OULUN SEUDUN
AMMATTIKORKEAKOULU

Kemppainen Juho

POLAR ELECTRO OY:N TOIMITILOJEN LÄMPÖOLO-ONGELMIEN SELVITYS

POLAR ELECTRO OY:N TOIMITILOJEN LÄMPÖOLO-ONGELMIEN SELVITYS

Juho Kemppainen
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Juho Kemppainen
Opinnäytetyön nimi: Polar Electro Oy:n toimitilojen lämpöolo-ongelmien selvitys
Työn ohjaaja(t): Pirjo Kimari (OAMK), Janne Nevala (LVI-Sasto Oy)
Kevät 2013 Sivumäärä: 36 + 7 liitettä

Polar Electro Oy toimii vuonna 1991 valmistuneessa rakennuksessa. Tiloissa on jäähdytyksellä varustettu ilmastointijärjestelmä. Ikkunat ovat alumiinipuitteiset lämpölasi-ikkunat.

Opinnäytetyössä mitattiin toimistotilojen lämpöviihtyvyysolosuhteita kesä- ja talviajalta 2012–2013. Työssä selvitettiin ikkunoiden todellinen U-arvo ikkunapuitteineen. Työssä selvitettiin myös lämpöoloja ja tarvittavat toimenpiteet niiden parantamiseksi.

Mittaukset suoritettiin Velocicalc- ja Swema Air -mittareilla. Ikkunoiden U-arvo laskettiin pintalämpömittauksin, huoneilman ja ulkoilman lämpötilaeroista.

Sisäilman todettiin mittauksien perusteella olevan kunnossa kesällä, mutta talvella huoneissa oli liian lämmintä. Työtekijöiden mukaan huoneissa on ollut kylmä. Yksi syy huoneiden tuntumiseen kylmiltä on suuri lämpötilaero huoneen ja ikkunan pinnan välillä, jolloin ikkunoista tapahtuva konvektiovirtaus edesauttaa vedon tunteen syntyä. Lisäksi pattereiden päälliset ovat monessa huoneessa täynnä tavaraa, joka estää patterin mahdollisuuden katkaista ikkunasta tapahtuva konvektiovirtaus.

Parannusehdotuksia tähän on pattereiden päällisten ja termostaattien eduksien tyhjentäminen. Termostaattien etupuolen tyhjentäminen parantaa termostaatin käsitystä huoneilman lämpötilasta. Pattereiden päällisten tyhjentäminen vuorostaan pienentää konvektiovirtauksen pääsyä huonetilaan ja tätä kautta vedon tunteen syntyä.

Asiasanat: sisäilmasto, lämpöolot ja U-arvo,

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ 3
1 JOHDANTO 5
2 SISÄILMASTO 6
2.1 Lämpöviihtyvyys 6
2.2 Ilman laatu 9
2.3 Ikkunan U-arvo 9
3 SISÄILMASTON MITTAUKSET 10
3.1 Mittausjärjestelyt 10
3.2 Mittaustulokset kesällä 11
3.2.1 Lämpöolomittausten tulokset 11
3.2.2 Vetomittausten tulokset 13
3.2.3 Hiilidioksidipitoisuuden mittaustulokset 13
3.3 Mittaustulokset talvella 14
3.3.1 Lämpöolomittausten tulokset 15
3.3.2 Vetomittausten tulokset 16
3.3.3 Hiilidioksidipitoisuuden mittaustulokset 17
4 IKKUNARAKENTEEN U-ARVON SELVITYS 19
4.1 Mittausjärjestely 19
4.2 Mittaustulokset talvella 19
4.3 Ikkunan pintalämpötilojen jakauma 20
4.4 Laskennallinen U-arvo 23
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA PARANNUSEHDOTUKSET 31
6 YHTEENVETO 34
LÄHDELUETTELO 35
LIITTEET
Liite 1 Huoneiden ikkunan pintalämpötilojen mittautulokset

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Polar Electro Oy:n toimitilojen lämpöviihtyvyys kesä- ja talviaikaan ja ikkunoiden U-arvon merkitys lämpöviihtyvyysolosuhteisiin sekä hakea ratkaisua lämpöviihtyvyyden parantamiseksi. Työhön kuului tutustuminen eri määräyksiin ja luokituksiin. Näissä esitetään tavoitearvot toimistojen sisäilmalle ja rakennusten ikkunan U-arvolle sekä määräysten mukainen mittaustapa.

Kohteena on vuonna 1991 rakennettu kolmikerroksinen toimistotalo, johon on tehty laajennuksia. Pinta-alaa rakennuksessa on 8769 m^2 ja tilavuutta 32 876 m^3. Tuotekehitys, suunnittelu ja testaus sijaitsevat kahdessa ensimmäisessä kerroksessa ja kolmannessa kerroksessa on virkistys- ja kokoustilat. Toimistossa on tehty lämpötilamittauksia, joiden perusteella on valittu kaksitoista huonetta. Huoneet sijaitsevat kahdessa ensimmäisessä kerroksessa eri puolilla rakennusta, jolloin saatiin selville lämpöolojen vaikutus eri ilmansuunnissa olevissa huoneissa.

2 SISÄILMASTO

2.1 Lämpöviihtyvyys

Lämpöviihtyvyys on mielentila, joka ilmoittaa ihmisen tyytyväisyyttä lämpöoloihin. Tämä tarkoittaa lämpötilaa, jossa ihminen ei tiedä haluaisiko huoneeseen enemmän vai vähemmän lämpöä. Lämpöviihtyvyyteen vaikuttavia asioita ovat huoneilman kosteus, lämpötila, vedon tunne sekä vaatetus (Seppänen 1996, 3). Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on esitetty ilman lämpötilan ja vedon ohjearvot erityyppisille tiloille. Taulukossa 1 on esitetty toimistotilojen ohjearvot .

TAULUKKO 1 Sisäilmaston ohjearvot toimistohuoneissa (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma)

	Ilmanlämpötila	Veto
Yksikkö	°C	m/s
kesä	<25	<0,3
Talvi	21±1	<0,2

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 esitetään uudisrakentamisen sisäilmaston vähimmäisohjearvot. Parempaa sisäilmaston laatua kuvaavia suositusarvoja on esitetty sisäilmastoluokituksessa. Nämä lämpöviihtyvyyteen vaikuttavien, operatiivisen lämpötilan, ilman liikenopeuden ja suhteellisen kosteuden tavoitearvot on esitetty taulukoissa 2–4. Taulukoissa on käytetty laatuluokituksena luokkia S1, S2 ja S3.

S1 tarkoittaa yksilöllistä sisäilmastoa. Tällöin sisäilman laatu on erittäin hyvä, eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Lämpöolot ovat viihtyisät, eikä vetoa tai ylilämpenemistä esiinny. S2 tarkoittaa hyvää sisäilmastoa. Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä häiritseviä hajuja esiinny. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei esiinny, mutta ylilämpeneminen on mahdollista kesäpäivänä. S3 tarkoittaa tyydyttävää sisäilmastoa. Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot täyttävät

rakentamismääräyskokoelman vähimmäisarvot. (Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2; Sisäilmastoluokitus 2008.)

Taulukossa 2 on ilmoitettu sisäilmastoluokituksen mukaiset tekniset tavoitearvot, joita käytetään sisäilmaston tavoitetason määrittelyssä rakennushankkeen suunnittelussa. Tavoitearvot koskevat huonetilan oleskeluvyöhykettä. (Sisäilmastoluokitus 2008).

Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa, millaisena ihminen kyseisen lämpötilan aistii. Se kuvaa lämpöaistimusta paremmin kuin huonelämpötila. Huoneissa, joissa esiintyy voimakasta lämpösäteilyä tai alhaisia tai korkeita pintalämpötiloja, käytetään suunnitteluperusteena huonelämpötilan sijasta operatiivista lämpötilaa, joka varmistetaan mittauksin. Näin menetellään esimerkiksi tiloissa joissa on poikkeuksellisen suuria ikkunapintoja (SFS 5511.1991.).

TAULUKKO 2. Lämpötilan tavoitearvot (Sisäilmastoluokitus. 2008)

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

* S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä t_{op}±1,5 °C. Jos samassa huoneessa on useita
henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.
Ulkolämpötilalla t_{umax} tarkoitetaan ulkoilman lämpötilan viiden tunnin enimmäisjakson keskiarvoa.

Taulukossa 3 on ilmoitettu ilman liikenopeuden tavoitearvot. Lämpötilalla t_{ilma} tarkoitetaan liikkuvan ilman lämpötilaa tarkastelupisteessä. Ilman nopeudella tarkoitetaan kolmen minuutin keskiarvoja työpisteessä (Sisäilmastoluokitus 2008).

TAULUKKO 3. Ilman liikenopeuden tavoitearvot (Sisäilmastoluokitus. 2008)

	Ilman liikenopeus [m/s]		
	S1	S2	S3
t_{ilma}=21°C	<0,14	<0,17	0,2 (talvi)
t_{ilma}=23°C	<0,16	<0,20	
t_{ilma}=25°C	<0,20	<0,25	0,3 (kesä)

Ilman suhteellisen kosteuden vähimmäisarvoa ei ole annettu Suomen rakentamismääräyskokoelmassa. Ilman suhteellinen kosteus riippuu ulkoilman lämpötilasta, joten kesäaikainen vaihtelu on varsin suurta lyhyelläkin aikavälillä. Talvella ilman suhteellinen kosteus ei saa ylittää 45 %:a, kun ilman lämpötila on 21 °C, jotta ei synny vaaraa mikrobikasvustosta. Tosin joissakin tilanteissa tätäkin suuremmat arvot ovat sallittuja, jos tuotantoprosessi, varastoitava tuote tai jokin muu painava syy tätä edellyttää. Taulukossa 4 on ilmoitettu ilman suhteellisen kosteuden tavoitearvot. (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma.; Sisäilmastoluokitus. 2008.)

