

Nghiên cứu ứng dụng mô phỏng cơ học chất lưu để đề xuất vị trí thiết bị outdoor unit của hệ thống điều hòa không khí VRV nhằm tối ưu hóa hiệu suất hoạt động của hệ thống

Bùi Thị Hiếu^{*1}, Hoàng Tuấn Việt¹

¹ Khoa Kỹ thuật môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TỪ KHOÁ

ĐHKK
Nhiệt độ
Mô phỏng cơ học chất lưu
FLOVENT
Vị trí lắp đặt thiết bị outdoor

TÓM TẮT

Việc bố trí vị trí các tổ hợp thiết bị outdoor unit của hệ thống ĐHKK Variable Refrigerant Volume (VRV) ảnh hưởng lớn đến sự phân bố trường nhiệt độ của khối không khí xung quanh các thiết bị outdoor unit. Bố trí các tổ hợp thiết bị outdoor unit không phù hợp sẽ dẫn tới trường nhiệt độ không khí giữa các thiết bị outdoor unit này tăng cao, dẫn tới giảm năng suất lạnh, sự hoạt động không ổn định, giảm tuổi thọ của hệ thống và tiêu tốn năng lượng. Tuy nhiên, hầu hết các thiết kế hệ thống ĐHKK chưa đánh giá chi tiết ảnh hưởng của nhiệt độ không khí xung quanh các tổ hợp thiết bị outdoor unit đến năng suất lạnh của hệ thống. Gần đây, với sự phát triển mẽ của các phần mềm mô phỏng cơ học chất lưu, trường nhiệt độ xung quanh các thiết bị outdoor unit có thể mô phỏng sử dụng các thông số kỹ thuật của thiết bị outdoor unit, kết cấu công trình và điều kiện khí tượng của địa phương nơi công trình được xây dựng. Do đó, nghiên cứu này đã ứng dụng phần mềm mô phỏng cơ học chất lưu FLOVENT để mô phỏng và đánh giá ảnh hưởng của vị trí đặt các tổ hợp thiết bị outdoor unit đến công suất lạnh của hệ thống điều hòa tại công trình văn phòng ở Hà Nội.

KEYWORDS

Air conditioning
Temperature
Fluid mechanics simulation
FLOVENT
Arrangement of the outdoor unit

ABSTRACT

The arrangement of the outdoor unit equipment of the Variable Refrigerant Volume (VRV) air conditioning system greatly affects the temperature field distribution of the air mass surrounding the outdoor units. Improper arrangement of outdoor unit equipment will lead to increased air temperature surrounding these outdoor units, leading to cooling capacity reduction, unstable operation, reduction of system life and consumes energy. However, most air conditioning system designs have not evaluated in detail the impact of air temperature surrounding outdoor unit equipment on the system's cooling capacity. Recently, with the strong development of fluid mechanics simulation software, the temperature field around outdoor unit can be simulated using the technical parameters of outdoor unit and building structures, and meteorological conditions. Therefore, this study applied FLOVENT software to evaluate the influence of the location of outdoor unit equipment on the cooling capacity of the system at office buildings in Hanoi.

1. Mở đầu

Hiện nay tiêu thụ năng lượng bởi các công trình xây dựng ngày càng tăng, chiếm đến 50% tổng năng lượng toàn cầu [1]. Trong tòa nhà, hệ thống cấp nhiệt, thông gió, và điều hòa không khí (HVAC) chiếm từ 30% - 70% tổng năng lượng điện tiêu thụ [2]. Ở Hoa Kỳ, hơn 50% năng lượng sử dụng cho các tòa nhà được dùng để vận hành hệ thống HVAC [3]. Ở Hồng Kông trong năm 2006, năng lượng tiêu thụ bởi hệ thống điều hòa không khí (ĐHKK) và hệ thống làm lạnh khác chiếm 33% tổng lượng năng lượng tiêu thụ toàn quốc [4]–[7]. Hơn 70% năng lượng được sử dụng cho hệ thống làm mát trong các tòa nhà ở Trung Đông [8]. Ở Việt Nam, các hệ thống ĐHKK tiêu tốn 50% - 60% tổng lượng điện tiêu thụ trong các công trình dân sinh cũng như các tòa nhà thương mại, văn phòng, khách sạn...[9], [10]. Do đó, sử dụng năng lượng hiệu quả trong các tòa nhà nói chung, và tối ưu năng suất

của hệ thống HVAC nói riêng nhằm tiết kiệm năng lượng đã trở thành đề tài thu hút rất lớn sự quan tâm từ các nhà khoa học, chủ đầu tư, và các nhà làm chính sách về năng lượng [11].

