

MÔ PHỎNG PIN TÍCH NHIỆT BẰNG CÔNG CỤ CFD

CFD SIMULATION OF THE THERMAL STORAGE BATTERY

Trần Thị Thu Hương¹,
Vũ Minh Nguyệt², Trần Thị Thu Hằng^{2,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.235>

TÓM TẮT

Nhằm đánh giá khả năng tích - xả của một số loại hệ thống tích nhiệt và ảnh hưởng của các điều kiện lắp đặt, vận hành tới thời gian sử dụng hệ thống thì cần thiết phải mô phỏng hoạt động bằng công cụ Mô phỏng động lực học chất lỏng bằng máy tính (CFD - ANSYS Fluent). Khi so sánh với thực nghiệm, chương trình mô phỏng cho kết quả chính xác. Thời gian tích và xả nhiệt của vật liệu cát ngăn hơn hỗn hợp dầu - cát, vật liệu có biến đổi pha cho thời gian tích và xả nhiệt dài nhất. Đối với pin cát, khi tăng số ống dẫn khí thì tổng thời gian sử dụng sẽ tăng, tăng nhiệt độ vào của khí nóng thì tổng thời gian tích - xả nhiệt không đổi. Kết quả mô phỏng là nền tảng để mở rộng ứng dụng của hệ thống tích nhiệt trong các hệ thống sử dụng năng lượng tái tạo một cách hiệu quả.

Từ khóa: Tích nhiệt; CFD; cát; biến đổi pha.

ABSTRACT

To evaluate the storage and discharge capacity of some types of heat storage systems and the influence of installation and operating conditions on system usage time, it is necessary to simulate operations using the Computational fluid dynamic tool (CFD - ANSYS Fluent). After comparing the experimental and simulation results, the simulation program gives accurate results. The heat accumulation and release time of the sand material is shorter than that of the oil-sand mixture, the phase change material (PCM) has the longest heat accumulation and release time. For sand batteries, when increasing the number of air pipes, the total usage time will increase, if the inlet temperature of hot air rises, the total heat accumulation and discharge time will remain unchanged. The simulation results give the basis to extend the application of heat storage systems in systems that use renewable energy effectively.

Keywords: Thermal storage; CFD; sand; phase change material.

¹Khoa Điện tử và Kỹ thuật Máy tính, Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

²Khoa Năng lượng nhiệt, Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: hang.tranthithu@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 17/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2024

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
E	J	Năng lượng toàn phần của hệ
F	N	Lực do tác động của pha khác (nếu dòng nhiều pha)
G	m/s ²	Gia tốc trọng trường
H	J/kg	Nhiệt hiện
H	J	Enthalpy
K	mm	Chiều sâu cắt
J	kg/s	Dòng khuếch tán
P	kg/m ³	Khối lượng riêng
P	N/m ²	Áp suất
S	W/m ³	Nguồn nhiệt trong hoặc nguồn ấm từ pha khác chuyển thành
T	°C	Nhiệt độ
T	s	Thời gian
V	m/s	Vận tốc

CHỮ VIẾT TẮT

CFD	Mô phỏng động lực học chất lỏng
PCM	Vật liệu biến đổi pha

1. GIỚI THIỆU

Nhiên liệu hóa thạch đã từng là nguồn năng lượng chính của chúng ta trong quá khứ, thúc đẩy quá trình công nghiệp hóa và hiện đại hóa xã hội nhân loại. Nền kinh tế thế giới có thể sẽ tiếp tục phụ thuộc chủ yếu vào nhiên liệu hóa thạch, như than đá, dầu, khí tự nhiên và năng lượng nguyên tử... Hơn thế nữa, nhu cầu về năng lượng nói chung sẽ tiếp tục tăng. Tuy nhiên, việc cho phép tiếp tục sản xuất, sử dụng than đá, dầu cùng như các loại nhiên liệu hóa thạch trên toàn cầu tiếp tục tăng lên mà không có sự hạn chế sẽ gây một sức ép rất lớn đến

môi trường. Thế giới phải tìm kiếm nguồn năng lượng mới, hoặc ngược lại, các công nghệ năng lượng hiện tại phải được cải thiện nhằm mục đích giảm thiểu đáng kể việc tiêu thụ nguyên liệu hóa thạch [1].

