmanjakoa. (Tähti ym. 2002, 38)

#### 2.1.1 Luokittelu

Tilailmastoinnin periaatteet luokitellaan neljään eri luokkaan: mäntä-, kerrostuma-, vyöhyke- ja sekoitusperiaate, kuva 1.



Kuva 1. Tilailmastoinnin periaatteiden luokittelu. (Sandberg ym. 2004, 1)

- Mäntäperiaatteella on tarkoitus hallita yhdensuuntaisen virtauskentän avulla koko ilmastoitavaa tilaa ja sen avulla poistaa tehokkaasti epäpuhtaudet tilasta. Tuloilmavirta pidetään riittävän voimakkaana, jotta ei pääse syntymään häiriövirtauksia.
- Kerrostumaperiaatteen avulla pyritään saamaan ilma kerrostumaan niin, että puhdas ilma tulee tilan alaosaan syrjäytyneen konvektioilmavirran tilalle. Tiheyserojen seurauksena likainen ilma nousee konvektioilmavirtojen mukana ylös, mistä se poistetaan. Tuloilma toteutetaan pienellä nopeudella.
- Vyöhykeperiaatteella pyritään luomaan tilaan kaksi erilaista vyöhykettä, puhdas alavyöhyke eli oleskeluvyöhyke ja epäpuhtauksia sisältävä ylävyöhyke. Huoneilmavirtaukset on hallittu osittain tuloilman avulla ja osittain nostovoimalla.
- Sekoituseriaatteella on koko tilassa sama olosuhde. Ilmavirtauksia hallitaan tavallisesti suurnopeusilmanjaon avulla.

(Tähti ym. 2002, 40)

### 2.1.2 Tehokkuusindeksit

Lämmön ja epäpuhtauksien poistotehokkuudet kertovat, kuinka paljon vähemmän oleskeluvyöhykkeen ilma sisältää lämpöä ja epäpuhtauksia verrattuna täydelliseen sekoittumiseen, jossa ne ovat lukuarvoltaan = 1.

Lämmön poistotehokkuus (=lämpötilatehokkuus)  $\varepsilon_T$  voidaan laskea kaavalla:

$$\varepsilon_T = \frac{t_{ex} - t_s}{t_{lz} - t_s}$$

, missä

$\varepsilon_T$  = lämpötilatehokkuus

$t_{ex}$  = poistoilman lämpötila, °C

$t_{lz}$  = oleskeluvyöhykkeen lämpötila, °C

$t_s$  = tuloilman lämpötila, °C

Normaalisti tuloilma ei sisällä epäpuhtauksia, ( $C_s = 0$ ) joten epäpuhtauksien poistotehokkuus  $\varepsilon_C$  voidaan laskea kaavalla:

$$\varepsilon_C = \frac{C_{ex}}{C_{lz}}$$

, missä

$\varepsilon_C$  = epäpuhtauksien poistotehokkuus

$C_{ex}$  = poistoilman epäpuhtauspitoisuus

$C_{lz}$  = oleskeluvyöhykkeen epäpuhtauspitoisuus

(Seppänen ym. 2004, 138)



## 2.2 Ilmanjakomenetelmät

Laboratoriotila, jossa mittaukset suoritettiin, edustaa normaalisti Haltonin pyörrevirtahajottajien käytössä ollessa sekoittavaa ilmanjakomenetelmää. Tilassa on lisäksi piennopeushajottimet, joiden avulla tilaan saadaan aikaiseksi myös syrjäyttävä ilmanjakomenetelmä.

### 2.2.1 Sekoittava ilmanjako

Sekoittavassa ilmanjaossa pyritään puhdas, mahdollisesti käsitelty tuloilma sekoittamaan mahdollisimman tehokkaasti tilan ilmaan. Mahdolliset epäpuhtaudet pyritään poistamaan epäpuhtauksien haittavaikutukset laimentamalla niiden pitoisuudet riittävän alhaisiksi. Parhainta mahdollista tulosta ei tällä ilmanjakomenetelmällä saavuteta tiloissa, joissa on voimakkaita pistemäisiä lämpö- tai epäpuhtauslähteitä. Suuria jäähdytystehoja tulee välttää, sillä ne saattavat aiheuttaa vetoa. Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilman lämpötilaa verrataan usein tilan oleskeluvyöhykkeen lämpötilaan, koska oleskeluvyöhykkeen lämpötila on likimain sama kuin poistoilman tila.

Tunnusomaisia piirteitä sekoittavalle ilmanjaolle ovat:

- tuloilma puhalletaan suurehkolla nopeudella huonetilaan
- tuloilmasuihku on helposti hallittavissa
- pienistä ilmavirroista huolimatta suuret jäähdytystehot

Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilma puhalletaan suihkun muodossa sisään, joko vapaana tai puolivapaana suihkuna. Suihku on vapaa, jos se voi laajentua vapaasti ilman minkään rajoittavan tekijän vaikutusta ja vastaavasti puolivapaa mikäli puhallus tapahtuu suihkun suuntaista tasoa pitkin.

Tuloilmasuihkut voidaan jakaa neljään eri vyöhykkeeseen ilman käyttäytymisen mukaan ja viiteen eri luokkaan suihkun muodon mukaan; yhtenäiset aksiaaliset suihkut, kartiomaiset suihkut, tasomaiset suihkut, viuhkamaiset suihkut ja pyörrevirtaussuihkut.

Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilmasuihkujen puhalluksessa on otettava huomioon tilan koko, suihkujen vaikutus toisiinsa, termisen nostevoiman vaikutus sekä esteet ja Coanda-ilmiö. Tuloilmasuihkut voidaan puhaltaa huoneeseen eri paikoista, esimerkiksi katosta, seinältä tai lattiasta. (Laurikainen ym. 1996, 10 - 29)

### 2.2.2 Syrjäyttävä ilmanjako

Syrjäyttävässä ilmanjaossa pyritään ilma saamaan kerrostumaan siten, että epäpuhtaudet nousevat konvektiovirtojen avulla kohti katon rajaa, josta ne poistetaan. Tilan alaosaan puhalletaan alilämpöistä ilmaa pienellä nopeudella niin, että lämmönlähteistä lähtevät konvektiovirtaukset eivät sekoitu, vaan jatkavat kohti tilan yläosaa. Oleskeluvyöhykkeen on tarkoituksena pysyä koko ajan puhtaampana, kuin sitä ylempänä olevan ilman.

Tuloilman on oltava viileämpää kuin huoneilman, tai muutoin virtaus nousee tasaisesti oleskeluvyöhykkeelle leviämättä huoneeseen. Konvektiovirtauksen suuruus suhteessa tuloilmavirtaan määrittää rajakerroksen, jonka yläpuolelle lämmin ja epäpuhdas ilma alkaa kerääntyä.

Syrjäytymisilmanvaihto voidaan mitoittaa kahden eri kriteerin perusteella. Ilmanvaihtovirta voidaan mitoittaa niin, että ylimääräinen lämpö poistetaan oleskeluvyöhykkeeltä ja, että siellä saavutetaan haluttu lämpöviihtyvyys. Vaihtoehtoisesti pyritään poistamaan epäpuhtaudet konvektiovirtausten avulla siten, että ne eivät pala takaisin oleskeluvyöhykkeelle.

Yleensä syrjäytysilmanjako on parempi kuin sekoittava ilmanjako, kun tiloissa;

- epäpuhtaudet ovat lämpimiä tai selvästi kevyempiä kuin huoneilma,
- tuloilma on viileämpää kuin huoneilma,
- huone korkea, yleensä yli 3 m
- suuria tuloilmavirtoja tuodaan pieniin huoneisiin.

(Skistad ym. 2003, 1, 27, 45)

### 2.3 Vyöhykeperiaate

Vyöhykeperiaatteessa pyritään tilaan luomaan kaksi erilaista vyöhykettä. Alaosassa on puhdas alavyöhyke eli oleskeluvyöhyke ja yläosassa epäpuhtauksia sisältävä ylävyöhyke, jonne myös poisto on sijoitettu. Menetelmää käytetään lähinnä teollisuudessa, esimerkiksi silloin kun on kuumia lämmönlähteitä ja epäpuhtauksia, joista halutaan päästä eroon. Tarkoituksena on aikaansaada tilaan mahdollisimman jyrkkä rajapinta, jonka alapuolella eli oleskeluvyöhykkeellä ilma on tasaisen viileää ja puhdasta ja yläpuolella vastaavasti lämmintä ja runsaasti epäpuhtauksia sisältävää.

Huoneeseen tuotava tuloilma on huoneilmaan verrattuna alilämpöistä, joten se pyrkii suuremman tiheydensä johdosta huonetilan alaosaan, jolloin vyöhykeraja syntyy päätelaitteen heittokuvion yläpuolelle. Lämpö ja epäpuhtaudet taas syntyvät yleensä alavyöhykkeellä, josta ne kohoavat ylävyöhykkeeseen lämpimän konvektioilmavirran, eli pluumin mukana.

Tuloilman tulisi jakaantua mahdollisimman tasaisesti oleskeluvyöhykkeelle, jotta välttyttäisiin vedolta. Mikäli pluumi ei läpäise kokonaan tuloilmasuihkua käy niin, että vain osa siitä pääsee ylävyöhykkeelle ja osa palaa takaisin alavyöhykkeelle. Helposti syntyy myös pyörteilyä, joka saattaa sekoittaa ylä- ja alavyöhykkeen ilmamassoja keskenään. Tätä häiriötekijää kutsutaan turbulenttiseksi sekoittumiseksi ja myös se heikentää vyöhykeperiaatteen toimivuutta.