Năng suất lạnh của hệ thống ĐHKK giải nhiệt gió phụ thuộc lớn vào điều kiện môi trường, nghĩa là năng suất lạnh sẽ giảm khi trường nhiệt độ xung quanh các thiết bị outdoor unit tăng. Lựa chọn máy ĐHKK cần xem xét chi tiết ảnh hưởng của nhiệt độ không khí xung quanh các thiết bị outdoor unit đến năng suất lạnh của toàn bộ hệ thống [2], [12]. Thêm vào đó, việc bố trí vị trí các tổ hợp thiết bị outdoor unit của hệ thống ĐHKK Variable Refrigerant Volume (VRV) cũng ảnh hưởng lớn đến sự phân bố trường nhiệt độ của khối không khí xung quanh các thiết bị outdoor unit. Bố trí các tổ hợp thiết bị outdoor unit không phù hợp sẽ dẫn tới trường nhiệt độ không khí giữa các thiết bị outdoor unit này tăng cao, làm giảm năng suất lạnh, sự hoạt động ổn định, giảm tuổi thọ của hệ thống và tiêu tốn năng lượng [11]. Cho nên, các thiết kế hệ

*Liên hệ tác giả: Hieubt@huce.edu.vn

Nhận ngày 25/04/2024, sửa xong ngày 27/05/2024, chấp nhận đăng ngày 29/05/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2024.745>

thống ĐHKK nên được đánh giá chi tiết ảnh hưởng của nhiệt độ không khí xung quanh và vị trí bố trí các tổ hợp thiết bị outdoor unit lên năng suất lạnh của hệ thống.

Vì vậy, nghiên cứu này ứng dụng phần mềm mô phỏng cơ học chất lưu FLOVENT để đánh giá ảnh hưởng của tổ hợp thiết bị indoor unit của hệ thống ĐHKK VRV đến hiệu suất làm việc của hệ thống. Nhiệt độ trung bình của khối không khí xung quanh thiết bị outdoor unit được tính toán dựa trên mô phỏng trường nhiệt độ từ phần mềm. Sau đó, thông số này được sử dụng để ước lượng mức giảm năng suất của hệ thống do ảnh hưởng của nhiệt độ xung quanh lên các thiết bị outdoor unit. Dựa vào mức giảm năng suất lạnh, phương án bố trí các thiết bị outdoor unit phù hợp được đề xuất. Kết quả và phương pháp luận của nghiên cứu này kỳ vọng được sử dụng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên, các kỹ sư, chuyên gia về hệ thống ĐHKK.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thông tin công trình

Tòa nhà văn phòng - Conico Tower nằm trên đường Tôn Thất Tùng, phường Trung Tự, quận Đống Đa, TP. Hà Nội. Tòa nhà gồm có 20 tầng nổi, 4 tầng hầm với công năng sử dụng chính là văn phòng cho thuê. Công trình sử dụng hệ thống điều hòa bán trung tâm VRV giải nhiệt gió hiện đại và tiết kiệm năng lượng. 11 tổ hợp thiết bị outdoor unit với công suất từ 48 đến 60 HP hoạt động độc lập được lắp đặt trên tầng trên cùng của công trình.

