

Research on Improving the Working Efficiency of the Group Installation of Outdoor Units of the VRF Air Conditioning System

Nguyen Van Tam¹, Tran Van Hung¹, Nguyen Thị Minh Trinh¹,
Nguyen Minh Phu², Nguyen Van Hap^{1*}

¹Department of Heat and Refrigeration, Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam

²Faculty of Heat and Refrigeration Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City, Viet Nam

* Corresponding author. Email: nguyenvanhap@hcmute.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 25/08/2022
Revised: 03/10/2022
Accepted: 06/10/2022
Published: 28/10/2022

KEYWORDS

CFD simulation;
VRF air conditioning;
ODU Group installation;
Inlet air temperature;
Air guides.

ABSTRACT

The Variable Refrigerant Flow (VRF) central air-conditioning system is widely used in commercial buildings because of its outstanding advantages, especially the building which has a significant daily variation in cooling load. When the number of outdoor units in group installation increases, the coefficient of performance of the VRF system decreases due to the recirculation phenomenon of hot exhaust air from outdoor units. In this study, 3D models of outdoor unit group installation on rooftop were built and studied through Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation using Ansys Fluent. The simulation results show that the air temperature entering outdoor units in the central region of the group is higher than that in the outer region. When air guides are installed, the average temperature of the air entering the outdoor units is reduced by 2.3%, while the maximum temperature decreased by 4%. This result can be used as the guidance for the optimization design of group installation for VRF condensers

Nghiên Cứu Nâng Cao Hiệu Quả Làm việc Cho Cụm dàn Nóng Của Hệ Thống Điều Hòa Không Khí VRF

Nguyễn Văn Tâm¹, Trần Văn Hưng¹, Nguyễn Thị Minh Trinh¹,
Nguyễn Minh Phú², Nguyễn Văn Hạp^{1*}

¹Bộ môn Công nghệ Nhiệt Lạnh, Khoa Cơ Khí, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM, ĐH Quốc gia TP.HCM, Việt Nam

²Khoa Kỹ Thuật Nhiệt Lạnh, Đại học Công Nghiệp TP. HCM, Việt Nam

* Tác giả liên hệ. Email: nguyenvanhap@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 25/08/2022
Ngày hoàn thiện: 03/10/2022
Ngày chấp nhận đăng: 06/10/2022
Ngày đăng: 28/10/2022

TỪ KHÓA

Ứng dụng mô phỏng số;
Điều hòa không khí VRF;
Lắp đặt cụm dàn nóng;
Nhiệt độ vào dàn nóng;
Ổng hướng dòng.

TÓM TẮT

Điều hòa không khí trung tâm loại VRF ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các tòa nhà thương mại bởi vì ưu điểm nổi bật của nó, đặc biệt trong các tòa nhà có tải lạnh biến đổi rất lớn. Khi số lượng dàn nóng được lắp đặt theo cụm tăng lên dẫn đến hệ số làm lạnh của hệ thống giảm do ảnh hưởng của dòng không khí nóng bị hút trở lại dàn nóng. Trong nghiên cứu này, mô hình 3D của cụm dàn nóng máy lạnh VRF lắp đặt trên sân thượng được xây dựng và nghiên cứu thông qua phương pháp mô phỏng CFD bằng phần mềm Ansys Fluent. Các kết quả mô phỏng chỉ ra rằng nhiệt độ không khí vào các dàn ngưng ở vùng trung tâm tăng cao so với vùng bên ngoài. Khi lắp ống hướng dòng cho các dàn nóng làm nhiệt độ trung bình không khí vào dàn nóng giảm 2,3%, trong khi đó nhiệt độ lớn nhất giảm đi 4%. Kết quả nghiên cứu này có thể dùng để tham khảo cho việc tối ưu thiết kế lắp đặt cụm dàn nóng máy lạnh loại VRF.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.72B.2022.1265>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

Điều hòa không khí cho các tòa nhà dân cư hay thương mại là nhu cầu thiết yếu trong cuộc sống hiện đại. Tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà trở thành đề tài thu hút sự quan tâm trên toàn cầu do tốc độ sử dụng tăng nhanh chóng trong thời gian qua. Hệ thống điều hòa không khí Heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) chiếm tới 70% mức tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà [1]. Do đó, nghiên cứu nâng cao hiệu quả hoạt động của hệ thống HVAC có ý nghĩa đặc biệt trong việc tiết kiệm năng lượng của các tòa nhà. Tải lạnh trong các tòa nhà thương mại hay khách sạn thay đổi rất lớn và không ổn định, đặc biệt là trong thời gian bị ảnh hưởng của đại dịch COVID-19. Trong trường hợp này, so với hệ thống điều hòa không khí truyền thống hay trung tâm nước, hệ thống điều hòa không khí VRF sử dụng môi chất lạnh làm lạnh trực tiếp có nhiều ưu điểm công nghệ nổi bật. Hệ thống có thể kiểm soát và thay đổi tải cho các vùng điều hòa độc lập với chi phí vận hành thấp. Bên cạnh đó, việc lắp đặt số lượng lớn dàn nóng hệ thống VRF theo cụm sẽ dẫn đến làm tăng nhiệt độ ngưng tụ do khí thải bị hút hồi về dàn ngưng. Hình 1 mô tả việc lắp đặt thực tế cụm dàn nóng hệ thống VRF trên sân thượng của một tòa nhà.