Vyöhykeperiaatteen tehokkuutta mitataan tavallisesti kahdella eri tunnusluvulla; lämpötilatehokkuudella  $\varepsilon_T$  ja epäpuhtauksien poistotehokkuudella  $\varepsilon_C$ . Näiden avulla saadaan selville miten paljon vähemmän oleskeluvyöhykkeen ilma sisältää lämpöä ja epäpuhtauksia ideaaliseen sekoitusperiaatteeseen verrattuna. (Sandberg ym. 2004, 1-4)

### 3 MITTAUSKOHDE

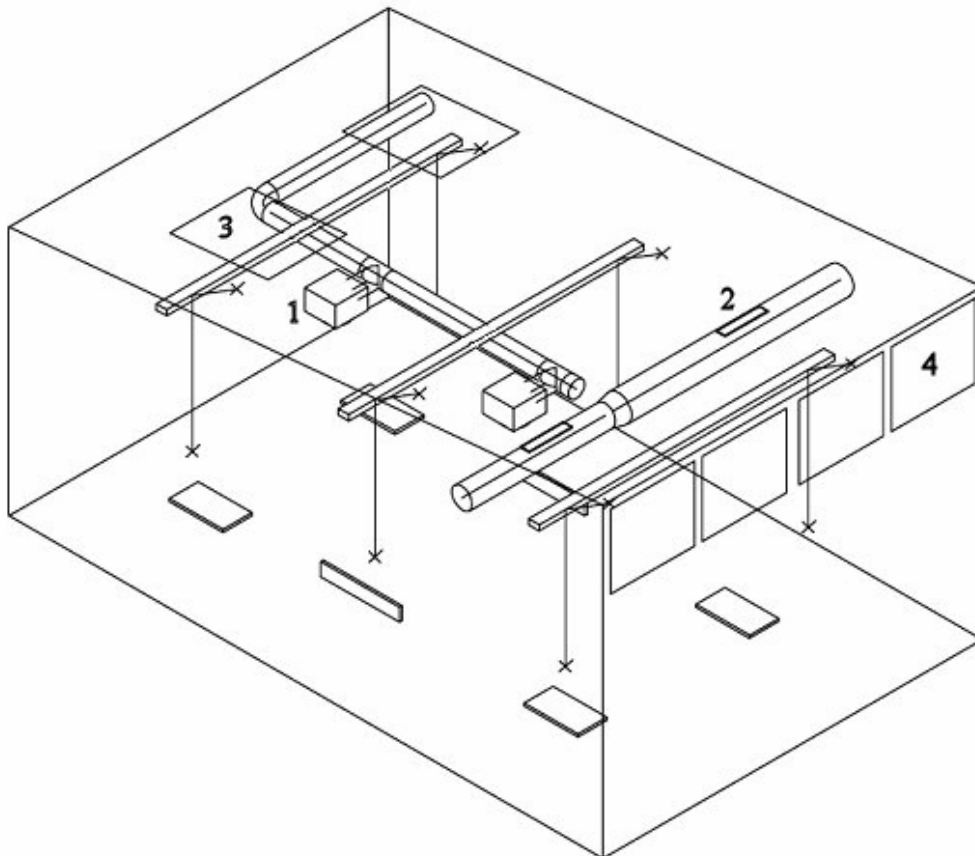
Mittaukset suoritettiin Satakunnan ammattikorkeakoulun Tekniikka Porin yksikössä sijaitsevassa lvi-laboratorioluokassa (kuva 2). Luokkahuone oli mitoiltaan: pituus 11,3 m leveys 7,3 m ja korkeus toiselta sivulta 4,8 m ja toiselta 5,8 m ja pinta-ala oli 42m<sup>2</sup>. Luokkahuoneen seinät olivat tiiliseiniä. Seinät olivat sisäseiniä lukuun ottamatta yhtä seinää, jossa oli ylhäällä ikkunoita, joiden osuus oli ulkoseiniä (kuva 3). Lattia oli betonia, jonka alla oli maata ja katto kevytbetonia. Katon eristevahvuudesta ei ollut tarkkaa tietoa.

Lämmönlähteenä luokassa mittausten ajan oli neljä säteilylämmittintä ja kaksi konvektiolämmittintä eli konvektoria, jotka oli sijoitettu pöytien päälle.



Kuva 2. Lvi- laboratorioluokka, säteilylämmittitin edessä ja konvektori takana oikealla.

Tuloilma tuotiin laboratorion tuloilmakoneelta kuvan 3 mukaisesti huoneeseen kahden Haltonin pyörrevirtahajottimen (pääte laite TSA-315 (R), jossa on tasauslaatikko TRI/S-315-315, Halton Oy) (kuva 4) avulla. Ne olivat noin 3,5 metrin korkeudella ja 3,5 metrin etäisyydellä toisistaan. Kaksi poistoilmasäleikköä sijaitsi tuloilmalaitteiden yläpuolella tilan oikealla puolella.



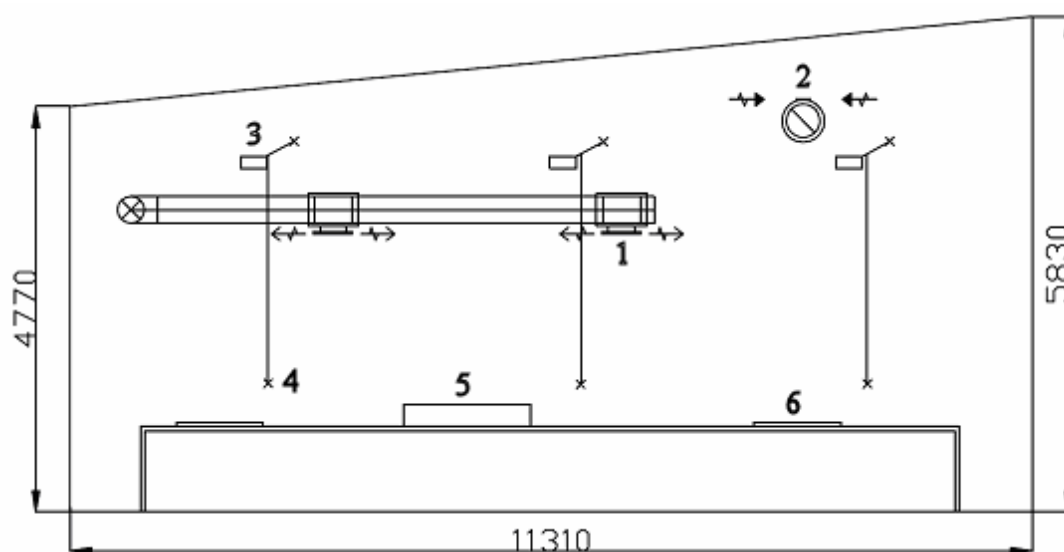
Kuva 3. Mittaustilanne ylhäältä sivusta katsottuna. 1 = Pyörrevirtahajotin, 2 = Poistoilmasäleikkö, 3 = Kattoikkuna, 4 = Seinäikkuna



Kuva 4. Halton pyörrevirtahajottimet.

Mittaustilassa oli kaksi kattoikkunaa, sekä neljä ikkunaa kuvasta katsottuna oikealla seinällä. Mittauksien ajan olivat ikkunat peitettynä, kattoikkunat vaalealla rullaverholla ja seinässä olevat ikkunat sälekaihtimilla.

Mittaustilaan tuotiin noin 17,5 °C tuloilmaa ja tuloilmavirta oli noin 200 l/s kummatakin pyörrevirtahajottimesta eli yhteensä noin 400 l/s. Poistoilmavirraksi mitattiin kahdesta poistoilmasäleiköstä yhteensä noin 340 l/s.



Kuva 5. Mittaustilanne sivusta katsottuna. 1 = Pyörrevirtahajotin, 2 = Poistoilmasäleikkö, 3 = Valaisinkisko, 4 = Termoparianturi, 5 = Konvektori, 6 = Säteilylämmitin

Mittaustilassa oli kolme valaisinkiskoa noin 4 m korkeudella, joita käytettiin hyväksi 12 termoparin asennuksessa. Lisäksi valaistuksesta saatiin lisää kuormaa mittaustilanteeseen.

Lämmönlähteet sijoitettiin pulpettien päälle noin yhden metrin korkeudelle niin, että konvektorit olivat pyörrevirtahajottimien välissä ja säteilylämmittimet tilan sivuilla.

## 4 MITTAUKSET

### 4.1 Mittausten tavoitteet

Kenttämittausten tavoitteena oli dokumentoida lämpötilojen ja epäpuhtauspitoisuuksien käyttäytymistä ajan funktiona, kun lämpökuormaa ja ilmavirtaa muutettiin. Saatuja tuloksia voidaan verrata laskentamalliin sekä IDA-laskentaohjelmalla saatuihin tuloksiin.

Mittauksilla selvitettiin huoneessa syntyvä lämpötilakerrostuma, sekä epäpuhtauspitoisuus ala- ja ylävyöhykkeen välillä. Lämpötilakerrostuma määritettiin mittaamalla lämpötiloja eri pisteistä ja laskemalla niiden avulla keskiarvo molemmille vyöhykkeille. Epäpuhtauspitoisuuden kerrostuma mitattiin yhteistyössä TTL:n tutkijoiden kanssa merkkiainemenetelmän avulla.

### 4.2 Mittauslaitteet

#### Ilman lämpötila

Tiedonkeruuseen mittausten aikana käytettiin GRANT 2040- sarjan dataloggeria, jossa käytettiin antureina k-tyypin termoparijohtimia. Lisäksi käytössä oli GRANT 1000- ja GRANT 1250- sarjan dataloggerit.

Koska lämpötilaerot olivat ala- ja ylävyöhykkeiden välillä hyvin pieniä, antureiden näyttämää verrattiin ennen mittauksia keskenään sijoittamalla ne samaan paikkaan. Dataloggerin kanavien välillä poikkeamaa ei havaittu.

#### Pintalämpötilat

Seinien pintalämpötilat mitattiin Raytek Raynger ST infrapunalämpömittarilla, sekä kaksi termoparia mittasi koko ajan yhden seinän pintalämpötilaa alhaalta ja ylhäältä.

## Ilmavirrat

Tuloilmavirran mittauksessa Iris-pellistä käytettiin TSI DP-CALC 8710 mikro-manometria.

Poistoilmavirran nopeus mitattiin TSI VELOCITY CALC Plus 8386 monitoimimittarin ja kuumalanka-anemometrin avulla säleikön otsapinnasta.

### 4.3 Mittausmenetelmät

#### Lämpötilakerrostuminen

Luokkahuoneen lämpötilan kerrostumista ala- ja ylävyöhykkeellä mitattiin termoparien avulla. Molemmilla vyöhykkeillä oli kuusi mittauspisteistä, joista saatiin laskettua keskiarvo. Alavyöhykkeen mittauspisteet sijaitsivat noin 1,5 m korkeudella lattiasta ja ylävyöhykkeen noin 4,3 m korkeudella lattiasta. Mittaustietoa kerättiin Grant-dataloggerilla, joka ohjelmoitiin keräämään tietoa yhden minuutin välein.

Mittaustuloksista tehtiin Excel-taulukko, lämpötilakerrostuminen ajan funktiona ala- ja ylävyöhykkeellä. Taulukosta haettiin ajanjakso, jossa lämpötilat olivat ehtineet tasaantua ja laskettiin lämpötilatehokkuus jokaiselle mittausasetelmalle.

#### Pintalämpötilat

Pintalämpötiloja tarkkailtiin mittausten ajan, sekä kaksi termoparia mittasi koko ajan ala- ja yläseinän lämpötilaa.

#### Ympäristöolosuhteet

Ympäristöllä olevien huoneiden lämpötilaa tarkkailtiin mittausten ajan, sekä ulkoilmaolosuhteet haettiin koulun sääasemalta.



## Huonevirtausten visualisointi merkkisavulla

Savukoe suoritettiin savugeneraattorin ja digitaalikameran avulla.

## Ilmavirrat

Tuloilmavirta mitattiin mikromanometrin avulla iris-säätimestä mittaamalla paineero, joka muutettiin laitevalmistajan käyrästön perusteella virtaamaksi l/s.

