

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG DÒNG CHẢY, HỆ THỐNG THÔNG GIÓ VÀ SỰ LAN TRUYỀN TIẾNG ỒN TRONG NHÀ MÁY

A NUMERICAL SIMULATION OF FLUID FLOW THROUGH FACTORY, EFFICIENCY OF VENTILATION SYSTEM AND ACOUSTIC PROPAGATION

PHẠM LÊ BẮC, PHẠM DUY NAM, PHẠM VĂN SÁNG*

Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email liên hệ: sang.phamvan@hust.edu.vn

Tóm tắt

Ngày nay, môi trường làm việc của công nhân, kỹ sư đang ngày càng được quan tâm hơn. Các hệ thống cần được thiết kế sao cho đảm bảo điều kiện thông thoáng khí, giảm sự ảnh hưởng của tiếng ồn và nhiệt độ từ hệ thống máy móc tới công nhân. Trong nghiên cứu này chúng tôi khảo sát các yếu tố trên bằng phương pháp mô phỏng thông qua việc giải các bài toán về dòng chảy bao quanh vật thể, hiện tượng lan truyền âm thanh và nhiệt độ. Từ các kết quả thu được chúng tôi có thể đánh giá và đưa ra các giải pháp nhằm giảm thiểu tiếng ồn, tăng hiệu suất của hệ thống thông gió.

Từ khóa: Dòng chảy bao vật thể, hệ thống thông gió, lan truyền âm thanh.

Abstract

Nowadays, working environment is the one of important issue in factory. Ventilation system is designed for satisfied requirements of fluid flow in factory, decrease effect of noise from mechanic system. We examine the interaction problem between the flow through an object and the phenomenon of generating and propagating noise in the factory. According to the results we offer some solutions to reduce noise, improve efficiency of ventilation system.

Keywords: Fluid flow, ventilation system, acoustic propagation

1. Giới thiệu

Ngày nay, ngày càng có nhiều nhà máy được xây dựng kéo theo nhu cầu nhân công lao động cũng ngày càng tăng thêm. Từ đó các yếu tố về sự an toàn và thoải mái trong quá trình làm việc của công nhân cũng ngày càng được quan tâm hơn. Tiếng ồn và sự thông thoáng trong nhà máy là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng tới hiệu quả công việc và sức khỏe của công nhân trong nhà máy. Việc tiếp xúc với tiếng ồn lớn trong quá trình làm việc sẽ tạo cảm giác không

thoải mái, nếu tiếp xúc trong thời gian dài có thể gây hại tới khả năng nghe của công nhân. Bên cạnh đó yếu tố thông thoáng khí trong nhà máy sẽ đảm bảo mức nhiệt độ ổn định, tạo cảm giác thoải mái cho công nhân khi làm việc. Hiện nay khi tiến hành xây dựng nhà máy các thông số trên được tính toán bằng nhiều cách khác nhau: Đo đạc thực nghiệm [1], mô phỏng số [2]. Trong mỗi phương pháp đều có các ưu nhược điểm khác nhau. Phương pháp đo đạc thực nghiệm cho kết quả chính xác theo địa hình, bố trí trong nhà máy. Phương pháp này đưa ra được kết quả về cấu trúc dòng chảy, mức cường độ âm, nhiệt độ tại các vị trí trong nhà máy. Các kết quả thu được có thể được ứng dụng trong quá trình thiết kế, xây dựng nhà máy. Tuy nhiên, phương pháp này đòi hỏi chi phí thực hiện cao, máy móc hiện đại và số lượng nhân công thực hiện lớn. Với sự phát triển của máy tính ngày nay cho phép chúng ta có thể khảo sát dòng chảy, tiếng ồn và nhiệt độ lan truyền trong nhà máy từ đó đưa ra những cải tiến phù hợp nhằm hạn chế tối đa ảnh hưởng của các yếu tố này tới công nhân làm việc trong nhà máy. Bên cạnh đó phương pháp mô phỏng giúp chúng ta thực hiện tiện lợi hơn, có kết quả nhanh hơn và tiết kiệm hơn so với các thử nghiệm thực tế. Mô hình nhà máy được sử dụng trong mô phỏng này là nhà máy Haast Hà Nam (Hình 1).



