

Eero Oikarinen

**ILMASTOINNIN SUORAHÖYRYSTYSJÄÄHDYTYKSEN JA
KOSTUTUSJÄÄHDYTYKSEN VERTAILU**

**ILMASTOINNIN SUORAHÖYRYSTYSJÄÄHDYTYKSEN JA
KOSTUTUSJÄÄHDYTYKSEN VERTAILU**

Eero Oikarinen
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikka, LVI- tekniikka

Tekijä: Eero Oikarinen

Opinnäytetyön nimi: Ilmastoinnin suora- ja kostutusjäähdytyksen
vertailu

Työn ohjaaja: Pirjo Kimari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014 Sivumäärä: 26

Työn tavoitteena oli selvittää ilmastointikoneen suora- ja kostutusjäähdytyksellä ja kostutusjäähdytyksellä saavutettavat huonetilan kokonais- ja kuivat jäähdytystehot. Mittaukset suoritettiin OAMK:n LVI-laboratorion ilmastointikoneella kahtena hellepäivänä.

Huonetilan kokonaisjäähdytystehoksi saatiin keskimäärin suora- ja kostutusjäähdytysjärjestelmällä 8,3 kW ja kostutusjäähdytysjärjestelmällä 3,4kW. Huonetilan kuivaksi jäähdytystehoksi saatiin suora- ja kostutusjäähdytysjärjestelmällä keskimäärin 7,8 kW ja kostutusjäähdytysjärjestelmällä 3,1 kW.

Kostutusjäähdytyksellä saavutettavat tehot jäävät alle puoleen suora- ja kostutusjäähdytyksellä saavutettavista tehoista

Tilajana oli OAMK Tekniikan yksikkö.

Asiasanat: Ilmastointikoneen jäähdytys, suora- ja kostutusjäähdytys, kostutusjäähdytys

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 ILMASTOINTIKONEESSA KÄYTETYT JÄÄHDYTYSTAVAT	6
2.1 Suorahöyrystyspatteri	6
2.2 Välillinen jäähdytys	7
2.3 Kostutusjäähdytys	7
3 MITTAUKSET LABORATORION ILMASTOINTIKONEELLA	9
3.1 Mittausjärjestely	10
3.2 Mittaustulokset	12
4 MITTAUSTULOSTEN TARKASTELU	14
4.1 Laskennassa käytetyt yhtälöt	14
4.2 Laskennan tulokset	17
5 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	26

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli OAMK:n Tekniikan yksikkö. Kokeellinen työ suoritettiin toimeksiantajan LVI-laboratorion ilmastointikoneella.

Työssä vertailtiin ilmastointikoneessa käytettyjä jäähdytystapoja. Mittaamalla kokeellisesti koneen ilmavirtoja ja niiden lämpötiloja sekä suhteellisia kosteuksia, voitiin laskennallisesti verrata käytettyjen suora- ja kostutusjäähdytyksen eroja.

2 ILMASTOINTIKONEISSA KÄYTETYT JÄÄHDYTYSTAVAT

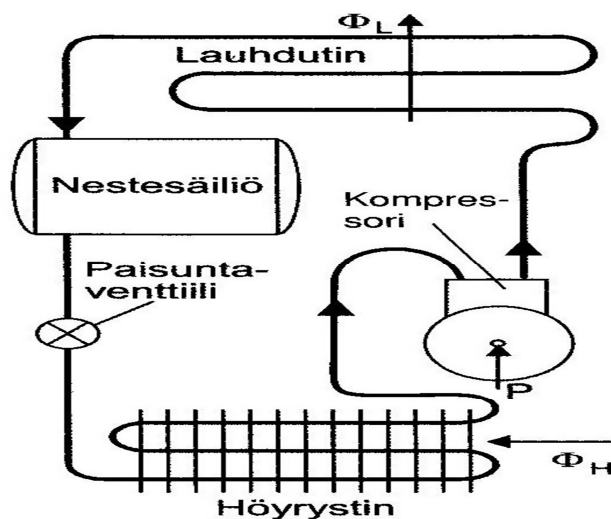
Ilmastointikoneissa on mahdollista käyttää erilaisia jäähdytysjärjestelmiä. Jäähdytys voidaan toteuttaa joko suora höyrystys-, välillisellä tai kostutusjärjestelmällä.

2.1 Suorahöyrystyspatteri

Suorahöyrysteiseksi ilmastoinnin jäähdytysjärjestelmäksi kutsutaan systeemiä, jossa kylmäkoneprosessin höyrystinpatteri on suorassa kosketuksessa jäähdytettävän ilmamassan kanssa (Mentul 1992, 1).

Kylmäkoneprosessissa käytetään hyväksi suljettua kylmäaineen kiertoprosessia (kuva 1). Kylmäainevirta vuoroin höyrystyy sitoen lämpöä ja lauhtuu luovuttaen lämpöä. Höyrystimen ja lauhttimen välillä on kompressori, jolla korotetaan kylmäaineen paine ennen lauhtumista. Ennen höyrystintä paine alennetaan paisunta-venttiilissä. Höyrystimessä kylmäaineeneste höyrystyy ja sitoo samalla itseensä lämpöä höyrystimen läpi virtaavasta vedestä tai ilmasta. Lämpö poistetaan järjestelmästä lauhttimella, jossa kylmäainehöyry lauhtuu. (Seppänen – Seppänen 1996, 205.)

Ilmastoinnin jäähdytyksessä suorahöyrystysjärjestelmien yleisimpiä sovelluskohteita ovat pienehköt ja keskisuuret tuloilman jäähdytykseen perustuvat laitteistot, niin sanotut keskitetyt järjestelmät. Toinen laitteistotyyppi on kiertoilman jäähdytykseen perustuvat järjestelmät. (Mentul 1992, 1.)



KUVA 1. Suljetun kylmäprosessin laitteet (Seppänen – Seppänen 1996, 205)

2.2 Välillinen jäähdytys

Välillisessä eli epäsuorassa jäähdytyksessä lämpö poistetaan jäähdytettävästä aineesta väliaineen avulla, jolloin höyrystin on kosketuksissa väliaineeseen. Jäähdytettävään kohteeseen vaikuttaa vasta väliaine, joka ilmastoinnin jäähdytyksessä yleensä on vesi. Lauhdutustapoina voidaan käyttää suoraa, välillistä tai haihdutuslauhdutusta. (Hakala 1992, 1.)