TAULUKKO 4. Ilmansuhteellisen kosteuden tavoite arvot (Sisäilmastoluokitus. 2008)

	Ilmansuhteellinen kosteus [%]		
	S1	S2	S3
Talvella	25-45	-	-
Kesällä	-	-	-

2.2 Ilman laatu

Ilman laadulla tarkoitetaan huoneilmassa esiintyvien pienhiukkasten ja epäpuhtauksien määrää. Yleisimpiä epäpuhtauksia ovat vaatteissa ja ilmanvaihtokanavissa olevien äänenvaimentimien materiaaleista irtoava kuitupöly sekä hiilidioksidi ja radon. Taulukossa 5 on esitetty ilmanlaadun tavoitearvot.

TAULUKKO 5. Ilman laadun tavoitearvot (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma.)

Epäpuhtaus	Yksikkö	Suunnitelun ohjearvo
Hiukkaset PM_{10}	µg/m^3	50
Radon	Bg/m^3	200 (vuosikeskiarvo)
Hiilidioksidi	mg/m^3	2160 (enintään huonetilan käyttöaikana)
Hiilidioksidi	ppm	1200 (enintään huonetilan käyttöaikana)

2.3 Ikkunan U-arvo

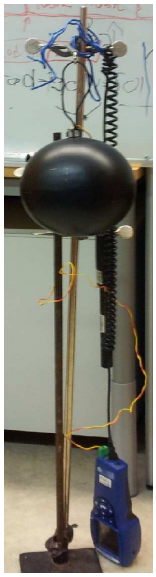
Ikkunan U-arvolla tarkoitetaan ikkunan lämmönläpäisykerrointa. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan ikkunan suurin lämmönläpäisykerroin saa olla enintään 1 W/(m^2K). Tavanomaisesti uudisrakentamisessa käytetään ikkunoita, joiden U-arvo on Suomen rakentamismääräyskokoelmassa esitetty vertailuarvo 1 W/(m^2K). Tätäkin parempia arvoja saa käyttää (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma).

3 SISÄILMASTON MITTAUKSET

Mittaukset toteutettiin standardin SFS 5511 ohjeistuksen mukaan oleskeluvyöhykkeeltä. Mittauksia tehtiin kahdessatoista huoneessa, ja niiden kesto oli kuudesta seitsemään tuntia. Yhden mittausjakson kesto oli kuusikymmentä minuuttia ja näitä suoritettiin päivässä kuusi kappaletta. Mittauksia valvottiin koko mittausten ajan ja mahdollisesti epäonnistuneet mittausjaksot uusittiin saman päivän aikana.

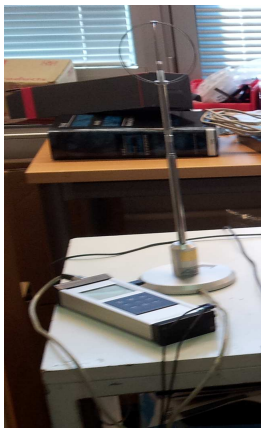
3.1 Mittausjärjestelyt

Lämpötila- ja hiilidioksidimittaukset suoritettiin käyttäen Velocicalc Plus 9565 -mittaria, johon voidaan kytkeä CO2-anturi Probe ja pallolämpömittari (kuva 1).



KUVA 1. Velocicalc Plus 9565 -mittari, johon kytkettynä CO2-anturi Probe ja palloläpömittari

Veto mitattiin Swema Air 300 -mittarilla, johon voidaan kytkeä Swa01 -kuumalanka-anemometri (kuva 2).



KUVA 2. Swema Air 300, johon kytkettynä Swa01 kuumalanka-anemometri.

3.2 Mittaustulokset kesällä

Osa mittauksista suoritettiin kesällä, jotta saataisiin selville kesäaikaisten helteiden vaikutus sisäilmastoon. Huoneen 251 kohdalla pyydettiin tekemään tarkempaa tutkimusta, koska siellä oli alustavien mittauksien perusteella suurimmat lämpötilavaihtelut. Alustavien mittauksien perusteella epäiltiin, että huoneen 251 tuloilmakanavassa tapahtuisi lämpenemistä. Se selittäisi huoneen suuria lämpötilaeroja. Tarkemmissa mittauksissa tehtiin tästä syystä tuloilmakanavan tuloilman lämpötilamittauksia, joissa selvitettiin mahdollinen lämpeneminen ilmanvaihtokoneelta lähtevän ilman ja huoneeseen saapuvan ilman välillä.

3.2.1 Lämpöolomittausten tulokset

Huoneilman lämpötilojen, operatiivisten lämpötilojen ja ilman suhteellisen kosteuden mittaustulokset on esitetty taulukossa 6. Etelään suuntautuvien huoneiden operatiivisten lämpötilojen keskiarvo oli 24,6 °C, pohjoiseen suuntautuvien huoneiden operatiivisten lämpötilojen keskiarvo oli 23,7 °C ja

itään suuntautuvien huoneiden operatiivisten lämpötilojen keskiarvo oli 23,7 °C. Huoneiden ilman suhteellisten kosteuksien keskiarvo oli etelään suuntautuvissa huoneissa 42,5 %, pohjoiseen suuntautuvissa huoneissa 42,6 % ja itään suuntautuvissa huoneissa 45,1 %. Lämpötilojen keskiarvo etelään suuntautuvissa huoneissa oli 23,4 °C, pohjoiseen suuntautuvissa 23,0 °C ja itään suuntautuvissa 23,4 °C. Huoneen sijaitessa rakennuksen kulmassa sille on merkitty useampi ilmansuunta. Keskiarvoa laskettaessa kyseiset huoneet on laskettu kummankin ilmansuunnan keskiarvoihin.

TAULUKKO 6. Huoneilman lämpötila- ja kosteusmittausten tulokset

	Ilman suunta	Lämpötila	Ilmankosteus	Operatiivinen lt	Ulkolämpötila
Huone		°C	%	°C	°C
143	Sisä	23,2	48,1	24,1	20,0
165	Itä	23,7	54,3	24,7	24,0
166	Etelä	24,3	45,9	25,5	26,2
167	Etelä	24,8	51,3	25,6	22,0
174	Etelä	24	45,9	25,1	25,5
221b	Pojonen	22,7	43,5	23,4	18,0
233b	Etelä	23,7	42,2	24,4	17,9
245	Etelä-Itä	23,3	36,3	24,1	17,6
247	Etelä	23,1	45,4	23,7	15,5
251	Etelä	22,7	30,2	23,8	20,7
289	Pohjonen-Itä	23,3	44,6	23,9	14,8
290	Pohjonen-Länsi	23	39,6	23,8	15,7

Taulukossa esitetyt lämpötila, ilmankosteus, operatiivinen lämpötila ja ulkoilman lämpötila ovat mittausjakson keskiarvoja.

Toimistorakennuksessa kesäaikainen lämpötila pitäisi pysyä alle 25 °C:ssa. Tämä saadaan ylittää korkeintaan 5 °C:lla ulkoilman lämpötilan ollessa viiden tunnin ajan keskiarvoltaan yli 20 °C.

Vertailtaessa taulukon 6 lämpötiloja D2:ssa mainittuun 25 °C:n ylärajaan huomataan kaikkien mitattujen huoneiden lämpötilojen pysyvän alle enimmäisarvon.

3.2.2 Vetomittausten tulokset

Vetomittausten tulokset on esitetty taulukossa 7. Eri huonetiloissa mitattujen ilman nopeuksien keskiarvojen keskiarvo oli 0,07 m/s, enimmäisnopeuksien keskiarvo 0,11 m/s ja vähimmäisnopeuksien keskiarvo 0,03 m/s.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on toimistotilojen ja neuvotteluhuoneiden ilman nopeudeksi kesällä ilmoitettu 0,30 m/s. Mittausarvojen vertailu D2:ssa ilmoitettuihin tavoitearvoihin osoittaa ilman liikenopeuden pysyvän tavoitearvoissa.

TAULUKKO 7. Vetomittausten tulokset

	Ilman suunta	Keskiarvo	Max	Min	Henk. Huon.
Huone					kpl
143	Sisä	0,05	0,10	0,00	3
165	Itä	0,10	0,10	0,00	1
166	Etelä	0,00	0,10	0,00	3
167	Etelä	0,10	0,20	0,10	2
174	Etelä	0,10	0,10	0,00	1
221b	Pojonen	0,10	0,15	0,10	1
233b	Etelä	0,10	0,10	0,00	1
245	Etelä-Itä	0,00	0,10	0,00	3
247	Etelä	0,00	0,05	0,00	2
251	Etelä	0,10	0,10	0,00	1
289	Pohjonen-Itä	0,10	0,10	0,00	3
290	Pohjonen-Länsi	0,10	0,15	0,10	4
	Keskiarvo	0,07	0,11	0,03	

3.2.3 Hiilidioksidipitoisuuden mittaustulokset

Hiilidioksidipitoisuusmittauksien tulokset on esitetty taulukossa 8. Tiloissa, joissa mittaushetkellä oli 1 henkilö, hiilidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli 527,5 ppm. Tiloissa, joissa mittaushetkellä oli 2 henkilöä, hiilidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli 489,9 ppm. Tiloissa, joissa mittaushetkellä oli 3 henkilöä, hiilidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli 581,4 ppm. Tiloissa, joissa mittaushetkellä oli 4 henkilöä, hiilidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli 589,4 ppm.