Hình 1. Hình ảnh thực tế của nhà máy Haast Hà Nam

2. Phương pháp mô phỏng số

Để thực hiện mô phỏng lan truyền dòng chảy, nhiệt độ và âm thanh trong nhà máy chúng tôi đã sử dụng phần mềm mô phỏng Simcenter STAR CCM+ và mô hình nhà

máy Haast tại Hà Nam. Từ việc mô phỏng chúng tôi đưa ra các dữ liệu về phân bố vận tốc, áp suất của dòng chảy, lan truyền âm thanh và nhiệt độ từ các thiết bị. Thông qua đó đưa ra các kết luận về nguyên nhân, mức độ ảnh hưởng và đề xuất một số giải pháp.

2.1. Phương trình biểu diễn dòng chảy

Phương trình RANS là phương trình biểu diễn dòng chảy trong không gian theo thời gian, được mô tả bằng phương trình sau [4]:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad}p + \nu \Delta \vec{u} + \frac{\nu}{3} \text{grad}(\text{div} \vec{u}) \quad (1)$$

Trong đó: u - Là vận tốc dòng chảy; F - Là lực khối; ρ - Là khối lượng riêng chất lỏng; ν - Là độ nhớt động học; Δ - Là toán tử Laplas; t - Là thời gian.

Với điều kiện ban đầu là dòng chảy rối, đầu vào tự do, mô hình rối K-Omega được lựa chọn để giải các phương trình chuyển động của dòng khí trong nhà máy. Ngoài ra mô hình SST K-Omega (Shear Stress Transport) cũng được sử dụng để mô tả chính xác hơn dòng chảy ở gần và xa tường. SST K Omega là một mô hình kết hợp giữa K-Omega và K-Epsilon tận dụng được ưu điểm của 2 mô hình:

- Mô hình K-Omega rất thích hợp để mô phỏng dòng chảy trong lớp phụ nhớt;
- Mô hình K-Epsilon lý tưởng để dự đoán hành vi của dòng chảy ở các vùng cách xa bức tường.

2.2. Phương trình biểu diễn lan truyền nhiệt độ

Truyền nhiệt là sự trao đổi nhiệt lượng giữa các môi chất ở nhiệt độ khác nhau. Quá trình trao đổi nhiệt diễn ra theo hướng truyền nhiệt năng từ nơi có nhiệt độ cao đến nơi có nhiệt độ thấp cho đến khi nhiệt độ được cân bằng thì ngừng lại.

Truyền nhiệt được tồn tại dưới ba hình thức: Dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ nhiệt.

Trong STAR-CCM+, sự truyền nhiệt trong không khí được tính toán dựa trên phương trình năng lượng trong chất lỏng. Phương trình năng lượng trong chất lỏng được viết dưới dạng [5]:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho E dV + \oint_A \rho H v \cdot da = - \oint_A \dot{q}'' \cdot da + \oint_A T \cdot v da + \int_V f_b \cdot v dV + \oint_A \sum_i h_i j_i da + \int_V S_u dV \quad (2)$$

Trong đó: E - Là tổng năng lượng; H - Là tổng enthalpy; \dot{q}'' - Là vector thông lượng nhiệt; T - Là ứng suất căng nhớt; v - Là véc tơ vận tốc; f_b - Là

véc tơ lực khối; h_i - Là enthalpy thành phần; j_i - Là dòng khuếch tán thành phần; S_u - Là nguồn nhiệt.

Tổng năng lượng liên quan đến tổng enthalpy H :

$$E = H - \frac{p}{\rho} \quad (3)$$

Trong đó:

$$H = h + \frac{|v|^2}{2} \quad (4)$$

Với h là enthalpy tĩnh.

2.3. Phương trình biểu diễn lan truyền âm thanh

Phương trình xác định vận tốc âm thanh [6]:

$$\alpha_0 = \sqrt{\gamma R T_0} \quad (5)$$

Trong đó: α_0 - Là vận tốc lan truyền của âm thanh; γ - Là chỉ số đoạn nhiệt hay tỷ số nhiệt dung ở vùng áp suất không đổi đối với nhiệt dung và ở thể tích không đổi đối với chất lưu; R - Là hằng số khí phổ quát; T_0 - Là nhiệt độ của vùng không gian lan truyền (đơn vị Kelvin).

