

KHẢO SÁT VÀ ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC YẾU TỐ VẬN HÀNH CỦA MÁY ĐIỀU HÒA ĐẾN TIÊU THỤ ĐIỆN NĂNG TRONG CÁC CÔNG TRÌNH

EXAMINING AND ANALYZING THE IMPACT OF OPERATING FACTORS OF AIR CONDITIONING SYSTEMS ON ENERGY USED IN BUILDINGS

Nguyễn Minh Hòa¹, Nguyễn Lam²

¹Trường Đại học Trà Vinh; hoatvu@tvu.edu.vn

²Trường Cao đẳng Nghề Đồng Tháp; nguyennlam128@gmail.com

Tóm tắt - Hiện nay, các hệ thống điều hòa không khí được dùng rất phổ biến trong các tòa nhà văn phòng. Việc điều chỉnh nhiệt độ đặt cho hệ thống điều hòa không khí chủ yếu dựa vào ý thích chủ quan của người dùng mà chưa quan tâm nhiều đến mức độ tiêu thụ năng lượng của các hệ thống điều hòa không khí. Để nghiên cứu sự ảnh hưởng của hệ thống điều hòa không khí đến năng lượng tiêu thụ trong các tòa nhà văn phòng, bài báo này trình bày một nghiên cứu mô phỏng phân tích và khảo sát năng lượng tiêu thụ của tòa nhà văn phòng Khoa Kỹ thuật và Công nghệ - Trường Đại học Trà Vinh. Nghiên cứu này phân tích việc điều chỉnh nhiệt độ của hệ thống điều hòa không khí và đánh giá mức độ tiêu thụ năng lượng của hệ thống, từ đó đề xuất các giải pháp quản lý năng lượng tối ưu cho các tòa nhà văn phòng.

Từ khóa - tiết kiệm năng lượng; công trình hiệu quả năng lượng; công trình xanh; hệ thống điều hòa không khí; nhiệt độ; mô phỏng năng lượng trong tòa nhà.

Abstract - Nowadays air conditioning systems have been used commonly in office buildings. The set point temperature tuning of air conditioning systems depends heavily on user preferences; therefore, the energy consumption of air conditioning systems has not received much attention. To investigate the impact of air conditioning systems on the energy used in office buildings, this paper presents a simulation study analyzing and examining the energy consumption in the office building of School of Engineering and Technology, Tra Vinh University. This study shows the analysis of set point temperature tuning of air conditioning system and evaluate its degrees of energy used, and then proposes optimal measures for energy management of the office buildings.

Key words - save energy; energy efficient building; green building; air conditioning system; temperature; energy simulation in buildings.

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, với sự phát triển của kinh tế và xã hội, các công trình hạ tầng như nhà hàng, khách sạn, trung tâm cao cấp, hiện đại được xây dựng ngày càng nhiều, dẫn đến nhu cầu về sử dụng năng lượng tăng cao [1, 2]. Tuy nhiên, việc sử dụng và tối ưu hóa quản lý năng lượng vẫn chưa được quan tâm đúng mức.

Những năm gần đây, vấn đề cải thiện tiện nghi nhiệt độ trong công trình xây dựng [3, 4, 5, 6] để tiết kiệm năng lượng đang ngày càng thu hút được sự quan tâm không chỉ của các nhà sản xuất và kinh doanh năng lượng mà còn cả kiến trúc sư, kỹ sư công trình. Nhiều hội thảo với sự tham gia của những chuyên gia, nhà phân tích [7] về tiết kiệm năng lượng được tổ chức. Nhiều công trình xanh, thích ứng nhiệt được nghiên cứu, thiết kế và xây dựng [8, 9]. Tuy vậy, việc thiết kế kiến trúc kết hợp với tiết kiệm năng lượng là công việc còn nhiều khó khăn.

Mặt khác, công nghệ phát triển đã thúc đẩy việc mô phỏng thiết kế [10, 11, 12, 13], phân tích năng lượng công trình xây dựng [14, 15, 16] dễ dàng hơn. Việc ứng dụng mô phỏng để tối ưu hóa thiết kế năng lượng [17] bắt đầu được chú ý trong cộng đồng xây dựng.