Perinteisesti välillinen jäähdytys toteutetaan konehuoneeseen sijoitetulla vedenjäähdytyskoneistolla, josta vesi johdetaan eri kulutuskohteisiin, esimerkiksi ilmastointipattereille. (Hakala 1992, 2)

Koska välillisessä jäähdytyksessä käytetään väliainetta, höyrystymislämpötila on yleensä 5–8 °C alhaisempi kuin suorassa jäähdyttämisessä. Mikäli käytetään välillistä lauhdutusta, lauhtumislämpötila on yleensä 4–8 °C korkeampi kuin suorassa lauhdutuksessa. Täten välillisessä jäähdytyksessä prosessin kylmäkerroin on huonompi kuin suorassa jäähdytyksessä. Lisäksi tarvitaan energiaa väliaineen kierrättämiseen. (Hakala 1992, 3.)

Välillisen jäähdytyksen energiatarve on 15–20 % suurempi kuin suorassa jäähdytyksessä. Välilliset järjestelmät ovat myös hankintahinnaltaan kalliimpia kuin suorat jäähdytysjärjestelmät. (Hakala 1992, 3.)

Välillisen jäähdytyksen etuina mainittakoon ,että järjestelmällä voidaan jäähdyttää useita kulutuskohteita sekä jäähdytyskoneiston ja jäähdytettävien kohteiden etäisyyksillä ei ole teknisiä rajoituksia. Myös jäähdytettävien kohteiden säätö on tarkempaa, kun käytetään väliainetta. (Hakala 1992, 3.)

2.3 Kostutusjäähdytys

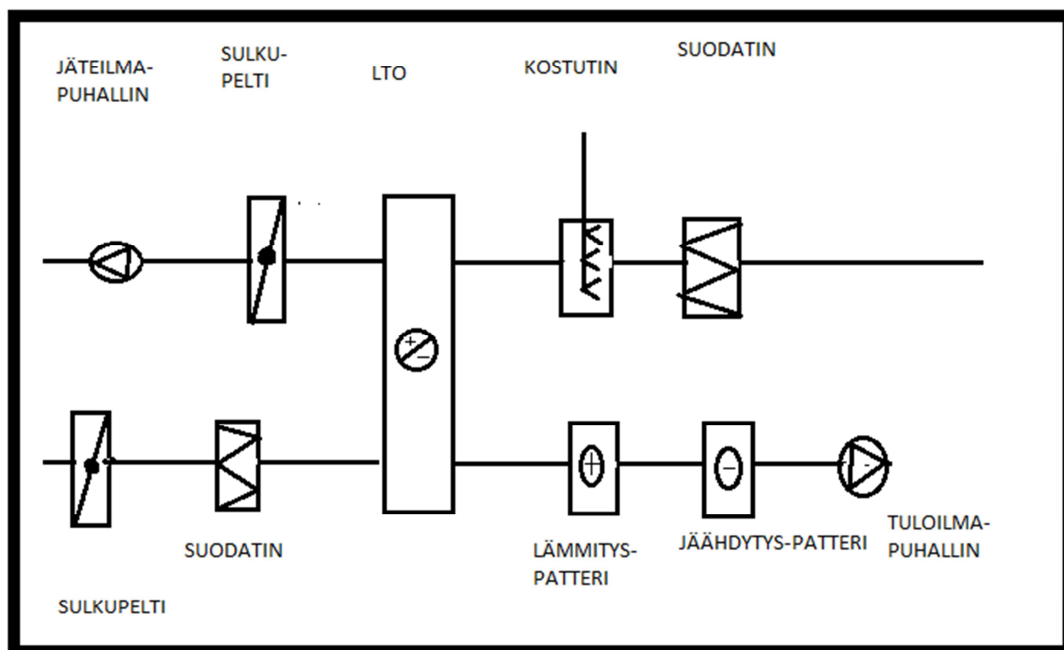
Kostutusprosessissa ilmaan lisätään vettä, jolloin virtaava ilma jäähtyy. Tämä perustuu siihen, että höyrystyessään vesi sitoo itseensä lämpöä. Ilmastointikoneen tuloilmaa voidaan jäähdyttää ns. suoralla tai epäsuoralla kostutusjäähdytyksellä. (LVI73-40026 1993, 2.)

Suorassa kostutusjäähdytyksessä ulkoilma jäähdytetään kostuttamalla ja käytetään tuloilmana. Saatava jäähdytysteho riippuu ulkoilman tilasta ja kostuttimen kostutusasteesta. Suora kostutusjäähdytys nostaa ilmastoidun tilan kosteustasoa, mikä voi aiheuttaa ongelmia. (LVI73-40026 1993, 2.)

Epäsuorassa kostutusjäähdytyksessä rakennuksen jäteilmaa jäähdytetään kostuttamalla sitä vedellä (kuva 2.). Lämmöntalteenottolaitteessa otetaan lämpimän ulkoilman lämpö talteen. Lämpö siirtyy ulkoilmasta jäteilmaan ja tuloilma jäähtyy. (Nyman 1992, 9.) Epäsuora kostutusjäähdytys ei nosta ilmastoitavan tilan kosteustasoa (LVI73-40026 1993, 2).

Järjestelmällä hyödyksi saatava jäähdytysteho riippuu edellä mainittujen tekijöiden lisäksi lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteesta ja poistoilmakostutuksessa poistoilman tilasta (LVI73-40026 1993, 2).

Epäsuorassa kostutusjäähdytyksessä voidaan jäähdyttävänä ilmana käyttää myös ulkoilmaa. Tällöin on ilmanvaihtojärjestelmässä oltava mahdollisuus kierrättää kostutettua ulkoilmaa lämmöntalteenottolaitteessa jäteilman asemasta. Ulkoilman kostuttaminen on jäähdytyksen kannalta tehokkaampaa kuin poistoilman kostuttaminen, mutta komponenttien määrä lisääntyy ja käyttövarmuus heikkenee. (Nyman 1992, 9.)



KUVA 2. Tuloilman epäsuora kostutusjäähdytys (Nyman 1992, 9)

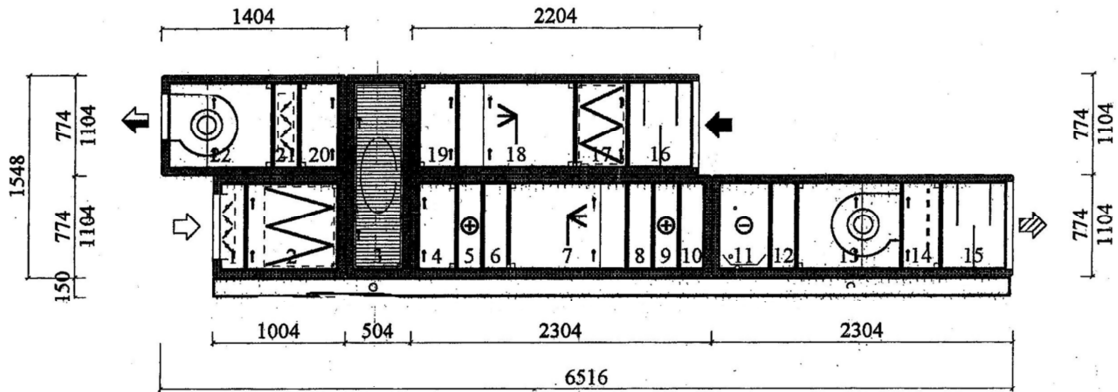
3 MITTAUKSET LABORATORION ILMASTOINTIKONEELLA

Mitattavan ilmastointikoneen valmistaja on FläktWoods. Kone on mitoitettu sekä tulo-että poistoilmavirran arvoilla 1 m³/s. Kanaviston painehäviö molemmilla puolilla on 200 Pa. Taulukossa 1 on esitetty ilmastointikoneen toiminto-osat virtaussuunnassa. (Kuurola 1999, Liite 8.)