Đối với môi trường không khí 293K, vận tốc âm thanh là 343,2 m/s

Áp suất âm thanh là sự thay đổi cục bộ áp suất từ áp suất môi trường tham chiếu mà sóng âm thanh gây ra.

Mức áp suất âm thanh (Sound Pressure Level) trên tần số (tính bằng Hz) là thước đo logarit của áp suất âm thanh hiệu dụng so với giá trị tham chiếu và được đo bằng decibel (dB):

$$SPL = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{p_{rmf}} \right) \text{ (dB)} \quad (6)$$

Trong đó: p_{rms} - Là căn bậc hai áp suất âm thanh tại vị trí khảo sát; p_{rmf} - Là giá trị áp suất âm thanh tham chiếu (giá trị thường dùng là $20 \mu Pa$).

Cường độ âm là năng lượng của sóng âm truyền qua một đơn vị diện tích được đặt vuông góc với phương truyền âm. Đơn vị W/m^2 .

$$I = \frac{P}{S} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (7)$$

Trong đó: $P(W)$ - Là công suất phát âm của nguồn; $S(m^2)$ - Là diện tích mặt vuông góc với phương truyền âm (với sóng cầu thì S là diện tích mặt cầu $S = 4\pi R^2$).

Mức cường độ âm là đại lượng dùng để so sánh cường độ âm I (cường độ âm tại 1 điểm nào đó) với cường độ âm chuẩn.

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ (dB)} \quad (8)$$

Trong đó: I - Là cường độ âm tại điểm khảo sát; I_0 - Là cường độ âm tham chiếu (thường dùng là $10^{-12} (W/m^2)$).

2.4. Mô hình hình học và lưới

Mô hình hình học được dựng trực tiếp trong phần mềm Star-CCM+ dựa trên bản vẽ kích thước và hình ảnh thực tế của nhà máy.

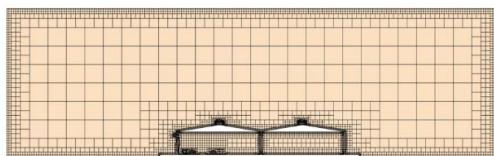
Bảng 1. Thông số của nhà máy

Kích thước nhà máy	120 Dài × 80 Rộng × 10,85 Cao (m)
Kích thước ô cửa thông gió (×4)	1,62 × 1,55 (m)

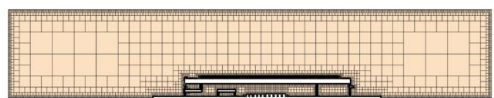
Bảng 2. Số liệu lưới

Số ô lưới	2,349,093
Số lưới bề mặt	6,921,428
Số điểm lưới	2,942,434

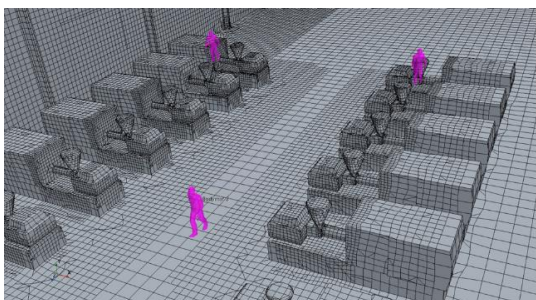
Simcenter STAR-CCM+



Simcenter STAR-CCM+



Hình 2. Hình ảnh mặt cắt lưới trong và ngoài nhà máy



Hình 3. Hình ảnh lưới khu vực máy



Hình 4. Vị trí các thiết bị trong nhà máy

Lưới được làm mịn tại các vị trí tường và vùng không gian xung quanh các thiết bị để tính toán chính

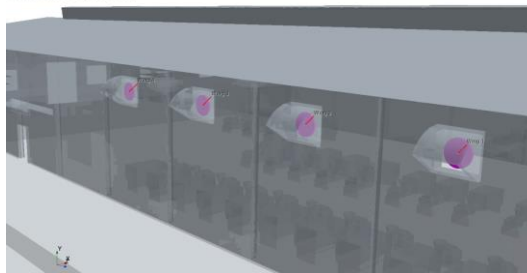
xác quá trình lan truyền của nhiệt độ, tiếng ồn và khả năng hấp thụ và phản xạ âm thanh tại vị trí tường bao (Hình 2, 3, 4).