Hình 1. Lắp đặt cụm dàn nóng máy lạnh loại VRF trên sân thượng

Phương pháp nghiên cứu hiện đại đang được các nhà khoa học sử dụng rộng rãi để giải quyết các vấn đề kỹ thuật phát sinh trong cuộc sống, đặc biệt là công cụ mô phỏng động lực chất lưu (CFD). Mô phỏng CFD giúp rút ngắn đáng kể thời gian từ khâu xây dựng mô hình nghiên cứu đến sản phẩm cuối cùng của một sản phẩm công nghiệp hoặc tìm ra giải pháp kỹ thuật thay thế một cách tối thiểu chi phí. Thuật toán CFD được xây dựng có độ chính xác cao và được kiểm chứng và được ứng dụng phổ biến trong các ngành công nghiệp như nghiên cứu thiết bị trao đổi nhiệt, turbine, năng lượng tái tạo, công nghiệp xử lý thép, nghiên cứu nâng cao giá trị gia tăng các sản phẩm nông nghiệp, thông gió và điều hòa không khí [2-9]. Trong lĩnh vực điều hòa không khí, phương pháp CFD được sử dụng phổ biến trên thế giới. Hassan và cộng sự [10] sử dụng công cụ CFD để phân tích phân bố trường vận tốc, nhiệt độ và dòng không khí của một trung tâm dữ liệu đặt tại Đại học CQ, Úc. Kết quả thu được thể hiện nhiệt độ lớn nhất không khí vào và ra khỏi rãnh dữ liệu lần lượt là 291K và 304K, đạt được tiêu chuẩn ASHRAE. Nada và Said [11] mô phỏng lắp đặt 12 dàn nóng cho 6 tầng trong trục thông gió giữa của các tòa nhà. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng trong trường hợp đáy của trục thông gió mở dẫn đến nhiệt độ hút vào các dàn nóng thấp hơn so với trường hợp đóng. Trong 3 phương án lắp đặt dàn nóng thì phương án 2 sẽ có COP cao nhất. Chow và cộng sự [12-13] thực hiện nghiên cứu mô phỏng sử dụng dàn nóng điều hòa dạng 2 mảng lắp đặt trong các chung cư cao tầng ở Hong Kong. Dựa vào chỉ số hiệu quả năng lượng, họ phát hiện ra rằng cấu trúc thông tầng dọc trục chung cư hình chữ T có hiệu quả thông gió tốt nhất, trong khi đó cấu trúc hình chữ I có hiệu quả thông gió kém nhất. Zang và cộng sự [14] mô phỏng lắp đặt dàn nóng hệ thống VRF cho tòa nhà 30 tầng. Họ phát hiện ra rằng với cách lắp đặt dàn nóng cách tầng thì nhiệt độ không khí trung bình vào các dàn nóng giảm 22% so với khi lắp đặt các dàn nóng mỗi tầng.

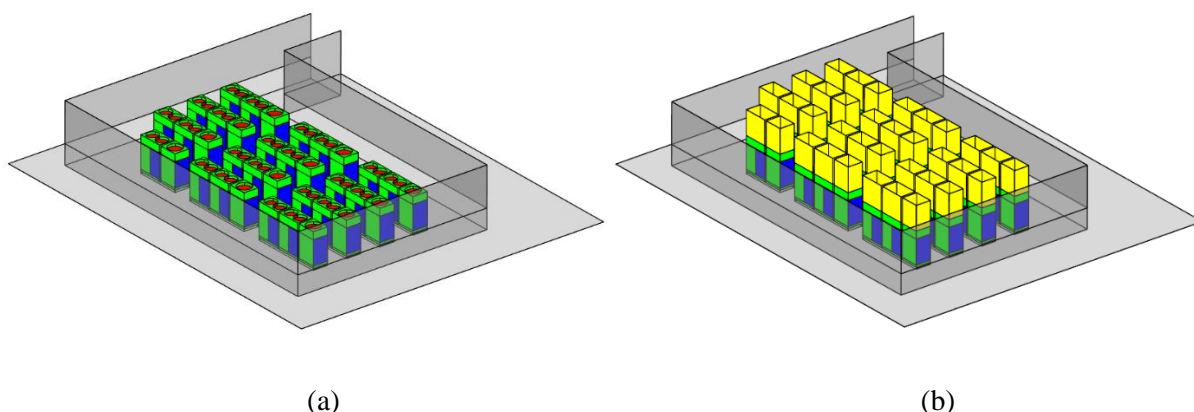
Cụm dàn nóng của máy lạnh VRF khi hoạt động sẽ làm ảnh hưởng đến nhiệt độ môi trường xung quanh chúng. Nhiệt độ môi trường này có xu hướng tăng nhanh khi số lượng dàn nóng lớn cùng hoạt động đồng thời. Trong nghiên cứu này, cụm dàn nóng có số lượng không quá lớn trên sân thượng của

một tòa nhà được xây dựng và nghiên cứu thông qua phương pháp mô phỏng CFD nhằm xác định phương án bố trí lắp đặt tối ưu.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Mô hình vật lý lắp đặt các dàn nóng điều hòa không khí

Các dàn nóng được bố trí lắp đặt trên sân thượng của tòa nhà cao tầng. Để đảm bảo yêu cầu kỹ thuật và tính thẩm mỹ khi lắp đặt cụm dàn nóng này, sân thượng được xây tường lan can có chiều cao 3m. Sân thượng dùng cho khu vực lắp đặt cụm dàn nóng có kích thước thiết kế là 15m×10m. Hai mô hình lắp đặt cụm dàn nóng được đề xuất xem xét trong nghiên cứu này nhằm so sánh hiệu quả làm việc của máy lạnh VRF bao gồm: mô hình cụm dàn nóng không sử dụng ống hướng dòng, Hình 2 (a) và lắp đặt ống hướng dòng, Hình 2(b). Như được thể hiện trong các hình này, tổng số dàn nóng của công trình là 35 dàn nóng, chúng được bố trí lắp đặt thành 4 hàng theo chiều dài của sân thượng. Phía trên các dàn nóng là không gian mở nhằm đảm bảo việc thông thoáng cho khí nóng thoát ra không gian bên ngoài.