Vertailtaessa taulukossa 8 esitettyjä hiilidioksidipitoisuuden mittaustuloksia tavoitearvoihin, jotka on ilmoitettu taulukossa 5, saadaan selville huoneissa esiintyvän hiilidioksidin määrän pysyvän sille sallittujen ohjearvojen alueella.

TAULUKKO 8. Hiilidioksidipitoisuusmittauksien tulokset

	CO2	Henk. kuorma
Huone	ppm	kpl
143	600	3
165	633	1
166	689	3
167	476	2
174	504	1
221b	524	1
233b	455	1
245	485	3
247	504	2
251	522	1
289	551	3
290	589	4

3.3 Mittaustulokset talvella

Talvella toteutettuissa mittauksissa selvitettiin ikkunan U-arvo, koska erot sisä- ja ulkoilman lämpötilojen välillä olivat riittävät. Lisäksi tutkittiin lämmityskauden lämpöoloja, jotta saataisiin selville huoneiden lämpöviihtyvyysolosuhteet. Huoneen 251 kohdalla pyydettiin tekemään tarkempaa tutkimusta, koska siellä lämpötilat vaihtelivat alustavien lämpötila mittauksien perusteella eniten. Lisäksi tehtiin sisäilmamittauksia yön yli talvella. Huoneen 251 kohdalla tuloilmakanavassa ei havaittu näissä tutkimuksissa tapahtuvan lämpenemistä tai jäähtymistä. Lämpötilaerojen vaihtelu johtuikin vain huoneen oven kiinni pitämisestä muita huoneita enemmän.

3.3.1 Lämpöolomittausten tulokset

Huoneilman lämpötilojen, operatiivisten lämpötilojen ja ilman suhteellisen kosteuden mittaustulokset on esitetty taulukossa 9. Etelään suuntautuvien huoneiden operatiivisten lämpötilojen keskiarvo oli 22,9 °C, pohjoiseen suuntautuvien huoneiden operatiivisten lämpötilojen keskiarvo oli 22,0 °C ja itään suuntautuvien huoneiden operatiivisten lämpötilojen keskiarvo oli 23,4 °C. Huoneiden ilman suhteellisten kosteuksien keskiarvo oli etelään suuntautuvissa huoneissa 9,8 %, pohjoiseen suuntautuvissa huoneissa 9,8 % ja itään suuntautuvissa huoneissa 7,8 %. Huoneiden lämpötilojen keskiarvo etelään suuntautuvissa oli 22,4 °C, pohjoiseen suuntautuvissa 21,5 °C ja itään suuntautuvissa 22,9 °C. Huoneen sijaitessa rakennuksen kulmassa sille on merkitty useampi ilmansuunta. Keskiarvoa laskettaessa kyseiset huoneet on laskettu kummankin ilmansuunnan keskiarvoihin.

TAULUKKO 9. Huoneilman lämpötila- ja kosteusmittausten tulokset

	Ilman suunta	Lämpötila	Ilmankosteus	Operatiivinen lt	Ulkolämpötila
Huone		°C	%	°C	°C
143	Sisä	22,8	12,1	23,3	-7,4
165	Itä	23,3	9,0	23,8	-12,0
166	Etelä	22,7	13,2	23,2	-7,4
167	Etelä	20,7	8,6	21,8	-13,8
174	Etelä	23,1	7,7	23,4	-16,6
221b	Pojonen	20,4	15,5	20,9	-8,0
233b	Etelä	21,5	11,1	22,3	-9,8
245	Etelä-Itä	23,1	7,0	23,4	-20,2
247	Etelä	22,1	16,3	22,6	-6,5
251	Etelä	23,6	4,6	23,6	-20,6
289	Pohjonen-Itä	22,3	7,5	22,9	-20,1
290	Pohjonen-Länsi	21,7	6,3	22,1	-20,4

Rakennuksen käyttöaikana ei oleskeluvyöhykkeen lämpötila yleensä saa olla korkeampi kuin 21 °C.

Vertailtaessa taulukon 9 lämpötiloja D2:ssa mainittuun 21 °C yläräjaan, joka saa poiketa korkeintaan ±1 °C, huomataan kahden mitatun huoneen pysyvän sallitulla tasolla. Otettaessa huomioon mittalaitteen virhe ±0,6 °C saadaan huoneiden määrä kolmeen ja neljäs jää siihen rajalle.

3.3.2 Vetomittausten tulokset

Vetomittausten tulokset on esitetty taulukossa 10. Eri huonetiloissa mitattujen ilman nopeuksien keskiarvojen keskiarvo oli 0,04 m/s, enimmäisnopeuksien keskiarvo 0,09 m/s ja vähimmäisnopeuksien keskiarvo 0,02 m/s.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on toimistotilojen ja neuvotteluhuoneiden osalta ilman nopeudeksi talvella ilmoitettu 0,20 m/s. Mittausarvojen vertailu D2:ssa ilmoitettuihin tavoitearvoihin osoittaa ilman liikenopeuden pysyvän tavoitearvoissa.

TAULUKKO 10. Vetomittausten tulokset

	Ilman suunta	Keskiarvo	Max	Min	Henk. Huon.
Huone		m/s	m/s	m/s	
143	Sisä	0,00	0,05	0,00	0
165	Itä	0,00	0,05	0,00	1
166	Etelä	0,00	0,05	0,00	3
167	Etelä	0,10	0,10	0,05	3
174	Etelä	0,10	0,10	0,05	1
221b	Pojonen	0,10	0,15	0,10	1
233b	Etelä	0,00	0,10	0,00	1
245	Etelä-Itä	0,05	0,10	0,00	4
247	Etelä	0,00	0,10	0,00	2
251	Etelä	0,05	0,10	0,00	1
289	Pohjonen-Itä	0,00	0,10	0,00	4
290	Pohjonen-Läns	0,04	0,10	0,00	4
	Keskiarvo	0,04	0,09	0,02	

3.3.3 Hiilidioksidipitoisuuden mittaustulokset

Hiilidioksidipitoisuusmittauksien tulokset on esitetty taulukossa 11. Tiloissa, joissa mittaushetkellä oli 1 henkilö, hiilidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli 496,9 ppm. Tiloissa, joissa mittaushetkellä oli 2 henkilöä, hiilidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli 669,8 ppm. Tiloissa, joissa mittaushetkellä oli 3 henkilöä, hiilidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli 574,9 ppm. Tiloissa, joissa mittaushetkellä oli 4 henkilöä, hiilidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli 622,07 ppm.

Vertailtaessa taulukossa 11 esitettyjä hiilidioksidipitoisuuden mittaustuloksia tavoitearvoihin, jotka on ilmoitettu taulukossa 5, saadaan selville huoneissa esiintyvän hiilidioksidin määrän pysyvän sille sallittujen ohjearvojen alueella.

TAULUKKO 11. Hiilidioksidipitoisuusmittauksien tulokset

	CO2	Henk. Huon.
Huone	ppm	
143	492,2	0
165	519,3	1
166	672,6	3
167	477,2	3
174	482,0	1
221b	517,5	1
233b	518,8	1
245	627,8	4
247	669,8	2
251	447,0	1
289	697,3	4
290	541,1	4

4 IKKUNARAKENTEEN U-ARVON SELVITYS

Ikkunan U-arvo selvitettiin käyttämällä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 kaavoja. C4:n kaavoilla saatiin selville ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin. Lopputuloksen varmistamiseksi laskettiin ikkunan lämmönläpäisykerroin myös ilman pintavastuksia. Näin pystyttiin laskemaan ikkunan läpi käyvä lämpövirta ikkunan keskimääräisen lämmönläpäisykertoimen avulla sekä lämpövirta pintalämpötilojen avulla.

4.1 Mittausjärjestely

Ikkunan pintalämpötilat mitattiin käyttäen KM28 Comark -mittalaitetta, johon voidaan kytkeä mittausanturi Foodcheck Thermometer. Mittaukset toteutettiin standardin SFS 5511 ohjeistuksen mukaan valitsemalla ikkunan lasista ja karmeista yhdeksän mittauspistettä molemmilta puolilta. Mittauspisteissä lämpötilat mitattiin kolmeen kertaan kunkin mittauskerran aikana ja näistä laskettiin keskiarvot. Mittauskertoja oli kolme päivän aikana. Ikkunan pintalämpötiloja mitattiin yhdeksästä huoneesta. Ulkoilmalämpötila ja huoneiden sisälämpötilat mitattiin pintalämpömittausten yhteydessä.

4.2 Mittaustulokset talvella

Mittaustulokset talvella on esitetty taulukossa 12. Kahdessa huoneessa mittauksien suorittaminen kolmeen kertaan ei onnistunut. Syynä tähän oli henkilönostimen toimintahäiriö tai huoneessa oleva aineisto, jonka vuoksi huoneen oven piti olla koko ajan lukossa, jos paikalla ei ollut ketään. Näin ollen kaikkia mittauskertoja ei voitu tehdä, koska ikkunan pintalämpötilojen mittausten jälkeen huoneeseen ei olisi ollut enää mahdollista päästä.