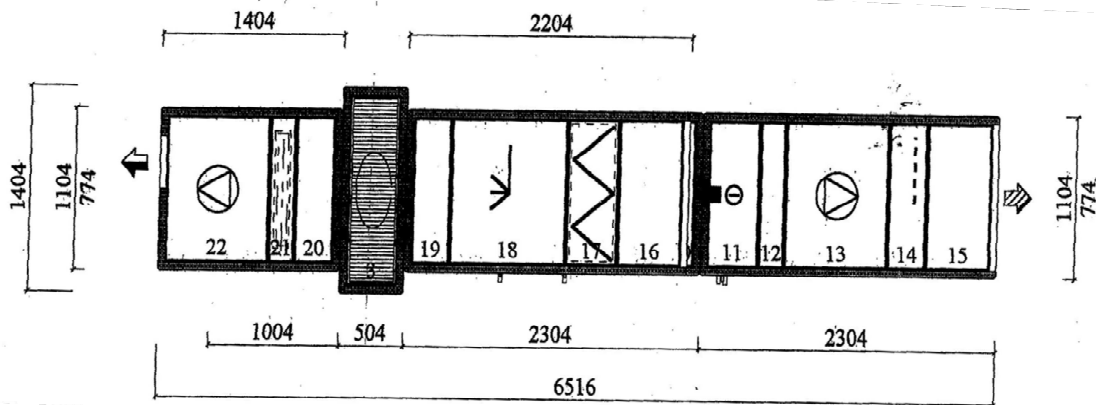
TAULUKKO 1. Ilmastointikoneen toiminto-osat

Nro	Toiminto-osa	Tuotetunnus
1 (Tuloilma)	Peltiosa	EUVB-21-1-2-2-1-1
2	Pitkä suodatin	EUPC-21-07-1-0-1-1-1
3	Lämmönsiirrin Regoterm	EURA-21-1-1-2-1-1
4	Rakenneosa	EUTC-21-3-0-1-1
5	Ilmanlämmitin	EUEE-21-4-01-1-0-1-1
6	Rakenneosa	EUTC-21-2-0-0-1
7	Kostutin, haihdutus	EUQA-21-1-1-1-1
8	Rakenneosa	EUTC-21-2-0-0-1
9	Ilmanlämmitin, vesi	EUEE-21-2-01-1-0-1-1
10	Rakenneosa	EUTC-21-2-0-0-1
11	Ilman jäähdytin, Suorahöyrystys	EUNP-21-2-1-1-01-1-0-1-1
12	Rakenneosa	EUTC-21-2-0-0-1
13	Puhallin	EULB-21-2-3-5-1-04-1-1
14	Rakenneosa	EUTC-21-3-0-0-1
15	Äänenvaimennin	EUSA-21-2-6-0-1-1-1
16 (Poistoilma)	Äänenvaimennin	EUSA-21-2-6-0-1-2-1
17	Suodatin	EUPB-21-03-3-1-1-2
18	Kostutin, haihdutus	EUQA-21-1-1-2-1
19	Rakenneosa	EUTC-21-3-0-1-2
20	Rakenneosa	EUTC-21-3-0-1-2
21	Peltiosa	EUVB-21-2-2-2-3-2
22	Puhallin	EULB-21-2-3-5-1-01-1-2

Kuvissa 3 ja 4 on käytetyn ilmastointikoneen rakennekuvat huoltopuolelta ja ylhäältä katsottuna.



KUVA 3. Ilmastointikone huoltopuolelta.

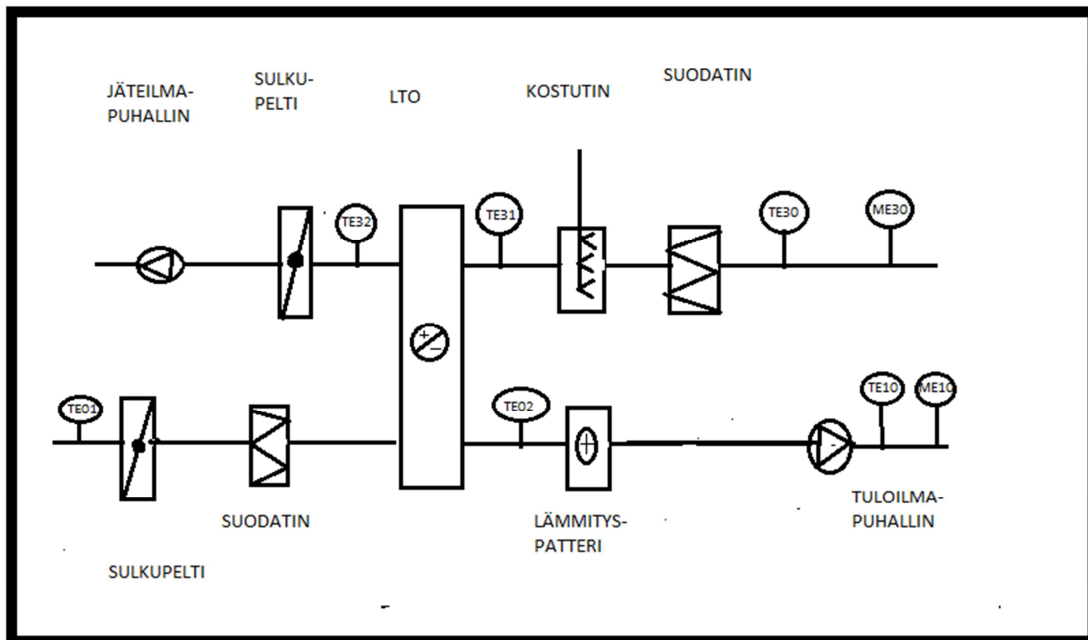


KUVA 4. Ilmastointikone ylhäältä katsottuna.

