

## Thiết lập mô hình tỏa về nhiệt trong tủ điều khiển máy CNC

Establishing mock-ups being compatible with heat  
in control cabinets of CNC machines

Đình Minh Trí, Nguyễn Quang Vũ, Nguyễn Quốc Hưng,  
Nguyễn Quang Thành\*, Ngô Kiều Nhi

*PTN Cơ học Ứng dụng, Trường Đại học Bách khoa TP HCM*

*\*Email: nqthanh@hcmut.edu.vn*

*Tel: +84-838637868; Mobile: 0973 184 199*

---

### Tóm tắt

#### *Từ khóa:*

Máy CNC, Bộ điều khiển máy CNC, tủ điện máy CNC, truyền nhiệt, lưu chất

Ngày nay việc chế tạo và lắp ráp máy CNC không còn quá khó khăn. Tuy nhiên trong khi vận hành thì các vấn đề về nhiệt sinh ra là điều không thể tránh khỏi. Nhiệt sinh ra cao có thể ảnh hưởng đến tuổi thọ của các thiết bị trong máy đặc biệt các linh kiện điện tử trong tủ điều khiển. Đây là nơi có chi phí khá đắt và quan trọng nhất đối với máy CNC nên việc thay thế chi tiết gây tốn kém và ảnh hưởng lớn đến tiến độ làm việc của máy. Trong nghiên cứu này sẽ đề xuất cách bố trí lắp quạt tản nhiệt sao cho nhiệt độ của tủ điều khiển là tối ưu nhất, sau đó mô phỏng và giải bài toán đặt ra bằng phần mềm Ansys để thỏa mãn điều kiện vận hành.

### Abstract

#### *Keywords:*

CNC machines, controller set of CNC machines, CNC electrical cabinets, heat transfer, fluid

Nowadays manufacturing and assembling CNC machines are no more difficult. However, during the operating process, heat elimination is unavoidable. High heat elimination can have some certain effects on the longevity of some equipment, especially components in the control cabinet. Such cabinets are relatively expensive and most important to CNC machines; therefore, the replacements for its parts are costly and have great effects on machines' work progress. This research has been carried out to propose the techniques for arranging and assembling radiator fans in order to optimize the temperatures of control cabinets, followed by emulating and solving the stated problems by using Ansys software to satisfy the operating conditions.

Ngày nhận bài: 03/07/2018

Ngày nhận bài sửa: 14/9/2018

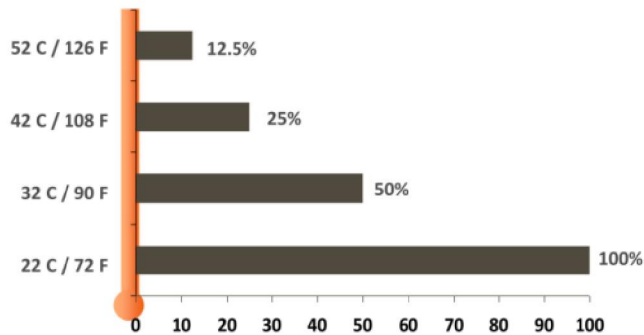
Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. TỔNG QUAN VỀ TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU

Ngày nay máy CNC không còn là khái niệm xa lạ tại Việt Nam. Máy CNC xuất hiện tại hầu hết các lĩnh vực sản xuất, đặc biệt là trong công nghiệp. Các linh kiện điện tử, các hệ thống điều khiển, thiết bị để chế tạo nên máy CNC đã và đang ngày càng phổ biến trên thị trường, điều này giúp chúng ta tạo ra các loại máy CNC trở nên dễ dàng hơn, nhất là chế tạo ra các máy CNC vừa và nhỏ ứng dụng trong giảng dạy của các trường đại học, cao đẳng, trường dạy nghề. Nhưng

hiện này trong quá trình chế tạo và vận hành các hệ thống thì chúng ta lại thường bỏ qua các vấn đề về môi trường làm việc của các thiết bị như nhiệt độ, độ ẩm, bụi bẩn, ...điều này khiến cho các thiết bị của máy (đặc biệt là các thiết bị điện tử) bị giảm tuổi thọ, giảm chất lượng và đạt hiệu suất không cao.