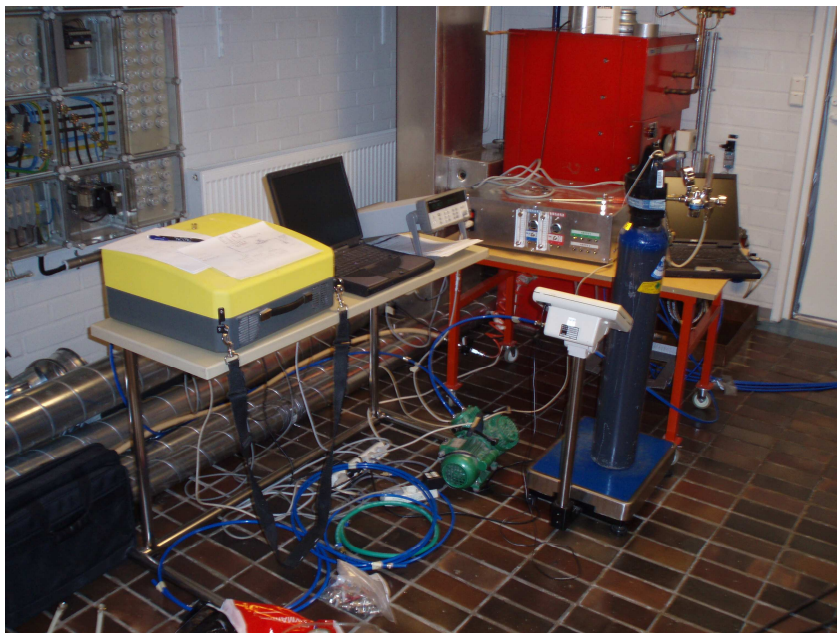
Poistoilmavirta mitattiin mittaamalla säleikön otsapintanopeus m/s, mikä muutettiin muotoon l/s kertomalla nopeus säleikön pinta-alalla.

## Epäpuhtauspitoisuuden kerrostuminen

Epäpuhtauden kerrostumista testattiin yhden mittauksen ajan. Tilassa oli kaksi konvektoria, joiden alta tilaan päästettiin typpioksidiua  $N_2O$  eli ilokaasua 0,1 l/s. Tilassa oli lisäksi merkkiaineletkut ala- ja ylävyöhykkeellä (kuva 6), joista merkkiainepitoisuus saatiin merkkiainemittauslaitteistolle (kuva 7). Merkkiaineletkujen sijainti alavyöhykkeellä näkyy kuvasta 6. Ylävyöhykkeellä merkkiaineletkut sijaitsivat samoilla kohdilla valokiskojen päällä.



Kuva 6. Epäpuhtauspitoisuuden mittaukset.



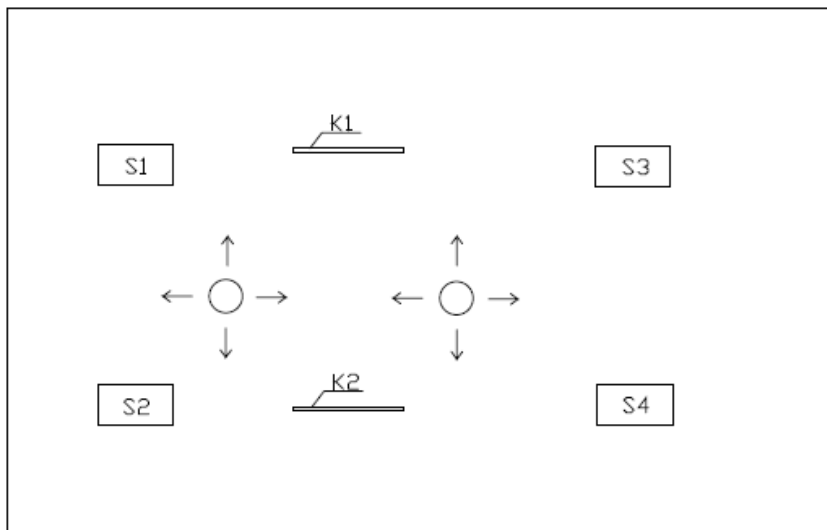
Kuva 7. Merkkiainemittauslaitteistoa: analysaattori, PC, virtaussäätimet, pumppu ja kaasupullo.

Merkkiainemittauslaitteiston avulla saatiin selville ala- ja ylävyöhykkeen epäpuhtauspitoisuudet.

Mittaustuloksista tehtiin Excel-taulukko, epäpuhtauspitoisuuden kerrostuminen ajan funktiona ala- ja ylävyöhykkeellä. Taulukosta haettiin ajanjakso, jossa pitoisuudet olivat ehtineet tasaantua ja laskettiin epäpuhtauden poistotehokkuus.

#### 4.4 Mittausasetelma

Lämpötilan kerrostumisen mittauksia tehtiin viikon ajan 22–28.10.2007 kuudella eri asetelmalla. Päivisin lämpökuorma pidettiin päällä ja öisin tilanteen annettiin palautua normaaliksi. Tilassa oli kuusi lämmönlähdettä: kaksi konvektoria K1 ja K2, sekä neljä säteilylämmitintä S1, S2, S3 ja S4 (kuva 8).



Kuva 8. Lämmönlähteiden sijainti.

Mittauksissa käytettiin kuutta eri asetelmaa (numerointi vastaa taulukon 1 numerointia):

1. Vajaalla teholla (n. 80 % täydestä tehosta)
2. Täydellä teholla
3. Pelkillä konvektoreilla
4. Pelkillä säteilylämmittimillä
5. Jaksottaisella kuormalla
6. Puolella teholla

Taulukossa 1 on esitetty eri asetelmissa käytetyt lämpökuormat. Lämpökuormat säädettiin 3-vaihesäätömuuntajan avulla halutuiksi. Lämmönlähteet kytkettiin säätömuuntajaan tehon ja energian kulutusmittarin kautta, joka näytti lämmönlähteille kulkevan tehon suuruuden.

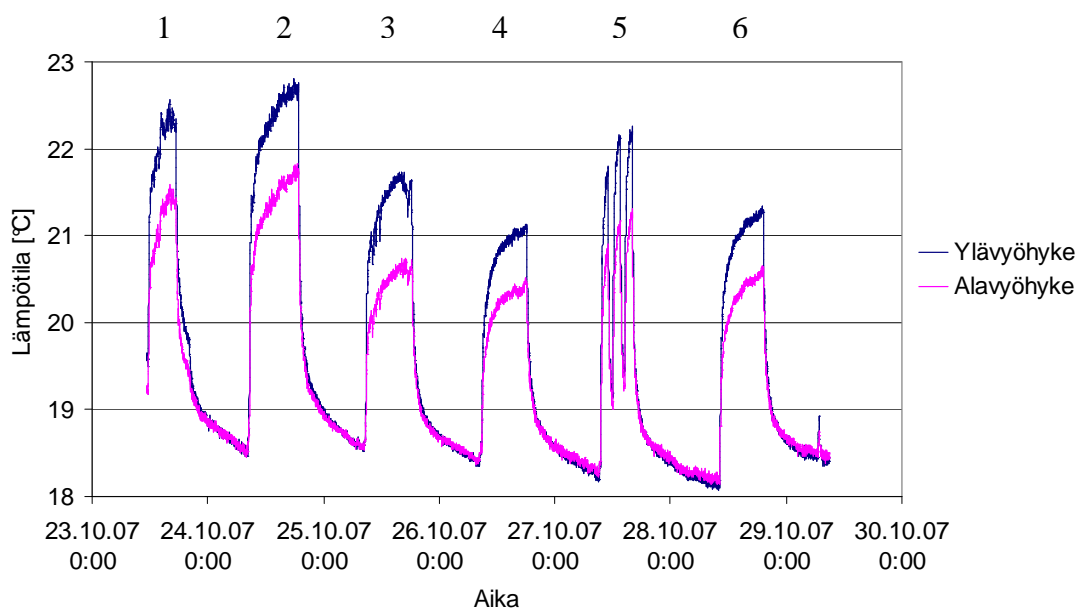
Taulukko 1. Lämmönlähteiden kuormat mittausasetelmissa.

Lämmönlähde	Asetelma 1 $\Phi$ [W]	Asetelma 2 $\Phi$ [W]	Asetelma 3 $\Phi$ [W]	Asetelma 4 $\Phi$ [W]	Asetelma 5 $\Phi$ [W]	Asetelma 6 $\Phi$ [W]
K1	1070	1246	1207	-	1141	600
K2	1070	1268	1212	-	1182	600
S1	465	557	-	547	541	301
S2	465	557	-	547	541	301
S3	465	558	-	546	536	295
S4	465	558	-	546	536	295
Valaistus	1200	1200	1200	1200	1200	600

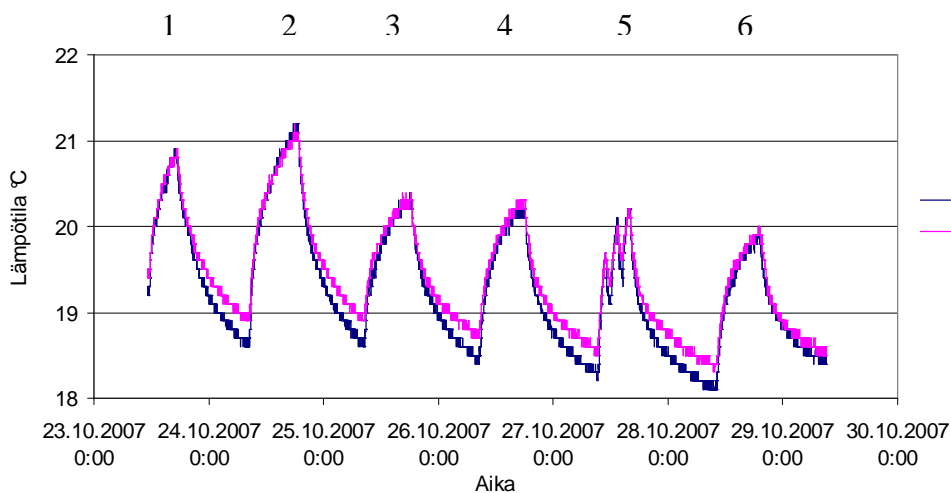
## 5 MITTAUSTULOKSET

### 5.1 Lämpötilan kerrostuminen

Lämpötilan kerrostumisen mittauksissa jokaisesta mittausasetelmasta piirrettiin omat kuvaajat, jotka on esitetty liitteissä 1-6. Lisäksi piirrettiin kuvaajat, joista näkyy tilanne koko viikon ajalta (kuva 9 ja 10). Numerointi kuvien 9 ja 10 yläpuolella ilmaisee mittausasetelman numeron.



Kuva 9. Lämpötilan kerrostuminen ala- ja ylävyöhykkeellä ajan funktiona.



Kuva 10. Pintalämpötila ala- ja yläseinällä mittausten aikana ajan funktiona.

Infrapunalämpömittarilla mitatut seinien pintalämpötilat on esitetty liitteessä 7.

Eri mittausasetelmille laskettiin mittaustuloksista lämpötilatehokkuudet lämpötilan tasaannuttua, jotka on esitelty taulukossa 2.

1. Vajaalla teholla (n. 80 % täydestä tehosta)
2. Täydellä teholla
3. Pelkillä konvektoreilla
4. Pelkillä säteilylämmittimillä
5. Jaksottaisella kuormalla
6. Puolella teholla

Taulukko 2. Lämpötilatehokkuus eri asetelmilla, kun lämpötila oli tasaantunut.

