

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH
THÍ NGHIỆM ẢO QUÁ TRÌNH TRUYỀN NHIỆT CỦA
CÁC THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT

Mã số: T2024-06-03

Chủ nhiệm đề tài: ThS. Nguyễn Thành Sơn
Đơn vị: Khoa Cơ khí
Chương trình đào tạo: Công nghệ Kỹ thuật Nhiệt

Đà Nẵng, 5/2026

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH
THÍ NGHIỆM ẢO QUÁ TRÌNH TRUYỀN NHIỆT CỦA
CÁC THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT

Mã số: T2024-06-03

Xác nhận của cơ quan chủ trì đề tài
KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG

Chủ nhiệm đề tài

PGS. TS. Võ Trung Hùng

ThS. Nguyễn Thành Sơn

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH VẼ.....	iii
DANH MỤC BẢNG	iv
THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU.....	v
PHẦN MỞ ĐẦU.....	1
1. Tổng quan tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực của đề tài ở trong và ngoài nước.....	1
2. Tính cấp thiết của đề tài.....	3
3. Mục tiêu đề tài.....	4
4. Cách tiếp cận, phương pháp nghiên cứu	4
5. Nội dung nghiên cứu.....	4
CHƯƠNG 1. NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT.....	5
1. Giới thiệu chung.....	5
2. Các yêu cầu kỹ thuật chung cho thiết bị trao đổi nhiệt	7
CHƯƠNG 2. NGHIÊN CỨU CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ CÁC THÍ NGHIỆM QUÁ TRÌNH TRUYỀN NHIỆT CỦA CÁC THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT.....	10
1. Các phương trình cơ bản của Thiết bị trao đổi nhiệt	10
2. Xác định độ chênh lệch nhiệt độ trung bình $\overline{\Delta t}$	12
3. Hiệu suất của Thiết bị trao đổi nhiệt	16
CHƯƠNG 3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM ẢO	18
1. Giới thiệu phần mềm xây dựng mô hình thí nghiệm ảo ANSYS Fluent ..	18
2. Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo bằng phần mềm ANSYS Fluent.....	22
3. Chạy thử nghiệm	30
4. Đánh giá kết quả thí nghiệm của mô hình	49
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	56
THUYẾT MINH ĐỀ TÀI KHCN	
HỢP ĐỒNG TRIỂN KHAI ĐỀ TÀI	
ĐƠN ĐỀ NGHỊ GIA HẠN THỜI GIAN THỰC HIỆN ĐỀ TÀI KHCN	
CẤP TRƯỞNG	
BÁO CÁO TÌNH HÌNH THỰC HIỆN ĐỀ TÀI KHCN CẤP TRƯỞNG	

**BẢNG MỤC LỤC MINH CHỨNG SẢN PHẨM CỦA ĐỀ TÀI
BỘ MINH CHỨNG SẢN PHẨM CỦA ĐỀ TÀI**

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 2.1. Sơ đồ chuyển động của chất lỏng trong thiết bị trao đổi nhiệt vách ngăn	12
Hình 2.2. Sơ đồ trao đổi nhiệt 2 môi chất chuyển động song song cùng chiều	12
Hình 2.3. Sơ đồ trao đổi nhiệt 2 môi chất chuyển động song song ngược chiều	14
Hình 2.4. Đồ thị xác định hệ số hiệu chỉnh $\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$	16
Hình 2.5. Phân bố nhiệt độ dọc thiết bị trao đổi nhiệt trong trường hợp các dòng có nhiệt dung riêng khác nhau.....	17
Hình 3.1. Ứng dụng thực tiễn của mô phỏng CFD	19
Hình 3.2. Vẽ mô hình hình học (Geometry).....	31
Hình 3.3. Thông số mô hình hình học và đặt tên vùng (Named Selections).....	32
Hình 3.4. Thiết lập tổng thể lưới (Global Mesh Settings).....	32
Hình 3.5. Chia lưới theo vùng (Local Mesh Control)	33
Hình 3.6. Generate Mesh.....	33
Hình 3.7. Thiết lập chế độ chuyển động ngược chiều.....	33
Hình 3.8. Kiểm tra chất lượng lưới	34
Hình 3.9. Thiết lập Solver	35
Hình 3.10. Thiết lập mô hình vật lý và kích hoạt phương trình năng lượng.....	35
Hình 3.11. Chọn vật liệu cho môi chất và ống trao đổi nhiệt.....	36
Hình 3.12. Thiết lập miền (Cell Zone Conditions).....	37
Hình 3.13. Thiết lập trục đối xứng	37
Hình 3.14. Thiết lập vận tốc, nhiệt độ đầu vào của nước lạnh.....	38
Hình 3.15. Thiết lập áp suất đầu ra của nước lạnh	38
Hình 3.16. Thiết lập vận tốc, nhiệt độ đầu vào của nước nóng.....	39
Hình 3.17. Thiết lập áp suất đầu ra của nước nóng	39
Hình 3.18. Thiết lập điều kiện biên ống trong phía nước lạnh (Wall Boundary Conditions)	40
Hình 3.19. Thiết lập điều kiện biên ống ngoài phía nước lạnh (Wall Boundary Conditions)	41
Hình 3.20. Thiết lập điều kiện biên ống trong phía nước nóng (Wall Boundary Conditions)	42
Hình 3.21. Thiết lập phương pháp giải.....	42
Hình 3.22. Thiết lập tiêu chuẩn hội tụ và theo dõi sai số (Residual Monitors).....	43

Hình 3.23. Khởi tạo (Initialization)	43
Hình 3.24. Thiết lập số bước lặp	44
Hình 3.25. Kiểm tra hội tụ dựa trên Residuals	44
Hình 3.26. Tạo Report Definition để theo dõi nhiệt độ đầu ra nước nóng, nước lạnh..	45
Hình 3.27. Kiểm tra hội tụ theo tiêu chí vật lý	46
Hình 3.28. Kiểm tra hội tụ theo cân bằng năng lượng, cân bằng khối lượng	47
Hình 3.29. Xuất dữ liệu nhiệt độ đầu ra của nước nóng và lạnh	48
Hình 3.30. Trường nhiệt độ của mô hình thí nghiệm ảo	48
Hình 3.31. Phân bố áp suất của mô hình thí nghiệm ảo	49
Hình 3.32. Phân bố vận tốc của mô hình thí nghiệm ảo.....	49

DANH MỤC BẢNG

Bảng 3.1. Hệ thống thí nghiệm số của mô hình thí nghiệm 1	27
Bảng 3.2. Hệ thống thí nghiệm số của mô hình thí nghiệm 2	27
Bảng 3.3. Kiểm tra tính độc lập của lưới.....	34

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung

- Tên đề tài: Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt
- Mã số: T2024-06-03
- Chủ nhiệm: ThS. Nguyễn Thành Sơn
- Thành viên tham gia:
- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật
- Thời gian thực hiện: 18 tháng (Từ tháng 01 năm 2025 đến tháng 06 năm 2026)

2. Mục tiêu

- Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt.
- Xây dựng các bài thí nghiệm ảo trên mô hình.

3. Tính mới và sáng tạo

- Tích hợp dữ liệu mô phỏng từ phần mềm ANSYS Fluent vào môi trường tương tác của phần mềm Unity.
- Thiết kế giao diện thí nghiệm ảo thân thiện, có tính giáo dục cao cho phép sinh viên thao tác và quan sát kết quả ngay lập tức. Điều này góp phần tạo hứng thú học tập cho sinh viên nói riêng và nâng cao chất lượng giảng dạy của ngành/lĩnh vực nói chung.

4. Tóm tắt kết quả nghiên cứu

Đề tài “Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt” đã đạt được các kết quả chính sau:

- Đã xây dựng thành công mô hình số của thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống, đảm bảo phản ánh đúng bản chất quá trình truyền nhiệt và dòng chảy của lưu chất.
- Đã thực hiện mô phỏng số bằng phần mềm ANSYS Fluent cho nhiều chế độ vận hành khác nhau, tạo lập bộ dữ liệu CFD có độ tin cậy cao phục vụ nghiên cứu và phát triển mô hình.
- Đã phát triển phương pháp nội suy dữ liệu đa biến, cho phép xác định nhanh các thông số đầu ra (nhiệt độ, vận tốc) từ các điều kiện đầu vào mà không cần chạy lại mô phỏng, góp phần giảm chi phí và thời gian tính toán.
- Đã xây dựng mô hình thí nghiệm ảo trên nền tảng Unity, cho phép:

vi

- + Nhập các thông số đầu vào (nhiệt độ, vận tốc)
- + Tính toán và hiển thị kết quả đầu ra
- + Trực quan hóa quá trình trao đổi nhiệt bằng đồ họa 2D
- Đã thiết kế giao diện tương tác thân thiện, mô phỏng gần với điều kiện thí nghiệm thực, giúp người dùng dễ dàng thao tác và quan sát.
- Đã xây dựng được sản phẩm phần mềm thí nghiệm ảo hoàn chỉnh, có khả năng ứng dụng trong giảng dạy và nghiên cứu.

5. Tên sản phẩm

1. Nguyễn Thành Sơn, “Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của các tham số hình học của tường đáy được gia nhiệt trong khoang vuông có nắp trượt bằng mô phỏng CFD”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên*, vol. 231, no. 02, pp. 342-349, 2026, DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.14646>

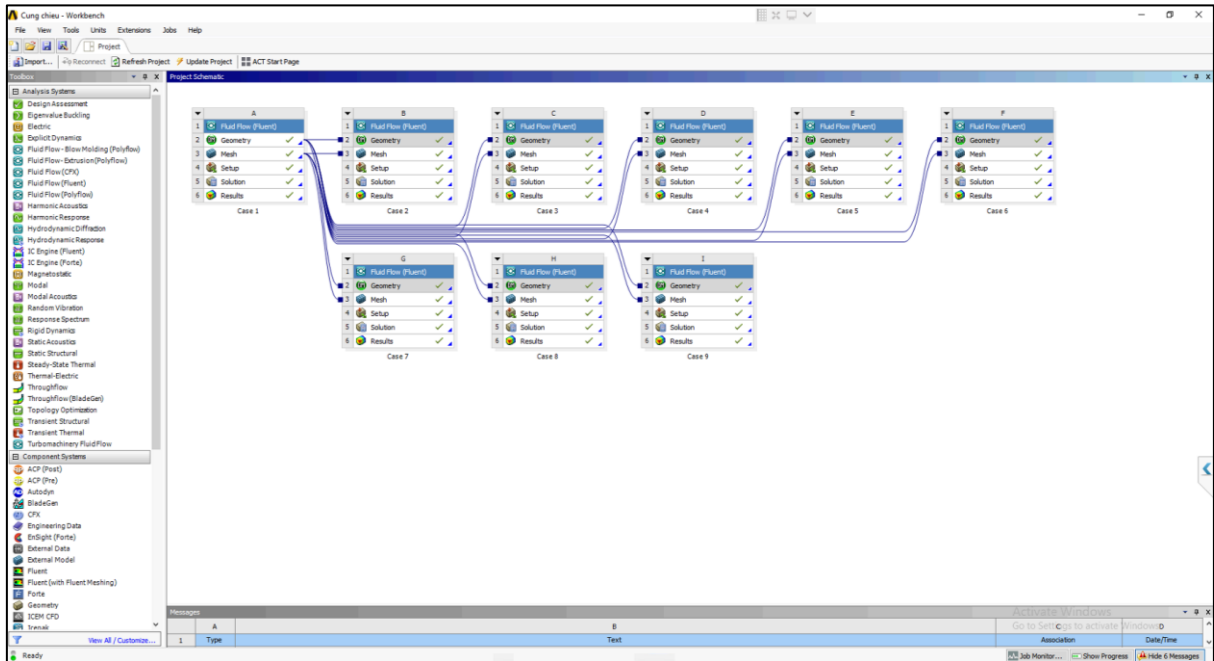
Link bài báo: <https://jst.tnu.edu.vn/jst/article/view/14646/pdf>

6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng

Với chi phí triển khai thấp, khả năng mở rộng linh hoạt và phù hợp với xu hướng chuyển đổi số, mô hình thí nghiệm ảo có tiềm năng trở thành một công cụ hiệu quả trong giảng dạy và hỗ trợ tích cực cho nghiên cứu khoa học của sinh viên.

7. Hình ảnh, sơ đồ minh họa chính





Ngày tháng năm 2026

TM. Hội đồng Khoa

Chủ tịch

(ký, họ và tên)

Chủ nhiệm đề tài

(ký, họ và tên)

ThS. Nguyễn Thành Sơn

XÁC NHẬN CỦA TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

KT. HIỆU TRƯỞNG

PHÓ HIỆU TRƯỞNG

PGS. TS. Võ Trung Hùng

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information

Project title: This study focuses on the development of a virtual experimental model for investigating heat transfer processes in heat exchangers.

Code number: T2024-06-03

Coordinator: MSc. Nguyen Thanh Son

Implementing institution: University Of Technology Education

Duration: 18 months (from 01/2025 to 06/2026)

2. Objective(s)

- A virtual experimental model of heat transfer processes in heat exchangers is developed.

- Virtual experimental exercises are constructed based on the developed model.

3. Novelty and Innovation

- Integration of simulation data from ANSYS Fluent into the interactive environment of Unity.

- Development of a user-friendly virtual laboratory interface with high educational value, enabling students to manipulate input parameters and instantly observe the results. This approach enhances student engagement and contributes to improving the overall quality of teaching and learning in the field.

4. Summary of Research Results

The project entitled “*Research on the Development of a Virtual Experimental Model for Heat Transfer Processes in Heat Exchangers*” has achieved the following main outcomes:

- A numerical model of a concentric tube heat exchanger has been successfully developed, accurately representing the fundamental characteristics of heat transfer and fluid flow processes.

- Numerical simulations have been conducted using ANSYS Fluent under various operating conditions, resulting in a reliable CFD dataset for research and model development.

- A multivariable interpolation method has been developed, enabling rapid determination of output parameters (temperature and velocity) from given input conditions without the need for repeated simulations, thereby reducing computational cost and time.

- A virtual experimental model has been developed on the Unity platform, which allows:

- + Input of operating parameters (temperature, velocity)
- + Computation and display of output results
- + Visualization of the heat transfer process using 2D graphics

- A user-friendly interactive interface has been designed, closely resembling real experimental conditions, allowing users to easily operate and observe the system.

- A complete virtual laboratory software product has been developed, with strong potential for application in teaching and research.

5. Products:

1. Son Nguyen Thanh, “A study to evaluate the effects of geometrical parameters of a heated bottom wall in a lid-driven square cavity by CFD simulation”, *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 231, no. 02, pp. 342-349, 2026, DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.14646>

Paper link: <https://jst.tnu.edu.vn/jst/article/view/14646/pdf>

6. Effects, transfer alternatives of research results and applicability:

With low implementation cost, high scalability, and strong alignment with digital transformation trends, the virtual laboratory model has the potential to become an effective tool for teaching and to actively support students’ scientific research.

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tổng quan tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực của đề tài ở trong và ngoài nước

Mô hình thí nghiệm ảo là mô hình thí nghiệm dựa trên máy tính, trong đó các cơ hội tiến hành thí nghiệm có thể được cung cấp một cách tương tác thông qua mô phỏng phần mềm của các vật thể, thiết bị hoặc quy trình thực hoặc truy cập từ xa vào phòng thí nghiệm thực tế. Mô hình thí nghiệm ảo là một công cụ mạnh mẽ mà qua đó sinh viên có thể khám phá, quan sát, thao tác và phân tích một tập hợp dữ liệu đa dạng được biểu diễn dưới dạng số và/hoặc đồ họa. Loại công cụ này cực kỳ hiệu quả, đặc biệt là khi các trường đại học phải đối phó với đại dịch, khiến sinh viên khó tiếp cận được các mô hình và bàn thí nghiệm thực tế tại trường đại học. Đây là cơ hội tốt để ảo hóa việc học và tạo ra các kỹ năng và năng lực cho sinh viên để xử lý nhiều công cụ và sản phẩm phần mềm khác nhau. Vì vậy, trong những năm gần đây, chủ đề mô hình thí nghiệm ảo luôn là một trong những chủ đề nóng được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm.

Ngoài nước

Bài báo “Building a virtual laboratory bench to examine heat transfer processes” của các tác giả A. Parushev, A. Chekichev, R. Popov [1] đã thảo luận về các nguyên tắc cơ bản liên quan đến việc xây dựng một mô hình thí nghiệm ảo để kiểm tra các quá trình truyền nhiệt. Mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt được xây dựng bằng công cụ ảo LabView đã giúp cải thiện, phát triển năng lực và khả năng của cả nhóm giảng dạy; đồng thời nâng cao kiến thức, kỹ năng và khả năng của sinh viên đang học các quy trình truyền nhiệt.

Bài báo “Efficacy of heat transfer experimental simulations in virtual laboratories” của các tác giả Lakshmi S. Bose và Steven Humphreys [2] đã thực hiện cuộc điều tra cho 86 sinh viên kỹ thuật, cho thấy việc sử dụng các phòng thí nghiệm ảo thực nghiệm truyền nhiệt (HTEVL) của các sinh viên này có hiệu suất tốt hơn đáng kể so với những sinh viên không sử dụng HTEVL; tức là các mô phỏng học tập được tạo ra dưới dạng HTEVL có thể mô tả quá trình truyền nhiệt một cách hiệu quả.

Bài báo “Designing a Virtual Laboratory of the Heat Exchanger. Experiment by Artificial Neural Network (ANN)” của tác giả Hani Al-Rawashdeh [3] đã xây dựng và thiết kế mô hình bằng công cụ MATLAB và Simulink sử dụng phương pháp mạng nơ-ron nhân tạo ANN thay vì sử dụng cách mô hình hóa và mô phỏng hệ thống thông

thường, điều này đáp ứng được công nghệ và khoa học mới của Trí tuệ nhân tạo “AI”. Kết quả nghiên cứu cho thấy dữ liệu trong từng thí nghiệm thực tế và dữ liệu mô phỏng rất hợp lý.

Bài báo “Modeling of heat exchangers in ANSYS CFX for the digital twins development” của tác giả Artem Ponikarov [4] trình bày một phương pháp phổ quát để mô hình hóa và tối ưu hóa các thiết kế bộ trao đổi nhiệt vỏ và ống bằng cách sử dụng gói phần mềm ANSYS CFX. Sự khác biệt trong kết quả là khoảng 1°C, điều này khẳng định độ chính xác và độ tin cậy cao của phương pháp được đề xuất. Điều này cho thấy tính khả thi của việc sử dụng ANSYS CFX để mô hình hóa và tối ưu hóa thiết bị công nghệ.

Bài báo “Design and CFD Simulation of Heat Transfer in Circular Pipes” của các tác giả Furman Ali, Munawwar Ali Abbas, Bo Sun, Li Chen, and Shahid Hussain [5] đã sử dụng công cụ mô phỏng (CFD) và thực nghiệm để đánh giá tác động của nhiệt độ và tốc độ ở điều kiện mùa hè và mùa đông đến hiệu quả trao đổi nhiệt của ống tròn dẫn nước. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự giảm mạnh về nhiệt độ và vận tốc gần vùng đầu vào và đầu ra trong khi áp suất tỷ lệ nghịch với vận tốc ở những vùng này.

Trong nước

Bài báo “Mô hình hóa bộ trao đổi nhiệt đứng kiểu vỏ và ống” của tác giả Lê Tuấn Phương Nam [6] trình bày một mô hình động của bộ trao đổi nhiệt kiểu vỏ và ống thẳng đứng, lưu chất nóng là hơi nước và lưu chất lạnh là nước ngưng; nhằm dự đoán áp suất hơi nước và mức nước ngưng trong bộ trao đổi nhiệt.

Bài báo “Ứng dụng công nghệ thực tế ảo trong giáo dục: một nghiên cứu trường hợp” của các tác giả Phạm Cao Văn, Nguyễn Quỳnh Phương, Võ Trọng Cang, Nguyễn Thành Nhật Lai, Trần Thanh Cơ [7] đã mô tả thực trạng ứng dụng thực tế ảo trong giảng dạy các môn học liên quan cảng và kho bãi thuộc ngành Logistics và Quản lý chuỗi cung ứng tại Trường Đại học Bình Dương và những khó khăn trong quá trình triển khai giảng dạy thực tế. Bên cạnh đó, sau khi khảo sát hơn 100 sinh viên đã trải nghiệm, kết quả chỉ ra rằng việc học tập bằng công nghệ thực tế ảo giúp sinh viên hứng thú và tiếp thu kiến thức dễ dàng hơn so với việc giảng dạy lý thuyết thông thường. Nghiên cứu là một trường hợp ứng dụng hiệu quả thực tế ảo vào giảng dạy trong đại học. Vì vậy, giúp các cơ sở đào tạo trong cả nước có cái nhìn khách quan về việc sử dụng công nghệ này.

Bài báo “Ứng dụng công nghệ hạ tầng ảo hoá phục vụ giảng dạy, học tập và nghiên cứu tại đơn vị đào tạo đại học” của các tác giả Vũ Minh Tuấn, Đinh Thị Minh Nguyệt [8] đã giới thiệu về công nghệ hạ tầng ảo hoá và so sánh giữa việc sử dụng máy chủ vật lý truyền thống và sử dụng máy chủ ảo; đồng thời, phân tích và đánh giá chi tiết những điểm mạnh và những tồn tại của công nghệ hạ tầng ảo hoá. Từ đó, tác giả đề xuất một phương án sử dụng công nghệ hạ tầng ảo hoá phù hợp nhất để hỗ trợ cho công tác nghiên cứu và giảng dạy của giảng viên Đại học, và thử nghiệm tại một đơn vị cụ thể để đánh giá hiệu quả triển khai và khả năng mở rộng của công nghệ này.

Bài báo “Ứng dụng phần mềm mô phỏng để xây dựng phương trình tiêu chuẩn tỏa nhiệt đối với lưu chất chảy rối trong ống” của tác giả Thái Ngọc Sơn, Trần Thị Mỹ Linh [9] đã sử dụng công cụ mô phỏng (CFD) trợ giúp trong việc xác định nhiệt độ của vách, xử lý kết quả thí nghiệm, xây dựng thành công phương trình tiêu chuẩn xác định hệ số tỏa nhiệt của môi chất đối lưu cưỡng bức ở chế độ chảy rối trong ống.

2. Tính cấp thiết của đề tài

Trong giáo dục hiện đại, mô hình thí nghiệm ảo là một trong những giải pháp rất hiệu quả mà ít tốn chi phí nhất để nâng cao khả năng dạy và học, bởi lẽ nó tạo ra môi trường tương tác để thực hiện các thí nghiệm ảo giúp cho người dạy và người học có cơ hội học tập những trải nghiệm trừu tượng khó làm được trong điều kiện phòng thí nghiệm tại trường học.

Đối với ngành công nghệ kỹ thuật Nhiệt, quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt là một vấn đề cốt lõi cơ bản, luôn được quan tâm. Tuy nhiên, hiện nay tại xưởng thực hành, số lượng và chất lượng thiết bị thực hành phục vụ cho vấn đề này tương đối khiêm tốn. Chính vì vậy, việc xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt để phục vụ cho việc giảng dạy mang tính cấp thiết.

Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt hướng đến mục đích phục vụ học tập, minh chứng lý thuyết, xử lý kết quả thí nghiệm qua các bài thí nghiệm ảo khác nhau cho các học phần cơ sở như Nhiệt động, Truyền nhiệt và Thiết bị trao đổi nhiệt ... Từ đó, tạo hứng thú học tập cho sinh viên nói riêng và nâng cao chất lượng giảng dạy của ngành/lĩnh vực nói chung.

3. Mục tiêu đề tài

- Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt.
- Xây dựng các bài thí nghiệm ảo trên mô hình.

Đối tượng nghiên cứu

Các thí nghiệm ảo về quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt.

Phạm vi nghiên cứu

Các thí nghiệm truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt trong chương trình đào tạo của ngành công nghệ kỹ thuật Nhiệt, trường đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng. Cụ thể nghiên cứu được thực hiện trên thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống như một trường hợp điển hình.

4. Cách tiếp cận, phương pháp nghiên cứu

Cách tiếp cận

- Tiến hành nghiên cứu lý thuyết.
- Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt để chạy thử nghiệm.

Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu mô phỏng

5. Nội dung nghiên cứu

Chương 1: Nghiên cứu tổng quan về thiết bị trao đổi nhiệt

Chương 2: Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về các thí nghiệm quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt

Chương 3: Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo

Kết luận

CHƯƠNG 1

NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT

1. Giới thiệu chung

Thiết bị trao đổi nhiệt (TBTĐN) là loại thiết bị được thiết kế để thực hiện quá trình trao đổi nhiệt giữa các môi chất có nhiệt độ khác nhau. Trong thực tế sản xuất và đời sống, các thiết bị này đóng vai trò then chốt trong việc kiểm soát nhiệt độ bằng cách đốt nóng hoặc làm nguội các loại chất lỏng, chất khí hoặc chất rắn.

1.1. Tầm quan trọng và ứng dụng

TBTĐN xuất hiện trong hầu hết các quy trình công nghiệp và dân dụng:

Ngành năng lượng: Nồi hơi, bộ sấy không khí, thiết bị hồi nhiệt trong các nhà máy nhiệt điện.

Ngành điện lạnh và điều hòa: Bình ngưng, bình bay hơi, các bộ calorife sưởi ấm.

Công nghệ điện tử: Ống nhiệt (heat pipes) được coi là "siêu dẫn nhiệt", dùng để làm mát CPU máy tính với hiệu suất cực cao mà không cần nguồn điện ngoài.

Công nghệ hàng không vũ trụ: Kiểm soát nhiệt độ cho tàu vũ trụ và các thiết bị làm việc trong môi trường không trọng lực.

1.2. Phân loại thiết bị trao đổi nhiệt

Thiết bị trao đổi nhiệt (TBTĐN) rất đa dạng về chủng loại để đáp ứng các yêu cầu khác nhau trong công nghiệp và đời sống. Tùy theo các tiêu chí khác nhau, chúng có thể được phân loại như sau:

1.2.1. Phân loại theo chiều chuyển động của môi chất

Dựa trên hướng dòng chảy của hai môi chất (nóng và lạnh) trong thiết bị, người ta chia thành các loại chính:

- Loại cùng chiều: Hai môi chất vào và ra khỏi thiết bị ở cùng một phía, chảy song song và cùng hướng với nhau.
- Loại ngược chiều: Hai môi chất vào và ra ở hai phía đối diện, chảy song song nhưng ngược hướng nhau.
- Loại cắt nhau (chéo chiều): Dòng môi chất này chảy vuông góc với dòng môi chất kia (thường gặp trong các bộ tản nhiệt ô tô hoặc dàn lạnh điều hòa).
- Loại hỗn hợp: Là sự kết hợp của các sơ đồ trên, trong đó có phần môi chất chuyển động cùng chiều và có phần chuyển động ngược chiều hoặc chéo chiều.

1.2.2. Phân loại theo công dụng của thiết bị

Tùy thuộc vào mục đích cụ thể của quá trình nhiệt trong hệ thống, thiết bị có các tên gọi khác nhau:

- Bình ngưng (dàn ngưng): Dùng để hóa lỏng môi chất từ trạng thái hơi.
- Bình bốc hơi (dàn bay hơi): Dùng để hóa hơi môi chất từ trạng thái lỏng.
- Bộ sưởi ấm (calorife): Dùng để đốt nóng không khí hoặc các chất khí khác.
- Thiết bị cô đặc: Dùng trong công nghệ hóa chất để làm tăng nồng độ dung dịch.
- Thiết bị tinh cất: Dùng để tách các thành phần hỗn hợp chất lỏng.

1.2.3. Phân loại theo sự hoạt động của môi chất

- Hoạt động liên tục: Các dòng môi chất chảy qua thiết bị một cách liên tục và ổn định theo thời gian (ví dụ: bình ngưng tụ).

- Hoạt động theo chu kỳ: Hai môi chất thay nhau chảy qua bề mặt trao đổi nhiệt theo từng khoảng thời gian xác định (ví dụ: tháp sấy, các thiết bị tích nhiệt).

1.2.4. Phân loại theo nguyên lý làm việc

Đây là cách phân loại phổ biến nhất trong kỹ thuật nhiệt:

- Thiết bị vách ngăn: Hai môi chất được ngăn cách bởi một vách rắn (ống, tấm). Nhiệt lượng truyền từ môi chất nóng sang môi chất lạnh qua bề mặt vách ngăn này. Đây là loại phổ biến nhất (ví dụ: thiết bị kiểu ống chùm, kiểu tấm).

- Thiết bị kiểu hồi nhiệt (tích nhiệt): Nhiệt được tích trữ vào một vật trung gian (vật liệu tích nhiệt) từ môi chất nóng, sau đó vật này truyền lại nhiệt cho môi chất lạnh.

- Thiết bị kiểu tiếp xúc: Hai môi chất trực tiếp trộn lẫn và trao đổi nhiệt với nhau. Ví dụ điển hình là tháp giải nhiệt, nơi nước nóng tiếp xúc trực tiếp với không khí để làm nguội.

- Thiết bị kiểu ống nhiệt (Heat Pipe): Sử dụng chu trình bay hơi và ngưng tụ của môi chất bên trong một ống kín để truyền tải một lượng nhiệt rất lớn với độ chênh nhiệt độ rất nhỏ.

1.3. Môi chất sử dụng trong thiết bị trao đổi nhiệt

Việc lựa chọn môi chất là một bước quan trọng, quyết định hiệu quả truyền nhiệt và tuổi thọ của thiết bị. Môi chất phải được chọn sao cho không bị đóng băng trong dải nhiệt độ vận hành yêu cầu.

1.3.1. Các tiêu chí lựa chọn môi chất chính

Để đảm bảo thiết bị vận hành hiệu quả, môi chất cần đáp ứng các yêu cầu sau:

- Dải nhiệt độ vận hành: Môi chất phải có điểm đóng băng thấp hơn và điểm tới hạn cao hơn dải nhiệt độ làm việc của thiết bị.

- Tính tương thích: Phải hoàn toàn tương thích với vật liệu làm vách ngăn, vỏ và cấu trúc mao dẫn (nếu có) để tránh ăn mòn hoặc sinh khí không ngưng.

- Độ ổn định nhiệt: Môi chất không bị biến chất hoặc phân hủy hóa học dưới tác động của sự thay đổi nhiệt độ trong suốt quá trình vận hành.

- Đặc tính thấm ướt: Có khả năng thấm ướt tốt bề mặt vật liệu vách và cấu trúc mao dẫn để hỗ trợ quá trình trao đổi nhiệt.

1.3.2. Các yêu cầu về đặc tính nhiệt vật lý

Môi chất lý tưởng thường có các thông số sau:

- Ẩn nhiệt hóa hơi cao: Để vận chuyển một lượng nhiệt lớn với lưu lượng khối lượng nhỏ nhất.

- Độ dẫn nhiệt cao: Giúp giảm chênh lệch nhiệt độ theo phương hướng kính và hạn chế nguy cơ sôi bọt tại bề mặt vách.

- Sức căng bề mặt lớn: Đặc biệt quan trọng trong các thiết bị sử dụng ống nhiệt để tăng cường khả năng mao dẫn.

- Độ nhớt thấp (cả pha lỏng và hơi): Để giảm thiểu trở lực dòng chảy và tổn thất áp suất bên trong thiết bị.

- Áp suất hơi phù hợp: Áp suất hơi không được quá cao (gây áp lực lên vỏ thiết bị) hoặc quá thấp (khó duy trì trạng thái hoạt động) trong dải nhiệt độ làm việc.

1.3.3. Các loại môi chất thông dụng theo dải nhiệt độ

Tùy vào ứng dụng, các môi chất phổ biến bao gồm:

- Dải nhiệt độ cực thấp (Cryogenic): Heli, Nitơ, Neon, Hydro.

- Dải nhiệt độ trung bình (Moderate): Amoniac (-60°C đến 100°C), Acetone (0 đến 120°C), Methanol (10 đến 130°C), Nước (30 đến 200°C).

- Dải nhiệt độ cao (Kim loại lỏng): Thủy ngân, Natri, Kali, Lithi.

2. Các yêu cầu kỹ thuật chung cho thiết bị trao đổi nhiệt

2.1. Yêu cầu chính

Để một TBTĐN vận hành hiệu quả và bền bỉ, quá trình thiết kế và chế tạo cần đáp ứng các nhóm tiêu chuẩn sau:

Hiệu quả truyền nhiệt và công nghệ

Nhiệm vụ nhiệt: Phải đảm bảo đạt được nhiệt độ yêu cầu cho các môi chất tại đầu ra với diện tích bề mặt trao đổi nhiệt tối ưu nhất.

Lựa chọn môi chất: Đặc biệt đối với các thiết bị sử dụng ống nhiệt, môi chất cần có nhiệt hóa hơi cao, độ dẫn nhiệt lớn và sức căng bề mặt cao để hỗ trợ quá trình mao dẫn.

Độ ổn định nhiệt: Vật liệu và môi chất không được biến chất hoặc phân hủy trong phạm vi nhiệt độ làm việc.

Độ bền cơ học và an toàn vận hành

Sức bền kết cấu: Vỏ và các chi tiết bên trong phải chịu được áp suất và ứng suất nhiệt phát sinh trong quá trình vận hành, đảm bảo không rò rỉ môi chất.

Trương thích vật liệu: Tránh các phản ứng hóa học hoặc điện hóa giữa môi chất và vật liệu chế tạo để ngăn ngừa ăn mòn và sinh khí không ngưng.

Độ kín: Thiết bị phải tuyệt đối kín, đặc biệt là các thiết bị làm việc trong môi trường chân không hoặc áp suất cao.

Tính kinh tế và vận hành bảo trì

Tối ưu hóa chi phí: Cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo và sử dụng vật liệu phổ biến nhưng vẫn đảm bảo hiệu suất.

Giảm thiểu trở lực: Thiết kế đường đi của môi chất sao cho tổn thất áp suất là nhỏ nhất để tiết kiệm năng lượng cho hệ thống bơm/quạt.

Khả năng bảo trì: Bề mặt trao đổi nhiệt phải dễ tiếp cận để vệ sinh, loại bỏ cặn nhằm duy trì hệ số truyền nhiệt ổn định theo thời gian.

2.2. Chọn đường chuyển động cho môi chất

Việc bố trí đường đi của môi chất trong thiết bị trao đổi nhiệt (đặc biệt là loại ống chùm) cần tuân thủ các quy tắc ưu tiên sau:

- Môi chất có áp suất cao: Nên cho đi trong ống. Việc thiết kế các ống nhỏ chịu áp suất cao sẽ dễ dàng và kinh tế hơn so với việc thiết kế vỏ thiết bị lớn để chịu cùng mức áp suất đó.

- Môi chất có tính ăn mòn hoặc bám bẩn: Ưu tiên cho đi trong ống. Các ống này dễ dàng được vệ sinh bằng phương pháp cơ học hoặc hóa chất, và nếu cần thiết, việc thay thế các ống bị ăn mòn cũng đơn giản hơn so với việc sửa chữa vỏ thiết bị.

- Môi chất có hệ số tỏa nhiệt nhỏ: Nên cho đi ở phía ngoài ống (phía vỏ). Để tăng cường khả năng trao đổi nhiệt của môi chất này, người ta có thể dễ dàng lắp thêm các

vách ngăn hoặc làm cánh (finned tubes) ở phía ngoài ống nhằm tăng diện tích tiếp xúc và độ xoáy của dòng chảy.

- Môi chất có độ nhớt lớn: Nên cho đi phía ngoài ống. Ở phía vỏ, không gian rộng rãi hơn giúp giảm trở lực dòng chảy, từ đó giảm công suất bơm cần thiết để vận hành hệ thống.

- Môi chất có nhiệt độ rất cao: Nên cho đi trong ống để hạn chế tổn thất nhiệt ra môi trường xung quanh và đảm bảo an toàn cho người vận hành khi tiếp xúc với vỏ thiết bị.

- Môi chất là hơi ngưng tụ: Thường được cho đi phía ngoài ống để tận dụng không gian rộng của vỏ, giúp hơi phân bố đều và dễ dàng thu gom nước ngưng ở phía dưới.

CHƯƠNG 2

NGHIÊN CỨU CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ CÁC THÍ NGHIỆM QUÁ TRÌNH TRUYỀN NHIỆT CỦA CÁC THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT

1. Các phương trình cơ bản của Thiết bị trao đổi nhiệt

1.1. Phương trình cân bằng nhiệt

Phương trình cân bằng nhiệt là phương trình mô tả định luật bảo toàn và biến hoá năng lượng cho TBTĐN.

Phương trình cân bằng nhiệt tổng quát liên hệ các hệ số entanpi ra vào thiết bị với nhiệt truyền qua vỏ thiết bị ra môi trường và biến thiên nội năng của thiết bị:

(Hiệu entanpi ra – vào của chất lỏng 1) + (Hiệu entanpi ra- vào của chất lỏng 2) + (Nhiệt truyền qua vỏ thiết bị ra môi trường) + (Biến thiên nội năng của thiết bị) = 0.

Ở dạng tích phân, phương trình cân bằng nhiệt tổng quát có dạng:

$$\sum Q = (\Delta I_1 + \Delta I_2 + Q_k)\tau + \Delta U = 0$$

Trong đó:

$\Delta I_1 = G_1 \cdot (i''_1 - i'_1) < 0$, [W] do chất lỏng 1 toả nhiệt,

$\Delta I_2 = G_2 \cdot (i''_2 - i'_2) > 0$, [W] do chất lỏng 2 thu nhiệt

$Q_k = \sum k_i F_i (t - t_f)$, [W] là nhiệt truyền từ chất lỏng có nhiệt độ t qua các diện tích F_i của vỏ thiết bị ra môi trường nhiệt độ t_f .

- Với thiết bị gia nhiệt thường có: $t > t_f$ nên $Q_k > 0$ tức môi trường nhận nhiệt.
- Với thiết bị làm lạnh, thường $t < t_f$ nên $Q_k < 0$ tức môi trường toả nhiệt vào thiết bị.

τ [s] là thời gian từ khi khởi động thiết bị ở nhiệt độ t_0 đến nhiệt độ t_τ nào đó.

$\Delta U = \sum V_i \rho_i C_i (t_\tau - t_0)$, [J] là biến thiên nội năng của các chi tiết tạo ra thiết bị.

- Trong thiết bị gia nhiệt, thường $t_\tau > t_0$ nên $\Delta U > 0$;
- Trong thiết bị làm lạnh, thường $t_\tau < t_0$ nên $\Delta U < 0$.
- Nếu tính từ khi thiết bị đã làm việc ổn định, thì $\Delta U = 0$.

Trên thực tế, người ta thường tính nhiệt cho thiết bị trao đổi nhiệt khi nó đã làm việc ổn định, và không có tổn thất nhiệt ra môi trường ($Q_k = 0$) thì lượng nhiệt môi chất nóng nhả ra bằng nhiệt lượng môi chất lạnh nhận vào, phương trình cân bằng nhiệt có dạng:

$$\Delta I_1 = \Delta I_2 \text{ hay } Q = G_1.(i''_1 - i'_1) = G_2.(i''_2 - i'_2), W$$

Nếu môi chất không chuyển pha thì phương trình trên có thể viết lại:

$$Q = G_1.C_{p1}.(t''_1 - t'_1) = G_2.C_{p2}.(t''_2 - t'_2), W$$

Để thuận tiện cho việc biểu thị ta qui ước một số ký hiệu như sau:

- Các dấu ' và '' biểu thị trạng thái đầu vào và ra của môi chất;
- Các chỉ số “1” và “2” là chỉ môi chất nóng và lạnh;
- $t'_1 - t''_1 = \Delta t_1$ và $t''_2 - t'_2 = \Delta t_2$ là độ chênh nhiệt độ của môi chất nóng và lạnh

khi đi qua thiết bị.

G_1, G_2 – lưu lượng khối lượng của môi chất nóng và lạnh, kg/s;

C_{p1}, C_{p2} – nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp của môi chất nóng và lạnh, J/kg.K.

Nếu đặt $W = G.C_p$ và gọi là nhiệt dung toàn phần của môi chất hay đương lượng nước thì phương trình trên có dạng:

$$W_1.(t'_1 - t''_1) = W_2.(t''_2 - t'_2), W$$

$$\text{hay: } W_1.\Delta t_1 = - W_2.\Delta t_2, W$$

Hay viết dưới dạng vi phân:

$$\delta Q = W_1.dt_1 = - W_2.dt_2, W$$

1.2. Phương trình truyền nhiệt

Phương trình truyền nhiệt là những phương trình mô tả lượng nhiệt trao đổi giữa 2 chất lỏng qua mặt TĐN bằng phương thức truyền nhiệt.

*** Dạng vi phân**

Lượng nhiệt δQ truyền từ chất lỏng nóng t_1 đến chất lỏng lạnh t_2 qua bề mặt diện tích trao đổi nhiệt dF_x của vách có dạng:

$$\delta Q = k.(t_1 - t_2).dF_x = k\Delta t_x dF_x, W$$

Trong đó:

k là hệ số truyền nhiệt qua vách, thường được coi là không đổi trên toàn mặt F , W/m^2K ;

$\Delta t_x = (t_1 - t_2)$ là độ chênh nhiệt độ giữa chất lỏng nóng và lạnh trên mặt dF_x ;

*** Dạng tích phân**

Lấy tích phân trên toàn diện tích F thì lượng nhiệt Q truyền qua của vách là:

$$Q = \int_F k\Delta t_x dF_x = kF\overline{\Delta t}, W$$

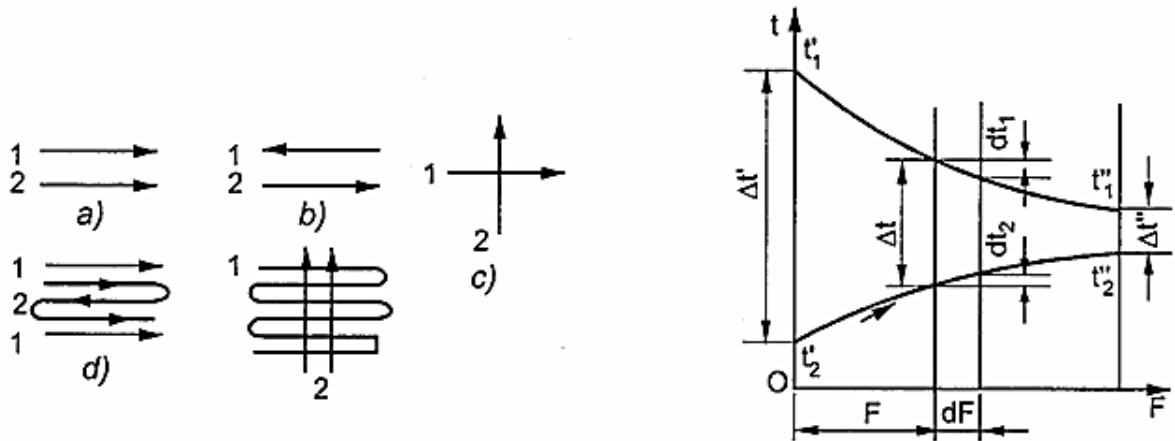
với:

$$\overline{\Delta t} = \frac{1}{F} \int_0^F \Delta t_x(F_x) dF_x \text{ gọi là độ chênh lệch nhiệt độ trung bình giữa hai môi chất}$$

trên mặt F của thiết bị.

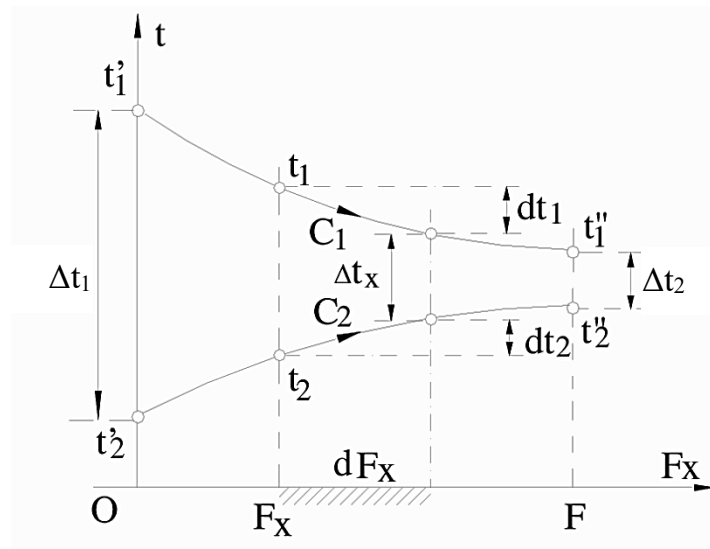
2. Xác định độ chênh lệch nhiệt độ trung bình $\overline{\Delta t}$

Theo chiều chuyển động của hai chất lỏng, thiết bị trao đổi nhiệt loại vách ngăn được chia ra 3 kiểu chính: kiểu song song cùng chiều, song song ngược chiều và kiểu giao nhau (song song hỗn hợp).



Hình 2.1. Sơ đồ chuyển động của chất lỏng trong thiết bị trao đổi nhiệt vách ngăn

2.1. Sơ đồ môi chất chuyển động song song cùng chiều



Hình 2.2. Sơ đồ trao đổi nhiệt 2 môi chất chuyển động song song cùng chiều

Khảo sát thiết bị trao đổi nhiệt có diện tích F_x , ta tách ra một phần tử dF để xét.
Dọc theo phần tử dF nhiệt độ của các môi chất thay đổi dt_1 và dt_2 .