**Hình 1.** Tuổi thọ của thiết bị điện tử (PLC, HMI, Biến tần, Servo, controllers)

Từ Hình 1 được tham khảo tại (<http://tia.vn/vi/kb/qua-nhiệt-tu-dien-va-cac-phuong-phap-lam-mat>) cho thấy trong cùng một tủ điều khiển có nhiều chi tiết, mà mỗi chi tiết thường hoạt động dưới 1 nhiệt độ khác nhau. Do đó, để đảm bảo cho các linh kiện điện tử trong mạch, các mạch trong tủ điện được an toàn và ổn định trong quá trình làm việc của tủ điện là hết sức khẩn. Để giải quyết vấn đề này, có nhiều giải pháp được đưa ra nhằm mục đích giảm bớt nhiệt, thông thoáng không khí trong tủ điều khiển máy, giúp tủ hoạt động tốt, kéo dài tuổi thọ. Những giải pháp mang tính khả thi như [1-3]:

- Lắp máy lạnh để giảm bớt nhiệt độ không khí. Giải pháp này mang tính hiệu quả, nhưng chi phí khá cao, tiêu tốn nhiều năng lượng và phụ thuộc rất nhiều bởi chất lượng của máy lạnh khi lắp ráp.

- Để các thiết bị tiếp xúc trực tiếp với luồng không khí bên ngoài. Giải pháp này có ưu điểm là giảm nhiệt nhanh chóng lại không tốn kém, tuy nhiên giải pháp này làm cho các thiết bị dễ bám bụi và việc tiếp xúc trực tiếp có thể gây nguy hiểm cho người sử dụng.

- Thiết lập hệ thống tản nhiệt cho tủ điều khiển. Tuy không giảm nhiệt nhiều như lắp máy lạnh, nhưng tiết kiệm chi phí, năng lượng, lại an toàn cho người sử dụng. Đây là giải pháp phù hợp nhất với xưởng quy mô nhỏ, không có hệ thống làm lạnh.

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là đưa ra giải pháp tản nhiệt một cách hiệu quả, vừa an toàn vừa tiết kiệm chi phí cũng như dễ thực hiện. Với những giải pháp trên, nghiên cứu này sẽ đi sâu về giải pháp thiết kế lại hệ thống tản nhiệt cho tủ điều khiển của hệ thống máy CNC thông qua việc mô phỏng tính toán trên phần mềm Ansys CFX [4-6]. Bài báo đã thực hiện việc tính toán mô phỏng nhiệt độ, vận tốc của dòng không khí trong tủ để tìm ra nguyên nhân chính gây nhiệt độ cao trong tủ, từ đó đề xuất các biện pháp giảm nhiệt. Từ đó nhận xét các kết quả thu được và đưa ra các kết luận và áp dụng vào trường hợp cụ thể.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT/PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Lý thuyết truyền nhiệt, điều kiện và cơ sở tính toán

Truyền nhiệt là quá trình truyền năng lượng dưới dạng nhiệt năng giữa các vật hoặc vật và lưu chất khi có sự chênh lệch nhiệt độ. Có các hình thức truyền nhiệt sau: dẫn nhiệt, đối lưu, bức xạ. Điều kiện để xảy ra hiện tượng truyền nhiệt khi có sự tiếp xúc trực tiếp giữa các vật hoặc các phần tử của vật hoặc sự chênh lệch nhiệt độ. Theo định luật Fourier thì dòng nhiệt truyền qua vật (trong 1 giây) theo phương x được xác định bởi (1).

$$Q_x = -\lambda F \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

$$\text{Khi đó: } q_x = \frac{Q_x}{F} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2)$$

Với:  $q_x$  : là mật độ dòng nhiệt truyền theo phương  $x$  ( $W/m^2$ ),  $T$  : Nhiệt độ tuyệt đối của vật ( $K$ ).  $F$  : diện tích bề mặt truyền qua  $m^2$ ,  $\lambda$  : là hệ số dẫn nhiệt của vật ( $W/mK$ )

Mục tiêu của nghiên cứu của bài báo là sau khi tính toán nhiệt lượng và nghiên cứu các quá trình truyền nhiệt, là giảm nhiệt độ trên các thiết bị điện tử và giảm nhiệt độ không khí trong tủ điều khiển. Bằng cách tối đa tỷ lệ mật độ truyền nhiệt, loại bỏ nhiệt thừa. Tiến hành tính toán tối ưu hóa bằng thuật toán tự động trên công cụ tính toán tối ưu hóa của gói động lực học chất lỏng (CFD). Các bức lớp biên bao vây là đoạn nhiệt và hiệu ứng bức xạ từ các nguồn nóng được bỏ qua. Nghiên cứu cũng sẽ bỏ các lực tác dụng gây ra nâng cũng như tản nhiệt nhớt khi so sánh với quá trình đối lưu cưỡng bức này. Trong hầu hết các ứng dụng thực tế của hệ thống điện tử làm mát bằng không khí, xem lực nâng rất nhỏ. *Hàm mục tiêu* đầu tiên (phải được giảm thiểu) là nhiệt độ tổng thể trên các thiết bị điện tử (được mô hình hóa bởi các khối) :