Asetelma	Alavyöhyke [°C]	Ylävyöhyke [°C]	Tuloilma [°C]	Lämpötilatehokkuus
1	21,4	22,3	17,6	1,24
2	21,6	22,6	17,6	1,25
3	20,5	21,6	17,5	1,34
4	20,3	21,0	17,5	1,23
5	20,7	21,6	17,4	1,26
6	20,5	21,2	17,6	1,24

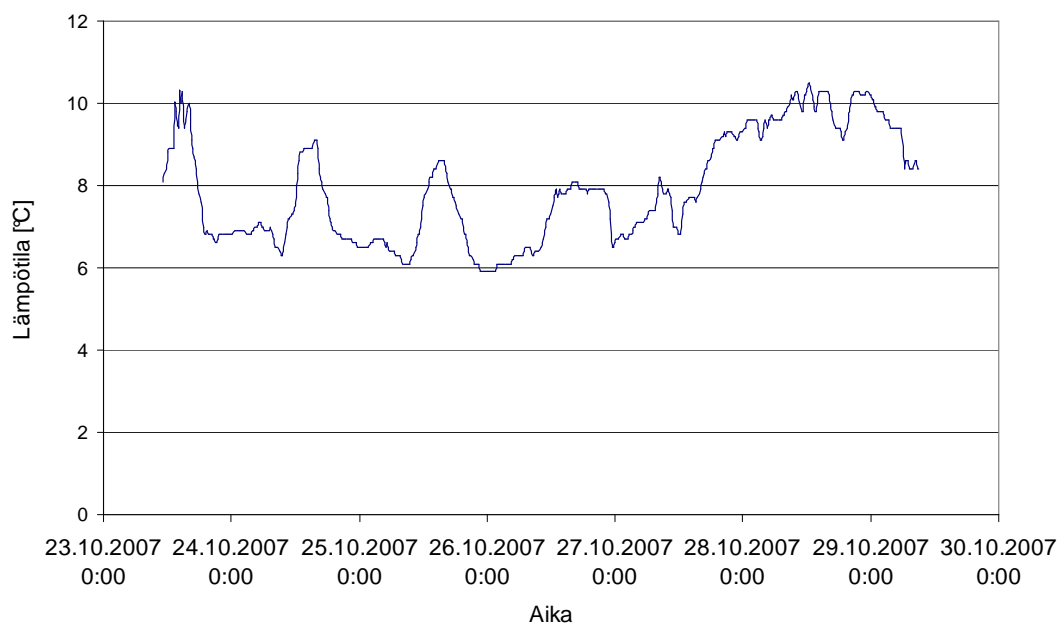
Lämpötilatehokkuuksista voitiin päätellä seuraavaa:

1. Ensimmäisessä asetelmassa teho ei ollut täysillä, joten lämpötila jäi hieman matalammiksi kuin mitä se oli täyden tehon asetelmassa.
2. Täydellä teholla lämpötilat nousivat korkeimmiksi verrattuna muihin mittausasetelmiin, mutta lämpötilatehokkuus jäi matalammaksi kuin pelkillä konvektoreilla.
3. Pelkät konvektorit antoivat selkeästi parhaan lämpötilatehokkuuden, lämpötila ei kuitenkaan noussut yhtä korkealle, kuin asetelmassa 2.
4. Pelkillä säteilylämmittimillä lämpötilat eivät nousseet yhtä korkeaksi kuin pelkillä konvektoreilla, eikä lämpötilatehokkuuskaan ollut yhtä hyvä.
5. Jaksottaisessa asetelmassa kuorma oli 3 kertaa 1,5 tuntia päällä ja 1 tunnin pois päältä. Lämpötilat eivät nousseet yhtä korkealle kuin mitä asetelmassa 2, mutta lämpötilatehokkuus oli kuitenkin samaa luokkaa.

6. Puolella teholla lämpötilat jäivät matalammaksi, mutta lämpötilatehokkuus oli kuitenkin samalla tasolla muiden mittausten kanssa, lukuun ottamatta asetelmaa kaksi jossa käytössä oli pelkät konvektorit.

Ikkunoista tulevien kylmien konvektio- ja mahdollisten vuotoilmavirtojen huomattiin aiheuttavan sen, että yläseinän lämpötila laski alhaisemmaksi kuin alaseinän, kun kuormat otettiin pois päältä.

Ulkoilman lämpötila pysyi melko samanlaisena mittausten ajan ja taivas oli pilvinen koko ajan (kuva 11). Tulokset saatiin koulun sääasemalta, jotka löytyvät osoitteesta: <http://weather.tp.spt.fi/>.



Kuva 11. Ulkoilman lämpötila mittausten aikana ajan funktiona.

## 5.2 Virtausten visualisointi merkkisavulla

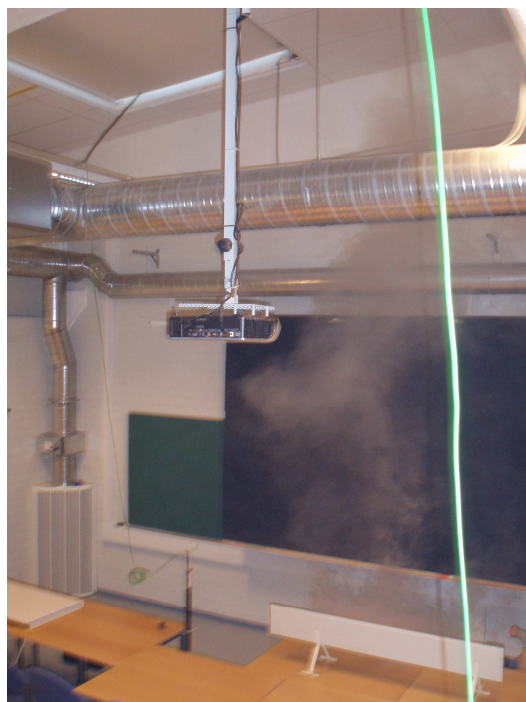
Savukokeilla selvitettiin tuloilmasuihkuja, huonevirtauksia tuloilmalaitteiden alueilla, konvektiovirtauksia lämmönlähteistä sekä konvektio- ja vuotoilmavirtoja ikkunoiden ja ovien kohdalla. Savukokeet tehtiin savugeneraattorin ja digitaalikameran avulla.

Tuloilmalaitteen ilmasuihkuja ja sen aiheuttamaa huonevirtausta tutkittiin levittämällä savua tuloilmalaitteen alle (kuva 12). Savukokeesta pystyttiin havaitsemaan tuloilmalaitteen toimivan halutulla tavalla, savu levisi tuloilmalaitteesta radiaalisesti sitä ympäröivään ilmaan.

Lämmönlähteistä aiheutuvaa konvektiovirtausta eli pluumia tutkittiin levittämällä savua lämmönlähteen pinnan läheisyyteen (kuva 13). Savu kohosi ylöspäin nopeasti ja alkoi sekoittua kohdatessaan tuloilmavirran. Pluumi tunkeutui ylävyöhykkeeseen täydellä lämpöteholla lähes kokonaan.



Kuva 12. Tuloilmalaitteen ilmasuihku.



Kuva 13. Konvektorin aiheuttama virtaus.

Lisäksi tutkittiin ikkunoiden konvektioilmavirtoja ja mahdollisia vuotoilmavirtoja ikkunoista ja ovista levittämällä savua ikkunoiden ja ovien läheisyyteen (kuva 14). Sekä seinässä että katossa sijaitsevista ikkunoista havaittiin savun laskeutuvan alaspäin nopeasti, mutta kuitenkin ei saatu selville, oliko virtauksissa vuotoilmaa. Ovis-  
sa havaittiin hieman vuotoilmavirtausta.

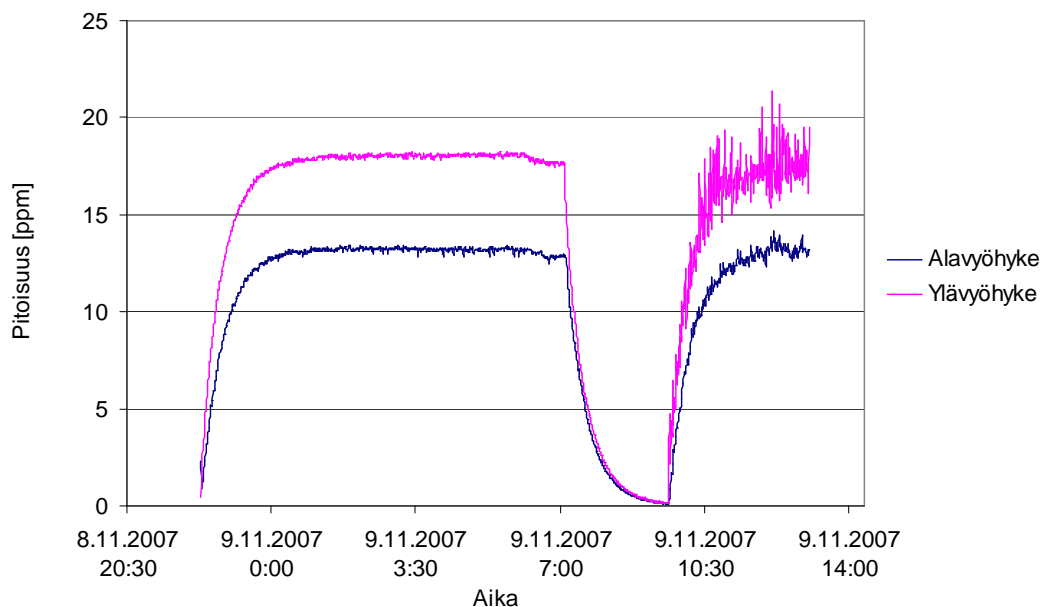


Kuva 14. Kattoikkunan aiheuttama konvektio- ja/tai vuotoilmavirta.

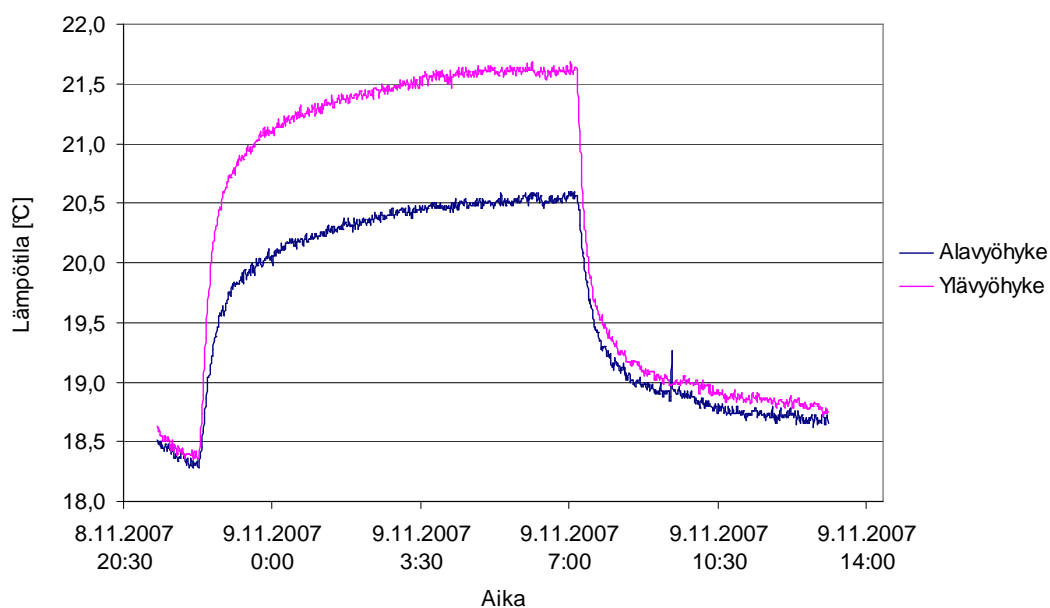


### 5.3 Epäpuhtauspitoisuuden kerrostuminen

Epäpuhtauspitoisuuden kerrostumisen mittauksia tehtiin yksi. Kuvaajat mittauksista on esitetty kuvissa 15 ja 16. Kuvaajien periaatteellisen ero oli, että epäpuhtauspitoisuus hakeutui nopeasti lopulliseen arvoonsa, kun taas lämpötila kerrostui hitaammin johtuen rakenteiden massiivisuudesta. Rakenteet sitoivat lämpöä.



