

---

<b>Tilaaaja</b>	Dir-Air Oy Kylänraitti 7 11710 RIIHIMÄKI
<b>Tilaus</b>	26.2.2003/Tapio Tarpio
<b>Yhteyshenkilö VTT:ssä</b>	<b>VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka</b> Erikoistutkija Keijo Kovanen PL 1806, 02044 VTT Puh. 09 456 4727 Faksi 09 456 7027 Sähköposti keijo.kovanen@vtt.fi

---

**Tehtävä** **Tuloilmaikkunan käytännön toimivuus**

**Yleistä**

As Oy Viikin Aurassa on ilmanvaihtojärjestelmänä koneellinen poistoilmanvaihto, jossa ilman tuloilma- ja poistoilma- vaihtonä käytetään tuloilmaikkunoita.

Tuloilmaikkunan vanhimmat versiot ovat tietävästi 1950-luvulta. 1970-luvulla tuloilmaikkunoiden kehittämiseen innostuttiin toden teolla ja silloisia ratkaisuja kokeiltiin ahkerasti koetalloissa. Saadut tutkimustulokset kuitenkin lopetivat tuotekehittelyn, koska tuloilmaikkunoiden lasivälitilassa olevaa kondenssiongelmia ei saatu poistetuksi, jolloin havaittiin ikkunoiden huoltotarpeen lisääntyminen ja käyttöiän lyheneminen. Samalla havaittiin myös ääniongelmia. Tämän jälkeen tuloilmaikkunoiden tuotekehitys loppui pitemmäksi aikaa, kunnes 1990-luvun loppupuolella kehitettiin uusia toimivia versioita, joilla kondenssiongelma ratkaistiin kehittämällä ikkunan tuloilma-aukkoon toimiva ilman takaisinvirtauksenestintä. Lisäksi ääniongelmiin saatiin hyviä ratkaisuja. Tämän jälkeen tuloilmaikkunat alkoivatkin yleistyä ja uusia malleja tuli markkinoille.

Tämä järjestelmätyyppi tuo poistoilmanvaihtojärjestelmän toimivuuteen erityispiirteitä, joilla poistoilmanvaihtojärjestelmä on kilpailukykyinen vaihtoehto koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kanssa. Perinteiseen poistoilmanvaihtojärjestelmään verrattuna tuloilmaikkunajärjestelmä on energiatehokkaampi vaihtoehto, koska ikkunaa voidaan hyödyntää lämmöntalteenottolaitteena. Ulkoilma lämpiää osaksi lasien välissä ja ottaa talteen energiaa ikkunan lämpöhäviöstä. Auringonsäteilyn ilmaislämpöä voidaan myös ottaa talteen tuloilmaan.

Tähän mennessä tuloilmaikkunoiden toimivuutta on testattu pääasiassa vain laboratoriotestein, joilla ei pystytty simuloimaan riittävän tarkasti käytännön olosuhteita. Tarvitaan tietoa, miten tuloilmaikkuna toimii käytännössä ja mitä mieltä esimerkiksi asukkaat ovat ratkaisusta.

**Tavoitteet**

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Dir-Air Oy:n tuloilmaikkunaventtiilin ja Fenestran ikkunan toimintaa käytännön olosuhteissa eri vuodenaikoina ympäri vuoden. Lisäksi tarkoituksena oli todentaa Sisäilmasto-

luokituksen 2000 S2-luokan vaatimusten täyttyminen lämpöolojen eli lähinnä ilman nopeuden (veto) ja huonelämpötilojen osalta. Lisäksi tarkasteltiin mm. tuloilman lämpenemistä venttiilissä eri sääolosuhteilla ja eri vuodenaikoina jatkuvatoimisin mittauksin.

### Mittauksen kohde

As Oy Viikin Aura, Tilanhoitajankaari 4, on vuonna 2002 Helsingin Viikkiin valmistunut 6-kerroksinen ja 3-portainen asuinkerrostalo. Rakennuksessa on 71 asuntoa, liiketila, 9 työ/monitoimitilaa ja yhteistilat. Asuntojen parvekkeet on varustettu lasituksin. Rakennuksessa on huoneistokohtainen koneellinen poistoilmanvaihto liesikuvussa olevalla 4-portaisella tehosäädöllä. Ulkoilma johdetaan huoneistoihin tuloilmaikkunoiden kautta. Poistoilma johdetaan ulos kaikissa huoneistoissa keittiön liesikuvun, wc/kylpyhuoneen ja vaatehuoneen poistoilmaventtiilien kautta. Huoneistoissa on vesikiertoinen patterilämmitys.

Tutkimuksen piiriin kuului C-rapun 4 huoneistoa, taulukko 1.

### Taulukko 1.

Projektissa mukana olevat huoneistot.

Huoneisto	Kerros	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )
C81, 2h + k	4	60
C69, 2h+k	2	60
C63, 2h+k	1	60
C57, 2h + kk	pohjakerros	48

Huoneistot sijaitsivat päällekkäin, liite 1. Mittausseurannassa olevat Air-In TI 600 dB tuloilmaikkunaventtiilit sijaitsivat olo- ja makuuhuoneissa. Huoneiston C63 makuuhuoneen venttiiliin oli lisätty kuparinen Air-In DBS lämmönsiirrin.

Air-In TI tuloilmaikkunaventtiili on mahdollista asettaa ns. kesäasentoon, jolloin ulkoilma tulee suoraan karmin läpi. Tällä tavoin voidaan vähentää tuloilman liiallista lämpenemistä lasivälissä.

Kuvia tuloilmaikkunaventtiileistä ja niiden toimintaperiaatteesta on esitetty liitteessä 1.

### Mittaukset

Varsinainen tutkimus jakaantui koekohteessa tehtäviin kertamittauksiin ja jatkuvatoimisiin mittauksiin sekä asukaskyselyyn. Mittaukset aloitettiin maaliskuussa 2003 ja mittausseuranta kesti vuoden 2004 toukokuun alkupäiviin asti.

### Kertamittaukset

Kertamittaukset käsittivät:

- sisäilman lämpötila
- sisäilman suhteellinen kosteus
- ilman liikenopeus (veto)
- tulo- ja poistoilmanvaihtomäärät.

Lämpöolomittaukset tehtiin soveltaen standardia SFS 5511 /1/. Tulo- ja poistoilmanvaihtomittaukset tehtiin standardin SFS 5512 /2/ mukaisesti. Kertamittaukset tehtiin noin 2 kuukauden välein yhteensä 8 kertaa.

Huoneistojen lämpötila mitattiin makuuhuoneen keskeltä 1,1 m:n korkeudelta lämpömittarilla Fluke 52. Mittausten epävarmuudeksi on arvioitu  $\pm 0,2$  °C.

Ilman suhteellinen kosteus mitattiin makuuhuoneen keskeltä 1,1 m:n korkeudelta mittarilla Coreci Humicor. Mittausten epävarmuudeksi on arvioitu  $\pm 7$  %-yksikköä.

Ilman nopeudet mitattiin makuuhuoneesta sellaisesta mittauspisteestä, jossa merkkisavun mukaan ilman nopeus oli visuaalisten havaintojen mukaan suurin. Mittaukset tehtiin standardin SFS 5511 mukaisesti vain oleskeluvyöhykkeeltä. Oleskeluvyöhykkeellä tarkoitetaan huoneen osaa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan ja yläpinta 1,8 m:n korkeudelle lattiasta, sekä sivupinnat vähintään 0,6 m:n etäisyydelle seinistä. Virtausnopeudeltaan suurin mittauspiste oli yleensä lattialla venttiilin ja ikkunan sivussa. Mittalaitteena käytettiin joko termooanometriä Disa 54N50, johon oli yhdistetty kuimalankaperiaatteella toimiva suuntariippumaton anturi Dantec tai ilmastoinnin yleismittaria SwemaAir 300, johon oli yhdistetty suuntariippumaton anturi SWA 03. Ilman nopeusmittausten epävarmuudeksi on arvioitu  $\pm 10$  %.

Poistoilmamäärät mitattiin termooanometrillä Alnor GGA 26 käyttäen anemometritorvea AM 300. Mittausten epävarmuudeksi on arvioitu  $\pm 7$  %.

Tuloilmamäärät mitattiin ilmastoinnin yleismittarilla SwemaAir 300, johon oli yhdistetty kuimalankaperiaatteella toimiva mittaussuppilo SwemaFlow 125. Mittausten epävarmuudeksi on arvioitu  $\pm 10$  %.

Edellä olevat epävarmuusarvot edustavat 95 %:n kattavuustodennäköisyyttä.

Kertamittaukset tehtiin siten, että kaikki ulkoilmaventtiilit olivat auki ja ikkunat kiinni. Huoneiden väliovet olivat pääsääntöisesti auki. Mittauksissa ilmanvaihdon teho oli 2/4-asennolla.

Mittauspäivien säätiedot ovat taulukossa 2.

## Taulukko 2.

Säätiedot kertamittauspäiviltä keskiarvona ilmoitettuna.

Mittauspäivä	Ulkoilman lämpötila (°C)	Tuulen nopeus ja suunta
13.3.2003	0...+2	3 m/s, luoteesta
24.4.2003	3...5	6 m/s, pohjoisesta
26.6.2003	18...20	4 m/s, lounaasta
27.8.2003	15...17	5 m/s, pohjoisesta
10.11.2003	3...4	
9.1.2004	-5	4 m/s idästä
11.3.2004	2	3 m/s lännestä
6.5.2004	19	5 m/s idästä

Venttiilit asetettiin kesäasentoon 24.4.2003 ja 6.5.2004 tapahtuneiden mittauskäyntien loppuksi. Talviasento asetettiin 10.11.2003 tapahtuneen mittauskäynnin loppuksi.

### Jatkuvatoimiset mittaukset

Jatkuvatoimisissa mittauksissa mitattiin jatkuvasti neljässä tutkittavassa huoneistossa:

- sisäilman lämpötila (olohuone)
- tuloilmasuihkun lämpötila venttiilin ulospuhallusaukossa (makuuhuone)
- ulko- ja sisäilman välinen paine-ero (makuuhuone)
- hiilidioksidipitoisuus (makuuhuone)
- ulkoilman lämpötila (saunan terassilta, 6. krs)
- ilman lämpötila lasitetulla parvekkeella (C63).

Mittaukset tehtiin Tynytalk-keräimiä käyttäen, jotka rekisteröivät mittaustuloksia tunnin välein muistiinsa. Keräimet purettiin ja ohjelmoitiin uudelleen noin 2 kuukauden välein kertamittausten yhteydessä.

Lämpötilojen osalta mittausepävarmuuden arvioidaan olevan  $\pm 0,3$  °C, paineeron osalta  $\pm 3$  Pa ja hiilidioksidipitoisuuden osalta  $\pm 50$  ppm. Epävarmuusarvot edustavat 95 %:n kattavuustodennäköisyyttä.

### Arvioinnissa käytettävät tavoitearvot

Lämpöolojen (ilman nopeus ja huonelämpötila) arvioinnissa käytettiin Sisäilmastoluokitus 2000:n /3/ tavoitearvoja, jotka on esitetty taulukossa 3.

#### Taulukko 3.

Sisäilmastoluokitus 2000:n mukaiset lämpöolon tavoitearvot

	S1	S2	S3
Huonelämpötila, talvi (°C)	21-22	20-22	20-23
Huonelämpötila, kesä (°C)	23-24	23-26	22-27
Ilman nopeus, talvi 20 °C (m/s)	<0,13	<0,16	<0,19
talvi 21 °C (m/s)	<0,14	<0,17	<0,20
kesä 24 °C (m/s)	<0,20	<0,25	<0,30
Ilman suhteellinen kosteus, talvi (%)	25-45	-	-

Ilmanvaihtuvuuden arvioinnissa käytettiin Suomen rakentamismääräyskoelman osaa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto /4/, taulukko 4.

**Taulukko 4.** RaMK:n osan D2 mukaiset ohjearvot ilmamäärille.

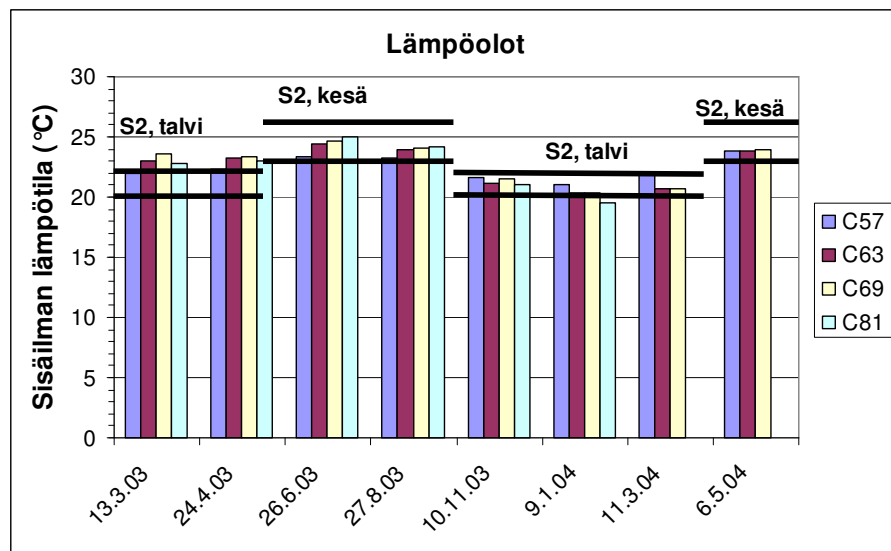
Huone	Tuloilma (dm <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup> )	Poistoilma (dm <sup>3</sup> /s)
Olohuone	0,5	
Makuuhuone	0,7	
Keittiö		20
Kylpyhuone		15
Vaatehuone		3
Ilmanvaihtuvuus		0,5 1/h

**Tulokset**
**Kertamittaukset**

Tulokset kertamittauksista kustakin huoneistosta on esitetty liitteessä 2.

**Sisäilman lämpötila**

Sisäilman lämpötilamittausten tulokset on esitetty kuvassa 1.

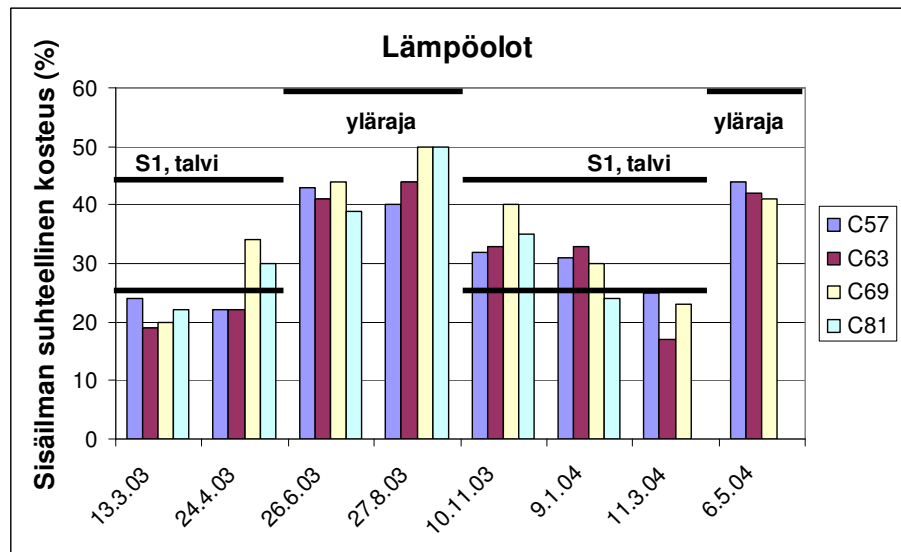

**Kuva 1.**

Sisäilman lämpötila (makuuhuoneessa 1,1 m korkeudella) tutkituissa asunnoissa eri mittauspäivinä. Kuvaan on myös merkitty SL-2000:n S2-luokan mukaiset lämpötilarajat.

Kuvan 1 mukaan kaikissa huoneistoissa sisäilman lämpötila oli kevättä 2003 lukuun ottamatta Sisäilmastoluokituksen 2000:n S2-luokituksen mukaisten vähimmäis- ja enimmäisarvojen välissä.

**Sisäilman suhteellinen kosteus**

Sisäilman suhteellisen kosteuden mittaustulokset on esitetty kuvassa 2.