TAULUKKO 12. Huoneistokohtaiset ikkunan pintalämpötilat sekä ulko- ja sisälämpötilat mittaushetkellä

	Ikkunan karmin lämpötilan keskiarvo						Keskiarvot karmi		Ikkunan lasin lämpötilan keskiarvo					
	Sisä			Ulko			Sisä	Ulko	Sisä			Ulko		
Huone	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
165	15,8	16,7	16,6	-2,5	-2,4	-2,1	16,4	-2,3	14,4	15,6	15,7	-3,1	-2,2	-2,3
166	11,8	12,8	14,6	-2,7	-1,5	0,2	13,1	-1,3	12,9	14,4	15,4	-1,8	-0,3	0,6
167	8,0	8,6	11,1	-8,8	-8,8	-2,0	9,2	-6,5	10,5	11,8	14,8	-7,9	-8,6	-1,2
174	9,8	11,2	13,3	-6,4	-5,1	-4,5	11,5	-5,3	12,4	14,1	17,0	-6,5	-5,2	-4,0
245	10,0	8,4	9,5	-13,5	-13,5	-13,1	9,3	-13,3	15,1	14,1	15,6	-10,8	-10,3	-7,8
247	12,9	13,0	13,1	-0,8	0,1	-0,2	13,0	-0,3	15,7	16,3	16,4	0,0	0,9	0,9
251	9,7	7,2		-9,4	-13,8		8,4	-11,6	18,5	13,1		-7,1	-11,5	
289	8,4	7,3		-14,3	-14,6		7,8	-14,4	12,1	10,7		-11,7	-11,5	
290	6,4	6,3	6,4	-12,7	-12,6	-12,1	6,3	-12,5	11,0	10,8	11,1	-9,8	-10,3	-10,2

	Keskiarvot lasi		Sisälämpötila mittaushetkellä			Ulkolämpötila mittaushetkellä			Keskiarvo lämpötilat		Ikkunan pintalämpötilojen ja huoneilmanlämpötilojen erotus keskiarvoista
	sisä	ulko							ulko	sisä	
Huone	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
165	15,3	-2,5	22,9	23,4	23,4	-12,0	-12,3	-11,8	-12,0	23,2	7,4
166	14,3	-0,5	21,8	22,7	23,1	-9,5	-6,0	-6,8	-7,4	22,5	8,9
167	12,4	-5,9	21,2	20,3	20,3	-15,0	-15,8	-10,5	-13,8	20,6	9,8
174	14,5	-5,2	22,1	23,4	23,5	-15,5	-17,2	-17,1	-16,6	23,0	10,0
245	14,9	-9,6	22,7	23,1	23,3	-20,8	-21,3	-18,6	-20,2	23,0	10,9
247	16,1	0,6	21,3	22,1	22,7	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	22,0	7,5
251	15,8	-9,3	23,9	23,9		-19,6	-21,6		-20,6	23,9	11,8
289	11,4	-11,6	22,4	22,6		-20,9	-20,5		-20,7	22,5	12,9
290	10,9	-10,1	21,8	22,1	21,5	-20,4	-20,3	-20,4	-20,4	21,8	13,2

Ikkunoiden pintalämpötilat olivat 7,4–3,2 °C alhaisempia kuin huonelämpötila. Tästä syystä on todennäköistä, että ikkunoiden pinnat aiheuttavat vetoa.

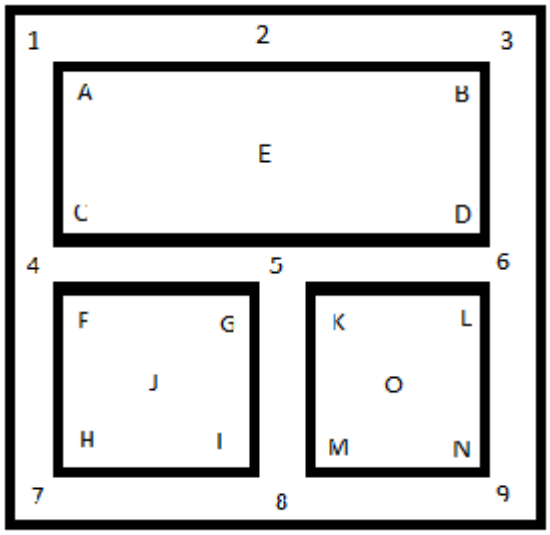
4.3 Ikkunan pintalämpötilojen jakauma

Ikkunan pintalämpötilojen jakauman tarkastelua varten on otettiin huoneiden 245 ja 251 mittaustulokset tarkempaan tutkimukseen. Mittauspisteissä 1, 3, 4, 6, 7 ja 9 lämpötila oli keskimääräistä alhaisempi kuin pisteissä 2, 5 ja 8. Myös muiden huoneiden mittaustuloksia tarkasteltaessa huomattiin sama asia. Ikkunat on kiinnitetty kulmista ja keskeltä. Tämä aiheuttaa kylmäsiltoja, joiden vuoksi kiinnityspisteissä lämpötila on muuta karmin osaa alempi. Huoneen 245

ikkunan pintalämpötilat eri mittauspisteissä on esitetty taulukossa 13 ja huoneen 251 taulukossa 14. Muiden huoneiden mittaustulokset ovat nähtävissä liitteessä 1.

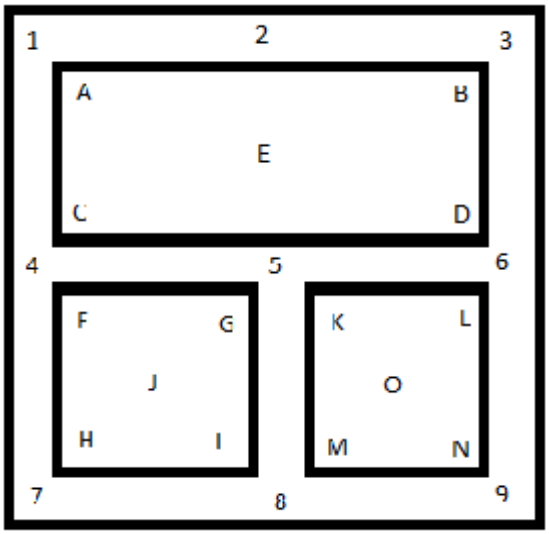
TAULUKKO 13 Huoneen 245 ikkunan pintalämpötilat eri pisteissä

Huone 245						
	Sisältä			Ulkoa		
Mittauskohta	1.kerta	2.kerta	3.kerta	1.kerta	2.kerta	3.kerta
1	17,9	7,1	7,9	-14,4	-11,9	-9,0
2	13,5	12,9	14,9	-13,4	-12,4	-8,7
3	8,6	7,7	8,5	-15,0	-15,4	-12,3
4	4,8	5,0	4,8	-13,7	-11,8	-9,2
5	17,8	16,9	19,0	-9,2	-10,1	-8,6
6	9,4	8,7	9,6	-15,0	-15,8	-13,1
7	-2,1	-2,6	-2,1	-15,6	-15,4	-12,2
8	12,4	11,7	13,3	-14,4	-13,8	-12,1
9	-3,2	-2,9	-2,8	-17,2	-18,9	-14,7
A	15,2	13,6	15,1	-10,4	-7,4	-4,9
B	15,2	14,1	15,8	-10,0	-10,9	-7,2
C	12,4	11,6	11,9	-12,5	-9,9	-7,4
D	12,4	12,8	12,9	-12,1	-12,5	-10,2
E	16,6	16,1	18,0	-10,1	-9,0	-6,2
F	17,4	15,5	17,3	-10,0	-9,2	-6,0
G	16,6	15,9	18,0	-10,3	-9,5	-7,3
H	15,1	14,5	15,4	-12,5	-11,8	-9,2
I	14,9	14,3	15,0	-12,3	-11,7	-10,2
J	17,1	15,0	17,4	-10,6	-9,8	-7,0
K	15,7	15,4	17,0	-9,2	-10,1	-7,2
L	15,1	14,0	15,8	-9,2	-10,1	-7,8
M	13,1	12,6	13,2	-11,5	-11,1	-9,0
N	13,0	12,1	13,2	-11,1	-11,6	-9,7
O	16,0	14,5	17,4	-9,6	-10,5	-8,0



TAULUKKO 14 Huoneen 251 ikkunan pintalämpötilat eri pisteissä

Huone 251						
	Sisältä			Ulkoa		
Mittauskohta	1.kerta	2.kerta	3.kerta	1.kerta	2.kerta	3.kerta
1	12,8	10,0		-11,0	-13,6	
2	15,7	13,0		-8,4	-13,0	
3	8,9	6,0		-7,6	-14,1	
4	9,6	6,8		-10,2	-12,5	
5	18,2	15,8		-7,9	-11,4	
6	5,3	3,3		-7,7	-13,1	
7	2,4	-0,2		-12,0	-16,0	
8	14,0	11,9		-10,1	-14,5	
9	0,0	-2,2		-9,3	-16,0	
A	19,6	13,9		-6,7	-11,8	
B	20,1	13,7		-6,5	-10,5	
C	17,8	12,1		-8,9	-12,2	
D	17,1	11,4		-8,4	-12,6	
E	21,0	14,4		-6,0	-10,4	
F	19,4	11,4		-6,7	-10,2	
G	19,7	14,7		-8,3	-10,5	
H	17,8	9,8		-9,8	-12,2	
I	17,3	13,1		-9,4	-12,5	
J	19,0	14,6		-7,6	-10,9	
K	20,3	15,0		-5,0	-10,4	
L	18,3	13,9		-5,6	-11,7	
M	17,1	13,6		-5,8	-12,1	
N	13,9	11,2		-7,2	-13,2	
O	19,0	14,3		-4,4	-11,5	



4.4 Laskennallinen U-arvo

Ikkunan U-arvoa selvitettiin laskemalla ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 kaavalla 1 (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, kaava 8). Koska karmin rakennetta ei täysin tiedetty, U_w-arvot laskettiin kolmella eri karmirakenteella. U_w-arvon laskemiseksi tarvittavat lähtöarvot on esitetty taulukossa 15. Ikkunoiden lasi- ja karmipinta-alat on esitetty huonekohtaisesti taulukossa 17.