Mô phỏng hiệu năng đã chứng tỏ khả năng trong giải quyết nhiều vấn đề phức tạp mà các phương pháp thông thường không đáp ứng được. Chẳng hạn như việc dự báo chính xác khả năng thông gió tự nhiên, khả năng tiết kiệm năng lượng,... Do đó, mô phỏng năng lượng công trình nên được áp dụng rộng rãi trong thiết kế các công trình có hiệu quả năng lượng. Mô phỏng giúp người thiết kế biết cách kết hợp các giải pháp thiết kế thụ động lẫn chủ động để đem lại hiệu năng cao nhất cho công trình.

Vì vậy, để nâng cao tính hiệu quả cũng như lượng năng lượng tiết kiệm được, đòi hỏi chúng ta thực sự quan tâm và hiểu biết cận kề những lợi ích về kinh tế và môi trường của kiến trúc tiết kiệm năng lượng [18, 19]. Đồng thời, phải có các nghiên cứu định tính và định lượng về các yếu tố ảnh hưởng đến năng lượng tiêu thụ của các tòa nhà. Một trong những nguồn tiêu thụ năng lượng lớn (chiếm tới 30% tổng các nguồn năng lượng tiêu thụ) là các tòa nhà văn phòng và chung cư, trong đó, phần lớn năng lượng được tiêu thụ bởi các hệ thống điều hòa nhiệt độ.

Tuy nhiên các nghiên cứu định lượng về sự ảnh hưởng của hệ thống máy điều hòa không khí đến điện năng tiêu thụ trong các tòa nhà tại Việt Nam vẫn còn hiếm. Trong khi đó, việc quản lý và điều khiển nhiệt độ của hệ thống điều hòa không khí lại có tác động lớn đến hiệu quả quản lý sử dụng năng lượng trong các tòa nhà. Vì vậy, trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả đề xuất một nghiên cứu định lượng dựa trên mô phỏng năng lượng về sự ảnh hưởng của các hệ thống điều hòa không khí đến điện năng tiêu thụ, từ đó, phân tích và đề xuất các giải pháp cho những người sử dụng, quản lý năng lượng hoặc triển khai thiết kế tiết kiệm năng lượng trong các tòa nhà văn phòng.

2. Mô tả khảo sát

2.1. Đối tượng khảo sát

Đối tượng khảo sát được chọn là tòa nhà văn phòng Khoa Kỹ thuật và Công nghệ (KTCN) thuộc Trường Đại học Trà Vinh. Việc điều khiển nhiệt độ trong tòa hiện nay chủ yếu thông qua hệ thống điều hòa nhiệt độ trong tòa nhà (Hình 1) và phụ thuộc vào sở thích của người dùng.

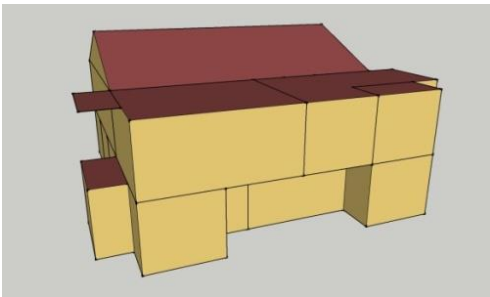


Hình 1. Tòa nhà văn phòng Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

Ngoài ra, kiểm soát dòng nhiệt ra/vào kết cấu bao che (KCBC) hay còn gọi là vỏ công trình (không gian khép kín bên trong công trình) bao gồm tường, cửa sổ, cửa đi, mái, cửa mái... phải phù hợp với điều kiện tự nhiên và khí hậu của địa điểm xây dựng, nhằm đảm bảo tối đa tiện nghi trong công trình, đồng thời giảm thiểu việc sử dụng năng lượng để công trình có thể vận hành bình thường.

2.2. Mô tả công trình

Tòa nhà văn phòng Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh được mô hình hóa bằng phần mềm Sketchup (Hình 2).