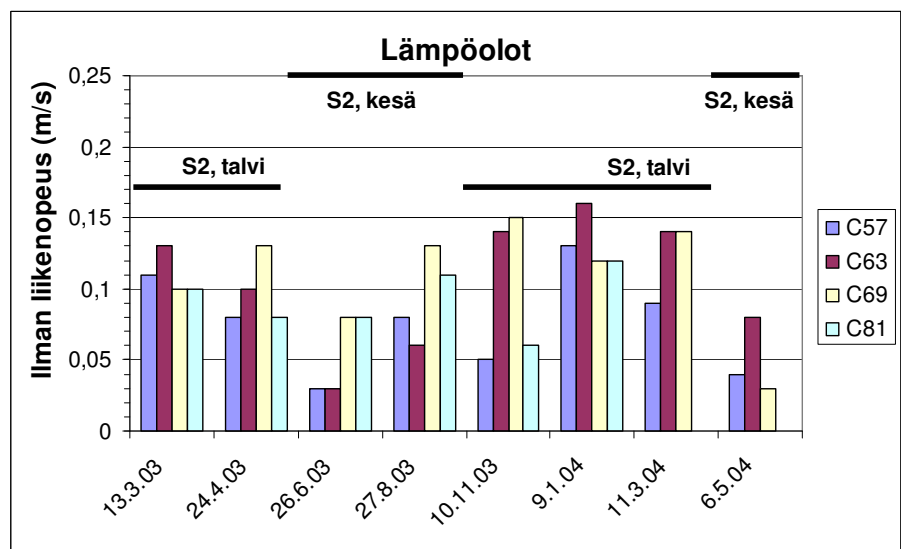

**Kuva 2.**

Sisäilman suhteellinen kosteus tutkituissa asunnoissa eri mittauspäivinä. Kuvaan on myös merkitty SL-2000:n S1-luokan mukaiset kosteusrajat.

Kuvan 2 mukaan kaikissa huoneistoissa sisäilman suhteellinen kosteus oli maaliskuiden mittauksia lukuun ottamatta Sisäilmastoluokituksen SL-2000:n S1-luokituksen mukaisten vähimmäis- ja enimmäisarvojen välissä. S2-luokassa ei ole annettu tavoitearvoja.

### *Ilman liike*

Ilman liikenopeuden eli vedon mittaustulokset on esitetty kuvassa 3.

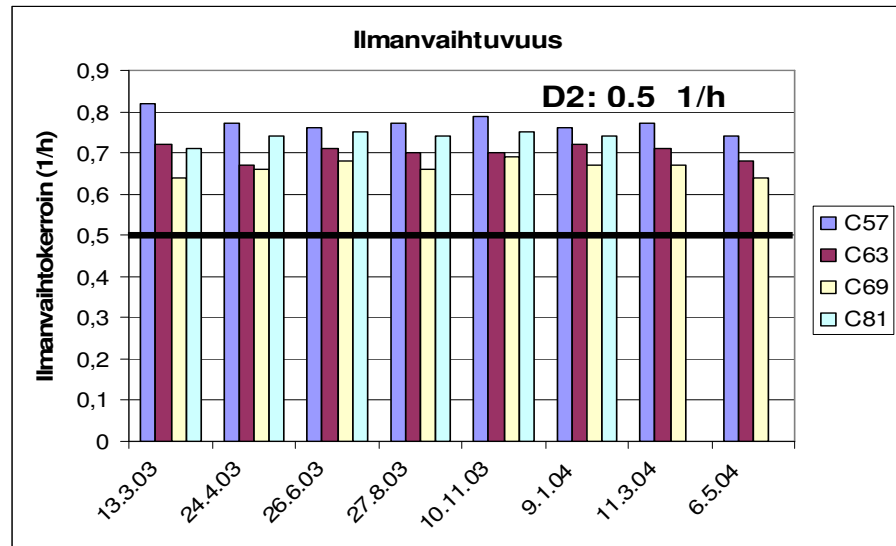

**Kuva 3.**

Ilman liikenopeus tutkituissa asunnoissa eri mittauspäivinä. Ilmanvaihdon teho oli 2/4. Kuvaan on myös merkitty SL-2000:n S2-luokan mukaiset enimmäisarvot.

Kuvan 3 mukaan kaikissa huoneistoissa toteutui Sisäilmastoluokituksen 2000:n S2-luokituksen mukaiset enimmäisarvot kaikissa mittauksissa.

## Ilmanvaihto

Ilmanvaihtomittausten tulokset on esitetty kuvassa 4.



**Kuva 4.**

Ilmanvaihtokerroin tutkituissa asunnoissa eri mittauspäivinä. Ilmanvaihdon teho oli 2/4. Kuvaa on myös merkitty RaMK:n osan D2 mukainen vähimmäisarvo.

Kuvan 4 mukaan kaikissa huoneistoissa toteutui D2:n mukainen ilmanvaihtokertoimen vähimmäisarvo 0,5 1/h.

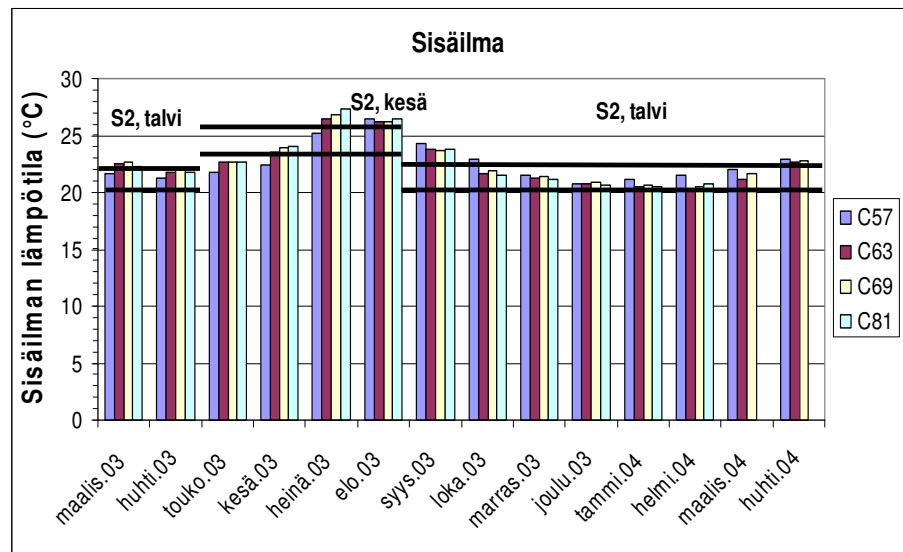
### Jatkuvatoimiset mittaukset

Jatkuvatoimisissa mittauksissa mitattiin jatkuvasti tutkittavien huoneistojen olohuoneen ilman lämpötilaa, ulkoilmaventtiilien tuloilmasuihkun lämpötilaa, ulkoilman lämpötilaa saunan terassilla ja lasitetulla parvekkeella. Lisäksi seurattiin ulko- ja sisäilman välistä paine-eroa ja makuuhuoneen hiilidioksidipitoisuutta.

### Sisäilman lämpötila

Tulostukset sisäilman lämpötilasta kussakin huoneistossa on esitetty liitteessä 3.

Sisäilman keskilämpötilat eri kuukausilta on esitetty kuvassa 5.


**Kuva 5.**

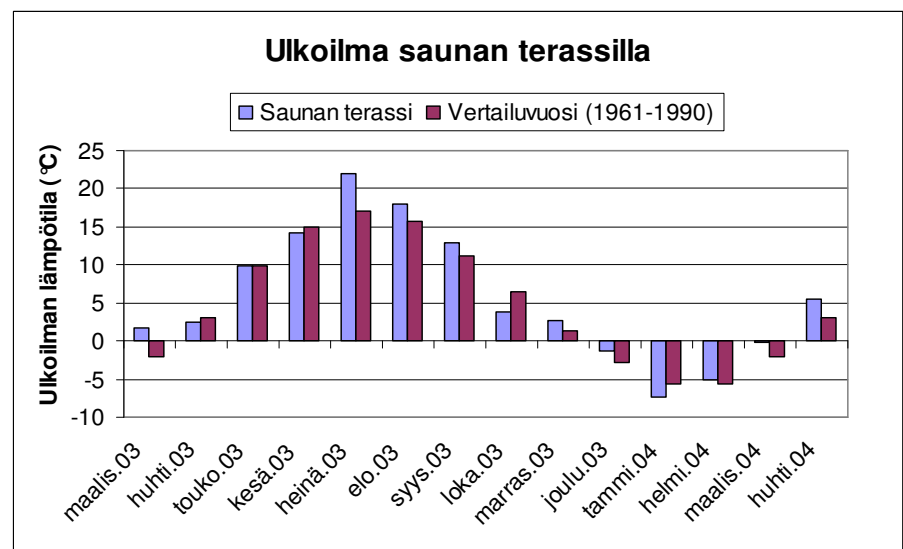
Sisäilman keskilämpötila tutkituissa asunnoissa eri kuukausina.

Kuvan 5 mukaan kaikissa huoneistoissa toteutui pääosin myös pitkäaikaisseurannassa Sisäilmastoluokituksen 2000:n S2-luokituksen mukaiset vähimmäis- ja enimmäisarvot.

### Ulkolämpötila

Tulostukset ulkoilman lämpötilasta, joka on mitattu saunan terassilta, on esitetty liitteessä 4.

Ulkoilman keskilämpötilat eri kuukausilta on esitetty kuvassa 6.


**Kuva 6.**

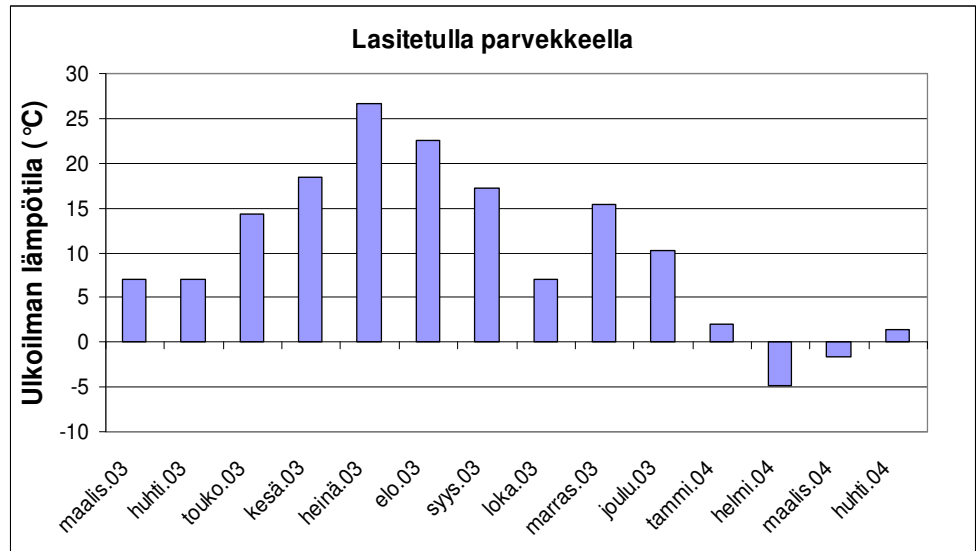
Ulkoilman keskilämpötila eri kuukausina.

Kuvan 6 mukaan vuosi 2003 oli kesäkuukausina useita asteita vertailuvuotta (vuosien 1961-1990 keskiarvo) lämpimämpi. Samoin oli vuoden 2004 kevät-kuukaudet. Tammikuu 2004 oli sitä vastoin vertailuvuotta kylmempi..



Tulostukset ulkoilman lämpötilasta lasitetulla parvekkeella on esitetty liitteessä 5.

Ulkoilman keskilämpötilat lasitetulla parvekkeella eri kuukausilta on esitetty kuvassa 7.



**Kuva 7.**

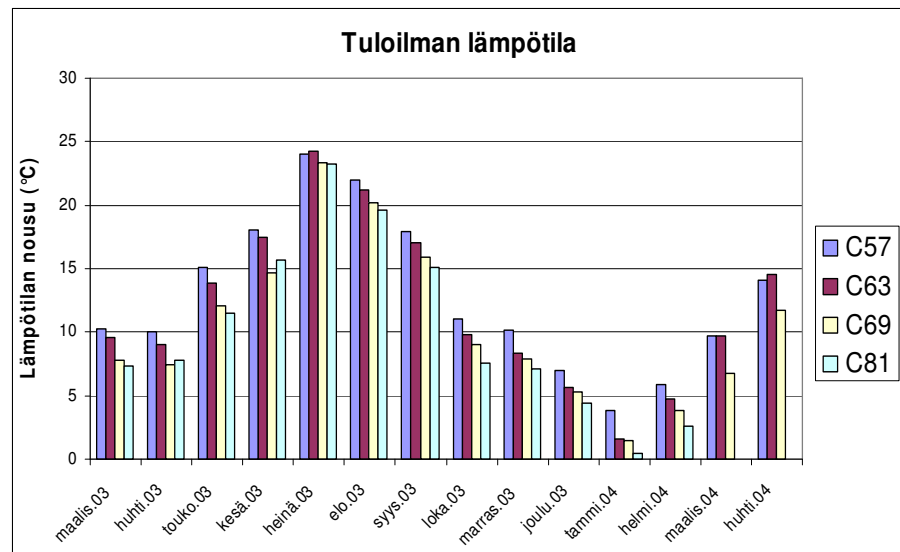
Ulkoilman keskilämpötila lasitetulla parvekkeella eri kuukausina.

Vertaamalla keskenään kuvia 6 ja 7 havaitaan, että ilman lämpötila lasitetulla parvekkeella oli enimmillään noin 6 °C ulkoilmaa lämpimämpää (huhtikuussa 2004). Talvella loka-helmikuussa erotus oli noin 2-3 °C vaihdellen eri kuukausina.

### *Tuloilman lämpötila*

Tulostukset tuloilman lämpötilasta kussakin huoneistossa on esitetty liitteessä 6.

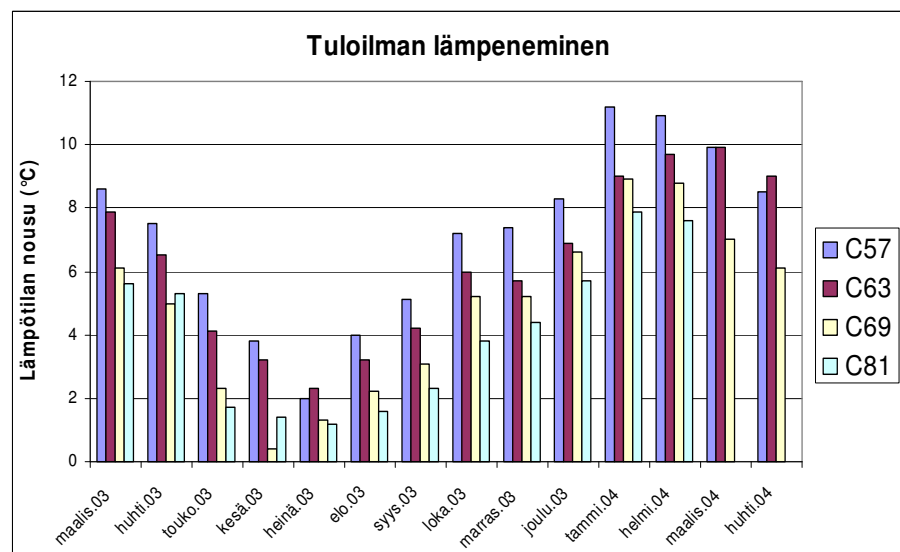
Tuloilman keskilämpötilat eri kuukausilta on esitetty kuvassa 8.


**Kuva 8.**

Tuloilman keskilämpötila tutkituissa asunnoissa eri kuukausina.

Kuvan 8 mukaan tuloilman lämpötila oli korkeimmillaan alimpien kerroksien huoneistoissa.

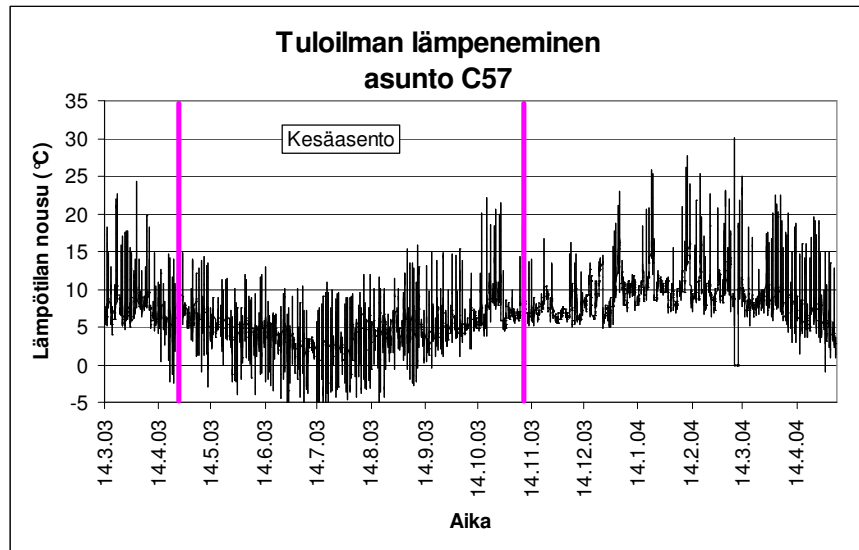
Tuloilman lämpeneminen eri kuukausilta on esitetty kuvassa 9.