2.2. Phần mềm mô phỏng cơ học chất lưu FLOVENT

Flovent là phần mềm động lực học chất lỏng điện toán (CFD) dự đoán lưu lượng không khí, truyền nhiệt, phân phối ô nhiễm và các chỉ số tiện nghi trong các tòa nhà và xung quanh các tòa nhà ở bất kỳ loại và kích cỡ nào. Phần mềm Flovent hạn chế những nhược điểm mà những phần mềm khác chưa khắc phục được để hỗ trợ đưa ra được phương án thiết kế tối ưu nhất [13]–[15]. Flovent có khả năng thể hiện sinh động sự chuyển động các phần tử cho hình ảnh phức tạp của luồng không khí ba chiều bao gồm tính năng theo dõi sự chuyển động của các phần tử cho phép hiểu rõ hơn về dòng chảy phức tạp. Không những vậy, Flovent có bộ giải chương trình được tích hợp đặc biệt vào các ứng dụng sưởi ấm, thông gió và điều hòa không khí. Bộ giải dựa trên hệ thống lưới Cartesian cung cấp kết quả chính xác nhất có thể và thời gian giải nhanh nhất trên mỗi ô lưới. Ngoài ra, các công cụ để xử lý động các kết quả nhiệt độ và dòng chảy cho phép các kỹ sư xác định chính xác các vấn đề về nhiệt, thông gió, và đưa ra giải pháp thiết kế nhanh chóng, hiệu quả. Phần mềm có khả năng được áp dụng dễ dàng, cho độ phân giải cao có sẵn khi cần thiết, giảm thiểu thời gian mô phỏng khi sử dụng các thông số đầu vào của một công trình cụ thể. Do đó, hiện nay phần mềm Flovent đang được sử dụng rộng rãi và ứng dụng

để hỗ trợ thiết kế hệ thống HVAC tốt nhất. Thuật toán phần mềm Flovent sử dụng để mô phỏng dòng cơ học chất lưu và truyền nhiệt bao gồm tập hợp các phương trình vi phân, phi tuyến tính Trong CFD, mô phỏng toán học của dòng chất lỏng và truyền nhiệt bao gồm các phương trình Navier-Stokes được mô tả cụ thể trong một số tài liệu [16], [17].

2.3. Thông số đầu vào cho quá trình mô phỏng

Trường nhiệt độ xung quanh mỗi thiết bị outdoor unit được mô phỏng bởi phần mềm Flovent sử dụng các thông số sau làm dữ liệu đầu vào bao gồm: nhiệt độ không khí và vận tốc gió bên ngoài nhà; công suất làm lạnh của các tổ hợp thiết bị outdoor unit, đặc tính kết cấu của công trình; v.v. Các thông số này được được tổng hợp trong Bảng 1.

Nhiệt độ không khí và vận tốc gió ngoài trời lần lượt có giá trị là 36,7 °C và 2,5 m/s được sử dụng trong nghiên cứu này tham khảo từ tiêu chuẩn thiết kế hệ thống thông gió và ĐHKK (TCVN 5687:2010). Tiêu chuẩn này được áp dụng khi thiết kế và lắp đặt các hệ thống ĐHKK cho các công trình kiến trúc dân dụng và công nghiệp bao gồm các công trình văn phòng cho thuê như tòa nhà Conico Tower. Khi thiết kế hệ thống ĐHKK, các thông số tính toán bên ngoài cần được chọn theo số giờ trong năm mà cho phép không đảm bảo chế độ nhiệt ẩm bên trong nhà. Đối với một công trình cấp II như tòa nhà Conico Tower, số giờ cho phép không đảm bảo là từ 150 – 200 giờ/năm [18].

Tòa nhà sử dụng 11 tổ hợp thiết bị outdoor unit VRV, trong đó có 01 tổ có công suất 60 HP, 04 tổ công suất 54 HP, và 06 tổ còn lại có công suất nhỏ hơn hoặc bằng 50 HP. Các thông số này và các đặc tính của vật liệu sử dụng làm kết cấu công trình, được tham khảo từ tài liệu thuyết minh thiết kế thi công cho công trình này [19].