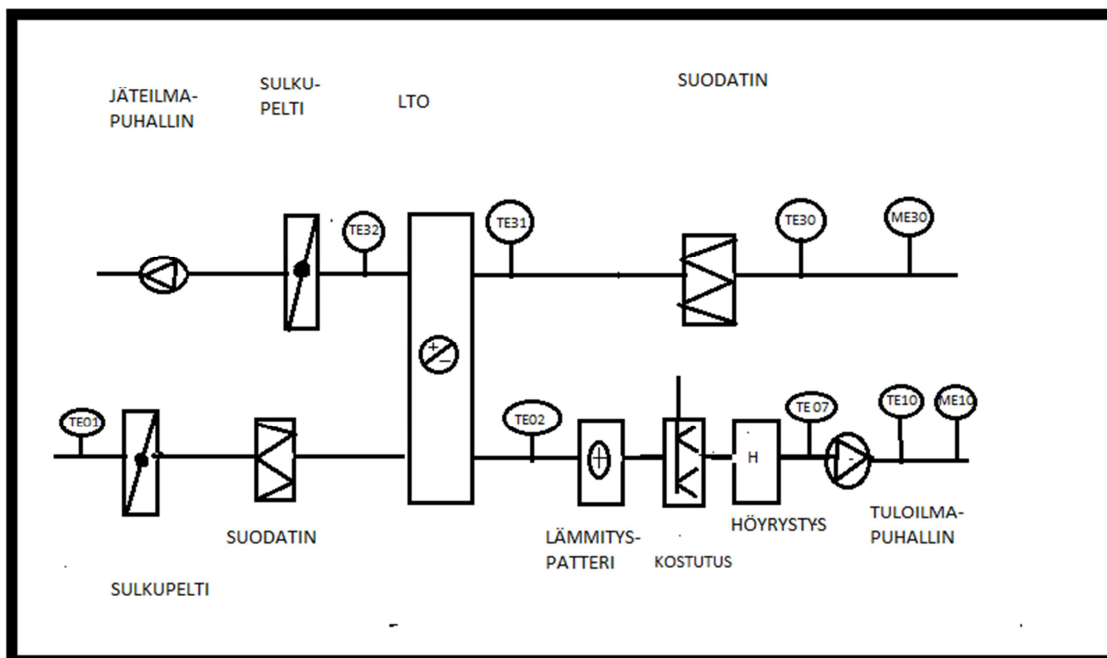
3.1 Mittausjärjestely

Laboratoriokokeissa mitattiin suhteellisia kosteuksia ja lämpötiloja ilmastointikoneen eri osista. Mittaustulokset saatiin luettua Fidelix-automaatiojärjestelmän graafisen käyttöliittymän kautta.

Kuvissa 5 ja 6 on esitetty mittauspisteiden sijoitus ilmastointikoneessa. Taulukossa 2 on selitys mittauspisteistä.



KUVA 5. Mittauspisteet ilmastointikoneessa kostutusjäähdytyksellä



KUVA 6. Mittauspisteet höyrystysjäähdytyksessä

TAULUKKO 2. Mittauspisteiden selitykset

TE 01	Ulkoilman lämpötila
TE 02	Tuloilman lämpötila LTO: jälkeen
TE 10	Tuloilman lämpötila
TE 07	Tuloilman lämpötila höyrystyksen jälkeen
ME 10	Tuloilman suhteellinen kosteus
TE 30	Poistoilman lämpötila
ME 30	Poistoilman suhteellinen kosteus
TE 31	Postoilman lämpötila kostutuksen jälkeen
TE 32	Jäteilman lämpötila

3.2 Mittaustulokset

Mittaustulokset sekä kostutus- että suorahöyrystysjäähdytyksellä on esitetty taulukoissa 3 ja 4.

TAULUKKO 3. Ilmastointikoneen mitatut arvot kostutusjäähdytyksellä

Päivä	klo:	TE01 [°C]	TE02 [°C]	TE10 [°C]	TE30 [°C]	TE 31 [°C]	TE32 [°C]	ME 10 [RH]	ME 30 [RH]
3.6.2013	15:04	28,5	24,0	26,6	26,5	21,3	28,5	36,0	36,0
	15:19	28,9	24,0	24,3	26,7	20,9	28,5	42,0	36,0
	15:34	28,6	24,0	24,2	26,6	20,9	28,5	39,0	36,0
	15:49	28,5	24,0	24,1	26,6	21,0	28,4	42,0	36,0
	16:04	28,9	24,0	24,1	26,6	20,8	28,7	43,0	36,0
5.6.2013	12:10	25,1	27,0	28,3	27,8	24,1	26,4	29,0	30,0
	12:20	24,0	22,0	23,4	27,1	20,2	24,3	37,0	31,0
	12:30	24,1	22,0	22,8	26,4	20,3	24,1	37,0	31,0
	12:40	23,1	21,0	22,4	26,1	19,6	23,7	40,0	33,0
	12:50	23,6	21,0	22,2	25,8	19,6	23,9	40,0	33,0
	13:00	24,1	22,0	22,3	25,7	19,8	24,4	40,0	33,0

TAULUKKO 4. ilmastointikoneen mitatut arvot suora­höyry­stys­jäähdytyksellä

Päivä	Klo:	TE 01 [°C]	TE 07 [°C]	TE 10 [°C]	TE30 [°C]	ME 10 [RH]	ME 30 [RH]
3.6.2013	13:43	28,5	27	28,6	26,5	50	36,0
	13:58	28,3	20	20,7	26,7	52	36,0
	14:13	27,8	19	19,8	26,6	57	36,0
	14:28	27,7	19	19,4	26,6	59	36,0
	14:43	28,8	19	19,4	26,6	57	36,0
5.6.2013	13:00	23,9	19	22,3	27,8	40	30,0
	13:10	24,3	16	17,3	27,1	51	31,0
	13:20	23,8	16	17,6	26,4	51	31,0
	13:30	24,2	16	17,2	26,1	52	33,0
	13:40	24,5	17	17,4	25,8	51	33,0
	13:50	24,2	16	17,4	25,7	51	33,0

4 MITTAUSTULOSTEN TARKASTELU

4.1 Laskennassa käytetyt yhtälöt

Ilman entalpialla tarkoitetaan sen suhteellista lämpösisältöä. Se on kuivan ilman ja vesihöyryn entalpioiden summa. Entalpia h lasketaan kaavalla 1 (kJ/kg). (Seppänen 1996, 189.)

$$h = 1,006t + x(2501 + 1,85t) \quad \text{KAAVA 1}$$

missä

t on kostean ilman lämpötila, °C

x on ilman kosteus, kg/kg

Suhteellinen kosteus määritellään ilmassa vallitsevan vesihöyryn osapaineen suhteena samaa lämpötilaa vastaavan vesihöyryn kyllästymispaineeseen. Suhteellinen kosteus määritetään kaavalla 2. (Seppänen 1996, 188.)