**Kuva 9.**

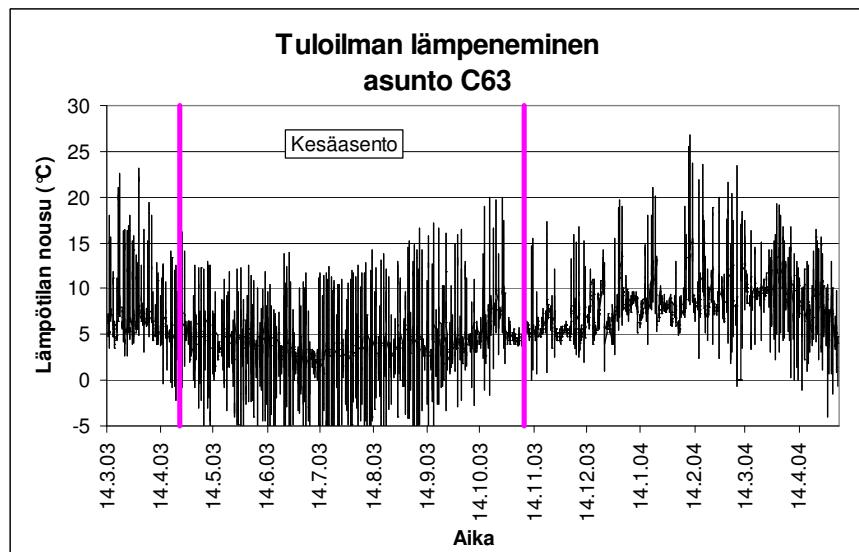
Tuloilman keskimääräinen lämpeneminen tutkituissa asunnoissa eri kuukausina.

Kuvan 9 mukaan voidaan tehdä samat johtopäätökset kuin kuvan 8 tapauksessa, eli tuloilma lämpenee eniten alimpien kerroksien huoneistoissa. Keskimääräinen lämpeneminen oli suurimmillaan tamm-helmikuussa jopa 11 °C. Kesäaikaan lämpeneminen on keskimäärin muutaman Celsius-asteen.

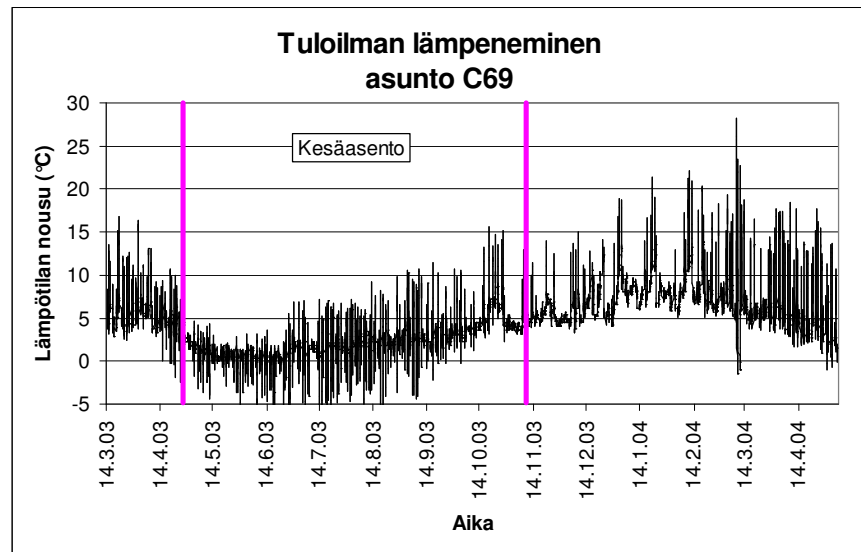
Kuvissa 10 - 13 on tuloilman lämpeneminen esitetty tarkemmin tunnin välein mitatuin arvoin eri huoneistoissa.


**Kuva 10.**

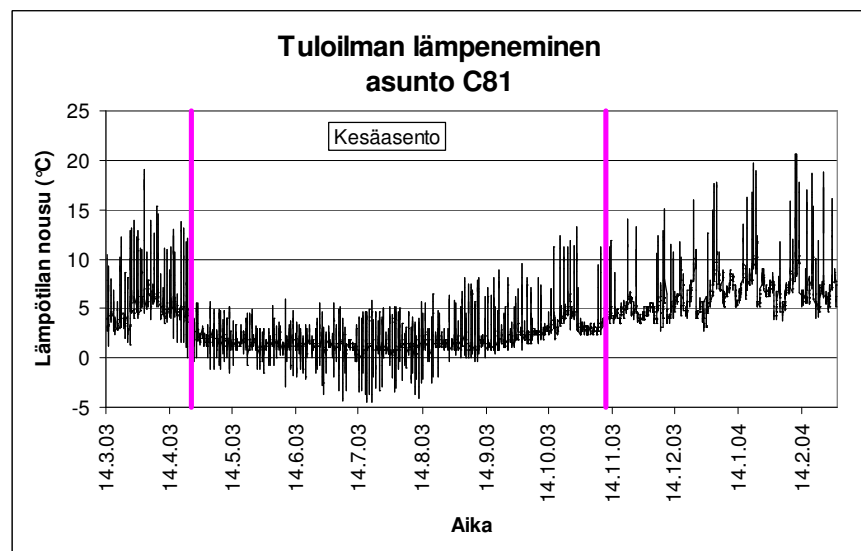
Tuloilman lämpeneminen huoneistossa C57 tunnin välein mitattuna.


**Kuva 11.**

Tuloilman lämpeneminen huoneistossa C63 tunnin välein mitattuna.


**Kuva 12.**

Tuloilman lämpeneminen huoneistossa C69 tunnin välein mitattuna.


**Kuva 13.**

Tuloilman lämpeneminen huoneistossa C81 tunnin välein mitattuna.

Kuvien 10 - 13 mukaan tuloilman lämpeneminen on suurinta talvikuukausina. Kesäkuukausina tuloilma voi myöskin hetkittäin olla viileämpää kuin ulkoilma. Tämä ilmiö tapahtuu kesäaamuisin, jolloin ulkoilma lämpenee nopeammin kuin yöllä jäähtynyt ikkunan karmirakenne.

### *Tuloilmamäärä*

Kullekin tarkastellulle ulkoilmaventtiilille on määritetty ominaiskäyrä mittamalla samanaikaisesti paine-eroa sisä- ja ulkoilman välillä sekä venttiilistä tulevaa tuloilmavirtaa. Esimerkiksi makuuhuoneiden osalta tulokset on esitetty taulukossa 5.

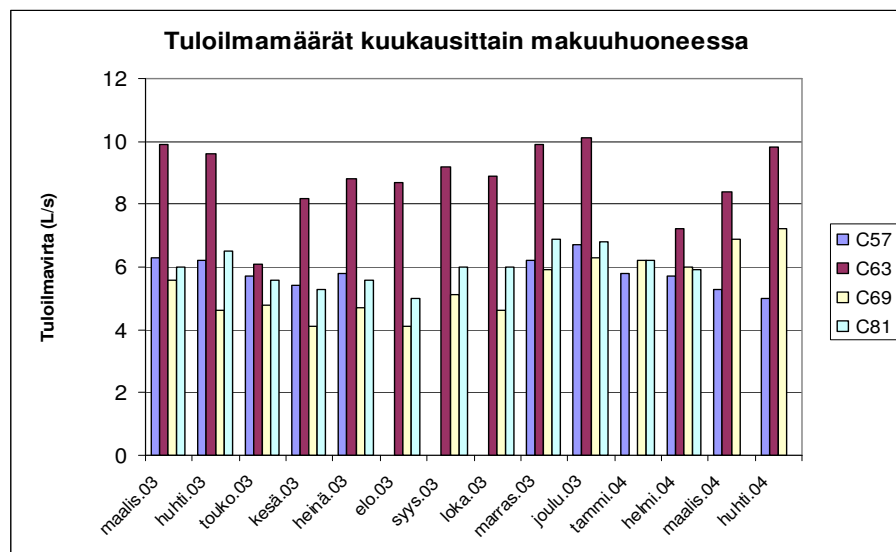
**Taulukko 5.**

 Makuuhuoneiden ulkoilmaventtiilien ominaiskäyrät  $[dp]=Pa$ ,  $[q]=dm^3/s$ .

Huoneisto	Ominaiskäyrä
C57	$q = 0,925dp^{0,554}$
C63	$q = 1,845dp^{0,450}$
C69	$q = 0,601dp^{0,642}$
C81	$q = 0,690dp^{0,694}$

Ominaiskäyrien avulla lasketut tuloilmavirrat on esitetty liitteessä 7. Sen mukaan ilmavirtojen vaihtelu on ollut hyvin suurta. Nolla-arvot johtuvat ikkunoiden ja parvekeovien avaamisesta.

Tuloilmavirtojen keskiarvot eri kuukausilta on esitetty kuvassa 14.


**Kuva 14.**

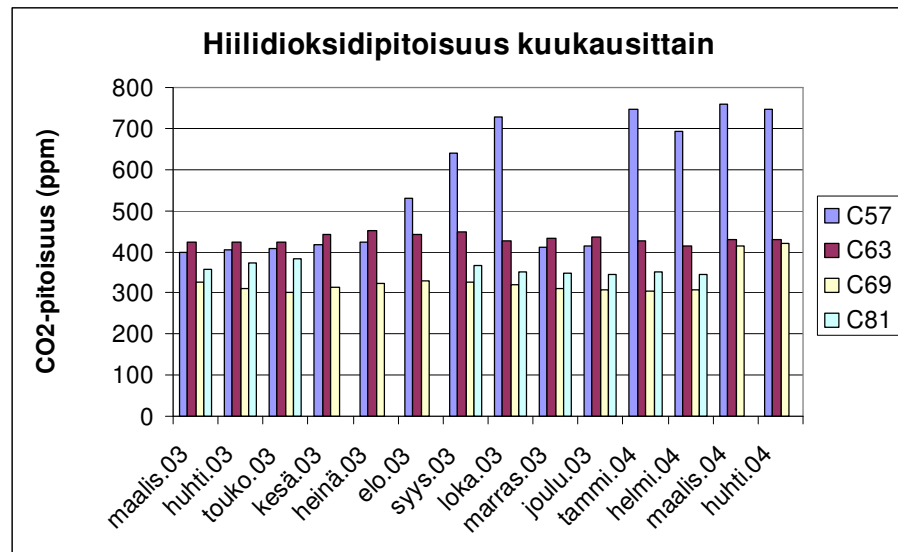
Keskimääräiset tuloilmavirrat eri huoneistojen makuuhuoneessa eri kuukausina.

Kuvan 14 mukaan makuuhuoneen keskimääräiset tuloilmavirrat vaihtelivat melkoisesti. Huoneiston C63 tuloilmamäärät olivat selvästi muita suuremmat. Tosin lukuarvoihin sisältyy melko suuri mittausepävarmuus.

### *Hiilidioksidipitoisuus*

Tulostukset hiilidioksidipitoisuuksista kussakin huoneistossa on esitetty liitteessä 8.

Hiilidioksidipitoisuuksien keskiarvot eri kuukausilta on esitetty kuvassa 15.


**Kuva 15.**

Keskimääräiset hiilidioksidipitoisuudet eri kuukausina.

Kuvan 15 mukaan keskimääräiset hiilidioksidipitoisuudet vaihtelivat melkoisesti. Ainoastaan huoneistossa C57 on ollut asukkaita, mikä selvästikin näkyy kuvassa 15.

### Lämpenemissuhde

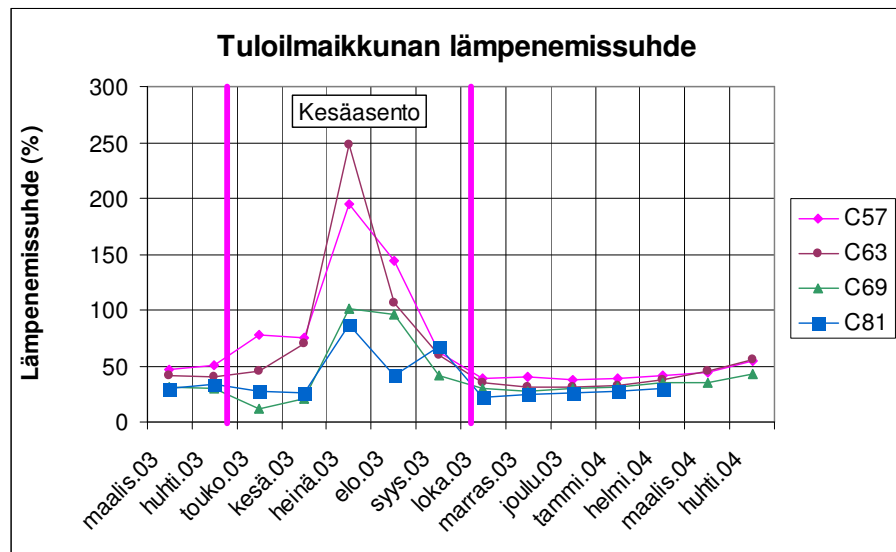
Termiä lämpötilahyötysuhdetta käytetään tyypillisesti vertailtaessa lämmönsiirtimien kykyä ottaa lämpöä talteen poistoilmasta ja siirtää sitä tuloilmaan. Samaa tarkastelua voidaan soveltaa myös tuloilmaikkunan tapauksessa, missä tuloilmaan siirtyy ikkunan läpi johtunutta lämpöä. Tuloilmaikkunan tapauksessa lämpötilahyötysuhteen tilalla käytetään termiä lämpenemissuhde, joka on muotoa

$$\varepsilon = \frac{T_t - T_u}{T_s - T_u}, \quad (1)$$

missä  $T_t$  on tuloilmaikkunan läpi virtaavan ilman lämpötila huoneen puolella venttiilissä ennen sekoittumista huoneilmaan [°C]  
 $T_u$  ulkoilman lämpötila [°C]  
 $T_s$  sisäilman lämpötila [°C].

Tulostukset lämpenemissuhteesta kussakin huoneistossa on esitetty liitteessä 9.

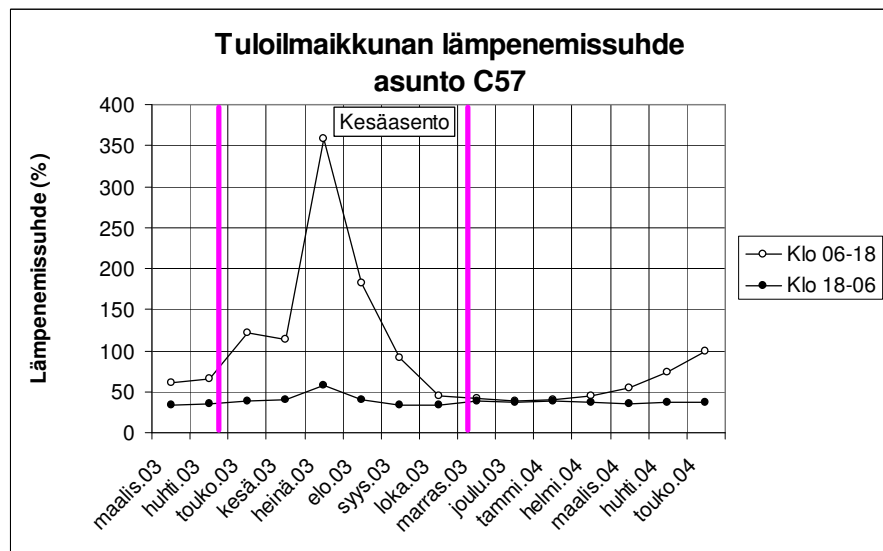
Lämpenemissuhteen keskiarvot eri kuukausilta on esitetty kuvassa 16.


**Kuva 16.**

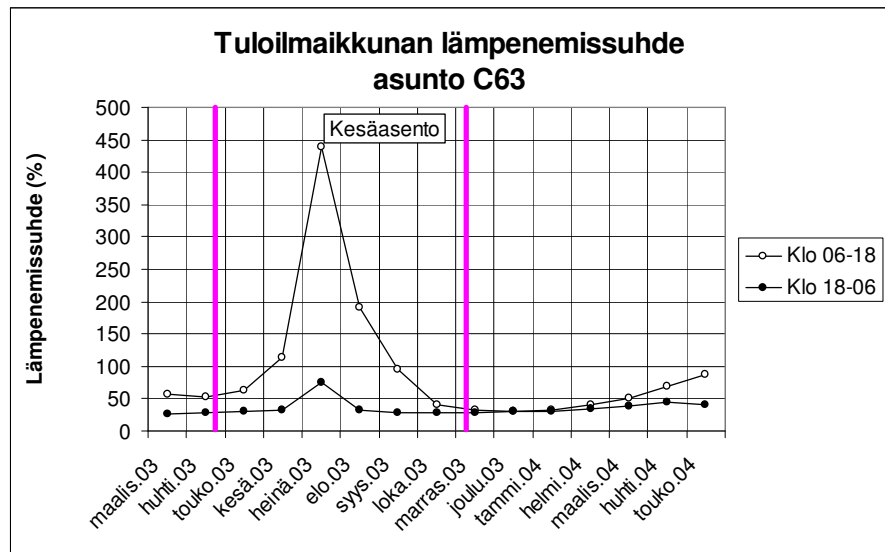
Keskimääräiset lämpenemissuhteet eri kuukausina.

Kuvan 16 mukaan keskimääräiset lämpenemissuhteet vaihtelivat melkoisesti erityisesti kesän aikana ollen noin 100 - 250 %. Syys- ja talvikausina keskimääräiset lämpenemissuhteet olivat noin 30 – 50 %.