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \Psi_g}{A_g + A_f}$$ *KAAVA 1.*

U_w= Ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin (W/m^2*K)

A_g= Valoaukon pinta-ala, (m^2)

U_g= Valoaukon lämmönläpäisykerroin (W/(m^2*K))

A_f = Karmin- ja puiteosan projektiopinta-ala ikkunan lasituksen tasossa (m^2)

U_f = Karmi- ja puiteosan lämmönläpäisykerroin (W/(m^2*K))

l_g= Valoaukon reunaan muodostuvan viivamaisen kylmäsillan pituus (m)

Ψ_g= Valoaukon reunan viivamainen lisäkonduktanssi (W/(m*K))

Osa kaavassa 1 esitetyistä arvoista on laskettu kaavojen 2 ja 3 avulla (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, kaavat 6 ja 7).

$$U_f = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \frac{\beta * d}{\lambda_n}}$$ *KAAVA 2*

U_f = Ikkunan kehän lämmönläpäisy kerroin ((m^2*k)/W)

R_{si}+R_{se} = Sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa (0,13+0,04)((m^2*k)/W)

β =Todellisuudessa moniulotteisen lämpövirtauksen huomioon ottava korjauskerroin 0,7

d = Karmin- ja puiteosan keskimääräinen paksuus 0,175 m

λ_n = Karmi- ja puiteaineen lämmönjohtavuus (W/(m*K))

$$U_g = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_j R_{sj}}$$

KAAVA 3

U_g= Valoaukon lämmönläpäisykerroin (W/(m^2*K))

R_{si}+R_{se}= Sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa 0,13+0,04 (m^2*k)/W).

$\sum_j \frac{d_j}{\lambda_j}$ = Lasi ainekerroksien yhteenlaskettu lämmönjohtavuus (W/(m*K)).

d_j= Lasin paksuus 0,015 m

λ_j= Lasin lämmönjohtavuus 1 W/(m*K)

$\sum_j R_{sj}$ = Lasivälien yhteenlaskettu lämmönvastus 0,28 ((m^2*K)/W)

TAULUKKO 15. Ikkunoiden U_w-arvon laskemisessa käytetyt lähtöarvot

				Huone
Ikkunan reunan lisäkonduktanssi	0,06	W/(m*K)	Ψ_g	
Ikkunan reunan kylmäsillan pituus	18,66	m	l_g	165
Ikkunan reunan kylmäsillan pituus	13,82	m	l_g	muut
Ikkuna pinta-ala	5,31	m^2	A_g	165
Ikkuna pinta-ala	3,50	m^2	A_g	muut
Karmi pinta-ala	0,72	m^2	A_f	165
Karmi pinta-ala	0,56	m^2	A_f	muut
Karmin lämmönläpäisykerroin puulla	0,85	$W/(m^2*K)$	U_f	
Karmin lämmönläpäisykerroin ilmalla	0,21	$W/(m^2*K)$	U_f	
Karmin lämmönläpäisykerroin uretaanilla	0,24	$W/(m^2*K)$	U_f	
Valoaukon lämmönläpäisykerroin	2,08	$W/(m^2*K)$	U_g	

Puun lämmönjohtavuus	0,12	W/(m*K)	λ_n
Ilman lämmönjohtavuus	0,026	W/(m*K)	λ_n
Uretaanin lämmönjohtavuus	0,03	W/(m*K)	λ_n
Lasi lämmönjohtavuus	1	W/(m*K)	λ_n
Alumiini	220	W/(m*K)	λ_n

Kaikkien huoneiden ikkunan keskimääräiseksi U_w-arvoksi saatiin puu-alumiinikarmirakenteella 2,12 $W/(m^2K)$. ja polyuretaani-alumiinirakenteella 2,03 $W/(m^2K)$.

Ikkunan läpi johtuva lämpöteho voidaan laskea käyttäen kaavaa 4 tai kaavaa 5 (Mäkelä 2012).

$$\Phi = U_w * A * \Delta T$$ *KAAVA 4.*

Φ=Ikkunan läpi johtuva lämmitysteho (W/m^2)

U_w=Ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin ($W/(m^2K)$)

A=Pinta-ala (m^2)

ΔT=Sisä- ja ulkolämpötilojen erotus (°C)

$$\Phi = \frac{1}{\Sigma R} A(T_{ps} - T_{pu})$$ *KAAVA 5.*

Φ=Ikkunan läpi johtuva lämmitysteho

ΣR =Rakenteen osien lämmönvastusten summa ((m^2*K)/*W*)

A=Pinta-ala (m^2)

T_{ps}=pintalämpötila sisällä (°C)

T_{pu}=pintalämpötila ulkona (°C)

TAULUKKO 16. Ikkunoiden lämpötilojen erotus

	Sisä- ja ulkolämpötilo-jen erotus	Sisä- ja ulkopintalämpötilojen erotus	
Huone	ΔT	ΔT karmi	ΔT ikkuna
nro	°C	°C	°C
165	35,3	18,7	17,8
166	30,1	14,4	14,7
167	34,5	15,5	18,2
174	39,7	16,8	19,7
245	43,3	22,1	24,6
247	28,6	12,8	15,5
251	44,2	20,0	25,1
289	42,4	22,3	23,0
290	42,1	18,8	21,1

Karmirakenteen eri täytteiden selvittämiseksi laskettiin kaavalla 5 karmin ja lasin lämpöhäviöt pintalämpötiloja käyttäen, jolloin laskuissa ei ollut mukana Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 ohjeiden mukaista pintavastusarvoa.

Tulokset on esitetty taulukossa 17. Lämpötilaeroina on käytetty taulukon 16 arvoja.

TAULUKKO 17 Ikkunoiden keskimääräiset lämpötehot sisä- ja ulkolämpötilaeroa käyttäen

	Ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisy ulko- ja sisälämpötilan erotuksella	
	puu	uretaani
Huone	Φ	Φ
nro	w/m^2	w/m^2
165	74,99	72,42
166	63,84	71,89
167	73,02	61,31
174	84,11	70,13
245	91,81	80,77
247	60,59	88,17
251	93,65	58,19
289	89,9	89,93
290	89,09	86,33

Lämpöhäviöt laskettiin myös käyttäen eri karmirakenteilla varustettujen ikkunoiden keskimääräisiä U_w-arvoja ja sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroa. Tulokset on esitetty taulukossa 18.

TAULUKKO 18 Ikkunoiden osien lämpöhäviöt sisä- ja ulkopintalämpötilojen eroa käyttäen.

	Karmin lämmönpöhäviö		Lasin lämpöhäviö
	puu	uretaani	
Huone	Φ	Φ	Φ
nro	w/m^2	w/m^2	w/m^2
165	18,6	4,65	57,4
166	14,3	3,57	47,57
167	15,43	3,86	58,85
174	16,68	4,17	63,57
245	22,02	5,51	79,21
247	12,75	3,19	50,04
251	19,87	4,97	81,02
289	22,15	5,54	74,05
290	18,7	4,68	67,96

Taulukossa 19 on esitetty ikkunan keskimääräinen lämpöteho ja ikkunan eri rakenteiden pintalämpötiloilla laskettujen tulosten summa. Lopuksi tuloksia verrattiin toisiinsa.

TAULUKKO 19 Ikkunan lämpöhäviö vertailu erilaisilla karmi rakenteilla.

Huone	Ikkunankarmin ja lasin lämpöhaviöt yhteensä		Ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisy ulko- ja sisälämpötilan erotuksella		Ikkunan keskimääräisen ja karmin+lasin lämpöhäviö erotus	
	puu	uretaani	puu	uretaani	puu	uretaani
nro	W	W	W	W	W	W
165	76,0	62,0	75,0	72,4	-1,0	10,4
166	61,9	51,1	63,8	71,9	2,0	20,7
167	74,3	62,7	73,0	61,3	-1,3	-1,4
174	80,3	67,7	84,1	70,1	3,9	2,4
245	101,2	84,7	91,8	80,8	-9,4	-3,9
247	62,8	53,2	60,6	88,2	-2,2	34,9
251	100,9	86,0	93,6	58,2	-7,2	-27,8
289	96,2	79,6	89,9	89,9	-6,3	10,3
290	86,7	72,6	89,1	86,3	2,4	13,7
				Keskiarvo	-2,1	6,6

Puu- alumiinikarmirakenteella lämpöhäviöerot eri tavoilla laskettuna olivat keskimäärin -2,1 W ja uretaanilla 6,6 W. Pintalämpötilamittaukset ja ulkopuolinen lämmönvastus ovat suurimmat epätarkkuuden aiheuttajat. Tästä johtuen todennäköisin ikkunan karmirakenne on puu-alumiinikarmi. Laskuissa sen keskimääräiseksi U-arvoksi saatiin 2,12 W/(m^2K), jota voidaan pitää tämän hetken ikkunoiden U-arvona.

Vertailtaessa ikkunan U-arvoa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 antamaan ikkunan lämmönläpäisykertoimen enimmäisarvoon 1,8 W/(m^2K) voidaan todeta ikkunan U-arvon olevan hieman isompi, mitä tällä hetkellä on sallittu. Kuitenkin tämän hetken uudisrakentamisessa käytetään tasauslaskennassa vertailuarvona 1 W/(m^2K), johon vertailtaessa ikkunoiden U-arvot ovat kaksinkertaiset nykyisin yleisesti käytössä oleviin U-arvoihin.