Phương trình truyền nhiệt tương ứng với phần tử diện tích dF là:

$$dQ = k dF \Delta t_x$$

Phương trình cân bằng nhiệt là:

$$dQ = -W_1 dt_1 = W_2 dt_2$$

Biến thiên nhiệt độ dt_1 và dt_2 có thể xác định:

$$dt_1 = -dQ / W_1$$

$$dt_2 = dQ / W_2$$

Từ đó ta có:

$$dt_1 - dt_2 = -\left(\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}\right)dQ$$

Hay:

$$d(t_1 - t_2) = -\left(\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}\right)k dF \Delta t_x$$

$$\text{Vì } (t_1 - t_2) = \Delta t_x \text{ nên } \frac{d(\Delta t_x)}{\Delta t_x} = -\left(\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}\right)k dF$$

$$\text{Kí hiệu } m = -\left(\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}\right) \text{ ta có:}$$

$$\frac{d(\Delta t_x)}{\Delta t_x} = -mk dF$$

Nếu m và k không đổi, lấy tích phân lên ta có:

$$\int_{\Delta t_1}^{\Delta t_2} \frac{d(\Delta t_x)}{\Delta t_x} = -mk \int_0^{F_x} dF_x$$

Hay:

$$\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = -mk F_x$$

Suy ra:

$$\Delta t_x = \Delta t_1 e^{-mk F_x}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_1 e^{-mk F}$$

Độ chênh lệch nhiệt độ trung bình dọc theo toàn bộ diện tích bề mặt trao đổi nhiệt sẽ bằng:

$$\begin{aligned}\overline{\Delta t} &= \frac{1}{F} \int_0^F \Delta t_x dF \\ \overline{\Delta t} &= \frac{1}{F} \int_0^F \Delta t_1 e^{-mkF} dF \\ \overline{\Delta t} &= \frac{\Delta t_1}{-mkF} (e^{-mkF} - 1)\end{aligned}$$

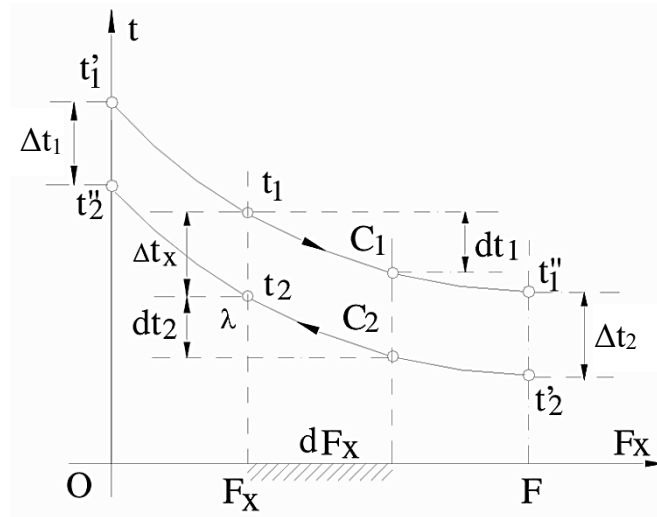
Cuối cùng ta có độ chênh lệch nhiệt độ trung bình logarit giữa hai môi chất:

$$\Delta t_{cc} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)}$$

Với:

$$\Delta t_1 = t'_1 - t''_2, \quad \Delta t_2 = t''_1 - t'_2$$

2.2. Sơ đồ môi chất chuyển động song song ngược chiều



Hình 2.3. Sơ đồ trao đổi nhiệt 2 môi chất chuyển động song song ngược chiều

Trong trường hợp môi chất chuyển động song song ngược chiều, các bước tính toán cũng tiến hành tương tự và lưu ý thêm rằng:

$$m = \left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2} \right)$$

Với: $\Delta t_{tn} = \Delta t_{nc} \cdot \varepsilon_{\Delta t}$

$\Delta t_1 = t'_1 - t''_2$, $\Delta t_2 = t''_1 - t'_2$ là độ chênh lệch nhiệt độ tại hai đầu mặt truyền nhiệt.

Cuối cùng ta có:

$$\Delta t_{nc} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)}$$

Các sơ đồ khác

Biểu thức $\overline{\Delta t}$ của các sơ đồ khác (song song đổi chiều, giao nhau 1 hay n lần) được tính theo sơ đồ song song ngược chiều rồi nhân với hệ số $\varepsilon_{\Delta t}$ cho từng sơ đồ bởi đồ thị:

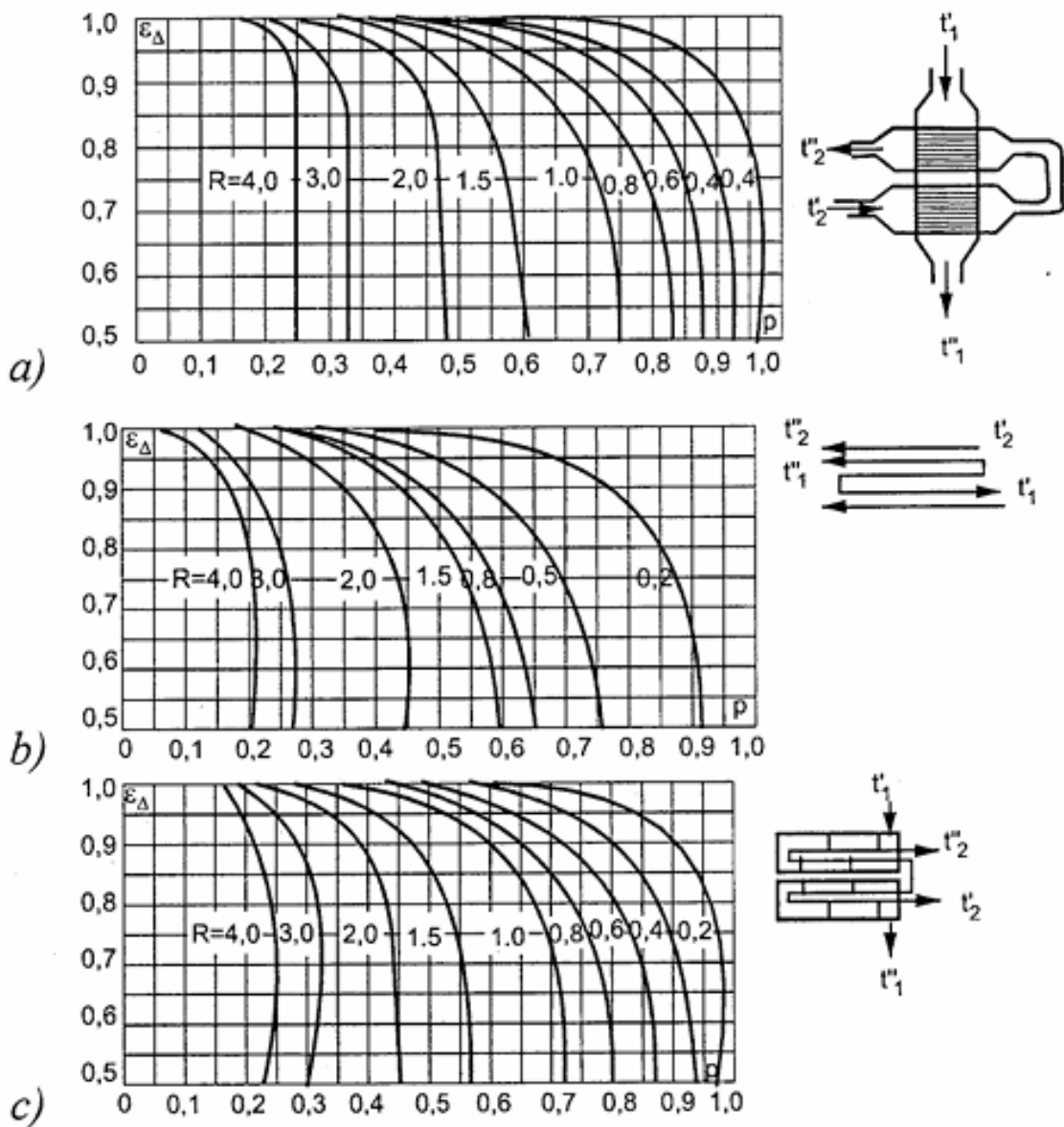
$$\overline{\Delta t}_{cn} = \overline{\Delta t}_{nc} \cdot \varepsilon_{\Delta t}$$

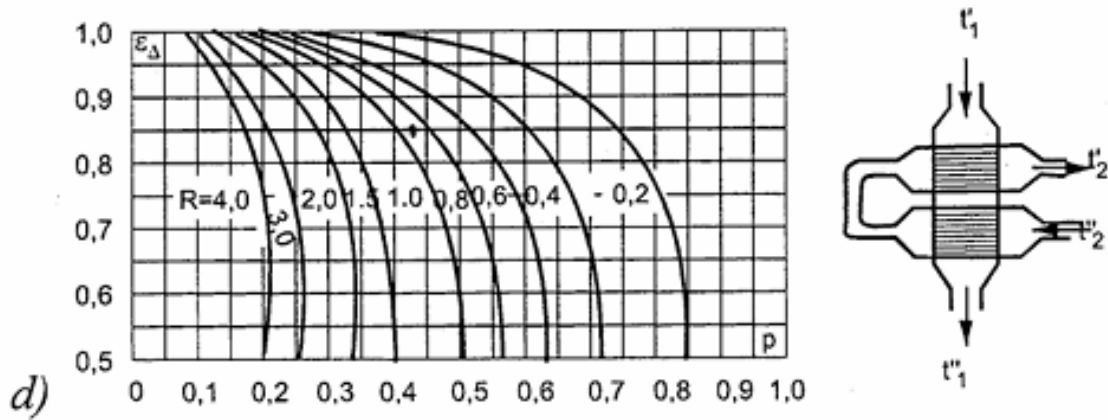
Trong đó:

$\overline{\Delta t}_{nc}$ là độ chênh lệch nhiệt độ trung bình logarit khi chuyển động ngược chiều;

$\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$ là hệ số hiệu chỉnh theo P và R phụ thuộc sơ đồ cụ thể sau.

$$\text{Trong đó: } P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_1''} = \frac{\delta t_2}{\Delta t_{\max}} \text{ và } R = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'} = \frac{\delta t_1}{\Delta t_2}$$





Hình 2.4. Đồ thị xác định hệ số hiệu chỉnh $\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$

3. Hiệu suất của Thiết bị trao đổi nhiệt

Hiệu suất trao đổi nhiệt của thiết bị, ký hiệu bởi η được định nghĩa:

$$\eta = \frac{Q}{Q_{\max}}$$

Ở đây:

Q - lượng nhiệt mà môi chất nóng (nguồn nóng) truyền cho môi chất lạnh (nguồn lạnh) ở điều kiện thực tế đã cho;

$Q_{\max}$ - lượng nhiệt lớn nhất mà môi chất nóng (nguồn nóng) truyền cho môi chất lạnh (nguồn lạnh) ở điều kiện lý tưởng.

Điều kiện lý tưởng ở đây là điều kiện thiết bị trao đổi nhiệt có các môi chất chuyển động ngược chiều và có diện tích bề mặt trao đổi nhiệt vô cùng lớn, $F \rightarrow \infty$.

Trong thiết bị trao đổi nhiệt ngược chiều và có diện tích bề mặt vô cùng lớn, $F \rightarrow \infty$, ta có:

- Với $W_2 = G_2 \cdot C_{p2} < W_1 = G_1 \cdot C_{p1}$, khi $F \rightarrow \infty$ thì $t''_2 = t'_1$ và $\delta t_{2\max} = t'_1 - t'_2$. Ta có:

$$Q_{\max} = W_2 \cdot \delta t_{2\max} = W_2(t'_1 - t'_2)$$

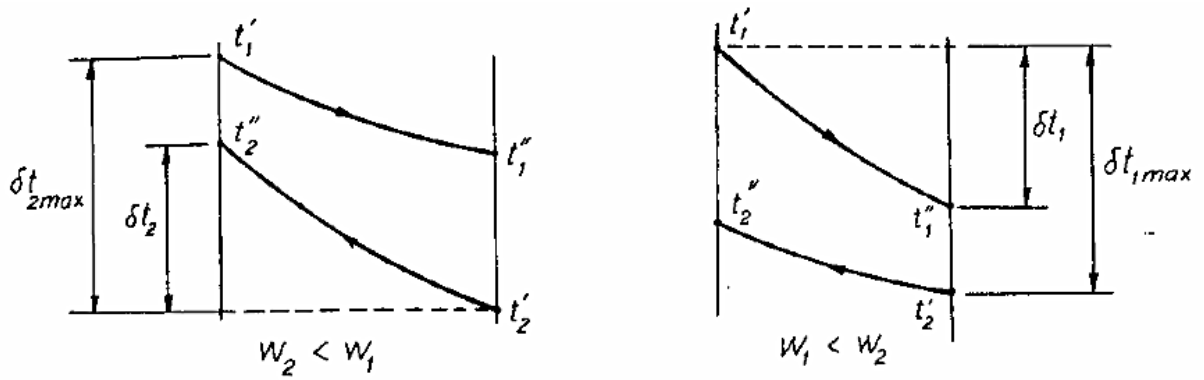
- Với $W_1 < W_2$, khi $F \rightarrow \infty$ thì $t''_1 = t'_2$ và $\delta t_{1\max} = t'_1 - t'_2$. Ta có:

$$Q_{\max} = W_1 \cdot \delta t_{1\max} = W_1(t'_1 - t'_2)$$

Từ đây ta có thể viết biểu thức tổng quát để tính $Q_{\max}$:

$$Q_{\max} = W_{\min} \cdot \delta t_{\max} = W_{\min}(t'_1 - t'_2)$$

Ở đây $W_{\min}$ là giá trị nhỏ trong hai giá trị W_1, W_2 .



Hình 2.5. Phân bố nhiệt độ dọc thiết bị trao đổi nhiệt trong trường hợp các dòng có nhiệt dung riêng khác nhau

Để xác định nhiệt lượng trao đổi Q ở điều kiện thực tế của thiết bị trao đổi nhiệt, có thể suy ra từ phương trình cân bằng nhiệt khi bỏ qua tổn thất nhiệt:

$$Q = W_1 \cdot \delta t_1 = W_2 \cdot \delta t_2$$

$$Q = W_1(t_1' - t_1'') = W_2(t_2'' - t_2')$$

Khi đó ta có biểu thức tính hiệu suất thiết bị trao đổi nhiệt:

- Khi $W_1 < W_2$:

$$\eta = \frac{W_1 \cdot \delta t_1}{W_1 \cdot \delta t_{\max}} = \frac{\delta t_1}{\delta t_{\max}} = \frac{t_1' - t_1''}{t_1' - t_2'}$$

- Khi $W_1 > W_2$:

$$\eta = \frac{W_2 \cdot \delta t_2}{W_2 \cdot \delta t_{\max}} = \frac{\delta t_2}{\delta t_{\max}} = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'}$$

Lượng nhiệt trao đổi Q ở điều kiện thực tế của thiết bị trao đổi nhiệt còn có thể được xác định từ phương trình truyền nhiệt sau:

$$Q = kF\bar{\Delta t}$$

Suy ra:

$$\eta = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{kF\bar{\Delta t}}{W_{\min} \delta t_{\max}} = NTU \cdot \frac{\bar{\Delta t}}{\delta t_{\max}} = f\left(NTU, \frac{W_{\min}}{W_{\max}}\right)$$

Ở đây $NTU = \frac{kF}{W_{\min}}$ gọi là số đơn vị truyền nhiệt, là đại lượng không thứ nguyên.

CHƯƠNG 3

XÂY DỰNG MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM ẢO

Trong phạm vi nghiên cứu này, thuật ngữ “thí nghiệm ảo” được tiếp cận theo nghĩa học thuật, dựa trên bản chất của quá trình thực nghiệm thay vì hình thức triển khai giao diện. Cụ thể, thí nghiệm ảo được hiểu là việc tái hiện và khảo sát các hiện tượng vật lý trong môi trường số, trong đó các biến đầu vào được kiểm soát có chủ đích nhằm đánh giá ảnh hưởng của chúng đến các đại lượng đầu ra.

Trên cơ sở đó, phần mềm ANSYS Fluent được sử dụng như một môi trường thí nghiệm số trong khuôn khổ Computational Fluid Dynamics. Mỗi trường hợp mô phỏng (case) với tập hợp điều kiện biên xác định được xem là một lần thí nghiệm, trong khi việc thay đổi các thông số đầu vào tương ứng với quá trình thao tác thí nghiệm. Các kết quả mô phỏng thu được đóng vai trò là dữ liệu thực nghiệm phục vụ cho phân tích định lượng.

Cách tiếp cận này cho phép tổ chức nghiên cứu dưới dạng chuỗi thí nghiệm số có kiểm soát, đảm bảo các tiêu chí cơ bản của một thí nghiệm khoa học, bao gồm:

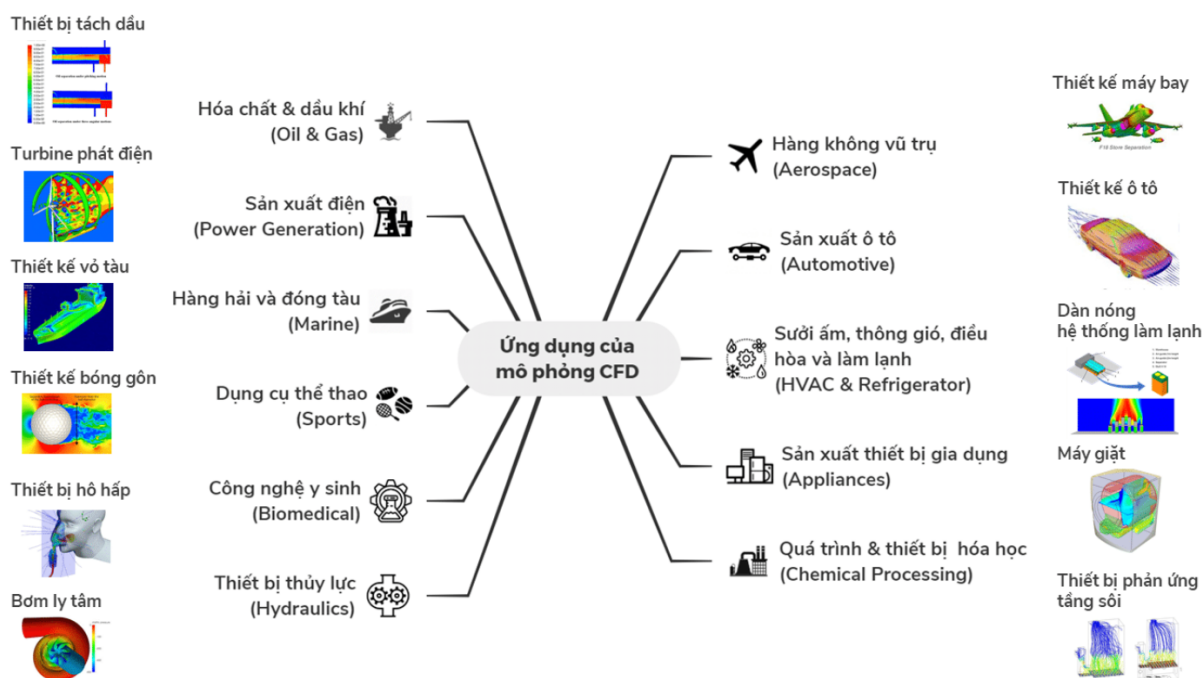
- (i) khả năng kiểm soát biến số;
- (ii) khả năng lặp lại;
- (iii) khả năng thiết lập quan hệ giữa nguyên nhân và kết quả.

Do đó, mặc dù không triển khai giao diện tương tác thời gian thực, nghiên cứu vẫn đảm bảo bản chất của thí nghiệm ảo theo nghĩa học thuật, trong đó môi trường mô phỏng đóng vai trò là phòng thí nghiệm số.

1. Giới thiệu phần mềm xây dựng mô hình thí nghiệm ảo ANSYS Fluent

1.1. Tổng quan về ANSYS Fluent

ANSYS Fluent là một trong những phần mềm hàng đầu thế giới trong lĩnh vực cơ học chất lưu tính toán (Computational Fluid Dynamics – CFD), được phát triển bởi ANSYS Inc.. Phần mềm cho phép mô phỏng, phân tích và dự đoán các hiện tượng liên quan đến dòng chảy, truyền nhiệt, truyền khối và các quá trình vật lý phức tạp trong kỹ thuật và công nghiệp.



Hình 3.1. Ứng dụng thực tiễn của mô phỏng CFD

ANSYS Fluent được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như:

- Công nghiệp hàng không và vũ trụ:

Đây là một trong những ngành công nghiệp đầu tiên ứng dụng mô phỏng ANSYS Fluent. Một trong những ứng dụng nổi bật đó là dùng mô phỏng để tối ưu biên dạng cánh nâng (*airfoil*).

- Công nghiệp sản xuất ô tô:

Từ việc mô phỏng phản ứng đốt cháy trong động cơ đến mô phỏng lực cản tại vỏ xe, ANSYS Fluent đóng góp một phần rất lớn trong nghiên cứu và phát triển của các hãng xe nổi tiếng như: Mercedes, Tesla, hay BMW.

- Công nghiệp xây dựng:

Mô phỏng đánh giá các chỉ số tiện nghi trong và ngoài tòa nhà. Mô phỏng và tối ưu hóa hệ thống sưởi ấm (*heating*), thông gió (*ventilation*), và điều hòa không khí (*air conditioning*) – HVAC, và hệ thống làm lạnh.

- Hệ thống công nghiệp hóa chất và dầu khí:

Mô phỏng thiết bị phản ứng (khuấy trộn CSTR, tầng sôi, cột sủi bọt – bubble column, v.v), tháp chưng cất, tháp hấp thụ, hệ thống ống nối, hay hệ thống nồi hơi tận dụng nhiệt.

- Thiết bị công nghiệp:

Bơm, quạt, máy nén, tua bin, và các thiết bị phân tách ly tâm (cyclone), phân tách pha, trao đổi nhiệt.

- *Công nghệ y sinh và dược phẩm:*

Thiết kế các thiết bị vi dòng chảy (*microfluidics*), vi khuấy trộn (*micromixing*), mô phỏng dòng chảy trong mạch máu.

- *Thời tiết và khí hậu:*

Mô hình phỏng đoán thời tiết và thiên tai.

- *Hàng hải và đóng tàu:*

Mô hình tương tác giữa sóng và ứng suất vỏ tàu, mô hình phỏng đoán lực cản vỏ tàu.

1.2. Lịch sử phát triển của ANSYS Fluent

ANSYS Fluent có lịch sử hơn 40 năm phát triển:

Năm 1980: Fluent Inc. phát triển một trong những phần mềm CFD thương mại đầu tiên.

Năm 2006: ANSYS mua lại Fluent với giá 1,8 tỷ USD.

Sau đó, phần mềm được tích hợp vào hệ sinh thái ANSYS và phát triển mạnh mẽ hơn.

Hiện nay, ANSYS Fluent được sử dụng bởi hơn 96% trong 100 công ty công nghiệp hàng đầu thế giới và trở thành tiêu chuẩn trong lĩnh vực CFD.

1.3. Cơ sở lý thuyết và phương pháp tính toán

ANSYS Fluent dựa trên việc giải hệ phương trình vi phân riêng phần mô tả các định luật bảo toàn trong cơ học chất lưu, bao gồm:

- Phương trình bảo toàn khối lượng

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0$$

- Phương trình bảo toàn động lượng (Navier–Stokes)

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \vec{F}$$

- Phương trình năng lượng

$$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot [\vec{v} (\rho E + p)] = \nabla \cdot (k \nabla T) + S_h$$

Trong đó:

ρ - khối lượng riêng

$\vec{v}$ - vector vận tốc

p - áp suất

μ - độ nhớt động lực học

F - lực thể tích

E - tổng năng lượng

k - hệ số dẫn nhiệt

T - nhiệt độ

S_h - nguồn nhiệt

ANSYS Fluent sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn (Finite Volume Method – FVM) để rời rạc hóa các phương trình trên miền tính toán.

1.4. Các tính năng chính của ANSYS Fluent

1.4.1. Bộ giải (Solver) mạnh mẽ

ANSYS Fluent có khả năng giải rất linh hoạt:

- Solver dựa trên áp suất và mật độ
- Mô phỏng ổn định (steady) và không ổn định (transient)
- Dòng nén được và không nén được
- Dòng tầng và dòng rối

1.4.2. Khả năng chia lưới (Meshing)

Phần mềm hỗ trợ:

- Lưới có cấu trúc và không cấu trúc
- Lưới polyhedral tăng độ chính xác
- Lưới động cho biên chuyển động
- Tinh chỉnh lưới thích nghi

1.4.3. Mô hình nhiễu loạn (Turbulence Modeling)

Bao gồm nhiều mô hình nổi tiếng:

- $k-\epsilon$
- $k-\omega$
- LES (Large Eddy Simulation)
- RSM (Reynolds Stress Model)
- DES (Detached Eddy Simulation)

1.4.4. Dòng đa pha và truyền nhiệt

ANSYS Fluent có thể mô phỏng:

- Tương tác giữa nhiều pha (lỏng–khí, lỏng–rắn)
- Truyền nhiệt: dẫn nhiệt, đối lưu, bức xạ
- Sôi, chuyển pha
- Vận chuyển chất và phản ứng hóa học

1.4.5. Hậu xử lý (*Post-processing*)

Giúp trực quan hóa kết quả:

- Biểu đồ contour màu
- Dòng dòng chảy (streamlines)
- Animation mô phỏng
- Báo cáo và đồ thị chi tiết

Ngoài ra, phần mềm hỗ trợ **UDF (User Defined Functions)** cho phép người dùng tùy chỉnh mô hình theo yêu cầu riêng.

1.5. Ưu điểm và hạn chế

1.5.1. Ưu điểm

- Phần mềm CFD hàng đầu thế giới
- Độ chính xác cao
- Tính năng đa dạng
- Tích hợp tốt với hệ sinh thái ANSYS

1.5.2. Hạn chế

- Yêu cầu phần cứng mạnh
- Cần kiến thức CFD để sử dụng hiệu quả

2. Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo bằng phần mềm ANSYS Fluent

2.1. Đặt vấn đề

Mặc dù đề tài hướng tới các thiết bị trao đổi nhiệt nói chung, nhưng nghiên cứu này giới hạn đối tượng khảo sát ở thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống như một cấu hình điển hình. Sự lựa chọn này dựa trên các cơ sở học thuật sau:

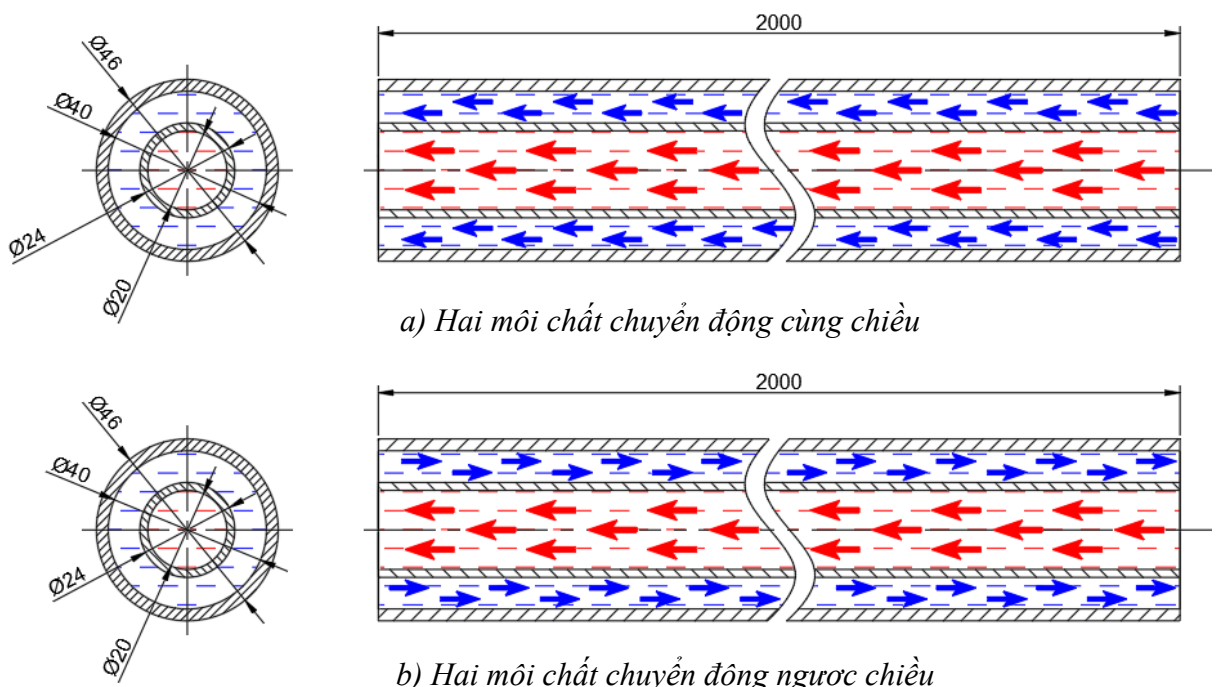
Thứ nhất, thiết bị ống lồng ống có cấu trúc hình học đơn giản nhưng vẫn bao quát đầy đủ các cơ chế truyền nhiệt cơ bản, bao gồm dẫn nhiệt qua vách và đối lưu ở hai phía lưu chất. Do đó, việc nghiên cứu cấu hình này cho phép phân tích rõ ràng mối quan hệ giữa các thông số vận hành và hiệu quả truyền nhiệt mà không bị chi phối bởi các yếu tố hình học phức tạp.

Thứ hai, trong khuôn khổ phần mềm ANSYS Fluent, việc lựa chọn một mô hình có độ phức tạp vừa phải giúp tăng độ tin cậy của kết quả mô phỏng, thuận lợi cho kiểm tra hội tụ, đánh giá độc lập lưới và phân tích sai số. Điều này đặc biệt quan trọng khi mục tiêu của đề tài là xây dựng hệ thống thí nghiệm số có kiểm soát.

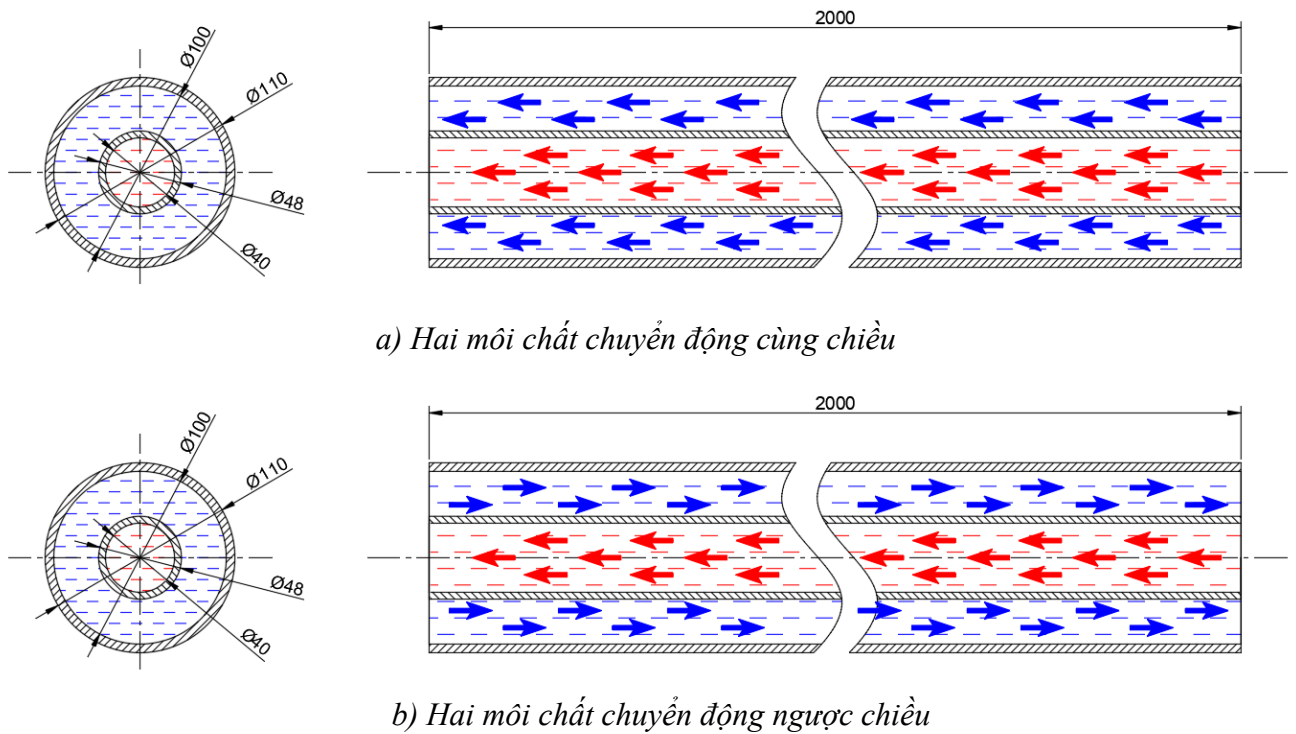
Thứ ba, cách tiếp cận tập trung vào một đối tượng điển hình cho phép đào sâu bản chất vật lý của quá trình truyền nhiệt, thay vì khảo sát dàn trải nhiều loại thiết bị với mức độ phân tích hạn chế. Các quy luật và xu hướng rút ra từ mô hình này có thể được sử dụng làm cơ sở tham chiếu cho các thiết bị trao đổi nhiệt khác có nguyên lý hoạt động tương tự.

Từ các lập luận trên, việc lựa chọn thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống trong nghiên cứu này là phù hợp về mặt phương pháp luận, đảm bảo sự cân bằng giữa tính khái quát và độ sâu phân tích, đồng thời đáp ứng mục tiêu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo trong môi trường số.

Để nghiên cứu sâu bản chất vật lý của quá trình truyền nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống, đề tài xây dựng 2 mô hình thí nghiệm ảo với các thông số hình học khác nhau và khảo sát cả 2 hướng chuyển động cùng chiều, ngược chiều của môi chất. Ở đây, môi chất là nước nóng chảy trong ống trong, nước lạnh chảy cùng chiều hoặc ngược chiều trong khe hình vành khăn; ống ngoài được bọc cách nhiệt lý tưởng; ống trong, ngoài được làm bằng đồng có các thông số kích thước như hình sau.



Hình 3.2. Mô hình thí nghiệm ảo 1



Hình 3.3. Mô hình thí nghiệm ảo 2

Ngoài ra, để đơn giản hóa mô hình thí nghiệm ảo, một số giả thiết được đưa ra:

- Dòng chảy ổn định
- Lưu chất là liên tục, không nén được
- Bỏ qua bức xạ nhiệt
- Tính chất vật lý của nước không đổi

Các giả thiết này giúp giảm độ phức tạp nhưng vẫn đảm bảo tính chính xác chấp nhận được.

Quá trình truyền nhiệt được mô tả bởi hệ phương trình:

- Phương trình liên tục (bảo toàn khối lượng)
- Phương trình động lượng
- Phương trình năng lượng

Các phương trình này là cơ sở để mô tả sự phân bố vận tốc và nhiệt độ trong miền tính toán.

2.2. Các bước xây dựng mô hình thí nghiệm ảo bằng phần mềm ANSYS Fluent

2.2.1. Bước 1: Xây dựng mô hình hình học (Geometry)

Xây dựng mô hình hình học là bước tạo dựng "phân xác" của thiết bị.

- Thực hiện: Sử dụng các công cụ DesignModeler để vẽ mô hình của thiết bị.

- Yêu cầu: Cần xác định rõ miền chất lưu (ống trong và vùng vành khuyên) và miền vật rắn (thành ống) nhằm mô phỏng quá trình truyền nhiệt liên hợp. Hình học phải được đơn giản hóa hợp lý nhưng vẫn giữ nguyên các kích thước đặc trưng, đảm bảo tính chính xác của bài toán. Ngoài ra, các mặt biên cần được định danh rõ ràng để thuận tiện cho việc thiết lập điều kiện biên trong ANSYS Fluent, đồng thời đảm bảo tính liên tục giữa các miền để mô phỏng chính xác quá trình trao đổi nhiệt qua vách..

Do thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống có hình học trụ tròn và điều kiện biên đối xứng theo phương chu vi, các đại lượng vật lý không phụ thuộc vào góc quay. Vì vậy, bài toán có thể được đơn giản hóa từ 3D sang 2D đối xứng trục (axisymmetric) mà vẫn đảm bảo độ chính xác. Phương pháp này giúp giảm đáng kể chi phí tính toán và thời gian mô phỏng trong ANSYS Fluent.

2.2.2. Bước 2: Chia lưới (Meshing)

Chia nhỏ mô hình thành hàng triệu phần tử nhỏ để máy tính có thể giải các phương trình vi phân tại từng điểm.

- Thực hiện: Sử dụng Fluent Meshing.
- Yêu cầu: Lưới tính toán được xây dựng với cấu trúc phù hợp nhằm đảm bảo độ chính xác và khả năng hội tụ của bài toán. Lưới tại các vùng biên (nơi tiếp xúc giữa chất lưu và vách ống) cần được chia mịn hơn (Inflation layers) để tính toán chính xác hệ số truyền nhiệt đối lưu. Chất lượng lưới cần phải đạt các tiêu chí bắt buộc sau:
 - Skewness < 0.85 (tốt nhất < 0.5),
 - Orthogonal Quality > 0.2 (tốt > 0.5),
 - Aspect Ratio không quá lớn.

Để loại bỏ ảnh hưởng của kích thước phần tử đến kết quả mô phỏng cần phải kiểm tra tính độc lập của lưới bằng cách sau:

- Thực hiện: Tạo ≥ 3 mức lưới:
 - Thô (coarse)
 - Trung bình (medium)
 - Mịn (fine)
- So sánh: Nhiệt độ đầu ra

- Kết luận:

Khi sai lệch giữa 2 mức lưới liên tiếp $< 1-3\%$ $\rightarrow$ chọn lưới trung bình

2.2.3. Bước 3: Thiết lập mô hình vật lý (Setup)

Đây là bước quan trọng nhất, nhằm đánh giá ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến quá trình truyền nhiệt, đề tài tiến hành xây dựng một hệ thống thí nghiệm số dựa trên các nguyên tắc sau:

- Kiểm soát biến số: tại mỗi lần thí nghiệm, chỉ thay đổi một hoặc một nhóm nhỏ thông số, trong khi các thông số còn lại được giữ cố định.
- Tính hệ thống: các trường hợp mô phỏng được sắp xếp theo quy luật rõ ràng, tránh lựa chọn ngẫu nhiên.
- Khả năng lặp lại: mỗi bài toán có thể tái lập với cùng điều kiện đầu vào.
- Khả năng so sánh: kết quả giữa các trường hợp có thể đối chiếu trực tiếp để rút ra xu hướng.

Căn cứ vào điều kiện vận hành thực tế và để giảm chi phí tính toán thì các thông số đầu vào được lựa chọn dựa trên mức độ ảnh hưởng đến quá trình truyền nhiệt, bao gồm:

- Nhiệt độ đầu vào của nước nóng: $50^{\circ}\text{C} \rightarrow 70^{\circ}\text{C}$
- Nhiệt độ đầu vào của nước lạnh: $22^{\circ}\text{C} \rightarrow 28^{\circ}\text{C}$
- Lưu lượng đầu vào của nước nóng: $2 \rightarrow 3$ lít/phút
- Lưu lượng đầu vào của nước lạnh: $3 \rightarrow 5$ lít/phút

Trên cơ sở các thông số đã chọn, hệ thống thí nghiệm số được thiết kế theo dạng ma trận tham số. Giả sử mỗi thông số được khảo sát tại ba mức (thấp – trung bình – cao), số lượng case được xác định theo tổ hợp:

$$N = n_1 \times n_2 \times \dots \times n_k$$

Trong đó:

- n_i là số mức của thông số thứ i
- k là số thông số khảo sát

Như vậy ta sẽ có: $N = n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4 = 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ case

Tuy nhiên, để giảm chi phí tính toán, nghiên cứu áp dụng phương pháp thiết kế thí nghiệm rút gọn dựa trên nguyên lý tuyến tính cục bộ và lựa chọn các điểm đặc trưng (góc, cạnh và trung tâm) trong không gian tham số. Phương pháp này cho phép giảm số

lượng mô phỏng từ 81 xuống 9 case mà vẫn đảm bảo độ chính xác chấp nhận được trong miền khảo sát.

Từ đây ta có giá trị các thông số đầu vào của các mô hình thí nghiệm ảo 1 và 2 cho 9 case thể hiện ở các bảng sau:

Bảng 3.1. Hệ thống thí nghiệm số của mô hình thí nghiệm 1

Case	Nhiệt độ đầu vào của nước nóng (K)	Nhiệt độ đầu vào của nước lạnh (K)	Lưu lượng đầu vào của nước nóng (lít/phút)	Lưu lượng đầu vào của nước lạnh (lít/phút)	Vận tốc đầu vào của nước nóng (m/s)	Vận tốc đầu vào của nước lạnh (m/s)
1	323,15	295,15	2,00	3,00	0,1061	0,06217
2	323,15	301,15	2,00	5,00	0,1061	0,10362
3	343,15	295,15	3,00	3,00	0,15915	0,06217
4	343,15	301,15	3,00	5,00	0,15915	0,10362
5	323,15	298,15	2,50	4,00	0,13263	0,08289
6	343,15	298,15	2,50	4,00	0,13263	0,08289
7	333,15	295,15	2,50	4,00	0,13263	0,08289
8	333,15	301,15	2,50	4,00	0,13263	0,08289
9	333,15	298,15	2,50	4,00	0,13263	0,08289

Bảng 3.2. Hệ thống thí nghiệm số của mô hình thí nghiệm 2

Case	Nhiệt độ đầu vào của nước nóng (K)	Nhiệt độ đầu vào của nước lạnh (K)	Lưu lượng đầu vào của nước nóng (lít/phút)	Lưu lượng đầu vào của nước lạnh (lít/phút)	Vận tốc đầu vào của nước nóng (m/s)	Vận tốc đầu vào của nước lạnh (m/s)
1	323,15	295,15	2,00	3,00	0,02653	0,00827
2	323,15	301,15	2,00	5,00	0,02653	0,01379
3	343,15	295,15	3,00	3,00	0,03979	0,00827
4	343,15	301,15	3,00	5,00	0,03979	0,01379
5	323,15	298,15	2,50	4,00	0,03316	0,01103
6	343,15	298,15	2,50	4,00	0,03316	0,01103
7	333,15	295,15	2,50	4,00	0,03316	0,01103
8	333,15	301,15	2,50	4,00	0,03316	0,01103
9	333,15	298,15	2,50	4,00	0,03316	0,01103

Mỗi tổ hợp thông số trong ma trận tương ứng với một trường hợp mô phỏng (case) được thực hiện trên phần mềm ANSYS Fluent, Các bước thiết lập mô hình vật lý (Setup) thực hiện cho mỗi case bao gồm:

- Thiết lập Solver: Chọn Pressure-Based Solver và Steady-state (trạng thái ổn định), Lý do là dòng chảy chất lỏng không nén được và bài toán truyền nhiệt ổn định,
- Kích hoạt năng lượng: Bật phương trình năng lượng (Energy Equation),

- Chọn mô hình dòng chảy: Chọn mô hình dòng chảy tầng vì với vận tốc đầu vào của nước nóng, nước lạnh của hệ thống thí nghiệm số thì tính được giá trị $Re < 2300$.
- Khai báo vật liệu: Nhập các thông số nhiệt vật lý như nhiệt dung riêng, hệ số dẫn nhiệt, khối lượng riêng của môi chất lạnh, nóng và vật liệu làm ống trong, ngoài,
- Thiết lập miền (Cell Zone Conditions):
Gán:
Fluid $\rightarrow$ water
Solid $\rightarrow$ copper
- Điều kiện biên (Boundary Conditions):
 - Thiết lập điều kiện đầu vào: lưu lượng đầu vào, nhiệt độ đầu vào cho nước nóng, lạnh theo từng case của hệ thống thí nghiệm số,
 - Thiết lập điều kiện đầu ra: Gauge pressure = 0,
 - Thiết lập điều kiện khác:
 - + Thành ống (solid wall): No slip và Coupled
 - + Axis (trục đối xứng): Gán Axis boundary

2.2.4. Bước 4: Giải toán (Solution/Calculation)

Đối với mỗi trường hợp mô phỏng (case), phần mềm sẽ tiến hành lặp (iterations) để giải hệ phương trình bảo toàn khối lượng, động lượng và năng lượng,

- Thực hiện:
 - Thiết lập phương pháp giải (Solution Methods):
 - + Pressure-Velocity Coupling: SIMPLEC
 - + Spatial Discretization:
 - ☐ Pressure: Second Order
 - ☐ Momentum: Second Order Upwind
 - ☐ Energy: Second Order Upwind

Thiết lập này giúp tăng độ chính xác,

- Khởi tạo (Initialization): Hybrid Initialization
- Thiết lập số bước lặp và tiêu chuẩn hội tụ (Residuals),
- Kiểm tra: Theo dõi đường cong hội tụ, Xác định đã đạt được các tiêu chí hội tụ chưa,

Ở đây, hội tụ là trạng thái khi nghiệm số ổn định và không thay đổi đáng kể theo số vòng lặp, Và tiêu chí hội tụ được đánh giá không chỉ dựa trên giá trị residual mà còn thông qua sự ổn định của các đại lượng vật lý và cân bằng năng lượng trong hệ thống, cụ thể:

- Tiêu chí dựa trên Residuals

Trong ANSYS Fluent CFD software, theo dõi:

<i>Phương trình</i>	<i>Ngưỡng hội tụ</i>
Continuity	10^{-4}
Momentum	10^{-4}
Energy	10^{-6}

- Tiêu chí vật lý: Theo dõi nhiệt độ đầu ra đảm bảo đạt trạng thái ổn định, tức là giá trị nhiệt độ đầu ra không thay đổi theo iteration (Sai lệch giữa 50–100 iteration cuối nhỏ hơn $0,1 - 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Cân bằng năng lượng (Energy balance)

$$Q_{\text{hot}} \approx Q_{\text{cold}}$$

Với sai số cho phép:

<i>Mức</i>	<i>Sai lệch</i>
Chấp nhận	$< 5\%$
Tốt	$< 2\%$
Xuất sắc	$< 1\%$

2.2.5. Bước 5: Xử lý kết quả (Post-processing)

Đối với mỗi trường hợp mô phỏng (case), phần mềm sẽ tiến hành trích xuất dữ liệu để phục vụ cho báo cáo và phân tích,

- Hình ảnh: Vẽ biểu đồ vector vận tốc, đường dòng (streamlines) và các đường đồng mức nhiệt độ (temperature contours),
- Dữ liệu số: Xuất giá trị nhiệt độ đầu ra của nước nóng, lạnh; nhiệt lượng trao đổi của dòng nóng và lạnh,
- Sử dụng các giá trị mô phỏng được để tính toán:
 - Độ chênh lệch nhiệt độ trung bình $\overline{\Delta t}$

Trong thiết bị trao đổi nhiệt, nhiệt độ nước nóng và lạnh đều thay đổi dọc theo bề mặt trao đổi nhiệt, do vậy độ chênh lệch nhiệt độ của nước nóng và nước lạnh cũng biến đổi theo,

Độ chênh lệch nhiệt độ trung bình $\overline{\Delta t}$ cho cả hai trường hợp lưu động cùng chiều và ngược chiều được xác định bằng công thức:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

Trong đó:

+ Khi hai môi chất chuyển động ngược chiều:

$$\Delta t_1 = t_1' - t_2''$$

$$\Delta t_2 = t_1'' - t_2'$$

+ Khi hai môi chất chuyển động cùng chiều:

$$\Delta t_1 = t_1' - t_2'$$

$$\Delta t_2 = t_1'' - t_2''$$

- Hiệu suất của TBTĐN ống lồng ống được xác định theo công thức [1] :

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}}$$

Trong đó:

+ Q: Lượng nhiệt trao đổi của dòng nóng và lạnh, W

+ $Q_{\max}$: Lượng nhiệt trao đổi lớn nhất của TBTĐN ống lồng ống, W

$$Q_{\max} = (G.C_p)_{\min} (t_1' - t_2')$$

$$\text{Với: } (G.C_p)_{\min} = \min(G_1.C_{p1}, G_2.C_{p2})$$

G_1, G_2 – lưu lượng khối lượng của môi chất nóng và lạnh, kg/s;

C_{p1}, C_{p2} – nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp của môi chất nóng và lạnh, J/kg.K.