$$\text{Min : } f_1(x) = \frac{\sum T_{f,i} A_i}{\sum A_i} \quad (3)$$

Trong đó:  $T_f$  nhiệt độ biên,  $T_i$  là nhiệt độ các phần tử lưu chất,  $A_i$  diện tích truyền nhiệt  
Hàm mục tiêu thứ 2 là phương trình hệ số chuẩn hóa Nullelts, thể hiện cường độ trao đổi nhiệt giữa chất tải nhiệt (không khí) và thành thiết bị :

$$\text{Max : } f_2(x) = N = \int N' dx \quad (4)$$

Theo công thức Newton tính toán nhiệt lượng truyền trong quá trình tỏa nhiệt đối lưu:

$$q = h.A.(T_s - T_\infty) \quad (5)$$

Ở tại lớp biên (lớp vỏ thiết bị điện tử), tốc độ truyền nhiệt đối lưu được biểu diễn dưới dạng lưu lượng nhiệt:

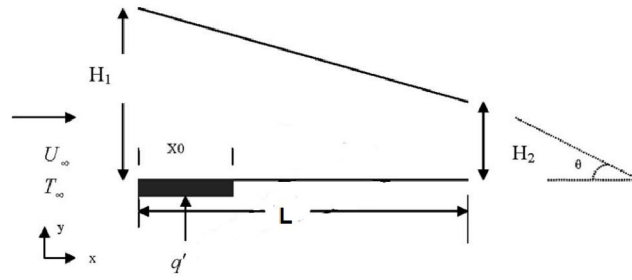
$$q_{conv} = -k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = h(T_s - T_\infty), \text{ hay } h = \frac{-k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0}}{(T_s - T_\infty)}, \quad (6)$$

Mà  $\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0}$  , phụ thuộc vào vận tốc dòng và mật độ dòng

Từ lý thuyết đồng dạng (hoặc lý thuyết phân tích thứ nguyên) đã phân tích, trong điều kiện trao đổi nhiệt ổn định. Đã xác định được tiêu chuẩn Nusselt cho hệ số tỏa nhiệt

$$Nu_x = \frac{h.x}{k} \Big|_0^L \quad (7)$$

Trong đó:  $h$  là hệ số truyền nhiệt đối lưu ( $w/m^2C$ );  $k$  nhiệt dẫn suất của không khí ( $w/mC$ );  $q''(x) = q'N'$ , phân bố lưu lượng nhiệt



Hình 2. Biểu diễn quá trình trao đổi nhiệt đối lưu trên bề mặt thiết bị

$$Nu_x = 0.332 \cdot Pr^{1/3} \cdot Re_x^{1/2} \quad (8)$$

$$\frac{q' x}{k(T_s - T_\infty)} = 0.332 \cdot Pr^{1/3} \cdot \left( \frac{U_\infty x}{\nu} \right)^{1/2} \quad (9)$$

$$N'(x) = 0.332 \cdot \frac{k}{q'} (T_s - T_\infty) \cdot Pr^{1/3} \cdot \left( \frac{U_\infty x}{\nu} \right)^{1/2} \quad (10)$$

Hàm  $N'x$  thể hiện dạng tối ưu của nguồn nhiệt trong quá trình trao đổi, với  $U_x$  được mô tả như dòng chảy cục bộ tại vị trí đang xét, dựa theo phương trình bảo toàn sau:

$$U_x = \frac{U_i \cdot L}{L - (1 - H) \cdot X} \quad (11)$$

Với  $H = H_2 / H_1$

$$N'(x) = 0.332 \cdot \frac{k}{q'} (T_s - T_\infty) \cdot Pr^{1/3} \cdot Re_L^{1/2} \cdot \left[ \frac{1}{Lx - (1 - H)x^2} \right]^{1/2} \quad (12)$$

$$Re_L = \frac{U_\infty L}{\nu}; N = \int N' dx; N = 0.664 \cdot \frac{k}{q'} (T_i - T_o) \cdot Pr^{1/3} \cdot Re_L^{1/2} \cdot \left( \frac{\frac{\pi}{2} - \sin^{-1}(2H - 1)}{2 \cdot \sqrt{1 - H}} \right)$$

$$\text{Đặt hằng số } N_c: N_c = 0.664 \cdot \frac{k}{q'} (T_i - T_o) \cdot Pr^{1/3} \cdot Re_L^{1/2} \quad (13)$$

$$N = N_c \cdot \left( \frac{\frac{\pi}{2} - \sin^{-1}(2H - 1)}{2 \cdot \sqrt{1 - H}} \right); \frac{N}{N_c} = \left( \frac{\frac{\pi}{2} - \sin^{-1}(2H - 1)}{2 \cdot \sqrt{1 - H}} \right)$$

Ta thấy,  $\lim_{H \rightarrow 1} \frac{N}{N_c} = 1$ , Khi mặt cắt ngang dòng không đổi thì  $\lim_{H \rightarrow 0} \frac{N}{N_c} = 1,57$ , Vậy với việc có thể thay đổi các đại lượng vật lý đặc trưng cho tính chất của lưu chất ( $Re, Pr, k, \dots$ ), giới hạn của  $N$  là:  $N_c < N < 1.57 N_c$