Nhu cầu về nguồn năng lượng sạch và bảo vệ môi trường đang thúc đẩy mạnh mẽ nhu cầu về việc phát triển năng lượng tái tạo. Năng lượng tái tạo là một loại hình năng lượng đóng vai trò quan trọng trong tương lai, góp phần giúp nền kinh tế và môi trường thế giới có thể phát triển một cách bền vững. Việc sử dụng năng lượng mặt trời là một trong những hướng tiếp cận hấp dẫn nhất. Tuy nhiên, việc phát triển một hệ thống lưu trữ năng lượng mặt trời hiệu quả và kinh tế là một chủ đề lớn. Việc sử dụng hiệu quả nguồn năng lượng tái tạo phụ thuộc vào việc lưu trữ năng lượng một cách thích hợp để giảm thiểu hạn chế về thời gian giữa cung cấp năng lượng và nhu cầu sử dụng.

Công nghệ có khả năng lưu trữ lượng lớn năng lượng nhiệt cho việc sản xuất điện và kéo dài hoạt động của các nhà máy năng lượng mặt trời trong khoảng thời gian chiếu và tối với một giá tương đối thấp được kỳ vọng sẽ đóng góp đáng kể vào nguồn cung năng lượng toàn cầu trong tương lai. Có ba hình thức lưu trữ nhiệt chính: lưu trữ nhiệt hiện, lưu trữ nhiệt ẩn và lưu trữ nhiệt hóa học [2, 3]. Hệ thống lưu trữ nhiệt hiện là công nghệ phát triển nhất và có sẵn một lượng lớn vật liệu giá rẻ nhưng khả năng lưu trữ nhiệt tương đối thấp. Hệ thống lưu trữ nhiệt ẩn có khả năng lưu trữ nhiệt cao hơn, nhưng thường đi kèm với khả năng truyền nhiệt kém, cần tăng cường khả năng truyền nhiệt. Hệ thống lưu trữ nhiệt hóa học dung lượng lưu trữ cao nhất nhưng hệ thống gặp khó khăn khi đảo ngược quá trình hóa học một cách hiệu quả và ổn định trong thời gian dài.

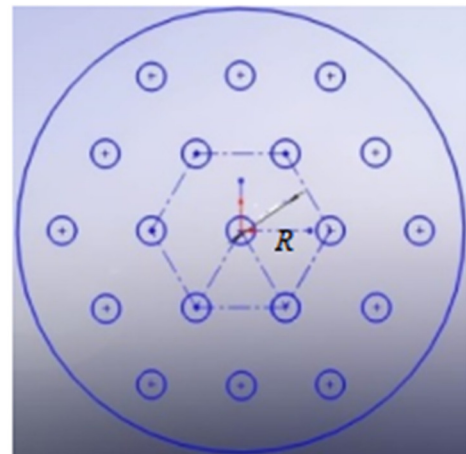
Công cụ mô phỏng động lực học chất lỏng (CFD) là công cụ hữu hiệu để mô phỏng các quá trình trong nhiều lĩnh vực công nghiệp như hàng không, vũ trụ, ô tô, xây dựng, hóa chất, thiết bị công nghiệp,... [4]. Trong nghiên cứu này, CFD chạy trên phần mềm ANSYS Fluent sẽ được sử dụng để mô phỏng hoạt động của hệ thống trữ nhiệt sử dụng cát và hỗn hợp cát - dầu để trữ nhiệt hiện và hệ thống trữ nhiệt sử dụng vật liệu biến đổi pha là hỗn hợp $\text{KNO}_3 - \text{NaNO}_3$. Chương trình được xây dựng dựa theo mô hình thực nghiệm của [5] về cát. Kết quả mô phỏng với cát được so sánh với thực nghiệm để đánh giá kết quả mô hình. Sau đó mô hình được sử dụng để đánh giá điều kiện đầu vào tới thời gian trữ - xả nhiệt, đồng thời các vật liệu khác nhau cũng được tính toán để đánh giá sự thay đổi nhiệt độ và thời gian sử dụng.