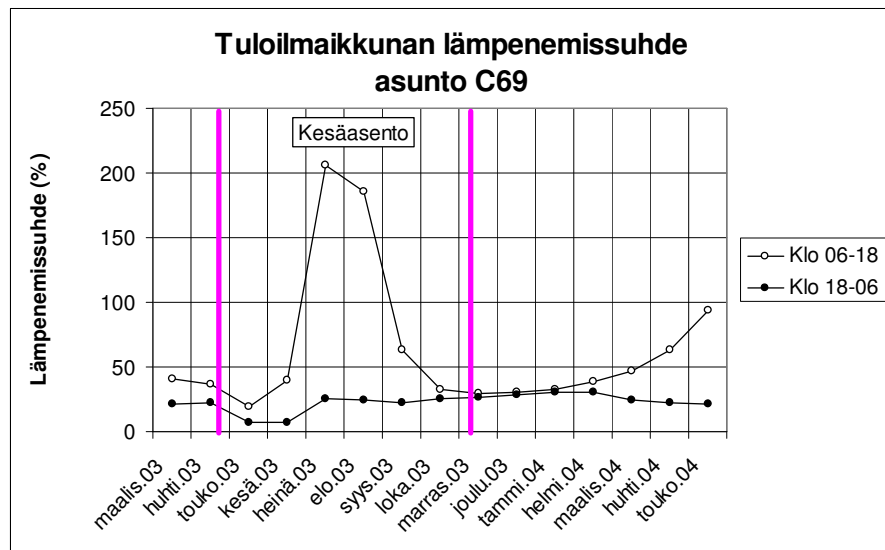
Lämpenemissuhteet eri huoneistoissa päivä- (klo 06-18) ja yöaikaan (klo 18-06) on esitetty kuvissa 17 – 20.


**Kuva 17.**

Keskimääräiset lämpenemissuhteet eri kuukausina huoneistossa C57. Tarkastelussa ovat erikseen päivä- ja yöolosuhteet.

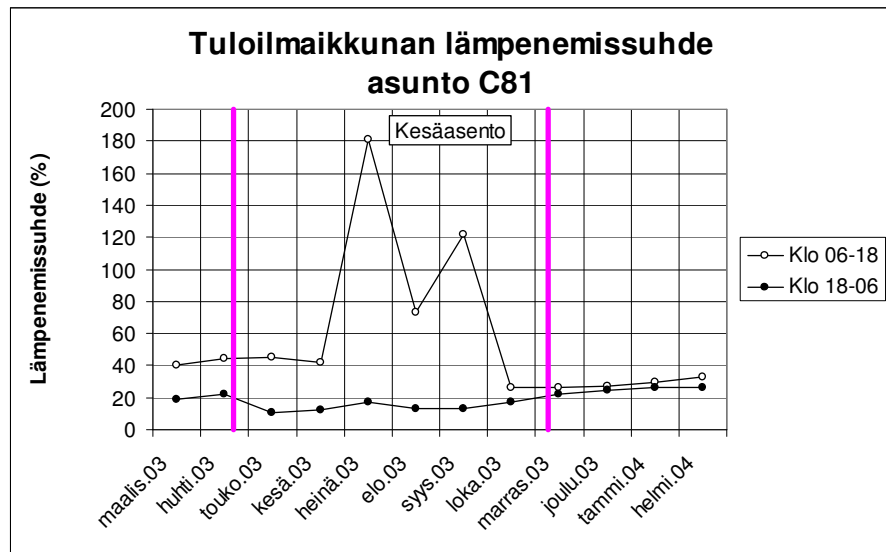

**Kuva 18.**

Keskimääräiset lämpenemissuhteet eri kuukausina huoneistossa C63. Tarkastelussa ovat erikseen päivä- ja yöolosuhteet.


**Kuva 19.**

Keskimääräiset lämpenemissuhteet eri kuukausina huoneistossa C69. Tarkastelussa ovat erikseen päivä- ja yöolosuhteet.





**Kuva 20.**

Keskimääräiset lämpenemissuhteet eri kuukausina huoneistossa C81. Tarkastelussa ovat erikseen päivä- ja yöolosuhteet.

Kuvien 17 - 20 mukaan yöaikainen lämpenemissuhde on lähes vakio vuodenaajoista riippumatta. Alimpien kerrosten asunnoissa C57 ja C63 yöaikaiset lämpenemissuhteet olivat heinäkuussa hieman korkeammat kuin muina kuukausina.

Kun tarkastellaan jaksoja, jolloin venttiili oli talviasennossa, eli toimi tuloilmaikkunana, päiväaikainen lämpenemissuhde oli enimmillään noin 20 % yksikköä korkeampi kuin yöaikainen. Tämä johtuu siitä, että päiväaikaan myös auringonsäteilyn ilmaisenergiaa saadaan tuloilmaan talteen.

## Tulosten tarkastelu

### Kertamittaukset

Kaikissa huoneistoissa toteutui Sisäilmastoluokituksen 2000 S2-luokan mukaiset huonelämpötilan vähimmäis- ja enimmäisarvot. Kesällä sisälämpötila oli alhaisin alimmissa kerroksissa. Talvella tilanne oli päinvastainen.

Ilman suhteellinen kosteus pysyi myös talviaikaan S1-luokan tavoitearvon sisällä. S2-luokalle ei ole annettu sisäilmastoluokituksessa tavoitearvoa.

S2-luokan vaatimukset ilman nopeuden suhteen toteutuivat jokaisella mittauskerralla. Kokonaisuutta tarkasteltaessa ilman nopeudet olivat kertamittauksissa alhaisia yli vuoden kestäneellä seurantajaksolla. Asukkailta tulleen palautteen mukaan veto-ongelmia ei seurannan piirissä olleissa venttiileissä esiintynyt tai ne olivat vähäisiä. Asukkaat pitivät mittausseurannassa olevia venttiilejä pääsääntöisesti auki ympäri vuoden.

Ilman nopeuden kertamittaukset eivät kerro tarkasti kokonaistilannetta, vaan ainoastaan mittausaikaisen tilanteen. Sääolot, varsinkin tuulen suunta ja nopeus saattavat aiheuttaa suuriakin muutoksia venttiilin tuloilmamääriin ja sitä kautta ilman nopeuden muutoksiin huoneissa. Ilman nopeuden mittausseuranta

jatkuvatoimisesti ei ollut mahdollista, koska yhdessä asunnossa oli asukkaat ja muihinkin olisi voinut muuttaa asukkaita milloin tahansa. Asukkaiden liikkuminen huoneissa tai ikkunan avaaminen olisi aiheuttanut ilmavirtauksia, jotka olisivat olleet mahdottomia erottaa venttiilin aiheuttamista virtauksista.

Huoneistojen poistoilmanvaihtomääristä laskettu ilmanvaihtuvuus ylitti jokaisella mittauskerralla selvästi RaKM:n osan D2 minimiohjearvon 0,5 l/h ja oli siten ohjearvon mukaisesti riittävä. Huonekohtaiset poistoilmamäärät olivat myös D2:n ohjearvojen tuntumassa, lukuun ottamatta keittiöiden poistoilmanvaihtoa ja huoneiston C69 kylpyhuoneen poistoilmanvaihtoa.

Tuloilmanvaihtolukemia ei verrattu D2:n ohjearvoihin, koska mittausmenetelmä ei soveltunut kunnolla mittausseurannassa olevien venttiilien mittaamiseen ja menetelmän epävarmuus jäi suureksi. Tuloilmanvaihdon mittaaminen koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä on muutenkin hankalaa, koska tuloilmavirrat voivat vaihdella paljonkin riippuen esimerkiksi tuulen suunnasta ja nopeudesta.

### **Jatkuvatoimiset mittaukset**

Myös jatkuvatoimisissa mittauksissa kaikissa tarkasteltavissa huoneistoissa pääsääntöisesti toteutui S2-luokan mukaiset huonelämpötilan vähimmäis- ja enimmäisarvot.

Ulkoilman lämpötila lasitetulla parvekkeella oli enimmillään noin 6 °C ulkoilmaa lämpimämpää (huhtikuu 2004). Talvella loka-helmikuussa ero oli noin 2-3 °C vaihdellen eri kuukausina.

Tuloilman lämpötila oli lämpimintä alimpien kerroksien huoneistoissa, joissa myös tuloilma lämpeni eniten. Lämpeneminen oli suurimmillaan talvikuukausina jopa 11 °C. Kesäaikaan lämpeneminen oli keskimäärin muutaman Celsius-asteen. Tähän on vaikuttanut venttiilin kesäasentomahdollisuus, jolloin ulkoilma on tullut sisätilaan suoraan ikkunakarmin kautta.

### **Muita huomioita**

Tuloilmaikkunan lasivälin ei havaittu likaantuvan sen enempää kuin venttiilitömän lasivälin.

### **Johtopäätökset**

Tulosten perusteella voidaan todeta, että koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä voidaan lämpöolojenkin osalta saavuttaa Sisäilmastoluokitus SL-2000:n S2-luokka, kun ulkoilman sisääntuonti on järjestetty tuloilmaikkunalla.

Keskimääräiset lämpenemissuhteet vaihtelivat melkoisesti erityisesti kesän aikana ollen noin 100 - 250 %. Syys- ja talvikausina keskimääräiset lämpenemissuhteet olivat noin 30 - 50 %. Kun tarkastellaan jaksoja, jolloin venttiili oli talviasennossa, eli toimi tuloilmaikkunana, päiväaikainen lämpenemissuhde oli enimmillään noin 20 %-yksikköä korkeampi kuin yöaikainen. Tämä johtuu sii-

---

tä, että päiväaikaan myös auringonsäteilyn ilmaisen energiaa saadaan tuloilmaan talteen.

Espoossa, 22.11.2004

Eva Häkkä-Rönholm  
Ryhmäpäällikkö

Keijo Kovanen  
Erikoistutkija

## VIITTEET

1. Standardi SFS 5511 "Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset", Suomen Standardisoimisliitto, 1989
2. Standardi SFS 5512 "Ilmastointi. Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa", Suomen Standardisoimisliitto, 1989
3. Sisäilmastoluokitus 2000. LVI 05-10318, RT 07-10741, Ratu 424-T. Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto, 2001
4. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 "Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 1987", Ympäristöministeriö, 1987

## LIITTEET

1. Talon julkisivu ja kuvia venttiilistä.
2. Kertamittausten tulokset
3. Sisäilman lämpötilat eri huoneistoissa (jatkuva mittaus)
4. Ulkoilman lämpötilat (jatkuva mittaus)
5. Ulkolämpötilat lasitetulla parvekkeelle (jatkuva mittaus)
6. Tuloilmalämpötilat eri huoneistoissa (jatkuva mittaus)
7. Tuloilmamäärät eri huoneistoissa (jatkuva mittaus)
8. Hiilidioksidipitoisuudet eri huoneistoissa (jatkuva mittaus)
9. Lämpenemissuhteet eri huoneistoissa (jatkuva mittaus)

## JAKELU

Tilaaaja  
VTT/Arkisto

Alkuperäinen  
Alkuperäinen



**Kuva 1.**

Tutkimukseen osallistuneet huoneistot sijaitsivat päällekkäin pohjakerroksessa, 1., 2. ja 4. kerroksessa.