Hình 2. Mô hình vật lý lắp đặt cụm dàn nóng trên sân thượng.

(a) không có ống hướng dòng; (b) Có ống hướng dòng

Các thông số kỹ thuật của dàn nóng được trình bày trong **Bảng 1**. Có hai loại dàn nóng được sử dụng trong nghiên cứu này, loại nhỏ có 1 quạt với năng suất 39,2 kW trong khi loại lớn hơn có 2 quạt với năng suất 50,4 kW. Khi ở chế độ hoạt động các quạt sẽ hút không khí sau khi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt để thải ra ngoài môi trường theo hướng thẳng đứng.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật dàn nóng máy lạnh loại VRF [15]

Số thứ tự	Ký hiệu	Kích thước (mm)	Năng suất (kW)	Lưu lượng (m ³ /phút)
1	ARUN140LLS5	930×1690×760	39,2	240
2	ARUN180LLS5	1240×1690×760	50,4	320

2.2. Mô hình toán học mô phỏng động lực học lưu chất

Mô hình toán học tính toán trong các mô phỏng động lực học lưu chất là tập hợp các phương trình bảo toàn gồm phương trình bảo toàn khối lượng, bảo toàn động lượng và bảo toàn năng lượng [2-3]:

Phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu + \mu_T) \left[(\nabla \vec{u} + \nabla \vec{u}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{u} I \right] + \rho g \quad (2)$$

Phương trình bảo toàn năng lượng:

$$\rho c_p (\vec{u} \cdot \nabla) T = \rho \dot{q} + k \nabla^2 T + \Phi \quad (3)$$

Trong đó,

$$\Phi = \mu[\nabla u + (\nabla u)^T]: \nabla u \quad (4)$$

Phương trình mô hình dòng chảy rối k-ε:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

$$G_k = -\rho u_i' u_j' \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (8)$$

Trong đó:

\vec{u} : vector vận tốc

T: nhiệt độ

\dot{q} : mật độ dòng nhiệt

ρ : khối lượng riêng

c_p : nhiệt dung riêng

g: gia tốc trọng trường

μ : độ nhớt động lực học

k: động năng rối (the turbulent kinetic energy)

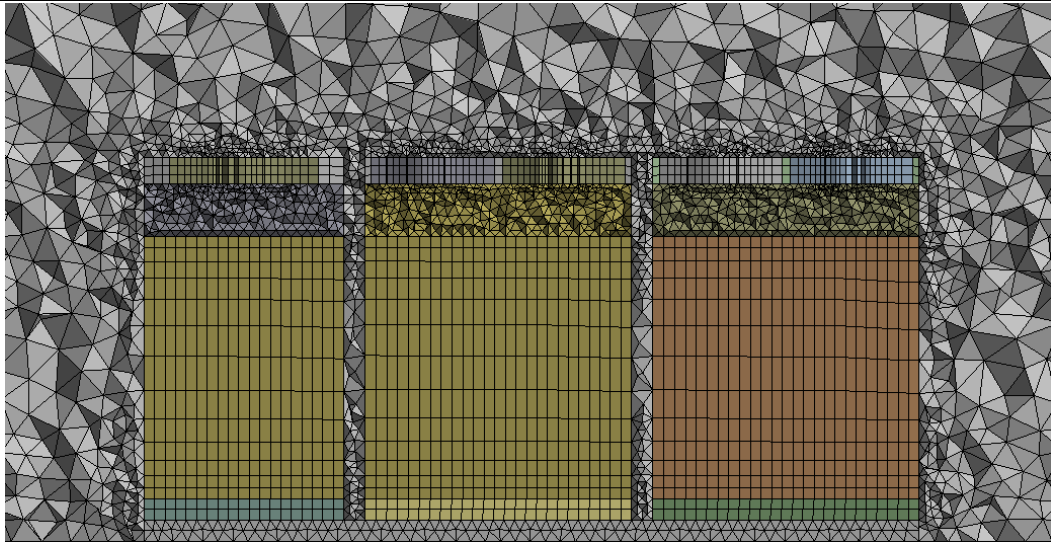
ε : tiêu tán năng lượng rối (the turbulent dissipation rate)