Kuva 15. Epäpuhtausmittauksien kerrostuminen ylä- ja alavyöhykkeelle ajan funktiona.



Kuva 16. Lämpötilan kerrostuminen ajan funktiona epäpuhtausmittauksien aikana.

Epäpuhtauden poistotehokkuudeksi tuli 1,37, kun pitoisuudet olivat tasaantuneet. Mittauksia tehtiin vain yksi, joten vertailukohtia ei ole (taulukko 3).

Taulukko 3. Epäpuhtauksien poistotehokkuus.

Oleskeluvyöhykkeen epäpuhtauspitoisuus [ppm]	Poistoilman epäpuhtauspitoisuus [ppm]	Epäpuhtauksien poistotehokkuus
13,2	18,1	1,37

Lämpötilatehokkuudeksi tuli sama kuin epäpuhtauksien poistotehokkuus (taulukko 4). Lämpötila ja epäpuhtaus kerrostuivat suunnilleen samassa suhteessa. Lämpötilatehokkuus oli vähän korkeampi kuin vastaavassa tilanteessa aiemmin, jolloin se oli 1,34, mutta ero syntyi jo lämpötilan lukuarvojen pyöristyksestä yhden desimaalin tarkkuuteen. Mittaustilanne oli muuten sama, kuin ensimmäisellä kerralla, mutta mitaukset tehtiin yöaikaan.

Taulukko 4. Lämpötilatehokkuus merkkiainemittauksissa.

Alavyöhyke [°C]	Ylävyöhyke [°C]	Tuloilma [°C]	Lämpötilatehokkuus
20,5	21,6	17,6	1,37

## 6 IDA- SIMULOINTI

IDA- simulointi suoritettiin Swegonin ProClim Web 1.14 ohjelmalla, joka löytyy osoitteesta: <http://www.swegon.com>. Proclim Web on Swegonin apuohjelma huoneen lämpötasapainon laskentaan. Ohjelman avulla saadaan selville huoneeseen kohdistuva lämpövaikutus. Ohjelmaa voi rekisteröitymisen jälkeen käyttää ilmaiseksi.

Mittaustilasta poiketen simuloinnissa siirrettiin seinällä sijaitseva ikkuna katolle, koska ohjelmasta ei löytynyt mahdollisuutta määrittää seinää sellaiseksi, että osa siitä olisi ollut ulkoseinää. Tilassa on yksi seinä, josta ylhäällä olevien ikkunoiden osuus on ulkoseinää, ja seinä määritettiin sisäseinäksi. Simuloinnissa käytettiin vertailutilanteena mittausasetelmaa 3, jossa oli paras lämpötilatehokkuus ja käytössä pelkät konvektorit.

Ohjelmalla tehtiin kaksi simulointiajtoa. Ajot olivat muuten samanlaiset mutta kuormia vaihdettiin, niin että simuloinnissa 2 siirrettiin osa muista kuormista valaistuskuormaksi. Ajateltiin, että koska konvektorien aiheuttama konvektiovirtaus siirtyy nopeasti tilan yläosaan, niin on myös kuorma siirrettävä sinne.

### Simulointi 1

#### Paikkakunta ja kohde

Ohjelmaan määritettiin paikkakunnaksi Pori ja asetettiin minimi- ja maksimilämpötiloiksi 5.9 °C ja 8.6 °C. Ajankohtana oli talvi ja päivämäärä 25.10.2007.

#### Huone ja seinämien materiaalit

Seinäinä käytettiin betonilaatta 150 mm oletusasetusta ja seinän takana olevaksi pintalämpötila asetettiin 19 °C. Katto määritettiin itse ohjelmalla niin, että se vastaisi tilan kevytbetonikattoa (150 mm betoni, 250 mm raskas eriste mineraalivilla ja 100 mm matto). Ikkunoina käytettiin 3-lasista kirkasta, kattoikkunoiden suojana vaalea tiivis verho ja kattoon siirrettyjen ikkunoiden suojana sisimmässä ikkunassa sälekaihtimet.

## Lämpökuormat

Valaistus 1200 W

Muut kuormat 2419 W

## Käyttö

Tuloilmavirta 400 l/s

Puhaltimen käyttöaika 24 h/vrk

Tuloilman lämpötila 17.3 °C

Kuvasta 17 näkyy ohjelman käyttöliittymä, sekä yksinkertaisiin tietoihin syötetyt arvot.

http://195.178.172.109 - Room-Wizard - Mozilla Firefox

Yksinkertaiset tiedot Yleistä Geometria ja kerrosrakenteita Seinät ja lattia Kuormat ja ilmanvaihto

Powered by Equa

**Paikkakunta ja kohde**

Mitoittaminen  Kesä  Talvi

Laskelman ajankohta: 15 Hei 2008

Paikkakunta: Pori

Maksimilämpötila: 8.6 °C

Minimilämpötila: 5.9 °C

**Huone ja materiaali**

Vaippa: Raskasrakenteinen

Ikkunan pinta-ala, kehys mukaanl.: 14.06 m<sup>2</sup>

Lasityyppi: 3-lasinen, kirkas, 4-12-4-12-4

Sisäikkunasuojia: Sälekaihtimet sisimpien lasien välissä

Orientointi: Pohjoinen

11.3 m, 7.3 m, 5.3 m

**Lämpökuormat**

Henkilöluku: 0 kpl

Valaistus: 1200 W

Muut lämpökuorm.: 2419 W

Käyttöaika/vrk: 0 tuntia

**Käyttö**

Tuloilmavirta: 200 l/s, 720 m<sup>3</sup>/h

Puhaltimen käyttö/vrk: 24 tuntia

Tuloilman lämpöt.: 17.3 °C

Termostaatin asetusarvo: 1 °C

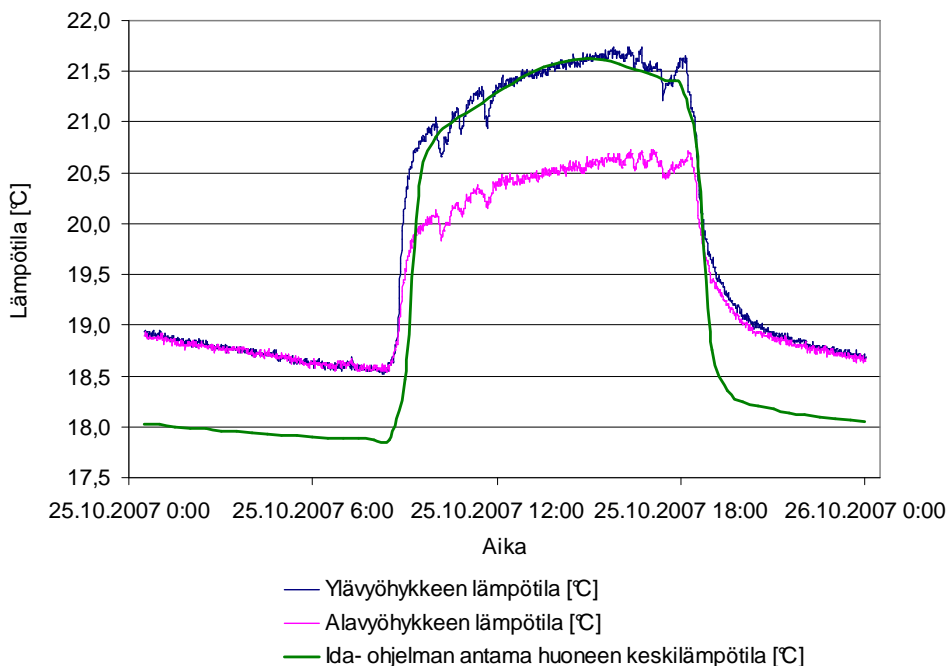
Käynnistä simulointi

Transfer to ICE 3.0

Valmis

Kuva 17. IDA ProClim Web 1.14.

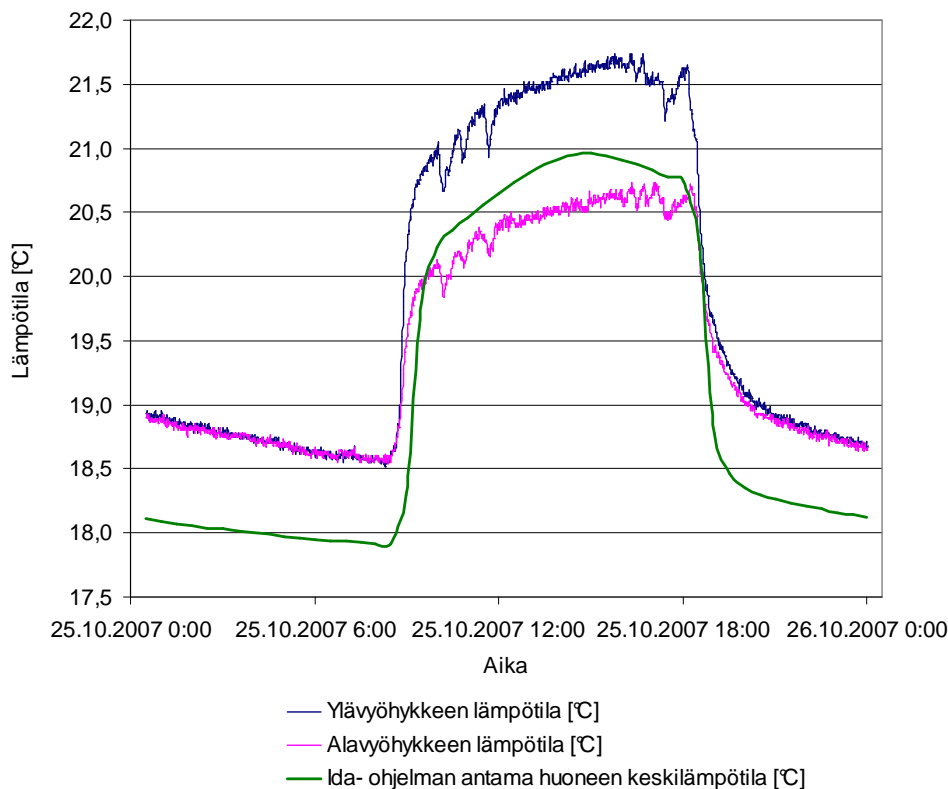
IDA:n laskelman keskilämpötila poikkesi kuorman ollessa pois päältä noin  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  mitatusta (kuva 18). Lämpötila nousi suunnilleen yhtä nopeasti, kun kuorma kytkettiin päälle, mutta lämpötila kohosi ylävyöhykkeen tasoon. Kun kuorma otettiin pois päältä, lämpötila laski samaan tapaan, mutta myös noin  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  matalammaksi. Ero johtunee siitä, että lämpöhäviöt ovat vähän erilaiset kuin IDA:lla lasketut. Seinämien U-arvosta ei ole tarkkaa tietoa, eikä vuotoilmavirtoja pystytty määrittämään.