$$\varphi = \frac{p_h}{p_{hs}} \quad \text{KAAVA 2}$$

missä

p_h on Vesihöyryn osapaine, Pa

p_{hs} on vesihöyryn kyllästymispaine, Pa

Ilman absoluuttinen kosteus voidaan laskea kaavalla 3 (Seppänen 1996, 188).

$$x = 0,6220 \frac{p_h}{p - p_h} \quad \text{KAAVA 3}$$

missä

p on kostean ilman kokonaispaine, Pa

p_h on vesihöyryn osapaine, Pa

Jokaista lämpötilaa vastaa vesihöyryn tietty maksimaallinen paine. Tätä sanotaan vesihöyryn kyllästymispaineeksi ja se voidaan laskea kaavalla 4. (Seppänen 1996, 188.)

$$p_{hs} = \frac{\exp(77,345 + 0,0057T + \frac{7235}{T})}{T^{8,2}} \quad \text{KAAVA 4}$$

missä

T on kostean ilman lämpötila, K

Huonetilan jäähdysteho (kuivateho) lasketaan kaavalla 5 (Seppänen 1996, 193).

$$\dot{Q} = q_{vi} \rho_i c_{pi} (T_2 - T_1) \quad \text{KAAVA 5}$$

missä

q_{vi} on ilmavirta, m³/s

ρ on ilman tiheys, kg/m³

c_{pi} on kostean ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

T_1 on alkutilan lämpötila, °C

T_2 on lopputilan lämpötila, °C

Huonetilan kokonaisjäähdytysteho (kW) lasketaan kaavalla 6 (Seppänen 1996, 188).

$$\Phi = q_{vi}\rho_i (h_{poisto} - h_{ulko})$$

KAAVA 6

missä

q_v on ilmavirta, m³/s

ρ on ilman tiheys, kg/m³

h_{poisto} on ilman lopputilan entalpia, kJ/kg

h_{ulko} on ilman alkutilan entalpia, kJ/kg

Lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhteella tarkoitetaan tuloilman lämpötilan nousun suhdetta lämmönsiirtimeen tulevien ilmavirtojen lämpötilaerotukseen. (Seppänen 1996, 196). Ilmavirrat on esitetty kuvassa 7.

$$\eta = \frac{T_4 - T_3}{T_1 - T_3}$$

KAAVA 7

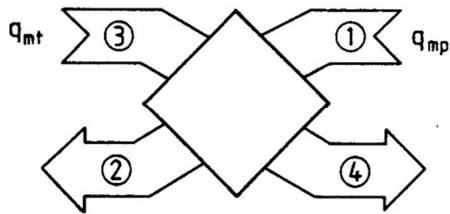
missä

T_1 on poistoilman lämpötila, °C

T_2 on jäteilman lämpötila, °C

T_3 on ulkoilman lämpötila, °C

T_4 on LTO:n jälkeinen lämpötila, °C



KUVA 7. Lämmöntalteenottolaitteen ilmavirrat

4.2 Laskennan tulokset

Tuloilman vesihöyryn kyllästymispaine, absoluuttinen kosteus ja ominaisentalpia lasketaan kaavojen 1, 2, ja 4 perusteella molemmille jäähdystavoille. Taulukossa 5 ja 6 on esitetty mittaustulosten perusteella lasketut kyseiset arvot ja niistä lasketut keskiarvot.

TAULUKKO 5. Kostutusjäähdytyksen tuloilman lämpötilan, kosteussisällön ja ominaisentalpian lasketut keskiarvot

	TE 01 [°C]	TE 10 [°C]	TE10 [K]	ME 10 [RH]	Phs [Pa]	Ph [Pa]	x [kg/kg k.i.]	h [kJ/kg k.i.]
	28,5	26,6	299,8	36	3472	1250	0,0078	46,6
	28,9	24,3	297,5	42	3029	1272	0,0079	44,6
	28,6	24,2	297,4	39	3011	1174	0,0073	42,9
	28,5	24,1	297,3	42	2993	1257	0,0078	44,1
	28,9	24,1	297,3	43	2993	1287	0,0080	44,6
	25,1	28,3	301,5	29	3835	1112	0,0069	46,1
	24,0	23,4	296,6	37	2870	1062	0,0066	40,3
	24,1	22,8	296,0	37	2767	1024	0,0063	39,1
	23,1	22,4	295,6	40	2701	1080	0,0067	39,6
	23,6	22,2	295,4	40	2668	1067	0,0066	39,2
	24,1	22,3	295,5	40	2685	1074	0,0067	39,4
Keskiarvo	26,0	23,3					0,0071	41,5

TAULUKKO 6. Suorahöyrystysjäähdytyksen tuloilman lämpötilan kosteussisällön ja ominaisentalpian lasketut keskiarvot

	TE 01 [°C]	TE 10 [°C]	TE10 [K]	ME 10 [RH]	Phs [Pa]	Ph [Pa]	x [kg/kg k.i.]	h [kJ/kg k.i.]
	28,5	28,6	301,8	50	3903	1951	0,0122	60,0
	28,3	20,7	293,9	52	2434	1266	0,0079	40,8
	27,8	19,8	293,0	57	2303	1312	0,0082	40,6
	27,7	19,4	292,6	59	2246	1325	0,0082	40,4
	28,8	19,4	292,6	57	2246	1280	0,0080	39,7
	23,9	22,3	295,5	40	2685	1074	0,0067	39,4
	24,3	17,3	290,5	51	1969	1004	0,0062	33,2
	23,8	17,6	290,8	51	2007	1023	0,0063	33,8
	24,2	17,2	290,4	52	1956	1017	0,0063	33,3
	24,5	17,4	290,6	51	1981	1010	0,0063	33,4
	24,2	17,4	290,6	51	1981	1010	0,0063	33,4
Keskiarvo	26,0	18,5					0,0071	36,5

Poistoilman vesihöyryn kyllästymispaine, absoluuttinen kosteus ja ominaisentalpia lasketaan kaavojen 1, 2 ja 3 perusteella molemmille jäähdytystavoille. Taulukossa 7 ja 8 on esitetty mittaustulosten perusteella lasketut kyseiset arvot ja niistä lasketut keskiarvot.