Huoneen 165 ikkunan mitoituslämpöhäviö mitoitusulkolämpötilassa voidaan laskea kaavaa 6 käyttäen. Kun ikkunan U_w-arvo on nykyinen 2,12 W/m^2K, lämpöhäviö on 678 W. Jos ikkunan U_w-arvo olisi 1 W/(m^2K), lämpöhäviö olisi 319 W. Mitoituslämpöhäviöitä voitaisiin vähentää 359 W, jos ikkunoiden U_w-arvo parannettaisiin nykytasolle. Kaavaa 7 käyttäen voidaan tarkastella ikkunan läpi vuodessa menevää lämpöenergiaa. Yhden ikkunan energian säästöksi saadaan vuositasolla noin 1038 kWh, jos ikkunan U_w-arvo parannettaisiin nykyisten vertailujen mukaiseksi.

$$\Phi = U * A * (21 - (-32))$$ *KAAVA* 6.

Φ =Mitoituslämpöhäviö

$$Q = U * A * S_{21} * 24$$ *KAAVA* 7.

Q =Lämmitys energia

U =Ikkunan lämmönläpäisykerroin

A =Ikkunan pinta-ala

S_{21} =Normitukseen käytettävä lämmitystarveluku vuodessa 6409 Kd

Muiden mittauksissa olleiden huoneiden ikkunan pinta-alat olivat hieman pienemmät, joten nykyisellä U_w-arvolla 2,12 W/m^{2}K mitoituslämpöhäviö on 240 W suurempi kuin käytettäessä ikkunoita, joiden U_w-arvo on 1 W/(m^{2}K). Vuotuisella tasolla tämä tarkoittaa energiasäästönä ikkunaa kohden noin 698 kWh, jos ikkunan U_w-arvo parannettaisiin nykyisten vertailuarvojen mukaiseksi.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA PARANNUSEHDOTUKSET

Mittauksien mukaan lämpöolot ovat kesällä kohtuulliset. Sisäilma nousee huoneissa 22,7–23,7 °C:seen, kun tavoitearvo on alle 25°C. Talvella ohjearvojen mukaiset lämpöolot toteutuvat kohtuullisesti. Tosin vain kolmessa huoneessa huonelämpötila on talvella tavoitearvossa. Nämä ovat 221b 223b ja 167, ja lisäksi 290 on siinä rajalla. Lisäksi ikkunankarmin ja sähkökiskon väliin jätetty patterin lämmön nousurako, joka katkaisee ikkunasta tulevan kylmän virtauksen, on osassa huoneista tukittu lähes kokonaan (kuva 3). Tämä estää patterin mahdollisuutta katkaista konvektiovirtaus ikkunasta huoneeseen. Lisäksi osassa huoneista pattereiden termostaatit oli peitetty verhoilla tai jätetty työpöytien taakse lähes suoraan tietokoneiden tuulettimien ilmavirtaan. Tämän seurauksena termostaatti saa väärän kuvan huoneilman lämpötilasta ja säätää huoneen lämpötilan väärin.

KUVA 3. Kylmävirtaus huoneeseen tapahtuu lähes koko ikkunan leveydeltä.

Yhdessä huoneessa oli termostaatti irrotettu kokonaan. Lisäksi huoneessa oli koko ajan ikkuna auki myös talvipakkasilla, koska oli kuuma. Tämä edesauttaa patteriverkoston tasapainotuksen vääristymistä. Sen seurauksena verkoston viimeisille pattereille ei välttämättä ole riittävästi virtausta.

Yhdessä huoneessa oli lisälämmityspatteri. Patteri oli tuotu sen vuoksi, että jalat palelivat, vaikka huone oli keskimääräistä lämpimämpi. Syynä paleluun voi olla se, että veto tunnetaan selkeämmin, jos huoneessa on poikkeuksellisen lämmin.

Toisessa huoneessa ilmanvaihdon poistoilma oli kesällä tukittu vinkumisen vuoksi muovikalvolla, mikä aiheuttaa ilmanvaihtokoneen poistoilmavirtauksien epätasapainottumisen. Tämän seurauksena lopuille huoneille, joita ilmanvaihtokone palvelee, syntyy liian iso virtaus, joka aiheuttaa vedon tunnetta ja lisää riskiä muiden venttiilien vinkumiselle. Lisäksi huone, josta poisto on tukittu, lämpenee poiston puuttuessa.

Huoneiden lämpöoloista oli ilmoitettu. Mittaustulosten mukaan huoneet ovat kuitenkin talvella liian kuumia. Työpisteet sijaitsevat lähellä ikkunoita, joista käy koko ajan kylmä ilmavirtaus, koska ikkunoiden alhaisten pintalämpötilojen vuoksi syntyy kylmä konvektiovirtaus alaspäin. Ilmavirtauksen katkaisuun asennetut patterit on joko peitetty tai niiden termostaatit saavat väärän kuvan huonelämpötilasta. Termostaatit näyttivät olevan verhojen takana tai tietokoneiden jäähdytysilmavirrassa pöytien takana. Vedon tunne korostuu, koska huoneet ovat liian lämpimiä.

Parannusehdotuksena on tyhjentää pattereiden päälliset, jolloin ikkunoista tulevan kylmän ilman virtaus saataisiin katkaistua paremmin. Lisäksi voitaisiin pattereiden termostaattien edustat tyhjentää ja koneet asettaa niin, että termostaatit saisivat realistisemman käsityksen huonelämpötilasta. Kun ikkunoiden kautta tuuletettaisiin vain hetkellisesti, ei pattereiden tarvitsisi olla koko ajan täydellä teholla. Tällöin patteriverkon osan muille pattereille riittää enemmän lämpöä.

Huoneen 251 tuloilman lämpötila mitattiin, koska huoneen lämpötila kesällä oli muita huoneita alhaisempi ja talvella muita huoneita korkeampi. Tuloilman lämpötilamittauksissa selvisi, että ilma ei tuloilmakanavassa merkittävästi lämpene tai jäähdy ilmanvaihtokoneen ja huoneen tuloilmaventtiilin välillä. Koska huone on talvella kaikista mitatuista huoneista lämpimin ja ikkunan pintalämpötilan ja huoneilman lämpötilan välinen ero on suuri, 11,8 °C, ikkuna aiheuttaa vedon tunnetta. Lisäksi huoneen ovea pidettiin suurimman osan ajasta kiinni, jolloin ilmanvaihto toimii tehokkaimmin. Se puolestaan jäähdyttää huonetta liikaa, kun huoneen elektroniikka ja työntekijämäärä on ilmeisesti suunnitteluarvoja pienempi.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Polar Electro Oy:n toimitilojen lämpöviihtyvyys ja ikkunoiden U-arvon merkitys lämpöviihtyvyysolosuhteisiin sekä hakea ratkaisua lämpöolojen parantamiseksi.

Kohteessa oli aikaisemmin tehty alustavia sisäilmastomittauksia, lähinnä lämpötilamittauksia. Näissä kävi ilmi, että osassa huoneista lämpötilat vaihtelivat hyvinkin paljon. Lisäksi oli ilmoitettu, että joissakin huoneissa palelee. Tämän johdosta toiveena oli tarkemmat sisäilmastomittaukset, joihin mitattavat huoneet valittiin aikaisempien mittauksien perusteella. Lisäksi haluttiin selvittää rakennuksen ikkunoiden U-arvo.

Ilman laatu oli sekä kesä-, että talvioloissa hyvä. Kesällä sisäilman lämpöolot olivat kohtuulliset. Talvella huoneilman lämpötila oli liian korkea. Ikkuna pintojen alhainen lämpötila aiheutti vetoa. Vedon seurauksena työntekijät olivat ilmoittaneet huoneiden olevan liian kylmiä talvella. Ikkunoiden pintalämpötilan ja huonelämpötilan suuret erot aiheuttavat vedon tunteen korostumisen. Lisäksi osa työpisteistä sijaitsee hyvin lähellä ikkunaa.

Ikkunoiden keskimääräiseksi U-arvoksi saatiin 2,12 W/(m^2K), joka on huomattavasti enemmän kuin tämän hetken tavoitearvo 1,0 W/(m^2K). Lisäksi ikkunoiden pintalämpömittauksissa selvisi, että ikkunoiden kiinnityskohdat ovat huomattavasti huoneilmaa kylmempiä. Tämä edesauttaa konvektiovirtauksen syntymistä ja aiheuttaa vetoa huoneeseen. Ikkunoiden karmien mahdollisia rakenteita vertailemalla tultiin tulokseen, että ikkunat ovat luultavasti puu-alumiinikarmia. Ikkunoiden uusimisella saataisiin huomattava energiansäästö, joka vaikuttaisi lisäksi huoneiden lämpöoloihin.

LÄHDELUETTELO

C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Lämmöneristys. Määräys ja ohjeet 2003. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf Hakupäivä 23.9.2012.

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012 Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 23.9.2012.

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 23.9.2012.

Fysikaaliset tekijät. 2008. Sisäilmayhdistys ry. Saatavissa:http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/fysikaaliset_tekijat/. Hakupäivä:15.10.2012.

Mäkelä, Veli-Matti 2012. T630303 Lämmönsiirtotekniikka 3 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2012. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

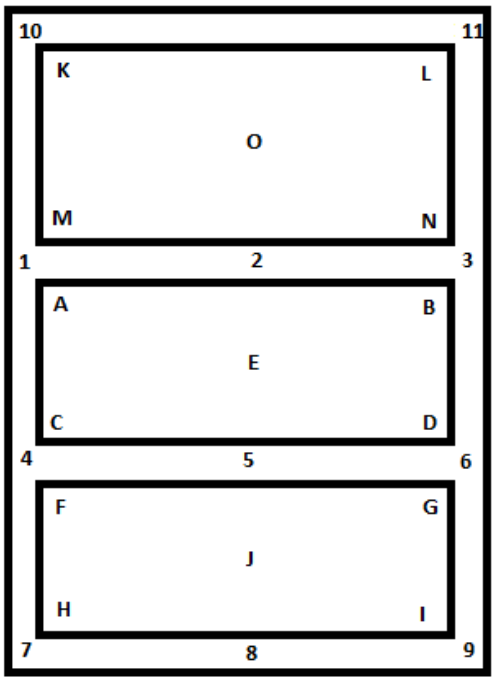
SFS 5511.1991. Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset. Helsinki Suomen standardisoimisliitto SFS. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/kortistot/kh/kortit/00172.html.stx Hakupäivä 23.9.2012

Seppänen, Olli 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Solver palvelut oy.