3. Chạy thử nghiệm

Trên cơ sở hệ thống thí nghiệm số đã thiết kế, các kịch bản thí nghiệm số được xác lập như sau:

- Mỗi tổ hợp thông số đầu vào tương ứng với một kịch bản
- Các kịch bản được sắp xếp theo thứ tự biến thiên của thông số

- Đảm bảo bao phủ toàn bộ miền khảo sát

Việc tổ chức này cho phép:

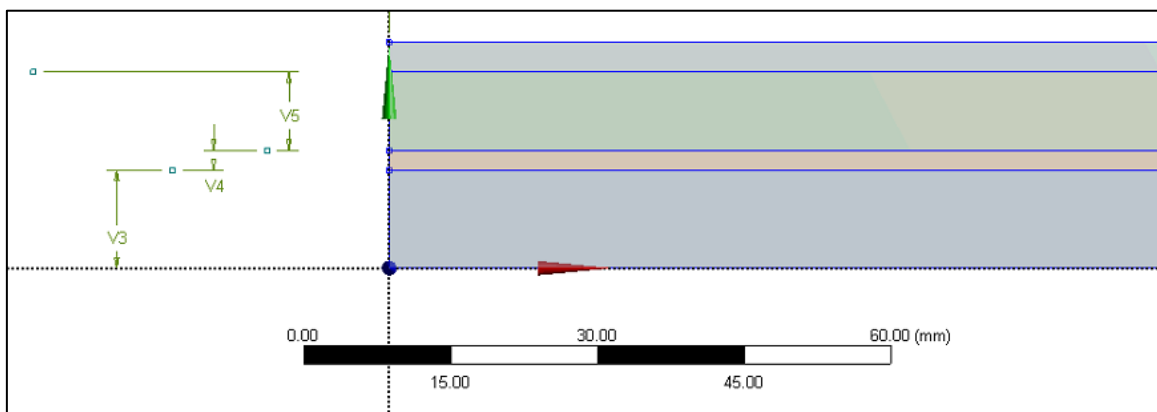
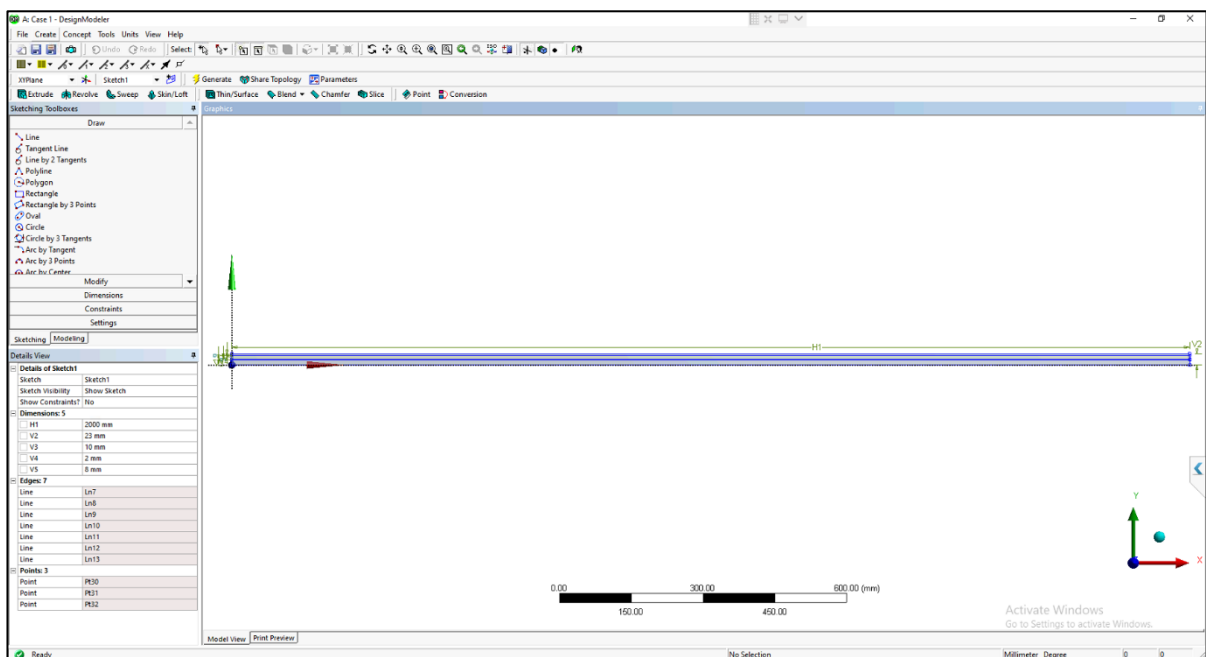
- Theo dõi ảnh hưởng của từng thông số
- Phân tích tương tác giữa các thông số

Sau đây trình bày chạy thử nghiệm Case 1 cho mô hình thí nghiệm ảo 1 ở trường hợp môi chất nóng, lạnh chuyển động ngược chiều:

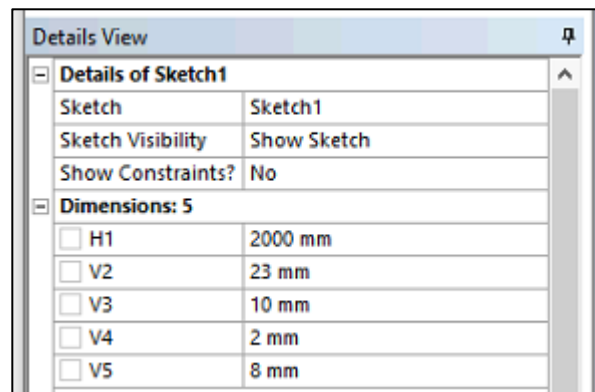
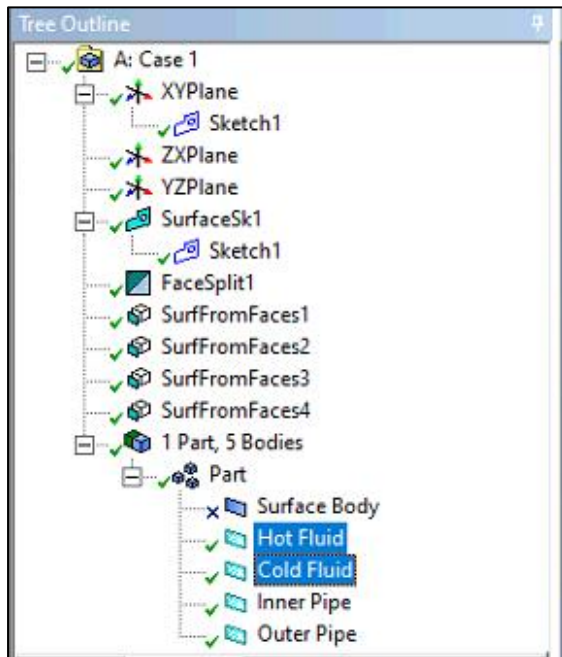
Thông số đầu vào:

- Nhiệt độ đầu vào của nước nóng: $323,15^{\circ}\text{K}$
- Nhiệt độ đầu vào của nước lạnh: $295,15^{\circ}\text{K}$
- Vận tốc đầu vào của nước nóng: $0,1061 \text{ m/s}$
- Vận tốc đầu vào của nước lạnh: $0,06217 \text{ m/s}$

Bước 1: Xây dựng mô hình hình học (Geometry)

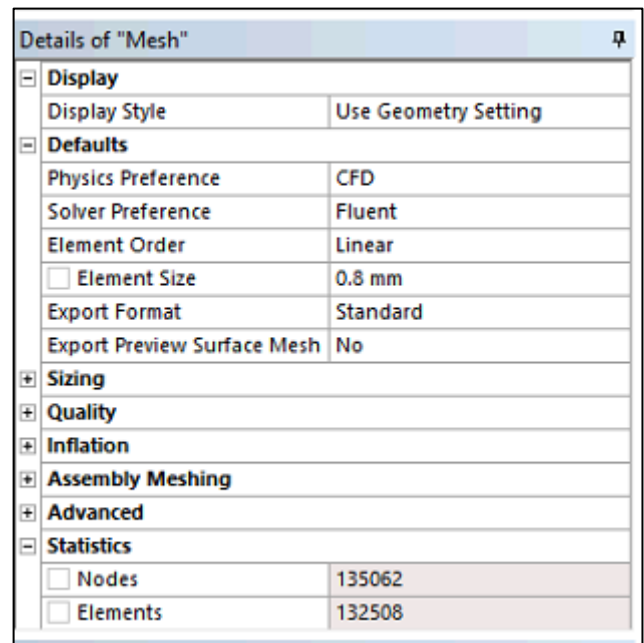
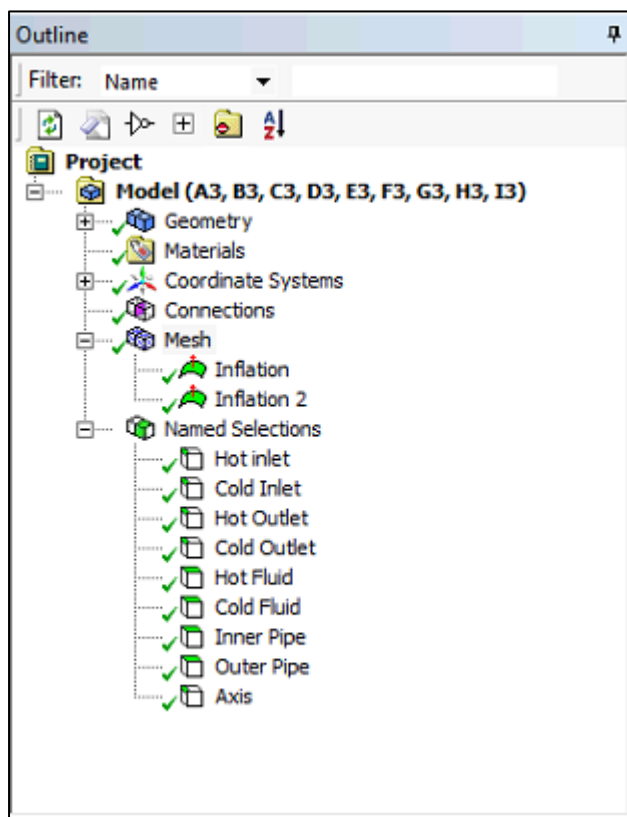


Hình 3.4. Vẽ mô hình hình học (Geometry)

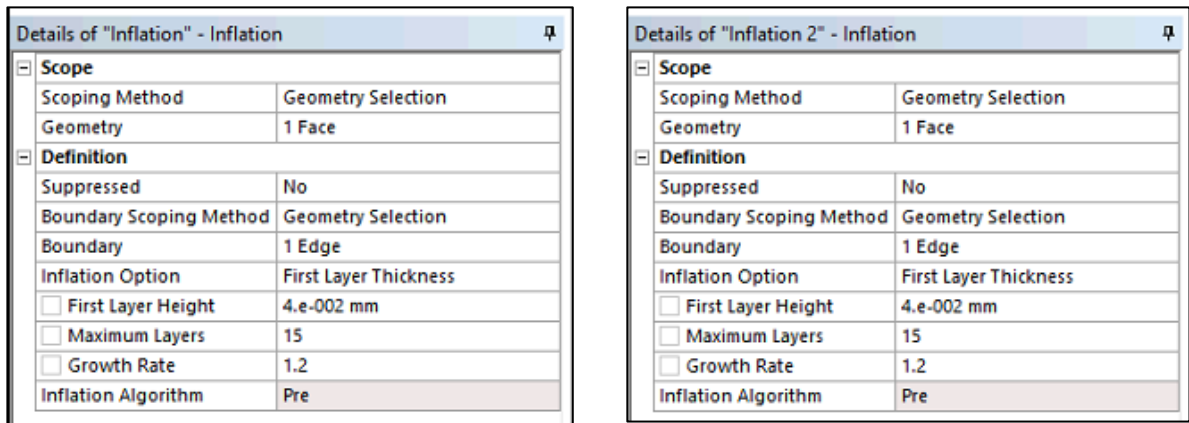


Hình 3.5. Thông số mô hình hình học và đặt tên vùng (Named Selections)

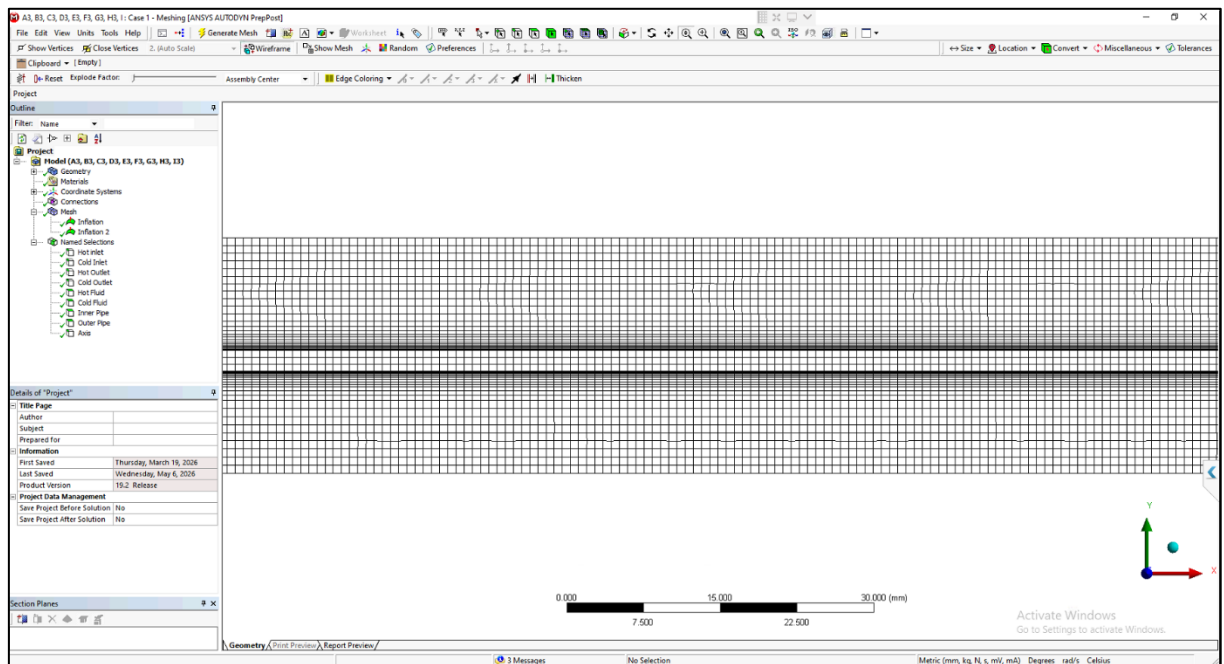
Bước 2: Chia lưới (Meshing)



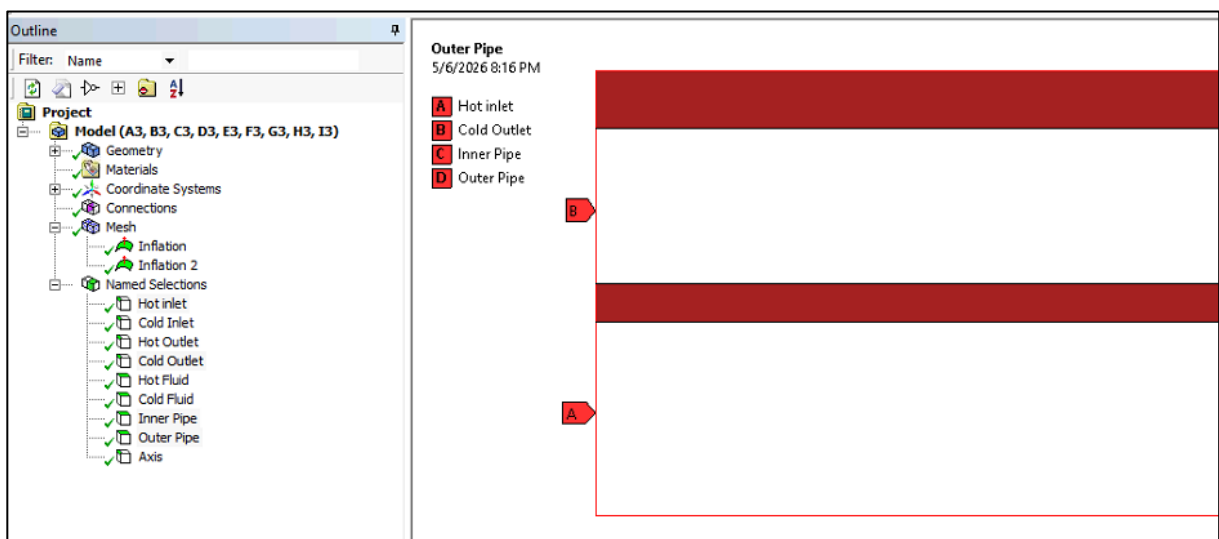
Hình 3.6. Thiết lập tổng thể lưới (Global Mesh Settings)



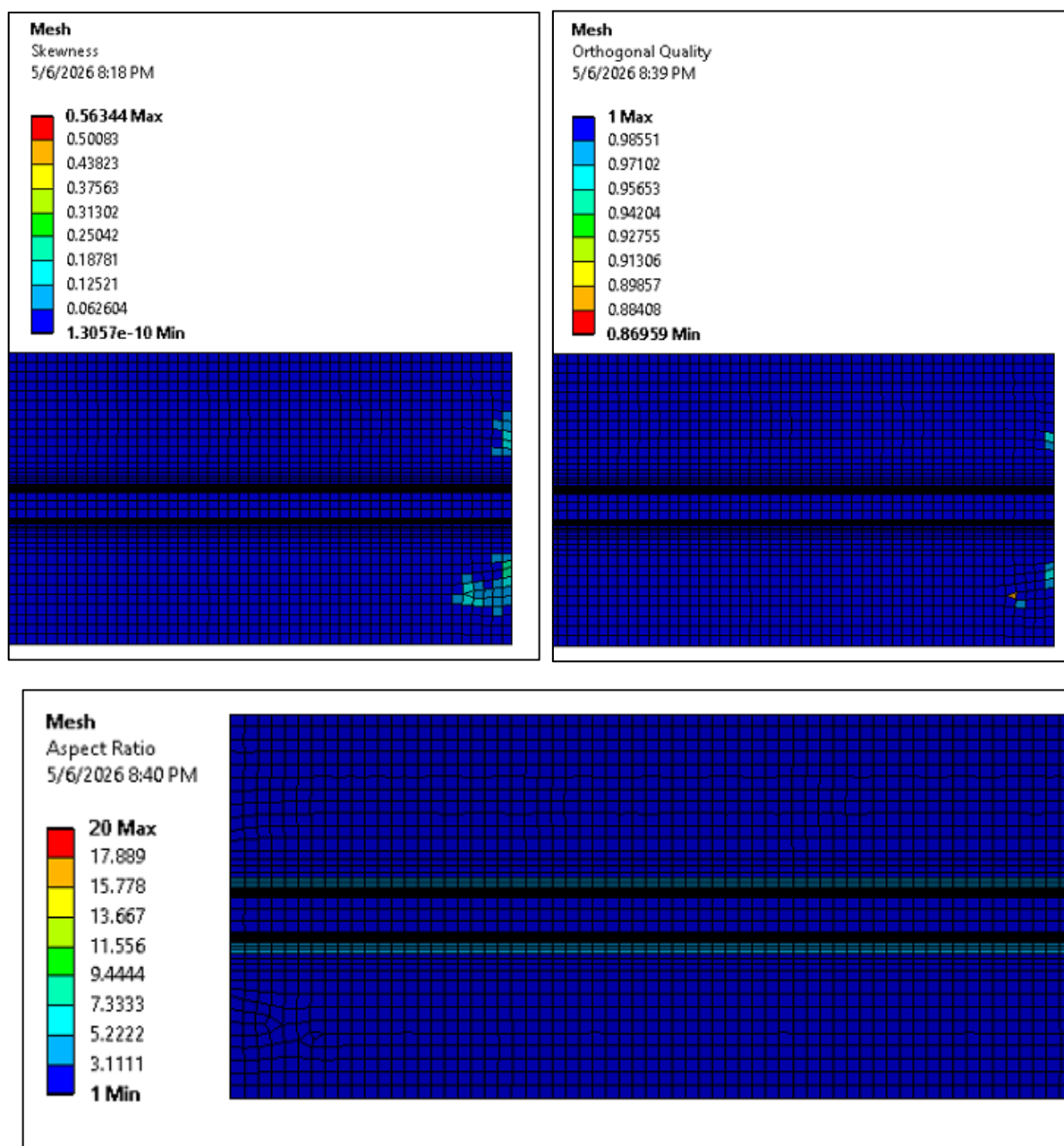
Hình 3.7. Chia lưới theo vùng (Local Mesh Control)



Hình 3.8. Generate Mesh



Hình 3.9. Thiết lập chế độ chuyển động ngược chiều

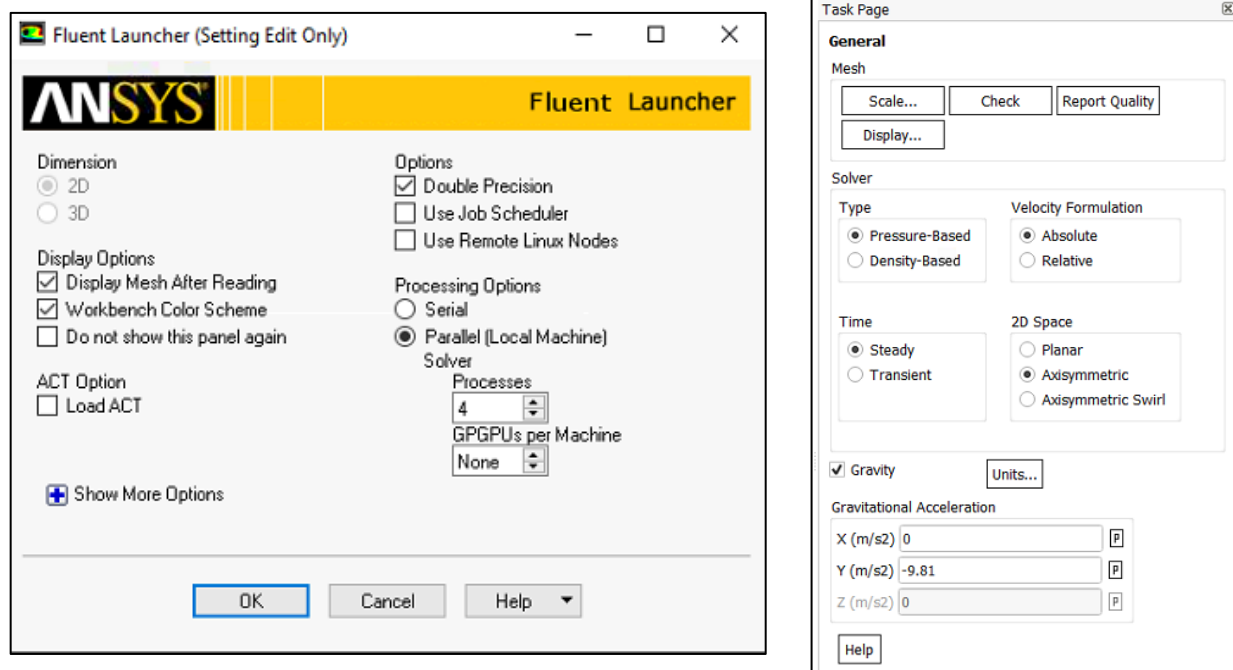


Hình 3.10. Kiểm tra chất lượng lưới

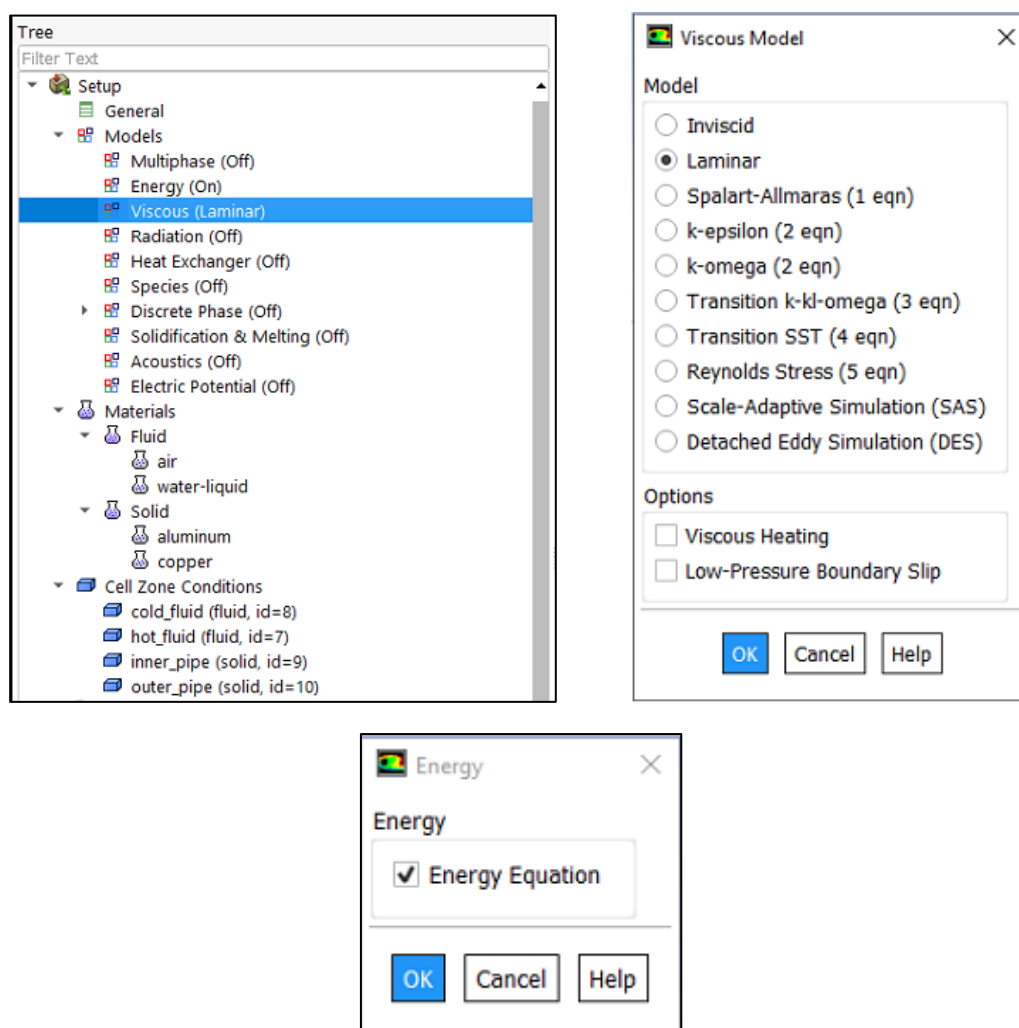
Bảng 3.3. Kiểm tra tính độc lập của lưới

Mức lưới	Số phần tử	Nhiệt độ đầu ra của nước nóng $T_{h,out}$ (K)	Nhiệt độ đầu ra của nước lạnh $T_{c,out}$ (K)	Sai số tương đối của $T_{h,out}$ (%)	Sai số tương đối của $T_{c,out}$ (%)
Thô	60 000	317,207	296,135	0,856	0,551
Trung bình	130 000	319,343	297,625	0,188	0,05
Mịn	200 000	319,945	297,775	0	0

Bước 3: Thiết lập mô hình vật lý (Setup)



Hình 3.11. Thiết lập Solver



Hình 3.12. Thiết lập mô hình vật lý và kích hoạt phương trình năng lượng

Create/Edit Materials

Name: water-liquid

Material Type: fluid

Chemical Formula: h2o<l>

Fluent Fluid Materials: water-liquid (h2o<l>)

Mixture: none

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Fluent Database... User-Defined Database...

Properties

Density (kg/m3): constant 998.2 Edit...

Cp (Specific Heat) (J/kg-K): constant 4182 Edit...

Thermal Conductivity (W/m-K): constant 0.6 Edit...

Viscosity (kg/m-s): constant Edit...

Change/Create Delete Close Help

Create/Edit Materials

Name: copper

Material Type: solid

Chemical Formula: cu

Fluent Solid Materials: copper (cu)

Mixture: none

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Fluent Database... User-Defined Database...

Properties

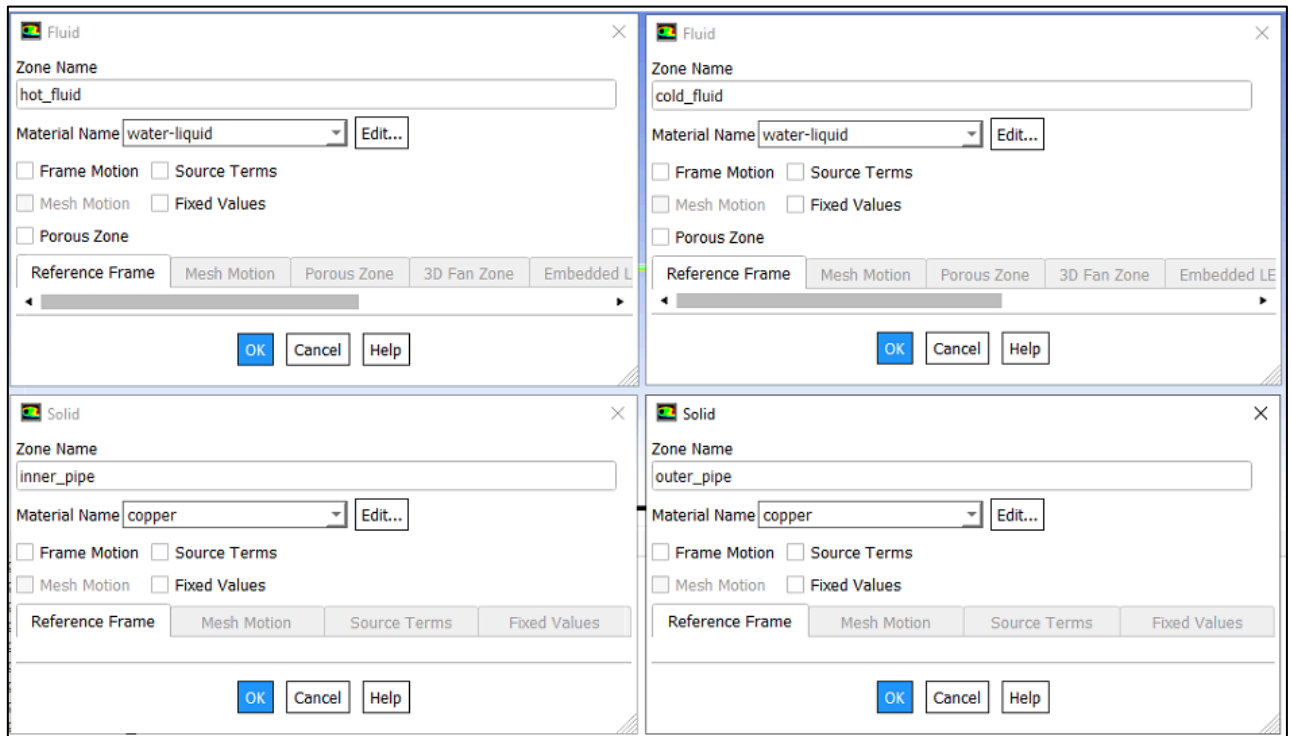
Density (kg/m3): constant 8978 Edit...

Cp (Specific Heat) (J/kg-K): constant 381 Edit...

Thermal Conductivity (W/m-K): constant 387.6 Edit...

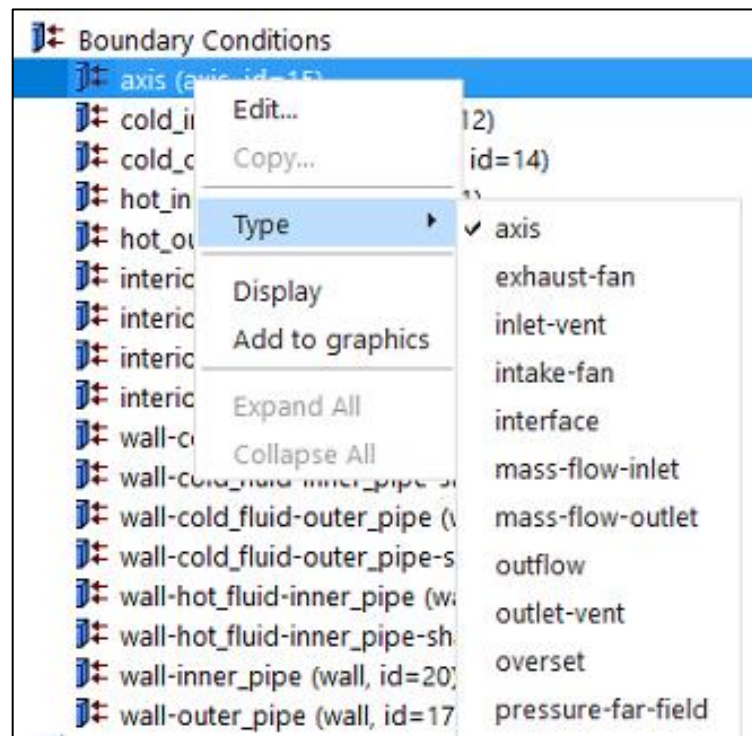
Change/Create Delete Close Help

Hình 3.13. Chọn vật liệu cho môi chất và ống trao đổi nhiệt

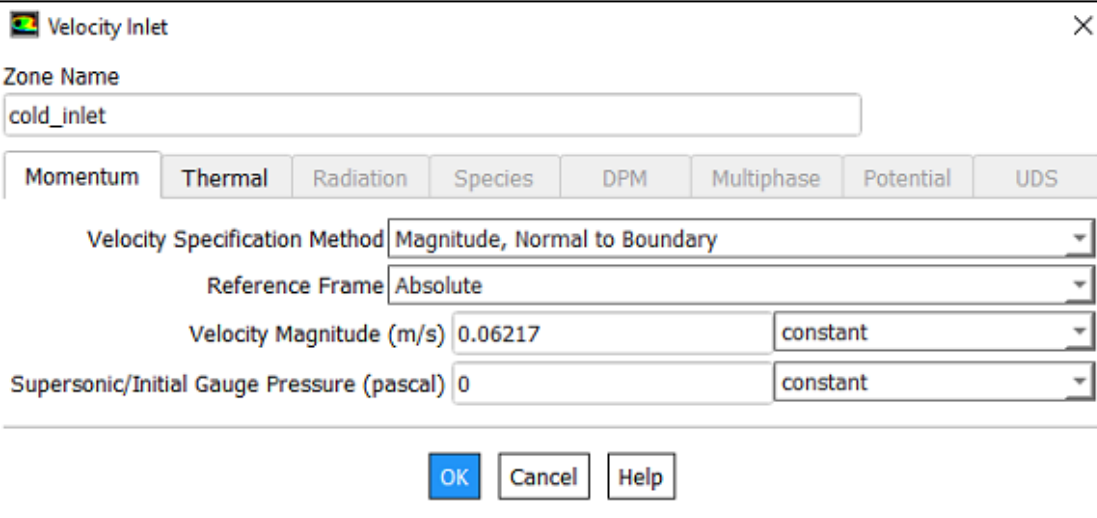


Hình 3.14. Thiết lập miền (Cell Zone Conditions)

* Thiết lập các điều kiện biên



Hình 3.15. Thiết lập trục đối xứng



Velocity Inlet

Zone Name: cold_inlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

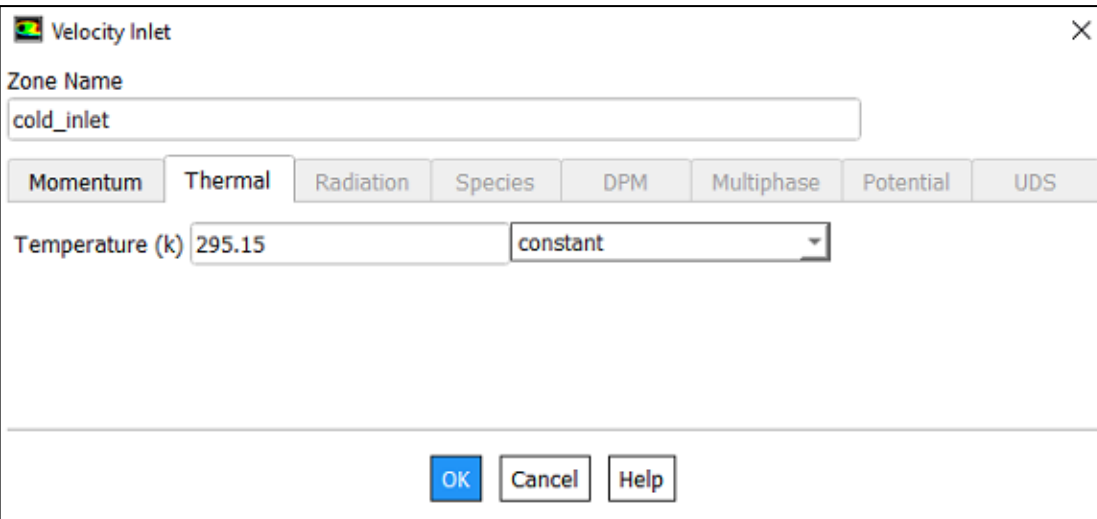
Velocity Specification Method: Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame: Absolute

Velocity Magnitude (m/s): 0.06217 constant

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal): 0 constant

OK Cancel Help



Velocity Inlet

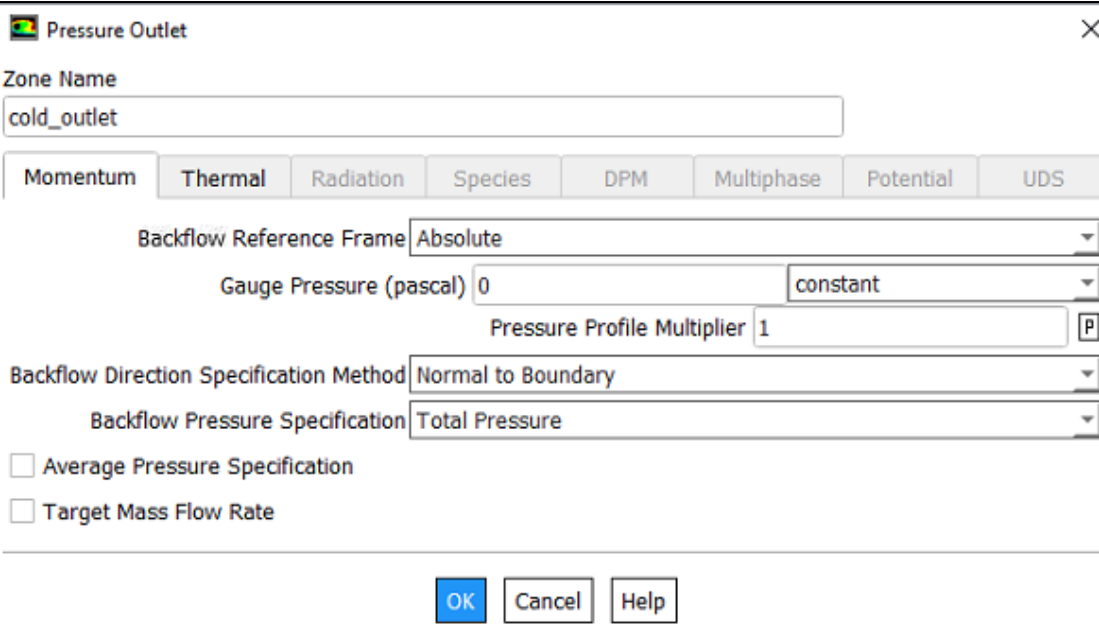
Zone Name: cold_inlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Temperature (k): 295.15 constant

OK Cancel Help

Hình 3.16. Thiết lập vận tốc, nhiệt độ đầu vào của nước lạnh



Pressure Outlet

Zone Name: cold_outlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Backflow Reference Frame: Absolute

Gauge Pressure (pascal): 0 constant

Pressure Profile Multiplier: 1 P

Backflow Direction Specification Method: Normal to Boundary

Backflow Pressure Specification: Total Pressure

☐ Average Pressure Specification

☐ Target Mass Flow Rate

OK Cancel Help

Hình 3.17. Thiết lập áp suất đầu ra của nước lạnh

 Velocity Inlet X

Zone Name
hot_inlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame Absolute

Velocity Magnitude (m/s) 0.1061 constant

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal) 0 constant

OK Cancel Help

 Velocity Inlet X

Zone Name
hot_inlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Temperature (k) 323.15 constant

OK Cancel Help

Hình 3.18. Thiết lập vận tốc, nhiệt độ đầu vào của nước nóng

 Pressure Outlet X

Zone Name
hot_outlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Backflow Reference Frame Absolute

Gauge Pressure (pascal) 0 constant

Pressure Profile Multiplier 1 P

Backflow Direction Specification Method Normal to Boundary

Backflow Pressure Specification Total Pressure

☐ Average Pressure Specification

☐ Target Mass Flow Rate

OK Cancel Help

Hình 3.19. Thiết lập áp suất đầu ra của nước nóng

Wall

Zone Name
wall-cold_fluid-inner_pipe

Adjacent Cell Zone
cold_fluid

Shadow Face Zone
wall-cold_fluid-inner_pipe-shadow

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Wall Film Potential

Wall Motion Motion

☒ Stationary Wall ☒ Relative to Adjacent Cell Zone

☐ Moving Wall

Shear Condition

☒ No Slip

☐ Specified Shear

☐ Specularity Coefficient

☐ Marangoni Stress

Wall Roughness

Roughness Height (m) 0 constant

Roughness Constant 0.5 constant

OK Cancel Help

Wall

Zone Name
wall-cold_fluid-inner_pipe

Adjacent Cell Zone
cold_fluid

Shadow Face Zone
wall-cold_fluid-inner_pipe-shadow

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Wall Film Potential

Thermal Conditions

☐ Heat Flux

☐ Temperature

☒ Coupled

Wall Thickness (m) 0 P

Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant

Material Name
copper Edit...

OK Cancel Help

Hình 3.20. Thiết lập điều kiện biên ống trong phía nước lạnh (Wall Boundary Conditions)

Wall

Zone Name: wall-cold_fluid-outer_pipe

Adjacent Cell Zone: outer_pipe

Shadow Face Zone: wall-cold_fluid-outer_pipe-shadow

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Wall Film Potential

Thermal Conditions

☒ Heat Flux Heat Flux (w/m2) 0 constant

☐ Temperature Wall Thickness (m) 0 P

☐ Coupled Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant

Material Name: copper Edit...

OK Cancel Help

Hình 3.21. Thiết lập điều kiện biên ống ngoài phía nước lạnh (Wall Boundary Conditions)

Wall

Zone Name: wall-hot_fluid-inner_pipe

Adjacent Cell Zone: hot_fluid

Shadow Face Zone: wall-hot_fluid-inner_pipe-shadow

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Wall Film Potential

Wall Motion

☒ Stationary Wall ☒ Relative to Adjacent Cell Zone

☐ Moving Wall

Shear Condition

☒ No Slip

☐ Specified Shear

☐ Specularity Coefficient

☐ Marangoni Stress

Wall Roughness

Roughness Height (m) 0 constant

Roughness Constant 0.5 constant

OK Cancel Help

Wall

Zone Name
wall-hot_fluid-inner_pipe

Adjacent Cell Zone
hot_fluid

Shadow Face Zone
wall-hot_fluid-inner_pipe-shadow

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Wall Film Potential

Thermal Conditions

☐ Heat Flux ☐ Temperature ☒ Coupled

Material Name
copper Edit...

Wall Thickness (m) 0 P

Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant

OK Cancel Help

Hình 3.22. Thiết lập điều kiện biên ống trong phía nước nóng (Wall Boundary Conditions)

Bước 4: Giải toán (Solution/Calculation)

Solution Methods

Pressure-Velocity Coupling
Scheme
SIMPLE

Spatial Discretization
Gradient
Least Squares Cell Based

Pressure
Second Order

Momentum
Second Order Upwind

Energy
Second Order Upwind

Transient Formulation
Steady

☐ Non-Iterative Time Advancement
☐ Frozen Flux Formulation
☐ Pseudo Transient
☐ Warped-Face Gradient Correction
☐ High Order Term Relaxation Options...

Default

Solution Controls

Under-Relaxation Factors

Pressure
0.3

Density
1

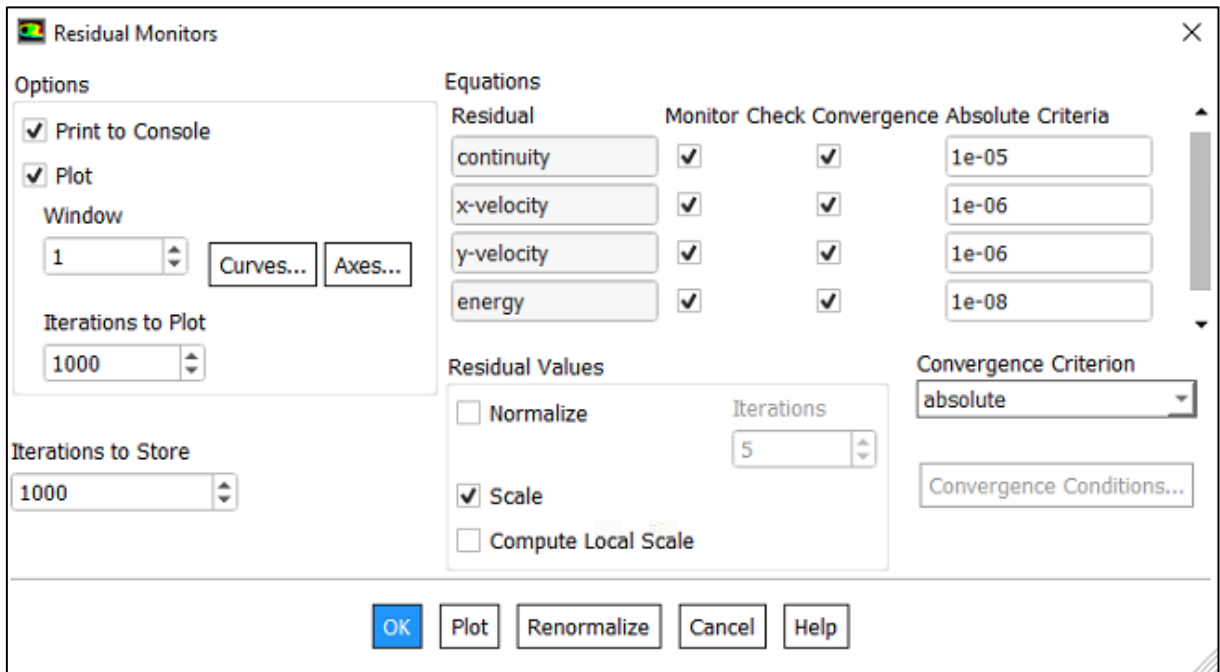
Body Forces
1

Momentum
0.7

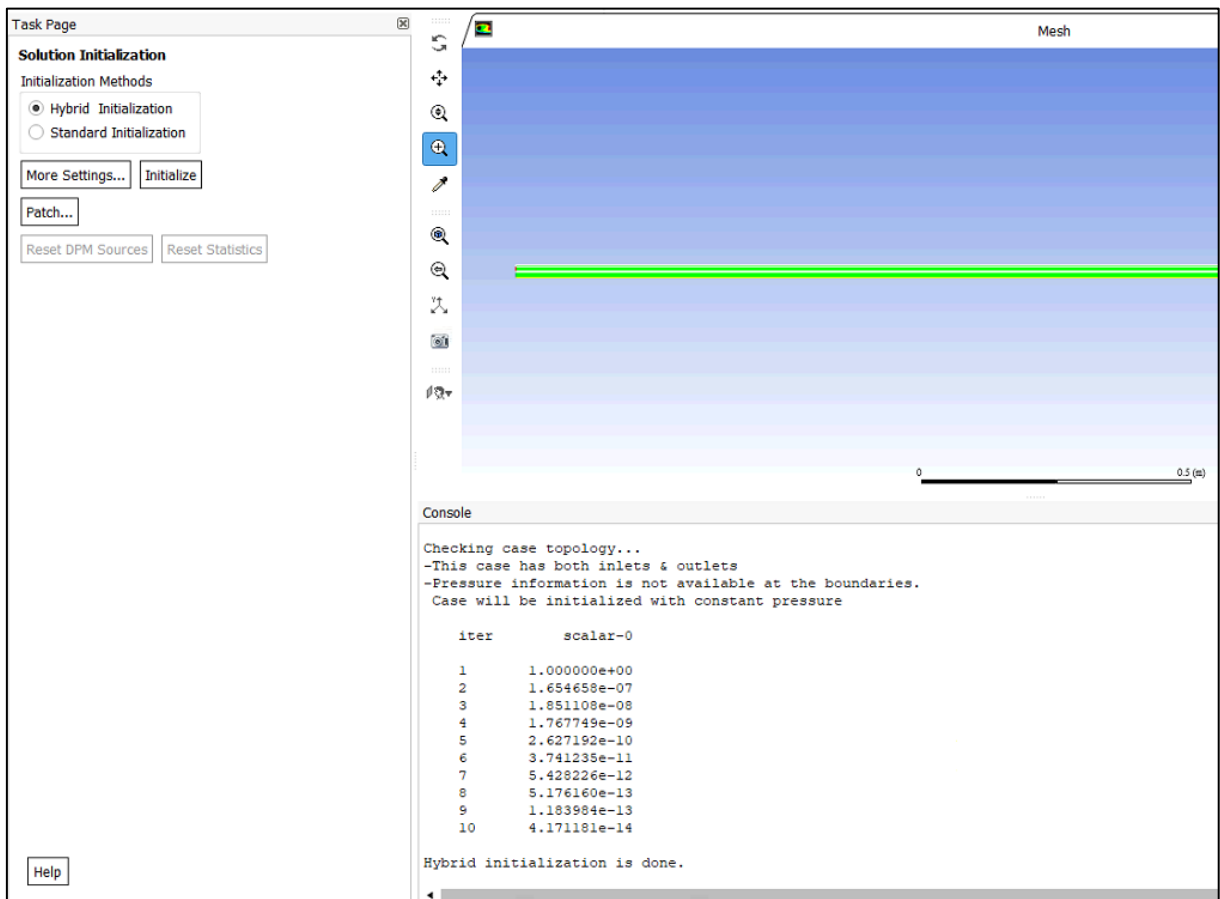
Energy
0.95

Default
Equations... Limits... Advanced...