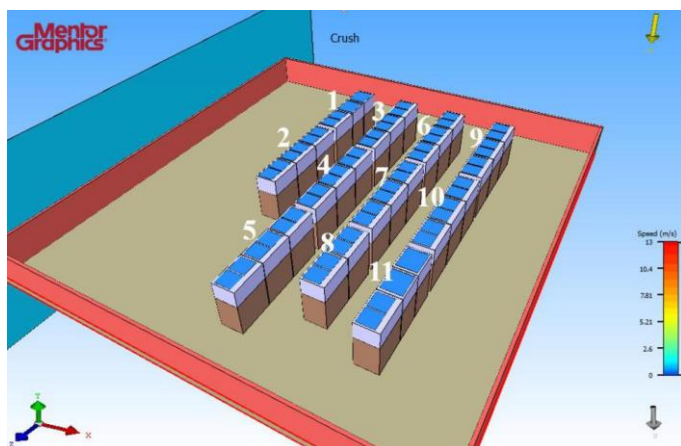
2.4. Định nghĩa các trường hợp mô phỏng

Để đánh giá sự ảnh hưởng của nhiệt độ không khí ngoài trời và phương án bố trí vị trí đặt các tổ thiết bị outdoor unit và các thông số liên quan khác lên độ giảm năng suất làm lạnh của hệ thống ĐHKK VRV, 03 trường hợp sau được định nghĩa:

- Trường hợp 1: Các tổ hợp thiết bị outdoor unit được đặt cách nhau 1,2 m theo chiều trục X (xem Hình 3). Đây là khoảng cách được chọn để thi công lắp đặt thực tế.
- Trường hợp 2: Các tổ hợp thiết bị outdoor unit được đặt cách nhau 0,9 m theo chiều trục X (xem Hình 3). Con số này lớn hơn giá trị tối thiểu được khuyến nghị từ nhà sản xuất thiết bị khi thi công lắp đặt các thiết bị outdoor unit và nhỏ hơn khoảng cách thi công công lắp đặt thực tế.
- Trường hợp 3: Các tổ hợp thiết bị outdoor unit được đặt cách nhau 0.5m theo chiều trục X (xem Hình 3), là giá trị tối thiểu được khuyến nghị từ nhà sản xuất thiết bị.

Bảng 1. Thông số đầu vào cho phần mềm mô phỏng.

STT	Thông số đầu vào	Đơn vị	Giá trị	Tham khảo
1	Nhiệt độ không khí ngoài trời	°C	36,7	[16]
2	Vận tốc gió ngoài trời	m/s	2,5	[18]
3	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 01	HP	44,0	[17]
4	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 02	HP	60,0	
5	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 03	HP	54,0	
6	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 04	HP	54,0	
7	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 05	HP	50,0	
8	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 06	HP	48,0	
9	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 07	HP	48,0	
10	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 08	HP	40,0	
11	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 09	HP	54,0	
12	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 10	HP	54,0	
13	Công suất làm lạnh tổ thiết bị outdoor unit 11	HP	42,0	



Hình 1. Phương án bố trí các các tổ hợp thiết bị outdoor unit.

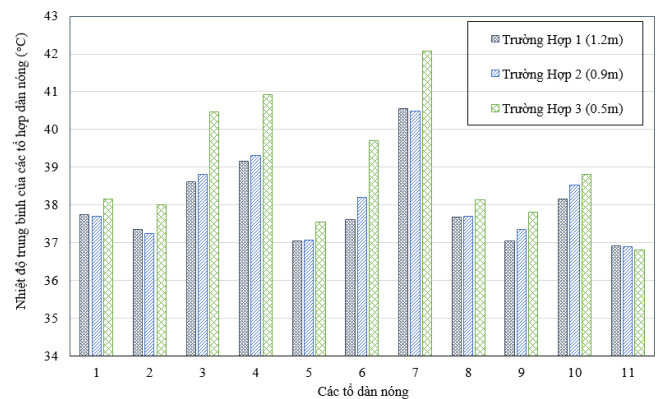
3. Kết quả và thảo luận

Trường nhiệt độ xung quanh mỗi tổ hợp thiết bị outdoor unit trong 03 trường hợp được mô phỏng sử dụng dữ liệu đầu vào. Dựa vào các trường nhiệt độ xung quanh thu được từ kết quả mô phỏng, giá trị nhiệt độ trung bình và độ giảm năng suất làm lạnh của mỗi tổ thiết bị outdoor unit được tính toán. Các giá trị nhiệt độ mô phỏng tại các điểm lấy làm mẫu tính toán giá trị nhiệt độ trung bình, và độ giảm năng suất lạnh của mỗi tổ trong các trường hợp.