Trong nghiên cứu này, quạt thông gió được thay bằng mô hình đĩa ảo. Để phù hợp với các đặc tính của cánh quạt thông gió chúng tôi lựa chọn phương pháp đĩa ảo Blade Element. Các thông số cài đặt được liệt kê theo Bảng 3.

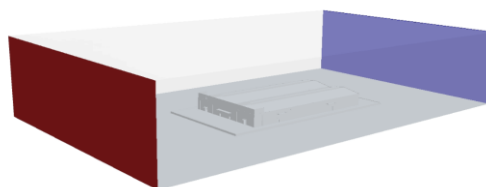
Bảng 3. Thông số của đĩa ảo cho quạt thông gió

Tính chất	Giá trị
Số cánh	6
Bán kính trong	0,05m
Bán kính ngoài	0,6m
Độ dày	0,1m
Vận tốc góc của đĩa	150rad/s
Normaized Span (r/R)	Twist data
0	0
1	-0.13963

Simcenter STAR-CCM+



Hình 5. Vị trí các quạt thông gió



Hình 6. Các bề mặt biên trong mô phỏng

Vị trí của các quạt thông gió được bố trí đúng với thực tế nhà máy và được biểu diễn ở Hình 5.

Điều kiện biên tại các bề mặt được biểu diễn trong Bảng 4 với chú thích các bề mặt biên bằng màu sắc ở Hình 6. Hệ số hấp thụ âm tại các biên tường là 0,05.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả dòng chảy trong nhà máy

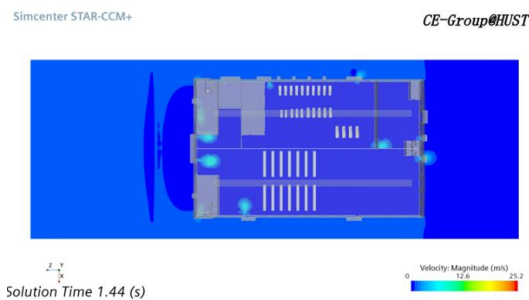
Sau khi thực hiện các quá trình tạo lưới, chọn các điều kiện vật lý cho từng đối tượng, mô phỏng thu được các kết quả về trường vận tốc, áp suất của dòng chảy.

Với vận tốc góc 150rad/s, dòng khí sau quạt thông gió có thể đạt tới vận tốc 27m/s. Cấu trúc dòng chảy

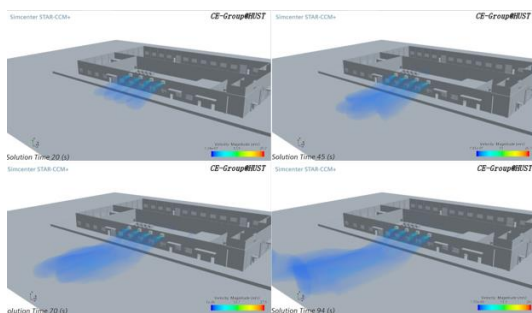
trong nhà máy (Hình 9) cho thấy được sự lưu thông khí từ trong ra ngoài nhà máy. Tuy nhiên sự lưu thông không khí giữa các khu vực đặt thiết bị vẫn chưa đạt hiệu quả cao. Nguyên nhân tới từ việc bố trí các hệ thống thông gió. Các hệ thống thông gió được đặt ở các vị trí tường trái và phải, dòng khí ở vùng này bị cản lại bởi chính các thiết bị dẫn tới hiệu năng lưu thông khí thấp. Từ các kết quả trên cho thấy cần thiết một thiết bị thông gió hướng vuông góc khu vực giữa hai hàng thiết bị để tăng hiệu suất lưu thông không khí.