**Kuva 2.** Air-In TI Tuloilmaikkunaventtiili.



**Kuva 3.** Air-In DBS Lämmönsiirrin.

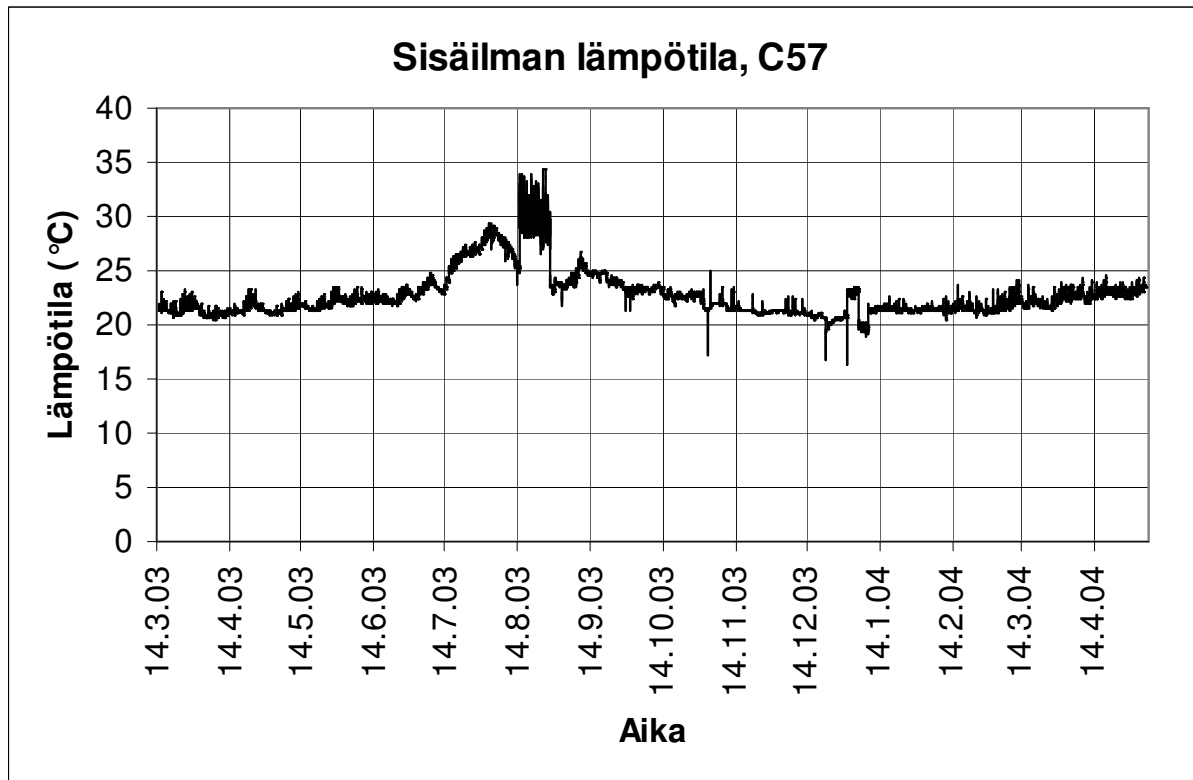
## LIITE 2

**KERTAMITTAUKSET AS. OY VIIKIN AURA (poistoilmapuhaltimen säätöasento 2)**

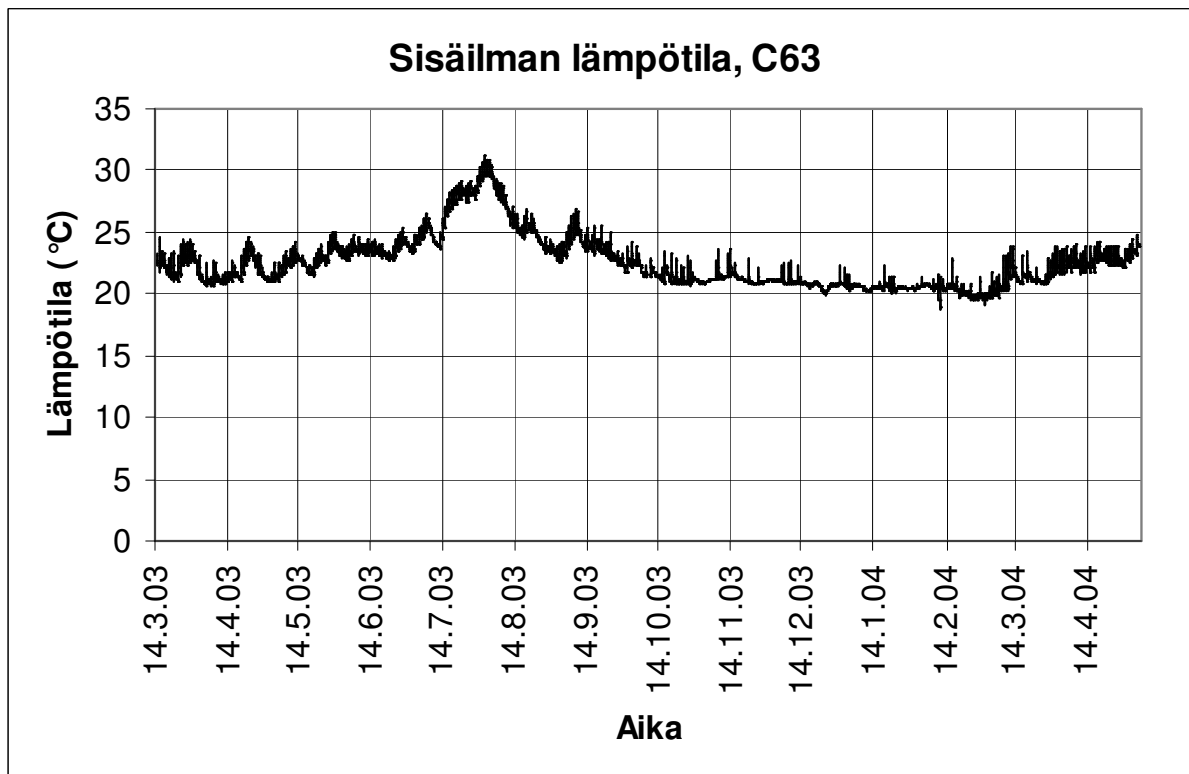
Asunto/ krs/ pinta- ala	Huone	Tuloilmanvaihto (dm <sup>3</sup> /s)									Huonelämpötila/ kosteus, (olohuone) (°C/%)	Veto (m/s)	Huone	Poistoilmanvaihto (dm <sup>3</sup> /s)								
		pvm, Vuosi 2003				Vuosi 2004								pvm, Vuosi 2003			Vuosi 2004					
		13.3.	24.4.	26.6.	27.8.	10.11	9.1	11.3	6.5.				13.3.	24.4.	26.6.	27.8.	10.11.	9.1.	11.3.	6.5.		
C 57 P, krs (48 m <sup>2</sup> )	olohuone	5,0	4,1	5,2	4,6	2,8	4,5	5,5	4,5	<b>Pvm, Vuosi 2003</b> 13.3 : 22,0/24 24.4 : 22,3/22 26.6 : 23,4/43 27.8 : 23,2/40 10.11 : 21,6/32 <b>Pvm, Vuosi 2004</b> 9.1. : 21,0/31 11.3. : 22,0/25 6.5. : 23,8/44	0,11 0,08 0,03 0,08 0,05	kylpyh, keittiö <b>Yhteensä</b>	14,5	14,5	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	12,8		
	olohuone	6,0	5,3	4,4	4,7	4,2	4,5	5,1	5,0				14,5	12,8	12,8	13,3	13,9	12,8	13,3	13,3		
	mh	5,1	4,3	5,2	5,9	3,8	4,7	5,9	4,7			<b>Ilmanvaihtuvuus (1/h)</b>	<b>0,82</b>	<b>0,77</b>	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>	<b>0,79</b>	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>	<b>0,74</b>		
C 63 1, krs (60 m <sup>2</sup> )	olohuone	6,2	6,1	6,0	6,1	6,1	5,8	6,1	5,5	<b>Pvm, Vuosi 2003</b> 13.3 : 23,0/19 24.4 : 23,3/22 26.6 : 24,4/41 27.8 : 24,0/44 10.11 : 21,2/33 <b>Pvm, Vuosi 2004</b> 9.1. : 20,4/33 11.3. : 20,7/17 6.5. : 22,8/42	0,13 0,10 0,03 0,06 0,14	kylpyh, keittiö vaatehuone <b>Yhteensä</b>	12,8	12,8	12,8	12,8	12,2	13,3	13,3	12,8		
	olohuone	9,0	5,9	8,2	8,6	5,1	5,9	5,9	6,1				15,7	13,3	14,5	14,5	13,9	14,5	13,9	12,8		
	mh	9,6	8,1	7,1	7,2	7,2	7,9	7,6	6,7			<b>Ilmanvaihtuvuus (1/h)</b>	<b>0,72</b>	<b>0,67</b>	<b>0,71</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,72</b>	<b>0,71</b>	<b>0,68</b>		
C 69 2, krs (60 m <sup>2</sup> )	olohuone	7,8	8,6	7,7	8,2	7,5	7,9	6,6	6,8	<b>Pvm, Vuosi 2003</b> 13.3 : 23,6/20 24.4 : 23,4/34 26.6 : 24,6/44 27.8 : 24,1/50 10.11 : 21,5/40 <b>Pvm, Vuosi 2004</b> 9.1. : 20,3/30 11.3. : 20,7/23 6.5. : 22,4,9/41	0,10 0,13 0,08 0,13 0,15	kylpyh, keittiö vaatehuone <b>Yhteensä</b>	10,4	12,2	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0		
	olohuone	5,8	4,5	5,9	5,9	5,2	4,9	5,0	4,5				14,5	13,3	14,5	14,5	14,7	13,9	13,9	13,9		
	mh	5,7	5,0	6,0	6,1	4,7	5,5	4,7	5,3			<b>Ilmanvaihtuvuus (1/h)</b>	<b>0,64</b>	<b>0,66</b>	<b>0,68</b>	<b>0,66</b>	<b>0,69</b>	<b>0,67</b>	<b>0,67</b>	<b>0,64</b>		
C 81 4, krs (60 m <sup>2</sup> )	olohuone	5,5	4,2	5,9	5,5	4,7	5,2	-	-	<b>Pvm, Vuosi 2003</b> 13.3 : 22,8/22 24.4 : 23,0/30 26.6 : 25,0/39 27.8 : 24,2/50 10.11 : 21,0/35 <b>Pvm, Vuosi 2004</b> 9.1. : 19,5/24 11.3. : - 6.5. : -	0,10 0,08 0,08 0,11 0,06	kylpyh, keittiö vaatehuone <b>Yhteensä</b>	13,3	14,5	13,9	13,9	14,7	13,9	-	-		
	olohuone	6,4	5,7	5,0	4,2	4,7	5,5	-	-				14,5	14,5	14,5	14,5	13,9	13,9	-	-		
	mh	6,5	6,0	7,0	6,7	6,1	5,5	-	-			<b>Ilmanvaihtuvuus (1/h)</b>	<b>0,71</b>	<b>0,74</b>	<b>0,75</b>	<b>0,74</b>	<b>0,75</b>	<b>0,74</b>	-	-		

- mittausseuranta lopetettu asukkaan pyynnöstä

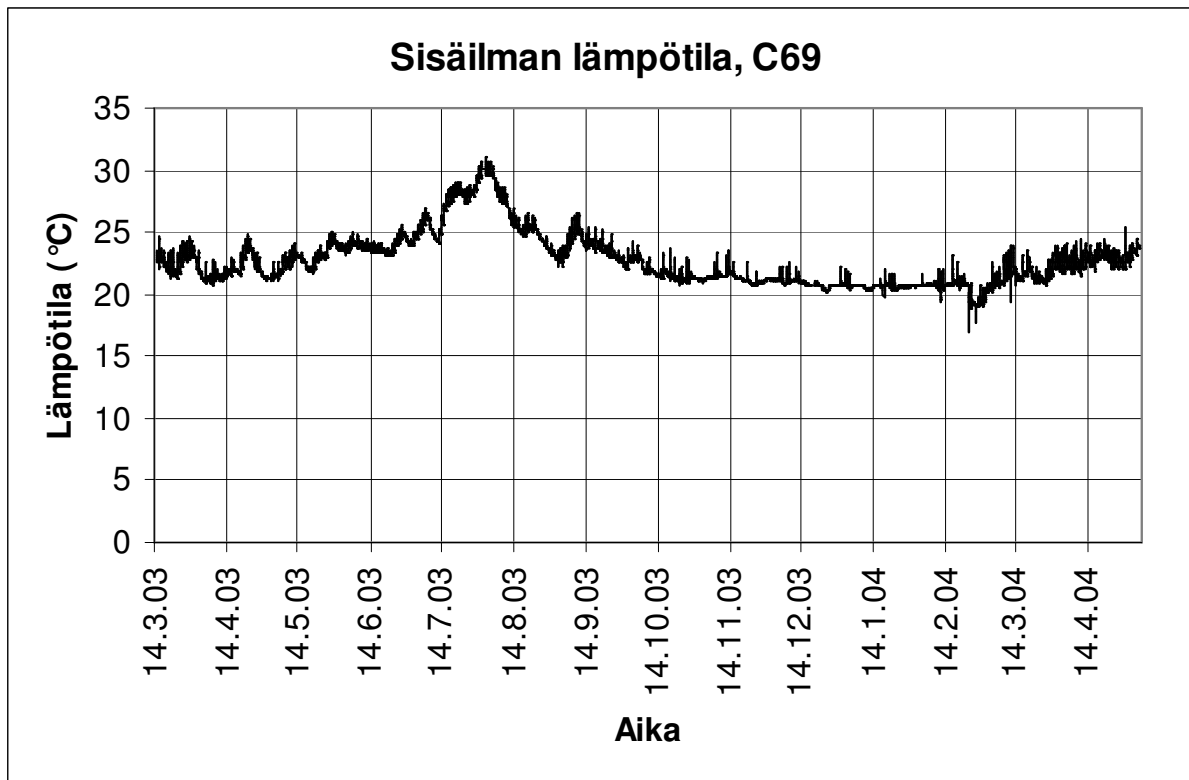
## Sisäilman lämpötilat eri huoneistoissa (jatkuva mittaus)



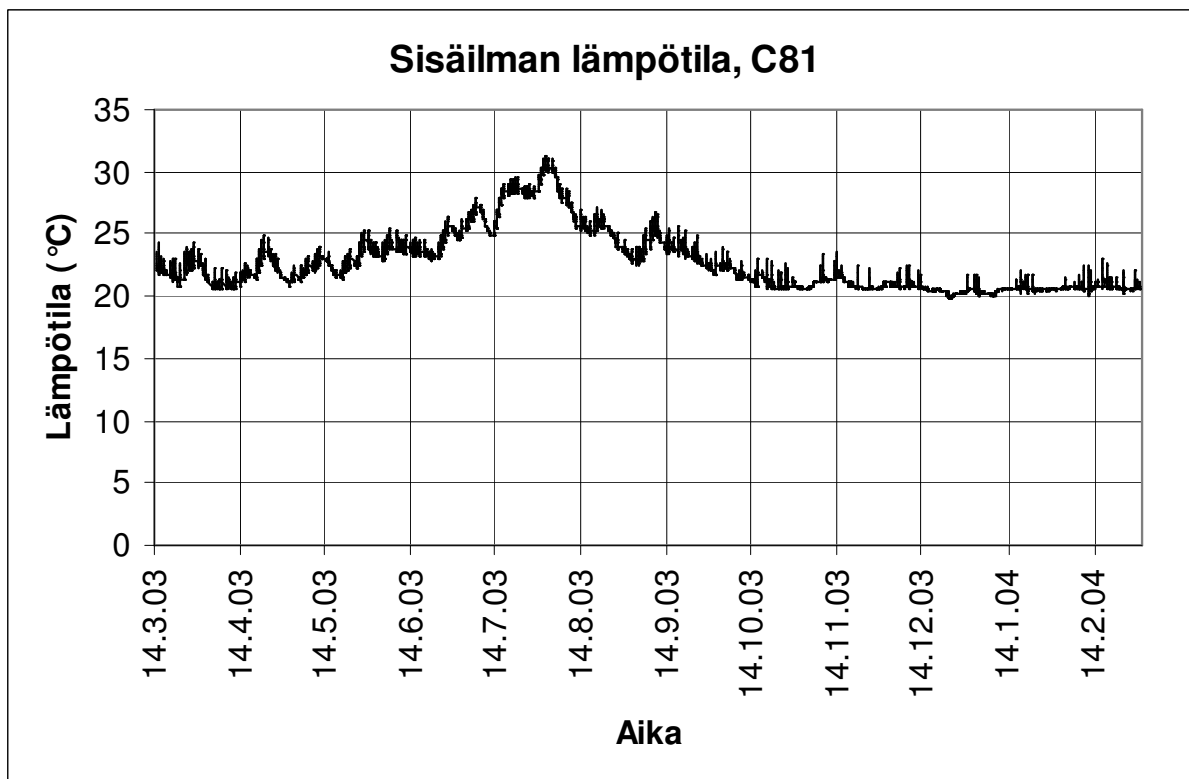
**Kuva 1.** Huoneiston C57 sisäilman lämpötila koko mittausajalta. Elokuussa 2003 näkyvä lämpötilan nousu johtuu siitä, että mittauspurkki on asukkaan toimesta nostettu jääkaapin päälle.



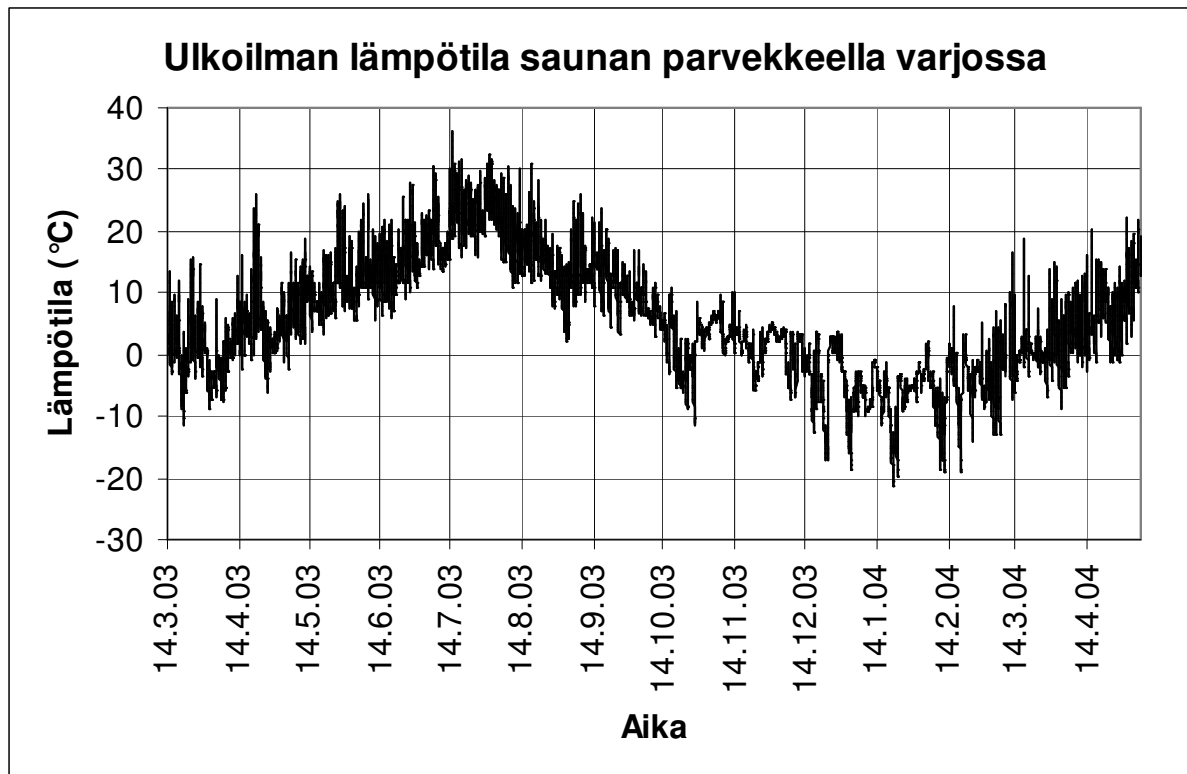
**Kuva 2.** Huoneiston C63 sisäilman lämpötila koko mittausajalta.