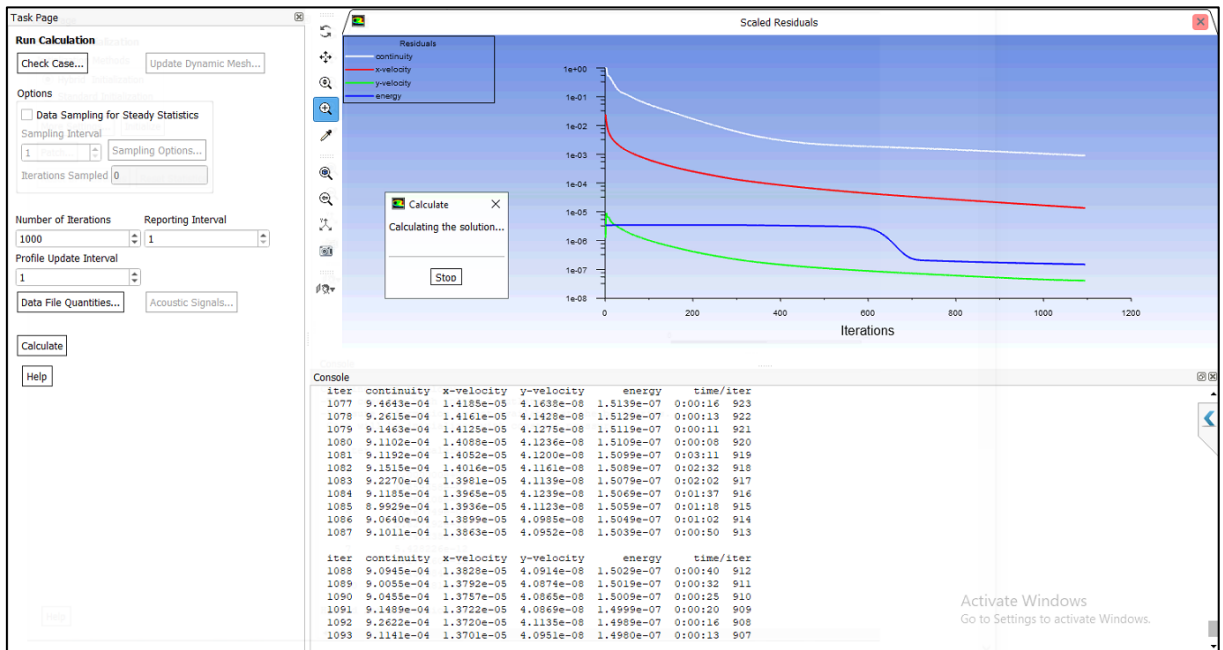
Hình 3.23. Thiết lập phương pháp giải



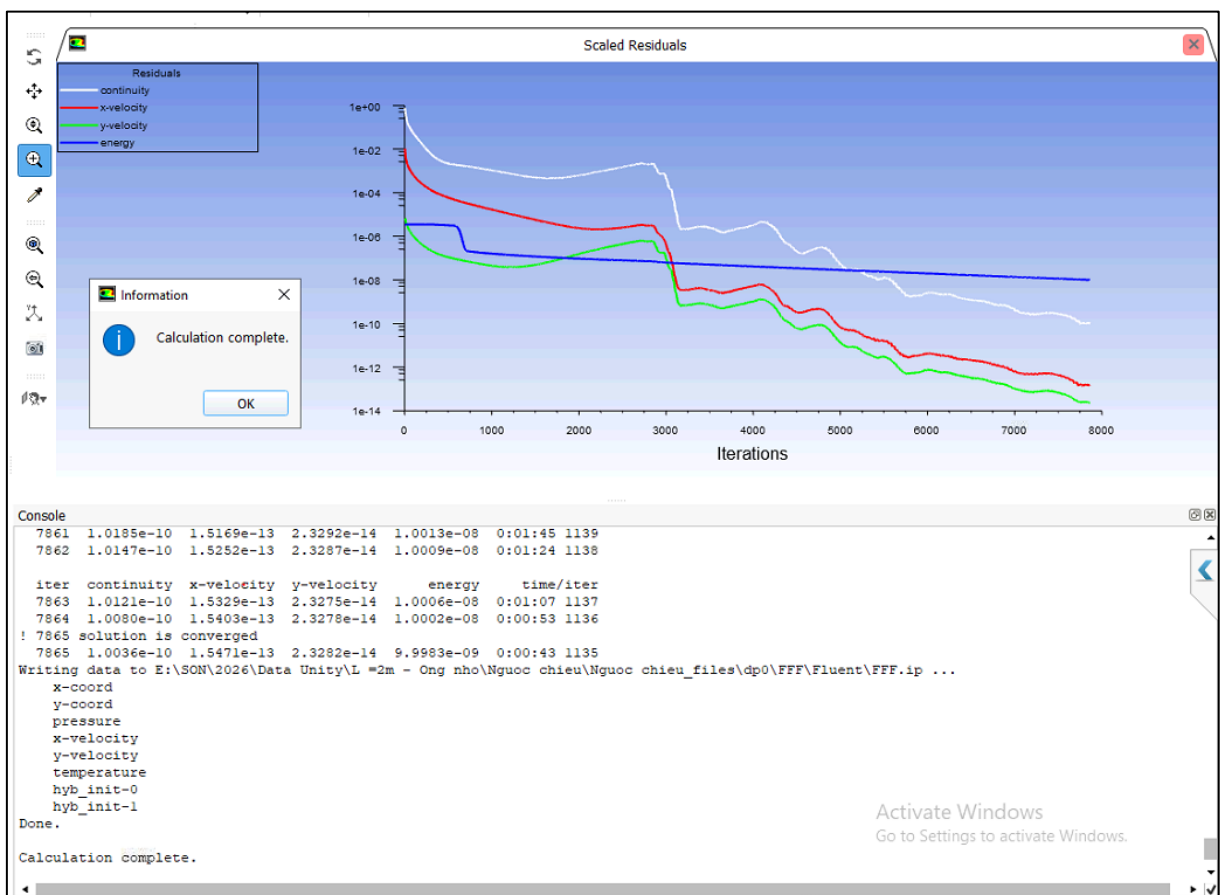
Hình 3.24. Thiết lập tiêu chuẩn hội tụ và theo dõi sai số (Residual Monitors)



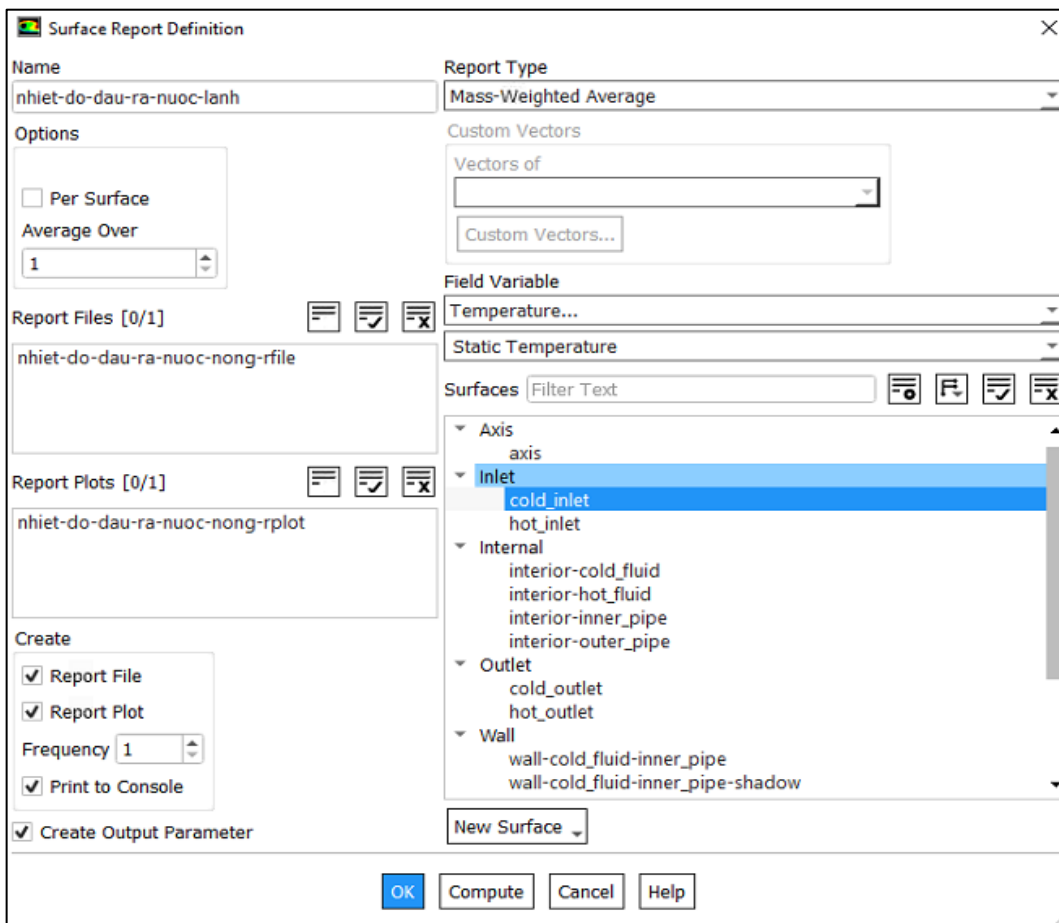
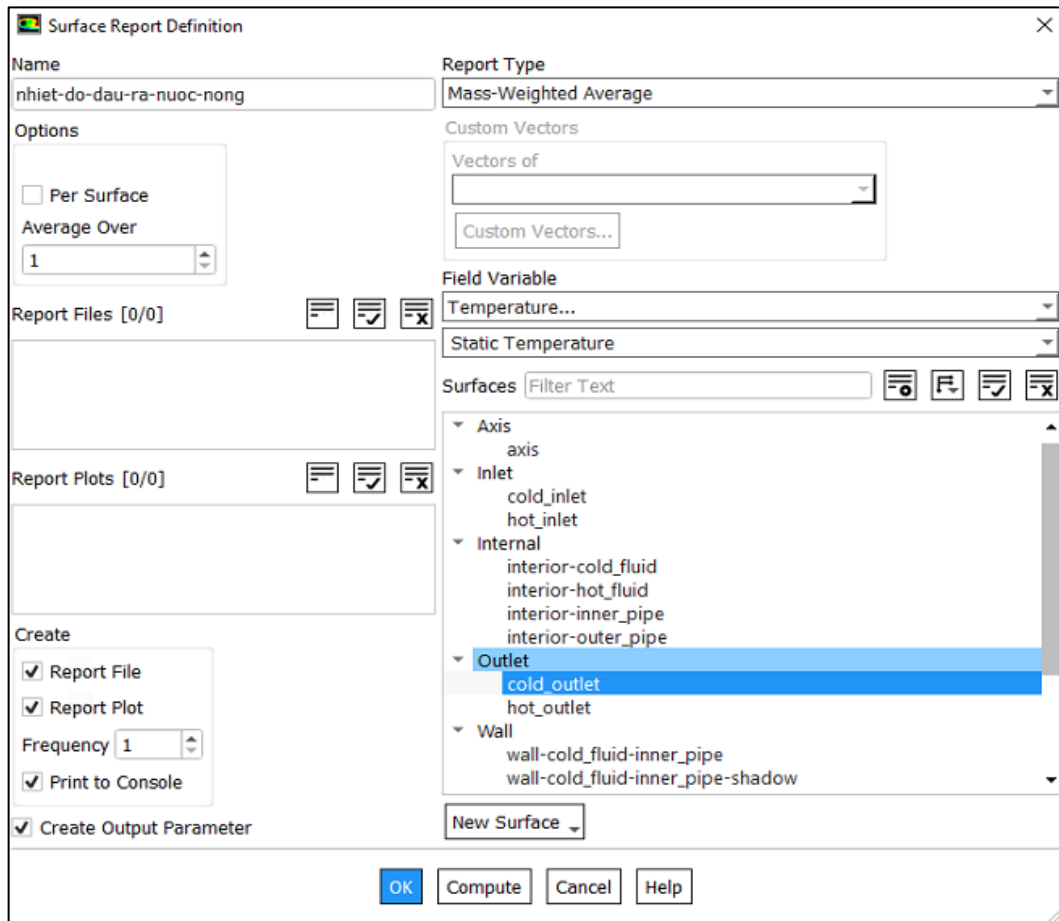
Hình 3.25. Khởi tạo (Initialization)



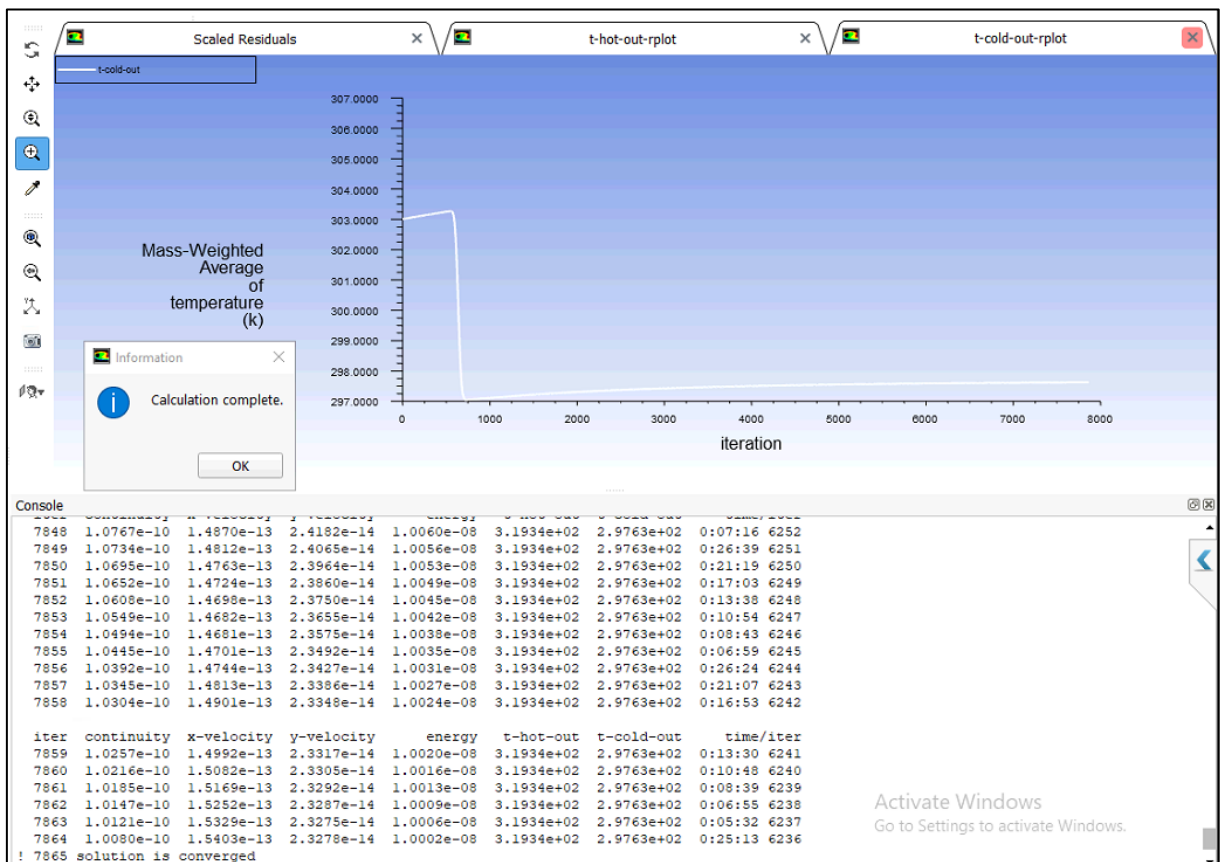
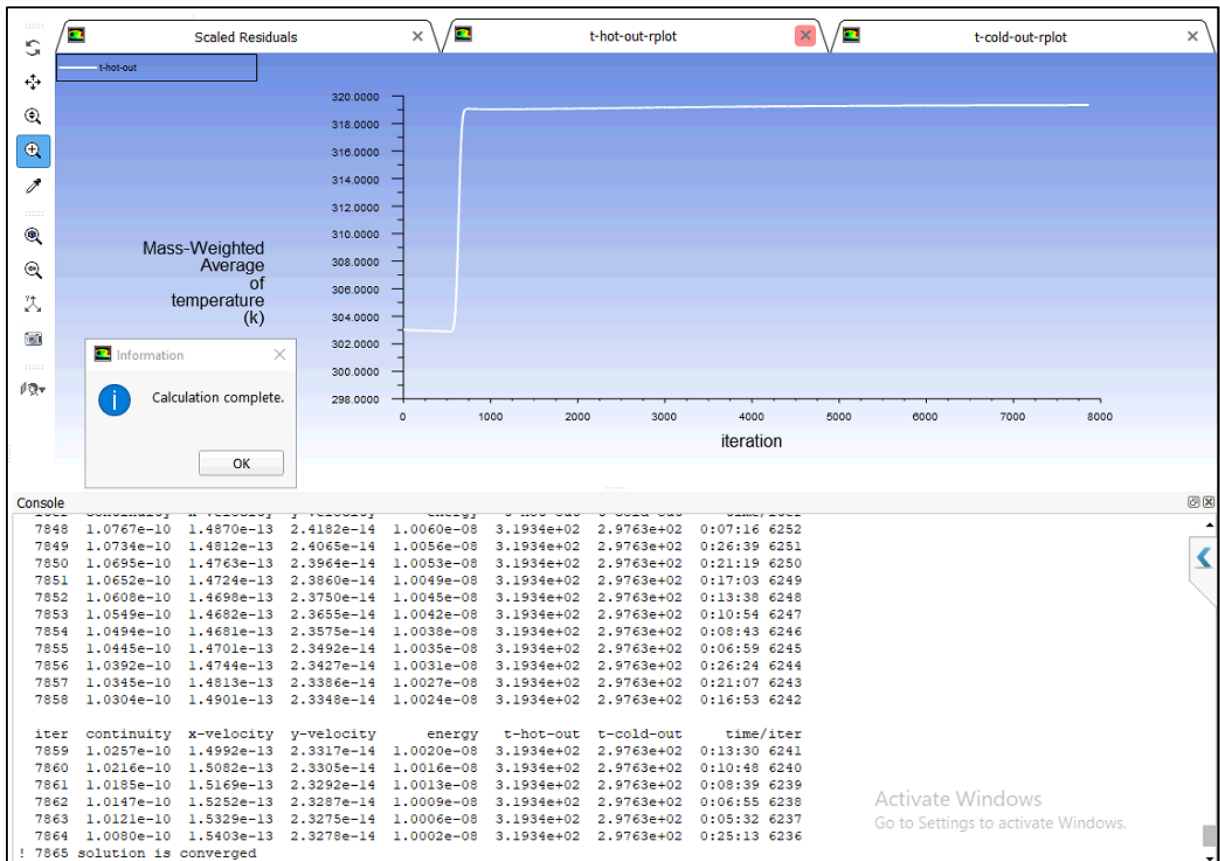
Hình 3.26. Thiết lập số bước lặp



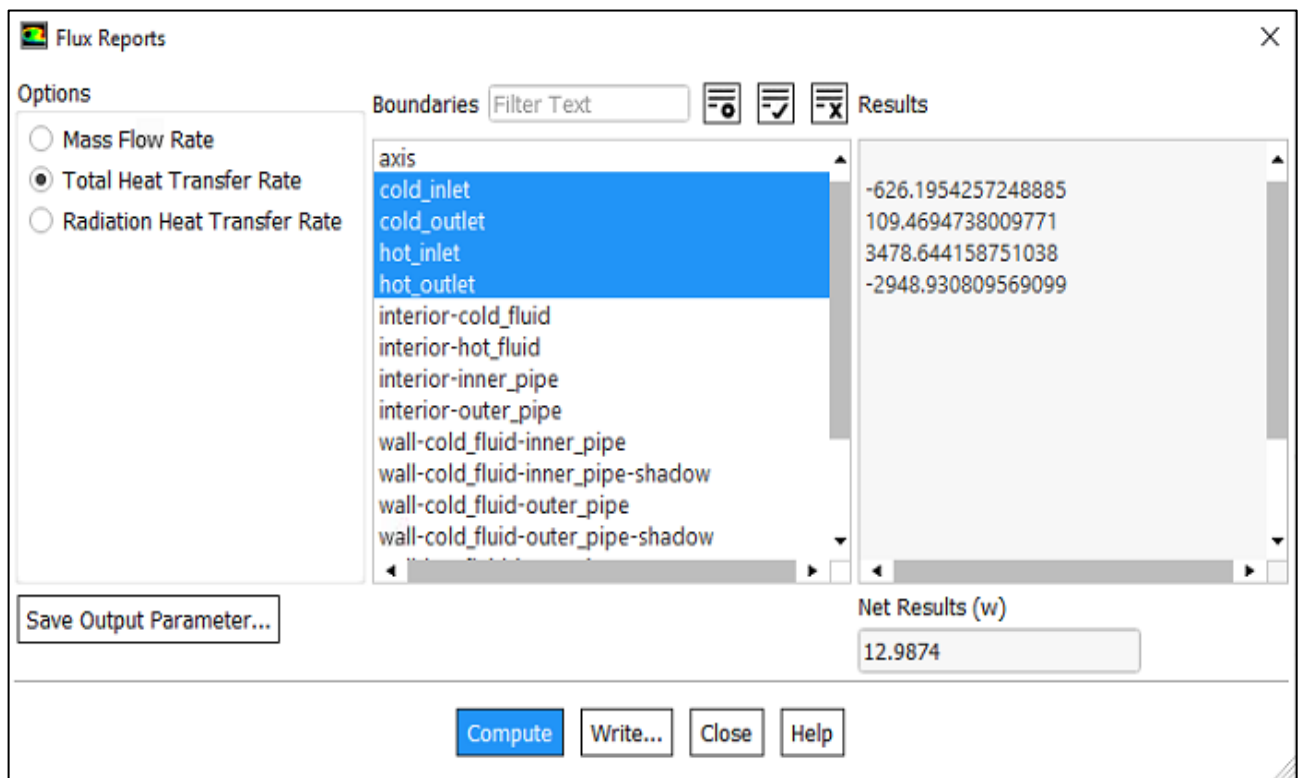
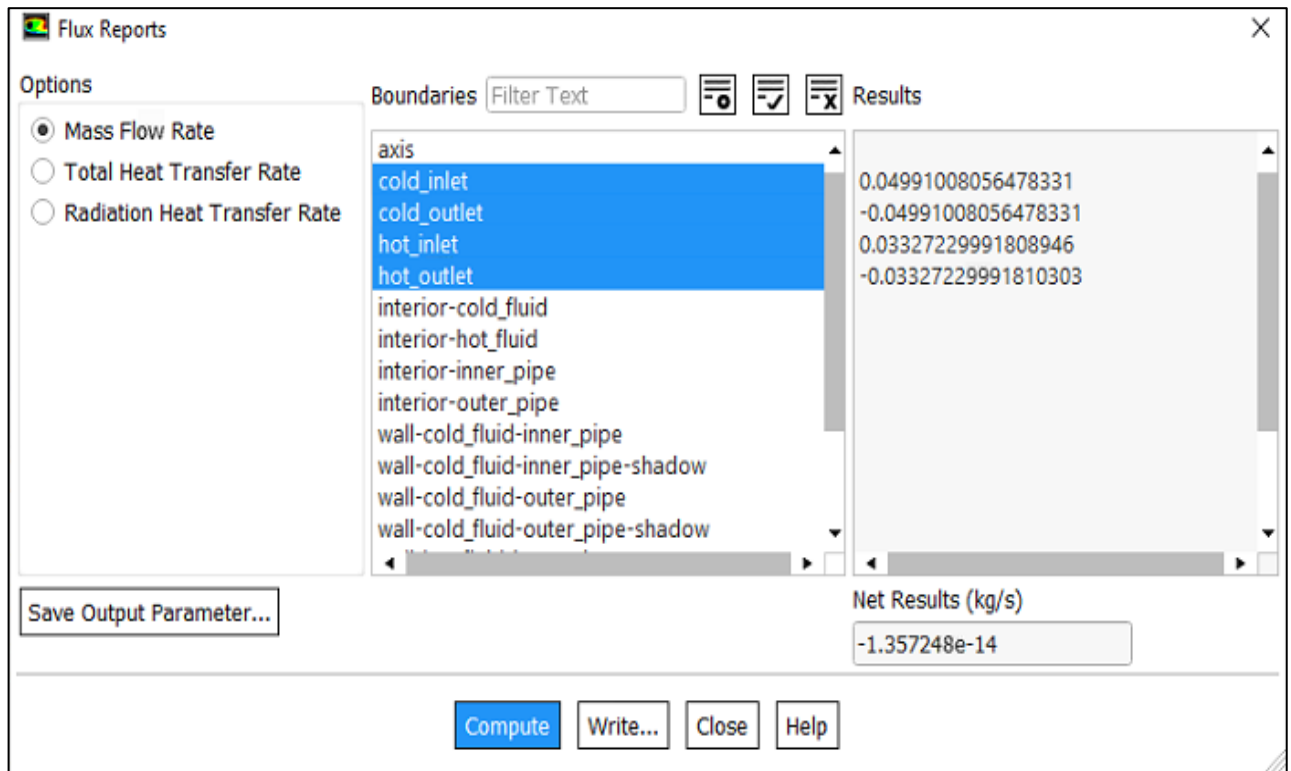
Hình 3.27. Kiểm tra hội tụ dựa trên Residuals



Hình 3.28. Tạo Report Definition để theo dõi nhiệt độ đầu ra nước nóng, nước lạnh

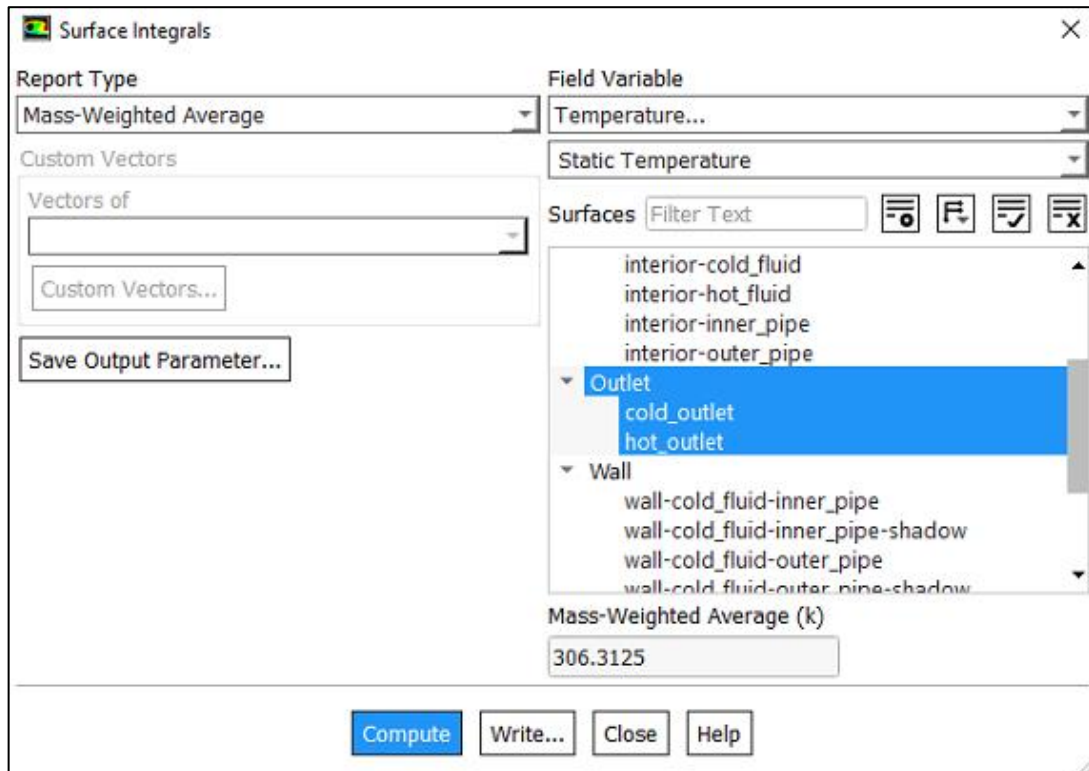


Hình 3.29. Kiểm tra hội tụ theo tiêu chí vật lý



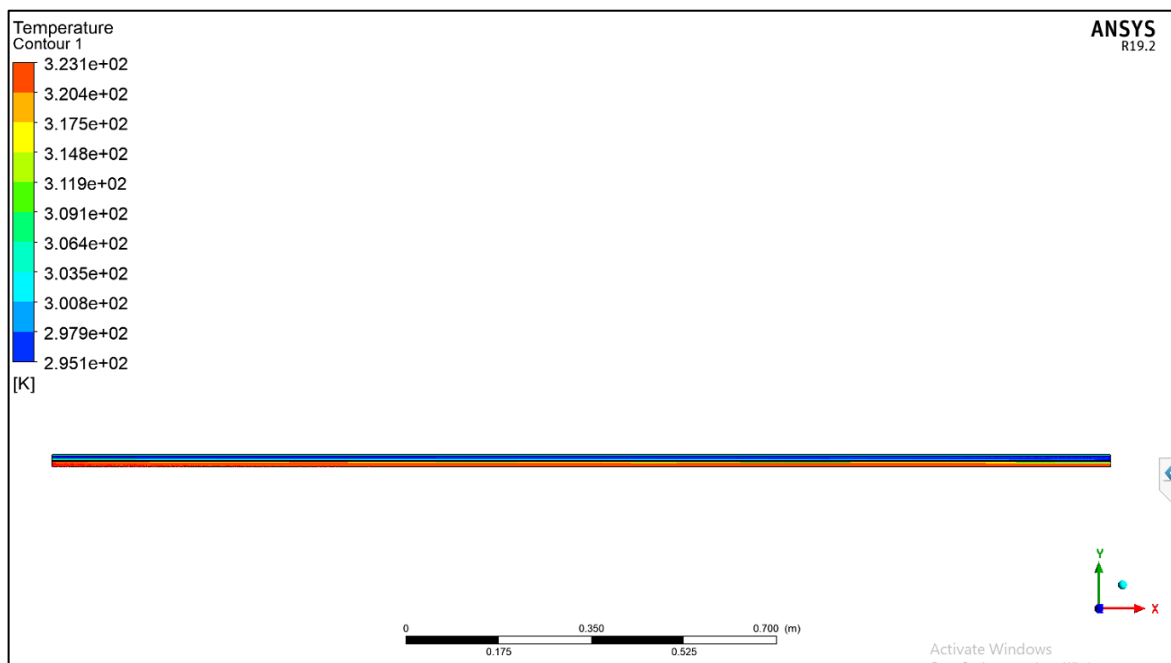
Hình 3.30. Kiểm tra hội tụ theo cân bằng năng lượng, cân bằng khối lượng

Bước 5: Xử lý kết quả (Post-processing)

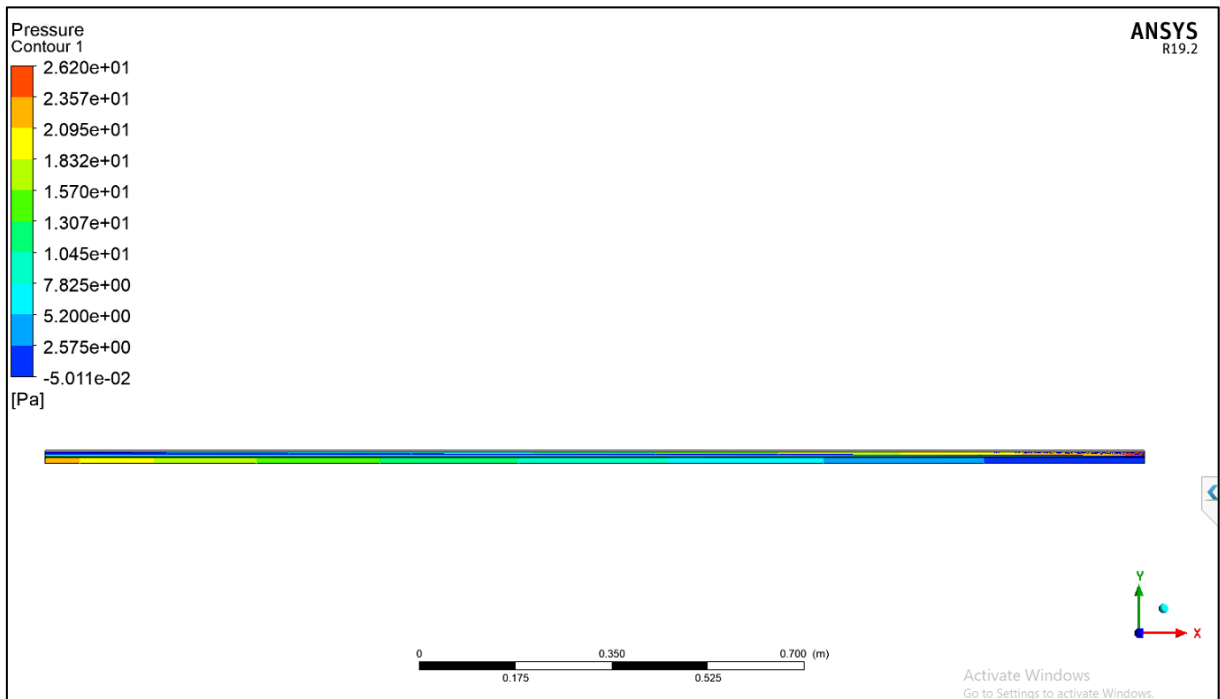


Mass-Weighted Average Static Temperature		(k)
cold_outlet		297.62553
hot_outlet		319.34326
Net		306.31245

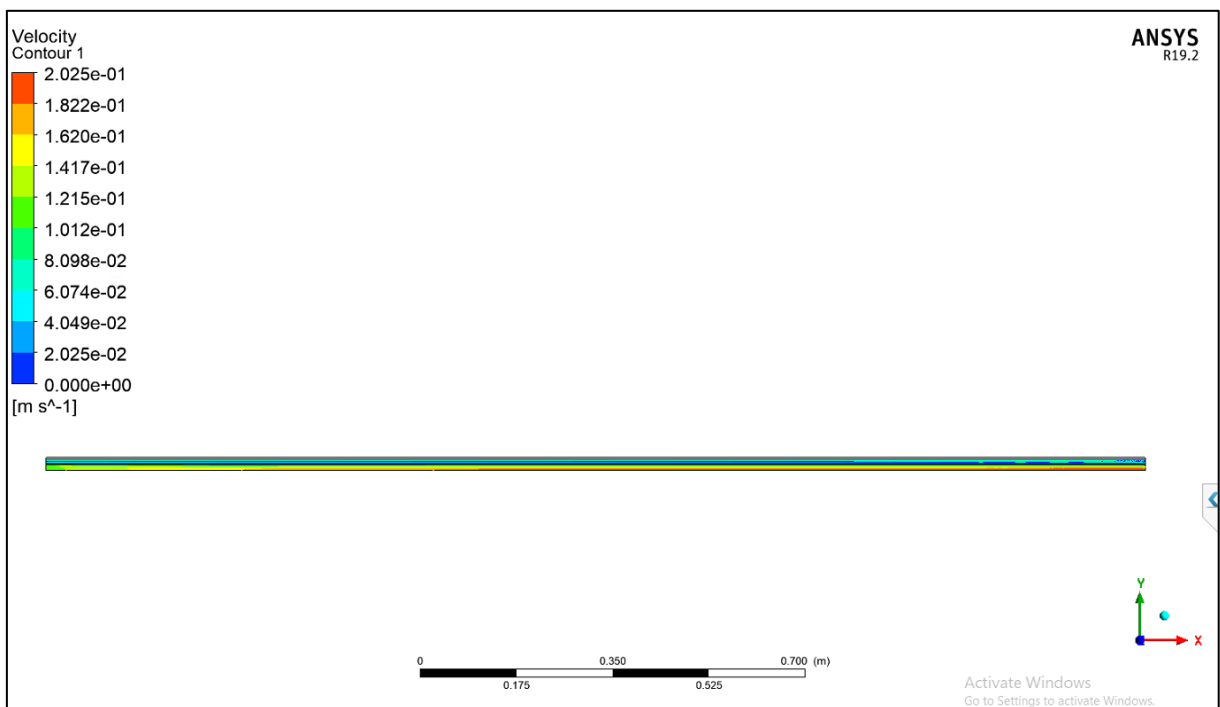
Hình 3.31. Xuất dữ liệu nhiệt độ đầu ra của nước nóng và lạnh



Hình 3.32. Trường nhiệt độ của mô hình thí nghiệm ảo



Hình 3.33. Phân bố áp suất của mô hình thí nghiệm ảo



Hình 3.34. Phân bố vận tốc của mô hình thí nghiệm ảo

4. Đánh giá kết quả thí nghiệm của mô hình

4.1. Đánh giá tính ổn định của mô hình

- Residuals hội tụ về giá trị:

Phương trình

Giá trị đạt hội tụ

Continuity

1.0080^{-10}

x-velocity

1.5403^{-13}

y-velocity	2.3278^{-14}
Energy	1.0002^{-8}

- Giá trị nhiệt độ của nước nóng, nước lạnh trong 100 iteration cuối:

Iteration	Nhiệt độ đầu ra của nước nóng	Nhiệt độ đầu ra của nước lạnh
7765	319,34	297,63
7766	319,34	297,63
....	...	...
7863	319,34	297,63
7864	319,34	297,63

! 7865 solution is converged

- Giá trị nhiệt lượng trao đổi sau khi hội tụ

Tổng sai lệch cân bằng nhiệt:

$$Q_{\text{imbalance}} = |\sum Q_i| = Q_{\text{net}} = 12,987 \text{ W}$$

Sai số cân bằng nhiệt:

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{net}}}{Q_{\text{ref}}} \cdot 100\% = \frac{12,987}{3478,644} \cdot 100\% \approx 0,37\% < 0,5\%$$

Với: Q_{ref} - nhiệt lượng lớn nhất hoặc nhiệt lượng cấp vào hệ (W)

- Các giá trị lưu lượng khối:

$$\text{Cold_inlet} = +0.0499101 \text{ kg/s}$$

$$\text{Cold_outlet} = -0.0499101 \text{ kg/s}$$

$$\text{Hot_inlet} = +0.0332723 \text{ kg/s}$$

$$\text{Hot_outlet} = -0.0332723 \text{ kg/s}$$

Tổng sai lệch:

$$\text{Net Results} = -1.357248 \times 10^{-14} \text{ kg/s}$$

Kết quả hội tụ trên chứng minh quá trình giải số đạt độ ổn định tốt và có thể sử dụng cho nghiên cứu hoặc đào tạo.

4.2. Đánh giá phân bố nhiệt độ

Kết quả mô phỏng cho thấy nhiệt độ của lưu chất nóng giảm dần theo chiều dài thiết bị trao đổi nhiệt, trong khi nhiệt độ của lưu chất lạnh tăng dần. Điều này phù hợp với quy luật truyền nhiệt đối lưu trong thiết bị trao đổi nhiệt thực tế.

- Vùng có gradient nhiệt độ lớn tập trung gần đầu vào của hai dòng lưu chất.
- Sự thay đổi nhiệt độ dọc theo chiều dài thiết bị có tính liên tục và ổn định.

- Không xuất hiện hiện tượng dao động nhiệt độ bất thường.

Phân bố nhiệt độ thu được từ Fluent cho phép đánh giá trực quan hiệu quả truyền nhiệt giữa hai dòng lưu chất.

4.3. Đánh giá trường vận tốc dòng chảy

Kết quả mô phỏng vận tốc cho thấy:

- Vận tốc lớn nhất xuất hiện tại vùng trung tâm dòng chảy.
- Gần thành ống xuất hiện lớp biên vận tốc do ảnh hưởng của độ nhớt.
- Dòng chảy trong vành khuyên có phân bố vận tốc không đối xứng hoàn toàn do hình học đặc thù của miền tính toán.

Kết quả này phù hợp với cơ sở lý thuyết của cơ học chất lưu và mô hình rối được sử dụng trong Fluent.

4.4. Đánh giá hiệu quả trao đổi nhiệt

4.4.1. Độ chênh lệch nhiệt độ trung bình $\overline{\Delta t}$

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{25,53 - 24,19}{\ln \frac{25,53}{24,19}} = 24,85^\circ \text{K}$$

Trong đó:

$$\Delta t_1 = t'_1 - t''_2 = 323,15 - 297,62 = 25,53^\circ \text{K}$$

$$\Delta t_2 = t''_1 - t'_2 = 319,34 - 295,15 = 24,19^\circ \text{K}$$

Kết quả cho thấy chênh lệch nhiệt độ trung bình của thiết bị đạt giá trị tương đối ổn định. Do hai giá trị Δt_1 và Δt_2 không chênh lệch nhiều nên nhiệt độ biến thiên dọc theo chiều dài thiết bị khá đồng đều. Điều này phản ánh quá trình trao đổi nhiệt diễn ra liên tục và ổn định trong miền tính toán.

4.4.2. Lượng nhiệt trao đổi của nước nóng và lạnh

Lưu lượng khối lượng của nước nóng: $G_1 = 0,0333 \text{ kg/s}$

Lưu lượng khối lượng của nước lạnh: $G_2 = 0,0499 \text{ kg/s}$

Nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp của môi chất nóng và lạnh được lấy theo giá trị trung bình: $C_{p1} = C_{p2} = 4182 \text{ J/kg.K}$

Lượng nhiệt do dòng nóng toả ra:

$$Q_1 = G_1 \cdot C_{p1} \cdot (t'_1 - t''_1) = 0,0333 \cdot 4182 \cdot (323,15 - 319,34) = 530,58 \text{ W}$$

Lượng nhiệt do dòng lạnh nhận vào:

$$Q_2 = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t''_2 - t'_2) = 0,0499 \cdot 4182 \cdot (297,62 - 295,15) = 515,44 \text{ W}$$

Mức sai lệch cân bằng nhiệt:

$$\alpha = \frac{|Q_1 - Q_2|}{Q_1} \cdot 100\% = \frac{530,58 - 515,44}{530,58} \cdot 100\% = 2,85\% < 5\%$$

Kết quả cho thấy sai lệch cân bằng nhiệt chỉ đạt 2.85%, nhỏ hơn giới hạn 5% thường được chấp nhận trong các nghiên cứu CFD về truyền nhiệt. Điều này chứng tỏ:

- Mô hình đã đạt trạng thái hội tụ tương đối tốt;
- Sai số bảo toàn năng lượng ở mức thấp;
- Trường nhiệt và trường dòng có tính ổn định;
- Kết quả tính toán có độ tin cậy tương đối cao.

Bên cạnh đó, mức sai lệch nhỏ cũng phản ánh việc thiết lập điều kiện biên, chất lượng lưới và tiêu chuẩn hội tụ trong mô hình là phù hợp. Điều này cho phép sử dụng kết quả mô phỏng để phục vụ phân tích đặc tính truyền nhiệt của thiết bị.

Tuy nhiên, vẫn tồn tại một phần sai lệch nhất định do ảnh hưởng của sai số rời rạc hóa, chất lượng lưới tại vùng gần thành ống, cũng như giới hạn của mô hình số trong quá trình giải hệ phương trình bảo toàn khối lượng, động lượng và năng lượng.

4.4.3. Hiệu suất thiết bị trao đổi nhiệt ε

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \cdot 100\% = \frac{530,58}{3899,3} \cdot 100\% = 13,61\%$$

Trong đó:

+ Q: Lượng nhiệt trao đổi của dòng nóng và lạnh, W

$$Q = Q_1 = 530,58 \text{ W}$$

+ $Q_{\max}$: Lượng nhiệt trao đổi lớn nhất của TBTĐN ống lồng ống, W

$$Q_{\max} = (G \cdot C_p)_{\min} (t'_1 - t'_2) = G_1 \cdot C_{p1} \cdot (t'_1 - t'_2) = 0,0333 \cdot 4182 \cdot (323,15 - 295,15) = 3899,3 \text{ W}$$

$$\text{Với: } (G \cdot C_p)_{\min} = \min(G_1 \cdot C_{p1}, G_2 \cdot C_{p2}) = G_1 \cdot C_{p1}$$

Kết quả cho thấy hiệu suất trao đổi nhiệt của mô hình còn tương đối thấp. Nguyên nhân chủ yếu có thể do:

- Chiều dài thiết bị còn hạn chế;
- Diện tích bề mặt truyền nhiệt chưa lớn;
- Chênh lệch nhiệt độ đầu vào chưa đủ cao;
- Thời gian lưu của dòng chất lưu trong thiết bị còn nhỏ;

- Chế độ dòng chảy chưa tạo được cường hóa truyền nhiệt mạnh.