Bảng 4. Điều kiện biên

Biên	Loại điều kiện biên
Biên dòng vào (màu đỏ)	Velocity Inlet
Biên dòng ra (màu xanh)	Pressure Outlet
Bề mặt xung quanh miền khảo sát (bề mặt được làm mờ)	Pressure Outlet
Biên mặt đất và tường bao nhà máy (màu xám)	Wall



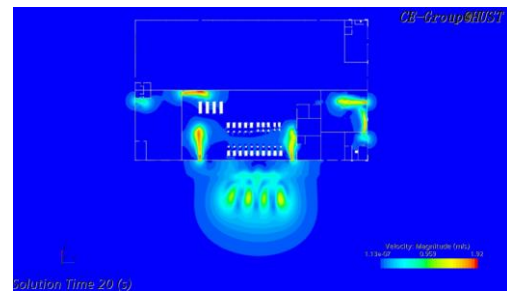
Hình 7. Dòng chảy tại các vị trí đặt quạt thông gió



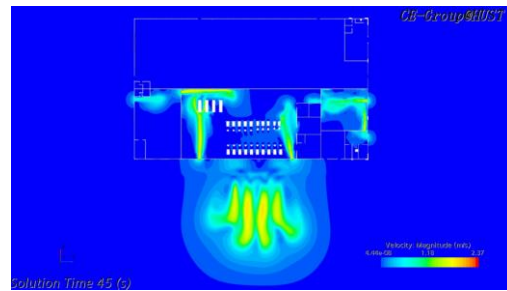
Hình 8. Trường vận tốc tại quạt thông gió theo thời gian

3.2. Kết quả lan truyền nhiệt độ

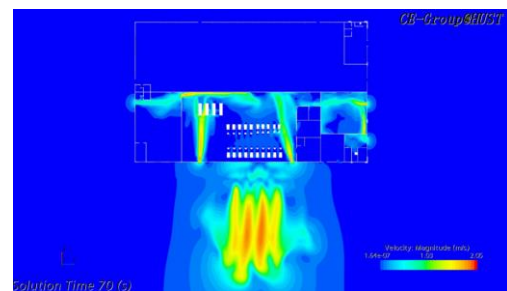
Kết quả ở Hình 10 và Hình 11 cho biết sự phân bố và truyền nhiệt lượng từ các thiết bị. Nhiệt độ lớn nhất tại bề mặt của thiết bị là 423K (150°C), trong khu vực làm việc của công nhân vận hành (cách thiết bị 2 m) nhiệt độ đạt từ 330K(57°C) tới 419K (146°C). Kết quả cho thấy mức nhiệt độ tại khu vực làm việc chưa tốt. Mức nhiệt độ này có thể được cải thiện hơn bằng việc tăng khả năng lưu thông không khí ở khu vực này.



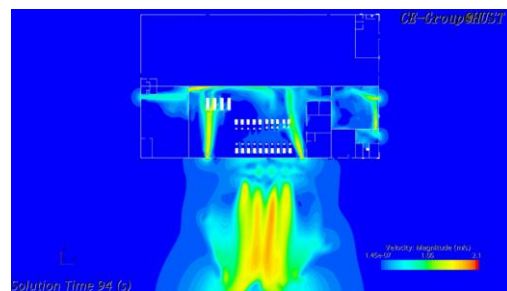
(a)



(b)



(c)

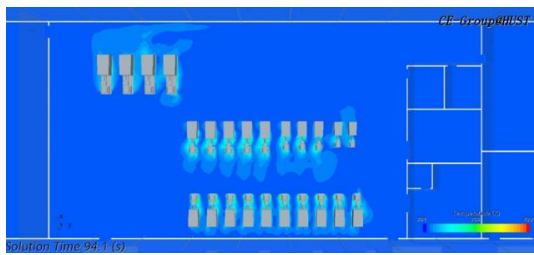


(d)

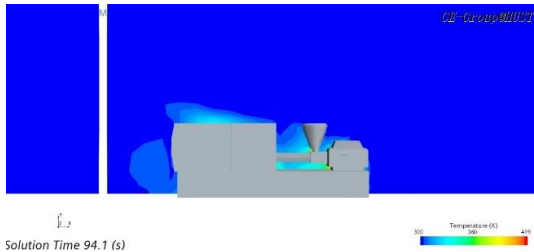
Hình 9. Trường vận tốc bên trong nhà máy theo thời gian: (a) 20s, (b) 45s, (c) 70s, (d) 94s