**Kuva 3.** Huoneiston C69 sisäilman lämpötila koko mittausajalta.

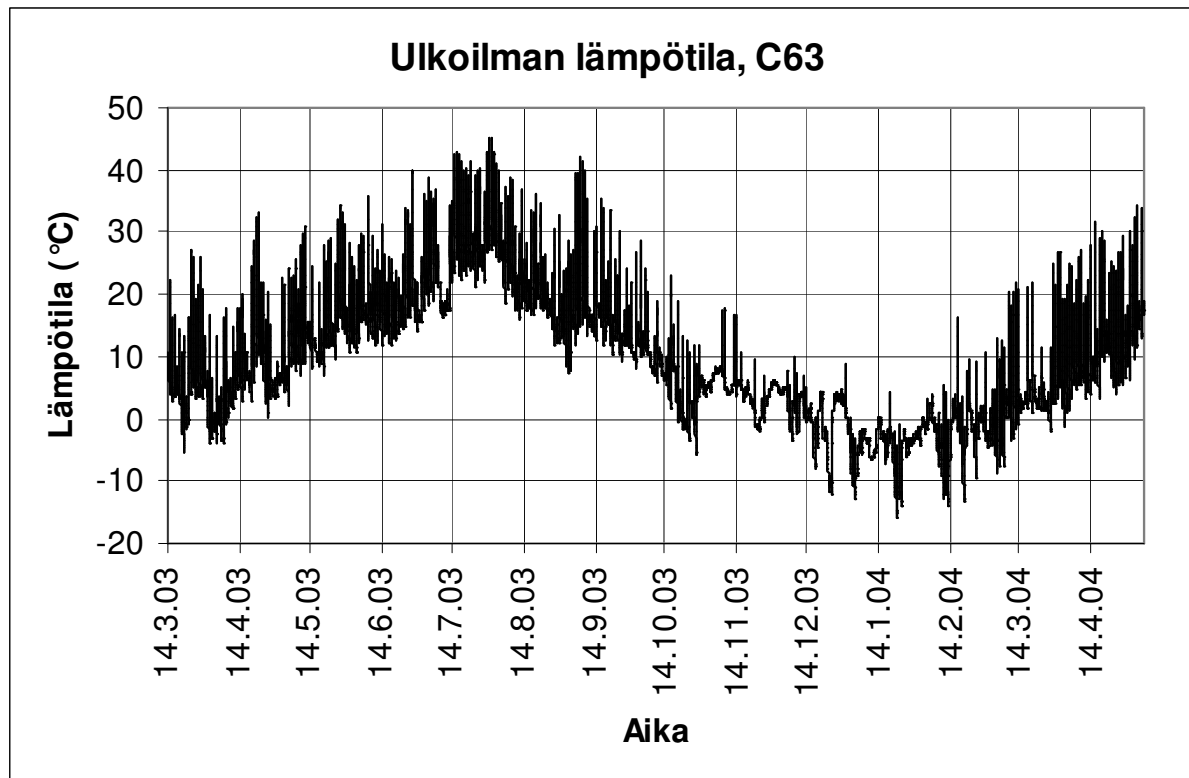


**Kuva 4.** Huoneiston C81 sisäilman lämpötila koko mittausajalta.

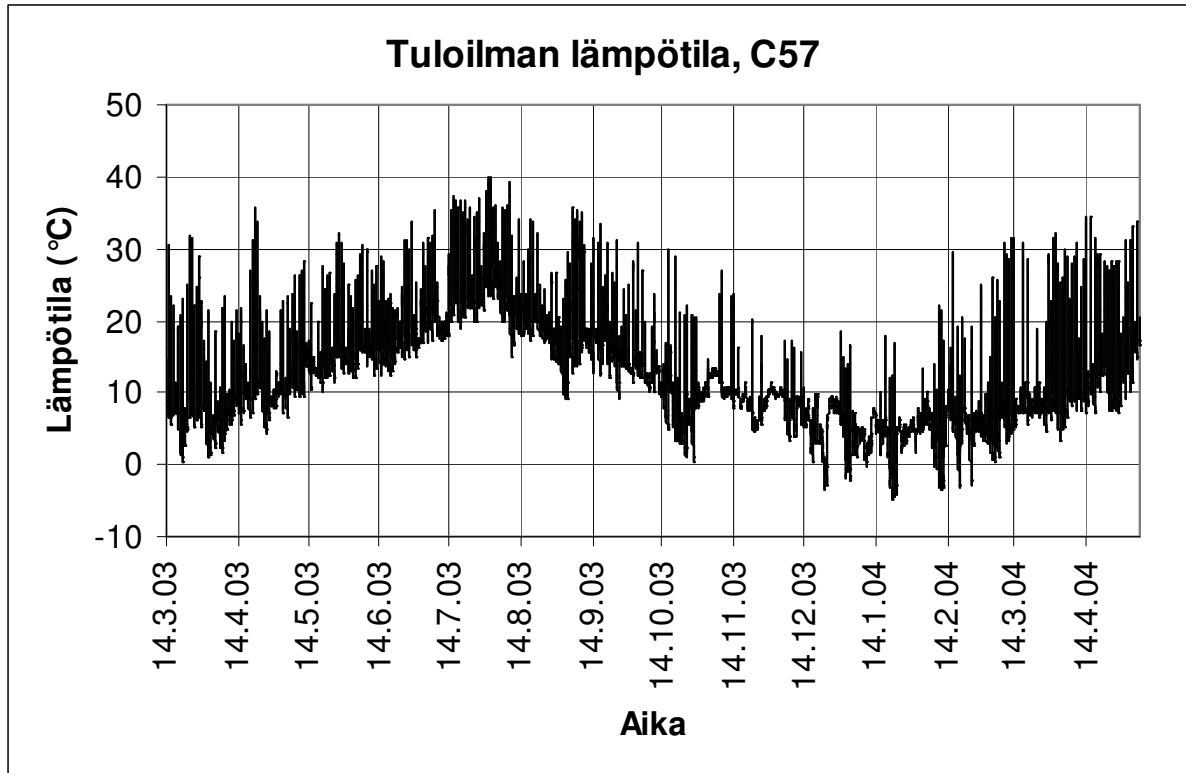
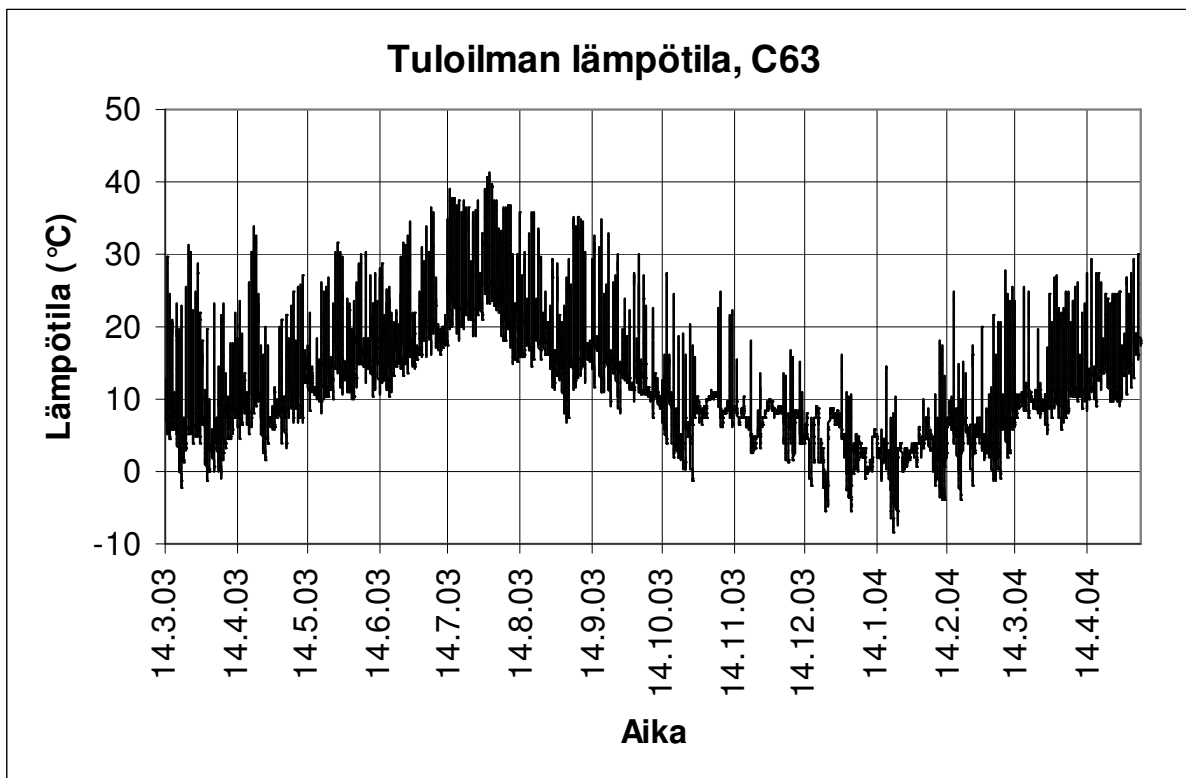
**Ulkolämpötilat (jatkuva mittaus)**

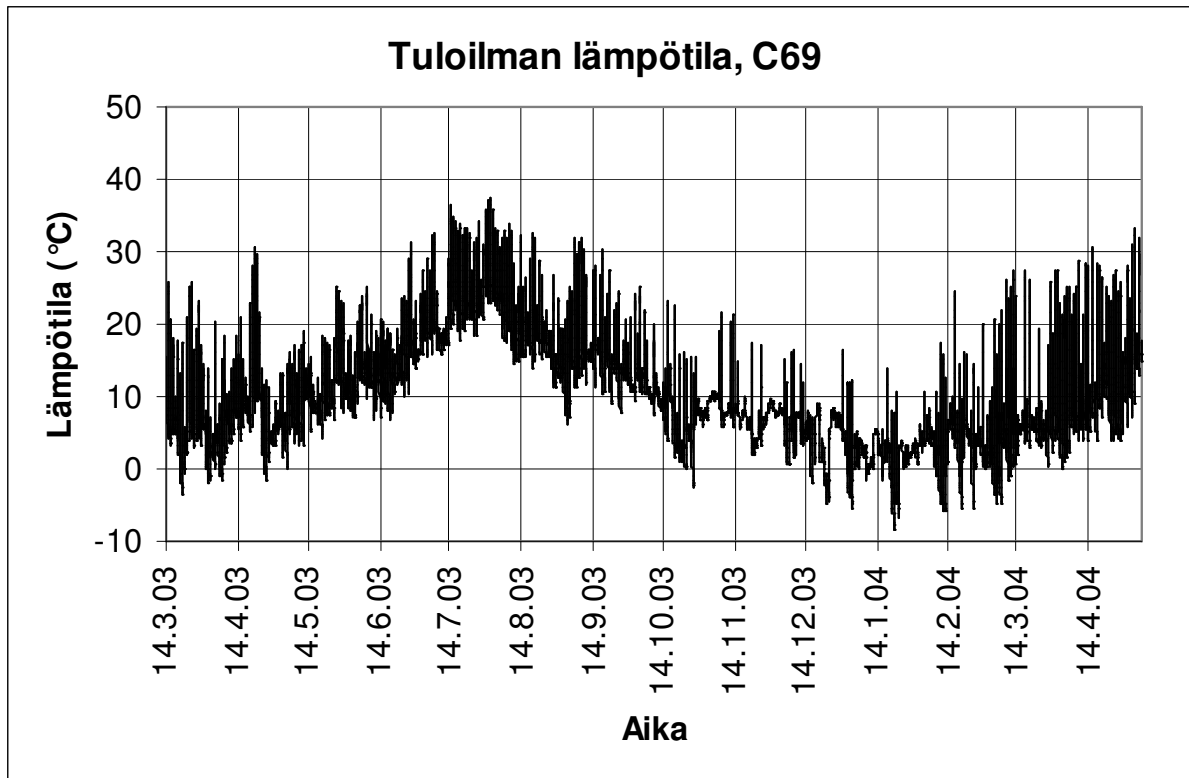
**Kuva 1.** Ulkoilman lämpötila, joka on mitattu rakennuksen ylimmässä kerroksessa sijaitsevan talosaunan parvekkeella. Anturi oli sijoitettu siten, ettei auringonvalo ole osunut siihen.



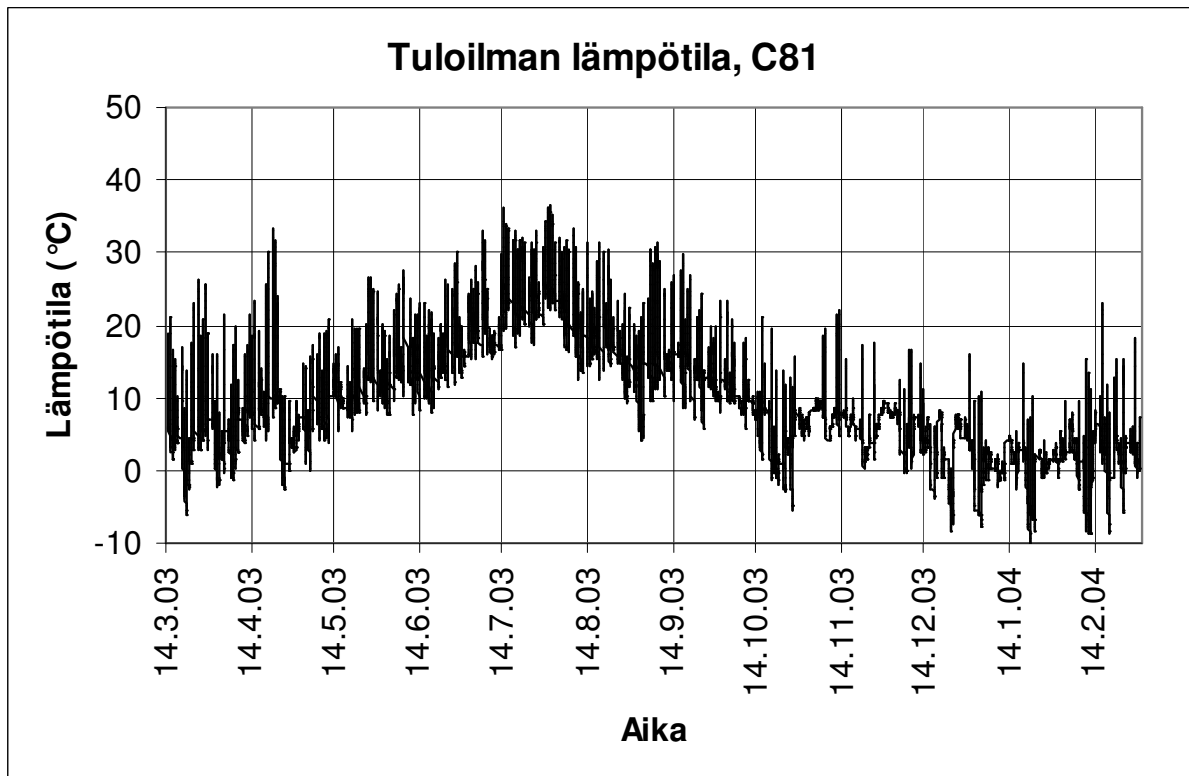
**Ulkolämpötilat lasitetulla parvekkeella (jatkuva mittaus)**

**Kuva 1.** Ulkoilman lämpötila, joka on mitattu huoneiston C63 lasitetulla parvekkeella. Anturi oli sijoitettu siten, ettei auringonvalo ole osunut siihen.