## 2.2. Các biện pháp tản nhiệt

Qua Hình 1 ta nhận thấy cứ tăng mỗi  $10^\circ\text{C}$  thì làm giảm một nửa tuổi thọ của thiết bị. Vì vậy khi chế tạo máy chúng ta phải quan tâm đến môi trường làm việc của máy, của các thiết bị

điện tử. Trong quá trình vận hành chắc chắn sẽ có quá trình tỏa nhiệt từ các thiết bị điện tử trong tủ điều khiển. Chúng ta sẽ khắc phục bằng cách làm giảm nhiệt độ xung quang các thiết bị đó. Ta có thể làm mát tủ điện theo các cách:

- Làm mát đối lưu tự nhiên: Dòng nhiệt sẽ từ môi trường có nhiệt độ cao hơn di chuyển sang môi trường mát hơn một cách tự nhiên khi nhiệt độ môi trường xung quang vỏ tủ điện mát hơn nhiệt độ bên trong tủ.

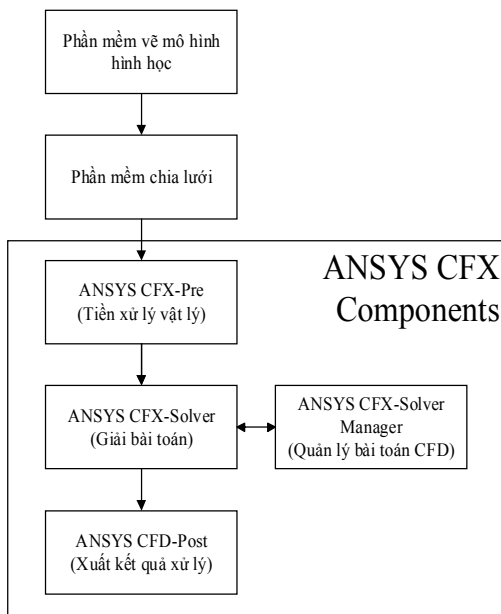
- Làm mát đối lưu cưỡng bức: Lượng nhiệt di chuyển từ khu vực có nhiệt độ cao hơn đến khu vực có nhiệt độ thấp hơn có thể được tăng lên bằng các quạt thông gió để giảm sức cản nhiệt của các vách ngăn giữa hai khu vực. Các quạt thông gió làm giảm nhiệt độ bên trong tủ điện bằng cách làm mát đối lưu cưỡng bức. Các quạt thông gió có thể làm mát tủ điện nhưng nó sẽ đưa các bụi bẩn từ môi trường bên ngoài vào bên trong tủ.

- Làm mát chủ động: Khi làm mát đối lưu tự nhiên và đối lưu cưỡng bức không có đủ khả năng truyền nhiệt để làm mát các thiết bị bên trong tủ điện, điều hòa không khí có thể làm được điều này. Điều hòa không khí sẽ tạo nên một hệ thống khép kín. Do đó, nó sẽ bảo vệ các thiết bị bên trong tủ điện khỏi các yếu tố môi trường như bụi bẩn hay các chất lỏng.

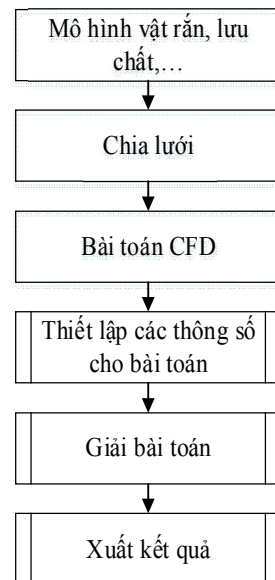
### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Xây dựng mô hình

Cấu trúc xây dựng trên chương trình của ANSYS CFX bao gồm bốn module để vẽ mô hình hình học, chia lưới và truyền thông tin cần thiết để thực hiện phân tích được thể hiện như Hình 3:

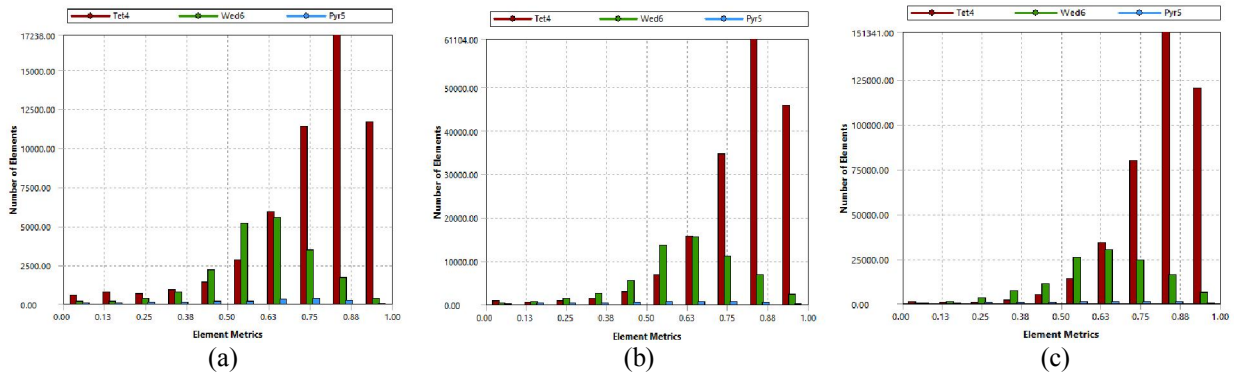


Hình 3. Cấu trúc của chương trình ANSYS CFX

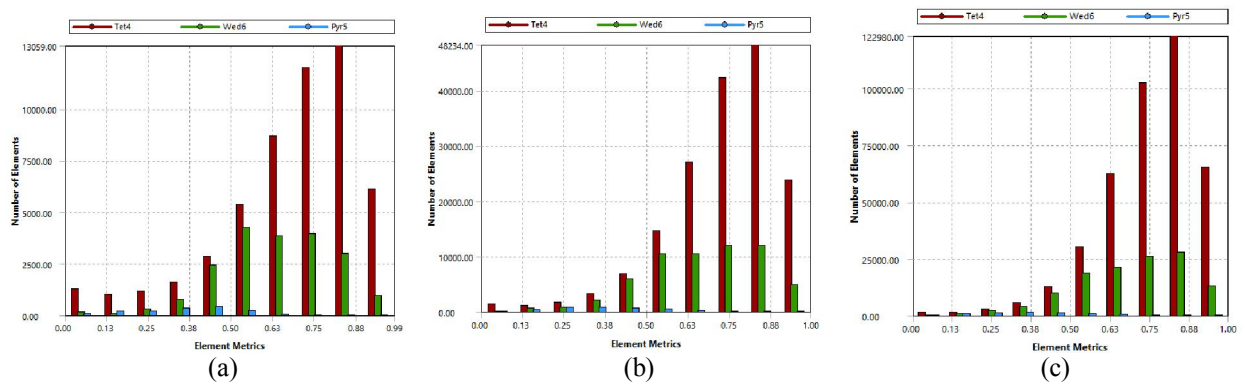


Hình 4. Quy trình thực hiện bài toán

Đánh giá chất lượng lưới được thực hiện bởi 3 yêu cầu bao gồm chia lưới thô, chia lưới trung bình và chia lưới mịn. Tại các mô hình chia lưới sẽ đánh giá chất lượng theo 2 tiêu chí “Element Quality” (lưới chất lượng/hiệu quả) và “Orthogonal Quality”(chất lưới trực giao), đây là 2 tiêu chí chuẩn trong việc đánh giá quá trình truyền nhiệt và ảnh hưởng của nhiệt độ đến các vật chất.



Hình 5. Đánh giá chất lượng chia lưới theo tiêu chí “Element Quality” đối với lưới thô, trung bình và mịn



Hình 6. Đánh giá chất lượng chia lưới theo tiêu chí “Orthogonal Quality” đối với lưới thô, trung bình và mịn

Qua các tiêu chí đánh giá, nghiên cứu chọn tiêu chí với mức lưới cao để tạo độ chính xác cho kết quả đạt được.

Bảng 1. So sánh kết quả các mô hình sau khi mesh lưới

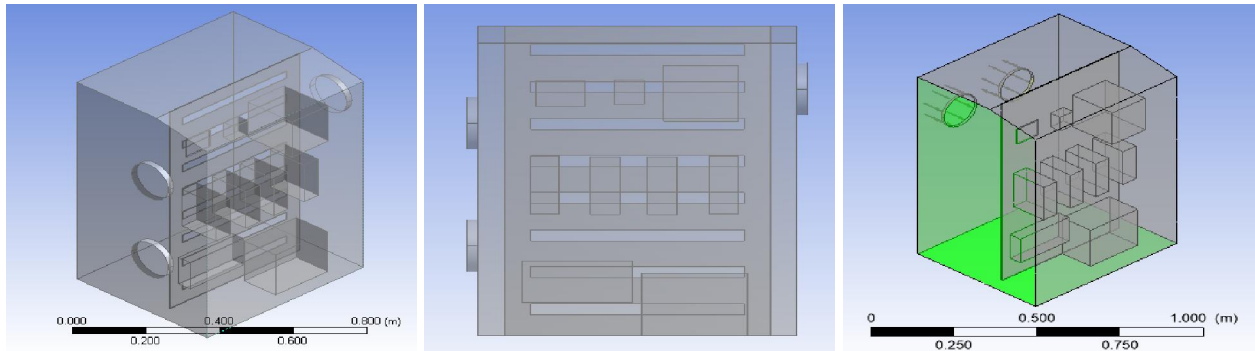
Kích thước lưới	Thô	Trung bình	Mịn
Số điểm lưới	21381	63596	<b>139660</b>
Số phần tử	74167	231238	<b>534023</b>