TAULUKKO 7. Kostutusjäähdytyksen poistoilman lämpötilan, kosteussisällön ja ominaisentalpian lasketut keskiarvot

	TE 01 [°C]	TE 30 [°C]	TE30 [K]	ME 30 [RH]	Phs [Pa]	Ph [Pa]	x [kg/kg k.i.]	h [kJ/kg k.i.]
	28,5	26,5	299,7	36,0	3452	1242,7	0,0077	46,4
	28,9	26,7	299,9	36,0	3493	1257,5	0,0078	46,8
	28,6	26,6	299,8	36,0	3472	1250,1	0,0078	46,6
	28,5	26,6	299,8	36,0	3472	1250,1	0,0078	46,6
	28,9	26,6	299,8	36,0	3472	1250,1	0,0078	46,6
	25,1	27,8	301,0	30,0	3725	1117,6	0,0069	45,7
90	24,0	27,1	300,3	31,0	3576	1108,6	0,0069	44,8
	24,1	26,4	299,6	31,0	3432	1063,8	0,0066	43,4
	23,1	26,1	299,3	33,0	3372	1112,6	0,0069	43,9
	23,6	25,8	299,0	33,0	3312	1093,0	0,0068	43,2
	24,1	25,7	298,9	33,0	3293	1086,6	0,0067	43,0
Keskiarvo	26,0	26,4					0,0073	45,1

TAULUKKO 8. Suorahöyrystysjäähdytyksen poistoilman lämpötilan kosteussisällön ja ominaisentalpian lasketut keskiarvot

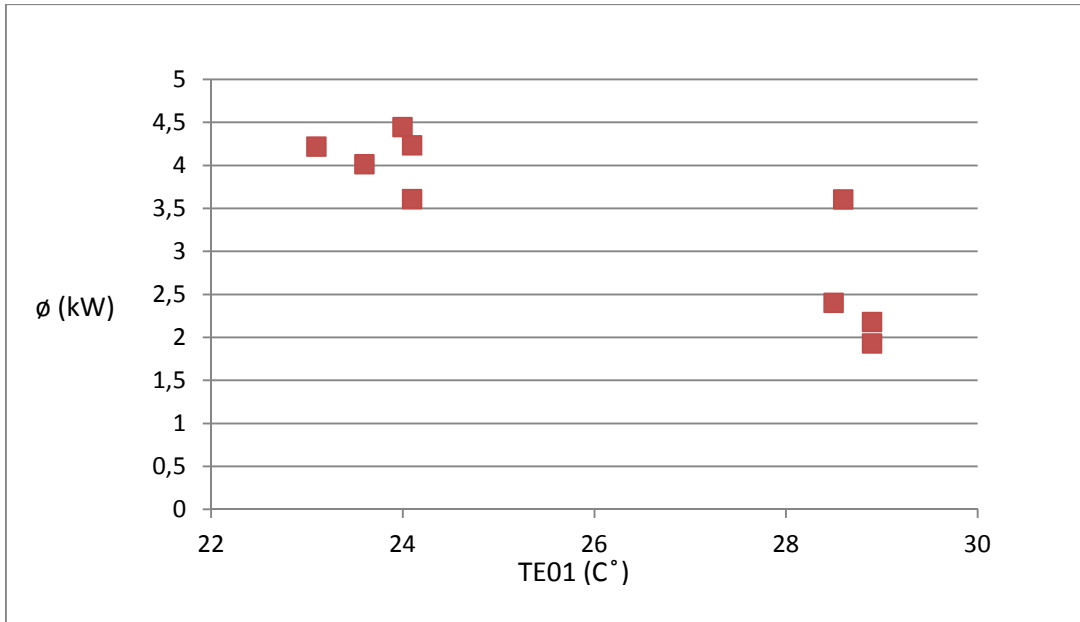
	TE 01 [°C]	TE 30 [°C]	TE30 [K]	ME 30 [RH]	Phs [Pa]	Ph [Pa]	x [kg/kg k.i.]	h [kJ/kg k.i.]
	28,5	26,5	299,7	36,0	3452,1	1242,7	0,0077	46,4
	28,3	26,7	299,9	36,0	3492,9	1257,5	0,0078	46,8
	27,8	26,6	299,8	36,0	3472,4	1250,1	0,0078	46,6
	27,7	26,6	299,8	36,0	3472,4	1250,1	0,0078	46,6
	28,8	26,6	299,8	36,0	3472,4	1250,1	0,0078	46,6
	23,9	27,8	301,0	30,0	3725,4	1117,6	0,0069	45,7
	24,3	27,1	300,3	31,0	3576,0	1108,6	0,0069	44,8
	23,8	26,4	299,6	31,0	3431,8	1063,8	0,0066	43,4
	24,2	26,1	299,3	33,0	3371,5	1112,6	0,0069	43,9
	24,5	25,8	299,0	33,0	3312,2	1093,0	0,0068	43,2
	24,2	25,7	298,9	33,0	3292,7	1086,6	0,0067	43,0
Keskiarvo	26,0	26,4					0,0072	45,0

Huonetilan kokonaisjäähdytysteho lasketaan kaavan 6 perusteella molemmille jäähdytystavoille. Taulukossa 9 ja 10 on esitetty mittaustulosten perusteella lasketut kyseiset arvot.

TAULUKKO 9. Huonetilan kokonaisjäähdytysteho kostutusjäähdytyksessä

h1 [kJ/kg k.i.]	h2 [kJ/kg k.i.]	Ø [kW]
46,6	46,4	-0,2
44,6	46,8	2,2
42,9	46,6	3,6
44,1	46,6	2,4
44,6	46,6	1,9
46,1	45,7	-0,4
40,3	44,8	4,4
39,1	43,4	4,2
39,6	43,9	4,2
39,2	43,2	4,0
39,4	43,0	3,6

Kokonaisjäähdytystehon keskiarvo kostutusjäähdytyksessä on 3,4 kW. Kuvassa 8 on esitetty lasketut tehot ulkolämpötilan funktiona.