Hình 2. Mô hình mô phỏng của tòa nhà văn phòng Khoa Kỹ thuật và Công nghệ

Tòa nhà văn phòng Khoa KTCN có 2 tầng và nhiều phòng, trên cơ sở đó, ta giả lập nhóm phân vùng nhiệt cho các khu vực như sau:

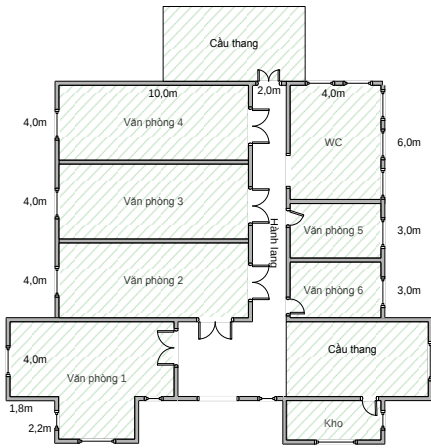
Mặt bằng tầng trệt (Hình 3) được phân vùng nhiệt như sau: Văn phòng (có 6 văn phòng khác nhau, từ văn phòng 1 đến 6); Hành lang; Khu vực vệ sinh và Kho lưu trữ.

Mặt bằng tầng lầu (Hình 4) được phân vùng nhiệt như sau: Văn phòng; Phòng họp; Phòng học; Hành lang; Khu vực vệ sinh và Kho lưu trữ.

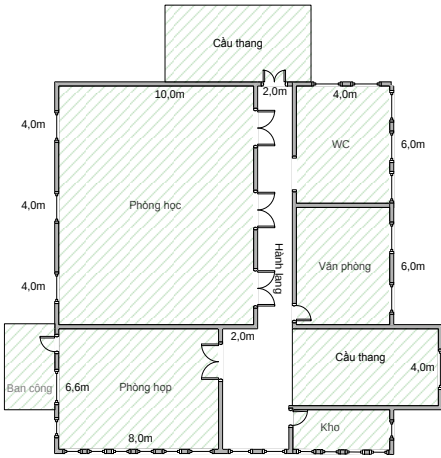
Ngoài việc phân vùng nhiệt cho tòa nhà văn phòng Khoa KTCN như Hình 2, Hình 3, việc mô tả về quy hoạch nhiệt cho từng khu vực được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Bảng quy hoạch nhiệt độ của tòa nhà

TT	Khu vực	Điều hòa	Số người làm việc
1	Văn phòng	Có	06
2	Phòng họp	Có	14
3	Phòng học	Không	60
4	Nhà vệ sinh	Không	-
5	Hành lang	Không	-
6	Kho lưu trữ	Không	-



Hình 3. Mặt bằng tầng trệt của tòa nhà



Hình 4. Mặt bằng tầng lầu của tòa nhà

Để tính toán điện năng tiêu thụ của tòa nhà phù hợp với thực tế, ta thực hiện một số giả thuyết về sử dụng quy hoạch nhiệt của tòa nhà như sau:

Nhóm Văn phòng có lịch trình hoạt động như sau: từ thứ Hai đến thứ Bảy, buổi sáng từ 7:00 giờ đến 11:00 giờ và buổi chiều từ 13:00 giờ đến 17:00 giờ. Ngoài thời gian trên thì không có ai làm việc trong văn phòng.

Đối với Phòng họp: có 2 cuộc họp vào thứ Ba và thứ Năm mỗi tuần, từ 13:00 giờ đến 17:00 giờ, sức chứa của phòng họp là 14 người. Ngoài thời gian trên thì không có ai làm việc trong phòng họp.

Đối với Lớp học: ước tính tỷ lệ 0,5 người/m². Do đó, sức chứa tối đa là khoảng 60 người. Thời gian làm việc từ thứ Hai đến thứ Bảy, buổi sáng từ 7:00 giờ đến 11:00 giờ và buổi chiều từ 13:00 giờ đến 17:00 giờ. Ngoài thời gian trên thì không có ai trong lớp học.

Lịch hàng năm được thực hiện từ lịch trình hàng tuần như đã được mô tả.