Các hằng số phương trình: $C_\mu = 0,09$; $C_1 = 1,44$; $C_2 = 1,92$

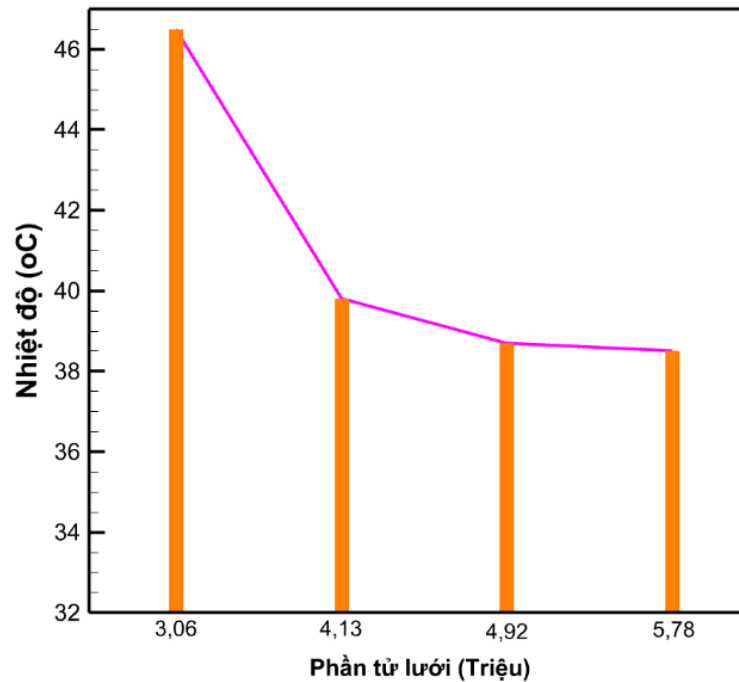
Lưu chất tính toán trong nghiên cứu này là không khí có dòng chảy rối. Phương pháp khối hữu hạn được sử dụng để phân rã hệ phương trình cơ bản cũng như hệ phương trình dòng chảy rối áp dụng cho lưu chất không chịu nén và ở chế độ ổn định. Phần mềm Ansys Fluent được chọn để thực hiện các tính toán mô phỏng. Thuật toán SIMPLE được chọn xác định quan hệ tương hỗ giữa áp suất và vận tốc. Mô hình dòng chảy rối Realizable k-ε được áp dụng trong các tính toán. So với các mô hình dòng chảy rối truyền thống, Realizable k-ε được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp vì độ chính xác cao và đồng thời tiết kiệm được thời gian tính toán. Trong khi đó, để tăng độ chính xác cho thành phần đối lưu thì phương pháp rời rạc hóa “Second Order Upwind” được áp dụng. Độ hội tụ của các phép tính được chọn là 10^{-3} cho các phương trình liên tục, động lượng và phương trình chảy rối, trong khi đó, đối với phương trình năng lượng thì độ hội tụ được chọn là 10^{-6} . Các mô phỏng trong nghiên cứu này bỏ qua ảnh hưởng của vận tốc không khí môi trường xung quanh. Tài nguyên máy tính được dùng trong tính toán mô phỏng trong nghiên cứu này là: Workstation 2xCPU Intel Xeon E5-2678 v3; RAM 32GB; NVIDIA Quadro 4GB.

2.3. Kiểm tra tính độc lập của cấu trúc lưới

Nhiệt độ không khí trung bình vào các dàn ngưng được dùng để tính toán đánh giá mức độ độc lập của cấu trúc lưới. Cấu trúc lưới biểu thị dạng 3D xung quanh các dàn nóng được thể hiện trong Hình 3. Nhiệt độ môi trường sử dụng cho các tính toán là 35°C và áp suất khí quyển được áp dụng như các điều kiện biên ở khoảng cách 10m từ các dàn nóng. Kết quả quá trình kiểm tra mức độ độc lập của lưới tính toán được trình bày trong Hình 4. Khi số lượng phần tử lưới được tính toán thay đổi từ 3,06 triệu đến 5,78 triệu phần tử thì nhiệt độ không khí trung bình vào các dàn nóng thay đổi tương ứng từ 46,5°C đến 38,6°C. Từ kết quả này có thể nhận thấy rằng khi số phần tử lưới thay đổi từ 4,92 triệu đến 5,78 triệu thì nhiệt độ thay đổi khoảng 0,52%. Do đó, mật độ cấu trúc lưới trong trường hợp 4,92 triệu phần tử sẽ được dùng trong các tính toán của nghiên cứu này.



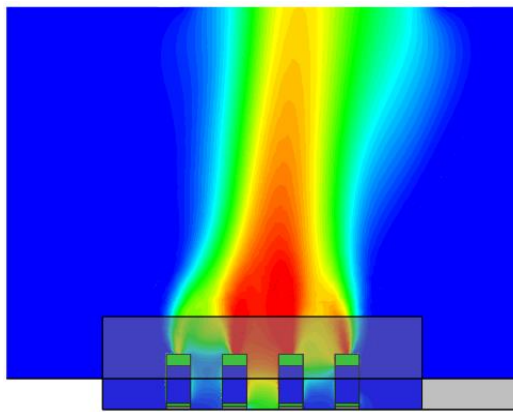
Hình 3. Cấu trúc lưới 3D xung quanh các dàn nóng



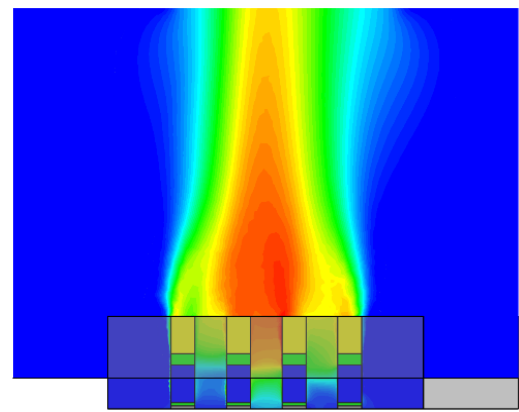
Hình 4. Kết quả tính kiểm tra độ độc lập cấu trúc lưới mô phỏng