3.1. Nhiệt độ trung bình xung quanh thiết bị outdoor unit

Hình 2 dưới đây thể hiện nhiệt độ trung bình của các tổ thiết bị outdoor unit được tính toán từ các giá trị nhiệt độ mô phỏng lấy làm mẫu. Nhìn chung trong cả 3 trường hợp, khi khoảng cách giữa các tổ hợp càng đặt sát nhau thì nhiệt độ trung bình của chúng càng tăng lên. So sánh chỉ

2 trường hợp 1 và 2, nhiệt độ trung bình của tất cả các tổ không có sự chênh lệch đáng kể. Các sự sai khác chỉ giao động từ 0,01 °C đến 0,58 °C. Tuy nhiên, khi các tổ thiết bị outdoor unit được đặt quá sát nhau, khoảng cách thu hẹp lại đến 0.5m như mô tả của trường hợp 3, sự gia tăng nhiệt độ là rất đáng kể, tăng ít nhất từ 1.5oC cho đến trên 2 °C đối với các tổ 03, 04, 06 và 07. Sự tăng lên về nhiệt độ ở các dàn còn lại thì thấp hơn, luôn nhỏ hơn 0,7 °C. Điều này có thể giải thích là bởi vì các tổ thiết bị outdoor unit 03, 04, 06, và 07 nằm ở khu vực bất lợi hơn các tổ còn lại về vị trí và không gian để giải nhiệt. Do đó, khả năng trao đổi nhiệt, giải nhiệt giữa một thiết bị outdoor unit nào đó với môi trường có thể bị ảnh hưởng bởi sự tỏa nhiệt của các thiết bị outdoor unit xung quanh.

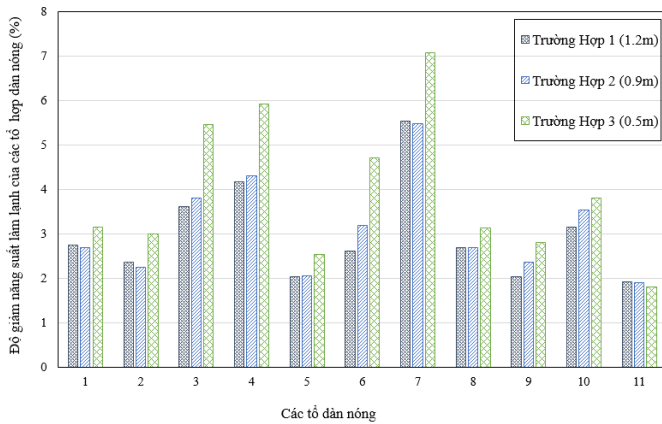


Hình 2. Nhiệt độ trung bình của các tổ thiết bị outdoor unit.

3.2. Độ giảm năng suất làm lạnh của các tổ thiết bị outdoor unit

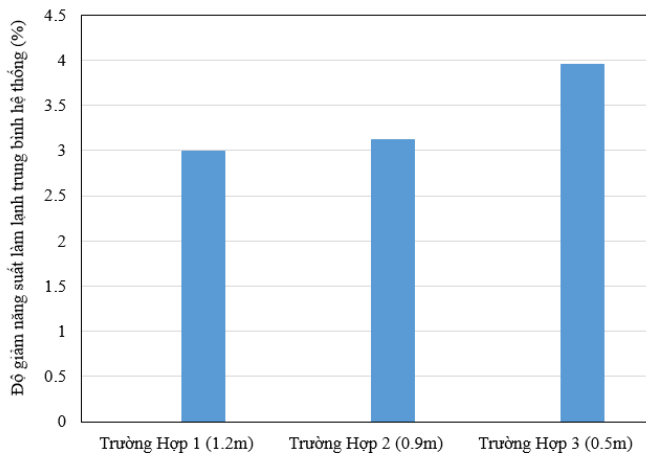
Vị trí đặt tổ thiết bị outdoor unit thay đổi có thể làm cho nhiệt độ trung bình xung quanh nó thay đổi theo. Điều này ảnh hưởng đến năng suất làm lạnh của chúng. Theo như sách giáo trình kỹ thuật lạnh

cơ sở của tác giả Phạm Văn Tuyền và Nguyễn Đức Lợi, sau 35 °C, nhiệt độ thiết bị outdoor unit cứ tăng thêm 1 °C, năng suất làm lạnh của hệ thống sẽ giảm 1 % [21]. Độ giảm năng suất của mỗi tổ trong các trường hợp vị trí lắp đặt khác nhau được thể hiện trên Hình 3.