Trong đó, điều kiện ban đầu gồm: Dạng bài toán (Analysis Type) phù hợp cho bài toán ổn định (Steady State), Fluid and Particle Definitions tại Air (34°C, 1 atm), Thiết lập INLET (Hình 3), OUTLET (Hình 4), Thiết lập nhiệt độ, hệ số dẫn nhiệt cho từng phần tử trong tủ điều khiển như Bảng 2.

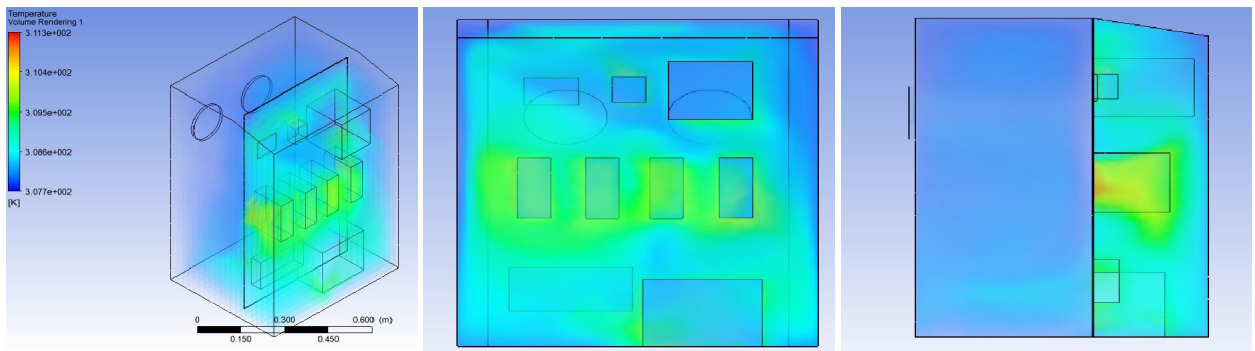
Bảng 2. Nhiệt độ và thông lượng nhiệt trước khi lắp hệ thống tản nhiệt

Phần tử	Hệ số bức xạ	Nhiệt độ ban đầu (°C)	Cường độ bức xạ (W/m <sup>2</sup> )
Mach 3	0,87	52,4	566,78
Tấm phẳng	0,85	34	428,11
TDK Noise	0,59	50,0	364,12
Transitor	0,93	39,8	504,82
Servopack 1	0,91	43,2	515,79
Servopack 2	0,91	43,2	515,79
Servopack 3	0,91	43,2	515,79
Servopack 4	0,91	43,2	515,79
Nguồn 24V	0,85	40,2	463,76
Nguồn 110V	0,85	41,4	470,90

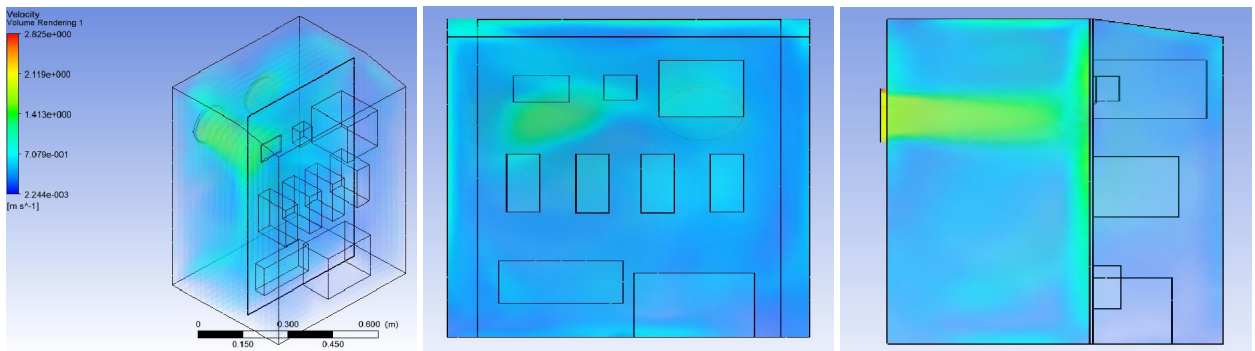
### 3.2. Bài toán mô hình tủ ban đầu



Hình 7. Mô hình mẫu tủ điều khiển ban đầu



Hình 8. Kết quả nhiệt từ mô hình tủ điều khiển ban đầu



Hình 9. Kết quả vận tốc gió từ mô hình tủ điều khiển ban đầu

Kết quả cho thấy:

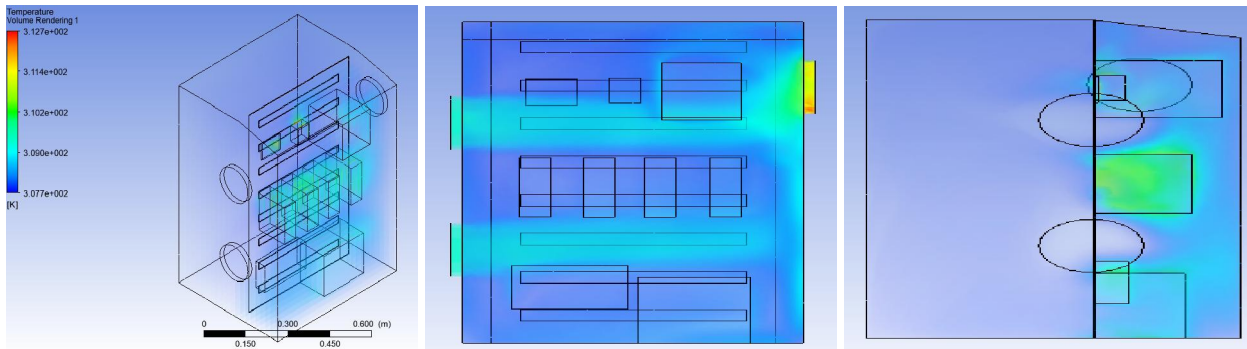
- Khi 2 lỗ thông gió của hệ thống tủ điều khiển ban đầu thường dùng nằm ngay phía sau lưng của tấm chắn mạch điện, điều này cho thấy không khí chỉ giải nhiệt cho 1 bề mặt của bản mạch, do đó không khí sẽ chuyển động hỗn loạn trong tủ như (Hình 7), đồng thời khí nóng bên trong tủ cũng không thể thoát ra ngoài điều này rất nguy hiểm cho tủ điều khiển về hoạt động lâu dài.

- Đối với vận tốc gió, khi lượng gió được hút trực tiếp vào thùng điều khiển, và va đập trực tiếp với tấm chắn của tủ. Điều này làm ảnh hưởng nhiều đến các chân hàn, mối hàn của các linh kiện.

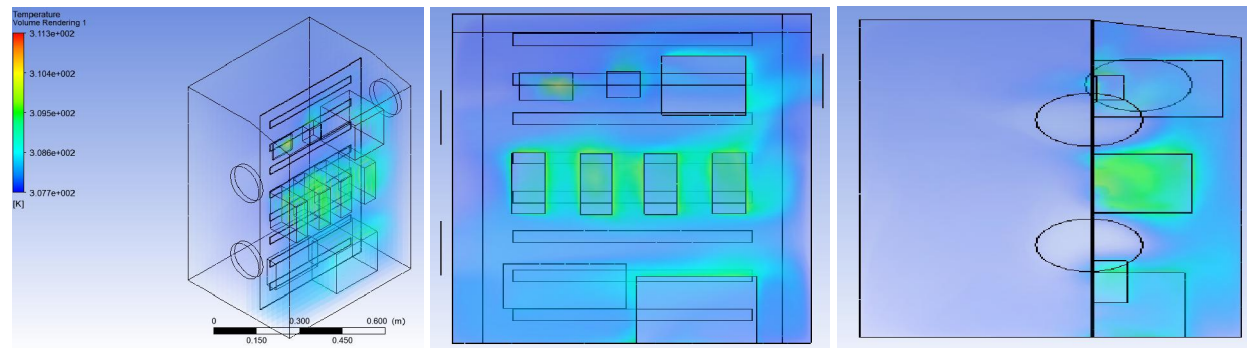


Rõ ràng biện pháp thông gió hiện nay còn nhiều khuyết điểm, chưa mang lại hiệu quả giảm nhiệt triệt để cho quá trình hoạt động của hệ thống trong tủ điều khiển. Nhóm nghiên cứu đề xuất một phương án giảm nhiệt cho tủ bằng cách chuyển đổi 2 quạt hút gió (từ bên ngoài vào thùng điện) từ phía sau lưng chuyên về bên lưng của tủ điện, đồng thời đưa thêm 1 quạt hút (từ bên trong thùng ra bên ngoài).