3. Kết quả và bàn luận

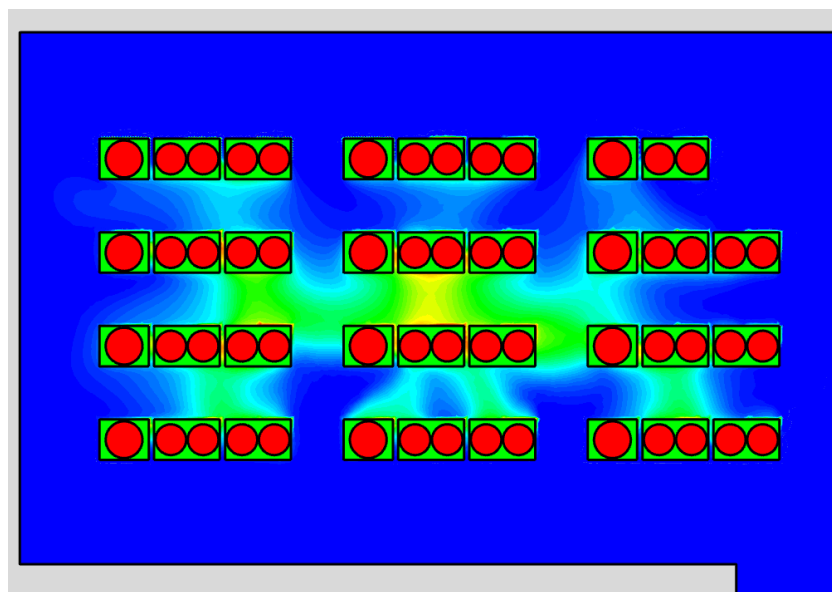
Các tính toán mô phỏng nhằm xác định được phân bố trường nhiệt độ không khí xung quanh cụm dàn nóng cũng như trường vector vận tốc không khí vào và ra khỏi dàn nóng qua đó đánh giá hiệu quả hoạt động các phương án lắp đặt cụm dàn nóng điều hòa không khí VRF. Hình 5 trình bày trường nhiệt độ không khí xung quanh cụm dàn nóng ở các mặt cắt khác nhau của 2 mô hình lắp đặt cụm dàn nóng. Như được thể hiện trong Hình 5(a) và 5(b), không khí nóng được quạt hút vào và thổi ra khỏi các dàn nóng theo hướng thẳng đứng, nhiệt độ phân bố không đồng đều ở xung quanh các dàn nóng. Vùng nhiệt độ cao tập trung phân giữa của cụm dàn nóng, đặc biệt ở 2 hàng giữa. Sự phân bố nhiệt độ cao ở vùng trung tâm của cụm dàn nóng cũng dễ được nhận thấy trong Hình 5(c) và (d). Vùng nhiệt độ màu đỏ thẫm biểu thị giá trị lớn hơn 48°C xuất hiện ở vùng trung tâm của mô hình không lắp ống hướng dòng. Như vậy, chỉ thị giá trị nhiệt độ của mô hình không lắp ống hướng dòng cao hơn so với mô hình có lắp ống hướng dòng.



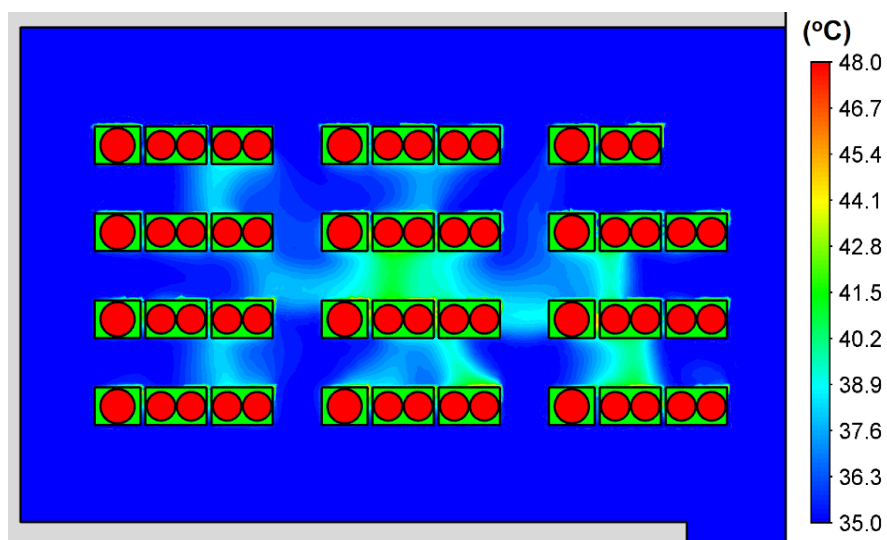
(a) Mặt cắt ngang, mô hình không lắp ống hướng dòng