3.3. Kết quả lan truyền âm thanh

Áp suất âm thanh từ các thiết bị lan truyền trong không gian đạt giá trị lớn nhất là 0,89Pa tại các vị trí giữa hai hàng đặt thiết bị làm việc. Giá trị này giảm dần ở vùng không gian càng xa thiết bị. Từ các thông số mức cường độ âm thu được, hệ thống cho ra mức cường độ tại các vị trí trong nhà để đánh giá mức độ ồn khi thiết bị hoạt động. Dựa vào hình ảnh phân bố



Hình 10. Phân bố nhiệt độ toàn nhà máy



Hình 11. Lan truyền nhiệt độ do máy tỏa ra

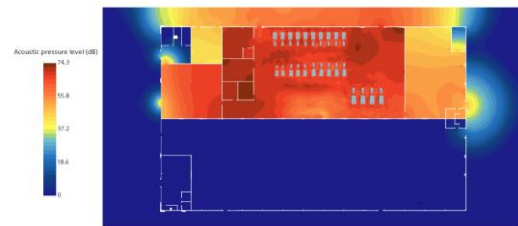
Bảng 5. Giới hạn nghe và mức độ ảnh hưởng

Mức cường độ âm (dB)	Giới hạn thời gian nghe an toàn	Mức độ ảnh hưởng
> 10	Không giới hạn	Không bị ảnh hưởng
> 60	12 giờ	Gây khó chịu
> 85	8 giờ	Rất khó chịu
> 88	4 giờ	Nguy cơ giảm thính giác
> 91	2 giờ	Nguy cơ giảm thính giác
> 94	1 giờ	Nguy cơ giảm thính giác
> 97	30 phút	Nguy cơ giảm thính giác
> 100	15 phút	Tổn thương thính giác
> 106	7,5 phút	Tổn thương thính giác
> 109	2 phút	Mất thính giác
> 112	1 phút	Mất thính giác
> 130	0 phút	Gây đau đớn, nguy hiểm

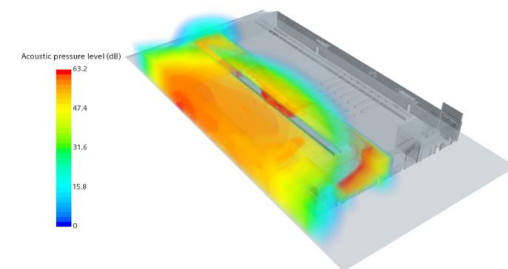
mức cường độ âm trong Bảng 5 [7], khu vực ở giữa hai hàng thiết bị đạt giá trị lớn nhất (74,3dB). So sánh với đánh giá mức cường độ âm trên toàn nhà máy (Hình 12), mức cường độ âm tại vị trí xung quanh thiết bị tuy chưa gây ảnh hưởng ngay tới sức khỏe công nhân nhưng tiếng ồn này cũng gây khó chịu và mệt mỏi cho công nhân. Nếu tiếp xúc thời gian dài có thể ảnh hưởng tiêu cực tới thính giác.

Mức cường độ tại các phòng làm việc dao động từ 35÷70 (dB). Với mức cường độ âm này sẽ gây tiếng ồn tương đối lớn cho người làm việc trong phòng, đặc biệt đối với các phòng là việc ngay sát vị trí các máy hoạt

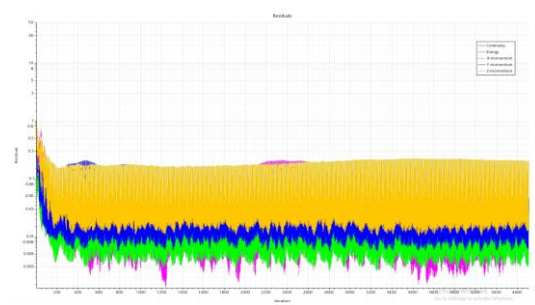
động. Từ đó cần gia tăng khả năng hấp thụ âm của tường xung quanh các phòng làm việc hoặc gia tăng khoảng giữa các phòng làm việc và khu vực đặt thiết bị.



Hình 12. Phân bố mức cường độ âm trên toàn nhà máy



Hình 13. Phân bố mức cường độ âm xung quanh nhà máy



Hình 14. Đồ thị sai số (Residual)

Hình 13 biểu diễn phân bố mức cường độ âm xung quanh nhà máy. Mức cường độ âm lớn nhất ở xung quanh nhà máy là 63,2dB. Đối với mức cường độ âm này không gây ảnh hưởng lớn tới các hoạt động ở ngoài nhà máy. Dân cư sinh sống xung quanh nhà máy không bị ảnh hưởng bởi tiếng ồn khi các thiết bị trong nhà máy hoạt động.