Hình 3. Độ giảm năng suất làm lạnh của các tổ thiết bị outdoor unit.

Từ Hình 2 và Hình 3, nhìn chung dễ thấy trong cả 3 trường hợp rằng, nhiệt độ không khí xung quanh thiết bị outdoor unit càng lớn, mức độ giảm năng suất làm lạnh của hệ thống càng lớn. Mức độ giảm năng suất của các tổ số 03, 04, 06 và 07 trong trường hợp 3 là lớn nhất khi so sánh với 2 trường hợp còn lại (lớn hơn ít nhất 1,5 %). Đặc trưng cho mức độ ảnh hưởng chung của cả hệ thống bởi mỗi phương án bố trí tổ hợp thiết bị outdoor unit, độ giảm năng suất lạnh trung bình của hệ thống được tính toán và thể hiện trên Hình 4.



Hình 4. Độ giảm năng suất làm lạnh trung bình của hệ thống.

Nhìn vào biểu đồ Hình 4 dễ dàng nhận ra rằng, khi phương án bố trí khoảng cách lắp đặt càng gần nhau, thì mức độ giảm năng suất của cả hệ thống sẽ tăng lên. Đối với các trường hợp 1 và 2, khi các tổ hợp thiết bị outdoor unit được bố trí với không gian đủ rộng lần lượt là 1,2 m và 0,9 m, mức độ giảm năng suất lạnh trung bình sai khác nhau rất nhỏ, chỉ 0,13 %. Điều này có thể thấy rằng 0,9 m nên được

chọn để làm phương án bố trí lắp đặt tốt nhất để tiết kiệm không gian, khối lượng vật liệu và vật tư lắp đặt hệ thống. Bởi vì, nếu gia tăng khoảng cách lắp đặt lớn hơn 0,9 m, thì năng suất của hệ thống cũng không tăng lên đáng kể. So sánh trường hợp thứ 3 và hai trường hợp đầu, khi khoảng cách lắp đặt quá gần nhau (0,5 m), mức độ giảm năng suất trung bình tăng chỉ xấp xỉ 1 %.

4. Kết luận

Vị trí lắp đặt của thiết bị outdoor unit là một trong các yếu tố ảnh hưởng then chốt đến năng suất làm việc của hệ thống ĐHKK VRV giải nhiệt gió. Khoảng cách lắp đặt giữa các thiết bị outdoor unit càng gần nhau, càng làm cho nhiệt độ xung quanh chúng tăng lên và do đó năng suất làm lạnh của thiết bị sẽ giảm đi. Khi khoảng cách lắp đặt quá gần với giá trị nhỏ nhất theo khuyến nghị từ nhà sản xuất thiết bị, mức độ tăng nhiệt độ và giảm năng suất càng rõ rệt. Các thiết bị outdoor unit lắp đặt ở những vị trí bất lợi về không gian giải nhiệt (bị bao vây, cản trở và ảnh hưởng bởi sự tỏa nhiệt từ các thiết bị outdoor unit khác), có thể bị giảm năng suất lạnh lớn hơn những nhóm thiết bị outdoor unit khác (những dàn ở vị trí biên). Do đó, khoảng cách lắp đặt cho những nhóm thiết bị outdoor unit này cũng nên được xem xét riêng. Nhiệt độ không khí ngoài trời có ảnh hưởng rất lớn đến năng suất lạnh của hệ thống ĐHKK VRV giải nhiệt gió. Nếu tính toán dự phòng công suất bù đắp cho sự sụt giảm năng suất lạnh trong những ngày nắng nóng kéo dài không đủ, hệ thống điều hòa có thể không duy trì được năng suất làm việc để không vượt quá số giờ không đảm bảo chế độ nhiệt ẩm trong trường hợp sử dụng thông số tính toán ngoài nhà theo TCVN 5687:2010. Phần mềm mô phỏng cơ học chất lưu FLOVENT là một công cụ hiệu quả, cung cấp kết quả về trường nhiệt độ một cách trực quan nhất để hỗ trợ việc đánh giá, kiểm tra sự phù hợp về vị trí lắp đặt thiết bị indoor unit của hệ thống ĐHKK VRV nhằm tối ưu hóa hiệu suất hoạt động của hệ thống. Vị trí lắp đặt thiết bị outdoor unit phù hợp sẽ góp phần tiết kiệm điện năng tiêu thụ, từ đó giảm phát thải ròng, góp phần hướng tới COP26.