Mặc dù hiệu suất chưa cao, kết quả mô phỏng vẫn phản ánh đúng quy luật truyền nhiệt thực tế của thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống. Điều này cho thấy mô hình CFD đã mô tả tương đối chính xác xu hướng trao đổi năng lượng giữa hai dòng chất lưu.

Ngoài ra, hiệu suất ở mức 13,61% cũng cho thấy mô hình vẫn còn tiềm năng tối ưu hóa thông qua việc tăng chiều dài thiết bị, cải thiện điều kiện dòng chảy hoặc tăng diện tích truyền nhiệt nhằm nâng cao khả năng trao đổi nhiệt trong các nghiên cứu tiếp theo.

KẾT LUẬN

Kết quả thí nghiệm mô phỏng cho thấy mô hình thí nghiệm ảo thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống có khả năng mô tả đúng đặc tính truyền nhiệt và dòng chảy của hệ thống thực tế. Các kết quả nhiệt độ, vận tốc, áp suất và hiệu quả truyền nhiệt phù hợp với lý thuyết, sai số nằm trong giới hạn cho phép và mô hình có tính ổn định cao. Điều này chứng minh mô hình có thể sử dụng hiệu quả trong đào tạo, nghiên cứu và hỗ trợ thiết kế thiết bị trao đổi nhiệt.

Mô hình thí nghiệm ảo có các ưu điểm:

- Mô phỏng trực quan quá trình truyền nhiệt và dòng chảy
- Cho phép thay đổi thông số đầu vào linh hoạt
- Giảm chi phí xây dựng mô hình thực nghiệm
- Hỗ trợ học tập, giảng dạy và nghiên cứu CFD

Ngoài ra, mô hình còn có thể mở rộng cho:

- Thiết bị trao đổi nhiệt nhiều ống hoặc ống có cánh trao đổi nhiệt
- Dòng chảy rối phức tạp
- Phân tích tối ưu hóa truyền nhiệt.

HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI

Đề tài "Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt" có các hướng phát triển chính như sau:

- Đề tài có thể được mở rộng để xây dựng các mô hình thí nghiệm cho thiết bị trao đổi nhiệt nhiều ống hoặc các loại ống có cánh trao đổi nhiệt để tăng cường hiệu quả truyền nhiệt.

- Hướng phát triển tiếp theo có thể đi sâu vào mô phỏng các dòng chảy rối phức tạp. Điều này sẽ giúp mô hình phản ánh sát thực hơn các điều kiện vận hành trong công nghiệp, nơi dòng chảy thường không chỉ dừng lại ở chế độ chảy tầng.

- Sử dụng AI để phân tích và tối ưu hóa các thiết kế bộ trao đổi nhiệt một cách tự động. Việc kết hợp các thuật toán tối ưu hóa dựa trên AI với dữ liệu từ mô phỏng CFD sẽ giúp tìm ra các thông số hình học lý tưởng mà các phương pháp truyền thống khó đạt được.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Anatoliy Parushev, Angel Chekichev và Rumen Popov (2022), *Building a virtual laboratory bench to examine heat transfer processes*, tr. 4760-4764.
2. Lakshmi S Bose và Steven Humphreys (2024), *Efficacy of Heat Transfer Experimental Simulations in Virtual Laboratories*, tr. 531-543.
3. Hani Al-Rawashdeh (2024), *Designing a Virtual Laboratory of the Heat Exchanger Experiment by Artificial Neural Network (ANN)*.
4. Artem Ponikarov (2024), *Modeling of heat exchangers in ANSYS CFX for the digital twins development*, E3S Web of Conferences, số 583.
5. Furman Ali, Munawwar Abbas, Bo Sun, Li Chen và Shahid Hussain (2024), *Design and CFD Simulation of Heat Transfer in Circular Pipes*, tr. 255-264.
6. Lê Tuấn Phương Nam (2017), *Mô hình hóa bộ trao đổi nhiệt đứng kiểu vỏ và ống*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Số 25.
7. Phạm Cao Văn, Nguyễn Quỳnh Phương, Võ Trọng Cang, Nguyễn Thành Nhật Lai và Trần Thanh Cơ (2024), *Ứng dụng công nghệ thực tế ảo trong giáo dục: một nghiên cứu trường hợp*, Tạp chí Khoa học Trường Đại học Quốc tế Hồng Bàng, tr. 113-122.
8. Tuấn Vũ Minh và Nguyệt Đình Thị Minh (2023), *Ứng dụng công nghệ hạ tầng ảo hoá phục vụ giảng dạy, học tập và nghiên cứu tại đơn vị đào tạo đại học*, Tạp chí điện tử Khoa học và Công nghệ Giao thông, số 3(2), tr. 18-27.
9. Thái Ngọc Sơn và Trần Thị Mỹ Linh (2022), *Ứng dụng phần mềm mô phỏng để xây dựng phương trình tiêu chuẩn tỏa nhiệt đối với lưu chất chảy rối trong ống*, Tạp chí khoa học và công nghệ - Đại học Đà Nẵng, số 20(1), tr. 48-52.

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

THUYẾT MINH

ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM ẢO
QUÁ TRÌNH TRUYỀN NHIỆT CỦA CÁC THIẾT BỊ
TRAO ĐỔI NHIỆT

Mã số: T2024-06-03

Chủ nhiệm đề tài: ThS. Nguyễn Thành Sơn

Đơn vị: Khoa Cơ khí

Chương trình đào tạo: Công nghệ kỹ thuật nhiệt

Đà Nẵng, 12/2024

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

THUYẾT MINH ĐỀ TÀI
KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

1. TÊN ĐỀ TÀI Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt.		2. MÃ SỐ T2024-06-03																									
3. LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU <table><tr><td>Tự nhiên</td><td>☐</td><td>Kỹ thuật</td><td>☒</td><td>Môi trường</td><td>☐</td></tr><tr><td>Kinh tế; XH-NV</td><td>☐</td><td>Nông Lâm</td><td>☐</td><td>ATLĐ</td><td>☐</td></tr><tr><td>Giáo dục</td><td>☒</td><td>Y Dược</td><td>☐</td><td>Sở hữu trí tuệ</td><td>☐</td></tr></table>		Tự nhiên	☐	Kỹ thuật	☒	Môi trường	☐	Kinh tế; XH-NV	☐	Nông Lâm	☐	ATLĐ	☐	Giáo dục	☒	Y Dược	☐	Sở hữu trí tuệ	☐	4. LOẠI HÌNH NGHIÊN CỨU <table><tr><td>Cơ bản</td><td>Ứng dụng</td><td>Triển Khai</td></tr><tr><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td></tr></table>		Cơ bản	Ứng dụng	Triển Khai	☐	☒	☐
Tự nhiên	☐	Kỹ thuật	☒	Môi trường	☐																						
Kinh tế; XH-NV	☐	Nông Lâm	☐	ATLĐ	☐																						
Giáo dục	☒	Y Dược	☐	Sở hữu trí tuệ	☐																						
Cơ bản	Ứng dụng	Triển Khai																									
☐	☒	☐																									
5. THỜI GIAN THỰC HIỆN: 12 tháng (Từ tháng 01 năm 2025 đến tháng 12 năm 2025)																											
6. CƠ QUAN CHỦ TRÌ ĐỀ TÀI Tên cơ quan: Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Điện thoại: 0236.3822571 E-mail: dhspktndn@ute.udn.vn Địa chỉ: 48 Cao Thắng, Quận Hải Châu, TP. Đà Nẵng Họ và tên thủ trưởng cơ quan chủ trì: PGS.TS. Phan Cao Thọ																											
7. CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI <table><tr><td>Họ và tên: Nguyễn Thành Sơn</td><td>Học vị: Thạc sĩ</td></tr><tr><td>Chức danh khoa học: Giảng viên</td><td>Năm sinh: 13/11/1985</td></tr><tr><td>Địa chỉ cơ quan: 48 Cao Thắng, Quận Hải Châu, TP. Đà Nẵng</td><td>Địa chỉ nhà riêng: Chung cư 12T1, Sơn Trà, TP. Đà Nẵng</td></tr><tr><td>Điện thoại cơ quan: 0236.3822571</td><td>Điện thoại nhà riêng :</td></tr><tr><td>Di động: 0974293915</td><td>Fax:</td></tr><tr><td>E-mail: ntson@ute.udn.vn</td><td></td></tr></table>				Họ và tên: Nguyễn Thành Sơn	Học vị: Thạc sĩ	Chức danh khoa học: Giảng viên	Năm sinh: 13/11/1985	Địa chỉ cơ quan: 48 Cao Thắng, Quận Hải Châu, TP. Đà Nẵng	Địa chỉ nhà riêng: Chung cư 12T1, Sơn Trà, TP. Đà Nẵng	Điện thoại cơ quan: 0236.3822571	Điện thoại nhà riêng :	Di động: 0974293915	Fax:	E-mail: ntson@ute.udn.vn													
Họ và tên: Nguyễn Thành Sơn	Học vị: Thạc sĩ																										
Chức danh khoa học: Giảng viên	Năm sinh: 13/11/1985																										
Địa chỉ cơ quan: 48 Cao Thắng, Quận Hải Châu, TP. Đà Nẵng	Địa chỉ nhà riêng: Chung cư 12T1, Sơn Trà, TP. Đà Nẵng																										
Điện thoại cơ quan: 0236.3822571	Điện thoại nhà riêng :																										
Di động: 0974293915	Fax:																										
E-mail: ntson@ute.udn.vn																											
8. NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI																											
TT	Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn	Nội dung nghiên cứu cụ thể được giao	Chữ ký																							
1.	Nguyễn Thành Sơn	Khoa Cơ khí, trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật; Chuyên ngành: Công nghệ kỹ thuật Nhiệt	- Nghiên cứu tổng quan về nghiên cứu về thiết bị trao đổi nhiệt. - Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về các thí nghiệm quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt. - Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo. - Viết báo cáo kết quả và nghiệm thu đề tài.																								
9. ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH																											
Tên đơn vị trong và ngoài nước		Nội dung phối hợp nghiên cứu		Họ và tên người đại diện đơn vị																							

10. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU THUỘC LĨNH VỰC CỦA ĐỀ TÀI Ở TRONG VÀ NGOÀI NƯỚC

Mô hình thí nghiệm ảo là mô hình thí nghiệm dựa trên máy tính, trong đó các cơ hội tiến hành thí nghiệm có thể được cung cấp một cách tương tác thông qua mô phỏng phần mềm của các vật thể, thiết bị hoặc quy trình thực hoặc truy cập từ xa vào phòng thí nghiệm thực tế. Mô hình thí nghiệm ảo là một công cụ mạnh mẽ mà qua đó sinh viên có thể khám phá, quan sát, thao tác và phân tích một tập hợp dữ liệu đa dạng được biểu diễn dưới dạng số và/hoặc đồ họa. Loại công cụ này cực kỳ hiệu quả, đặc biệt là khi các trường đại học phải đối phó với đại dịch, khiến sinh viên khó tiếp cận được các mô hình và bàn thí nghiệm thực tế tại trường đại học. Đây là cơ hội tốt để ảo hóa việc học và tạo ra các kỹ năng và năng lực cho sinh viên để xử lý nhiều công cụ và sản phẩm phần mềm khác nhau. Vì vậy, trong những năm gần đây, chủ đề mô hình thí nghiệm ảo luôn là một trong những chủ đề nóng được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm.

10.1. Ngoài nước

Bài báo “Building a virtual laboratory bench to examine heat transfer processes” của các tác giả A. Parushev, A. Chekichev, R. Popov (2022) đã thảo luận về các nguyên tắc cơ bản liên quan đến việc xây dựng một mô hình thí nghiệm ảo để kiểm tra các quá trình truyền nhiệt. Mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt được xây dựng bằng công cụ ảo LabView đã giúp cải thiện, phát triển năng lực và khả năng của cả nhóm giảng dạy; đồng thời nâng cao kiến thức, kỹ năng và khả năng của sinh viên đang học các quy trình truyền nhiệt.

Bài báo “Efficacy of heat transfer experimental simulations in virtual laboratories” của các tác giả Lakshmi S. Bose và Steven Humphreys (2024) đã thực hiện cuộc điều tra cho 86 sinh viên kỹ thuật, cho thấy việc sử dụng các phòng thí nghiệm ảo thực nghiệm truyền nhiệt (HTEVL) của các sinh viên này có hiệu suất tốt hơn đáng kể so với những sinh viên không sử dụng HTEVL; tức là các mô phỏng học tập được tạo ra dưới dạng HTEVL có thể mô tả quá trình truyền nhiệt một cách hiệu quả.

Bài báo “Designing a Virtual Laboratory of the Heat Exchanger. Experiment by Artificial Neural Network (ANN)” của tác giả Hani Al-Rawashdeh (2024) đã xây dựng và thiết kế mô hình bằng công cụ MATLAB và Simulink sử dụng phương pháp mạng nơ-ron nhân tạo ANN thay vì sử dụng cách mô hình hóa và mô phỏng hệ thống thông thường, điều này đáp ứng được công nghệ và khoa học mới của Trí tuệ nhân tạo “AI”. Kết quả nghiên cứu cho thấy dữ liệu trong từng thí nghiệm thực tế và dữ liệu mô phỏng rất hợp lý.

Bài báo “Modeling of heat exchangers in ANSYS CFX for the digital twins development” của tác giả Artem Ponikarov (2024) trình bày một phương pháp phổ quát để mô hình hóa và tối ưu hóa các thiết kế bộ trao đổi nhiệt vỏ và ống bằng cách sử dụng gói phần mềm ANSYS CFX. Sự khác biệt trong kết quả là khoảng 1°C , điều này khẳng định độ chính xác và độ tin cậy cao của phương pháp được đề xuất. Điều này cho thấy tính khả thi của việc sử dụng ANSYS CFX để mô hình hóa và tối ưu hóa thiết bị công nghệ.

Bài báo “Design and CFD Simulation of Heat Transfer in Circular Pipes” của các tác giả Furman Ali, Munawwar Ali Abbas, Bo Sun, Li Chen, and Shahid Hussain (2023) đã sử dụng công cụ mô phỏng (CFD) và thực nghiệm để đánh giá tác động của nhiệt độ và tốc độ ở điều kiện mùa hè và mùa đông đến hiệu quả trao đổi nhiệt của ống tròn dẫn nước. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự giảm mạnh về nhiệt độ và vận tốc gần vùng đầu vào và đầu ra trong khi áp suất tỷ lệ nghịch với vận tốc ở những vùng này.

10.2. Trong nước

Bài báo “Mô hình hóa bộ trao đổi nhiệt đứng kiểu vỏ và ống” của tác giả Lê Tuấn Phương Nam (2017) trình bày một mô hình động của bộ trao đổi nhiệt kiểu vỏ và ống thẳng đứng, lưu chất nóng là hơi nước và lưu chất lạnh là nước ngưng; nhằm dự đoán áp suất hơi nước và mức nước ngưng trong bộ trao đổi nhiệt.

Bài báo “Ứng dụng công nghệ thực tế ảo trong giáo dục: một nghiên cứu trường hợp” của các tác giả Phạm Cao Văn, Nguyễn Quỳnh Phương, Võ Trọng Cang, Nguyễn Thành Nhật Lai, Trần Thanh Cơ (2024) đã mô tả thực trạng ứng dụng thực tế ảo trong giảng dạy các môn học liên quan cảng và kho bãi thuộc ngành Logistics và Quản lý chuỗi cung ứng tại Trường Đại học Bình Dương và những khó khăn trong quá trình triển khai giảng dạy thực tế. Bên cạnh đó, sau khi khảo sát hơn 100 sinh viên đã trải nghiệm, kết quả chỉ ra rằng việc học tập bằng công nghệ thực tế ảo giúp sinh viên hứng thú và tiếp thu kiến thức dễ dàng hơn so với việc giảng dạy lý thuyết thông thường. Nghiên cứu là một trường hợp ứng dụng hiệu quả thực tế ảo vào giảng dạy trong đại học. Vì vậy, giúp các cơ sở đào tạo trong cả nước có cái nhìn khách quan về việc sử dụng công nghệ này.

Bài báo “Ứng dụng công nghệ hạ tầng ảo hoá phục vụ giảng dạy, học tập và nghiên cứu tại đơn vị đào tạo đại học” của các tác giả Vũ Minh Tuấn, Đinh Thị Minh Nguyệt (2023) đã giới thiệu về công nghệ hạ tầng ảo hoá và so sánh giữa việc sử dụng máy chủ vật lý truyền thống và sử dụng máy chủ ảo; đồng thời, phân tích và đánh giá chi tiết những điểm mạnh và những tồn tại của công nghệ hạ tầng ảo hoá. Từ đó, tác giả đề xuất một phương án sử dụng công nghệ hạ tầng ảo hoá phù hợp nhất để hỗ trợ cho công tác nghiên cứu và giảng dạy của giảng viên Đại học, và thử nghiệm tại một đơn vị cụ thể để đánh giá hiệu quả triển khai và khả năng mở rộng của công nghệ này.

Bài báo “Ứng dụng phần mềm mô phỏng để xây dựng phương trình tiêu chuẩn tỏa nhiệt đối với lưu chất chảy rối trong ống” của tác giả Thái Ngọc Sơn, Trần Thị Mỹ Linh (2021) đã sử dụng công cụ mô phỏng (CFD) trợ giúp trong việc xác định nhiệt độ của vách, xử lý kết quả thí nghiệm, xây dựng thành công phương trình tiêu chuẩn xác định hệ số tỏa nhiệt của môi chất đối lưu cưỡng bức ở chế độ chảy rối trong ống.

10.3. Danh mục các công trình đã công bố thuộc lĩnh vực của đề tài của chủ nhiệm và những thành viên tham gia nghiên cứu

TT	Tên công trình	Năm công bố	Tên tạp chí
1	An investigation on energy efficiency of infrared and induction cooktops	2020	IEEE. No: 2020. Page: 115-119
2	Nghiên cứu dòng chảy lưu chất có tính ứng suất tới hạn qua trụ tròn đặt trong kênh	2022	Tạp chí Khoa học Công nghệ Đại học Đà Nẵng
3	Nghiên cứu mô phỏng đánh giá ảnh hưởng thông số hình học của cánh trao đổi nhiệt đến hiệu quả trao đổi nhiệt thiết bị trao đổi nhiệt ống lồng ống	2024	Tạp chí Cơ khí Việt Nam
4	3D numerical investigation of heat transfer process in a double pipe longitudinal finned heat exchanger	2024	Kỷ yếu Hội thảo “Ứng dụng công nghệ mới trong công trình xanh”

11. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Trong giáo dục hiện đại, mô hình thí nghiệm ảo là một trong những giải pháp rất hiệu quả mà ít tốn chi phí nhất để nâng cao khả năng dạy và học, bởi lẽ nó tạo ra môi trường tương tác để thực hiện các thí nghiệm ảo giúp cho người dạy và người học có cơ hội học tập những trải nghiệm trừu tượng khó làm được trong điều kiện phòng thí nghiệm tại trường học.

Đối với ngành công nghệ kỹ thuật Nhiệt, quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt là một vấn đề cốt lõi cơ bản, luôn được quan tâm. Tuy nhiên, hiện nay tại xưởng thực hành, số lượng và chất lượng thiết bị thực hành phục vụ cho vấn đề này tương đối khiêm tốn. Chính vì vậy, việc xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt để phục vụ cho việc giảng dạy mang tính cấp thiết.

Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt hướng đến mục đích phục vụ học tập, minh chứng lý thuyết, xử lý kết quả thí nghiệm qua các bài thí nghiệm ảo khác nhau cho các học phần cơ sở như Nhiệt động, Truyền nhiệt và Thiết bị trao đổi nhiệt ... Từ đó, tạo hứng thú học tập cho sinh viên nói riêng và nâng cao chất lượng giảng dạy của ngành/lĩnh vực nói chung.

12. MỤC TIÊU ĐỀ TÀI

- Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt.
- Xây dựng các bài thí nghiệm ảo trên mô hình.

13. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI NGHIÊN CỨU

13.1. Đối tượng nghiên cứu

Các thí nghiệm ảo về quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt.

13.2. Phạm vi nghiên cứu

Các thí nghiệm truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt trong chương trình đào tạo của ngành công nghệ kỹ thuật Nhiệt, trường đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng.

14. CÁCH TIẾP CẬN, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

14.1. Cách tiếp cận

- Tiến hành nghiên cứu lý thuyết.
- Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt để chạy thử nghiệm.

14.2. Phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu mô phỏng

15. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU VÀ KẾ HOẠCH NGHIÊN CỨU

15.1. Nội dung nghiên cứu

Chương 1: Nghiên cứu tổng quan về thiết bị trao đổi nhiệt

1. Giới thiệu chung
2. Các yêu cầu kỹ thuật chung cho thiết bị trao đổi nhiệt

Chương 2: Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về các thí nghiệm quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt

- 2.1. Các phương trình cơ bản của Thiết bị trao đổi nhiệt
- 2.2. Xác định độ chênh nhiệt độ trung bình
- 2.3. Hiệu suất của Thiết bị trao đổi nhiệt

Chương 3: Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo

- 3.1. Giới thiệu phần mềm xây dựng mô hình thí nghiệm ảo
- 3.2. Các mô hình thí nghiệm ảo
- 3.3. Chạy thử nghiệm
- 3.4. Đánh giá kết quả thí nghiệm của mô hình

Viết báo cáo kết quả và nghiệm thu đề tài

15.2. Kế hoạch nghiên cứu

STT	Nội dung công việc	Sản phẩm	Thời gian (tháng/năm bắt đầu - tháng/năm kết thúc)	Người thực hiện (ghi cụ thể họ và tên) – <i>chèn cột số ngày công</i>
1.	Nghiên cứu tổng quan về nghiên cứu về thiết bị trao đổi nhiệt	Bản tổng quan nghiên cứu	01/2025-03/2025	Nguyễn Thành Sơn
2.	Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về các thí nghiệm quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt	Các dạng bài thí nghiệm truyền nhiệt	03/2025 - 06/2025	Nguyễn Thành Sơn
3.	Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo	- Mô hình thí nghiệm ảo - Chạy thử nghiệm đánh giá hiệu quả	06/2025 - 09/2025	Nguyễn Thành Sơn
4.	Viết báo cáo kết quả và nghiệm thu đề tài	- Báo cáo tổng kết - Bài báo - Báo cáo được nghiệm thu - Hồ sơ khoa học và tài chính	09/2025 - 12/2025	Nguyễn Thành Sơn

16. SẢN PHẨM

16.1. Sản phẩm khoa học

- Bài báo đăng trên tạp chí có tên trong danh mục Scopus/SCIE ☐
- Bài báo đăng trên tạp chí/kỷ yếu được tính điểm trong danh mục HĐCDGSNN ☒
- Sản phẩm khác:
 - Tài liệu hướng dẫn thí nghiệm ☐ Tài liệu hướng dẫn thực hành ☐
 - Bài thực hành/bài thí nghiệm ☐ Giáo trình ☐ Tài liệu tham khảo ☐

16.2. Sản phẩm đào tạo:

- Đào tạo Cao học ☐ Đào tạo NCS ☐
- Hướng dẫn sinh viên bảo vệ đề tài/đề án tốt nghiệp ☐
- Hướng dẫn sinh viên nghiên cứu khoa học ☐

16.3. Sản phẩm ứng dụng

- | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
| Chương trình máy tính | ☒ | Tiêu chuẩn | ☐ | Chiến lược | ☐ |
| Website | ☐ | Phương pháp | ☐ | Đề án | ☐ |
| Thiết bị máy móc | ☐ | Tài liệu dự báo | ☐ | Bản quy hoạch | ☐ |
| Dây chuyền công nghệ | ☐ | Luận chứng kinh tế | ☐ | Vật liệu | ☐ |
| Mô hình | ☐ | Qui phạm | ☐ | Mẫu | ☐ |
| Sơ đồ, bản thiết kế | ☐ | Bản kiến nghị | ☐ | Giống cây trồng | ☐ |
| Qui trình công nghệ | ☐ | Báo cáo phân tích | ☐ | Giống vật nuôi | ☐ |

16.4. Tên sản phẩm, số lượng và yêu cầu khoa học đối với sản phẩm

TT	Tên sản phẩm	Số lượng	Yêu cầu khoa học
1.	Bài báo khoa học đăng trên tạp chí/kỷ yếu được tính điểm trong danh mục HĐCDGSNN	01	-Tác giả chính (hoặc tác giả đầu hoặc tác giả liên hệ) của bài báo là thành viên tham gia thực hiện đề tài; - Đơn vị công tác của tác giả chính thuộc trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng
2.	File dữ liệu về mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt	01	

17. HIỆU QUẢ (giáo dục và đào tạo, kinh tế - xã hội)

Hướng đến việc ứng dụng Mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt trong quá trình giảng dạy và hỗ trợ tích cực cho NCKH của sinh viên.

18. PHƯƠNG THỨC CHUYỂN GIAO KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ĐỊA CHỈ ỨNG DỤNG

- Phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu: Bàn giao trực tiếp cho xưởng thực hành của khoa Cơ khí, trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng.
- Địa chỉ ứng dụng:
Khoa Cơ khí, bộ môn Công nghệ Nhiệt – Điện lạnh, ứng dụng cho học phần Truyền nhiệt, Thiết bị trao đổi nhiệt, Thí nghiệm Kỹ thuật Nhiệt với 20 sinh viên cho 1 mô hình thí nghiệm ảo.
Địa chỉ: 48 Cao Thắng, P. Thanh Bình, Q. Hải Châu, TP. Đà Nẵng.

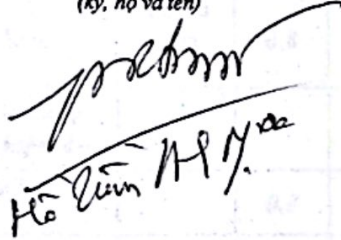
19. KINH PHÍ THỰC HIỆN ĐỀ TÀI VÀ NGUỒN KINH PHÍ**Tổng kinh phí: 20.000.000đ****Bằng chữ: Hai mươi triệu đồng chẵn.****Trong đó:****- Từ nguồn Quỹ KHCN: 20.000.000đ****- Từ các nguồn kinh phí khác:****Dự trù kinh phí theo các mục chi (phù hợp với nội dung nghiên cứu):**

Stt	Khoản chi, nội dung chi	Tổng kinh phí (ĐVT: VNĐ)	Nguồn kinh phí		Ghi chú
			Kinh phí từ Quỹ KHCN (ĐVT: VNĐ)	Các nguồn khác	
1	Chi tiền công lao động trực tiếp	18.684.000	18.684.000		Giao khoán
2	Chi mua vật tư, nguyên vật liệu				
3	Chi sửa chữa, mua sắm tài sản cố định				
4	Chi hội thảo khoa học, công tác phí				
5	Chi trả dịch vụ thuê ngoài phục vụ nghiên cứu				
6	Chi điều tra, khảo sát thu thập số liệu				
7	Văn phòng phẩm, thông tin liên lạc, in ấn	316.000	316.000		Giao khoán
8	Chi Hội đồng tự đánh giá				
9	Quản lý chung nhiệm vụ KHCN	1.000.000	1.000.000		Giao khoán
10	Chi khác liên quan				
TỔNG CỘNG		20.000.000	20.000.000		

Ngày 29 tháng 12 năm 2024

TM. HỘI ĐỒNG KHOA

(ký, họ và tên)


Họ tên: Nguyễn Thành Sơn

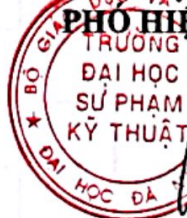
Ngày 24 tháng 12 năm 2024

Chủ nhiệm đề tài

(ký tên)


Nguyễn Thành Sơn

Đà Nẵng, ngày 22 tháng 01 năm 2025

Cơ quan Chủ trì duyệt**KT HIỆU TRƯỞNG****PHÓ HIỆU TRƯỞNG****PGS. TS. Võ Trung Hùng**

GIẢI TRÌNH CHI TIẾT CÁC MỤC CHI

Mục 1a: Bản tính thù lao lao động phân theo kế hoạch nghiên cứu

Định mức thù lao tháng của chủ nhiệm (DMCN) 2.700.000 đồng

Số TT	Nội dung công việc	Chức danh khoa học	Hệ số lao động khoa học	Số người trong nhóm chức danh	Định mức thù lao tháng của chủ nhiệm (DMCN) (ĐVT: VNĐ)	Số ngày công (ĐVT: ngày)	Tổng số tháng quy đổi của chức danh/nhóm chức danh (ĐVT: tháng)	Tổng thù lao thực hiện nhiệm vụ (ĐVT: VNĐ)
(1)	(2)	(2.1)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=6/22 ngày	8=3x5x7
1	Nội dung 1: Nghiên cứu tổng quan về nghiên cứu về thiết bị trao đổi nhiệt						0,75	1.620.000
1.1	Thù lao 01 thành viên chính		0,8	1	2.700.000	16,5	0,75	1.620.000
	Nguyễn Thành Sơn	Thành viên chính	0,8	1	2.700.000	16,5	0,75	1.620.000
2	Nội dung 2: Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về các thí nghiệm quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt						1,50	3.240.000
2.1	Thù lao 01 thành viên chính		0,8	1	2.700.000	33,0	1,50	3.240.000
	Nguyễn Thành Sơn	Thành viên chính	0,8	1	2.700.000	33,0	1,50	3.240.000
3	Nội dung 3: Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo						2,50	5.400.000
3.1	Thù lao 01 thành viên chính		0,8	1	2.700.000	55,0	2,50	5.400.000
	Nguyễn Thành Sơn	Thành viên chính	0,8	1	2.700.000	55,0	2,50	5.400.000
4	Thù lao của chủ nhiệm nhiệm vụ:		1	1	2.700.000		2,40	6.480.000
	($TL_{CN} = 1,0 \times DM_{CN} \times 20\% \times T$)						(=20% x 12 tháng)	
5	Thù lao của thư ký khoa học:		0,3	1	2.700.000		2,40	1.944.000
	($TL_{TK} = 0,3 \times DM_{CN} \times 20\% \times T$)						(=20% x 12 tháng)	
	TỔNG CỘNG						9,55	18.684.000

Mục 1b: Bản tính thù lao lao động phân theo tên thành viên tham gia nghiên cứu

STT	Họ và tên	Chức danh	Hệ số	Số ngày (nếu có)	Tổng số tháng quy đổi của chức danh (ĐVT: tháng)	Định mức thù lao tháng của chủ nhiệm (DMCN) (ĐVT: VNĐ)	Thành tiền (ĐVT: VNĐ)	Tổng cộng (ĐVT: VNĐ)
-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
1	Nguyễn Thành Sơn	Chủ nhiệm	1		2,4	2.700.000	6.480.000	18.684.000
2	Nguyễn Thành Sơn	Thành viên chính	0,8		4,75	2.700.000	10.260.000	
3	Nguyễn Thành Sơn	Thư ký khoa học	0,3		2,4	2.700.000	1.944.000	
	Tổng				9,55	-	18.684.000	

Mục 2: Chi mua vật tư, nguyên vật liệu: Không

Mục 3: Chi sửa chữa, mua sắm tài sản cố định: Không

Mục 4: Chi hội thảo khoa học, công tác phí: Không

Mục 5: Chi trả dịch vụ thuê ngoài phục vụ hoạt động nghiên cứu: Không

Mục 6: Chi điều tra, khảo sát thu thập số liệu: Không

Mục 7. Chi văn phòng phẩm, thông tin liên lạc, in ấn:

TT	Nội dung chi	Đơn vị tính	Số lượng	Đơn giá	Tổng kinh phí	Nguồn kinh phí (đồng)	
						Kinh phí từ Trường	Nguồn khác
-1	-2	-3	-4	-5	(6) =(4)x(5)	-7	-8
1	Chi văn phòng phẩm (in ấn, pho to thuyết minh, báo cáo tổng kết, ... phục vụ cho đề tài)	Bộ	1	316.000	316.000		
	Tổng cộng				316.000		

Mục 8: Chi hợp hội đồng đánh giá, nghiệm thu cấp cơ sở:

Không

Mục 9: Chi quản lý chung:

1.000.000 đồng

Mục 10: Chi khác:

Không

Chủ nhiệm đề tài
(ký, ghi họ và tên)



Nguyễn Thành Sơn

Đà Nẵng, ngày 22 tháng 9 năm 2025

Cơ quan chủ trì

KT. HIỆU TRƯỞNG

PHÓ HIỆU TRƯỞNG



PGS. TS. Võ Trung Hùng

3. Đơn vị phối hợp thực hiện và sử dụng sản phẩm đề tài sau khi hoàn thành:

Tên đơn vị: Khoa Cơ Khí, Trường đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng

Địa chỉ: 99 Cao Dài, Quận Hải Châu, TP. Đà Nẵng

Điện thoại: 0236 3422571

a. Nội dung công việc phối hợp thực hiện và sử dụng:

Sử dụng sản phẩm của đề tài sau khi hoàn thành.

b. Cam kết sử dụng sản phẩm của đề tài sau khi hoàn thành:

100% công suất sử dụng, không có cam kết sử dụng với chủ nhiệm đề tài.

Trên đây là nội dung của đơn vị phối hợp thực hiện và sử dụng sản phẩm của đề tài sau khi hoàn thành.

Đã ký... ngày 22 tháng 9 năm 2025

CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI
ĐƠN VỊ PHỐI HỢP THỰC HIỆN
VÀ SỬ DỤNG SẢN PHẨM ĐỀ TÀI

Nguyễn Thành Sơn

Handwritten notes and signatures at the bottom of the page, including a large signature and the text "Lý gia lý Vinh".

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

GIẤY XÁC NHẬN PHỐI HỢP THỰC HIỆN VÀ SỬ DỤNG SẢN PHẨM
SAU KHI HOÀN THÀNH ĐỀ TÀI CẤP TRƯỜNG

Kính gửi: Khoa Cơ Khí
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng.

1. Tên đề tài:

Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt.

2. Chủ nhiệm đề tài:

ThS. Nguyễn Thành Sơn

3. Đơn vị phối hợp thực hiện và sử dụng sản phẩm đề tài sau khi hoàn thành:

Tên đơn vị: Khoa Cơ khí, Trường đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng

Địa chỉ: 48 Cao Thắng, Quận Hải Châu, TP. Đà Nẵng

Điện thoại: 0236.3822571

a. Nội dung công việc phối hợp tham gia trong đề tài:

Sử dụng sản phẩm của đề tài sau khi hoàn thành.

b. Cam kết sử dụng sản phẩm đề tài sau khi hoàn thành:

Khi đề tài được duyệt thực hiện, chúng tôi cam kết sẽ phối hợp với chủ nhiệm đề tài để thực hiện đề tài và sẽ tiếp nhận, sử dụng sản phẩm của đề tài sau khi hoàn thành.

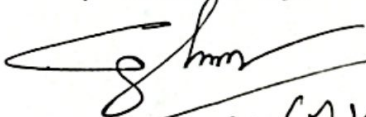
CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI


Nguyễn Thành Sơn

Hà Nội, ngày 22 tháng 12 năm 2024

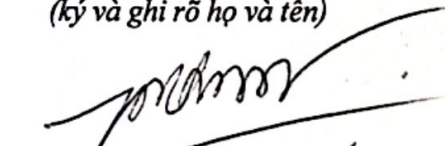
**ĐƠN VỊ PHỐI HỢP THỰC HIỆN
VÀ SỬ DỤNG SẢN PHẨM ĐỀ TÀI**

Bộ Môn CN<


Nguyễn Long Vinh

THỦ TRƯỞNG ĐƠN VỊ

(ký và ghi rõ họ và tên)


Hồ Cẩm Hà

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

Ngày 24 tháng 01 năm 2025

HỢP ĐỒNG TRIỂN KHAI THỰC HIỆN

ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

Số: 03/HĐ-KHCNCS-2024

- Căn cứ Bộ luật dân sự ngày 24 tháng 11 năm 2015;
- Căn cứ Luật khoa học và công nghệ ngày 18 tháng 6 năm 2013;
- Căn cứ Quyết định số 1749/QĐ-TTg ngày 08 tháng 11 năm 2017 của Thủ tướng Chính phủ về việc thành lập Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật (ĐHSPKT) thuộc Đại học Đà Nẵng;
- Căn cứ Thông tư số 03/2023/TT-BTC ngày 10 tháng 01 năm 2023 của Bộ trưởng Bộ Tài chính về việc quy định lập dự toán, quản lý sử dụng và quyết toán kinh phí ngân sách nhà nước thực hiện nhiệm vụ khoa học và công nghệ;
- Căn cứ Quyết định số 216/QĐ-ĐHSPKT ngày 09 tháng 3 năm 2018 của Hiệu trưởng Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật về việc ban hành Quy định về quản lý đề tài khoa học và công nghệ cấp cơ sở (cấp Trường) do Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật quản lý;
- Căn cứ Quyết định số 42/QĐ-ĐHSPKT ngày 21 tháng 01 năm 2025 của Hiệu trưởng Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật về việc phê duyệt kinh phí và giao nhiệm vụ thực hiện đề tài khoa học và công nghệ (KH&CN) cấp Trường;

Sau khi xem xét mục tiêu, nội dung nghiên cứu và sản phẩm khoa học của đề tài KH&CN (sau đây gọi tắt là “đề tài”):

“Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt.”

Mã số: T2024-06-03.

- Bên A:** Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật
Đại diện: Ông Nguyễn Lê Hùng Chức vụ: Hiệu trưởng
Địa chỉ: 48 Cao Thắng, Quận Hải Châu, Thành phố Đà Nẵng
Điện thoại: 0236.3822571 Fax: 0236.3894884
Số tài khoản: 3716.1.1055693.00000 tại Kho bạc Nhà nước Đà Nẵng
- 2. Bên B:** Ông (Bà): Nguyễn Thành Sơn là Chủ nhiệm đề tài
- Số CCCD: 052085003719 ngày cấp: 20/01/2023 nơi cấp: Cục cảnh sát Quản lý Hành chính về Trật tự Xã hội, Bộ Công an.
- Số Tài khoản: 56110001232036 tại ngân hàng BIDV CN Đà Nẵng
- Mã số thuế: 8066021911
- Đơn vị: Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng.
- Điện thoại: 0974293915 Email: ntson@ute.udn.vn

Cùng thỏa thuận và thống nhất ký kết Hợp đồng thực hiện đề tài KH&CN cấp Trường (sau đây gọi tắt là Hợp đồng) với các điều khoản sau:

Điều 1. Đối tượng Hợp đồng

1. Bên A đặt hàng và Bên B nhận đặt hàng thực hiện đề tài KH&CN cấp trường (sau đây gọi là đề tài) theo các nội dung trong Thuyết minh đề tài đã được phê duyệt (sau đây gọi tắt là Thuyết minh).
2. Thuyết minh là bộ phận không tách rời của Hợp đồng.
3. Nội dung Thuyết minh có thể được điều chỉnh bằng văn bản của cơ quan có thẩm quyền trên cơ sở sự thống nhất của hai Bên.

Điều 2. Thời gian thực hiện Hợp đồng

1. Thời gian thực hiện đề tài là 12 tháng, từ tháng 01 năm 2025 đến tháng 12 năm 2025.
2. Thời gian thực hiện hợp đồng có thể được điều chỉnh theo thời gian thực hiện đề tài bằng quyết định của cơ quan có thẩm quyền.

Điều 3. Kinh phí đề tài:

1. Kinh phí thực hiện:

Tổng cộng:	20.000.000	đồng
Trong đó:		
- Kinh phí từ nguồn Khoa học công nghệ:	20.000.000	đồng
+ Kinh phí khoán:	20.000.000	đồng
+ Kinh phí không giao khoán:	0	đồng
- Kinh phí từ các nguồn khác:	0	đồng

2. Tạm ứng và thanh quyết toán kinh phí

- Tạm ứng đợt 1: Ngay sau khi ký kết hợp đồng, bên A sẽ tạm ứng cho bên B tối đa 50% giá trị hợp đồng khi có yêu cầu tạm ứng của bên B.
- Tạm ứng đợt 2: Bên A cấp tạm ứng tối đa 40% tổng giá trị còn lại của hợp đồng khi có đề nghị của bên B và sau khi bên B phải hoàn thành hồ sơ thanh toán tối thiểu bằng 50% mức kinh phí đã tạm ứng các đợt trước đó trên cơ sở đề tài được đánh giá hoàn thành tiến độ thực hiện đợt 1. Bên A thực hiện thanh toán cho bên B theo đúng quy định hiện hành, đồng thời thu hồi cho đến hết số tiền đã tạm ứng. Số tiền tạm ứng đợt 1 chưa được thu hồi thì sẽ được thu hồi trong lần thanh toán cuối cùng.
- Thanh toán đợt cuối: Sau khi đề tài được nghiệm thu chính thức, bên B phải hoàn thành và nộp hồ sơ thanh quyết toán kinh phí tất cả các nguồn kể từ ngày kết thúc nhiệm vụ theo quyết định phê duyệt nhiệm vụ và hợp đồng đã ký kết và trong phạm vi niên độ tài chính. Bên A thanh toán hết giá trị còn lại của hợp đồng từ nguồn do bên A quản lý theo đúng quy định hiện hành.

- Tùy theo kết quả thực hiện hợp đồng mà bên B chịu những xử lý tài chính trong quy định tại điều 6 hợp đồng này.

Điều 4. Quyền và nghĩa vụ của các bên

1. Quyền và nghĩa vụ của Bên A

- a) Cung cấp các thông tin cần thiết cho việc triển khai, thực hiện Hợp đồng;
- b) Bố trí cho Bên B số kinh phí từ Trường ĐHSPT, ĐHĐN quy định tại Điều 3 Hợp đồng này theo tiến độ kế hoạch, tương ứng với các nội dung nghiên cứu được phê duyệt;
- c) Tổ chức phê duyệt kế hoạch đầu thầu, mua sắm máy móc, thiết bị, nguyên vật liệu và dịch vụ của đề tài bằng kinh phí do Bên A cấp (nếu có) theo quy định;
- d) Trước mỗi đợt cấp kinh phí, trên cơ sở báo cáo tình hình thực hiện đề tài của Bên B, Bên A căn cứ vào sản phẩm, khối lượng công việc đã hoàn thành theo Thuyết minh để cấp tiếp kinh phí thực hiện Hợp đồng. Bên A có quyền thay đổi tiến độ cấp hoặc ngừng cấp kinh phí nếu Bên B không hoàn thành công việc đúng tiến độ, đúng nội dung công việc được giao;
- đ) Kiểm tra đột xuất để đánh giá tình hình Bên B thực hiện đề tài theo Thuyết minh. Trường ĐHSPT, ĐHĐN thực hiện kiểm tra định kỳ đánh giá tình hình thực hiện đề tài theo quy định hiện hành về quản lý đề tài khoa học và công nghệ cấp Trường;
- e) Kịp thời xem xét, giải quyết theo thẩm quyền hoặc trình cấp có thẩm quyền giải quyết kiến nghị, đề xuất của Bên B về điều chỉnh nội dung chuyên môn, kinh phí và các vấn đề phát sinh khác trong quá trình thực hiện đề tài;
- g) Tổ chức đánh giá, nghiệm thu kết quả thực hiện đề tài của Bên B theo các yêu cầu, chỉ tiêu trong Thuyết minh;
- h) Có trách nhiệm cùng Bên B tiến hành thanh lý Hợp đồng theo quy định hiện hành;
- i) Phối hợp cùng Bên B xử lý tài sản được mua sắm bằng ngân sách Trường ĐHSPT, ĐHĐN hoặc được tạo ra từ kết quả nghiên cứu của đề tài sử dụng ngân sách Trường ĐHSPT, ĐHĐN (nếu có) theo quy định của pháp luật;
- k) Tiếp nhận kết quả thực hiện đề tài, bàn giao kết quả thực hiện đề tài cho tổ chức đề xuất đặt hàng hoặc tổ chức triển khai ứng dụng sau khi được nghiệm thu;
- l) Có trách nhiệm hướng dẫn việc trả thù lao cho tác giả nếu có lợi nhuận thu được từ việc ứng dụng kết quả của đề tài và thông báo cho tác giả việc bàn giao kết quả thực hiện đề tài (nếu có);
- m) Ủy quyền cho Bên B tiến hành đăng ký bảo hộ quyền sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện đề tài (nếu có) theo quy định hiện hành;
- n) Thực hiện các quyền và nghĩa vụ khác theo quy định của Luật KH&CN và các văn bản liên quan.

2. Quyền và nghĩa vụ của Bên B

1A
JNC
HO
HA
HU
C
D

- a) Tổ chức triển khai đầy đủ các nội dung nghiên cứu của đề tài đáp ứng các yêu cầu chất lượng, tiến độ và chi tiêu theo Thuyết minh;
- b) Cam kết thực hiện và bàn giao sản phẩm cuối cùng đáp ứng đầy đủ các tiêu chí đã được phê duyệt;
- c) Được quyền tự chủ, tự quyết định việc sử dụng phần kinh phí để thực hiện đề tài theo dự toán kinh phí đề tài, được quyền ký kết hợp đồng thuê khoán chuyên môn với các thành viên tham gia thực hiện; và các hợp đồng khác gồm: mua vật tư, nguyên, nhiên, vật liệu, sửa chữa, mua sắm tài sản cố định, dịch vụ thuê ngoài phục vụ nghiên cứu, văn phòng phẩm, thông tin liên lạc, in ấn có giá trị dưới 20 triệu đồng;
- d) Yêu cầu Bên A cung cấp thông tin cần thiết để triển khai thực hiện Hợp đồng;
- đ) Kiến nghị, đề xuất điều chỉnh các nội dung chuyên môn, kinh phí và thời hạn thực hiện Hợp đồng khi cần thiết;
- e) Yêu cầu Bên A cấp đủ kinh phí theo đúng tiến độ quy định trong Hợp đồng khi hoàn thành đầy đủ nội dung công việc theo tiến độ cam kết. Đảm bảo huy động đủ nguồn kinh phí khác theo cam kết. Sử dụng kinh phí đúng mục đích, đúng chế độ hiện hành và có hiệu quả;
- g) Đối với các hợp đồng khác được quy định tại điểm c, khoản 2, Điều 4 hợp đồng này có giá trị từ 20 triệu trở lên: Chủ nhiệm đề tài xây dựng kế hoạch mua sắm để gửi Bên A phê duyệt và thực hiện mua sắm theo quy định của pháp luật;
- h) Chấp hành các quy định pháp luật trong quá trình thực hiện Hợp đồng. Tạo điều kiện thuận lợi và cung cấp đầy đủ thông tin cho các cơ quan quản lý trong việc giám sát, kiểm tra, thanh tra đối với đề tài theo quy định của pháp luật;
- i) Thực hiện việc tự đánh giá, nghiệm thu cấp cơ sở theo quy định hiện hành khi kết thúc đề tài. Sau khi đánh giá, nghiệm thu cấp cơ sở hoàn chỉnh lại hồ sơ theo kết luận của Hội đồng đánh giá cấp cơ sở, Bên B có trách nhiệm chuyển cho Bên A các hồ sơ để Bên A tiến hành việc đánh giá, nghiệm thu theo quy định;
- k) Có trách nhiệm quản lý tài sản được mua sắm bằng ngân sách của Trường ĐHSPKT, ĐHQĐHN hoặc được tạo ra từ kết quả nghiên cứu của đề tài sử dụng ngân sách Trường ĐHSPKT, ĐHQĐHN (nếu có). Chủ nhiệm đề tài có trách nhiệm bàn giao tài sản được mua sắm bằng ngân sách Trường ĐHSPKT, ĐHQĐHN hoặc được tạo ra từ kết quả nghiên cứu của đề tài cho cơ quan chủ quản đề tài để quản lý và sử dụng.
- l) Có trách nhiệm cùng Bên A tiến hành thanh lý Hợp đồng theo quy định;
- m) Thực hiện việc đăng ký bảo hộ quyền sở hữu trí tuệ theo ủy quyền của Bên A đối với kết quả nghiên cứu (nếu có);
- n) Chủ nhiệm đề tài giao nộp kết quả thực hiện đề tài cho bộ phận lưu giữ thông tin của cơ quan chủ quản đề tài. Cơ quan chủ quản đề tài xác nhận việc giao nộp kết quả thực hiện đề tài cho chủ nhiệm đề tài.

o) Các sản phẩm khoa học công bố được tính khi có lời ghi nhận Trường ĐHSPKT, ĐHDN, cụ thể như sau:

+ Đối với bài báo khoa học viết bằng tiếng Anh: “This research is funded by The University of Danang – University of Technology and Education under project number T2024-06-03”;

+ Đối với bài báo khoa học viết bằng tiếng Việt: “Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số T2024-06-03”;

Đối với sản phẩm khoa học có lời ghi nhận Trường ĐHSPKT, ĐHDN và các nguồn kinh phí trong nước khác, Trường ĐHSPKT, ĐHDN sẽ tính mức độ hoàn thành của sản phẩm đó như sau: Phần công trình được tính cho sản phẩm đề tài này được chia theo tỷ lệ đóng góp của mỗi nguồn kinh phí thực hiện. Trong trường hợp không xác định được cụ thể tỷ lệ đóng góp của mỗi nguồn kinh phí thì phần công trình được tính cho sản phẩm đề tài này sẽ bằng một (01) chia cho số nguồn kinh phí trong nước. Tổng số phần các công trình được tính phải đáp ứng yêu cầu về số lượng theo thuyết minh đề tài đã phê duyệt.