3. Tính toán và phân tích đánh giá

3.1. Công thức tính toán tổn hao nhiệt

Việc xác định nhiệt trở $R_0[m^2K/W]$, hệ số tổng truyền nhiệt $U_0[W/m^2K]$ của công trình được tính theo công thức (1) và (2), đánh giá hiệu quả tiết kiệm năng lượng của KCBC là chỉ số truyền nhiệt tổng OTTV $[W/m^2]$ (Overall

Thermal Transmission Value) của lớp vỏ công trình [20], cụ thể tính toán như sau:

$$R_0 = \frac{1}{h_N} + \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{\lambda_i} + R_a + \frac{1}{h_T} \quad (1)$$

$$U_0 = \frac{1}{R_0} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} OTTV_{T,i} = & (1 - WWR_i) \times U_{0,Ti} \times \alpha \times (TD_{eq,i} - \Delta T) \\ & + (1 - WWR_i) \times U_{0,Ti} \times \Delta T + WWR_i \times K_{cs,i} \times I_{0,i} \times \beta \\ & + WWR_i \times U_{0,K} \times \Delta T \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{với } TD_{eq,i} = I_{0,i}/h_N + \Delta T = I_{0,i}/h_N + t_N - t_T \quad (4)$$

Trong đó: $h_N [W/m^2K]$, $h_T [W/m^2K]$ lần lượt là hệ số trao đổi nhiệt bề mặt ngoài và bề mặt trong của KCBC; $b_i [m]$ là bề dày của lớp vật liệu thứ i ; $\lambda_i [W/mK]$ là hệ số dẫn nhiệt của vật liệu lớp thứ i trong KCBC; n là số lượng các lớp vật liệu trong KCBC; $R_a [m^2K/W]$ là nhiệt trở của lớp không khí bên trong KCBC (nếu có); WWR_i là tỷ lệ diện tích cửa kính trên diện tích chung của bức tường; $U_{0,T} [W/m^2K]$ là hệ số tổng truyền nhiệt của phần tường đặc; $U_{0,K} [W/m^2K]$ là hệ số tổng truyền nhiệt của cửa kính; α là hệ số hấp thụ bức xạ của bề mặt vật liệu phần tường đặc; $\Delta T = t_N - t_T$, [K] là chênh lệch nhiệt độ của không khí bên ngoài (t_N) và bên trong nhà (t_T); $TD_{eq} [K]$ là chênh lệch nhiệt độ tương đương, có kể đến tác dụng của cường độ bức xạ mặt trời (BXMT) chiếu lên bề mặt tường; $I_0 [W/m^2]$ cường độ tổng xạ của BXMT chiếu lên bề mặt tường và cửa kính; K_{cs} là hệ số nhận nhiệt BXMT của cửa kính - ở một số nước ký hiệu hệ số này là SHGC (Solar Heat Gain Coefficient); β là hệ số giảm hấp thụ BXMT của cửa kính do tác dụng của kết cấu che nắng (còn có tên là External Shading Multiplier- ESM) - gọi tắt là "hệ số giảm bức xạ".

Mặt khác, để xác định mức tiêu thụ năng lượng, chủ yếu là xác định tiêu hao năng lượng cho điều hòa không khí, ta cần thu thập dữ liệu về cấu tạo và thông số vật lý của vật liệu KCBC dùng để tính toán năng lượng cho tòa nhà, gồm có dữ liệu thời tiết, thông số của công trình hoặc thành phần cấu trúc của tòa nhà. Từ đó, có thể xác định năng suất lạnh $Q_0 [kW]$ và điện năng tiêu hao $N [kW]$ của hệ thống điều hòa theo công thức (5), (6) như sau:

$$Q_0 = Q_{thừa} + L_N(I_N - I_T) \quad (5)$$

$$N = \frac{Q_0}{COP} \quad (6)$$

Trong đó: $Q_{thừa} [kW]$ là lượng nhiệt thừa bên trong nhà, bao gồm nhiệt truyền vào nhà qua KCBC do chênh lệch nhiệt độ và BXMT, cộng với nhiệt tỏa bên trong nhà từ các nguồn tỏa nhiệt khác nhau; $L_N [kg/s]$ là lưu lượng không khí rò; $I_N [kJ/kg]$ và $I_T [kJ/kg]$ lần lượt là entanpi của không khí bên ngoài và không khí trong phòng; COP là hệ số hiệu quả của máy điều hòa không khí.