(b) Mặt cắt ngang, mô hình có lắp ống hướng dòng

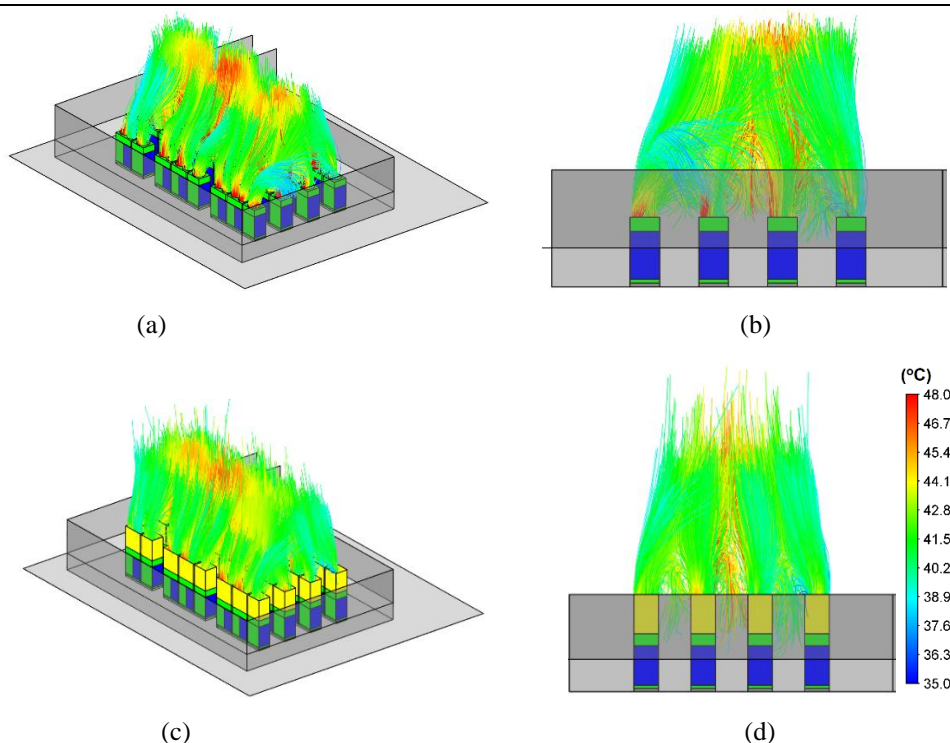


(c) Mặt cắt 0,8m so với mặt đất, mô hình không có lắp ống hướng dòng



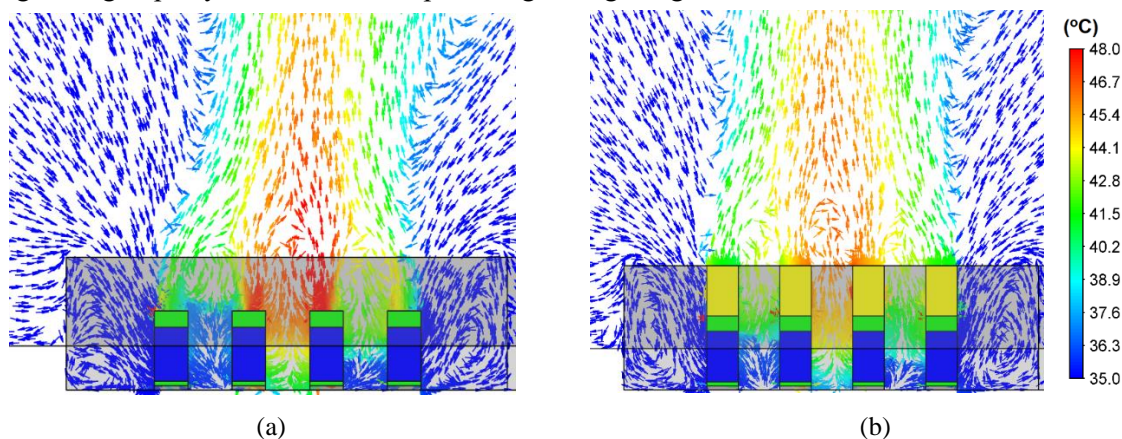
(d) Mặt cắt 0,8m so với mặt đất, mô hình có lắp ống hướng dòng

Hình 5. Phân bố trường nhiệt độ không khí ở các mặt cắt khác nhau của 2 mô hình

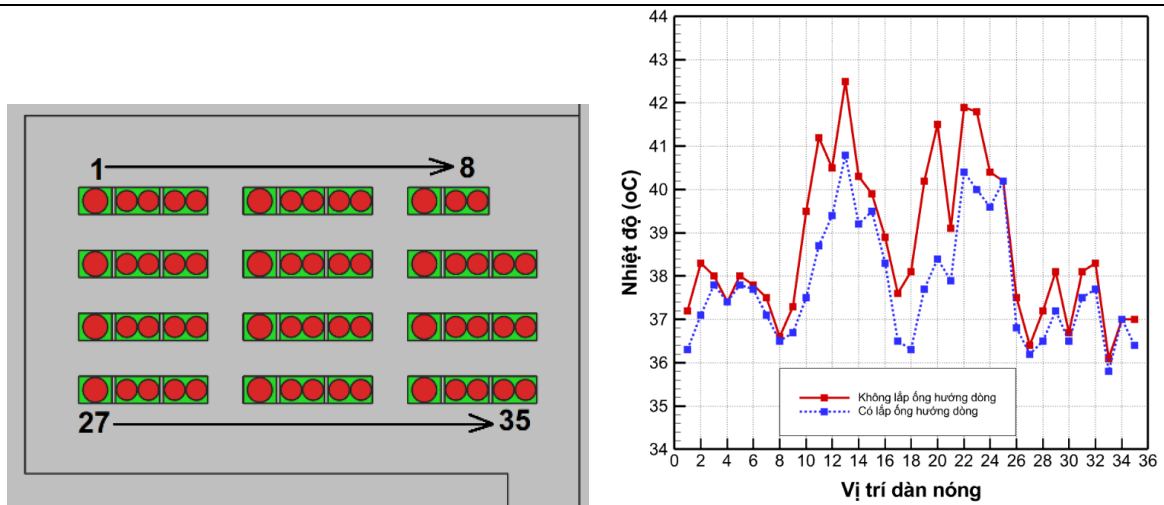


Hình 6. Phân bố dòng streamline của 2 mô hình, (a) và (c) hình chiếu 3D, (b) và (d) hình chiếu cạnh