Sisäilmastoluokitus. 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Saatavissa: https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/103571.html.stx. Hakupäivä 23.9.2012.

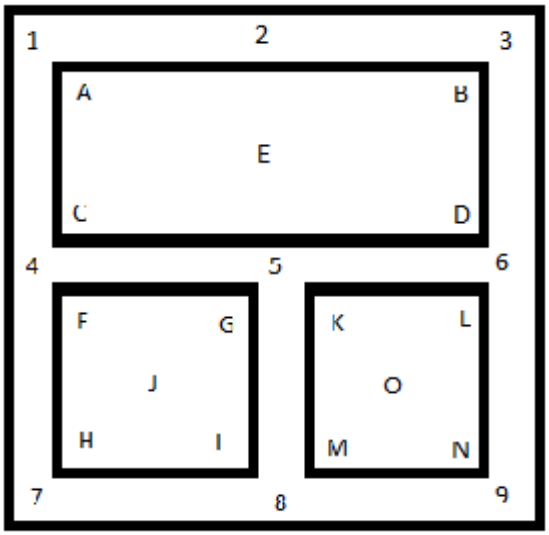
HUONEEN 165 IKKUNAN PINTALÄMPÖTILOJEN MITTAUSTULOKSET LIITE 1/1

Huone 165						
	Sisältä			Ulkoa		
Mittauskohta	1.kerta	2.kerta	3.kerta	1.kerta	2.kerta	3.kerta
1	15,0	16,1	16,1	-2,2	-2,0	0,1
2	17,6	18,8	18,5	-1,5	-1,2	-0,7
3	17,3	17,9	17,8	-3,0	-2,0	-2,5
4	15,5	16,0	15,5	-2,6	-1,5	-0,7
5	17,1	18,0	18,0	-1,2	-0,7	-1,3
6	17,6	18,8	18,5	-3,0	-2,6	-3,1
7	12,7	13,1	13,2	-3,0	-4,7	-3,1
8	15,1	15,0	14,6	-2,2	-3,9	-3,4
9	16,2	15,5	15,8	-2,2	-5,0	-5,6
10	14,0	15,8	16,0	-2,8	-0,1	0,9
11	16,2	18,4	18,7	-4,0	-2,6	-3,4
A	15,3	15,1	15,2	-3,4	-2,2	-0,6
B	15,6	16,2	16,2	-2,2	-1,8	-3,5
C	13,8	13,7	14,0	-4,2	-3,0	-2,0
D	13,5	15,1	15,0	-4,0	-3,4	-4,5
E	14,6	15,0	15,3	-3,1	-2,6	-2,6
F	14,3	15,2	15,4	-2,4	-1,6	-1,0
G	16,7	17,8	17,5	-2,8	-2,5	-2,6
H	13,0	13,1	13,3	-1,3	-2,7	-1,9
I	14,7	14,9	14,8	-3,3	-4,5	-4,5
J	15,4	16,0	16,5	-2,2	-2,9	-2,6
K	14,5	17,3	17,4	-3,5	-0,2	0,5
L	13,6	17,1	16,6	-3,0	-1,2	-3,0
M	14,0	14,7	16,1	-3,8	-0,9	-0,4
N	12,4	15,8	15,8	-4,0	-1,9	-3,6
O	15,1	17,2	17,0	-3,0	-1,2	-2,8



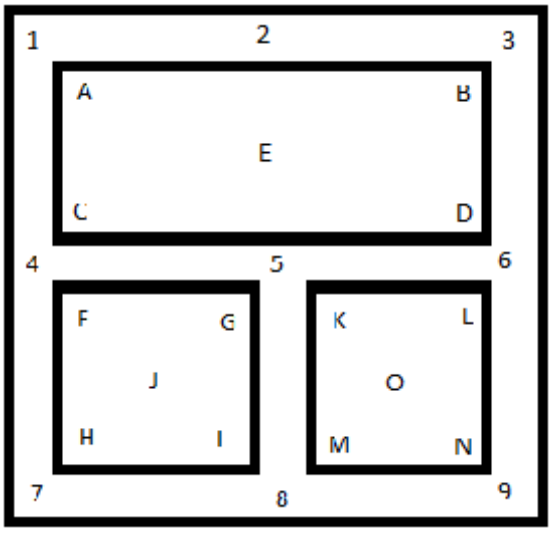
HUONEEN 166 IKKUNAN PINTALÄMPÖTILOJEN MITTAUSTULOKSET LIITE 1/2

Huone 166						
	Sisältä			Ulkoa		
Mittauskohta	1.kerta	2.kerta	3.kerta	1.kerta	2.kerta	3.kerta
4	13,6	14,2	15,1	-3,1	-1,8	0
5	13,1	14,4	16,3	-1	-0,3	1,5
6	10,5	11,4	13,4	-1,7	-0,7	0,6
7	12,1	13,2	15	-3,8	-2,4	-1,8
8	12,4	13,5	15,2	-2,2	-1	0,6
9	9,3	9,9	12,5	-4,1	-2,5	0
C	13,1	13,8	15,7	-3,1	-1,6	-0,9
D	11,3	12,9	14,1	-1,6	-0,5	0,9
E	14,3	16,3	17,4	-1,7	0,3	1,1
F	14,4	14,9	15,3	-2,4	-1,7	-0,8
G	13,8	15,5	15,4	-1,1	0,2	0,8
H	12,8	14,3	15,4	-3,1	-1,7	-0,9
I	12,1	14,4	15,5	-2,2	-0,6	0,1
J	13,9	14,9	14,6	-1,8	-0,2	0
K	13,3	15,2	15,9	-1,6	-0,1	1,1
L	12,2	14,3	15,4	-1,1	1,2	2,3
M	12,8	13,7	15,5	-1,3	-0,3	0,6
N	10,6	13	14,3	-0,8	0,5	2,1
O	13,7	14,5	15,8	-1,2	0,7	1,6



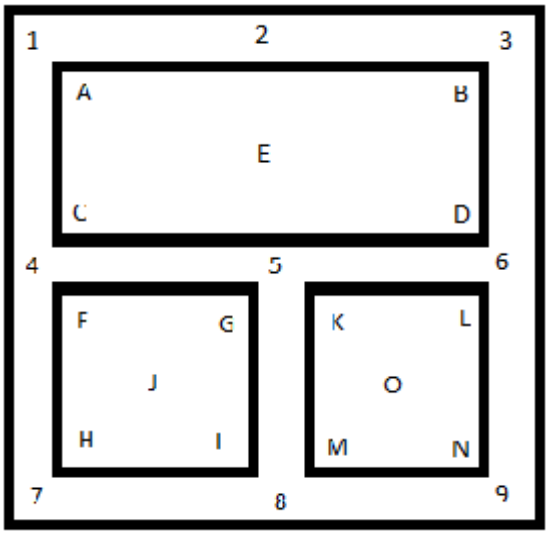
HUONEEN 167 IKKUNAN PINTALÄMPÖTILOJEN MITTAUSTULOKSET LIITE 1/3

Huone 167						
	Sisältä			Ulkoa		
Mittauskohta	1.kerta	2.kerta	3.kerta	1.kerta	2.kerta	3.kerta
4	9,8	9,7	11,7	-7,7	-6,1	-3,7
5	10,7	10,9	13,3	-6,5	-7,7	1,0
6	8,9	9,4		-5,9	-9,3	-0,6
7	7,4	8,3	9,2	-10,0	-9,0	-6,1
8	7,0	8,2	10,0	-9,4	-9,5	-1,2
9	3,9	5,2		-9,5	-11,4	-1,1
C	12,0	12,3	14,4	-7,0	-6,0	-1,5
D	12,8	13,0	15,1	-7,6	-10,0	-0,6
E	14,5	15,0	17,5	-6,8	-7,7	0,2
F	10,9	11,1	13,2	-7,7	-6,7	-1,2
G	10,5	12,2	15,3	-8,5	-8,5	-1,1
H	8,3	9,8	13,3	-9,2	-7,9	-2,2
I	8,2	10,7	13,9	-8,9	-9,5	-2,0
J	11,1	11,0	14,8	-8,9	-7,6	-1,6
K	11,3	13,2	15,6	-8,1	-9,2	-0,3
L	10,9	12,2	15,6	-5,9	-9,4	-0,7
M	8,8	10,7	14,2	-9,0	-10,0	-1,7
N	7,0	10,1	14,3	-7,2	-10,1	-1,7
O	9,8	11,8	15,7	-8,0	-8,9	-0,7