Thời gian thực hiện sản phẩm của đề tài phải được triển khai trong khoảng thời gian thực hiện đề tài.

p) Chủ nhiệm đề tài cùng với các cá nhân trực tiếp sáng tạo ra kết quả nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ được đứng tên tác giả trong đề tài và hưởng quyền tác giả bao gồm cả các lợi ích thu được (nếu có) từ việc khai thác thương mại các kết quả thực hiện đề tài theo quy định pháp luật và các thỏa thuận khác (nếu có);

q) Có trách nhiệm trực tiếp hoặc tham gia triển khai ứng dụng kết quả nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ theo yêu cầu của Bên A hoặc tổ chức, cá nhân được Bên A giao quyền sở hữu, sử dụng kết quả thực hiện đề tài;

r) Thực hiện bảo mật các kết quả thực hiện đề tài theo quy định về bảo vệ bí mật của nhà nước;

s) Thực hiện các quyền và nghĩa vụ khác theo quy định Luật KH&CN và các văn bản liên quan.

Điều 5. Chấm dứt Hợp đồng

Hợp đồng này chấm dứt trong các trường hợp sau:

1. Đề tài đã kết thúc và được nghiệm thu.
2. Bên B bị chấm dứt hợp đồng thực hiện đề tài khi có đề nghị thanh lý Hợp đồng của Hội đồng thanh lý đề tài cấp Trường.

Điều 6. Xử lý tài chính khi chấm dứt Hợp đồng

1. Đối với đề tài đã kết thúc và được nghiệm thu:

- a) Đề tài đã kết thúc và đánh giá nghiệm thu từ mức “Đạt” trở lên thì Bên A thanh toán đầy đủ kinh phí cho Bên B theo quy định tại Hợp đồng này.

b) Đề tài đã kết thúc, nhưng nghiệm thu mức “không đạt” thì Bên A xem xét, quyết toán kinh phí cho Bên B trên cơ sở kết luận của Hội đồng đánh giá về nguyên nhân, trách nhiệm và những nội dung công việc mà Bên B đã thực hiện có sản phẩm thực tế được đánh giá.

Bên B có trách nhiệm hoàn trả toàn bộ số kinh phí ngân sách nhà nước đã cấp nhưng chưa sử dụng. Đối với khoản kinh phí đã sử dụng được áp dụng xử lý đối với trường hợp đề tài không hoàn thành được quy định tại Điều 16 Thông tư liên tịch số 27/2015/TTLT-BKHCN-BTC ngày 30/12/2015 của Bộ Khoa học và Công nghệ - Bộ Tài chính quy định khoản chi thực hiện nhiệm vụ khoa học và công nghệ sử dụng ngân sách Nhà nước.

2. Đối với đề tài chấm dứt khi có căn cứ khẳng định không còn nhu cầu thực hiện:

a) Trường hợp Đề tài chấm dứt khi có căn cứ khẳng định không còn nhu cầu thực hiện thì hai bên cùng nhau xác định khối lượng công việc Bên B đã thực hiện để làm căn cứ thanh toán số kinh phí Bên B đã sử dụng nhằm thực hiện đề tài và thu hồi số kinh phí còn lại đã cấp cho Bên B.

b) Trường hợp hai bên thỏa thuận ký Hợp đồng mới để thay thế và kết quả nghiên cứu của Hợp đồng cũ là một bộ phận cấu thành kết quả nghiên cứu của Hợp đồng mới thì số kinh phí đã cấp cho Hợp đồng cũ được tính vào kinh phí cấp cho Hợp đồng mới và được tiếp tục thực hiện với Hợp đồng mới.

3. Đối với Đề tài bị đình chỉ theo quyết định của cơ quan có thẩm quyền hoặc Hợp đồng bị chấm dứt do Bên B không nộp hồ sơ để đánh giá, nghiệm thu Đề tài theo quy định pháp luật thì Bên A sẽ tiến hành thủ tục thanh lý đề tài theo quy định.

4. Đối với Đề tài không hoàn thành do lỗi của Bên A dẫn đến việc chấm dứt Hợp đồng thì Bên B không phải bồi hoàn số kinh phí đã sử dụng để thực hiện Đề tài, nhưng vẫn phải thực hiện việc quyết toán kinh phí theo quy định của pháp luật.

Điều 7. Gia hạn đề tài

Trong trường hợp Chủ nhiệm chưa hoàn thành các nội dung nghiên cứu và có đề xuất xin gia hạn thời gian thực hiện, Hợp đồng tự động gia hạn thêm tối đa 6 tháng theo quy định (đến tháng 6/2026) trên cơ sở báo cáo định kỳ tình hình thực hiện đề tài và kết luận của đơn vị chủ trì.

Điều 8. Xử lý tài sản khi chấm dứt Hợp đồng

1. Khi chấm dứt Hợp đồng, việc xử lý tài sản được mua sắm hoặc được hình thành bằng ngân sách Trường ĐHSPKT, ĐHQĐN cấp cho đề tài được thực hiện theo quy định pháp luật.

2. Các sản phẩm vật chất của Đề tài sử dụng ngân sách Trường ĐHSPKT, ĐHQĐN: nguồn thu khi các sản phẩm này được tiêu thụ trên thị trường sau khi trừ các khoản chi phí cần thiết, hợp lệ, được phân chia theo quy định pháp luật.

Điều 9. Điều khoản chung

1. Trong quá trình thực hiện Hợp đồng, nếu một trong hai bên có yêu cầu sửa đổi, bổ sung nội dung hoặc có căn cứ để chấm dứt thực hiện Hợp đồng thì phải thông báo cho bên kia ít nhất là 15 ngày làm việc trước khi tiến hành sửa đổi, bổ sung hoặc chấm dứt thực hiện Hợp

đồng, xác định trách nhiệm của mỗi bên và hình thức xử lý. Các sửa đổi, bổ sung (nếu có) phải lập thành văn bản có đầy đủ chữ ký của các bên và được coi là bộ phận của Hợp đồng và là căn cứ để nghiệm thu kết quả của đề tài.

2. Khi một trong hai bên gặp phải trường hợp bất khả kháng dẫn đến việc không thể hoặc chậm thực hiện nghĩa vụ đã thỏa thuận trong Hợp đồng thì có trách nhiệm thông báo cho Bên kia trong 10 ngày làm việc kể từ ngày xảy ra sự kiện bất khả kháng. Hai bên có trách nhiệm phối hợp xác định nguyên nhân và báo cáo cơ quan quản lý nhà nước có thẩm quyền để giải quyết theo quy định của pháp luật.

3. Hai bên cam kết thực hiện đúng các quy định của Hợp đồng và có trách nhiệm hợp tác giải quyết các vướng mắc phát sinh trong quá trình thực hiện. Bên vi phạm các cam kết trong Hợp đồng phải chịu trách nhiệm theo quy định pháp luật.

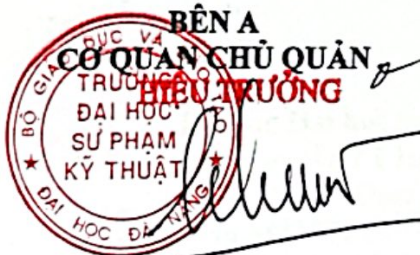
4. Mọi tranh chấp phát sinh trong quá trình thực hiện Hợp đồng do các bên thương lượng hòa giải để giải quyết. Trường hợp không hoà giải được thì một trong hai bên có quyền đưa tranh chấp ra để giải quyết theo quy định của pháp luật.

5. Hợp đồng tự động thanh lý khi hai bên hoàn thành nghĩa vụ theo hợp đồng đã được ký kết. Trong trường hợp thanh lý đề tài (nếu có), bên B hoàn trả số tiền đã được Hội đồng thanh lý đề tài kết luận trong nội dung của Biên bản họp hội đồng thanh lý đề tài. Bên B thực hiện việc hoàn trả bằng hình thức chuyển khoản vào tài khoản sau đây của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật trong thời hạn 30 ngày kể từ ngày họp hội đồng thanh lý đề tài, chi tiết thông tin như sau:

- Tên tài khoản: Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật.
- Số tài khoản: 56110001076650 tại Ngân hàng BIDV chi nhánh Đà Nẵng.

Điều 10. Hiệu lực của Hợp đồng

Hợp đồng này có hiệu lực từ ngày ký. Hợp đồng này được lập thành 06 bản (01 bản gốc và 05 bản chính) và có giá trị như nhau, Bên A giữ 02 bản, Bên B giữ 04 bản có giá trị pháp lý như nhau.



Nguyễn Lê Hùng

**BÊN B
CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI**

Nguyễn Thành Sơn

**ĐƠN ĐỀ NGHỊ GIA HẠN THỜI GIAN THỰC HIỆN
ĐỀ TÀI KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỞNG MÃ T2024**

Kính gửi:

- Ban Giám hiệu Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật;
- Phòng Quản lý Khoa học & Hợp tác Quốc tế;
- Ban Chủ nhiệm Khoa Cơ khí

Tôi tên là: Nguyễn Thành Sơn, chủ nhiệm đề tài KH&CN cấp Trường

Đơn vị công tác: Khoa Cơ khí

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng.

Số điện thoại: 0974293915

Email: ntson@ute.udn.vn

1. Mã số: T2024-06-03

2. Tên đề tài: Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt

3. Tổ chức chủ trì: Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật

4. Nội dung điều chỉnh:

- Gia hạn về thời gian thực hiện: ☒ Có ☐ Không

- Giải trình lý do: Cần thêm thời gian để viết và chỉnh sửa bài báo khoa học thuộc danh mục HĐCDGSNN.

☒ Chưa hoàn thành sản phẩm của đề tài (Bài báo khoa học thuộc danh mục HĐCDGSNN)

☐ Khác (ghi cụ thể):.....

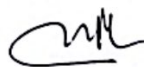
- Thời gian đề nghị gia hạn: ☒ 6 tháng (đến 31/6/2026).

Đà Nẵng, ngày 5 tháng 11 năm 2025

Ý KIẾN CỦA KHOA

(ký, họ tên)

PTK


Nguyễn Xuân Bảo

Chủ nhiệm đề tài

(ký, họ tên)



Nguyễn Thành Sơn

Tổ chức chủ trì

KT. HIỆU TRƯỞNG

PHÓ HIỆU TRƯỞNG



PGS. TS. Võ Trung Hùng

Ý KIẾN CỦA PHÒNG QLKH&HTQT

PHÓ TRƯỞNG PHÒNG


TS. Nguyễn Minh Tiến

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

BÁO CÁO TÌNH HÌNH THỰC HIỆN ĐỀ TÀI KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

I. Thông tin chung:

1. Mã số: T2024-06-03
2. Tên chủ nhiệm đề tài: Nguyễn Thành Sơn
3. Đơn vị công tác: Khoa Cơ khí
4. Tên đề tài: Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt
5. Thời gian thực hiện: từ tháng 01/2025 đến tháng 12/2025
6. Kinh phí được duyệt: 20.000.000 đồng

II. Tình hình thực hiện đề tài:

1. Phân loại theo sản phẩm:

STT	Nội dung tên sản phẩm theo thuyết minh đề tài	Thông tin về sản phẩm (mô tả thông tin khoa học của sản phẩm)	Số lượng	Tình hình thực hiện (đánh dấu x)		Chú thích
				Đã thực hiện	Chưa thực hiện	
1.	Sản phẩm khoa học					
	Bài báo khoa học đăng trên tạp chí/kỷ yếu được tính điểm trong danh mục HEC-DGSNN		01		X	
2.	Sản phẩm đào tạo					
3.	Sản phẩm ứng dụng					
	Chương trình máy tính	Mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt	01	X		
4.	Sản phẩm khác					

2. Phân loại theo nội dung nghiên cứu:

STT	Nội dung nghiên cứu theo thuyết minh đề tài	Thời gian thực hiện	Tình hình thực hiện (đánh dấu x)		
			Đã thực hiện	Đang thực hiện	Chưa thực hiện
1.	Nghiên cứu tổng quan về nghiên cứu về thiết bị trao đổi nhiệt	01/2025 - 03/2025	X		
2.	Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về các thí nghiệm quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt	03/2025 - 06/2025	X		
3.	Xây dựng mô hình thí nghiệm ảo	06/2025 - 09/2025	X		
4.	Viết báo cáo kết quả và nghiệm thu đề tài	09/2025 - 12/2025		X	

3. Kinh phí đề tài:

3.1. Kinh phí đã tạm ứng: 10.000.000 đồng

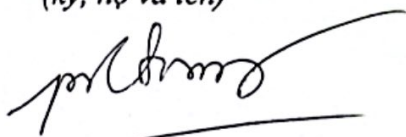
3.2. Kinh phí đã chi: 10.000.000 đồng

III. Kế hoạch triển khai tiếp theo:

- Viết bài báo khoa học đăng trên tạp chí/kỷ yếu được tính điểm trong danh mục HĐCDGSNN.
- Viết báo cáo kết quả và nghiệm thu đề tài.

IV. Kiến nghị: không

TM. Hội đồng khoa
(ký, họ và tên)


Hồ Xuân Anh Ngọc

Đà Nẵng, ngày 5 tháng 11 năm 2025

Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ và tên)


Nguyễn Thành Sơn

MỤC LỤC MINH CHỨNG SẢN PHẨM CỦA ĐỀ TÀI

Họ và tên chủ nhiệm đề tài: Nguyễn Thành Sơn
Mã số đề tài: T2024-06-03

STT	Tên minh chứng
SẢN PHẨM KHOA HỌC	
	Bài báo đăng trên tạp chí/kỷ yếu trong nước
	“Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của các tham số hình học của tường đáy được gia nhiệt trong khoang vuông có nắp trượt bằng mô phỏng CFD”, <i>Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên</i> , 2026.
☒	Trang bìa tạp chí/kỷ yếu
☒	Mục lục
	☒ Toàn văn bài báo ☐ Bản thảo bài báo ☐ Thư của ban biên tập chấp nhận cho đăng bài (nếu có) ☐ Thư của ban biên tập thông báo bài báo đang được phản biện (nếu có)
	☒ Minh chứng chứng minh tạp chí/kỷ yếu thuộc danh mục tính điểm khoa học của Hội đồng giáo sư nhà nước ☐ Minh chứng ISBN (nếu có) ☐ Minh chứng phản biện Minh chứng xếp hạng (nếu có): ☐ Web of Science: ☐ SCIE ☐ ESCI; ☐ Scopus ☐ Scimago thứ hạng: ☐ Q1 ☐ Q2 ☐ Q3 ☐ Q4
☐	Thư của ban biên tập đồng ý cho bổ sung lời cảm ơn và nguồn tài trợ (nếu có)
SẢN PHẨM ỨNG DỤNG	
	Sản phẩm của lĩnh vực công nghệ thông tin: File dữ liệu về mô hình thí nghiệm ảo quá trình truyền nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt ☒ Trang đầu ☒ Mục lục ☒ Ảnh chụp hình ảnh giao diện theo từng nội dung hoặc theo các phân hệ nội dung ☐ Ảnh chụp các đoạn mã code



ISSN 1859 - 2171
2734 - 9098

TẠP CHÍ
HOA HỌC & CÔNG NGHỆ
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

KHOA HỌC TỰ NHIÊN - KỸ THUẬT - CÔNG NGHỆ

TNU JOURNAL OF SCIENCE AND
TECHNOLOGY

NATURAL SCIENCE -
ENGINEERING - TECHNOLOGY

231(02)

2026

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

K

CHUYÊN SAN KHOA HỌC TỰ NHIÊN – KỸ THUẬT – CÔNG NGHỆ

Mục lục	Trang
Phạm Thế Tân, Trương Quang Giang, Lê Phương Thảo, Nguyễn Văn Hảo - Tổng hợp và đánh giá hiệu suất hấp phụ thuốc nhuộm Rhodamine B của vật liệu tổ hợp GO-CNT-Fe ₃ O ₄ trong xử lý nước ô nhiễm	3
Cao Thị Huệ - Đánh giá thành phần hóa học và đặc tính lý hóa của gelatin chiết xuất từ vây cá trắm cỏ <i>Stenopharyngodon idella</i>	13
Ngô Phương Thanh, Nguyễn Văn Chí - Điều khiển sạc nhanh cho pin lithium-ion dựa trên tái cấu hình cấp độ cell	21
Trần Bảo Châu, Nguyễn Phan Trúc Xuyên, Cáp Hải Minh Nguyễn, Huỳnh Thị Phương Nhung, Võ Châu Ngọc Anh, Đỗ Mai Nguyễn, Nguyễn Vũ Bảo Chi, Nguyễn Khoa Thị Phương, Hoàng Hiền Ý, Đào Anh Quang - Nghiên cứu ứng dụng hệ xúc tác hydroxide kép dạng lớp chứa Mn-nano để xử lý xanh methylene trong nước thải	29
Ngô Văn Tâm, Đặng Thị Từ Mỹ, Trần Thanh Thái, Nguyễn Đình Luyện, Nguyễn Thị Linh Chi - Xây dựng hệ thống điều khiển nhà thông minh ứng dụng công nghệ FPGA và Core IoT trên quy trình ASIC	37
Phan Trọng Việt, Nguyễn Hoàng Chương, Lương Duy Mạnh, Mai Văn Tá - Mạch lọc thông dải kích thước nhỏ, tổn hao thấp công nghệ SIW cấu trúc CSRR cho ứng dụng thông tin vệ tinh băng Ku	45
Nguyễn Văn Thọ, Lê Việt Cường, Nguyễn Tùng Linh - Nghiên cứu, xây dựng tiêu chí đánh giá lựa chọn địa điểm xây dựng nhà máy sản xuất hydro xanh ở Việt Nam	52
Lê Thị Hồng Hiệp, Phạm Thanh Sơn, Trần Văn Huỳnh, Bùi Xuân Khuyển, Bùi Sơn Tùng, Vũ Đình Lâm - Phân tích tính toán độ tự cảm của ô cơ sở vật liệu biến hóa từ tính có cấu trúc xoắn ốc vuông khi bị uốn cong	63
Nguyễn Thái Quang Huy, Nguyễn Hữu Cường, Bùi Văn Hữu, Lê Văn Lễ, Huỳnh Văn Trường - Nghiên cứu ảnh hưởng của góc đánh lái đến độ ổn định ngang của xe ô tô điện cỡ nhỏ khi xuống dốc	70
Hà Thanh Tùng, Phạm Thị Hồng Anh - Mô hình energy hub cho tối ưu nguồn – lưu trữ trong cấp nhiệt sử dụng năng lượng tái tạo	78
Phạm Năng Văn, Võ Trọng Sáng, Nguyễn Duy Đức - Mô hình trào lưu công suất tuyến tính cho lưới điện phân phối có mạch vòng kín và nguồn điện phân tán với mô hình PV	87
Tôn Ngọc Triều, Lại Hoàng Hải, Phạm Văn Lối, Hoàng Ngọc Tuyền, Đào Thị Mỹ Chi - Quy hoạch nguồn điện phân tán trong lưới điện phân phối nhằm tăng hiệu quả hấp thụ năng lượng tái tạo sử dụng thuật toán Secretary bird algorithm	97
Đỗ Đức Thọ, Vũ Phi Hùng, Nguyễn Việt Hưng, Đào Xuân Việt, Đinh Mạnh Tiến, Nguyễn Duy Cường, Đoàn Quảng Trị - Nghiên cứu sự ảnh hưởng độ dày lớp kim loại đến cộng hưởng bề mặt của cấu trúc nano kim loại – kim loại – cách điện	105
Trần Thị Bích Hảo, Nguyễn Văn Quế, Nguyễn Diệu Châu, Bùi Thị Kim Khánh, Nguyễn Trọng Hùng, Phạm Mạnh Tùng, Lê Thị Giang - Nghiên cứu tổng hợp xanh nano CuO pha tạp Ag, ứng dụng kháng khuẩn, kháng nấm trên cây trà hoa vàng tại xã Ba Chẽ, tỉnh Quảng Ninh	111
Trần Thị Phả, Văn Hữu Tập, Dương Thị Minh Hoà, Hoàng Thị Diễm, Lê Thu Hoài, Phạm Thị Tâm - Ứng dụng than sinh học từ mùn cưa gỗ keo để loại bỏ phốt pho trong nước thải chăn nuôi sau biogas: ảnh hưởng của thời gian, liều lượng và mô hình động học	120
Đoàn Thị Kiều Tiên, Đỗ Thảo Lan, Huỳnh Thị Ngọc Mi - Khảo sát các điều kiện lên men cider lêkima	128
Lê Đức Tiếp, Nguyễn Thị Thu Hương, Lê Quốc Việt - Xây dựng thuật toán chuyển mạch nghịch lưu cầu ba điểm kết nối với tải xoay chiều 2 pha	137
Phạm Văn Khiêm, Đinh Hoàng Quân - Tổng quan về điều khiển dòng chảy quanh vật thể tại vận tốc dưới âm: thụ động-chủ động và xu hướng ứng dụng hiện nay	146
Đỗ Mạnh Hùng - Nghiên cứu, đánh giá khả năng chống nhiễu của các đường thông tin số sử dụng mã hóa turbo	157

Mục lục	Trang
Phạm Cao Đại, Lê Đại Phong - Thiết kế và chế tạo băng mạch điều khiển và xử lý ảnh cho mô đun đầu thu ảnh nhiệt có làm lạnh	165
Nguyễn Văn Sơn - Nâng cao độ chính xác định hướng (DOA) trong số đo thụ động sử dụng phương pháp MUSIC kết hợp biểu diễn thừa tín hiệu	174
Lâm Trần Phương Thủy - Một kết quả về định lý dưới nghiệm	182
Hoàng Lê Phương, Nguyễn Thị Thuý Hằng - Đánh giá khả năng hấp phụ xanh methylen của vật liệu tổ hợp graphene@ZnO chế tạo bằng phương pháp điện phân	188
Phạm Trí Nguyễn - Số chiều fractal của tập hút ngẫu nhiên cho hệ Navier-Stokes cải biên toàn cục ngẫu nhiên ba chiều	196
Nguyễn Hồng Phúc, Lê Thị Thanh Hương, Nguyễn Thúy Vi, Tiền Tú Trinh - Mô hình tối ưu điều độ job-shop linh hoạt kết hợp hoạch định nguồn lực thuê ngoài	204
Phạm Kiên Cường, Phạm Nguyễn Tuấn Kiệt, Nguyễn Thị Huyền Trang, Trần Thị Huyền Nga, Nguyễn Thị Tâm Thư - Nghiên cứu chế tạo súp sệt từ phụ phẩm trâu bằng công nghệ thủy phân enzyme kết hợp retort	213
Đỗ Đức Tuấn, Trịnh Công Thành - Nghịch lưu dòng một pha switching-cell với bộ lọc cộng hưởng	221
Hoàng Ngọc Kim Châu, Trần Quang Huy, Nguyễn Hữu Bằng, Nguyễn Vũ Ánh Tuyết - Nghiên cứu so sánh đặc điểm khí động học trên mẫu biên dạng cánh NACA0012 trong điều kiện tốc độ gió thấp bằng phương pháp mô phỏng CFD	229
Trương Ngọc Minh Thư, Huỳnh Tấn Lợi, Lê Thị Kim Oanh, Nguyễn Quốc Dũng, Nguyễn Thị Chi Nhân, Bạch Thị Quyên, Dương Minh Trí - Hiện trạng phát sinh chất thải công nghiệp và tiềm năng quản lý dữ liệu hướng đến cộng sinh công nghiệp tại các khu chế xuất, khu công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh	238
Lưu Thị Cúc, Văn Hữu Tập, Hoàng Văn Hùng, Nguyễn Hoàng, Đàm Thị Hạnh, Thảo A Dia, Lù Đức Hiền - Tổng quan về công nghệ ozon xúc tác và ứng dụng trong xử lý ô nhiễm hữu cơ trong nước thải chăn nuôi	247
Nguyễn Thị Thu Hà, Nguyễn Tùng Linh, Tô Xuân Bảo, Lê Quốc Anh, Nguyễn Quang Anh - Nghiên cứu mức độ sẵn sàng chuyển dịch năng lượng trong ngành công nghiệp xi măng tại Việt Nam	256
Phạm Thị Thu Trang, Lê Phương Thảo, Mai Xuân Dũng - Phương pháp tổng quát tổng hợp hạt nano carbon phát xạ đỏ từ lá cây	266
Phạm Thành Long, Nguyễn Thị Vân Anh - Xây dựng Atlas truyền động toàn dải cho khớp Cardan trên cơ sở học máy và ứng dụng thuận – nghịch của nó	274
Phùng Tuấn Minh, Nguyễn Tiến Dũng, Phạm Hồng Phúc - Thiết kế và tính toán vi động cơ tĩnh điện tuyến tính sử dụng cánh dẫn đàn hồi	282
Bùi Đức Biên - Ứng dụng mạch nguồn bơm trong đo lường điện áp vi sai	291
Đặng Danh Hoàng, Nguyễn Văn Chí - Điều khiển tối ưu quá trình gia nhiệt trụ tròn dựa trên mô hình điện từ - nhiệt 1-D	299
Trần Xuân Lượng, Nguyễn Tiến Tài, Nguyễn Văn Kiệm - Thiết kế anten chấn từ tích hợp balun đồng trục xẻ khe cho ứng dụng phát công suất cao băng L	308
Phạm Văn Hiệp - Mô phỏng và đánh giá quá trình hàn điểm sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn	317
Nguyễn Ngọc Linh, Guzenkov Sergey Aleksandrovich, Doãn Quý Hiếu, Hà Minh Ngọc, Đỗ Đình Trung - Nghiên cứu chế tạo lớp phủ epoxy kết hợp nanocomposite Cu-SiO ₂ ứng dụng cho kết cấu thép trong môi trường biển - đảo	325
Nguyễn Thái Sơn, Nguyễn Chánh Nghiệm, Quách Ngọc Thịnh - Cải tiến thiết kế cánh aeroleaf nhằm nâng cao đặc tính khởi động và khả năng phát điện của turbine gió trực đứng trong điều kiện gió thấp	333
Nguyễn Thành Sơn - Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của các tham số hình học của tường đáy được gia nhiệt trong khoang vuông có nắp trượt bằng mô phỏng CFD	342
Lê Thị Nhi Công, Trần Thị Huyền Nga, Cung Thị Ngọc Mai, Đỗ Thị Liên, Nguyễn Kiều Hương, Trần Thị Mai, Hoàng Thị Phương Hồng, Vương Thị Nga, Quách Thị Liên - Ứng dụng vi khuẩn tạo màng sinh học trên mún của dạng mịn để tạo chế phẩm xử lý nước ô nhiễm dầu	350
Trần Thị Thùy Trang, Nguyễn Chí Ngón, Phạm Thanh Tùng - Điều khiển trượt bền vững dựa vào mô hình danh định và logic mờ cho tay máy robot	358

NATURAL SCIENCE – ENGINEERING – TECHNOLOGY

Content	Page
Pham The Tan, Truong Quang Giang, Le Phuong Thao, Nguyen Van Hao - Synthesis and investigation of the Rhodamine B dye adsorption performance of GO-CNT-Fe ₃ O ₄ composite material for polluted water treatment	3
Cao Thi Hue - Investigation of chemical composition and physicochemical properties of gelatin extracted from <i>Stenopharyngodon idella</i> scales	13
Ngo Phuong Thanh, Nguyen Van Chi - Optimal fast-charging control for lithium-ion batteries based on cell-level reconfiguration	21
Tran Bao Chau, Nguyen Phan Truc Xuyen, Cap Hai Minh Nguyen, Huynh Thi Phuong Nhung, Vo Chau Ngoc Anh, Do Mai Nguyen, Nguyen Vu Bao Chi, Nguyen Khoa Thi Phuong, Hoang Hien Y, Dao Anh Quang - Investigation of Mn-doped layered double hydroxide catalysts for the treatment of methylene blue-contaminated wastewater	29
Ngo Van Tam, Dang Thi Tu My, Tran Thanh Thai, Nguyen Dinh Luyen, Nguyen Thi Linh Chi - Development of a smart home control system using FPGA technology and Core IoT on an ASIC flow	37
Phan Trong Viet, Nguyen Hoang Chuong, Luong Duy Manh, Mai Van Ta - A SIW compact and low-loss bandpass filter using complementary split-ring resonators for Ku-band VSAT applications	45
Nguyen Van Thao, Le Viet Cuong, Nguyen Tung Linh - Research and development of criteria for evaluating locations for construction of green hydrogen factories in Vietnam	52
Le Thi Hong Hiep, Pham Thanh Son, Tran Van Huynh, Bui Xuan Khuyen, Bui Son Tung, Vu Dinh Lam - Investigation of the inductance of square-spiral magnetic metamaterials under bending	63
Nguyen Thai Quang Huy, Nguyen Huu Cuong, Bui Van Huu, Le Van Le, Huynh Van Truong - Study on the influence of steering angle on the lateral stability of mini electric vehicles during downhill driving	70
Ha Thanh Tung, Pham Thi Hong Anh - Energy hub model for source-storage optimization in renewable energy heating systems	78
Pham Nang Van, Vo Trong Sang, Nguyen Duy Duc - A linear power flow for meshed power distribution systems considering the voltage regulation capability of distributed generation	87
Ton Ngoc Trieu, Lai Hoang Hai, Pham Van Loi, Hoang Ngoc Tuyen, Dao Thi My Chi - Distributed generation planning in distribution networks to enhance renewable energy absorption efficiency using the Secretary bird algorithm	97
Do Duc Tho, Vu Phi Hung, Nguyen Viet Hung, Dao Xuan Viet, Dinh Manh Tien, Nguyen Duy Cuong, Doan Quang Tri - Study on effect of the metallic layer thickness on surface resonance of the nano metal – metal – dielectric structure	105
Tran Thi Bich Hao, Nguyen Van Que, Nguyen Dieu Chau, Bui Thi Kim Khanh, Nguyen Trong Hung, Pham Manh Tung, Le Thi Giang - Green synthesis of Ag-doped CuO nanoparticles and their antibacterial and antifungal applications on <i>Camellia chrysantha</i> in Ba Che commune, Quang Ninh province	111
Tran Thi Pha, Van Huu Tap, Duong Thi Minh Hoa, Hoang Thi Dien, Le Thu Hoai, Pham Thi Tam - Application of acacia wood sawdust biochar for phosphorus removal from swine-biogas effluent: effects of time, dosage, and kinetic models	120
Doan Thi Kieu Tien, Do Thao Lan, Huynh Thi Ngoc Mi - Study on the fermentation conditions for <i>Pouteria lucuma</i> cider	128
Le Duc Tiep, Nguyen Thi Thu Huong, Le Quoc Viet - Development of a switching algorithm for a three-level bridge inverter connected to a two-phase AC load	137
Pham Van Khiem, Dinh Hoang Quan - A review of flow control techniques around subsonic flight vehicles: passive-active classification and modern application trends	146
Do Manh Hung - Analysis of anti-jamming capability in digital communication systems using turbo channel coding	157

Content	Page
Pham Cao Dai, Le Dai Phong - Design and implementation of a control and image processing board for cooled thermal imaging core	165
Nguyen Van Son - Enhancing direction of arrival (DOA) estimation accuracy in passive sonar using the MUSIC method combined with sparse signal representation	174
Lam Tran Phuong Thuy - A note on subsolution theorem	182
Hoang Le Phuong, Nguyen Thi Thuy Hang - Evaluation of the methylene blue adsorption capacity of graphene@ZnO composite materials synthesized by the electrochemical method	188
Pham Tri Nguyen - Fractal dimension of random attractor for three-dimensional stochastic globally modified Navier-Stokes equations	196
Nguyen Hong Phuc, Le Thi Thanh Huong, Nguyen Thuy Vi, Tien Tu Trinh - An optimization model for flexible job-shop scheduling integrated with outsourced resource planning	204
Pham Kien Cuong, Pham Nguyen Tuan Kiet, Nguyen Thi Huyen Trang, Tran Thi Huyen Nga, Nguyen Thi Tam Thu - Research on the production of thick soup from buffalo by-products using enzyme hydrolysis combined with retort technology	213
Do Duc Tuan, Trinh Cong Thanh - Single-phase switching-cell current source inverter with resonance filter	221
Hoang Ngoc Kim Chau, Tran Quang Huy, Nguyen Huu Bang, Nguyen Vu Anh Tuyet - Comparative study of aerodynamic characteristics on NACA0012 airfoil model in low wind speed conditions using CFD simulation method	229
Truong Ngoc Minh Thu, Huynh Tan Loi, Le Thi Kim Oanh, Nguyen Quoc Dung, Nguyen Thi Chi Nhan, Bach Thi Quyen, Duong Minh Tri - Assessing industrial waste generation and data-driven potential for industrial symbiosis in Ho Chi Minh city's export processing and industrial zones	238
Luu Thi Cuc, Van Huu Tap, Hoang Van Hung, Nguyen Hoang, Dam Thi Hanh, Thao A Dia, Lu Duc Hien - A review of catalytic ozonation technology and its application in the treatment of organic pollution in livestock wastewater	247
Nguyen Thi Thu Ha, Nguyen Tung Linh, To Xuan Bao, Le Quoc Anh, Nguyen Quang Anh - A study on the level of readiness for energy transition in Vietnam's cement industry	256
Pham Thi Thu Trang, Le Phuong Thao, Mai Xuan Dung - A universal method for the preparation of tree leaves-derived, red-emitting carbon nanodots	266
Pham Thanh Long, Nguyen Thi Van Anh - Constructing a full-range drive Atlas for the Cardan joint based on machine learning and its forward and backward applications	274
Phung Tuan Minh, Nguyen Tien Dzung, Pham Hong Phuc - Design and analysis of a linear electrostatic micromotor using compliant guide beams	282
Bui Duc Bien - Application of tracking power supply to differential signal extraction	291
Dang Danh Hoang, Nguyen Van Chi - Optimal control of the cylindrical heating process based on a 1-D electromagnetic-thermal model	299
Tran Xuan Luong, Nguyen Tien Tai, Nguyen Van Kiem - Design of a dipole antenna integrated with a split-coaxial balun for high-power L-band applications	308
Pham Van Hiep - Investigation and evaluation of resistance spot welding process using finite element method	317
Nguyen Ngoc Linh, Guzenkov Sergey Aleksandrovich, Doan Quy Hieu, Ha Minh Ngoc, Do Dinh Trung - Study on the fabrication of epoxy coatings incorporated with Cu-SiO ₂ nanocomposite for steel structures in marine and island environments	325
Nguyen Thai Son, Nguyen Chanh Nghiem, Quach Ngoc Thinh - Design improvement of aeroleaf blades to enhance starting performance and electrical power output of a vertical-axis wind turbine in low wind speed conditions	333
Nguyen Thanh Son - A study to evaluate the effects of geometrical parameters of a heated bottom wall in a lid-driven square cavity by CFD simulation	342
Le Thi Nhi Cong, Tran Thi Huyen Nga, Cung Thi Ngoc Mai, Do Thi Lien, Nguyen Kieu Huong, Tran Thi Mai, Hoang Thi Phuong Hong, Vuong Thi Nga, Quach Thi Lien - Application of biofilm forming bacteria on fine sawdust as a bio-product for treating oil – contaminated water	350
Tran Thi Thuy Trang, Nguyen Chi Ngon, Pham Thanh Tung - Robust sliding mode control based on nominal model and fuzzy logic for robotic manipulators	358

A STUDY TO EVALUATE THE EFFECTS OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF A HEATED BOTTOM WALL IN A LID-DRIVEN SQUARE CAVITY BY CFD SIMULATION

Nguyen Thanh Son

The University of Danang – University of Technology and Education

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 25/01/2026 Revised: 28/02/2026 Published: 28/02/2026	This study numerically investigates mixed convection in a square lid-driven cavity with a locally heated bottom wall of varying geometry. Four configurations are examined with a geometric ratio $Ar = W/(H+W)$ ranging from 1 to 0.33, while maintaining a constant perimeter of the heated region. Two-dimensional, steady-state simulations ($Re = 6667$; $\Delta T = 10\text{--}20\text{ K}$; $Ri = 327\text{--}654$) are performed using the finite volume method with the Boussinesq approximation. The results indicate that increasing ΔT enhances flow intensity and thermal gradients without altering the primary vortex structure. In contrast, the heater geometry strongly influences the flow pattern and temperature distribution. When Ar decreases to 0.33, the average thermal gradient increases by more than 60% compared to $Ar = 1$, and the central velocity rises significantly due to flow constriction. However, this local intensification does not result in global heat transfer optimization. The maximum average Nusselt number is obtained at $Ar = 1$ (51.89 at $\Delta T = 20\text{ K}$), approximately 6.18% higher than that at $Ar \approx 0.33$. The correlation $Nu_{avg} \sim Gr^n$ with $n \approx 0.21$ confirms the mixed convection regime. Overall, the findings demonstrate that heat transfer performance depends on the balance between local acceleration effects and the effective heat transfer area, rather than solely on peak thermal gradients.
KEYWORDS Lid-driven square cavity Square cavity CFD simulation Moving wall Separation	

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THAM SỐ HÌNH HỌC CỦA TƯỜNG ĐÁY ĐƯỢC GIA NHIỆT TRONG KHOANG VUÔNG CÓ NẮP TRƯỢT BẰNG MÔ PHỎNG CFD

Nguyễn Thành Sơn

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật – ĐH Đà Nẵng

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 25/01/2026 Ngày hoàn thiện: 28/02/2026 Ngày đăng: 28/02/2026	Nghiên cứu này khảo sát số đối lưu hỗn hợp trong khoang vuông có nắp trượt khi đáy được gia nhiệt cục bộ với hình học thay đổi. Bốn cấu hình được khảo sát với tỷ số hình học $Ar = W/(H+W)$ từ 1 đến 0,33 trong khi giữ nguyên chu vi vùng gia nhiệt. Mô phỏng hai chiều, ổn định ($Re = 6667$; $\Delta T = 10\text{--}20\text{ K}$; $Ri = 327\text{--}654$) được thực hiện bằng phương pháp thể tích hữu hạn và xấp xỉ Boussinesq. Kết quả cho thấy tăng ΔT làm gia tăng cường độ dòng và gradient nhiệt nhưng không làm thay đổi cấu trúc xoáy chính. Ngược lại, hình học vùng gia nhiệt chỉ phối mạnh cấu trúc dòng và phân bố nhiệt. Khi Ar giảm xuống 0,33, gradient nhiệt trung bình tăng trên 60% so với $Ar = 1$, dòng thời vận tốc trung tâm tăng đáng kể do hiệu ứng thắt dòng. Tuy nhiên, sự gia tăng cục bộ này không dẫn đến sự tối ưu hóa truyền nhiệt toàn cục. Giá trị Nu_{avg} lớn nhất đạt được tại $Ar = 1$ (51,89 ở $\Delta T = 20\text{ K}$), cao hơn khoảng 6,18% so với $Ar \approx 0,33$. Quan hệ $Nu_{avg} \sim Gr^n$ với $n \approx 0,21$ xác nhận chế độ đối lưu hỗn hợp. Kết quả cho thấy hiệu quả truyền nhiệt phụ thuộc vào sự cân bằng giữa gia tốc cục bộ và diện tích trao đổi nhiệt hiệu dụng, thay vì chỉ dựa trên gradient nhiệt cực đại.
TỪ KHÓA Khoang vuông có nắp trượt Khoang vuông Mô phỏng CFD Tường chuyển động Sự tách dòng	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.14646>

Email: ntson@ute.udn.vn

<http://jst.tnu.edu.vn>

342

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

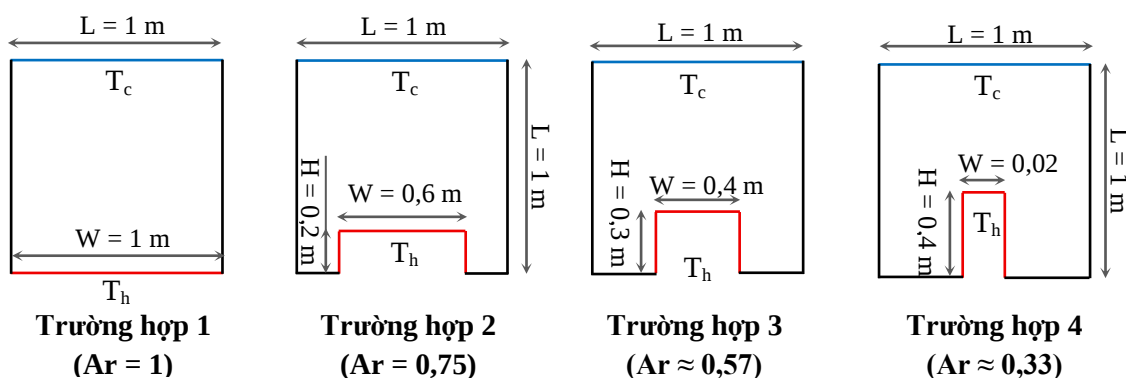
Khoang vuông có nắp trượt là một bài toán chuẩn kinh điển trong cơ học chất lưu và truyền nhiệt, được sử dụng rộng rãi để nghiên cứu các cơ chế dòng chảy và trao đổi nhiệt liên quan đến nhiều ứng dụng kỹ thuật quan trọng như làm mát linh kiện điện tử, chế biến thực phẩm, thông gió-điều hòa không khí và các hệ thống nhiệt công nghiệp. Mặc dù có cấu hình hình học đơn giản, nhưng dòng chảy trong khoang lại thể hiện nhiều hiện tượng vật lý phức tạp như sự hình thành xoáy thứ cấp, phân nhánh dòng chảy, chuyển động không ổn định và các cơ chế chuyển tiếp, khiến mô hình này trở thành một bài toán kiểm chứng điển hình cho các phương pháp mô phỏng số.

Trong nhiều thập kỷ qua, các nghiên cứu số đã tập trung phân tích ảnh hưởng của số Reynolds, Grashof và Richardson đến cấu trúc dòng chảy và đặc tính truyền nhiệt trong khoang có nắp trượt với cấu hình hình học được giữ cố định [1], [2]. Bên cạnh việc thay đổi tham số dòng chảy, một số nghiên cứu đã đưa vào các hiệu ứng vật lý bổ sung, chẳng hạn nguồn nhiệt bên trong [3] nhằm đánh giá ảnh hưởng của các tham số điều khiển đến đặc tính thủy nhiệt của hệ. Đồng thời, ảnh hưởng của các vật cản bên trong khoang cũng đã được làm rõ, cho thấy hình dạng và điều kiện gia nhiệt của vật cản có tác động đáng kể đến cấu trúc xoáy, mức độ trộn và phân bố áp suất [4] - [6]. Ngoài ra, việc biến đổi hình học cục bộ thông qua vị trí khe trượt gia nhiệt [7] hay biến đổi hình học đáy (bậc thang) [8] giúp tăng đáng kể hiệu quả truyền nhiệt trong khoang. Gần đây hơn, các nghiên cứu chuyển sang khảo sát đối lưu hỗn hợp với sự biến đổi hình học của thành đáy được gia nhiệt trong khoang vuông có nắp trượt [9], [10], cũng như phân tích ảnh hưởng kết hợp của tham số hình học và nhiệt độ thông qua mô phỏng CFD [11]. Tuy nhiên, phần lớn các công trình hiện có chủ yếu xem xét riêng rẽ ảnh hưởng của tham số hình học hoặc điều kiện nhiệt độ, trong khi sự tương tác đồng thời giữa hình học vùng gia nhiệt và chênh lệch nhiệt độ trong chế độ đối lưu hỗn hợp vẫn chưa được phân tích một cách hệ thống. Đặc biệt, trong cấu hình có vùng gia nhiệt cục bộ kết hợp với nắp trượt, tương tác giữa dòng cưỡng bức và lực nổi có thể hình thành các dòng tia cục bộ, gây phân tầng nhiệt và làm thay đổi cấu trúc xoáy cũng như giá trị số Nusselt trung bình.

Vì vậy, nghiên cứu này sử dụng mô phỏng CFD để khảo sát đối lưu hỗn hợp trong khoang vuông có nắp trượt, tập trung phân tích ảnh hưởng kết hợp của hình học vùng gia nhiệt và chênh lệch nhiệt độ của thành đáy đến cấu trúc dòng chảy và đặc tính truyền nhiệt. Kết quả thu được nhằm cung cấp cơ sở định lượng cho việc hiểu rõ cơ chế tương tác thủy nhiệt và góp phần định hướng tối ưu hóa hiệu suất các hệ thống truyền nhiệt liên quan.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình tính toán



Hình 1. Các trường hợp được khảo sát của khoang vuông có nắp trượt với tường đáy được gia nhiệt

Mô hình tính toán được xây dựng dựa trên các hệ thống kỹ thuật thực tế có cơ cấu trượt tốc độ thấp và gia nhiệt đáy mức trung bình như buồng sấy nhẹ, thiết bị đóng gói nhiệt và hệ thống bảo

ôn công nghiệp. Hình 1 mô tả khoang vuông cạnh $L = 1$ m với nắp trên chuyển động; không khí là môi chất, chịu tác dụng của trọng lực hướng xuống; nắp trượt từ trái sang phải với vận tốc $0,1$ m/s và giữ ở $T_c = 298$ K, trong khi hai tường bên được cách nhiệt hoàn toàn. Tường đáy gồm hai phần: phần được gia nhiệt và phần không gia nhiệt. Phần đáy không gia nhiệt được cách nhiệt hoàn toàn, trong khi nhiệt độ của phần đáy được gia nhiệt (T_h) được duy trì ở ba mức khác nhau: 308 K, 313 K và 318 K. Trường hợp thứ nhất, phần đáy được gia nhiệt có bề rộng 1 m, ba trường hợp còn lại sử dụng các hình dạng khác nhau với chiều cao H và chiều rộng W được thiết kế sao cho chu vi phần gia nhiệt không đổi; và tỷ số hình học của phần này được định nghĩa là $Ar = \frac{W}{H+W}$.