Kuva 18. IDA- simuloinnin 1 antama huoneen keskilämpötila verrattuna mitattuun ala- ja ylävyöhykkeen lämpötilaan ajan funktiona.

## IDA-simulointi 2

Seuraavaksi kokeiltiin millainen vaikutus oli, kun valaistuskuormaksi muutettiin 2500 W, jolloin muihin kuormiin jäi 1119 W (kuva 19). Ajateltiin, että koska konvektorin aiheuttama konvektiovirtaus nousee lähes suoraan tilan yläosaan, niin pitää myös kuorma sijoittaa ohjelmassa ylävyöhykkeeseen.



Kuva 19. IDA- simuloinnin 2 antama huoneen keskilämpötila verrattuna ala- ja ylävyöhykkeen lämpötilaan ajan funktiona.

Lämpötila lähti suunnilleen samalta tasolta kuin edellinen simulointi, mutta nousi nyt vain noin 21 °C:een, mikä on lähempänä kenttämittaustulosta. Nyt huoneilman lämpötilan nousu oli yhtä suuri kuin ylävyöhykkeen lämpötilan nousu mittauksissa eli n. 3 °C ja muutosnopeus lähes samanlainen.

IDA-ohjelmalla olisi päästy tarkempiin tuloksiin, mikäli kuormat olisi pystytty määrittelemään tarkemmin. Nyt konvektorien aiheuttamat kuormat oli laitettu muihin kuormiin, eikä niiden sijaintia huoneessa pystytty asettamaan ohjelmaan. Myöskään lämmönlähteiden lämmönluovutuksen suhdetta konvektio/säteily ei voitu määrittää. Ohjelmalla saatiin joka tapauksessa aikaiseksi varsin hyvä tulos verrattuna mittauksiin.

## 7 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Mittauksista saaduista tuloksista voitiin todeta lämpötilakerrostumista tapahtuvan noin 1 °C verran ala- ja ylävyöhykkeen välillä riippuen mittausasetelmasta. Konvektiolämmitimillä kerrostumista tapahtui enemmän kuin säteilylämmitimillä, koska konvektorin pluumi on voimakkaampi ja tunkeutuu lisäksi enemmän suoraan huoneen ylävyöhykkeeseen. Säteilylämmitimien lämpöä siirtyy enemmän seinämiin.

Mittaustulokset osoittivat, että rakenteiden massiivisuudella on suuri merkitys lämpötilan käyttäytymiseen ajan funktiona.

Ikkunoista tulevien kylmien konvektio- ja mahdollisten vuotoilmavirtojen huomattiin aiheuttavan sen, että yläseinän lämpötila laskee alhaisemmaksi kuin alaseinän, kun kuormat otettiin pois päältä. Epäpuhtauksien todettiin kerrostuvan merkkiainemittauksissa suunnilleen samassa suhteessa kuin lämmön. Epäpuhtauspitoisuus hakeutui nopeasti lopulliseen arvoonsa, kun taas lämpötila hitaasti johtuen rakenteiden massiivisuudesta. Rakenteet sitoivat lämpöä.

Kuvaajista voidaan nähdä, että kenttämittauksien aikana oli melko vähän häiriötekijöitä. Todellisessa teollisuuskohteessa kuvaajat olisivat heittelettäneet hieman enemmän.

IDA-simulointitulokset täsmäsivät varsin hyvin mittauksien tuloksiin. Lähtöarvoja määritettäessä tulee kuitenkin ottaa huomioon, miten paljon lämpöä syntyy konvektiolla ja miten paljon säteilyllä sekä, missä lämpökuorma sijaitsee.

Mittaustulokset tullaan käyttämään jatkossa tutkimushankkeen laskentamallin testauksessa ja vertaamaan laboratoriomittausten tuloksiin. Laboratoriomittauksissa seinämien rakenteet ovat huomattavasti kevyempiä kuin kenttämittauksissa, joten lämpötilan muutosnopeudet lienevät myös nopeampia.

## LÄHTEET

Laurikainen, J., Vuorimaa, P., Parkkila, R., Manninen, I., Livtchak, A., Moilanen, T., Parviainen, T., 1996, LVIS 2000 Ilmastoinnin tulo- ja poistoilmalaitteet, Kausalan kirjapaino Oy, Kausala.

Sandberg, E., Koskela, H., Saarinen, P. 2004, Lämpötila- ja epäpuhtausgradientti vyöhykestrategian ilmanjakomenetelmissä. Laboratoriomittausraportti.

Satakunnan ammattikorkeakoulun Tekniikka Porin yksikön sääasema [verkkosivut]. [Viitattu 15.4.2008]. Saatavissa: <http://weather.tp.spt.fi/>

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

Skistad, H., Mundt, E., Nielsen, P., Hagström, K., Railio, J., 2003, Syrjäytysilmanvaihto muissa kuin teollisuuslaitoksissa, Rehva - Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto, Brussels.

Swegonin IDA ProClim Web 1.14 [mitoitushjelma verkossa]. [Viitattu 25.4.2008]. Saatavissa: [http://www.swegon.com/swegon/templates/Page\\_\\_\\_\\_\\_18621.aspx](http://www.swegon.com/swegon/templates/Page_____18621.aspx)

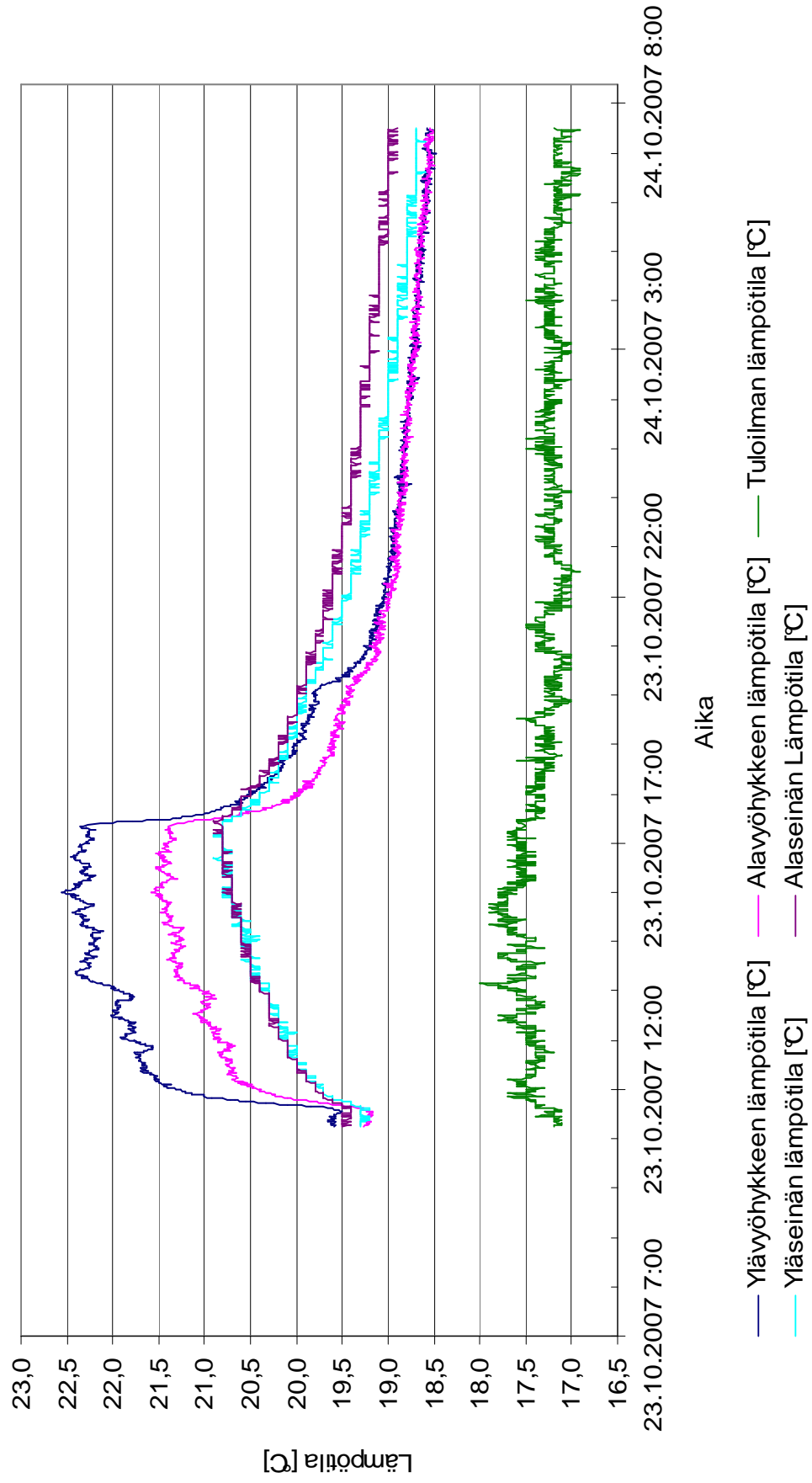
Tähti, E., Selin, M., Railio, J., Sainio, S., Hagström, K., Niemelä, R., Kulmala, I., Sulamäki, H., Sjöholm, P., Laine, J., Kuoksa, T., Pöntinen, K., 2002, Teollisuusilmastoinnin opas, Suomen talotekniikan kehityskeskus Oy, Helsinki.