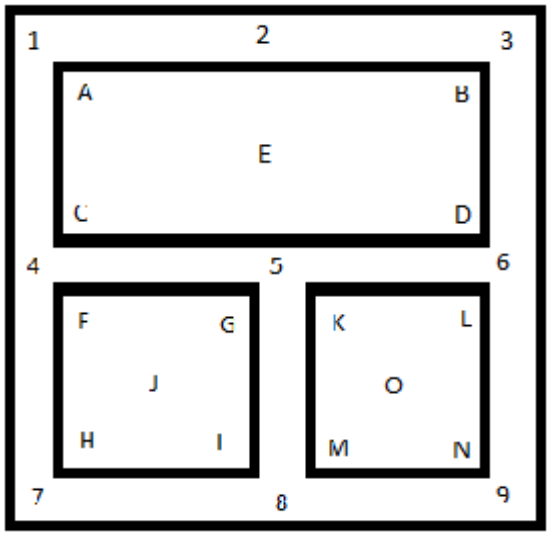
HUONEEN 174 IKKUNAN PINTALÄMPÖTILOJEN MITTAUSTULOKSET LIITE 1/4

Huone 174						
	Sisältä			Ulkoa		
Mittauskohta	1.kerta	2.kerta	3.kerta	1.kerta	2.kerta	3.kerta
4	9,7	10,6	13,0	-5,4	-2,8	-3,4
5	11,5	13,3	15,2	-5,2	-3,4	-2,6
6	11,8	14,3	15,9	-5,0	-4,1	-4,0
7	7,6	7,9	10,2	-8,7	-6,1	-5,1
8	10,3	10,8	12,6	-7,2	-7,1	-5,5
9	8,1	10,5	12,9	-6,7	-7,3	-6,1
C	9,4	11,9	14,8	-7,5	-5,3	-2,9
D	10,9	13,3	15,8	-6,4	-6,4	-5,7
E	12,6	14,6	16,8	-7,5	-5,3	-4,1
F	12,5	13,3	17,0	-5,8	-2,4	-1,3
G	13,6	14,6	17,7	-6,1	-4,4	-3,3
H	10,2	10,5	14,1	-6,4	-4,1	-3,1
I	11,9	13,3	15,5	-7,4	-5,8	-4,9
J	12,1	13,2	16,7	-6,9	-4,0	-3,0
K	13,0	14,4	17,8	-5,4	-4,6	-3,7
L	15,1	18,6	20,2	-5,7	-5,4	-3,6
M	11,4	13,1	16,4	-7,2	-6,6	-5,7
N	14,5	16,1	18,9	-6,3	-7,5	-5,9
O	14,3	16,2	19,1	-5,9	-5,3	-4,4



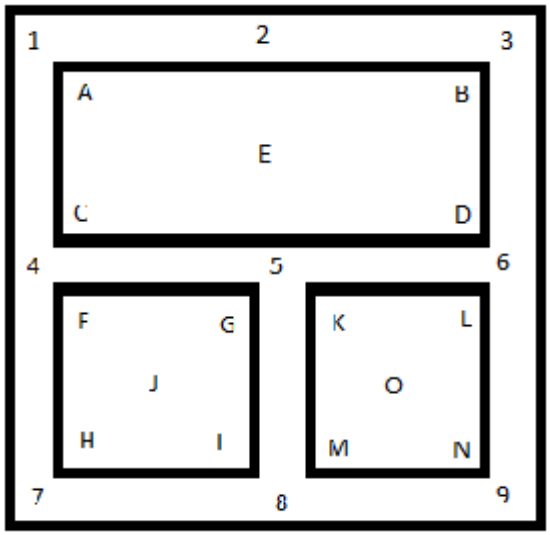
HUONEEN 247 IKKUNAN PINTALÄMPÖTILOJEN MITTAUSTULOKSET LIITE 1/5

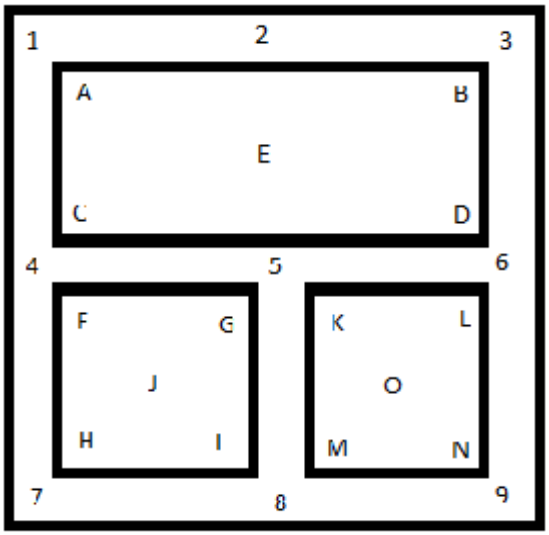
Huone 247						
	Sisältä			Ulkoa		
Mittauskohta	1.kerta	2.kerta	3.kerta	1.kerta	2.kerta	3.kerta
1	12,4	12,6	13,0	-1,9	1,1	0,0
2	14,9	15,9	15,8	-1,6	-0,3	-0,9
3	9,7	11,2	11,8	0,2	0,0	-0,2
4	13,5	14,0	14,2	-0,7	0,4	-0,4
5	16,2	17,2	17,1	-0,5	1,2	0,9
6	9,7	9,7	10,4	-0,7	0,1	0,5
7	11,8	8,8	7,1	-1,8	-1,1	-1,5
8	14,7	14,6	15,8	-1,4	-1,1	-0,8
9	5,9	6,2	6,3	-1,3	-1,7	-2,2
A	16,4	16,6	16,6	0,8	2,1	2,2
B	16,4	16,6	16,2	-0,3	0,4	0,4
C	15,1	15,4	16,4	-0,3	1,7	1,0
D	15,1	15,1	15,3	-0,9	0,6	0,2
E	16,0	17,3	17,0	0,3	1,5	2,0
F	15,6	16,4	16,7	0,9	1,2	1,5
G	16,0	16,8	17,0	0,0	0,0	1,9
H	14,2	15,1	14,7	0,4	0,0	0,4
I	15,7	15,9	16,8	-1,2	1,0	0,0
J	16,9	17,2	17,5	0,8	1,4	1,5
K	16,5	16,9	16,8	0,1	1,5	0,7
L	16,4	17,3	16,7	-0,3	1,0	0,8
M	15,2	15,4	15,9	0,0	0,5	0,4
N	13,8	14,8	14,9	-0,2	0,5	-0,1
O	16,6	17,0	17,6	-0,1	0,5	0,9



HUONEEN 289 IKKUNAN PINTALÄMPÖTILOJEN MITTAUSTULOKSET LIITE 1/6

Huone 289						
	Sisältä			Ulkoa		
Mittauskohta	1.kerta	2.kerta	3.kerta	1.kerta	2.kerta	3.kerta
1	8,5	8,6		-14,4	-15,9	
2	12,7	11,5		-14,7	-15,2	
3	9,0	6,4		-15,6	-15,0	
4	9,9	9,5		-13,1	-15,2	
5	13,4	12,2		-11,3	-11,6	
6	8,6	6,3		-14,5	-13,1	
7	1,6	0,9		-15,6	-16,7	
8	9,4	8,7		-14,4	-13,7	
9	2,6	1,3		-15,2	-14,7	
A	13,5	11,1		-11,2	-13,2	
B	11,9	9,2		-10,5	-9,5	
C	11,0	9,9		-12,4	-13,8	
D	8,8	6,5		-12,5	-10,8	
E	13,3	11,8		-9,4	-9,6	
F	13,8	13,9		-12,1	-13,0	
G	13,6	12,7		-9,8	-10,6	
H	12,4	11,7		-13,4	-13,7	
I	12,2	11,9		-11,3	-12,6	
J	13,6	13,0		-10,7	-11,5	
K	13,2	10,8		-12,9	-11,7	
L	12,8	10,4		-11,3	-9,9	
M	9,1	8,4		-13,4	-12,2	
N	8,9	8,3		-12,4	-10,8	
O	12,7	10,4		-11,5	-10,2	



HUONEEN 290 IKKUNAN PINTALÄMPÖTILOJEN MITTAUSTULOKSET LIITE 1/7

Huone 290						
Mittauskohta	Sisältä			Ulkoa		
	1.kerta	2.kerta	3.kerta	1.kerta	2.kerta	3.kerta
1	6,2	6,4	6,4	-13,6	-13,5	-11,7
2	8,8	9,0	9,6	-12,3	-12,5	-11,2
3	6,7	6,1	6,6	-11,3	-11,7	-13,4
4	7,0	6,6	6,6	-12,9	-12,9	-11,9
5	11,7	11,4	12,5	-11,7	-10,7	-8,8
6	5,7	5,2	5,6	-10,9	-11,0	-12,9
7	2,3	2,4	1,7	-14,0	-14,9	-12,8
8	8,7	8,3	8,0	-13,2	-13,1	-11,8
9	0,2	0,9	0,3	-14,5	-13,1	-14,7
A	11,5	11,2	11,4	-11,1	-10,9	-9,0
B	11,8	10,4	11,8	-8,5	-10,4	-10,6
C	10,2	9,4	10,2	-11,7	-11,5	-9,7
D	9,1	8,6	9,0	-9,3	-10,9	-11,2
E	12,1	11,7	12,5	-8,3	-10,1	-7,7
F	11,8	11,0	10,7	-10,0	-10,8	-10,0
G	12,2	12,9	12,8	-10,4	-10,7	-9,5
H	9,8	10,7	9,7	-10,6	-11,7	-10,7
I	10,0	11,3	11,0	-10,2	-11,2	-10,3
J	12,3	12,0	11,7	-9,6	-10,4	-9,9
K	11,5	12,4	12,1	-9,2	-8,5	-9,8
L	10,6	9,6	10,7	-8,3	-8,5	-10,3
M	10,7	10,7	11,1	-11,0	-10,5	-11,9
N	10,0	9,1	10,2	-10,3	-9,9	-12,1
O	11,0	11,2	10,9	-9,0	-9,1	-10,1