2. MÔ HÌNH

2.1. Mô tả hình học

Đối tượng mô phỏng là mô hình thực nghiệm được đưa ra trong tài liệu [5] như hình 1. Bộ tích nhiệt được làm bằng thép nhẹ, đường kính trong là 203mm, chiều cao là 600mm. Các ống dẫn không khí được làm từ thép không gỉ, đường kính trong là 9,4mm, đường kính ngoài 12,7mm. Các chất tải nhiệt được đi trong ống, các ống này được lắp đặt cách đều nhau bên trong bể chứa theo hình lục giác như hình 1, kết cấu tích trữ nhiệt được điền đầy giữa khe ống.

Quá trình mô phỏng được thực hiện theo hai giai đoạn liên tiếp: tích nhiệt và xả nhiệt. Nhiệt độ ban đầu của kết cấu trữ nhiệt trước khi được tích nhiệt là 22°C , sau đó được tích nhiệt thông qua sự di chuyển của không khí nóng trong các ống dẫn khí. Sau một khoảng thời gian nhất định, quá trình tích nhiệt tạm dừng và chuyển sang giai đoạn xả nhiệt, nơi mà không khí được sử dụng để truyền nhiệt từ vật liệu lưu trữ (cát, hỗn hợp cát - dầu hoặc PCM - phase change materials - Vật liệu biến đổi pha) ra môi trường xung quanh.



Hình 1. Sơ đồ bố trí thiết bị được chọn làm đối tượng mô phỏng [5]

Để đánh giá các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả tích và xả nhiệt, chương trình mô phỏng sẽ thiết lập cho tốc độ không khí đầu vào 3,8m/s, các trường hợp khác nhau:

- Trường hợp cùng vật liệu cát: Đánh giá ảnh hưởng của số ống khi nhiệt độ không khí đầu vào cố định với mật độ ống sẽ được thay đổi, ví dụ xét 11, 19, 26 ống được bố trí trên cùng diện tích mặt cắt ngang với nhiệt độ đầu vào là 55°C trong quá trình tích nhiệt, nhiệt độ đầu vào của không khí trong quá trình xả nhiệt là 30°C; ảnh hưởng của nhiệt độ đầu vào khi số ống không đổi là 19 ống với nhiệt độ đầu vào là 55°C, 100°C, 147°C.

- Thay đổi vật liệu gồm các trường hợp cát, hỗn hợp cát - dầu, vật liệu biến đổi pha (nóng chảy/đông đặc) là hỗn hợp của KNO₃ - NaNO₃ theo tỉ lệ 4:6. Tính chất nhiệt vật lý của các vật liệu này được lấy theo tài liệu [5, 6].

2.2. Cơ sở lý thuyết

Chương trình mô phỏng dựa trên lý thuyết tổng quát được trình bày trong tài liệu [7]. Các phương trình cơ bản sẽ được liệt kê tóm tắt ở dưới đây. Thêm vào đó, với dòng khí chuyển động trong ống, mô hình rối k - ε tiêu chuẩn được lựa chọn để mô tả dòng rối trong ống.

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \tag{1}$$

Phương trình bảo toàn momen:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \rho \vec{g} + \vec{F} \tag{2}$$

Phương trình bảo toàn năng lượng tổng quát:

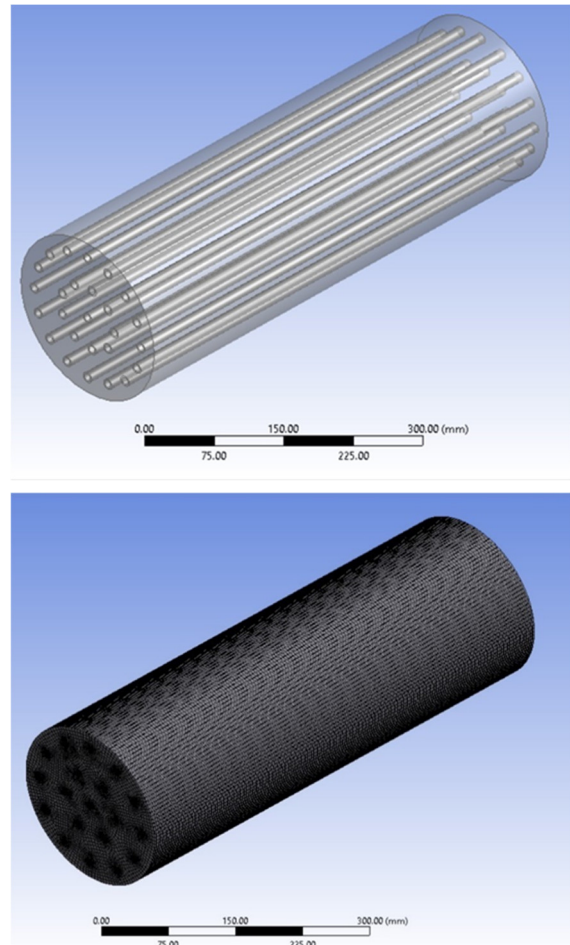
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\vec{k}_{eff} \cdot \vec{v}) \right) + S_n \tag{3}$$