Ngoài việc tính tiêu hao năng lượng cho điều hòa không khí, còn phải tính tiêu hao năng lượng cho chiếu sáng, thiết bị dùng điện và tổng tiêu hao năng lượng của toàn công trình.

Thành phần cấu trúc của tòa nhà gồm có thông số của vật liệu xây dựng, các cửa lắp kính được sử dụng trong tòa nhà, lịch vận hành ...

Bảng 2. Dữ liệu tường, trần, sàn của tòa nhà

STT	Kết cấu công trình (Thành phần từ ngoài vào trong)	Chiều dày [m]	Hệ số dẫn nhiệt, λ [W/m.K]
1	Tường bên ngoài		
	Lớp vữa trát bên ngoài	0,02	0,93
	Gạch đục lỗ	0,10	0,58
	Khe hở không khí	0,01	0,13
	Gạch đục lỗ	0,10	0,58
2	Lớp vữa trát bên trong	0,02	0,93
	Tường bên trong		
	Lớp vữa trát bên ngoài	0,02	0,93
	Gạch đục lỗ	0,10	0,58
3	Lớp vữa trát bên trong	0,02	0,93
	Sàn tầng trệt		
	Gạch lát sàn	0,015	0,81
	Lớp bê tông nhẹ	0,02	0,93
4	Lớp bê tông nặng	0,12	1,55
	Sàn tầng lầu		
	Gạch lát sàn	0,015	0,81
	Lớp bê tông nhẹ	0,02	0,93
5	Lớp bê tông nặng	0,22	1,55
	Lớp vữa trát bên trong	0,02	0,93
	Mái nghiêng		
	Thép - tôn	0,005	57
6	Khe hở không khí	0,01	0,909
	Thép - tôn	0,005	57
	Mái bằng		
	Gạch lá nem	0,015	0,81
	Lớp bê tông nhẹ	0,010	0,93
	Tấm Polystyol	0,03	0,04
	Lớp bê tông nhẹ	0,05	0,93
	Vữa polymer chống thấm	0,02	0,93
	Bê tông nặng	0,12	1,55
	Lớp trát bên trong	0,01	0,93

Bảng 3. Dữ liệu cửa lắp kính của tòa nhà

Tên cửa sổ	Kích thước [mm]	Khung bao	Loại kính	Hệ số hấp thụ nhiệt [W/(m².K)]
KK1	1.800x2.100	Nhôm	Kính trong	5,84
KK2	2.000x3.900	Nhôm	Kính trong	5,84
PF D2	1.250x2.600	Nhôm	Kính trong	5,84
PF D3	900x2.600	Nhôm	Kính trong	5,84
S1	2.000x1.600	Nhôm	Kính trong	5,84
S2	1.000x1.600	Nhôm	Kính trong	5,84
S3	500x1.600	Nhôm	Kính trong	5,84
S4	600x600	Nhôm	Kính trong	5,84

3.2. Phân tích

Các đại lượng cần xác định trong quá trình chạy mô phỏng tính toán năng lượng của tòa nhà bao gồm: nhiệt độ đặt và năng lượng (điện năng) tiêu thụ. Tòa nhà được tính toán và phân tích bằng phần mềm Open Studio.

Tính toán điện năng tiêu thụ của tòa nhà được thực hiện 7 lần tương ứng cho mỗi giá trị nhiệt độ đặt, từ 22°C đến 28°C (nhiệt độ tiện nghi thoải mái cho người làm việc trong tòa nhà), để lấy giá trị năng lượng tiêu thụ trong một năm của tòa nhà ở mỗi giá trị nhiệt độ. Bảng 4 cho thấy năng lượng tiêu thụ của tòa nhà trong một năm khi cài đặt nhiệt độ điều hòa không khí ở 22°C.