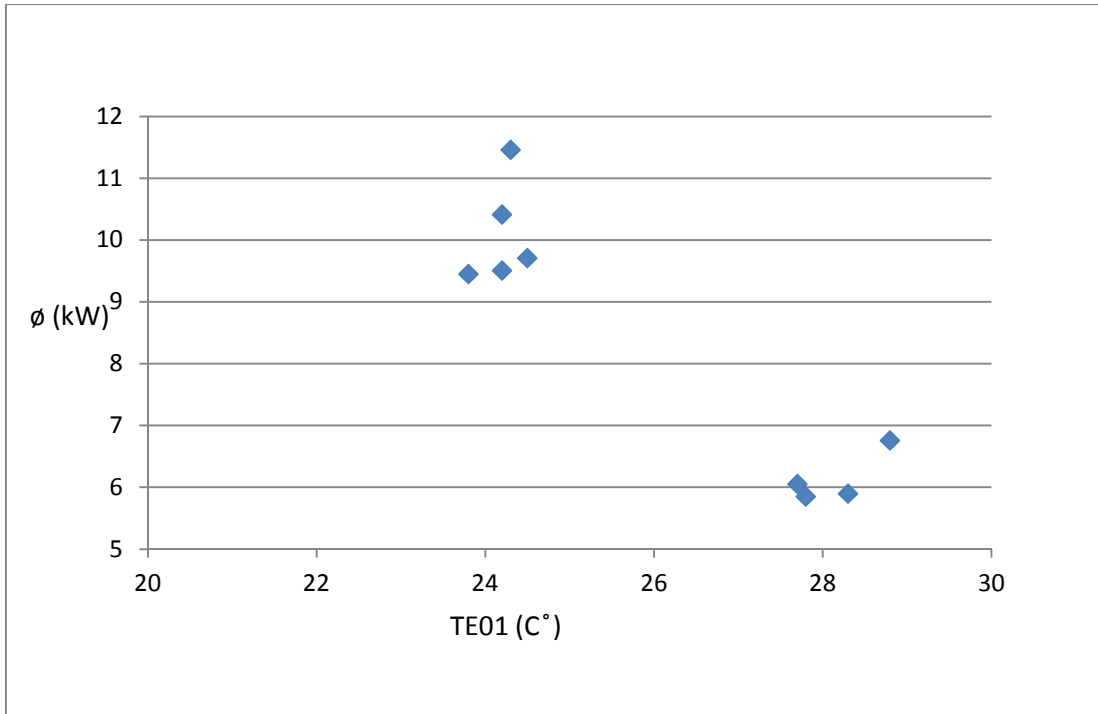


KUVA 8. Kokonaisjäähdytysteho ulkolämpötilan funktiona kostutusjäähdytyksessä

TAULUKKO 10. Huonetilan kokonaisjäähdytysteho suora höyrystysjäähdytyksessä

h1 [kJ/kg k.i.]	h2 [kJ/kg k.i.]	ø [kW]
60,0	46,4	-13,3941
40,8	46,8	5,9
40,6	46,6	5,8
40,4	46,6	6,0
39,7	46,6	6,8
39,4	45,7	6,2
33,2	44,8	11,5
33,8	43,4	9,5
33,3	43,9	10,4
33,4	43,2	9,7
33,4	43,0	9,5

Kokonaisjäähdytystehon keskiarvo suora höyrystysjäähdytyksessä on 8,3 kW. Kuvassa 9 on esitetty lasketut tehot ulkolämpötilan funktiona.



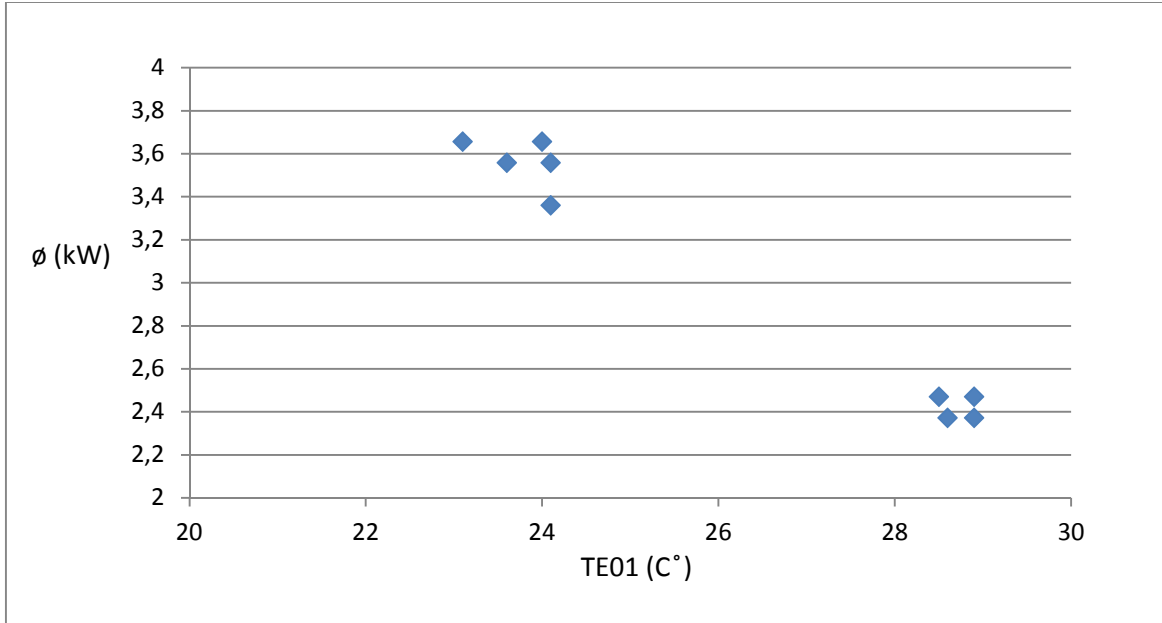
KUVA 9. Kokonaisjäähdytysteho ulkolämpötilan funktiona

Huonetilan jäähdytysteho (kuivateho) lasketaan kaavan 5 perusteella, molemmille jäähdytystavoille. Taulukossa 11 ja 12 on esitetty mittaustulosten perusteella lasketut kyseiset arvot.

TAULUKKO 11. Huonetilan jäähdytysteho (kuiva teho) kostutusjäähdytyksessä

TE01 C	TE10 C	TE30	ø [kW]
28,5	26,6	26,5	-0,09881
28,9	24,3	26,7	2,37144
28,6	24,2	26,6	2,37144
28,5	24,1	26,6	2,47025
28,9	24,1	26,6	2,47025
25,1	28,3	27,8	-0,49405
24,0	23,4	27,1	3,65597
24,1	22,8	26,4	3,55716
23,1	22,4	26,1	3,65597
23,6	22,2	25,8	3,55716
24,1	22,3	25,7	3,35954

Kuivatehon keskiarvo kostutusjäähdytyksessä on 3,1 kW. Kuvassa 10 on esitetty lasketut tehot ulkolämpötilan funktiona.