Phương trình bảo toàn năng lượng cho vật liệu biến đổi pha:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho H) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} H) = \nabla \cdot (k \nabla T) + S \tag{4}$$

2.3. Cách thiết lập chương trình và điều kiện biên

Mô hình được dựng trên công cụ Modeller của Workbench sau đó được chia lưới dạng có cấu trúc như hình 2. Chỉ số chất lượng lưới đều nằm trong dải rất tốt. Điều kiện biên của không khí đầu vào là điều kiện tốc độ đầu vào velocity inlet, đầu ra là cân bằng áp suất môi trường pressure outlet, các vách của ống là dạng tường wall. Giữa ống và kết cấu trữ nhiệt có dạng biên liên hợp via coupling. Điều kiện hội tụ của thuật toán là 10⁻⁶ cho tất cả các chỉ số.



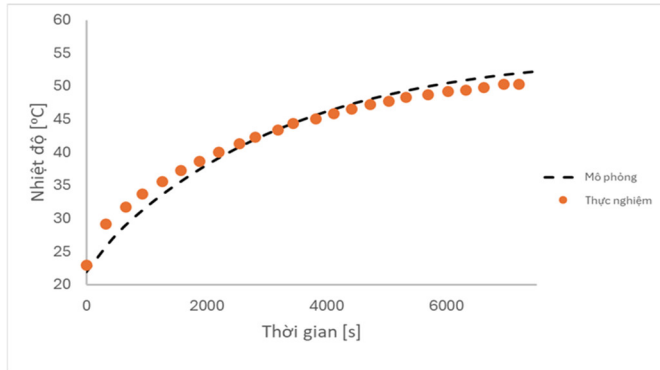
Hình 2. Mô hình và chia lưới đối tượng mô phỏng

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU/TÍNH TOÁN/MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá mô hình

Để đánh giá độ chính xác của nghiên cứu, kết quả mô phỏng với chất tích nhiệt là cát được sử dụng để so sánh với kết quả thực nghiệm có được từ báo cáo [5]. Hình 3 thể hiện phân bố nhiệt độ trung bình theo thể tích của bình trữ nhiệt tại các thời điểm khác nhau. Dựa trên đồ thị so sánh kết quả, ta có thể thấy sự tương đồng giữa hai kết quả trên. Các điểm dữ liệu từ kết quả mô phỏng có xu hướng giống với kết quả thực nghiệm, cho thấy kết quả mô phỏng là chính xác và có thể tin cậy. Tuy nhiên, vẫn có sự chênh lệch giữa hai bộ dữ liệu này, điều này có thể do trong mô phỏng, mô hình được giả thiết là cách nhiệt hoàn toàn, trong khi trong thực tế hệ thống này có thể bị cách nhiệt chưa tốt, trong báo cáo [5] các tác giả không đánh giá về vấn đề cách nhiệt. Bên cạnh đó sự chênh lệch này có thể là do các yếu tố như sai số đo lường thực nghiệm, sai số do mô phỏng hoặc đặc điểm cụ thể của vị trí đo. Mặc dù có sai số nhỏ, sự tương đồng tổng thể giữa kết quả thực nghiệm và mô phỏng là đáng kể chứng minh