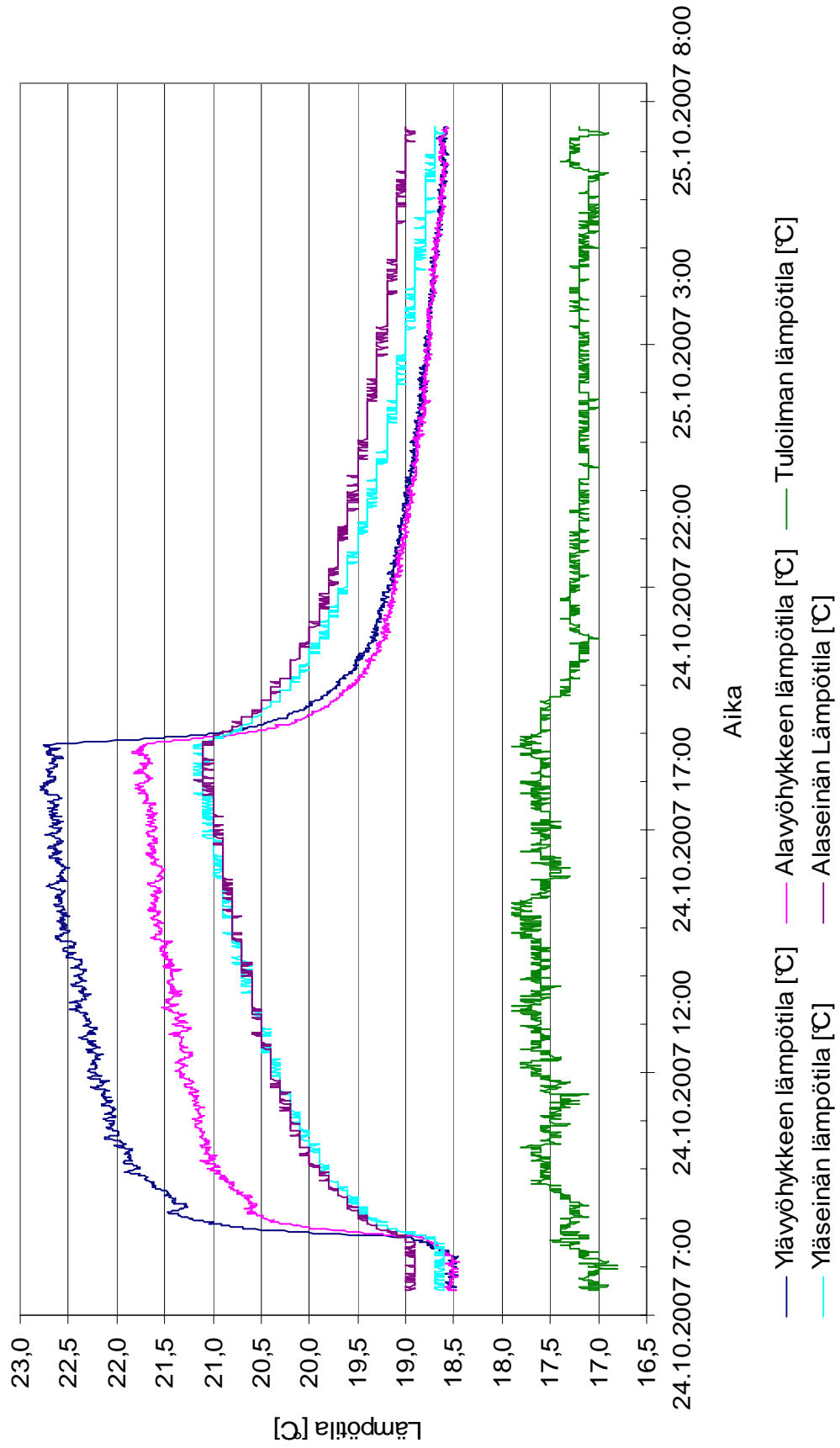
**LIITTEET**

MITTAUSASETTELMA 1	LIITE 1
MITTAUSASETTELMA 2	LIITE 2
MITTAUSASETTELMA 3	LIITE 3
MITTAUSASETTELMA 4	LIITE 4
MITTAUSASETTELMA 5	LIITE 5
MITTAUSASETTELMA 6	LIITE 6
PINTALÄMPÖTILAT JA YMPÄRISTÖOLOT	LIITE 7