2.2. Các phương trình toán học

Các phương trình bảo toàn khối lượng, động lượng và năng lượng cho dòng chảy không nén được trong chế độ ổn định và dòng chảy tầng, hai chiều được biểu diễn như sau [12] - [14]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_c) \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho u C_p T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v C_p T)}{\partial y} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (5)$$

Trong đó, u và v lần lượt là các thành phần vận tốc theo phương x và y (m/s); ρ là khối lượng riêng của chất lỏng (kg/m^3); P là áp suất (Pa); μ là độ nhớt động lực học của chất lỏng (kg/m.s); β là hệ số giãn nở nhiệt (K^{-1}); T_f và T lần lượt là nhiệt độ tham chiếu của chất lỏng và nhiệt độ chất lỏng (K); k là hệ số dẫn nhiệt của chất lỏng (W/m.K); g là vectơ gia tốc trọng trường (m/s^2); và C_p là nhiệt dung riêng (J/kg.K).

2.3. Các giả thiết cho đối lưu hỗn hợp

- Dòng không khí được giả thiết là hai chiều, ổn định, không nén được và chảy tầng. Đây là cách tiếp cận đã được áp dụng rộng rãi trong các nghiên cứu số trước đây về dòng chảy trong khoang vuông có nắp trượt nhằm đơn giản hóa mô hình và giảm chi phí tính toán.

- Sự sinh nhiệt bên trong được bỏ qua.

- Các tính chất nhiệt-vật lý của môi chất được coi là không đổi; tuy nhiên, khối lượng riêng xuất hiện trong lực thể tích của phương trình động lượng được xử lý theo xấp xỉ Boussinesq (bởi với trường hợp khắt khe nhất $\Delta T = 20$ K thì $\beta \cdot \Delta T = 0,065 < 0,1$), do đó cho phép mô tả lực nổi.

- Truyền nhiệt bằng bức xạ được xem là không đáng kể.

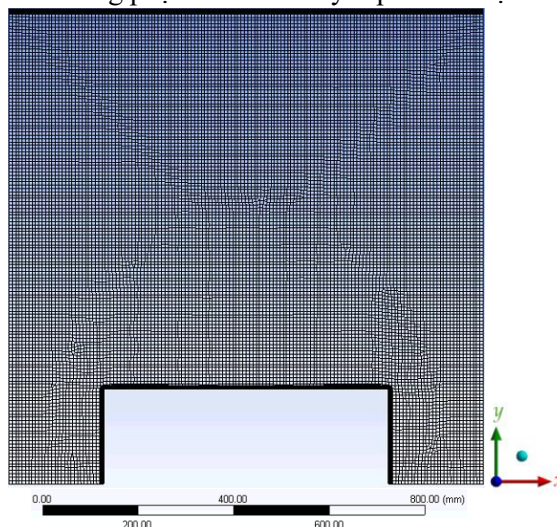
2.4. Điều kiện biên

Tường trên (nắp trượt): $u = U$, $v = 0$, $T = T_c$. Hai tường bên trái và phải: $u = 0$, $v = 0$, $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$. Phần tường đáy được gia nhiệt: $u = 0$, $v = 0$, $T = T_h$. Phần tường đáy không gia nhiệt: $u = 0$, $v = 0$, $\frac{\partial T}{\partial y} = 0$.

2.5. Lưới tính toán

Lưới thể tích hữu hạn có cấu trúc với độ phân giải cao được xây dựng cho các trường hợp 1-4 (Hình 2 thể hiện cấu trúc lưới của trường hợp 2).

Để kiểm tra độc lập của lưới thì một nghiên cứu độ nhạy của lưới được tiến hành cho trường hợp 4. Ở đây, trường hợp 4 ($Ar \approx 0,33$) được chọn cho nghiên cứu này vì nó tạo ra sự co hẹp dòng chảy mạnh nhất, do đó có yêu cầu khắt khe nhất về độ phân giải. Vì vậy, các trường hợp còn lại vẫn đảm bảo được tính độc lập của lưới và mức độ hội tụ. Ba mức mật độ lưới được khảo sát, bao gồm thô (10.000 phần tử), trung bình (20.000 phần tử) và mịn (40.000 phần tử), trong đó, tại nắp trượt, tường đáy được gia nhiệt; vùng thất dòng lưới được tiến hành tinh chỉnh cục bộ: có ít nhất 20 điểm lưới được bố trí trong phạm vi chiều dày lớp biên nhiệt.



Hình 2. Cấu trúc lưới của trường hợp 2

Số Nusselt trung bình tại tường đáy được gia nhiệt (Nu_{avg}) được sử dụng làm tiêu chí chính để đánh giá sự hội tụ. Theo Bảng 1, sai số tương đối của Nu_{avg} giảm đáng kể khi lưới được tinh mịn hơn. Sự sai khác giữa lưới Trung bình và lưới Mịn chỉ khoảng 0,36%, nằm hoàn toàn trong giới hạn chấp nhận được đối với độ chính xác số. Do đó, lưới Medium với 20.000 phần tử được lựa chọn cho tất cả các mô phỏng tiếp theo nhằm đạt được sự cân bằng tối ưu giữa độ chính xác tính toán và hiệu quả sử dụng tài nguyên.

Bảng 1. Kiểm tra tính độc lập của lưới

Mức lưới	Số phần tử	Số Nusselt trung bình tại tường đáy gia nhiệt Nu_{avg} ($T = 313$ K)	Sai số tương đối (%)
Thô	10 K	44,19	-
Trung bình	20 K	46,80	5,90%
Mịn	40 K	46,97	0,36%

2.6. Kiểm chứng mô hình

Các phép tính được thực hiện bằng phương pháp thể tích hữu hạn thông qua phần mềm thương mại ANSYS Fluent®. Thuật toán SIMPLEC được dùng để liên kết giữa trường áp suất và vận tốc. Các kết quả số được xem là hội tụ chấp nhận được khi sai số của phương trình năng lượng và động lượng đạt đến 10^{-6} và độ biến thiên tương đối của Nu_{avg} , vận tốc cực đại nhỏ hơn 10^{-5} giữa các lần lặp liên tiếp. Mô hình được kiểm chứng với trường hợp đáy phẳng gia nhiệt (trường hợp 1).

Để tăng độ tin cậy, mô hình không chỉ được so sánh nội bộ mà còn được đối chiếu với các nghiệm chuẩn cho bài toán khoang vuông có nắp trượt với tường đáy được gia nhiệt trong chế độ

đối lưu hỗn hợp. Cụ thể, giá trị Nu_{avg} và cấu trúc trường dòng được so sánh với các kết quả kinh điển trong tài liệu của Iwatsu [1] và Oztop [2]. Sai khác nằm trong khoảng chấp nhận được ($<5\%$), cho thấy mô hình có khả năng tái hiện đúng cơ chế tương tác giữa lực cắt do nắp trượt và lực nổi. Ngoài ra, xu hướng tăng của Nu_{avg} theo ΔT được phân tích theo quan hệ lũy thừa: $Nu_{avg} \sim Gr^n$. Từ các dữ liệu ở Bảng 2, với ba mức ΔT (10, 15 và 20 K) có được $\frac{Nu_{318}}{Nu_{308}} = \frac{51,89}{44,98} = 1,154$, kết

quả thu được cho $n \approx 0,21$. Giá trị này nằm trong khoảng 0,2–0,33 thường gặp cho đối lưu hỗn hợp, phù hợp với lý thuyết và các nghiên cứu trước. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng ba điểm dữ liệu chỉ đủ để xác nhận xu hướng phù hợp về mặt vật lý, chưa đủ để thiết lập một quan hệ thực nghiệm có độ tin cậy thống kê cao. Do đó, kết quả này được xem là kiểm chứng tính nhất quán của mô hình hơn là xây dựng quy luật tổng quát. Trong các nghiên cứu tiếp theo, việc mở rộng dải ΔT và số điểm dữ liệu sẽ được thực hiện để củng cố độ tin cậy của hệ số mũ n .

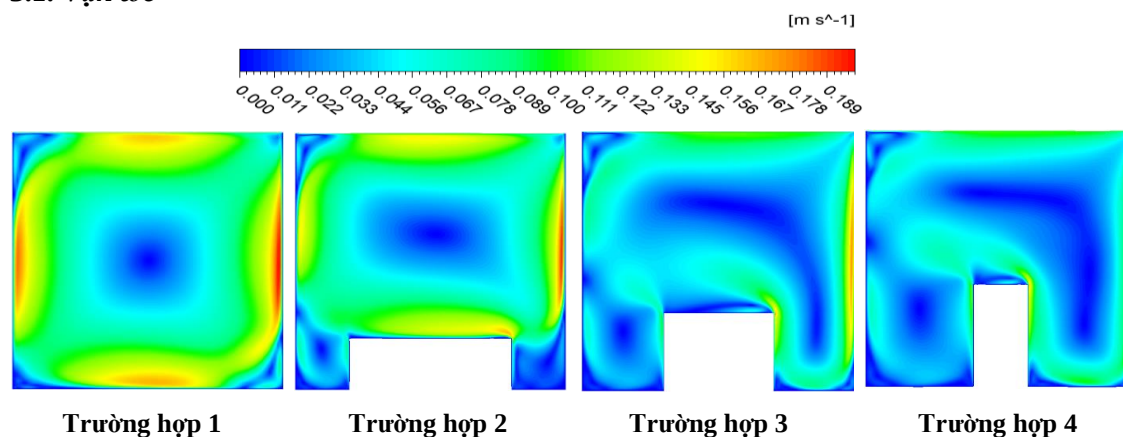
Bảng 2. Kiểm chứng mô hình số dựa trên Nu_{avg} cho trường hợp 1

T_h (K)	T_c (K)	ΔT (K)	Nu_{avg}	Tốc độ tăng của Nu_{avg}
308	298	10	44,98	-
313	298	15	48,95	8,84%
318	298	20	51,89	6,00%

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Để đánh giá ảnh hưởng của các tham số hình học tường đáy gia nhiệt, phân bố nhiệt độ và vận tốc của bốn trường hợp được trình bày, phân tích và so sánh.

3.1. Vận tốc

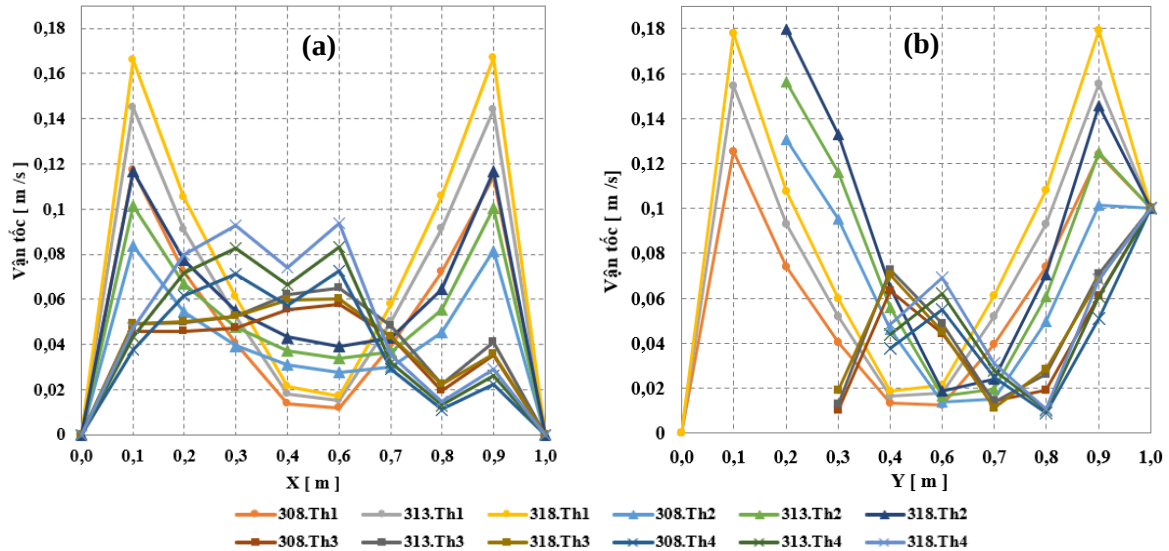


Hình 3. Trường vận tốc của các trường hợp 1-4 tại $T_h = 308$ K

Hình 3 minh họa ảnh hưởng của các tham số hình học tường đáy được gia nhiệt đến phân bố vận tốc trong khoang vuông có nắp trượt. Trường hợp 1 xuất hiện một xoáy chủ đạo với trường vận tốc tương đối đồng đều, trong khi trường hợp 2 chỉ tạo ra các nhiễu loạn cục bộ yếu gần tường đáy. Ngược lại, trường hợp 3 và 4 làm tăng đáng kể gia tốc dòng chảy dọc theo hai bên vật cản và hình thành các vùng hậu lưu vận tốc thấp. Đặc biệt, trường hợp 4 tạo ra dòng tia rõ rệt với các gradient vận tốc mạnh nhất, phản ánh mức độ thắt chặt dòng chảy cao.

Việc tăng T_h làm tăng cường lực nổi, từ đó dẫn đến vận tốc dòng chảy lớn hơn, điều này thể hiện rõ ở Hình 4a. Tuy nhiên, hình dạng tổng thể của phân bố vận tốc dọc theo đường tâm ngang hầu như không thay đổi, cho thấy nhiệt độ chủ yếu ảnh hưởng đến cường độ dòng chảy hơn là làm biến đổi cấu trúc dòng chảy nền. Đối với tất cả các mức T_h , trường hợp 1 thể hiện vận tốc cực đại lớn nhất do sự chi phối mạnh của đối lưu cưỡng bức, trong khi trường hợp 3 cho giá trị thấp nhất vì lực nổi không được chuyển hóa hiệu quả thành vận tốc dòng chảy; như tại 313 K, vận tốc cực đại

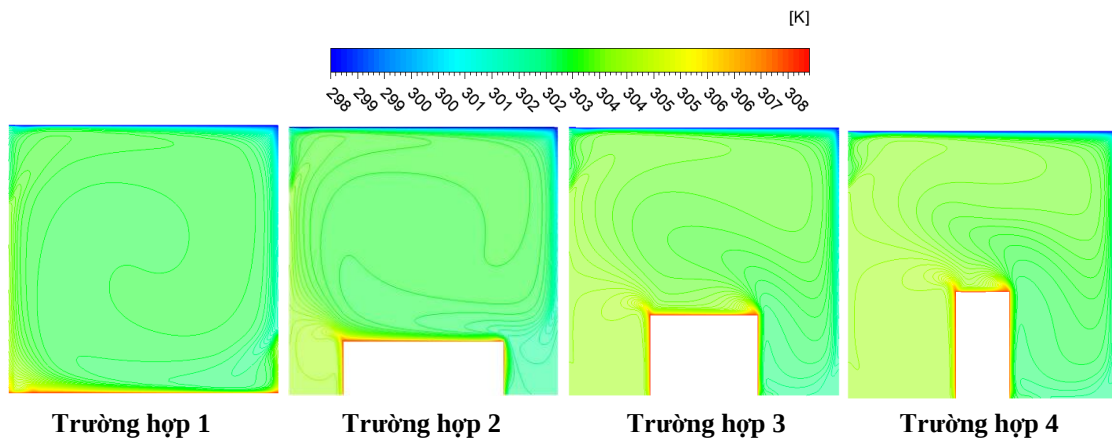
đọc theo đường tâm ngang của các trường hợp 1-4 lần lượt là 0,145; 0,101; 0,065 và 0,083 m/s. Ngoài ra, trong vùng $X = 0,4-0,6$ m, trường hợp 4 ghi nhận vận tốc lớn nhất, chứng tỏ sự xuất hiện của dòng tia mạnh do hiệu ứng thất dòng từ phần gia nhiệt hẹp, trong khi trường hợp 1 xuất hiện vùng vận tốc thấp vì không có gia tốc cục bộ. Các sai khác phần trăm được tính theo độ lớn vận tốc trung bình theo diện tích dọc theo đường tâm ngang trong khoảng này; tại 313 K, trường hợp 4 cao hơn trường hợp 1, 2 và 3 lần lượt khoảng 467%, 143% và 70%.



Hình 4. Phân bố vận tốc dọc theo đường tâm ngang (a) và đường tâm thẳng đứng (b) cho bốn trường hợp

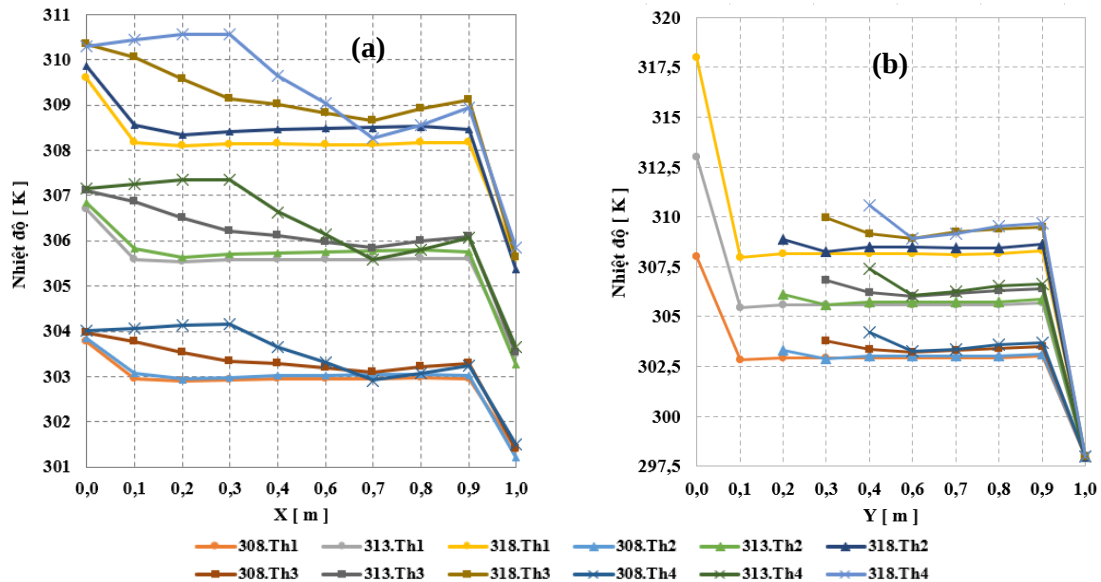
Mặc dù $Re = 6667$ nên dòng chảy được xem là cường bức chi phối, nhưng khi T_h tăng từ 308 K đến 318 K thì Ri tăng từ 327 đến 654, nên đối lưu tự nhiên chiếm ưu thế mạnh so với đối lưu cưỡng bức do nắp trượt. Vì vậy, lực nổi vẫn ảnh hưởng rõ đến phân bố vận tốc. Theo Hình 4b, khi T_h tăng vận tốc dọc theo đường tâm đứng trong tất cả các trường hợp đều gia tăng do lực nổi được tăng cường, với vận tốc cực đại tăng khoảng 10–13% cho mỗi 5 K, đặc biệt gần các biên dưới và trên. Ở mọi mức T_h , trường hợp 1 và 2 đạt vận tốc cực đại dọc theo đường tâm đứng cao hơn đáng kể so với trường hợp 3 và 4, do sự phát triển thuận lợi hơn của chuyển động thẳng đứng. Chẳng hạn, tại 318 K, vận tốc cực đại của các trường hợp 1–4 lần lượt là 0,179; 0,180; 0,070 và 0,069 m/s.

3.2. Nhiệt độ



Hình 5. Trường nhiệt độ của các trường hợp 1-4 tại $T_h = 308$ K

Hình 5 cho thấy tham số hình học của tường đáy được gia nhiệt không chỉ chi phối cường độ truyền nhiệt mà còn ảnh hưởng đến cấu trúc trường nhiệt trong khoang. Khi Ar giảm, phân bố nhiệt độ trở nên kém đồng đều và hiệu suất truyền nhiệt tổng thể suy giảm vì truyền nhiệt trung bình phụ thuộc vào thông lượng nhiệt tích phân trên toàn bề mặt, không chỉ vào cực đại cục bộ của $\partial T/\partial n$.



Hình 6. Phân bố nhiệt độ dọc theo đường tâm ngang (a) và đường tâm thẳng đứng (b) cho bốn trường hợp

Hình 6 cho thấy dạng phân bố nhiệt độ dọc theo cả đường tâm ngang và đường tâm thẳng đứng hầu như không thay đổi. Hành vi này cho thấy nhiệt độ T_h chủ yếu ảnh hưởng đến độ lớn của trường nhiệt, hơn là làm biến đổi cấu trúc không gian của nó. Bên cạnh đó, tỷ số Ar chi phối sự phát triển không gian của dòng chảy do lực nổi gây ra. Việc giảm tỷ số Ar dẫn đến sự phân tầng nhiệt mạnh hơn và làm suy giảm hiệu suất truyền nhiệt, qua đó nhấn mạnh vai trò chi phối của sự thất chặt hình học trong chế độ đối lưu hỗn hợp. Tại 318 K, giá trị gradient nhiệt độ trung bình dọc theo đường tâm ngang lần lượt là 3,99; 4,49; 4,71 và 6,49 K/m, trong khi theo đường tâm thẳng đứng đạt 20,00; 25,07; 28,57 và 33,34 K/m cho các trường hợp 1-4, khẳng định vai trò chi phối của hình học đối với sự phát triển trường nhiệt; và số Nusselt trung bình tại tường đáy được gia nhiệt lần lượt là 51,89; 51,31; 46,17 và 48,87 cho các trường hợp 1-4. Qua đây, trường hợp 4 (Ar nhỏ nhất) có gradient nhiệt lớn nhất là do hiệu ứng thất dòng, nhưng sự thu hẹp diện tích hiệu dụng và phân bố dòng không đồng đều khiến Nu_{avg} không đạt giá trị cao nhất.

4. Kết luận

Nghiên cứu làm rõ ảnh hưởng của các tham số hình học tường đáy được gia nhiệt đến dòng chảy và truyền nhiệt trong khoang vuông có nắp trượt dưới chế độ đối lưu hỗn hợp ($Re = 6667$; $Ri = 327-654$; $Pr \approx 0,71$). Các kết quả chính gồm:

- Giảm tỷ số hình học Ar làm tăng hiệu ứng thất dòng, hình thành dòng tia và tăng vận tốc cục bộ, nhưng không làm thay đổi đáng kể xoáy chính.
- Trường hợp 4 ($Ar \approx 0,33$) tạo gradient nhiệt độ trung bình lớn nhất (33,34 K/m tại 318 K) nhưng không tối ưu truyền nhiệt do diện tích trao đổi nhiệt hiệu dụng giảm.
- Trường hợp 1 ($Ar = 1$) cho Nu_{avg} lớn nhất (51,89 tại $\Delta T = 20$ K), cao hơn 6–12% so với các trường hợp khác, cho thấy tối ưu hóa phải dựa trên giá trị tích phân toàn bề mặt thay vì cực đại cục bộ.
- Nu_{avg} tăng theo ΔT và tuân theo quan hệ lũy thừa với Gr ($n \approx 0,21$), xác nhận đặc trưng đối lưu hỗn hợp trong phạm vi khảo sát.

Các kết luận áp dụng cho dòng hai chiều, ổn định với $\Delta T \leq 20$ K ($\beta \Delta T < 0,1$) và cung cấp cơ sở định lượng cho thiết kế, tối ưu hóa cấu hình gia nhiệt cục bộ trong hệ thống trao đổi nhiệt có tương tác đối lưu cưỡng bức–tự nhiên.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số T2024-06-03.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] R. Iwatsu, J. M. Hyun, and K. Kuwahara, "Mixed convection in a driven cavity with a stable vertical temperature gradient," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 36, no. 6, pp. 1601-1608, 1993.
- [2] H. F. Oztop and I. Dagtekin, "Mixed convection in two-sided lid-driven differentially heated square cavity," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 47, no. 8, pp. 1761-1769, 2004.
- [3] A. Chamkha, "Hydromagnetic combined convection flow in a vertical lid-driven cavity with internal heat generation or absorption," *Numerical Heat Transfer Part A-applications - Numer heat transfer pt a-appl*, vol. 41, pp. 529-546, 2002.
- [4] V. Golkarfard, S. A. Gandjalikhan Nasab, A. B. Ansari, and G. H. Bagheri, "Numerical investigation on deposition of solid particles in a lid-driven square cavity with inner heated obstacles," *Advanced Powder Technology*, vol. 23, no. 6, pp. 736-743, 2012.
- [5] F. L. Rashid, A. F. Khalaf, A. Ameen, and M. A. Al-Obaidi, "Investigation of Thermo-Hydraulics in a Lid-Driven Square Cavity with a Heated Hemispherical Obstacle at the Bottom," *Entropy*, vol. 26, no. 5, pp. 1-25, 2024.
- [6] A. Khalaf, F. Rashid, A. Ali, and M. Abbas, "Numerical Analysis in a Lid-Driven Square Cavity with Hemispherical Obstacle in the Bottom," *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, vol. 09, pp. 1639-1647, 2022.
- [7] M. Khalid, R. U. Haq, A. Alhushaybari, and E. A. Algehyne, "Lid driven flow and heat transfer due to various positions of slit in a square cavity: FEM approach," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 159, 2024, Art. no. 107951.
- [8] N. Janjanam, R. Nimmagadda, G. Lazarus, R. S. Harish, and S. Wongwises, "Conjugate heat transfer performance of stepped lid-driven cavity with Al_2O_3 /water nanofluid under forced and mixed convection," *SN Applied Sciences*, vol. 3, 2021, Art. no. 605.
- [9] M. N. Islam, U. I. Aziz, R. Karmaker, and S. F. Ahmed, "Numerical investigation of mixed convection heat transfer enhancement in a square cavity with a hump-shaped heated bottom wall," *Results in Engineering*, vol. 28, 2025, Art. no. 107410.
- [10] M. M. Fardin, M. S. Hossain, and M. N. Hasan, "CFD based neural network model framework for mixed convection in a lid-driven cavity with conductive cylinder," *Heliyon*, vol. 11, 2025, Art. no. e42637.
- [11] F. L. Rashid *et al.*, "Influence of adiabatic semi-circular grooved in backward-facing step on thermal-hydraulic characteristics of nanofluid," *International Journal of Thermofluids*, vol. 26, 2025, Art. no. 101052.
- [12] S. Ahmed, Z.-M. Chen, H. Xu, and M. Ishaq, "Mixed convection flow in a square lid-driven cavity subject to inclined magnetic field with highly accurate wavelet-homotopy solutions," *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 162, pp. 33-51, 2024.
- [13] F. L. Rashid *et al.*, "Numerical investigation of heat transfer augmentation in elliptical passage with different rib geometries and aspect ratios," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 9, pp. 1390-1409, 2018.
- [14] R. Smriti, A. Das, F. Mahmood, and M. Hasan, "Fluid-structure interaction of a thin flexible heater inside a lid-driven cavity," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 238, pp. 75 - 93, 2023.
- [15] N. Rehman, R. Mahmood, A. Majeed, and I. Khan, "Multigrid simulations of non-Newtonian fluid flow and heat transfer in a ventilated square cavity with mixed convection and baffles," *Scientific Reports*, vol. 14, no.1, 2024, Art. no. 6694.



(Kèm theo Quyết định số: 26/QĐ-HĐGSNN ngày 11 tháng 7 năm 2025)

2. HỘI ĐỒNG GIÁO SƯ NGÀNH CƠ HỌC

a) Các chuyên ngành (Specialization):

- 2.1. Cơ học hệ nhiều vật (Mechanics of Multibody systems)
- 2.2. Cơ học vật rắn (Mechanics of Solids)
- 2.3. Cơ học vật liệu (Mechanics of Materials)
- 2.4. Cơ học chất lỏng và chất khí (Mechanics of Fluids and Gases)
- 2.5. Cơ học công trình (Mechanics of Structures)
- 2.6. Cơ học đất, đá và nền móng (Mechanics of Soils, Rocks and Foundations)
- 2.7. Cơ học máy (Mechanics of Machines)
- 2.8. Cơ học chất lỏng và chất khí kỹ thuật (Mechanics of Engineering Fluids and Gases)
- 2.9. Cơ điện tử (Mechatronics)
- 2.10. Thủy lực (Hydraulics)
- 2.11. Cơ kỹ thuật (Engineering Mechanics)
- 2.12. Kỹ thuật cơ khí (Mechanical Engineering)
- 2.13. Cơ học y sinh (Biomechanics)
- 2.14. Cơ học tính toán (Computational Mechanics)

b) Danh mục tạp chí được tính điểm:

TT	Tên tạp chí	Chỉ số ISSN	Loại	Cơ quan xuất bản	Điểm công trình
1.	Các tạp chí khoa học Việt Nam và quốc tế		Tạp chí	Web of Science uy tín ⁽¹⁾	0 – 3,0
			Tạp chí	Quốc tế uy tín ⁽¹⁾	0 – 2,0
			Tạp chí	Web of Science khác, Scopus ⁽²⁾	0 – 1,5
2.	Tạp chí khoa học quốc tế trong danh mục Asean Citation Index (ACI)		Tạp chí		0 – 1,0 0 - 1,25 từ 2020 0 – 1,0 từ 2025
	Tạp chí khoa học quốc tế trong danh mục Asean Citation Index (ACI) không thuộc chuyên ngành Cơ học		Tạp chí		0 – 1,0 từ 2024
	Các tạp chí khoa học quốc tế khác		Tạp chí	Do HĐGS ngành quyết định cụ thể từng trường hợp ⁽³⁾	0 – 1,0 Online 0 – 0,75 Không online
3.	Báo cáo khoa học tại hội nghị khoa học quốc tế chuyên ngành Cơ học		Kỷ yếu	Đăng toàn văn trong kỷ yếu (Proceedings), có phản biện khoa học, có chỉ số ISBN	0 – 1,0

(Kèm theo Quyết định số: 26/QĐ-HĐGSNN ngày 11 tháng 7 năm 2025)

4.	Báo cáo khoa học tại hội nghị khoa học quốc gia		Kỷ yếu	Đăng toàn văn trong kỷ yếu (Proceedings), có phản biện khoa học, từ năm 2017 phải có chỉ số ISBN	0 – 0,5
5.	Chuyên san Đo lường, Điều khiển và Tự động hóa (Measurement, Control and Automation)	3030-4555 (1859-0551)	Tạp chí	Hội Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa	0 – 0,5 từ 2020
6.	Cơ khí Việt Nam	2615-9910 (0866-7056)	Tạp chí	Tổng Hội Cơ khí Việt Nam	0 – 0,5 từ 2016
7.	Communications in Physics (Tên cũ: Vật lý)	0868-3166	Tạp chí ACI	Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam	0 – 0,75 0 – 1,0 từ 2020
8.	Công nghiệp Mỏ	3030-4172 (0868-7052)	Tạp chí	Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam	0 – 0,25
9.	Dầu khí	2615-9902 (0866-854X)	Tạp chí	Tập đoàn Dầu khí Quốc gia Việt Nam	0 – 0,5
10.	Địa kỹ thuật	0868-279X	Tạp chí	Viện Địa kỹ thuật, Liên hiệp các Hội KH&KT Việt Nam	0 – 0,25 0 – 0,5 từ 2016
11.	Giao thông vận tải	2354-0818 e-2615-9791 (0866-7012)	Tạp chí	Bộ Giao thông vận tải	0 – 0,25
12.	Journal of Computer Science and Cybernetics (Tên cũ: Tin học và Điều khiển học)	1813-9663	Tạp chí	Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam	0 – 0,75 0 – 1,0 từ 2020
13.	Journal of Science and Technology in Civil Engineering	p-1859-2996 e-2734-9268	Tạp chí	Trường Đại học Xây dựng Hà Nội	0 – 0,5 0 – 1,0 từ 2021
14.	Khoa học Công nghệ Xây dựng	p-2615-9058 e-2734-9489	Tạp chí	Trường Đại học Xây dựng Hà Nội	0 – 0,5
15.	Khí tượng Thủy văn	2525-2208 (0866-8744)	Tạp chí	Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài nguyên và Môi trường	0 – 0,5
16.	Khoa học (Ho Chi Minh City Open University Journal of Science-Engineering and Technology	p-2734-9322-V e-2734-9594-V p-2734-9390-E e-2734-9608-E (1859-3453)	Tạp chí	Trường Đại học Mở TP Hồ Chí Minh	0 – 0,5 từ 2024 bản tiếng Việt 0 – 0,5 từ 2023 bản tiếng Anh

(Kèm theo Quyết định số: 26/QĐ-HĐGSNN ngày 11 tháng 7 năm 2025)

17.	Khoa học	1859-3100	Tạp chí	Trường Đại học Sư phạm TP Hồ Chí Minh	0 – 0,25
18.	Khoa học – Công nghệ Hàng Hải	1859-316X	Tạp chí	Trường Đại học Hàng hải Việt Nam	0 – 0,25 0 – 0,5 từ 2016
19.	Khoa học và Công nghệ (Journal of Science and Technology)	1859-1531	Tạp chí	Đại học Đà Nẵng	0 – 0,5 0 – 1,0 từ 2022
20.	Khoa học và Công nghệ	2734-9098 e-2615-9562	Tạp chí	Đại học Thái Nguyên	0 – 0,5
21.	Khoa học & Kỹ thuật (Journal of Science & Technique)	1859-0209	Tạp chí	Học viện Kỹ thuật Quân sự	0 – 0,5
22.	Khoa học giáo dục kỹ thuật	2615-9740-V 1859-1272-E	Tạp chí	Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh	0 – 0,25 0 – 0,5 từ 2023
23.	Khoa học & Công nghệ các trường ĐH kỹ thuật	- 0868-3980 từ tháng 12/1996 - 2354-1083 từ tháng 3/2015 - 2734-9381 từ tháng 3/2021 2734-9373	Tạp chí	ĐH Bách khoa Hà Nội, ĐH Đà Nẵng, Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên, Trường ĐH Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp, Trường ĐH Bách khoa – ĐHQG TP HCM, Trường ĐH SP Kỹ thuật TP HCM, HV Công nghệ Bưu chính Viễn thông	0 – 0,75
24.	Khoa học Giao thông vận tải	p-1859-2724 e-2615-9554	Tạp chí	Trường Đại học Giao thông vận tải	0 – 0,25 0 – 0,5 từ 2016 0 – 1,0 từ 2022
25.	Khoa học Kiến trúc và Xây dựng	1859-350X	Tạp chí	Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội	0 – 0,25 0 – 0,5 từ 2016
26.	Khoa học Kỹ thuật Mỏ – Địa chất	1859-1469	Tạp chí	Trường Đại học Mỏ – Địa chất	0 – 0,25 0 – 0,5 từ 2023
27.	Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường	1859-3941	Tạp chí	Trường Đại học Thủy lợi	0 – 0,25 0 – 0,5 từ 2016
28.	Khoa học Nông nghiệp Việt Nam (Tên cũ: Khoa học kỹ thuật Nông nghiệp)	p-1859-0004 e-2588-1299	Tạp chí	Học viện Nông nghiệp Việt Nam	0 – 0,25
29.	Khoa học và Công nghệ Biển	1859-3097	Tạp chí	Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam	0 – 0,75
30.	Khoa học và Công nghệ Thủy lợi	1859-4255	Tạp chí	Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam	0 – 0,5

(Kèm theo Quyết định số: 26/QĐ-HDGSNN ngày 11 tháng 7 năm 2025)

31.	Khoa học và Công nghệ Việt Nam (bản B)	p-1859-4794 e-2615-9929	Tạp chí	Bộ Khoa học và Công nghệ	0 – 0,5 từ 2020 0 – 1,0 từ 2022
32.	Khoa học: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ	2615-9317	Tạp chí ACI	Đại học Quốc gia Hà Nội	0 – 0,5 từ 2020 0 – 1,0 từ 2025
33.	Kỹ thuật và Trang bị	1859-249X	Tạp chí	Tổng cục Kỹ thuật, Bộ Quốc phòng	0 – 0,25 0 từ 2025
34.	Năng lượng nhiệt	0868-3336	Tạp chí	Hội Khoa học Kỹ thuật Nhiệt Việt Nam	0 – 0,25 0 – 0,5 từ 2016
35.	Nghiên cứu khoa học và Công nghệ Quân sự	1859-1043	Tạp chí	Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự	0 – 0,5 0 – 0,75 từ 2023
36.	Nuclear Science and Technology	1810-5408	Tạp chí	Hội Năng lượng Nguyên tử Việt Nam	0 – 0,75 0 – 0,5 từ 2024
37.	Phát triển Khoa học và công nghệ	1859-0128	Tạp chí	Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh	0 – 0,5 0 – 0,75 từ 2023
38.	Science Journal of Transportation	2410-9088	Tạp chí	Trường Đại học GTVT - Đại học kỹ thuật Giao thông đường bộ Matxcova - Đại học Giao thông Tây Nam Trung Quốc	0 – 0,5 từ 2020 0 – 0,75 từ 2023
39.	Khoa học ĐH Huế Journal of Science	1859-1388	Tạp chí	Đại học Huế	0 – 0,25 0 – 0,5 từ 2016 Bản tiếng Việt 0 – 1,0 từ 2021 Bản tiếng Anh
40.	TNU Journal of Science and Technology	2734-9098 e-2615-9562	Tạp chí ACI	Đại học Thái Nguyên	0 – 0,5 0 – 1,0 từ 2021
41.	Ứng dụng Toán học	1859-4492	Tạp chí	Hội Toán học Việt Nam	0 – 0,5 0 – 0,75 từ 2016
42.	Vietnam Journal of Earth Sciences (Cũ: Các khoa học về Trái đất)	p-0866-7187 e-2615-9783	Tạp chí ACI, Scopus	Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam	0 – 0,75 0 – 1,0 từ 2020 0 – 1,25 từ 2022
43.	Vietnam Journal of Mechanics (Tên cũ: Tạp chí Cơ học)	0866-7136	Tạp chí ACI	Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam	0 – 1,0 0 – 1,25 từ 2020 0 – 1,0 từ 2025
44.	Vietnam Journal of Science and Technology (Tên cũ: Khoa học & Công nghệ)	2525-2518 e-2815-5874 (0866-708X)	Tạp chí ACI, Scopus	Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam	0 – 0,75 0 – 1,0 từ 2020 0 – 1,5 từ 2023
45.	Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering (bản C)	2525-2461	Tạp chí	Bộ Khoa học và Công nghệ	0 – 1,0 từ 2020

(Kèm theo Quyết định số: 26/QĐ-HĐGSNN ngày 11 tháng 7 năm 2025)

46.	VNU Journal of Science: Mathematics – Physics (Tên cũ: Khoa học – Khoa học tự nhiên)	2615-9341	Tạp chí	Đại học Quốc gia Hà Nội	0 – 0,75 0 – 1,0 từ 2025
47.	Xây dựng	2734-9888 (0866-8762)	Tạp chí	Bộ Xây dựng	0 – 0,25
48.	CTU Journal of Innovation and Sustainable Development (Cũ: Can Tho University Journal of Science)	p-2615-6422 e-2815-5602	Tạp chí ACI	Trường Đại học Cần Thơ	0 – 1,0 từ 2023
49.	Journal of Advanced Engineering and Computation	2588-123X	Tạp chí ACI	Trường Đại học Tôn Đức Thắng	0 – 1,0 từ 2023
50.	Khoa học và Công nghệ Giao thông	2734-9942	Tạp chí	Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải	0 – 0,25 từ 2023
51.	Khoa học Công nghệ Xây dựng	1859-1566	Tạp chí	Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, Bộ Xây dựng	0 – 0,5 từ 2023
52.	Khoa học	2354-1423	Tạp chí	Trường Đại học Cửu Long	0 – 0,25 từ 2023
53.	Khoa học	p-1859-2333 e-2815-5599	Tạp chí	Trường Đại học Cần Thơ	0 – 0,25 từ 2023
54.	Khoa học	1859-2228	Tạp chí	Trường Đại học Vinh	0 – 0,25 từ 2023
55.	Phát triển Khoa học và Công nghệ: Kỹ thuật và Công nghệ	2615-9872	Tạp chí	Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh	0 – 0,5 từ 2023
56.	Phát triển Khoa học và Công nghệ: Khoa học tự nhiên	2588-106X	Tạp chí	Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh	0 – 0,25 từ 2024
57.	Khoa học và Công nghệ	p-1859-3585 e-2615-9619	Tạp chí	Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội	0 – 0,25 từ 2024
58.	Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải	p-1859-4263 e-3030-4261	Tạp chí	Trường Đại học Giao thông vận tải TP HCM	0 – 0,25 từ 2025

Chú thích:

1) Quốc tế uy tín Q1, Q2, Q3 là các tạp chí thuộc chuyên ngành Cơ học và các chuyên ngành kỹ thuật liên quan đến Cơ học trong Danh mục tạp chí quốc tế có uy tín theo Quyết định 14/QĐ-HĐQL-NAFOSTED ngày 18/4/2025 của Hội đồng quản lý Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ quốc gia. Xếp hạng Q1-Q3 trong danh mục SCIE của Web of Science tại website <http://wos-journal.info/>;

2) Danh mục tạp chí “Web of Science khác, Scopus” được tra tại các website:

<https://mjl.clarivate.com/>; <https://www.scopus.com/>;

3) Các tạp chí khoa học quốc tế khác do HĐGS ngành quyết định phải đảm bảo các điều kiện:

- Mục đích và phạm vi được công bố rõ ràng.
- Có Ban biên tập quốc tế và được công bố rõ ràng
- Có công bố quy trình phản biện và có 2 phản biện kín.
- Đa dạng về nguồn gốc của các tác giả; thông tin về tác giả phải đầy đủ
- Định dạng là tạp chí khoa học.
- Xuất bản đúng hạn; có ít nhất 3 năm xuất bản hoặc 6 số liên tục.

c) Nhà xuất bản có uy tín:

- Danh mục các nhà xuất bản quốc tế uy tín được xếp hạng tại website:
<http://workingfo.com/mbl/publisher/>
- Danh mục các nhà xuất bản trong nước có uy tín: Giáo dục, Khoa học và Kỹ thuật, ĐHQG Hà Nội, ĐHQG TP HCM, Khoa học tự nhiên và Công nghệ (Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam), Xây dựng, Giao thông Vận tải, Bách khoa Hà Nội, Đại học Thái nguyên.

d) Tác giả chính:

Tác giả chính là tác giả đứng đầu (First author) và tác giả liên hệ (Corresponding author) duy nhất. Bài báo có từ 02 tác giả liên hệ trở lên thì cả tác giả đứng đầu và các tác giả liên hệ đều không được tính là tác giả chính.

e) Sách chuyên khảo:

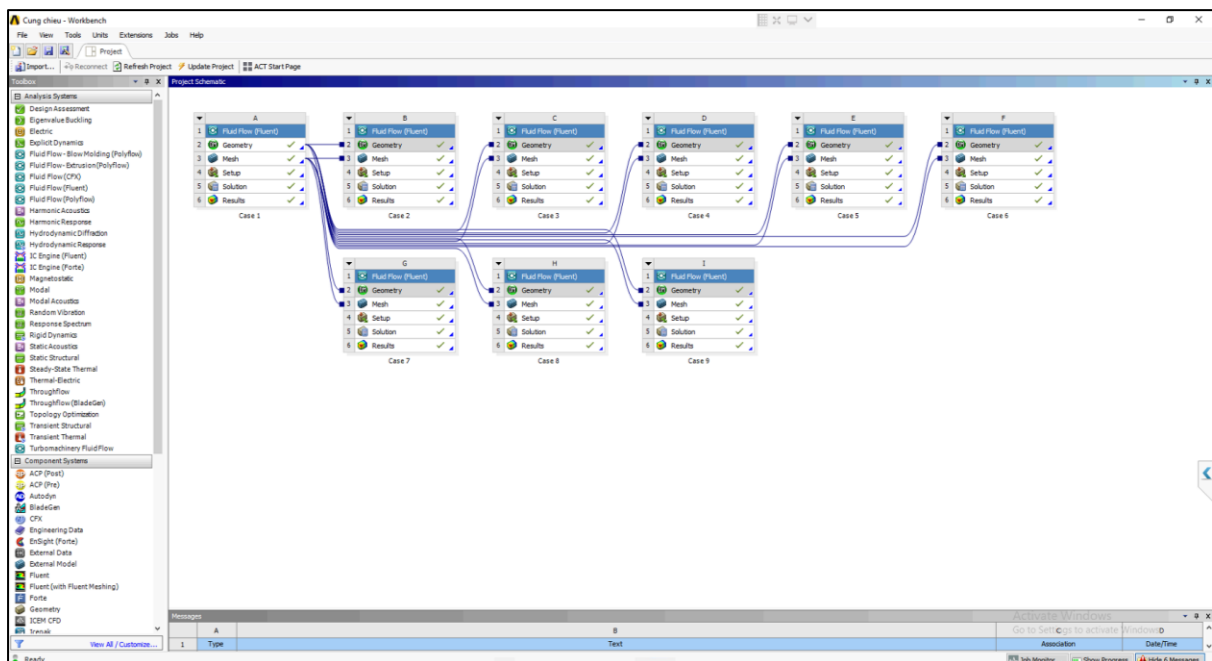
Sách chuyên khảo là công trình khoa học trình bày kết quả nghiên cứu chuyên sâu và tương đối toàn diện của ứng viên về một vấn đề khoa học chuyên ngành.