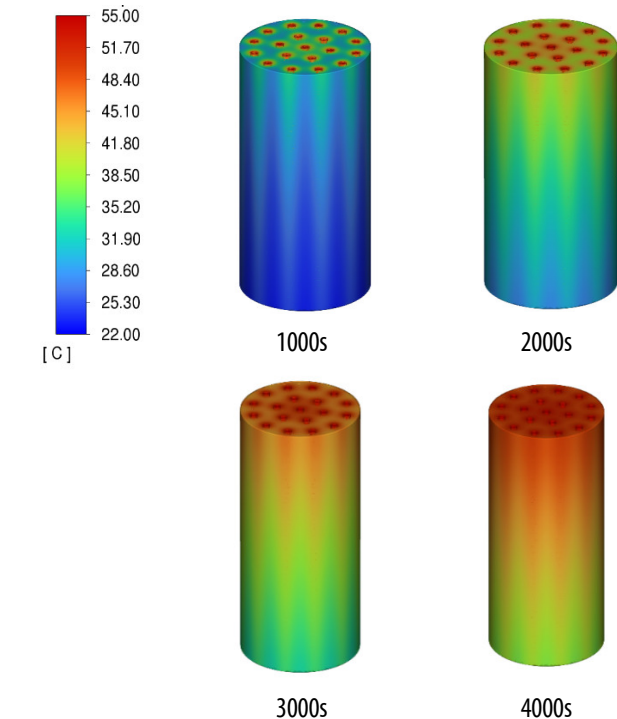
tính đúng đắn của mô hình trong bài toán mô phỏng. Sau đây, chương trình mô phỏng sẽ sử dụng để phân tích thời gian tích - xả nhiệt cho cát và các loại vật liệu khác ở các điều kiện khác nhau.



Hình 3. So sánh nhiệt độ trung bình của cát theo thời gian giữa thực nghiệm và mô phỏng

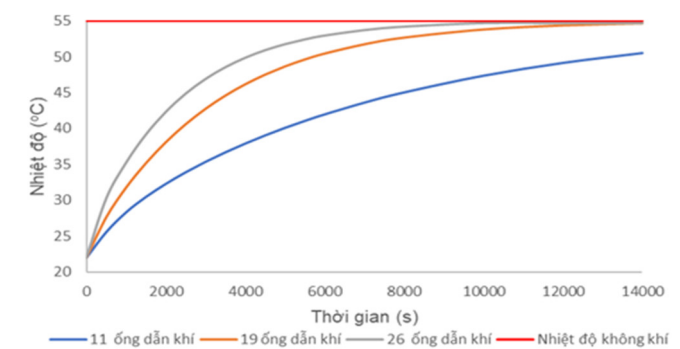
3.2. Phân bố nhiệt độ của hệ thống trữ nhiệt sử dụng cát theo thời gian

Hình 4 thể hiện phân bố trường nhiệt độ của pin cát theo thời gian với 19 ống dẫn khí, chúng ta có thể nhận thấy sự biến đổi đáng kể trong nhiệt độ của vật liệu tích nhiệt, đặc biệt là theo chiều dọc của pin hay chiều chuyển động của không khí trong ống. Tính đến thời điểm 1000s, trường nhiệt độ của cát vẫn chưa có sự thay đổi quá rõ ràng, cho đến khi pin cát được tích nhiệt ở thời điểm 4000s, có thể thấy rõ ràng sự thay đổi nhiệt độ ở một phần hai dọc theo chiều cao pin cát. Sự thay đổi này thể hiện rõ ràng nhất thông qua nhiệt độ thu được từ các mặt cắt.