Các giá trị trong đồ thị sai số (Hình 14) đều hội tụ. Giá trị sai số của các phương trình liên tục, phương trình năng lượng, phương trình động lượng dao động từ khoảng 3×10^{-2} đến 3×10^{-3} . Các giá trị sai số trên là nhỏ cho thấy độ tin cậy cao của kết quả mô phỏng.

4. Kết luận

Các vấn đề về dòng chảy, lan truyền nhiệt, tiếng ồn trong nhà máy đã được nghiên cứu bằng phương pháp mô phỏng số thông qua các phương pháp tính

toán dòng chảy bao quanh vật thể, các phương trình lan truyền nhiệt và âm thanh. Kết quả mô phỏng cho biết trường vận tốc, áp suất trong nhà máy, phân bố nhiệt độ và lan truyền tiếng ồn từ các thiết bị. Các kết quả về cấu trúc dòng chảy trong nhà máy, mức nhiệt độ tại từng vị trí giúp xác định được chính xác các vị trí cần lắp đặt hệ thống thông gió, cần bổ sung thêm hệ thống thông gió ở vị trí dọc theo dàn thiết bị, hệ số hấp thụ âm cần thiết tại mỗi khu vực tường. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng chỉ ra được mức độ ảnh hưởng của tiếng ồn trong nhà máy tới các khu vực dân cư xung quanh, từ đó có phương án đánh giá và bố trí nhà máy ở vị trí phù hợp, hạn chế ảnh hưởng tới các khu vực dân cư lân cận. Các thông số về mức nhiệt độ, mức cường độ âm trong nhà máy cho thấy một số khu vực làm việc xung quanh các thiết bị chưa đảm bảo an toàn và nằm ngoài mức cường độ âm được khuyến nghị trong Bảng 5, từ đó cần bố trí các vị trí thiết bị thích hợp và có các biển cảnh báo làm việc cần thiết. Mô hình mô phỏng số trong nghiên cứu này được ứng dụng trong việc thiết kế, bố trí các phòng làm việc, thiết bị và hệ thống thông gió sao cho tối ưu nhất, tạo sự thoải mái tối đa cho công nhân làm việc.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, đề tài mã số **T2021-PC-040**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Claudia Tomozei, Alexandra Pipa, Oana Irimia, Mirela Panainte-Lehadus, Florin Nedeff (2018), *Measuring noise level in textile industry*, Journal of Engineering Studies and Research, Vol.24, No.4.
- [2] Claudio Guarnaccia, Joseph Quartieri, Alessandro Ruggiero (2014), *Acoustical Noise Study of a Factory: Indoor and Outdoor Simulations Integration Procedure*, International Journal of Mechanics. Vol.8, pp.298-306.
- [3] Victor Udoewa and Vinod Kumar, *Computational Fluid Dynamics*, George Washington University, Science & Technology Policy Fellow, AAAS, 2009-2011,
- [4] GS.TSKH. Vũ Duy Quang (2006), *Thủy khí động lực học ứng dụng*, NXB Xây Dựng, Hà Nội.
- [5] N.H.Sweilam, M.M.Abou Hasan, S.M.Al-Mekhlafi, S.A.Alkhatib (2022), *Time fractional of nonlinear heat-wave propagation in a rigid thermal conductor: Numerical treatment*, Alexandria Engineering Journal. Vol.61, Issue 12, pp.10153-10159.
- [6] Xiangui Chen, Yixue Peng, Chengbo Li, Chuang Zhaoa (2022), *Simulation of sound propagation and calculation of its velocity in spherical and superellipsoidal particle systems*, Powder Technology, Vol. 407.
- [7] Arun Arjunan, Ahmad Baroutaji (2021), *Sound pressure level of a Formula 3 car and the influence of detachable muffler-tip*, Results in Engineering, Vol.11.

Ngày nhận bài:	31/7/2022
Ngày nhận bản sửa:	09/8/2022
Ngày duyệt đăng:	23/8/2022