Hình 6 mô tả dòng streamline của không khí ra khỏi các dàn nóng. Dòng streamline thẳng theo hướng thổi ra của quạt dẫn đến việc giải nhiệt từ dàn nóng sẽ tốt và ngược lại. Màu của các dòng streamline được chỉ thị thông qua độ lớn của nhiệt độ không khí. Chúng ta dễ nhận thấy rằng, vùng trung tâm của cụm dàn nóng có nhiệt độ cao hơn vùng xung quanh trong cả 2 mô hình. Hình dạng đường cong dòng streamline của mô hình không lắp ống hướng dòng phức tạp hơn nhiều so với mô hình lắp ống hướng dòng. Điều đó giải thích rằng vùng xoáy không khí xuất hiện nhiều hơn khi không lắp ống hướng dòng. Khi lắp ống hướng dòng trên mỗi dàn nóng sẽ làm không khí nóng ra khỏi quạt sẽ dễ dàng bị đẩy ra xa tránh bị hút trở lại, do đó hạn chế làm gia tăng nhiệt độ ngưng tụ môi chất lạnh trong các dàn nóng. Trường phân bố vector dòng không khí được thể hiện trên mặt cắt ngang của sân thượng được biểu thị trong Hình 7. Có thể nhận thấy rằng chiều của trường vector không khí thổi bị hút về các dàn nóng thông qua khoảng trống giữa các hàng dàn nóng. Do không có ống hướng dòng nên khí nóng vừa thoát ra khỏi phía trên dàn nóng thì bị hút trở lại dàn trao đổi nhiệt, dẫn đến nhiệt độ không khí vào các dàn nóng trong trường hợp này sẽ cao hơn khi lắp các ống hướng dòng.



Hình 7. Phân bố trường vector ở mặt cắt ngang,
(a) mô hình không lắp ống hướng dòng, (b) mô hình lắp ống hướng dòng



Hình 8. Nhiệt độ trung bình không khí vào các dàn nóng

Nhiệt độ trung bình không khí vào 35 dàn nóng của hai mô hình lắp đặt cụm dàn nóng máy lạnh VRF được thể hiện trên Hình 8. Trong hai mô hình lắp đặt, ở các vị trí lắp đặt khác nhau dẫn đến nhiệt độ không khí hút vào dàn nóng có giá trị khác nhau. Xu hướng biến thiên nhiệt độ không khí vào các dàn nóng trong hai trường hợp lắp đặt tương đối giống nhau. Khi lắp đặt ống hướng dòng dài 1,2m dẫn đến nhiệt độ không khí vào dàn nóng giảm do đó hiệu quả hoạt động của hệ thống máy lạnh VRF tăng lên. Các dàn nóng được lắp đặt bên ngoài trong cả hai trường hợp, tương ứng với số thứ tự dàn nóng từ 1 đến 8 và 27 đến 35, ít có sự thay đổi tới nhiệt độ không khí hút vào trong quá trình hoạt động. Điều này có thể giải thích rằng các dàn nóng lắp đặt bên ngoài tiếp xúc với không khí môi trường nên khi hoạt động chúng ít hút không khí thải, thay vào đó chúng hút được không khí môi trường bên ngoài nên độ gia tăng nhiệt độ nhỏ. Bên cạnh đó, các dàn nóng khu vực trung tâm có sự thay đổi lớn nhiệt độ khi hoạt động. Vì vậy, khi lắp đặt các cụm dàn nóng cần chú ý đến đặc điểm này vì chúng có thể hút khí nóng của các dàn nóng xung quanh. Nhiệt độ trung bình vào các dàn nóng khi lắp ống hướng dòng giảm đi 0,9°C so với trường hợp không lắp ống hướng dòng. Trong khi đó, nhiệt độ lớn nhất vào dàn nóng giảm đi 1,7°C khi sử dụng ống hướng dòng.

4. Kết luận

Điều hòa không khí VRF là giải pháp điều hòa không khí trung tâm hiệu quả cao, chi phí vận hành thấp, linh hoạt trong điều chỉnh tải lạnh và độ tin cậy cao. Trong bài báo này cụm dàn nóng với số lượng không quá lớn được đưa ra nghiên cứu thông qua mô phỏng CFD nhằm xác định phương án lắp đặt tối ưu. Các kết quả thu được từ các mô phỏng được rút ra như sau:

- Nhiệt độ không khí vào các dàn nóng ở phần trung tâm của cụm bị ảnh hưởng lớn bởi không khí nóng thoát ra từ các dàn nóng lắp đặt xung quanh.
- Nhiệt độ không khí trung bình vào các dàn nóng giảm 2,3% tương ứng với 0,9°C trong trường hợp các dàn nóng được lắp thêm ống hướng dòng.
- Tương tự như vậy, khi cụm dàn nóng được lắp thêm ống hướng dòng thì nhiệt độ không khí lớn nhất vào dàn nóng giảm 4% tương ứng với 1,7°C.

Tóm lại, đối với các công trình sử dụng cụm hệ thống điều hòa không khí trung tâm loại VRF, giải pháp sử dụng ống hướng dòng gắn trên mỗi dàn nóng được xem là giải pháp hữu hiệu, tiết kiệm chi phí nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động của hệ thống điều hòa không khí.