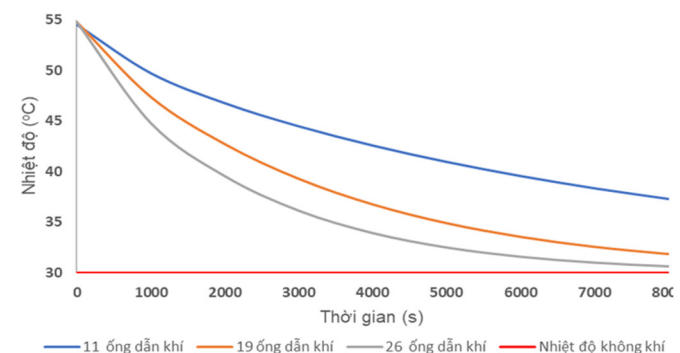


Hình 4. Trường nhiệt độ của pin cát với 19 ống dẫn khí theo thời gian

3.3. Ảnh hưởng của các yếu tố vận hành thời gian trữ - xả nhiệt



Hình 5. Nhiệt độ trung bình của cát ở giai đoạn tích nhiệt

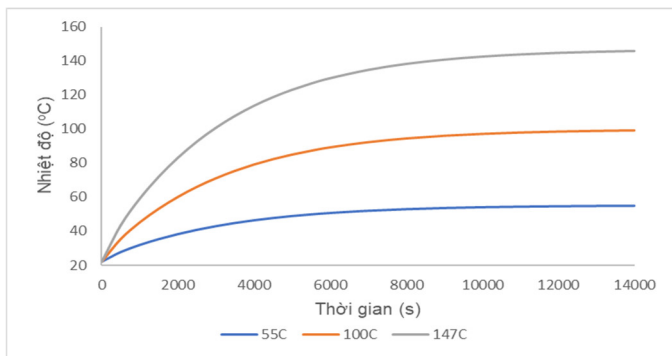


Hình 6. Nhiệt độ trung bình của cát ở giai đoạn xả nhiệt

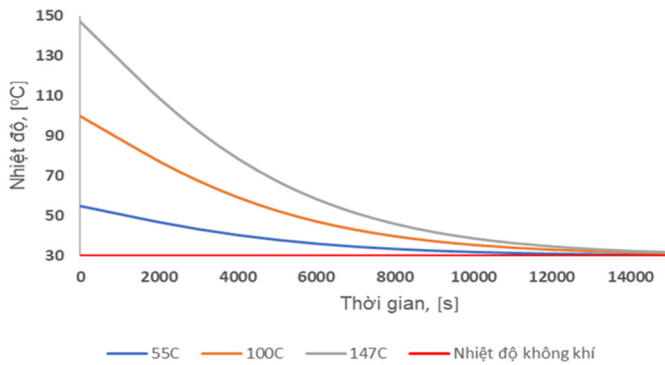
Hình 5 và 6 thể hiện sự thay đổi nhiệt độ trung bình của cát trong hai giai đoạn tích và xả nhiệt khi thay đổi số ống. Nhìn vào đồ thị ta thấy khi số ống tăng thì tốc độ tích và xả

hiệu năng, điều này do tăng diện tích trao đổi nhiệt giữa khí và chất trữ nhiệt nên tăng dòng nhiệt. Tuy nhiên khi tăng từ 11 ống lên 19 ống thì có sự khác biệt rất lớn nhưng so sánh trường hợp 19 ống và 26 ống thì sự khác biệt giảm đi. Điều này chứng tỏ nếu tăng số ống tới một mức độ nào đó thì hiệu quả trao đổi nhiệt không thay đổi khác biệt.

Hình 7 và 8 trình bày ảnh hưởng của nhiệt độ khí đầu vào tới thời gian trữ và xả nhiệt. Ta có thể thấy nhiệt độ đầu vào của không khí nóng không ảnh hưởng đến tổng thời gian tích nhiệt và xả nhiệt của pin cát. Tuy nhiên, tốc độ tăng nhiệt độ của cát càng nhanh khi nhiệt độ của không khí tăng do công suất cấp nhiệt càng lớn và trong quá trình xả nhiệt thì tốc độ giảm nhiệt độ nhanh khi nhiệt độ ban đầu lớn.



Hình 7. Nhiệt độ trung bình của cát ở giai đoạn tích nhiệt

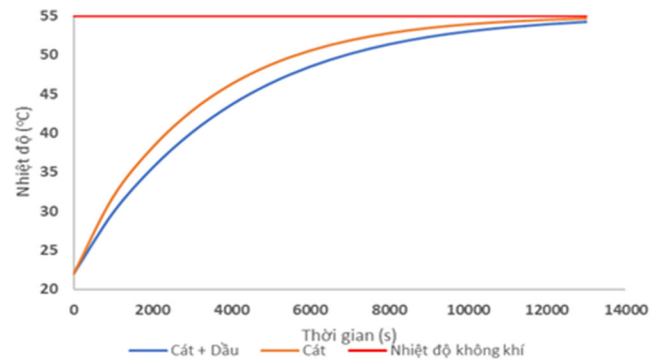


Hình 8. Nhiệt độ trung bình của cát ở giai đoạn xả nhiệt

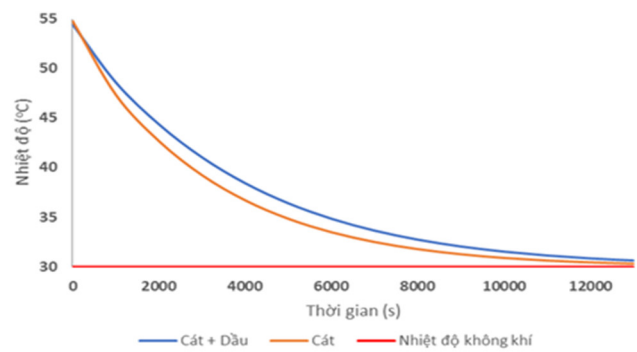
3.4. Hệ thống tích nhiệt sử dụng hỗn hợp dầu - cát