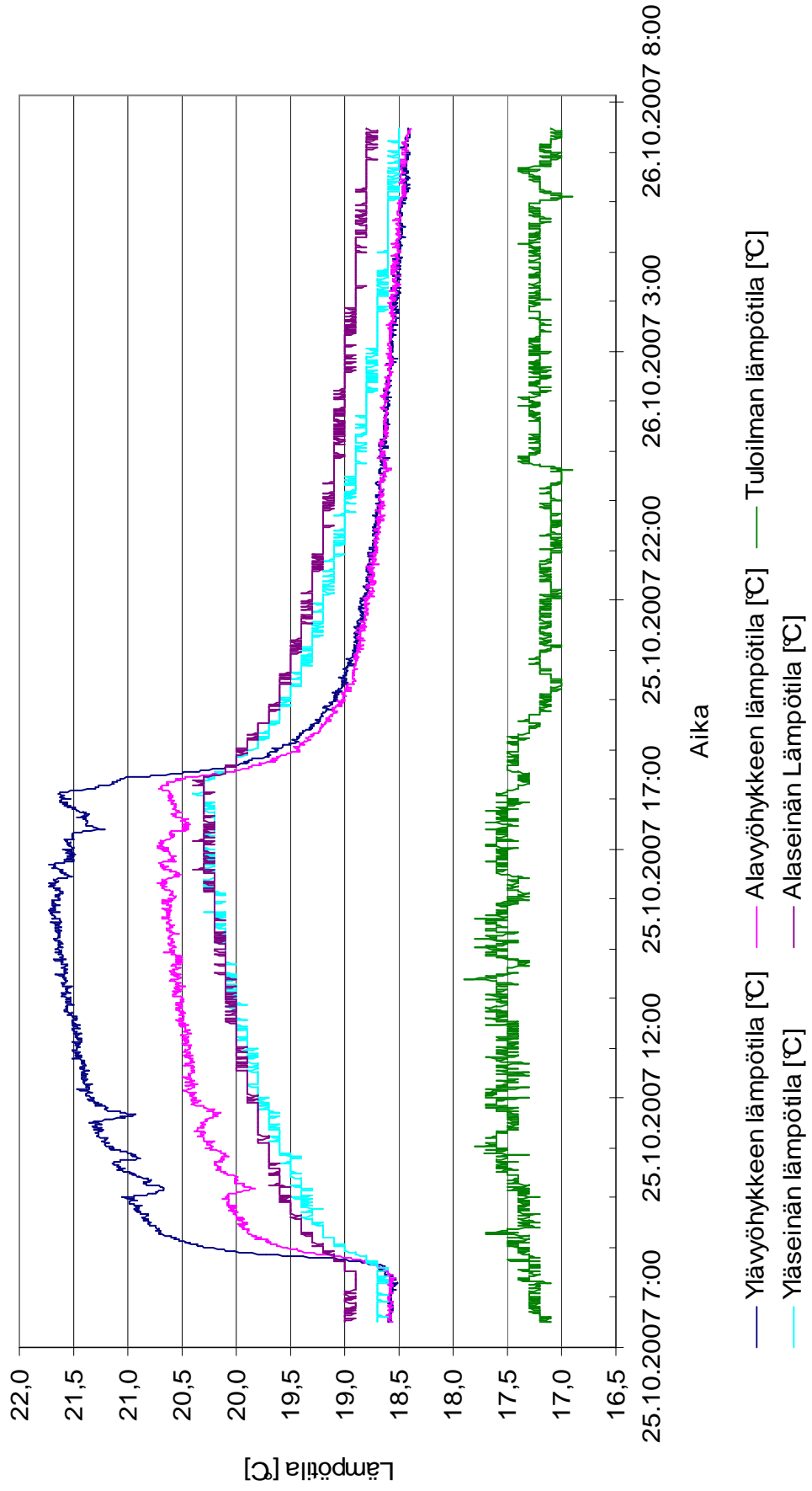
# Mittausasetelma 1



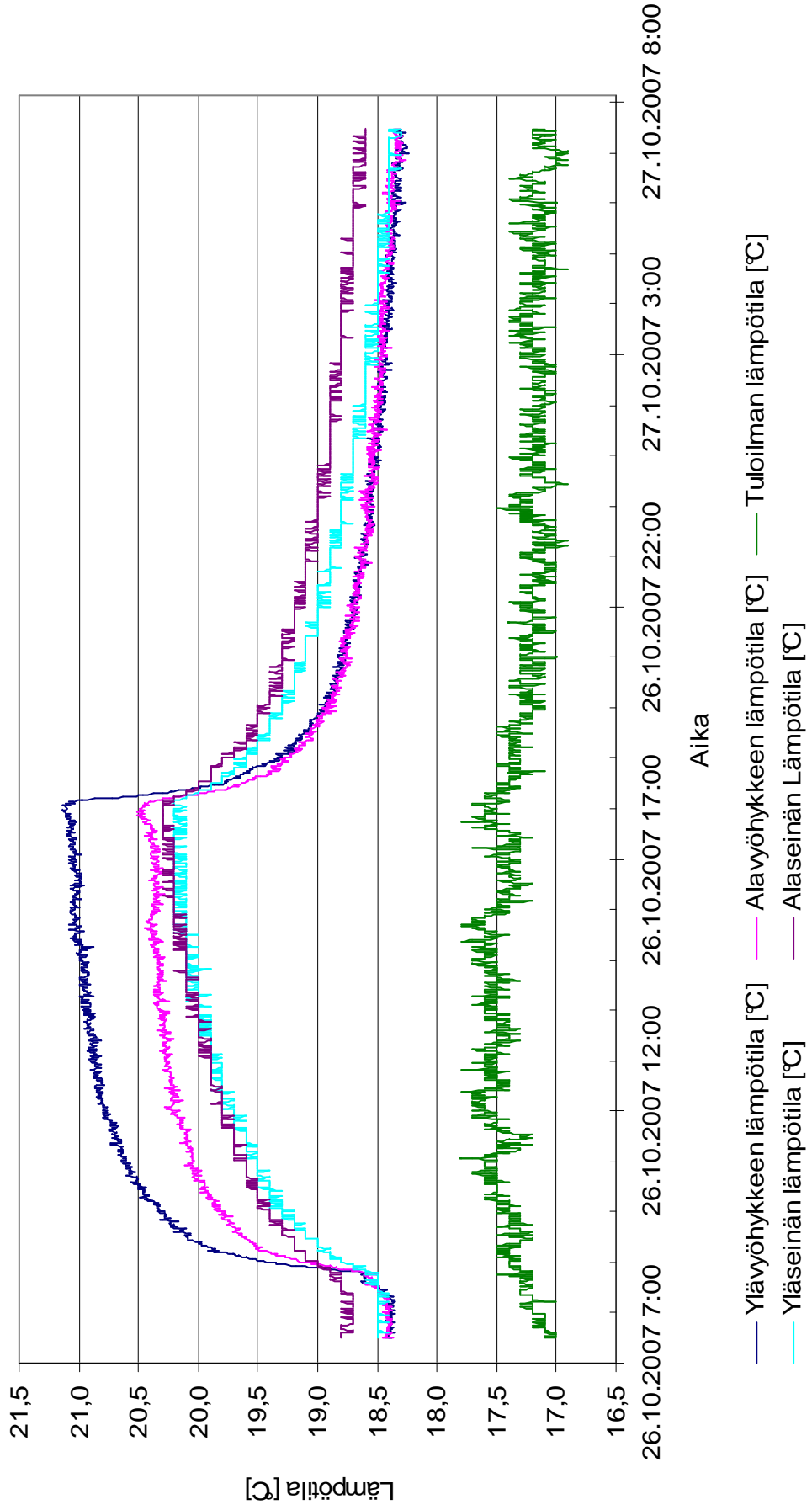
## Mittausasetelma 2



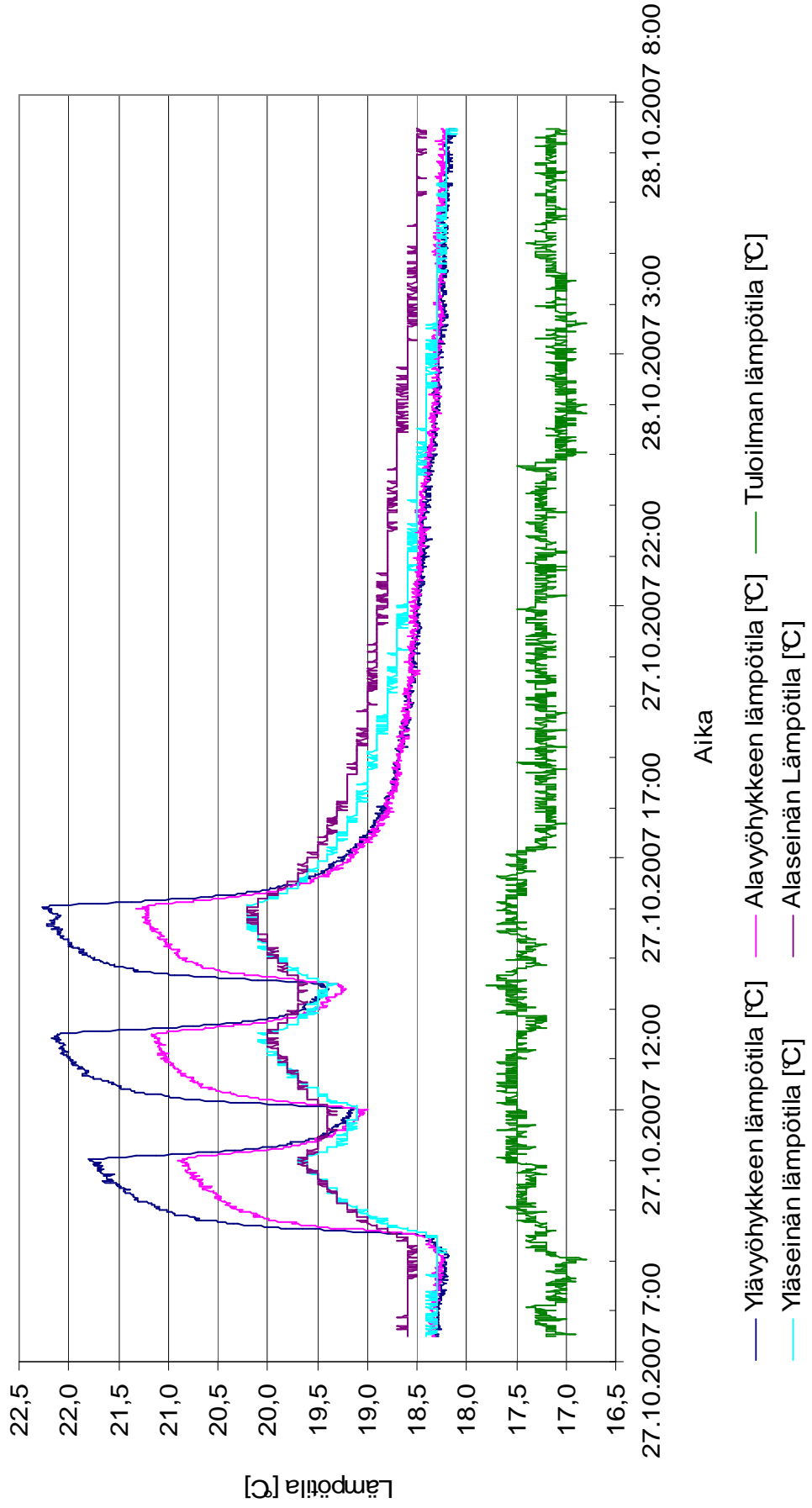
### Mittausasetelma 3



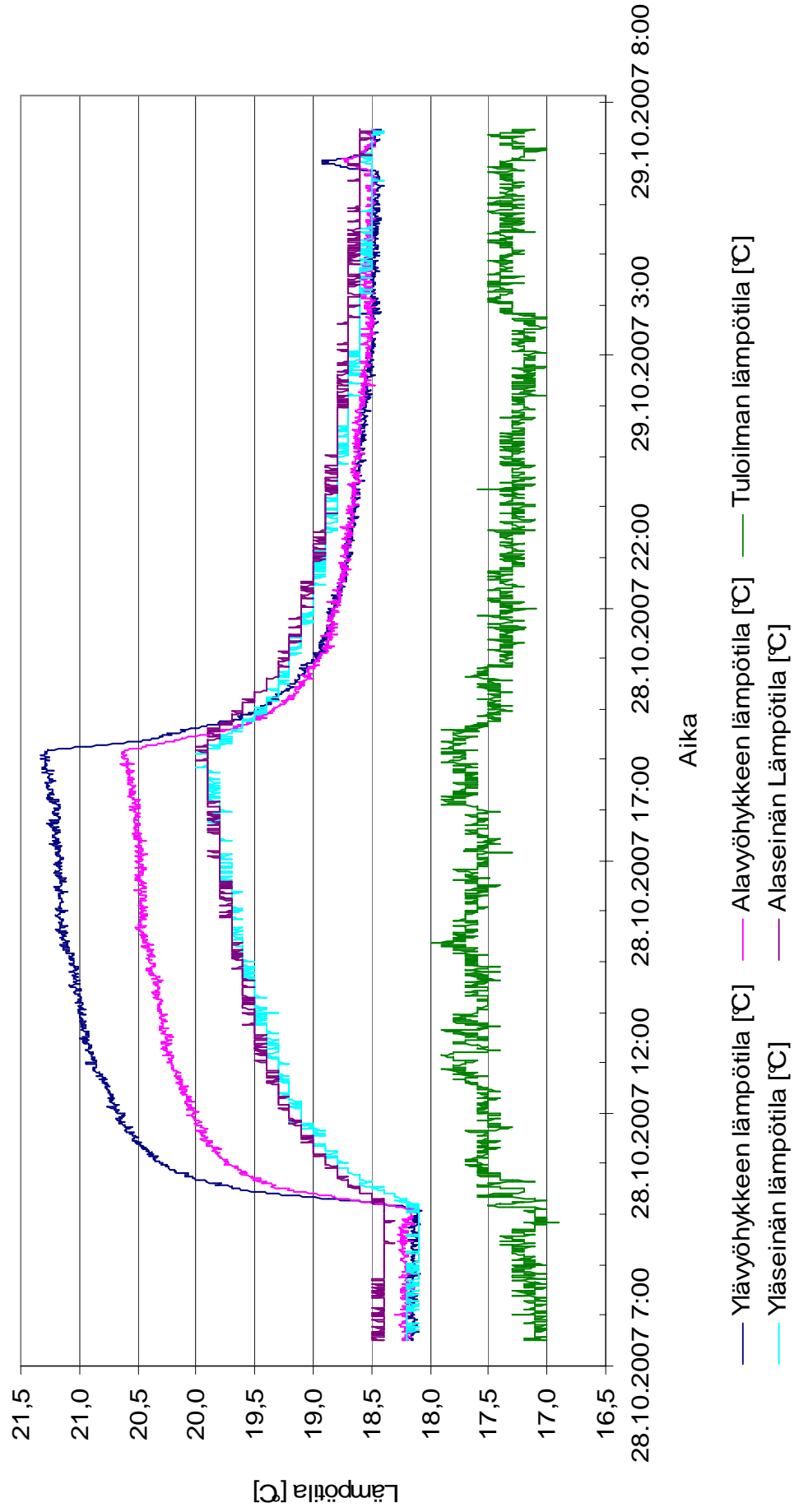
### Mittausasetelma 4



### Mittausasetelma 5



## Mittausasetelma 6



Pintalämpötilat	24.10 klo 18.30	25.10 klo 8.35	25.10 klo 11.50	25.10 klo 17.40	26.10 klo 8.30	26.10 klo 12.00	26.10 klo 17.45	27.10 klo 09.00	27.10 klo 16.45	28.10 klo 9.25	28.10 klo 17.50
Seinä	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]
ulkoseinä (ala)	20,9	18,9	19,6	19,7	18,7	19,4	19,8	18,4	19,6	18,5	19,7
ulkoseinä (ylä)	20	18,1	18,7	19,3	17,6	18,3	18,8	17,4	18,7	17,2	18,8
ulkoseinä (ikkuna)	19,3	15,9	19,6	18,2	15,7	18,1	18,1	15,9	18,3	16,6	17,7
ulkoseinästä vasemmalle (ala)	21,1	18,8	19,5	19,7	18,5	19,5	19,9	18,3	19,6	18,2	19,5
ulkoseinästä vasemmalle (ylä)	21,1	18,9	19,6	19,8	18,5	19,5	19,8	18,2	19,7	18,2	19,6
vastapäätä ulkoseinää (ala)	21,7	19,6	20,4	20,7	19,4	20,2	20,8	19,3	20,6	19,1	20,2
vastapäätä ulkoseinää (ylä)	20,9	18,5	19,2	19,7	18,2	19,0	19,2	18,1	19,3	18,2	19,2
ulkoseinästä oikealle (ala)	20,9	18,9	19,9	19,7	18,7	19,2	19,7	18,6	19,7	18,4	19,6
ulkoseinästä oikealle (ylä)	21,2	19,1	20,1	20,1	18,7	19,6	20,1	18,6	20	18,5	19,9
lattia	19,8	18,7	19,7	19,8	18,8	19,3	19,7	18,7	19,6	18,5	19,3
katto	22,3	18,1	20,6	20,8	18,1	20,1	20,8	18,1	21,7	18,7	20,6

Ympäristöolot	23.10 klo 17.15	24.10 klo 8.45	24.10 klo 12.30	24.10 klo 17.45	25.10 klo 08.20	25.10 klo 12.00	25.10 klo 17.30	26.10 klo 08.20	26.10 klo 11.45	26.10 klo 17.50	27.10 klo 10.15	27.10 klo 15.55	28.10 klo 9.35	28.10 klo 18.05
Seinän takana oleva huone	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]
ulkoseinästä vasemmalle (ala ulko)	19,8	18,8	19,7	19,2	18,4	19,3	19,6	18,4	18,9	18,9	18,7	18,8	18,6	18,7
ulkoseinästä vasemmalle (ylä kesk.)	19,4	19,1	19,4	19,3	18,9	19,2	19,7	18,6	19,2	19,1	18,7	18,6	18,7	18,7
ulkoseinästä vasemmalle (ala kesk.)	19,5	18,7	19,6	18,9	18,5	19,1	19,7	18,4	19,1	18,9	18,6	18,7	18,5	18,6
vastapäätä ulkoseinää	21,7	21,2	21,4	21,3	21	21,2	21,3	21,2	21,2	21	20,9	21,2	21,1	20,8
ulkoseinästä oikealle (ala käyt.)	18,8	18,7	18,7	19	18,9	18,9	19,1	18,6	18,8	18,9	18,7	18,7	18,6	18,9
ulkoseinästä oikealle (ala ulko)	18,9	18,6	18,8	19,9	19,1	18,9	18,8	18,7	18,9	19,1	18,8	18,8	18,7	19,1
ikkunan alta oikea puoli	20,2	19,7	19,9	20	19,5	19,7	20	19,8	19,8	20,3	19,9	20,4	19,7	19,9
ikkunan alta vasen puoli	20,0	19,3	19,8	19,6	19,1	19,6	19,4	18,9	19,6	19,5	19,3	19,2	18,8	19,3