Tài liệu tham khảo

- [1]. N. Enteria and K. Mizutani, "The role of the thermally activated desiccant cooling technologies in the issue of energy and environment," Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011.
- [2]. Trần Ngọc Chấn, Điều hòa không khí, NXB Xây Dựng, vol. 369, no. 1. 2013.
- [3]. L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, "Buildings energy consumption," Energy Build., 2008.
- [4]. K. F. Fong, T. T. Chow, C. K. Lee, Z. Lin, and L. S. Chan, "Comparative study of different solar cooling systems for buildings in subtropical city," Sol. Energy, 2010.
- [5]. S. M. Deng and J. Burnett, "Study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong," Energy Build., vol. 31, no. 1, pp. 7–12, 2000.
- [6]. J. C. Lam and A. L. S. Chan, "Characteristics of electricity consumption in commercial buildings: Survey of electricity consumption in fully air-conditioned office buildings and hotels in Hong Kong, implications for

- energy conservation in buildings,” *Build. Res. Inf.*, vol. 22, no. 6, pp. 313–318, 1994.
- [7]. S. Deng, “Energy and water uses and their performance explanatory indicators in hotels in Hong Kong,” *Energy Build.*, vol. 35, no. 8, pp. 775–784, 2003.
- [8]. H. El-Dessouky, H. Ettouney, and A. Al-Zeefari, “Performance analysis of two-stage evaporative coolers,” *Chem. Eng. J.*, 2004.
- [9]. S. Becken, C. Frampton, and D. Simmons, “Energy consumption patterns in the accommodation sector - The New Zealand case,” *Ecol. Econ.*, 2001.
- [10]. M. Van Dat and T. N. Quang, “A study on energy consumption of hotel buildings in Vietnam,” *J. Sci. Technol. Civ. Eng. - NUCE*, vol. 12, no. 5, pp. 109–116, 2018.
- [11]. Võ Chí Chính, *Giáo trình điều hòa không khí*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [12]. B. M. T. Đặng Văn Bính, “Nghiên cứu tổng quan về giải pháp kỹ thuật tiết kiệm năng lượng cho hệ thống HVAC. Tạp chí Khoa học và Công nghệ,” pp. 74–83, 2018.
- [13]. M. Graphics Corporation, “FloVENT ® User Guide,” 1989.
- [14]. M. Graphics Corporation, “FloVENT ® Background Theory Reference Guide,” 1989.
- [15]. M. Graphics Corporation, “FloVENT ® Project Attributes Reference Guide,” 1989.
- [16]. E. Air and C. Pty, “Computational Fluid Dynamics (CFD) Modelling Report Oakdale South Loading Dock Ventilation Table of Contents,” 2022.
- [17]. Z. Wiercinski and A. Skotnicka-Siepsiak, “Application of CFD for temperature and air velocity distribution calculation in a ventilated room,” *Task Q.*, vol. 12, no. 3, pp. 303–312, 2008.
- [18]. Trường Đại học Xây dựng, “Thông gió - điều hòa không khí tiêu chuẩn thiết kế (TCVN5687:2010).” Bộ Khoa học và Công nghệ, 2010.
- [19]. G. Star, “Thuyết minh Điều hòa Thông gió - Conico Building,” 2018.
- [20]. Hội Môi trường Xây dựng Việt Nam, “Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả (QCVN09:2013/BXD). Bộ Xây Dựng.” 2013.
- [21]. P. V. T. Nguyễn Đức Lợi, *Kỹ thuật lạnh cơ sở*. NXB Giáo dục.