Lời cảm ơn

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. Bên cạnh đó, nhóm tác giả cũng xin cảm ơn đến công ty LG Electronics, Hàn Quốc cho sự hỗ trợ kỹ thuật trong quá trình thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Hasan, *et al.*, "A combined low temperature water heating system consisting of radiators and floor heating," *Energy Building*, Vol. 41, pp. 470-9, 2009.
- [2] Nguyen Minh Phu and Nguyen Van Hap, "Performance Evaluation of a Solar Air Heater Roughened with Conic-Curve Profile Ribs Based on Efficiencies and Entropy Generation," *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 45, pp. 9023–9035, 2020. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04676-3>
- [3] T. T. Ngo, *et al.*, "Enhancement of Exit Flow Uniformity by Modifying the Shape of a Gas Torch to Obtain a Uniform Temperature Distribution on a Steel Plate during Preheating," *Appl. Sci.*, Vol. 8, pp.219, 2018. Available from: <https://doi.org/10.3390/app8112197>
- [4] T. T. Ngo *et al.*, "Improvement of the Steel-Plate Temperature during Preheating by Using Guide Vanes to Focus the Flame at the Outlet of a Gas Torch," *Energies*, Vol.12, pp.869, 2019. Available from: <https://doi.org/10.3390/en12050869>
- [5] Nguyen H.V. and Lee G.S., "Design and Analysis of a Radial Turbine for Ocean Thermal Energy Conversion," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B*, 2015; Vol.39, pp.207-214, 2015. Available from: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2015.39.3.207>
- [6] H. V. Nguyen, *et al.*, "Computational fluid dynamics analysis for basement ventilation in case of a fire," *Journal of Advanced Marine Engineering and Technology*, Vol.44, pp.333-337, 2020. Available from: <https://doi.org/10.5916/jamet.2020.44.4.333>
- [7] M. P. Nguyen, *et al.*, "Experimental and numerical investigation of transport phenomena and kinetics for convective shrimp drying," *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol.14, pp.100465, 2019. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100465>
- [8] M. P. Nguyen, *et al.*, "Heat and Fluid Flow Characteristics of Nanofluid in A Channel Baffled Opposite to The Heated Wall," *CFD Letters*, Vol.13, pp.33-44, 2021. Available from: <https://doi.org/10.37934/cfdl.13.1.3344>
- [9] M. P. Nguyen, *et al.*, "Thermohydraulic Performance and Entropy Generation of a Triple-Pass Solar Air Heater with Three Inlets," *Energies*, Vol.14, pp.6399, 2021. Available from: <https://doi.org/10.3390/en14196399>
- [10] N.M.S. Hassan, *et al.*, "Temperature monitoring and CFD analysis of data centre," *Procedia Engineering*, Vol. 56, pp.551-559, 2013.
- [11] S. A. Nada and M. A. Said, "Performance and energy consumptions of split type air conditioning units for different arrangements of outdoor units in conPned building shafts," *Applied Thermal Engineering*, Vol.123, pp. 874-890, 2017. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.104>
- [12] T. T. Chow, *et al.*, "Effect of condensing unit layout at building re-entrant on split-type air-conditioner performance," *Energy Build*, Vol. 34, pp. 227-244, 2002. Available from: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00111-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00111-6)
- [13] T. T. Chow, *et al.*, "Placement of condensing units of split-type air-conditioners at low-rise residences," *Appl. Therm. Eng.*, Vol. 22, pp. 1431-1444, 2002. Available from: [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00068-6](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00068-6)
- [14] Y. Zang *et al.*, "Outdoor air thermal plume simulation of layer-based VRF air conditioners in high-rise buildings," *Energy Procedia*, no. 142, pp. 3787-3792, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.277>
- [15] <http://partner.lge.com/global/index.lge>



Nguyen Van Tam received the degree of bachelor in thermal engineering from the University Of Technology, Ho Chi Minh city, Viet Nam, in 2010 and the degree of bachelor in the English language from the University of Da Nang, Da Nang, Viet Nam, in 2017.

From 2016 to 2019, he was a lecturer in refrigeration and air conditioning at Cai Be Technical College. Since 2020 until now, he has been a lecturer of thermal engineering at Vinh Long University Of Technology Education. His research interest includes the development of architectures simulating the air conditioning system to support the training program for the students in all related fields. He is also researching the software CFD about simulation applications to analyze the efficiency of the installation location of air-conditioners.



Tran Van Hung is a lecturer at the Mechanical Engineering Faculty of Ho Chi Minh City University of Technology. He obtained his B.E, M.E in 1992 and his Ph.D in 2010 from Technical University of Sofia, Bulgaria. His research interests included industrial thermal systems, modeling and simulation of thermal systems, energy efficiency.



Nguyen Thi Minh Trinh is a lecturer at the Mechanical Engineering Faculty, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam. She obtained her B.E in 2002 and M.E in 2011 from HCMUT. She is also a lecturer on training energy managers and auditors of the Ministry of Industry and Trade, Vietnam. Her research interests include renewable energy; economical and efficient use of energy in buildings and factories.



Nguyen Minh Phu is an Associate Professor at the Industrial University of Ho Chi Minh City, Vietnam. He obtained his B.E. in 2006 and M.E. in 2009 from Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam, and his Ph.D. in 2012 from the University of Ulsan, Korea. He was an ex- change visitor in the Arizona State University at Tempe during the summer of 2014. His research interests include the design of thermal systems, applied renewable energy, and computational fluid dynamics. From 2008 to 2009, he was a Research Assistant with the Institute of Physics, Academia Sinica, Taipei, Taiwan. His research interest includes the development of surface processing and biological/medical treatment techniques using nonthermal atmospheric pressure plasmas, fundamental study of plasma sources, and fabrication of micro- or nanostructured surfaces.



Nguyen Van Hap obtained his B.E. in 2002 from Fisheries University, his M.E. in 2007 from Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam, and his Ph.D. in 2015 from the University of Ulsan, Korea. He is currently a lecturer at the Mechanical Engineering Faculty of HCMUT. His research interests include computational fluid dynamics for thermal processes and the optimal design of heat exchangers.