### 3.3. Bài toán mô hình tử với đề xuất mới



Hình 10. Kết quả mô phỏng về nhiệt



Hình 11. Kết quả mô phỏng về gió

Bảng 3. So sánh nhiệt độ và vận tốc gió sau khi mô phỏng ở mô hình mesh lưới mịn

	Nhiệt độ điểm cao nhất ( $^{\circ}\text{C}$ )	Nhiệt độ trung bình ( $^{\circ}\text{C}$ )	Vận tốc gió trung bình (m/s)	Vận tốc gió tại điểm cao nhất (m/s)
Mach 3	38,760	36,596	0,589884	1,737030
TDK Noise	39,677	37,102	0,658993	1,590090
Transitor	36,904	35,882	0,872077	2,101670
Servopack 1	37,813	36,562	0,206318	0,961881
Servopack 2	38,128	36,900	0,180903	0,938362
Servopack 3	38,206	36,949	0,198582	0,877097
Servopack 4	38,179	36,771	0,320649	0,920520
Nguồn 24V	36,531	35,809	0,506980	1,776730
Nguồn 110V	38,455	36,377	0,371296	1,006630

Kết quả mô phỏng cho thấy:

- Việc thiết lập cánh quạt ở cạnh bên của thùng giúp sẽ tản nhiệt tốt hơn. Đồng thời việc tạo lỗ trống của tấm bảng để treo các thiết bị sẽ giúp không khí dễ lưu thông, trao đổi nhiệt tốt hơn nhiều so với mô hình cũ. Việc giảm được lượng nhiệt sẽ giữ cho các thiết bị hoạt động tốt hơn, đảm bảo độ bền và tính ổn định của thiết bị.



- Khi hút không khí từ bên ngoài vào từ 2 quạt hút bên hông thùng cũng sẽ không va đập trực tiếp với các linh kiện và được hút ra bởi quạt hút còn lại từ bên trong ra bên ngoài.

#### 4. KẾT LUẬN

Nhiệt độ và vận tốc gió của 3 mô hình chia lưới có nhiệt độ chênh lệch nhỏ. Cho thấy rằng lời giải của bài toán đang hội tụ khá chính xác. Dựa vào mục đích của việc mô phỏng để tính toán, các kết quả có tính chính xác cao, ta nên chọn *mô hình mesh lưới mịn*. Theo các đặc tính truyền nhiệt của các thiết bị điện, quá trình chủ yếu xảy ra dưới dạng đối lưu. Và với việc sử dụng quạt thổi và hút để tăng cường trao đổi nhiệt quá trình này trở thành đối lưu cưỡng bức. Dựa vào các tính chất vật lý của dòng nhiệt lượng, đề tài đã sắp xếp lại các thiết bị điện, và bố trí lại quạt hút và thổi so với mẫu đang sử dụng trong phòng thí nghiệm Cơ Học Ứng Dụng. Sự thay đổi này đã mang lại kết quả thay đổi rõ rệt, các kết quả cho thấy không khí trong tủ được lưu thông đồng đều hơn, không khí làm mát từ bên ngoài được đưa vào chính xác các vị trí cần tiêu tán nhiệt, làm giảm nhiệt trực tiếp các thiết bị điện. Và nhiệt độ trong tủ cũng đồng thời giảm theo.

Những nơi tiếp xúc gần quạt sẽ có vận tốc dòng lớn hơn, nên hệ số tỏa nhiệt cũng sẽ lớn và nhiệt độ sẽ giảm nhanh hơn nhưng nơi khác. Chúng ta có thể thấy rằng vì quạt mang không khí từ bên ngoài vào để giảm nhiệt cũng đồng thời có thể mang theo bụi bẩn và không khí ẩm từ bên ngoài vào tủ điện, điều này gây ra nguy hiểm cho các thiết bị, các linh kiện điện tử trong tủ. Do đó, chúng ta có thể hạn chế vấn đề phát sinh này, nhóm nghiên cứu sẽ đề xuất thêm lưới lọc bụi cho quạt nhằm hạn chế những tác nhân khác gây ảnh hưởng đến các thiết bị

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hoàng Thị Nam Hương - Bài giảng Nhiệt động lực học và truyền nhiệt, Trường Đại học Bách Khoa thành phố Hồ Chí Minh (link bài giảng : <https://text.123doc.org/document/4610310-nhiet-dong-luc-hoc-va-truyen-nhiet-ths-hoang-thi-nam-huong-dh-bach-khoa-tp-hcm.htm> ).
- [2]. Nguyễn Thị Bảy - Bài giảng Cơ lưu chất, Trường Đại học Bách Khoa thành phố Hồ Chí Minh (link bài giảng: <http://tamtailieu.vn/tai-lieu/bai-giang-co-luu-chat-nguyen-thi-bay-43318/> ).
- [3]. David C. Wilcox (1998), *Turbulence Modeling for CFD*, DCW Industries.
- [4]. Hermann Schlichting (2000), *Boundary Layer Theory*, Springer
- [5]. John D. Anderson (1995), *Computational Fluid Dynamics - The basic with applications*, McGraw - Hill Science/Engineering/Math
- [6]. John F. Wendt (2009), *Computational Fluid Dynamics - An Introduction*, Springer