**Tuloilman lämpötilat eri huoneistoissa (jatkuva mittaus)**

**Kuva 1.** Huoneiston C57 tuloilman lämpötila koko mittausajalta.

**Kuva 2.** Huoneiston C63 tuloilman lämpötila koko mittausajalta.

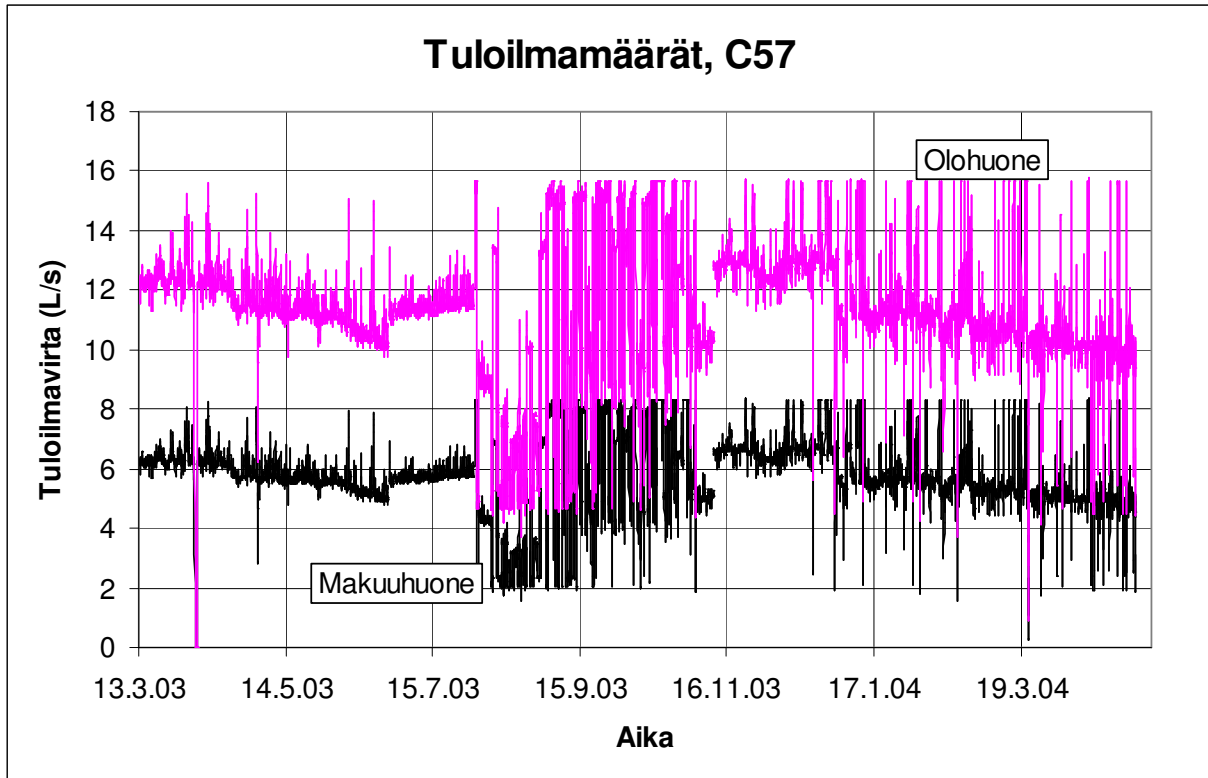


**Kuva 3.** Huoneiston C69 tuloilman lämpötila koko mittausajalta.

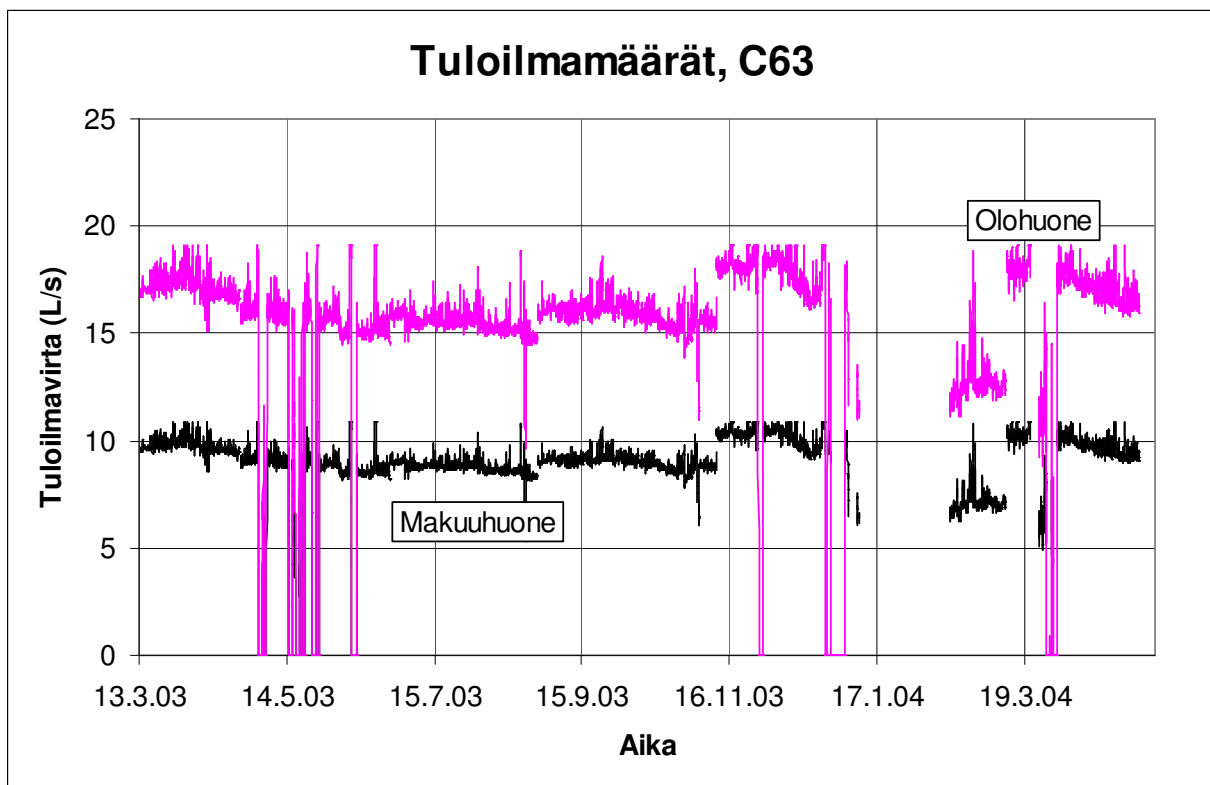


**Kuva 4.** Huoneiston C81 tuloilman lämpötila koko mittausajalta.

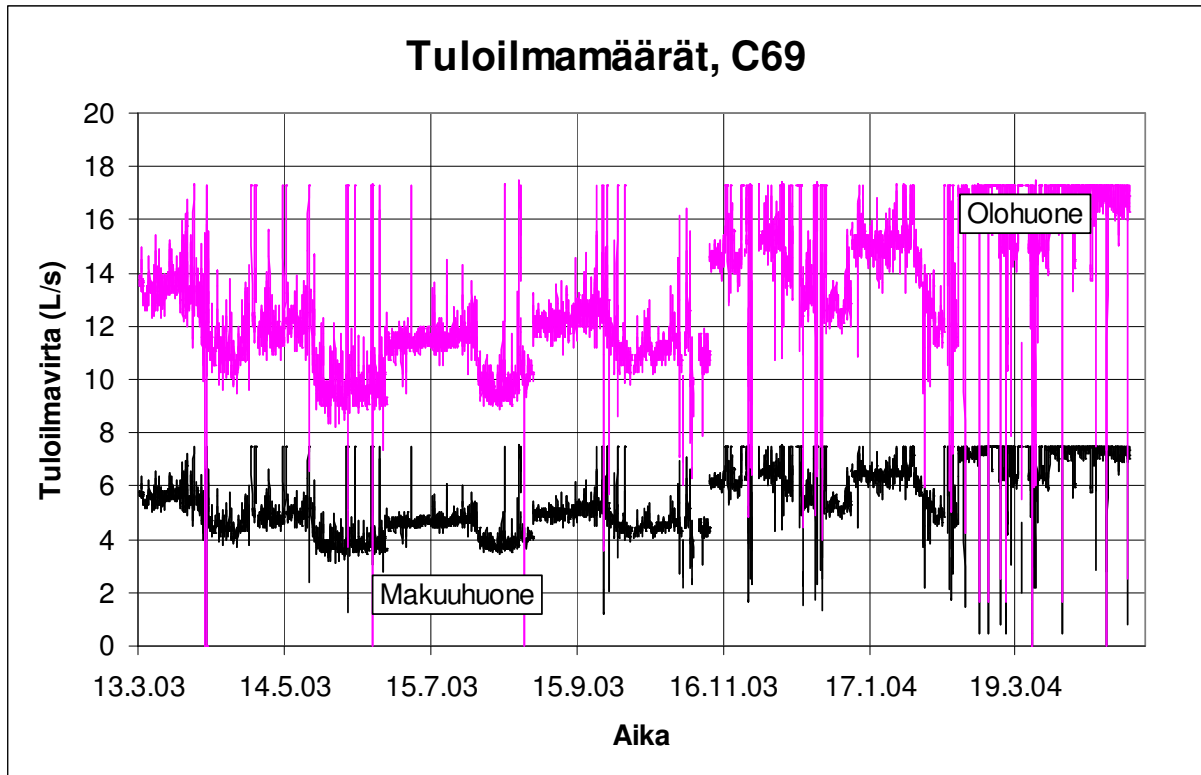
## Tuloilmamäärät eri huoneistoissa (jatkuva mittaus)



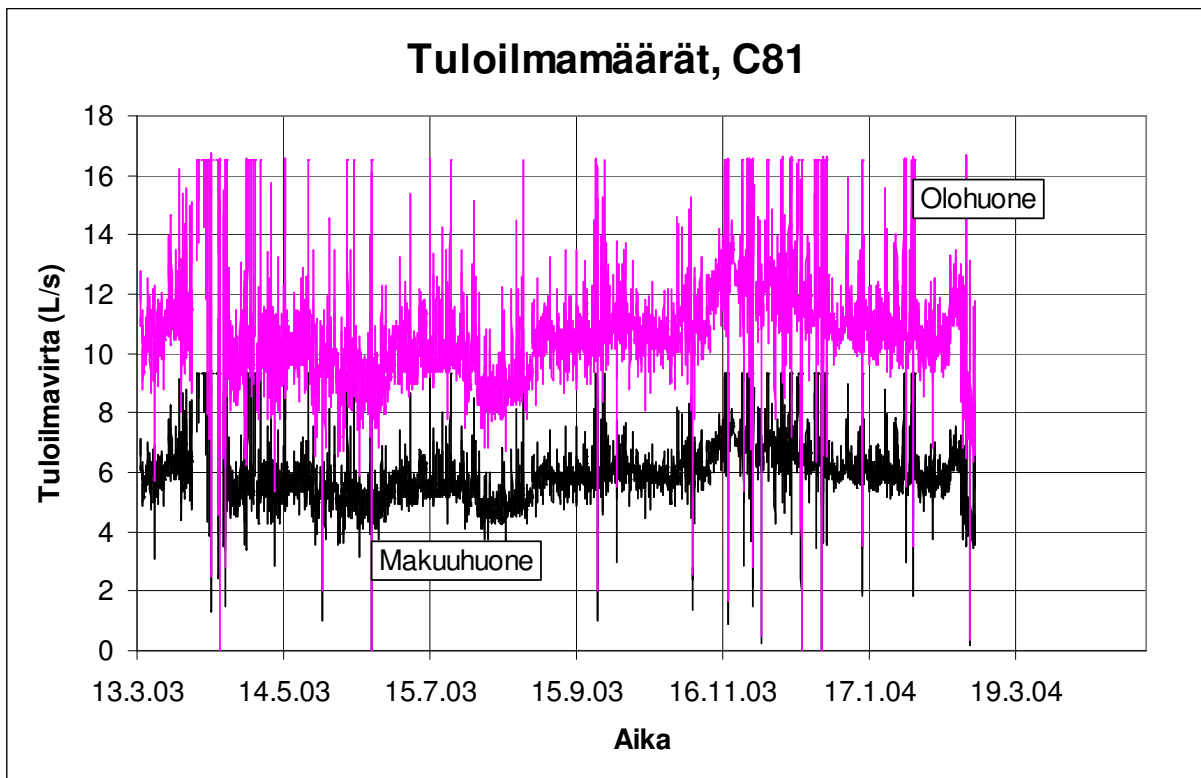
**Kuva 1.** Huoneiston C57 tuloilmamäärät koko mittausajalta. Olohuone sisältää 2 venttiiliä.



**Kuva 2.** Huoneiston C63 tuloilmamäärät koko mittausajalta. Olohuone sisältää 2 venttiiliä.

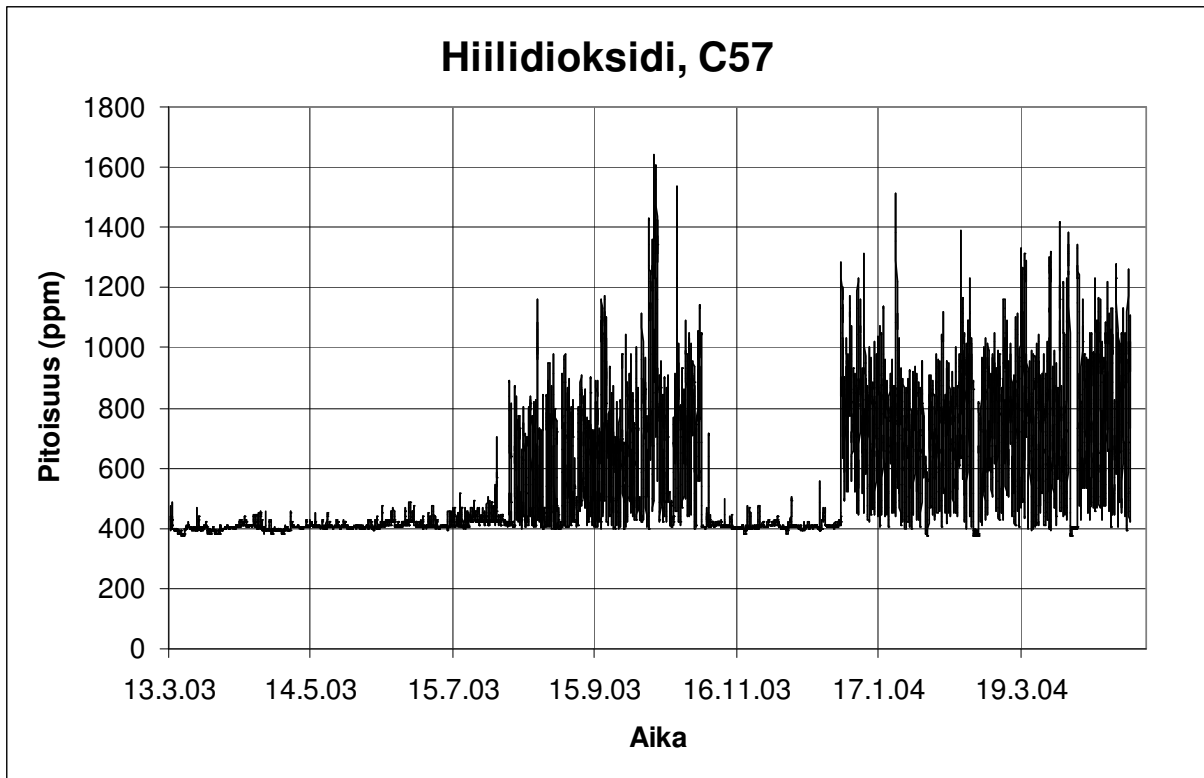


**Kuva 3.** Huoneiston C69 tuloilmamäärät koko mittausajalta. Olohuone sisältää 2 venttiiliä.

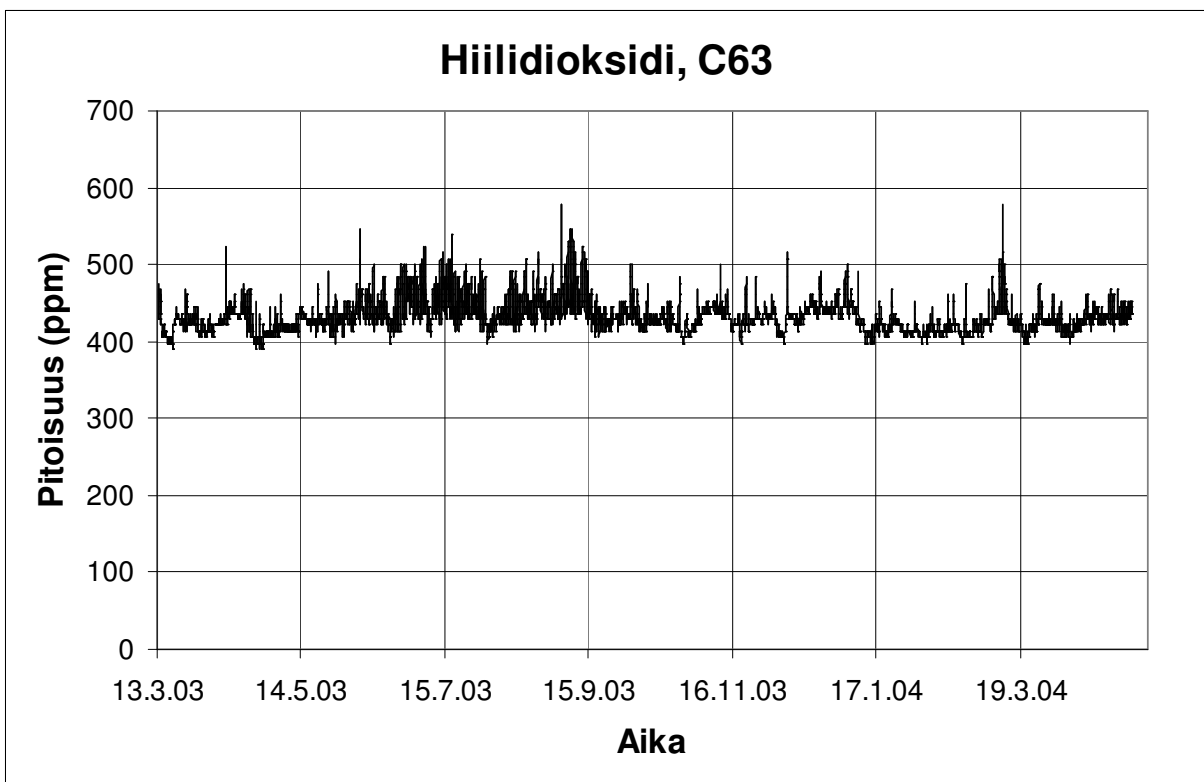


**Kuva 4.** Huoneiston C81 tuloilmamäärät koko mittausajalta. Olohuone sisältää 2 venttiiliä.

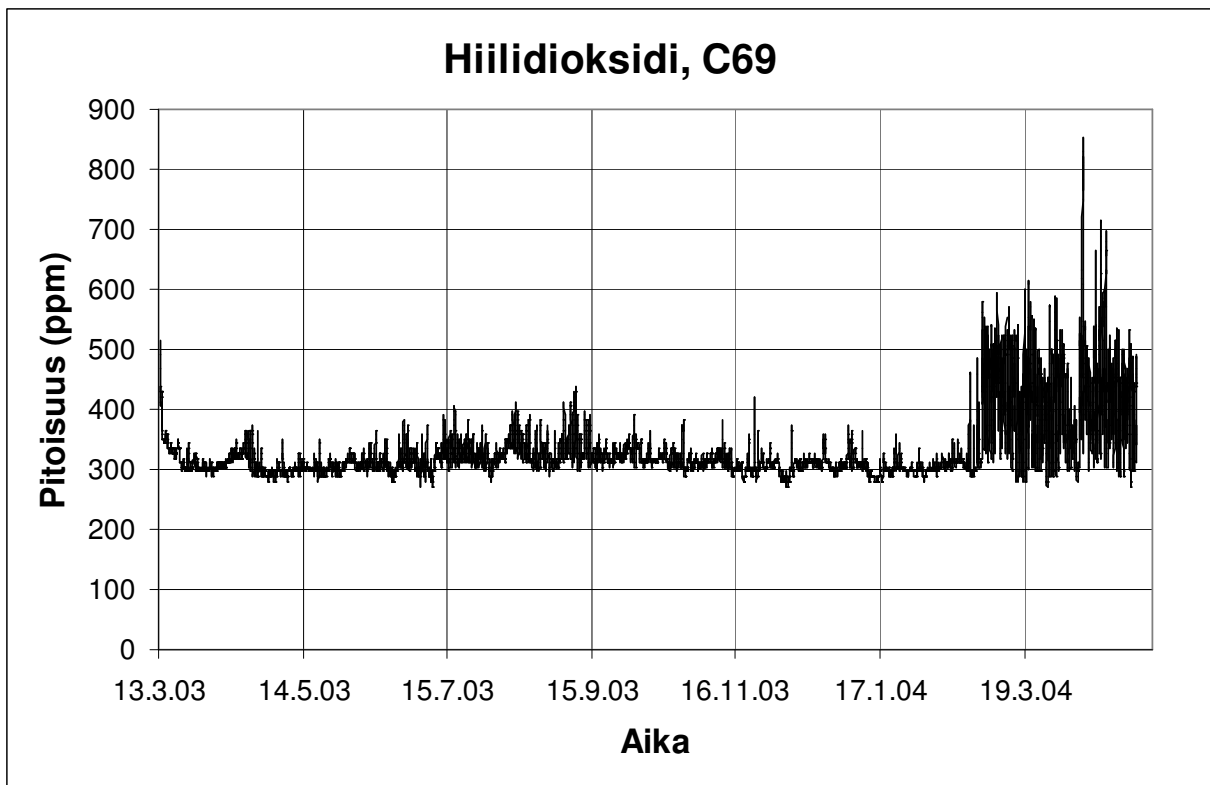
**Hiilidioksidipitoisuudet eri huoneistoissa (jatkuva mittaus)**