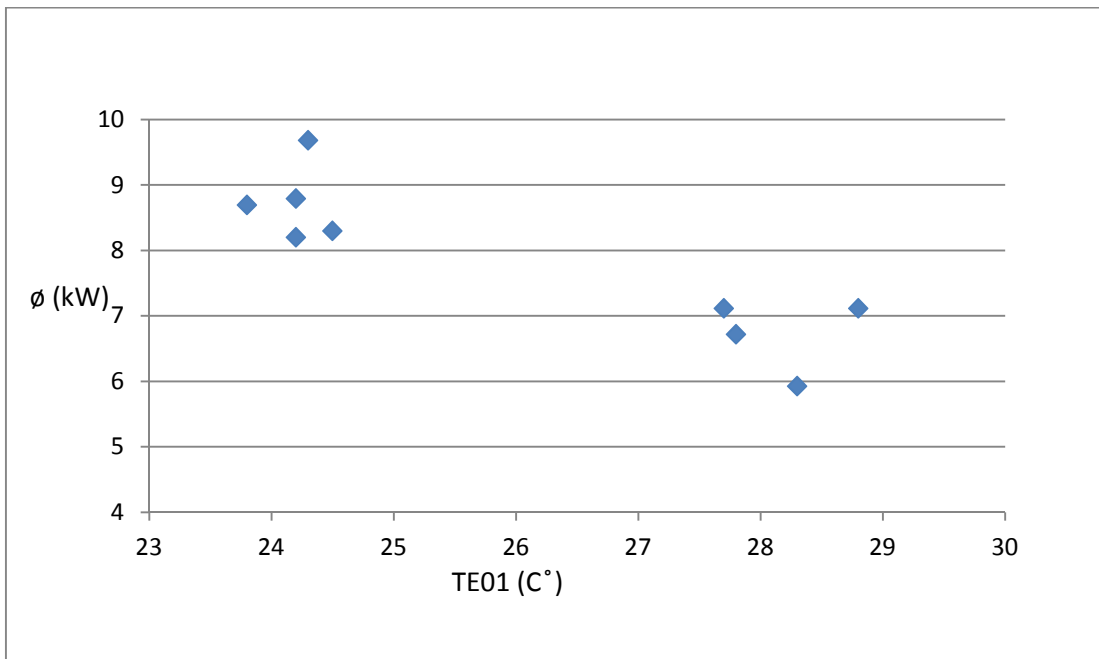


KUVA 10. Kuivateho ulkolämpötilan funktiona kostutusjäähdytyksessä

TAULUKKO 12. Huonetilan jäähdytysteho (kuiva teho) suorahöyrystysjäähdytyksessä

TE01 C	TE10 C	TE30	ø [kW]
28,5	28,6	26,5	-2,07501
28,3	20,7	26,7	5,9286
27,8	19,8	26,6	6,71908
27,7	19,4	26,6	7,11432
28,8	19,4	26,6	7,11432
23,9	22,3	27,8	5,43455
24,3	17,3	27,1	9,68338
23,8	17,6	26,4	8,69528
24,2	17,2	26,1	8,79409
24,5	17,4	25,8	8,30004
24,2	17,4	25,7	8,20123

Kuivatehon keskiarvo suorahöyrystysjäähdytyksessä on 7,8 kW. Kuvassa 11 on esitetty lasketut tehot ulkolämpötilan funktiona.



KUVA 11. Kuivateho ulkolämpötilan funktiona suora höyrystysjäähdytyksessä

Taulukossa 13 on esitetty kostutusjäähdytyksen ja suora höyrystysjäähdytyksen keskimääräiset tehot ja niiden erotus verrattuna suora höyrystyksellä saavutettuun tehoon.

TAULUKKO 13. Kostutusjäähdytyksen ja suora höyrystysjäähdytyksen tehojen vertailu

	Kostutusjäähdytys (kW)	Suora höyrystysjäähdytys (kW)	%
Kokonaisjäähd.teho	3,4	8,3	59,0
Kuivateho	3,1	7,8	60,0

Lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhde lasketaan kostutusjäähdytyksen mitatuista arvoista käyttäen kaavaa 7. Taulukossa 14 on esitetty mittaustulosten perusteella lasketut kyseiset arvot.

TAULUKKO 14. Lämmönsiirtimen lämpötilasuhde

TE 01 [°C]	TE 02 [°C]	TE 31 [°C]	η (%)
28,5	24,0	21,3	62,5
28,9	24,0	20,9	61,3
28,6	24,0	20,9	59,7
28,5	24,0	21,0	60,0
28,9	24,0	20,8	60,5
25,1	27,0	24,1	-190,0
24,0	22,0	20,2	52,6
24,1	22,0	20,3	55,3
23,1	21,0	19,6	60,0
23,6	21,0	19,6	65,0
24,1	22,0	19,8	48,8

Lämmönsiirtimen lämpötilasuhteen keskiarvo on 58,6 %.

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää ilmastointikoneen suora- ja kostutusjäähdytyksellä saavutettavat huonetilan kokonais- ja kuivat jäähdytystehot. Mittaukset suoritettiin OAMK:n LVI-laboratorion ilmastointikoneella kahtena hellepäivänä.

Kostutusjäähdytyksellä saavutettavat tehot jäävät alle puoleen suora- ja kostutusjäähdytyksellä saavutettavista tehoista. Huonetilan kokonaisjäähdytystehoksi saatiin keskimäärin suora- ja kostutusjäähdytysjärjestelmällä 8,3 kW ja kostutusjäähdytysjärjestelmällä 3,4 kW. Huonetilan kuivaksi jäähdytys-tehoksi saatiin keskimäärin suora- ja kostutusjäähdytysjärjestelmällä 7,8 kW ja kostutusjäähdytys-järjestelmällä 3,1 kW.

Kostutusjäähdytyksellä voitiin ulkoilman lämpötilaa laskea noin 4 °C:n verran, kun ulkolämpötila oli noin 28 °C, ja 1 °C:n verran, kun ulkolämpötila oli 24 °C. Suora- ja kostutusjäähdytyksellä tuloilman lämpötila laskettiin noin 19 °C:seen, kun ulkoilman lämpötila oli noin 28 °C, ja 17 °C:seen, kun ulkoilman lämpötila oli noin 24 °C.

Lämmöntalteenottolaitteen, joka siirtää ulkoilman lämpöä jäteilmään, lämpötilasuhde oli noin 59 %.

LÄHTEET

Hakala, Pertti 1992. XIII Epäsuorat järjestelmät ilmastoinnissa. Ilmastoinnin jäähdytys: perusteet ja määritteet : käytännön esimerkkejä : moniste n:o 32 ja moniste n:o 33.

Suomen Kylmäyhdistys, 1–37.

Kuurola, Pentti 1999. OAMK:n LVI- ja energiatekniikan laboratorion suunnitelmat. Päättötyö. Oulun teknillinen oppilaitos. Koneosasto. LVI-tekniikan opintolinja.

Mentula, Jukka 1992. XII Suorahöyrystysjärjestelmät. Ilmastoinnin jäähdytys : perusteet ja määritteet : käytännön esimerkkejä : moniste n:o 32 ja moniste n:o 33.

Suomen Kylmäyhdistys, 1–8.

Nyman, Mikko 1992. VI Vaihtoehtoiset jäähdytysjärjestelmät. Ilmastoinnin jäähdytys : perusteet ja määritteet : käytännön esimerkkejä : moniste n:o 32 ja moniste n:o 33.

Suomen Kylmäyhdistys, 1–17.

LVI73-40026. 1993:4. Rakennusten jäähdytys kostutusjäähdytyksellä ja kuivausjäähdytyksellä. Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto.

Seppänen, Olli 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Kirjapaino Kiitorata Oy.

Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.

Seppänen, Olli – Seppänen, Matti. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.