Bảng 4. Năng lượng tiêu thụ khi cài đặt ở 22°C

	Tháng 1	Tháng 2	Tháng 12	Tổng cộng [kWh]
Làm lạnh	1.272,3	1.264,1	1.358,7	17.917,6
Chiếu sáng	1.164,3	1.064,3	1.145,9	13.843,8
Thiết bị	1.714,8	1.553,7	1.721,2	20.249,1
Quạt	77,6	76,8	82,9	1.086,8
Tổng	4.229,0	3.958,9	4.308,7	53.097,32

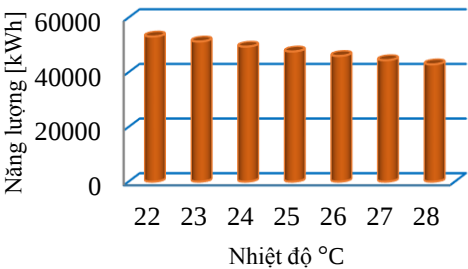
3.3. Kết quả và bàn luận

Từ kết quả tính toán điện năng của tòa nhà được phân tích trên phần mềm, ta có kết quả về tiêu thụ năng lượng của tòa nhà trong Bảng 5 và tương ứng với mỗi giá trị nhiệt độ là một giá trị năng lượng khác nhau.

Bảng 5. Nhiệt độ và năng lượng tiêu thụ

Nhiệt độ [°C]	Năng lượng tiêu thụ [kWh]	Tiền điện ước tính [đ]
22	53.097,32	95.575.176
23	51.271,18	92.288.124
24	49.390,72	88.903.296
25	47.618,74	85.713.732
26	45.986,98	82.776.564
27	44.436,41	79.985.538
28	42.908,58	77.235.444

Cũng từ kết quả mô phỏng năng lượng, ta vẽ được biểu đồ (Hình 5) biểu diễn mối quan hệ giữa nhiệt độ và năng lượng tiêu thụ của tòa nhà.



Hình 5. Mối quan hệ giữa nhiệt độ đặt và năng lượng tiêu thụ của tòa nhà

Kết quả tính toán cho thấy điện năng tiêu thụ giảm đáng kể khi nhiệt độ tăng lên. Ước lượng độ dốc của đường thay đổi nhiệt độ (Hình 5) cho thấy nếu tăng nhiệt độ cài đặt cho máy điều hòa không khí lên 1°C thì điện năng tiêu thụ có thể

giảm khoảng 4%, tương ứng khoảng 3 ÷ 4 triệu đồng trong một năm. Qua đó cho thấy, khi đặt nhiệt độ của các máy điều hòa (điều chỉnh nhiệt độ tiện nghi) trong tòa nhà văn phòng tăng lên (những vẫn đảm bảo nhiệt độ thoải mái người dùng) sẽ có thể làm giảm được một lượng điện năng tiêu thụ.

Bên cạnh đó, qua kết quả khảo sát và phỏng vấn người dùng máy điều hòa trong tòa nhà thì việc đặt nhiệt độ của máy tại các phòng làm việc rất khác nhau, thường tập trung ở 23°C hoặc 24°C. Tác giả đã thử nghiệm cho tất cả các máy điều hòa trong tòa nhà đặt ở nhiệt độ 26°C và khảo sát mức độ thoải mái của người làm việc trong tòa nhà (thực hiện 21 phiếu khảo sát với nhân viên làm việc trong văn phòng) và kết hợp tính toán chỉ số thoải mái (comfort index) dựa vào các chỉ số đo lường môi trường trong phòng làm việc như nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió. Kết quả là đa số cảm thấy tương đối thoải mái, không cảm thấy nhiều khác biệt so với ở nhiệt độ 23°C hoặc 24°C. Điều này cho thấy việc sử dụng máy điều hòa trong tòa nhà chưa thực sự tiết kiệm về điện năng tiêu thụ.