**FILE DỮ LIỆU VỀ
MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM ẢO QUÁ TRÌNH
TRUYỀN NHIỆT CỦA CÁC THIẾT BỊ
TRAO ĐỔI NHIỆT**

MỤC LỤC

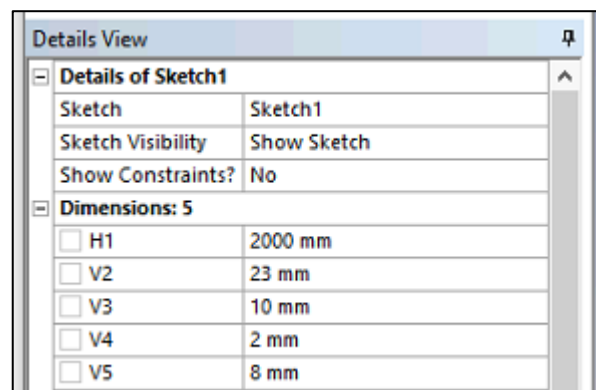
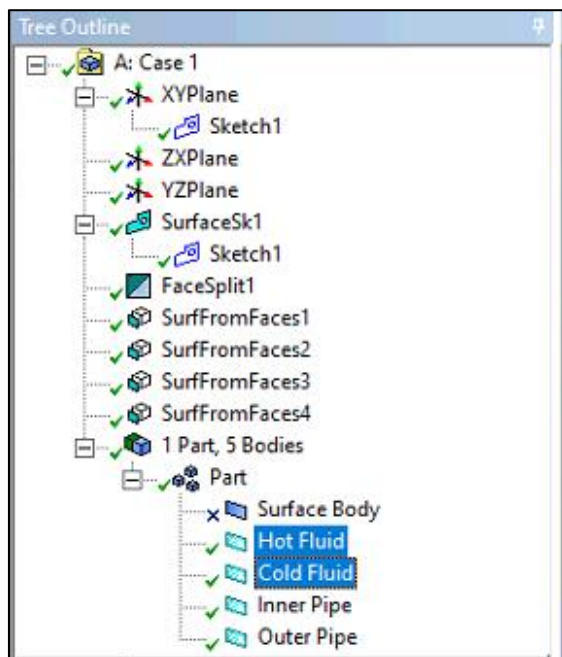
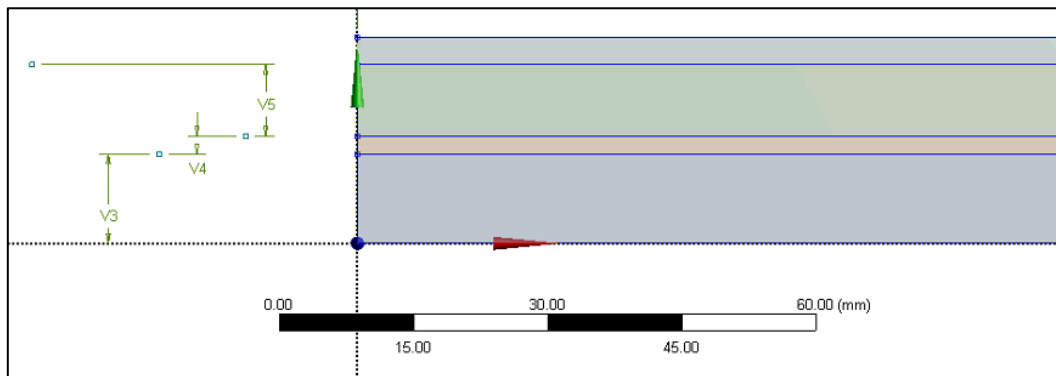
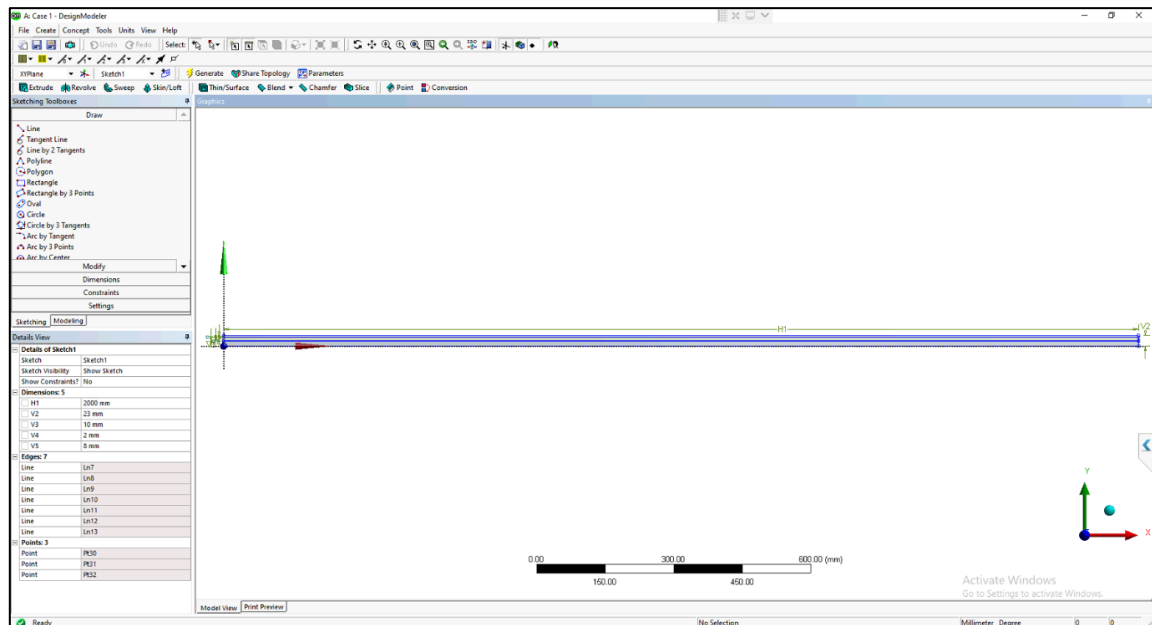
1. Giao diện chính.....	3
2. Xây dựng mô hình hình học (Geometry)	4
3. Chia lưới (Meshing)	5
4. Thiết lập mô hình vật lý (Setup).....	6
5. Giải toán (Solution/Calculation).....	10
6. Xử lý kết quả (Post-processing)	13

1. Giao diện chính



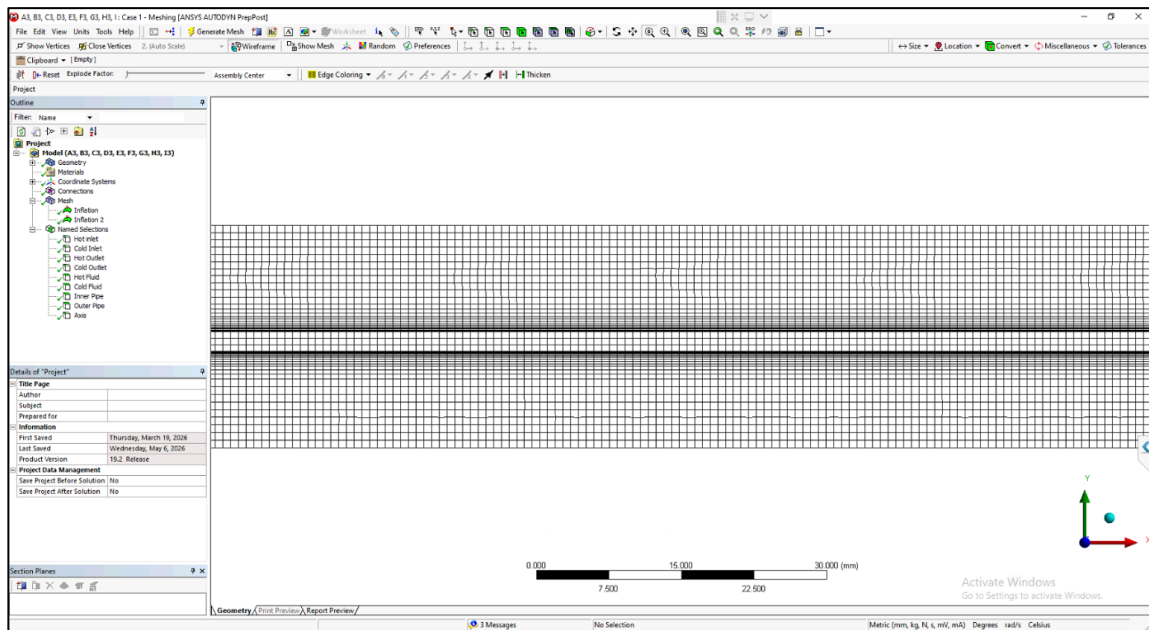
Hình 1. Giao diện Project Schematic của các trường hợp mô phỏng trong ANSYS Workbench sử dụng ANSYS Fluent

2. Xây dựng mô hình hình học (Geometry)

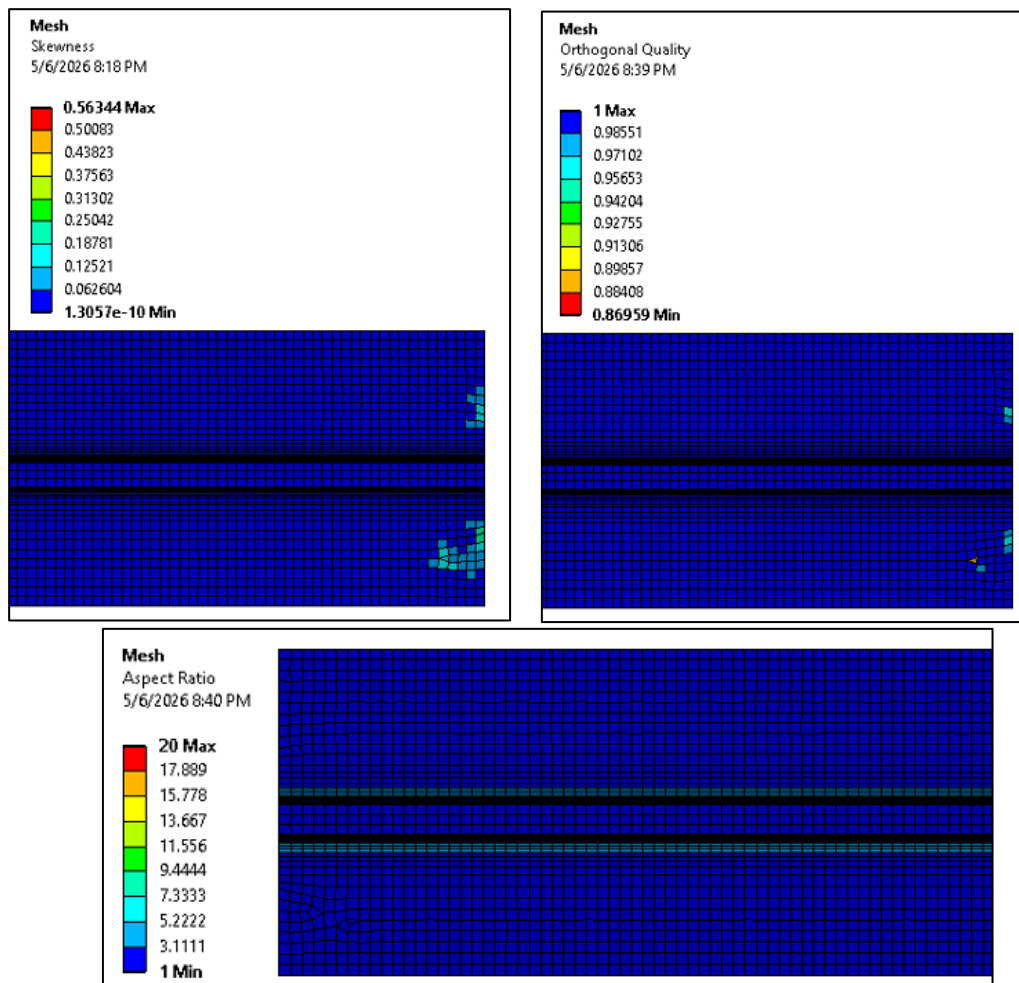


Hình 2. Vẽ mô hình hình học (Geometry)

3. Chia lưới (Meshing)

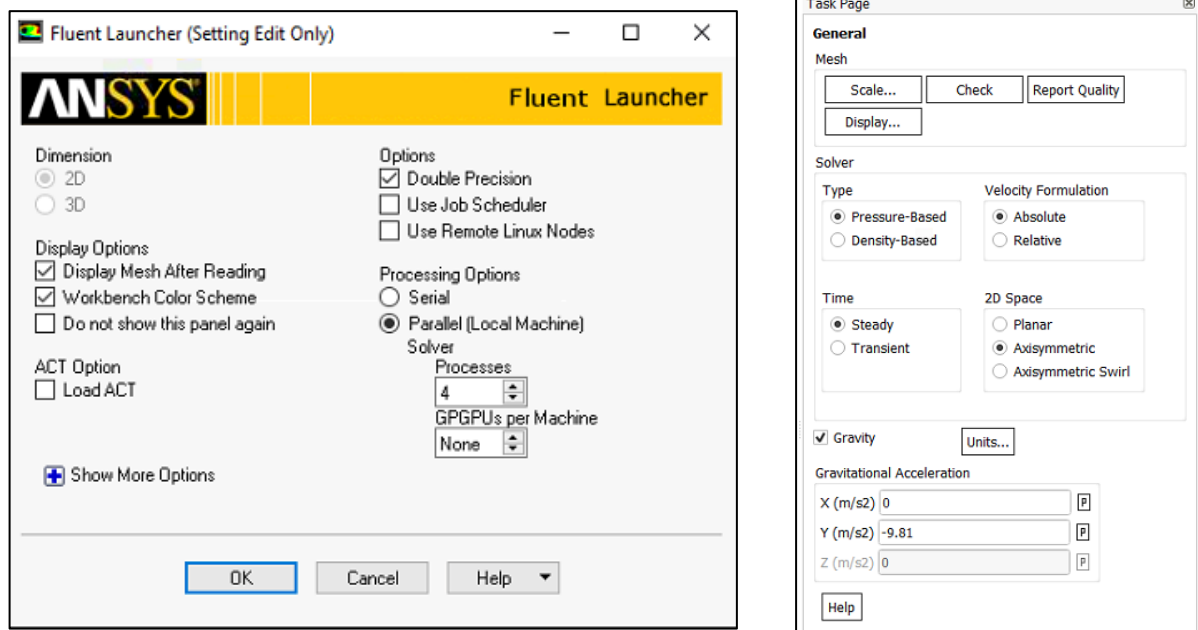


Hình 3. Generate Mesh

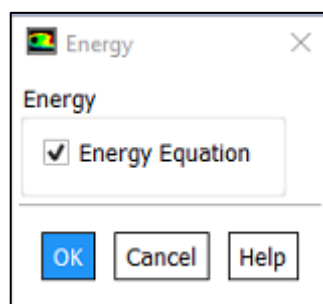
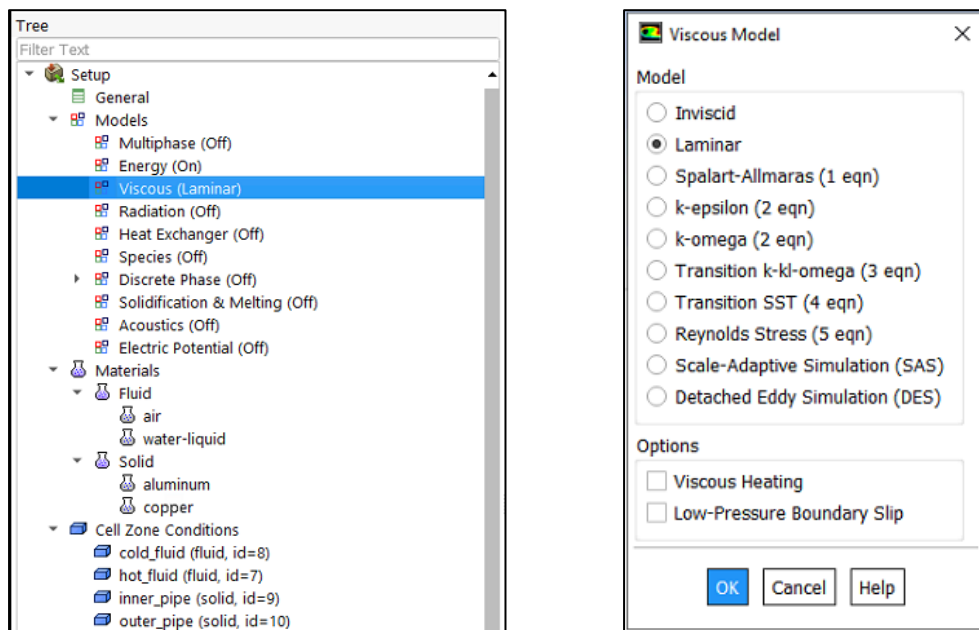


Hình 4. Kiểm tra chất lượng lưới

4. Thiết lập mô hình vật lý (Setup)



Hình 5. Thiết lập Solver



Hình 6. Thiết lập mô hình vật lý và kích hoạt phương trình năng lượng

Create/Edit Materials

Name: water-liquid

Material Type: fluid

Chemical Formula: h2o<I>

Fluent Fluid Materials: water-liquid (h2o<I>)

Mixture: none

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Fluent Database... User-Defined Database...

Properties:

Density (kg/m3): constant 998.2

Cp (Specific Heat) (J/kg-K): constant 4182

Thermal Conductivity (W/m-K): constant 0.6

Viscosity (kg/m-s): constant

Change/Create Delete Close Help

Create/Edit Materials

Name: copper

Material Type: solid

Chemical Formula: cu

Fluent Solid Materials: copper (cu)

Mixture: none

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Fluent Database... User-Defined Database...

Properties:

Density (kg/m3): constant 8978

Cp (Specific Heat) (J/kg-K): constant 381

Thermal Conductivity (W/m-K): constant 387.6

Change/Create Delete Close Help

Hình 7. Chọn vật liệu cho môi chất và ống trao đổi nhiệt

* Thiết lập các điều kiện biên

Velocity Inlet

Zone Name: cold_inlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

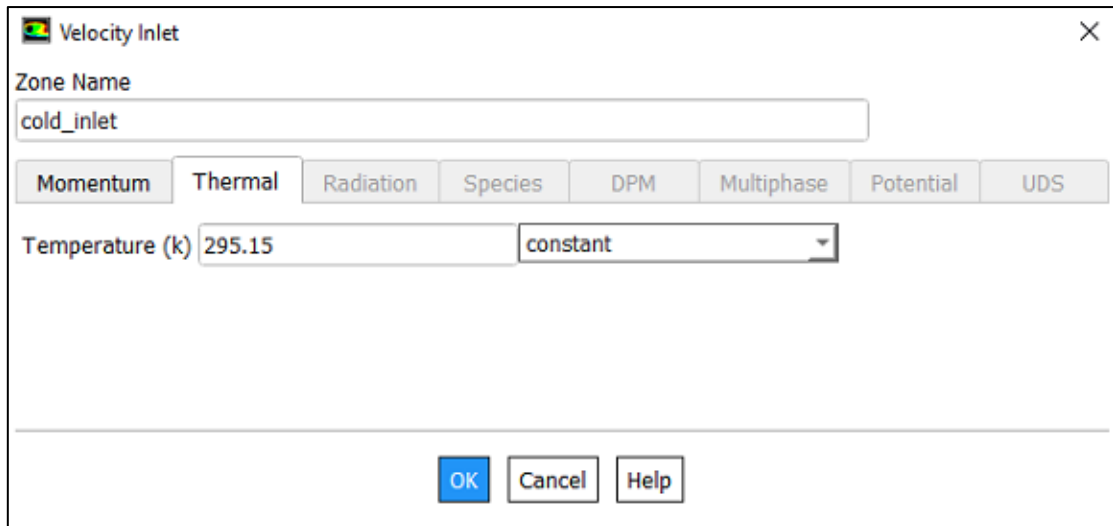
Velocity Specification Method: Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame: Absolute

Velocity Magnitude (m/s): 0.06217 constant

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal): 0 constant

OK Cancel Help



Velocity Inlet

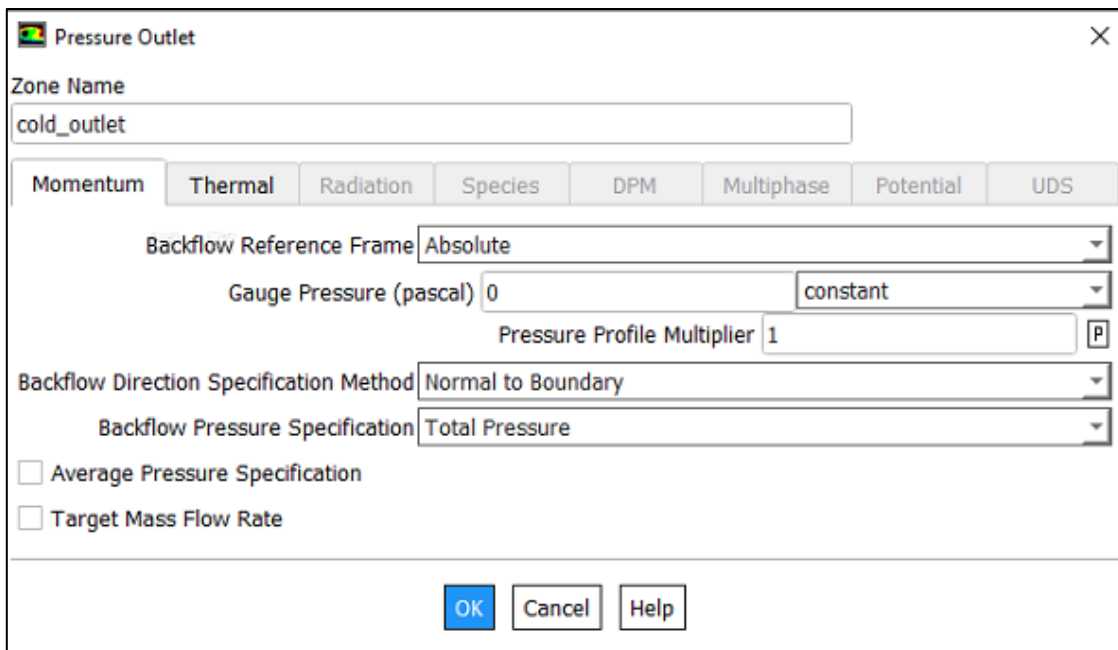
Zone Name
cold_inlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Temperature (k) 295.15 constant

OK Cancel Help

Hình 8. Thiết lập vận tốc, nhiệt độ đầu vào của nước lạnh, nóng



Pressure Outlet

Zone Name
cold_outlet

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Backflow Reference Frame Absolute

Gauge Pressure (pascal) 0 constant

Pressure Profile Multiplier 1 P

Backflow Direction Specification Method Normal to Boundary

Backflow Pressure Specification Total Pressure

☐ Average Pressure Specification

☐ Target Mass Flow Rate

OK Cancel Help

Hình 9. Thiết lập áp suất đầu ra của nước lạnh, nóng

Wall

Zone Name
wall-cold_fluid-inner_pipe

Adjacent Cell Zone
cold_fluid

Shadow Face Zone
wall-cold_fluid-inner_pipe-shadow

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Wall Film Potential

Wall Motion Motion

☒ Stationary Wall ☒ Relative to Adjacent Cell Zone

☐ Moving Wall

Shear Condition

☒ No Slip

☐ Specified Shear

☐ Specularity Coefficient

☐ Marangoni Stress

Wall Roughness

Roughness Height (m) 0 constant

Roughness Constant 0.5 constant

OK Cancel Help

Wall

Zone Name
wall-cold_fluid-inner_pipe

Adjacent Cell Zone
cold_fluid

Shadow Face Zone
wall-cold_fluid-inner_pipe-shadow

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Wall Film Potential

Thermal Conditions

☐ Heat Flux

☐ Temperature

☒ Coupled

Wall Thickness (m) 0 P

Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant

Material Name
copper Edit...

OK Cancel Help

Hình 10. Thiết lập điều kiện biên Wall Boundary Conditions

5. Giải toán (Solution/Calculation)

Solution Methods
Pressure-Velocity Coupling
Scheme
SIMPLE
Spatial Discretization
Gradient
Least Squares Cell Based
Pressure
Second Order
Momentum
Second Order Upwind
Energy
Second Order Upwind
Transient Formulation

☐ Non-Iterative Time Advancement
☐ Frozen Flux Formulation
☐ Pseudo Transient
☐ Warped-Face Gradient Correction
☐ High Order Term Relaxation Options...
Default

Solution Controls
Under-Relaxation Factors
Pressure
0.3
Density
1
Body Forces
1
Momentum
0.7
Energy
0.95
Default
Equations... Limits... Advanced...

Hình 11. Thiết lập phương pháp giải

Residual Monitors

Options
☒ Print to Console
☒ Plot
Window
1 Curves... Axes...
Iterations to Plot
1000
Iterations to Store
1000

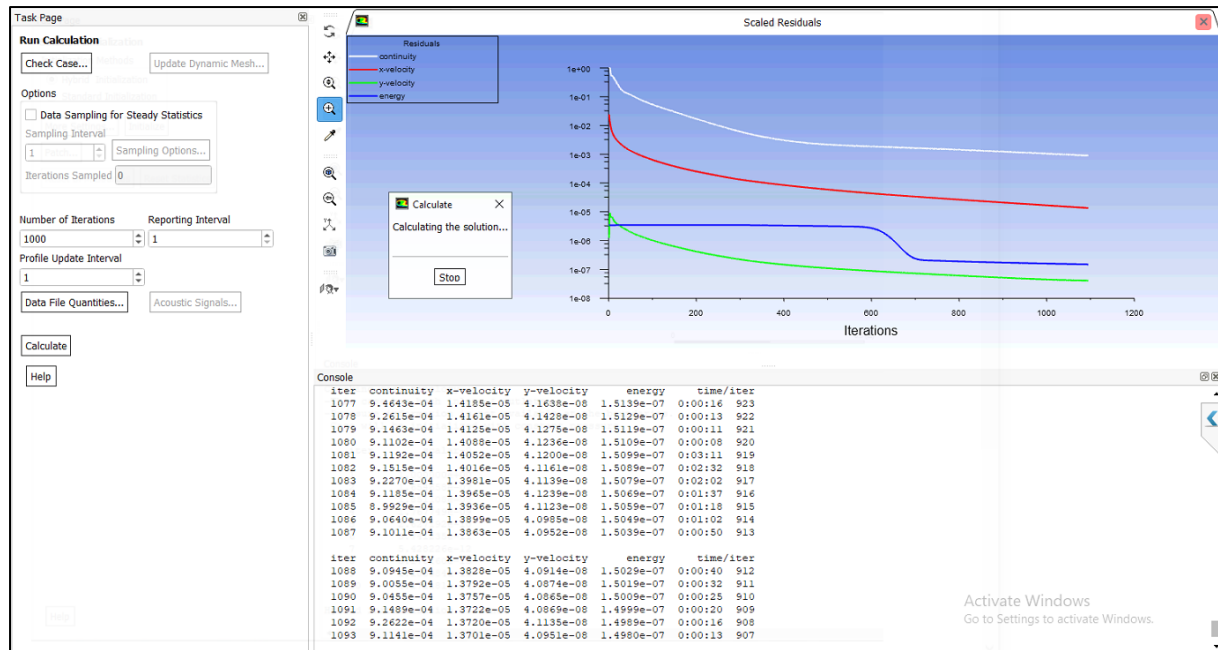
Equations

Residual	Monitor	Check	Convergence	Absolute Criteria
continuity	☒	☒	☒	1e-05
x-velocity	☒	☒	☒	1e-06
y-velocity	☒	☒	☒	1e-06
energy	☒	☒	☒	1e-08

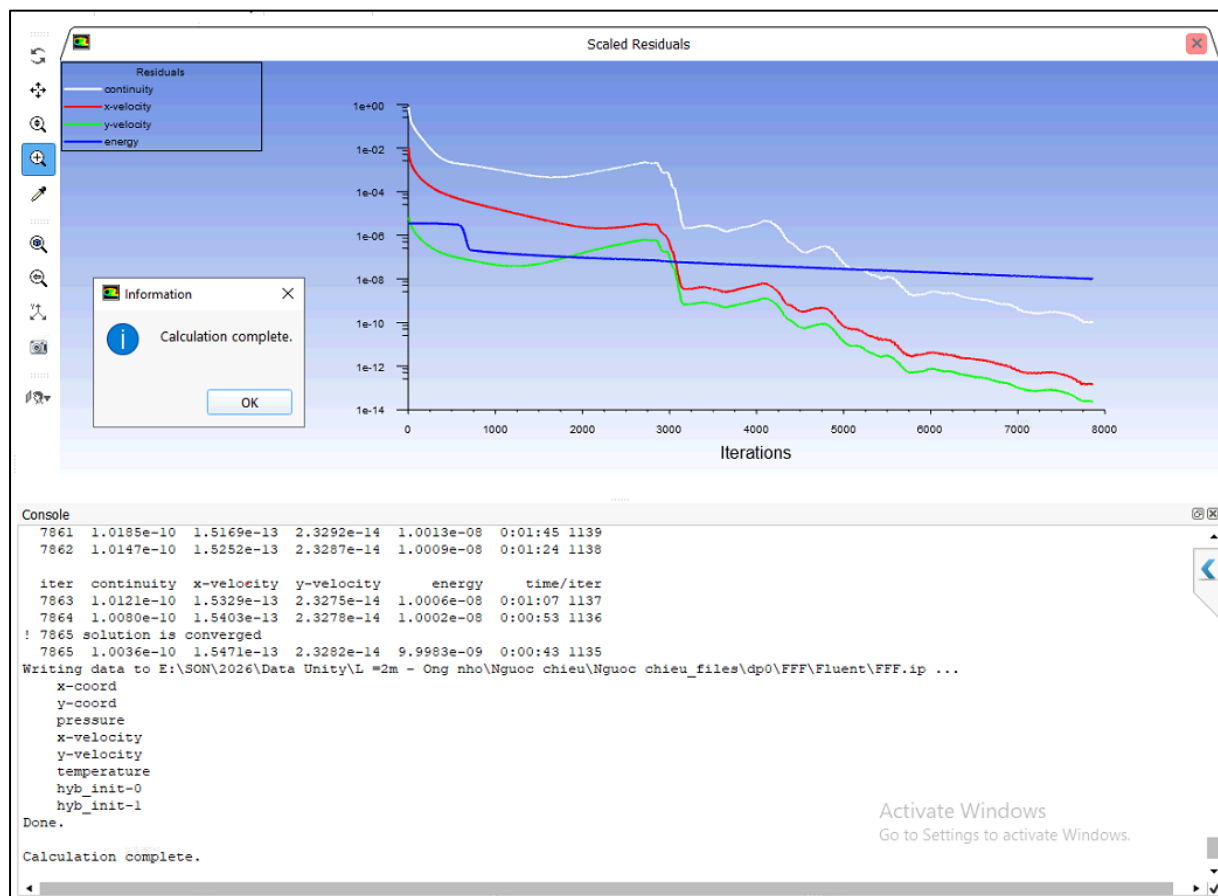
Residual Values
☐ Normalize
☒ Scale
☐ Compute Local Scale
Iterations
5

Convergence Criterion
absolute
Convergence Conditions...
OK Plot Renormalize Cancel Help

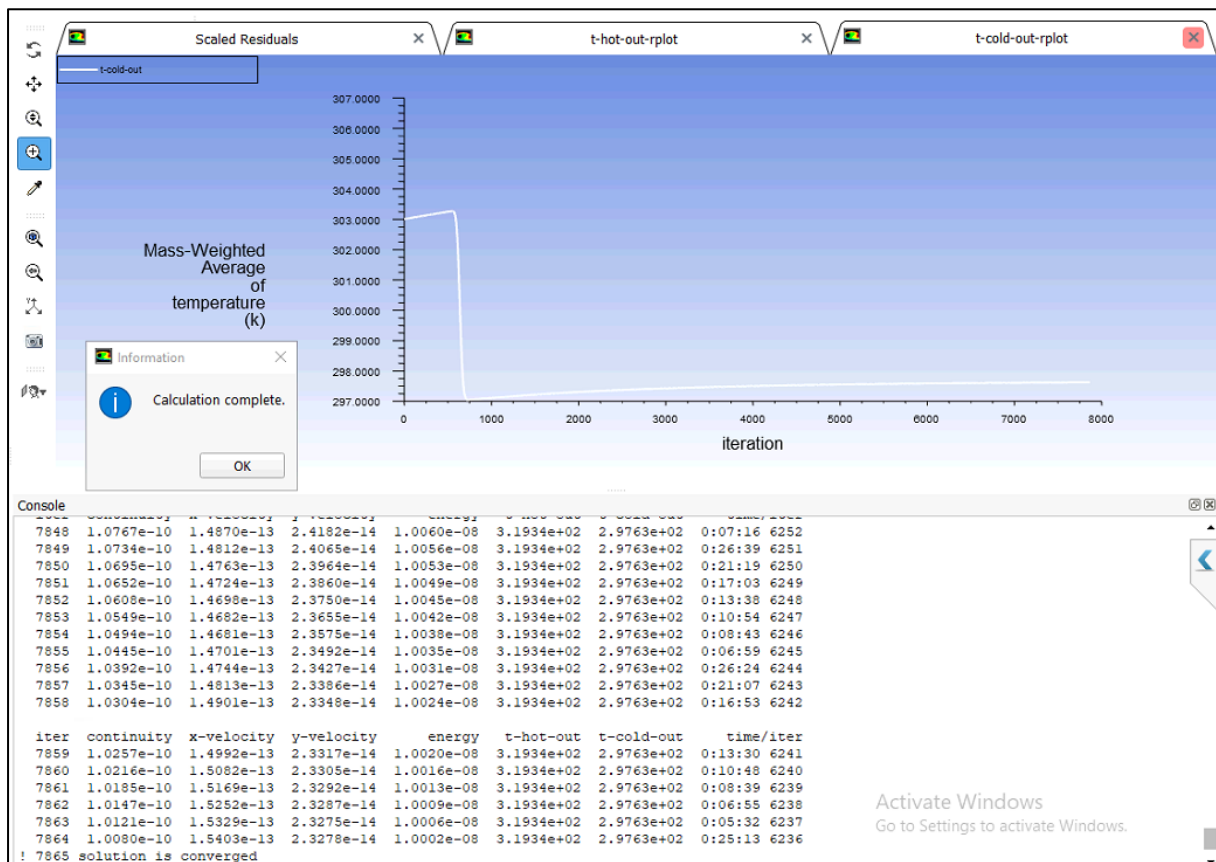
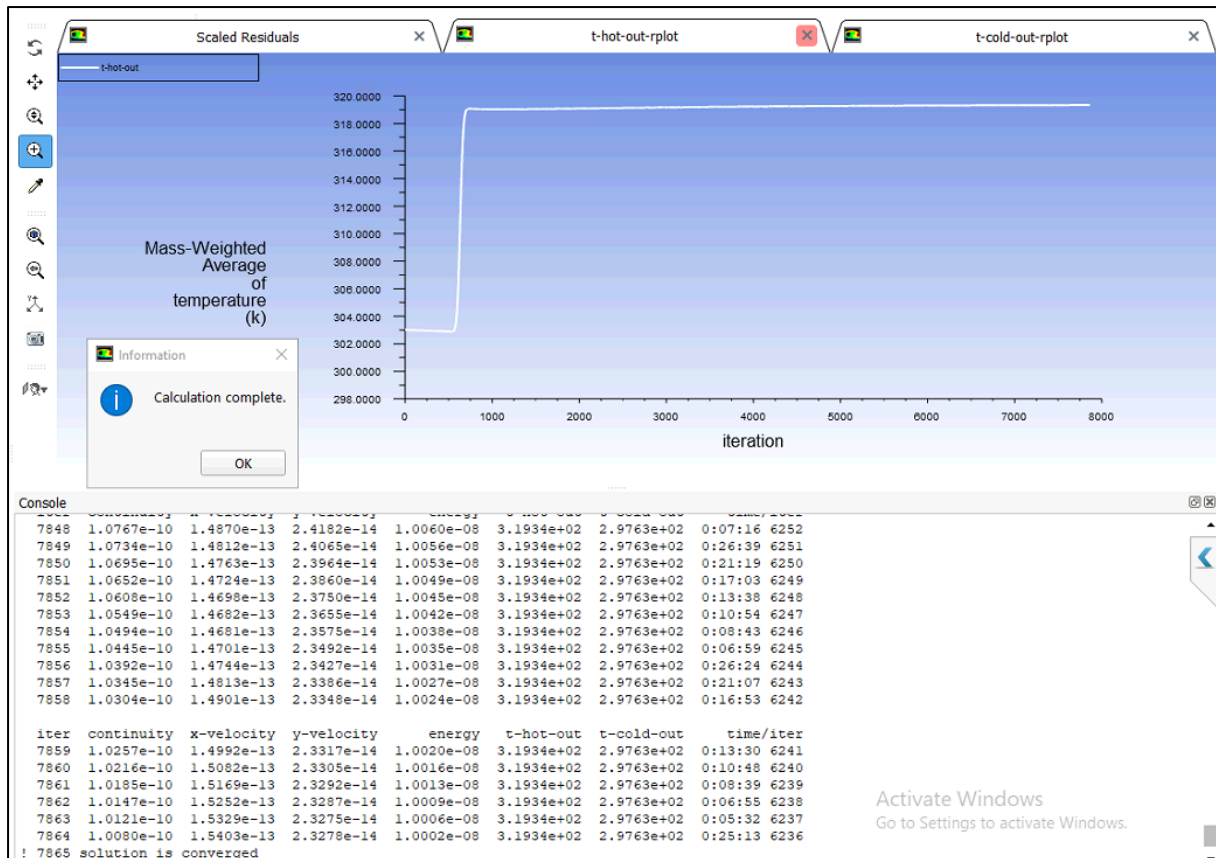
Hình 12. Thiết lập tiêu chuẩn hội tụ và theo dõi sai số (Residual Monitors)



Hình 13. Thiết lập số bước lặp

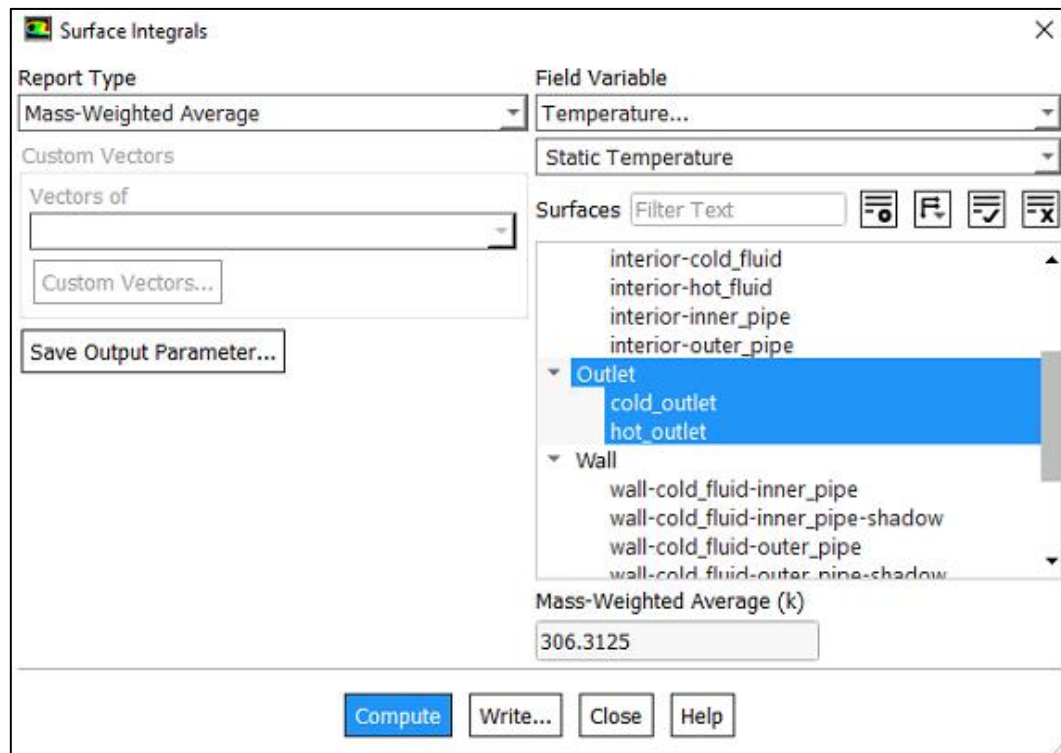


Hình 14. Kiểm tra hội tụ dựa trên Residuals



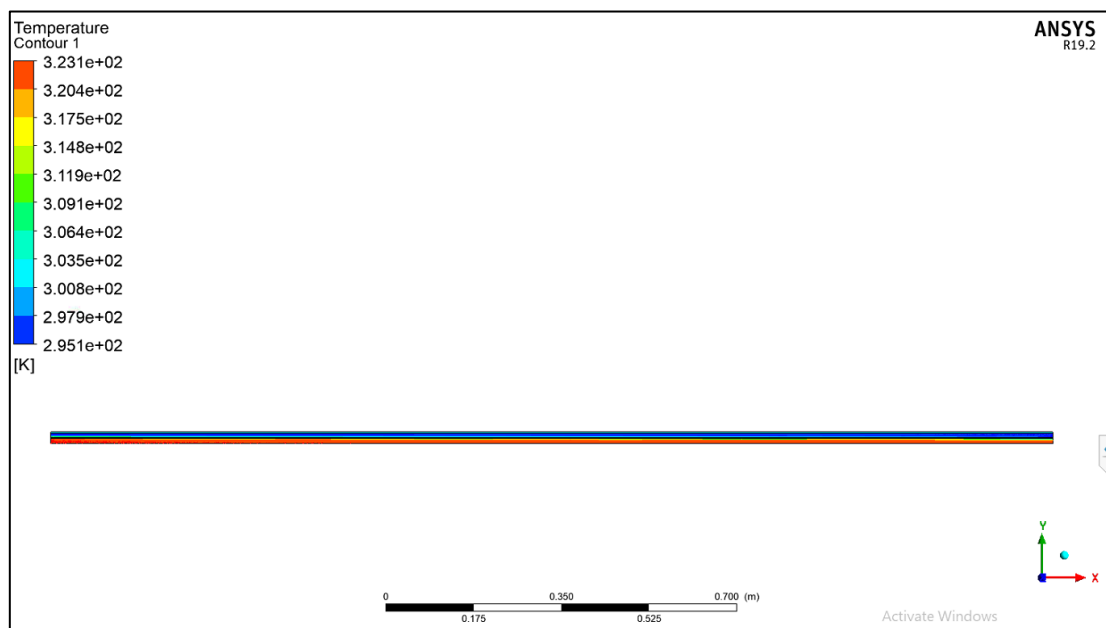
Hình 15. Kiểm tra hội tụ theo tiêu chí vật lý

6. Xử lý kết quả (Post-processing)

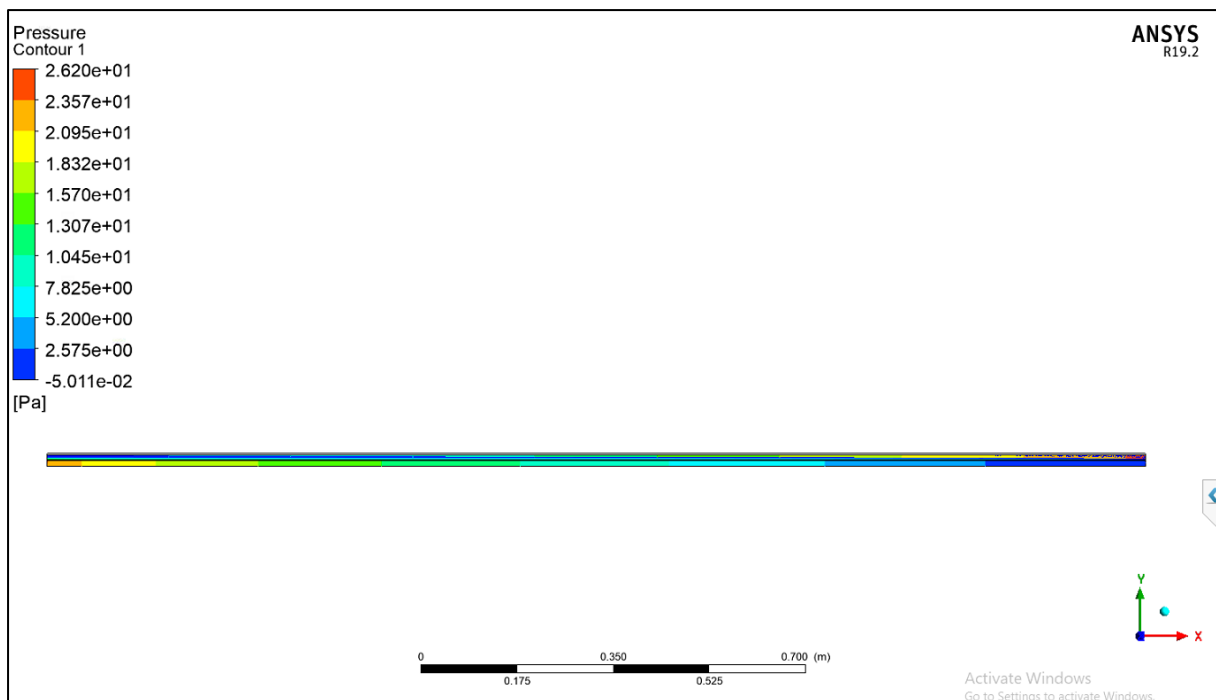


Mass-Weighted Average Static Temperature (k)	
cold_outlet	297.62553
hot_outlet	319.34326
Net	306.31245

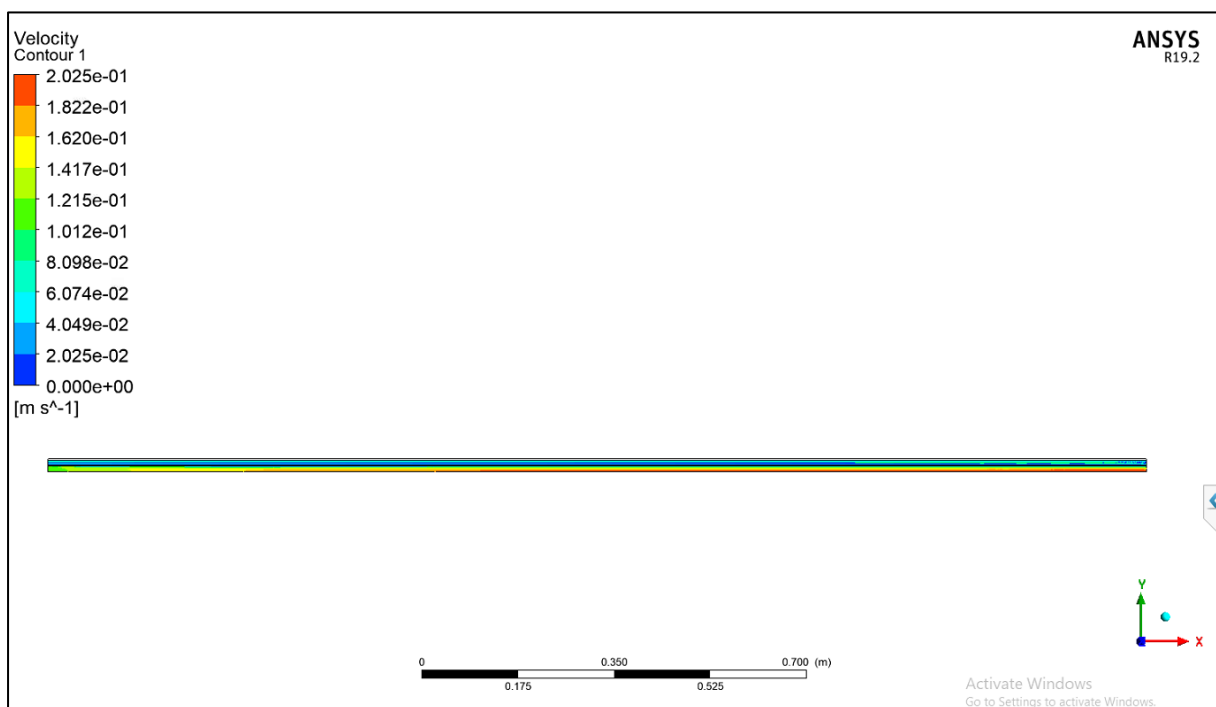
Hình 16. Xuất dữ liệu nhiệt độ đầu ra của nước nóng và lạnh



Hình 17. Trường nhiệt độ của mô hình thí nghiệm ảo



Hình 18. Phân bố áp suất của mô hình thí nghiệm ảo



Hình 19. Phân bố vận tốc của mô hình thí nghiệm ảo