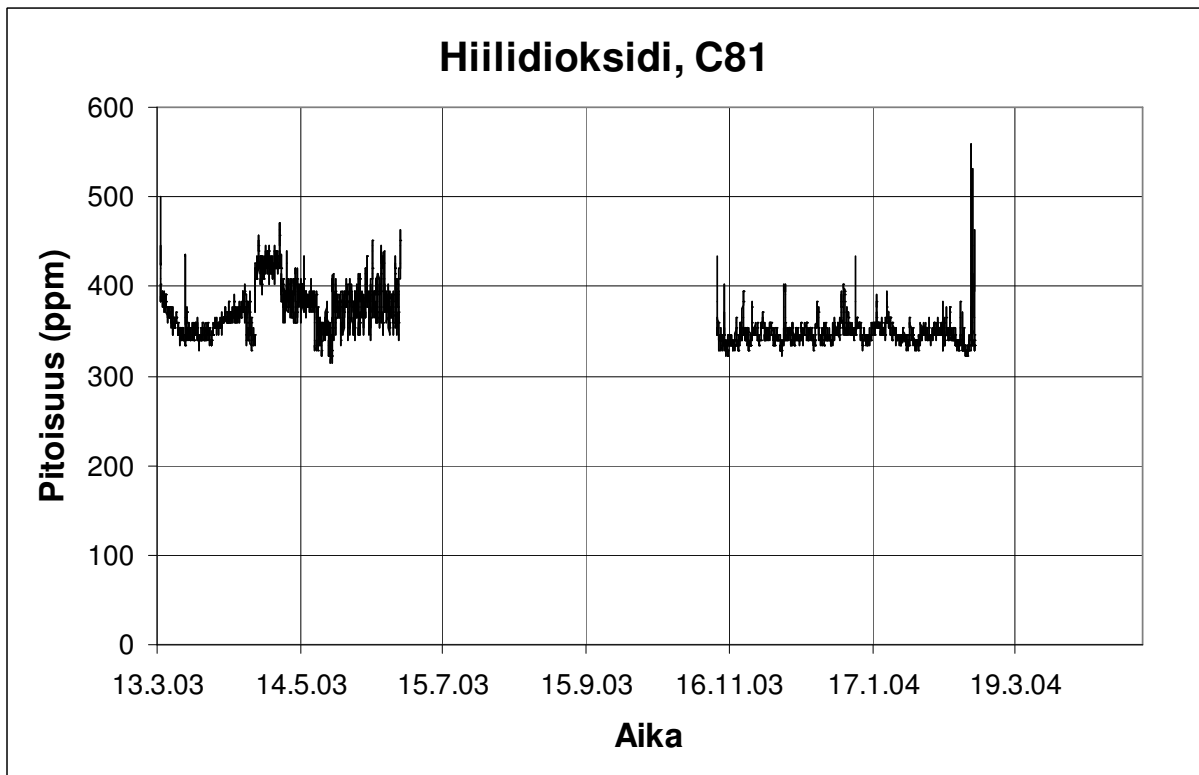
**Kuva 1.** Huoneiston C57 hiilidioksidipitoisuus koko mittausajalta.



**Kuva 2.** Huoneiston C63 hiilidioksidipitoisuus koko mittausajalta.

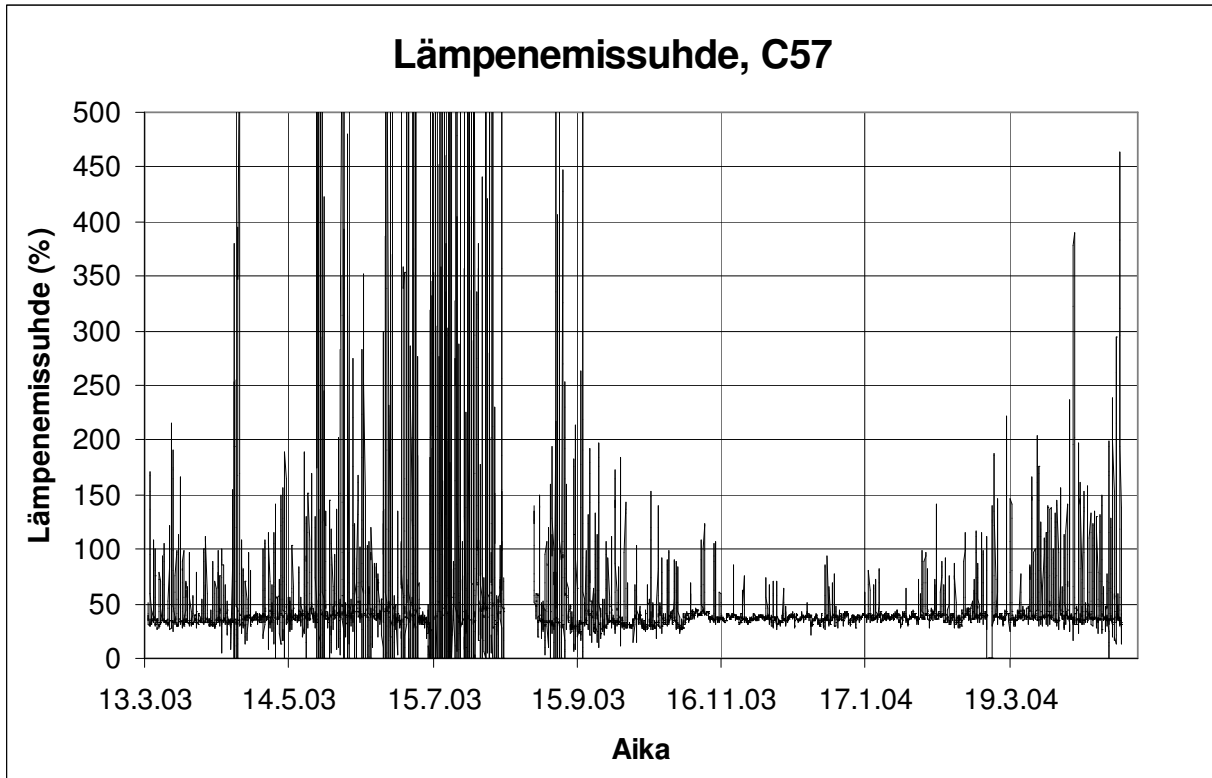


**Kuva 3.** Huoneiston C69 hiilidioksidipitoisuus koko mittausajalta.

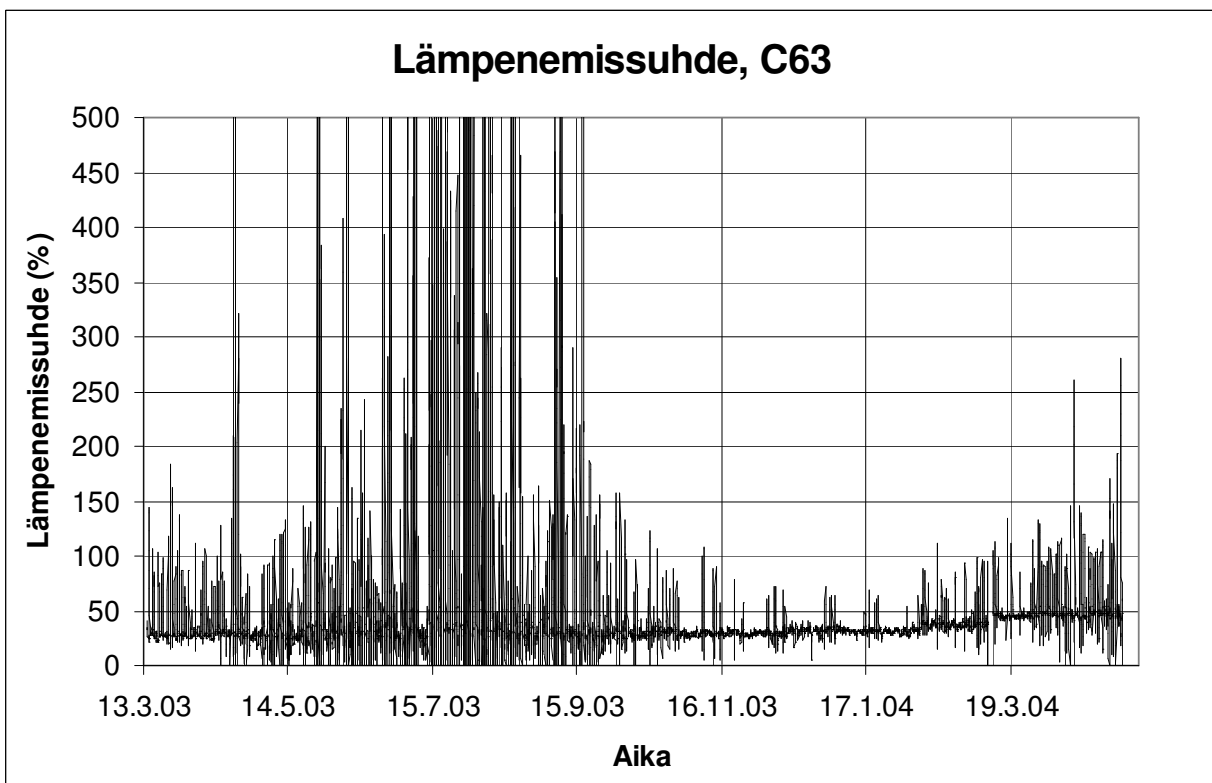


**Kuva 4.** Huoneiston C81 hiilidioksidipitoisuus koko mittausajalta.

## Lämpenemissuhteet eri huoneistoissa (jatkuva mittaus)

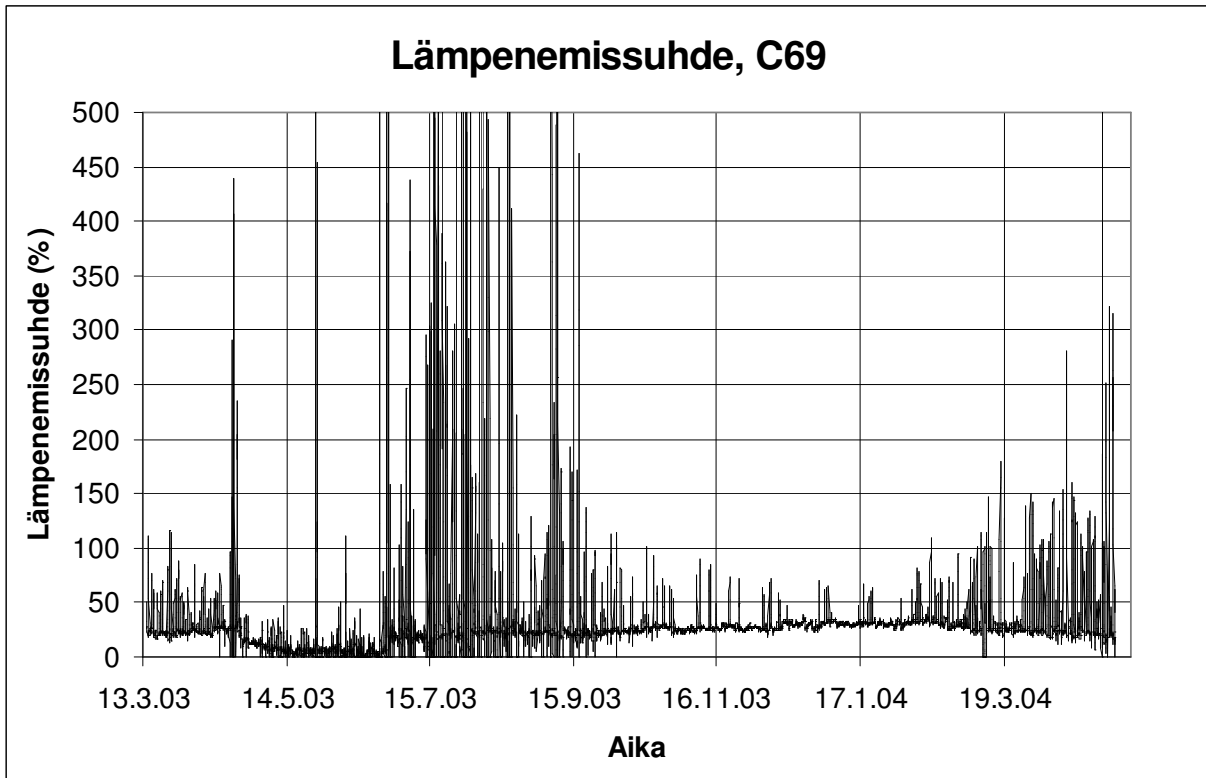


**Kuva 1.** Huoneiston C57 tuloilmaikkunan lämpenemissuhde koko mittausajalta.

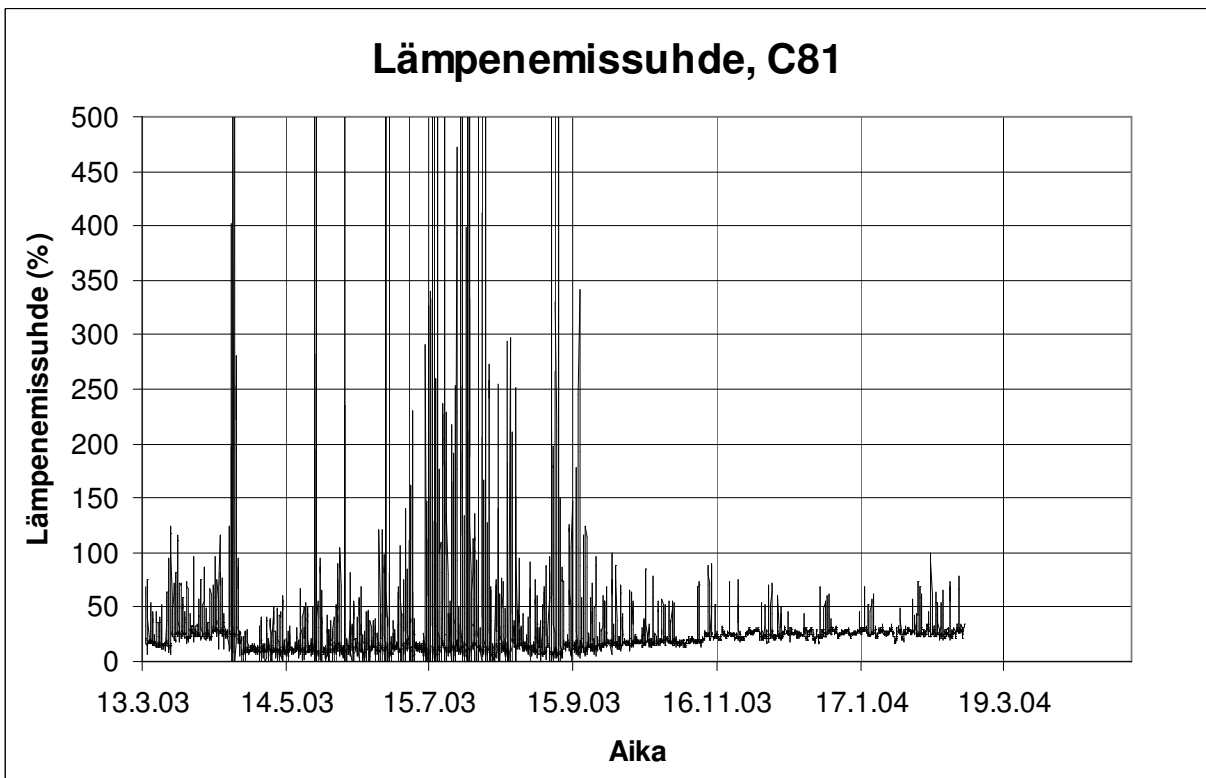


**Kuva 2.** Huoneiston C63 tuloilmaikkunan lämpenemissuhde koko mittausajalta.





**Kuva 3.** Huoneiston C69 tuloilmaikkunan lämpenemissuhde koko mittausajalta.



**Kuva 4.** Huoneiston C81 tuloilmaikkunan lämpenemissuhde koko mittausajalta.