Do đó, phải có biện pháp chủ động trong việc quản lý sử dụng hệ thống máy điều hòa nhiệt độ và các máy móc, thiết bị công nghệ khác cũng như các giải pháp sử dụng năng lượng nhằm đảm bảo tiện nghi và sự vận hành của công trình. Bài báo này đề xuất các giải pháp dùng cho quản lý sử dụng và tiết kiệm năng lượng như sau: điều chỉnh tăng nhiệt độ tiện nghi của hệ thống điều hòa đến mức nhiệt độ thích hợp, dùng thiết bị sử dụng năng lượng hiệu suất cao như là hệ thống điều hòa inverter, đèn chiếu sáng LED kết hợp các giải pháp kiểm soát chiếu sáng (cảm biến ánh sáng, cảm biến người, dimmer...), thiết bị thu hồi nhiệt thông gió. Tăng khả năng thông gió, thoáng khí tự nhiên, kết hợp với giải pháp làm giảm các tác động nhiệt độ không khí của môi trường xung quanh, sử dụng pin năng lượng mặt trời. Bên cạnh việc cải thiện thiết bị, người quản lý năng lượng có thể dùng biện pháp quản lý chính sách để nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng, bằng cách yêu cầu người dùng cố định nhiệt độ cho các hệ thống điều hòa không khí, đồng thời quy định thời gian tắt/mở hệ thống điều hòa không khí, hệ thống chiếu sáng hoặc các thiết bị khác.

4. Kết luận

Trước hết, nghiên cứu này đã tổng quan các nghiên cứu liên quan đến tiện nghi nhiệt độ trong các công trình xây dựng, hoặc các nghiên cứu để tiết kiệm và mô phỏng năng lượng để quản lý năng lượng hiệu quả. Tác giả cũng đã nghiên cứu, khảo sát, phân tích năng lượng tiêu thụ của tòa nhà văn phòng Khoa Kỹ thuật và Công nghệ thuộc Trường Đại học Trà Vinh khi mô phỏng cài đặt nhiệt độ từ 22°C đến 28°C.

Nghiên cứu đã chỉ ra rằng nhiệt độ cài đặt trên hệ thống điều hòa ảnh hưởng rất lớn đến điện năng tiêu thụ của tòa nhà, chẳng hạn, nếu để các máy điều hòa hoạt động ở 22°C thì điện năng tiêu thụ đến 53.097 kWh (tiền điện ước tính là 95.575.176 đồng), nhưng khi điều chỉnh các máy điều hòa hoạt động ở 28°C thì điện năng tiêu thụ chỉ là 42.908 kWh (ước tính là 77.235.444 đồng). Như vậy, lượng điện năng tiêu thụ được giảm bớt là 10.189 kWh (ước tính là 18.340.200 đồng). Tuy nghiên cứu mới chỉ khảo sát, tính toán đối với tòa nhà văn phòng khoa có diện

tích nhỏ nhưng nghiên cứu này cũng có thể được áp dụng cho các tòa nhà lớn hơn hoặc một hệ thống các tòa nhà để giúp cho việc sử dụng các hệ thống điều hòa không khí theo hướng tiết kiệm năng lượng hơn.

Tuy nhiên, kết quả phân tích trong nghiên cứu mới chỉ dựa vào tính toán bằng phần mềm. Hiện nay các tác giả đã thiết lập hệ thống cảm biến nhiệt độ, độ ẩm, thiết bị đo điện năng tiêu thụ trong tòa nhà và đang tiến hành thu thập dữ liệu đo lường trong thực tế để so sánh kiểm chứng với các kết quả phân tích trên mô phỏng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Wise, C., "An Amphitheatre for cycling: The design, analysis and construction of the London 2012 Velodrome", *The Structural Engineer*, 2012, Vol 90, 6, pp. 13.
- [2] Nguyễn, A.T, "Công trình xanh London 2012 Velodrome đã được thiết kế như thế nào", *Tạp chí Kiến trúc*, Số 237, 2015.
- [3] Nguyen, A.T. and Sigrid, R., "An investigation on thermal performance of a low cost apartment in hot humid climate of Danang", *Energy and Buildings*, Vol 47, Elsevier, 2012, pp. 237-246.
- [4] Nguyễn Anh Tuấn, "Đề xuất mô hình tiện nghi nhiệt áp dụng cho người Việt Nam trong các tình huống và thể loại công trình khác nhau", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, Tập 5, 2012, trang 71-77.
- [5] Nguyễn Anh Tuấn, Lê Thị Kim Dung, "Cải thiện thông gió tự nhiên trong nhà ở bằng sân trong", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, Số 3(76), 2014, trang 72.
- [6] Nguyễn Anh Tuấn, Lê Thị Kim Dung, "Tiện nghi nhiệt trong một số giảng đường thông gió tự nhiên", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, Số 01(86), 2015, trang 89.
- [7] H. T. R. Hansen và M. A. Knudstrup, *The Integrated Design Process (IDP) – A more holistic approach to sustainable architecture*, Proceedings of the 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 2005.
- [8] Harries, A., Brunelli, G. and Rizos, I., "London 2012 Velodrome—integrating advanced simulation into the design process", *Journal of Building Performance Simulation*, 2013, Vol 6, pp. 401-419.
- [9] Nguyen. Anh Tuan, Singh. Manoj Kumar, Reiter. Sigrid, "An adaptive thermal comfort model for hot humid South-East Asia", *Building & Environment*, Elsevier, 2012, Vol 56, pp. 291-300.
- [10] Crawley, D.B., L.K. Lawrie, C.O. Pedersen, R.J. Liesen, D.E. Fisher, R.K. Strand, R.D. Taylor, R.C. Winkelmann, W.F. Buhl, Y.J. Huang, A.E. Erdem, "Energy Plus: Creating a new-generation building energy simulation program", *Energy and Buildings*, Vol 33(4), Elsevier, 2001.
- [11] Nguyễn Anh Tuấn, "Thiết kế kiến trúc xanh với hỗ trợ bởi các công cụ mô phỏng hiệu năng công trình (BPS)", *Tạp chí Kiến trúc*, Số 5, 2012, trang 13-18.
- [12] Barbason. Mathieu, Reiter. Sigrid, "Coupling building energy simulation and computational fluid dynamics: Application to a two-storey house in a temperate climate", *Building & Environment*, Elsevier, 2014, Vol 75, pp. 30-39.
- [13] Attia. Shady, Gratia. Elisabeth, De Herde. André, "Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design", *Energy and Buildings*, Elsevier Science, 2012, Vol 49, pp. 2-15.
- [14] Anh-Tuan Nguyen, Sigrid Reiter, "A climate analysis tool for passive heating and cooling strategies in hot humid climate based on Typical Meteorological Year data sets", *Energy and Buildings* 68, Elsevier, 2014, pp. 756-763.
- [15] Marique. Anne-Françoise, de Meester. Tatiana, De Herde. André, Reiter. Sigrid, "An online interactive tool to assess energy consumption in residential buildings and for daily mobility", *Energy and Buildings*, Elsevier Science, 2014, Vol 78C, pp. 50-58.
- [16] Attia. Shady, Hamdy. Mohamed, O'Brien. William, "Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design", *Energy and Buildings*, Elsevier Science, 2013, Vol 60, pp. 110-124.
- [17] Nguyễn Anh Tuấn, "Tối ưu hóa tiện nghi nhiệt trong căn hộ chung cư được thông gió tự nhiên", *Tạp chí Khoa học Kiến trúc & Xây dựng*, 17, 2015, trang 9-13.
- [18] Nguyễn Anh Tuấn, Trần Thị Thực Linh, "Kiến trúc sư với xu hướng thiết kế kiến trúc hiệu quả năng lượng", *Tạp chí Kiến trúc*, Số 255, 2016, trang 30.
- [19] Nguyen. Anh Tuan, Reiter. Sigrid, "The effect of ceiling configurations on indoor air motion and ventilation flow rates", *Building & Environment*, Elsevier Science, 2011, Vol 46, pp. 1211-1222.
- [20] QCVN 09:2013/BXD, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia "Về các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả"*, Bộ Xây dựng, 2013.

(BBT nhận bài: 14/08/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 28/08/2017)