Hình 9 và 10 thể hiện biến thiên nhiệt độ trung bình của vật liệu cát và hỗn hợp cát - dầu trong quá trình tích và xả nhiệt ở cùng điều kiện nhiệt độ không khí vào và số ống. Qua đồ thị ta thấy, tốc độ tăng nhiệt độ trong giai đoạn tích nhiệt và tốc độ giảm nhiệt độ trong giai đoạn xả nhiệt của hỗn hợp dầu - cát chậm hơn so với cát. Điều này là do trong cát có các lỗ rỗng, trong khi trong hỗn hợp giữa dầu - cát thì dầu điền đầy các lỗ rỗng, dẫn tới nhiệt dung riêng của hỗn hợp dầu - cát lớn hơn so với nhiệt dung riêng của cát nên cùng một dòng nhiệt thì nhiệt độ của hỗn hợp cát - dầu sẽ thay đổi chậm hơn. Tức là khả

năng tích nhiệt của hỗn hợp dầu - cát tốt hơn so với chỉ sử dụng cát làm vật liệu lưu trữ nhiệt, pin sử dụng hỗn hợp dầu - cát bền hơn so với pin chỉ sử dụng cát thường.



Hình 9. Nhiệt độ trung bình của vật liệu ở giai đoạn tích nhiệt



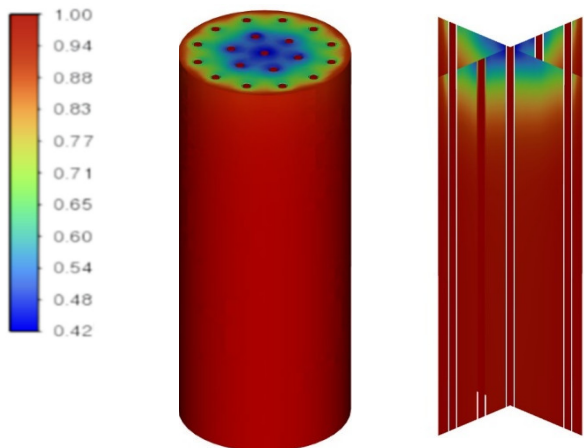
Hình 10. Nhiệt độ trung bình của vật liệu ở giai đoạn xả nhiệt

3.5. Hệ thống tích nhiệt sử dụng vật liệu biến đổi pha

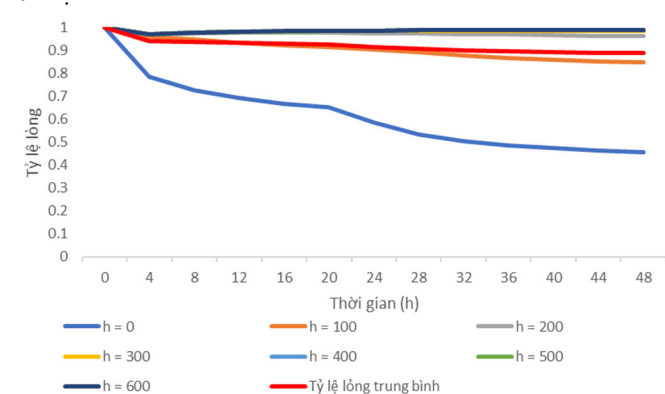
Hình 11 thể hiện hình ảnh tỷ lệ lỏng của pin trong quá trình xả nhiệt tại thời điểm 48 giờ sau khi PCM xả nhiệt cho không khí, không thấy có sự biến động quá lớn, chỉ hóa rắn một phần rất nhỏ. Tỷ lệ lỏng của vật liệu trong quá trình xả nhiệt biến đổi pha theo thời gian, tỷ lệ PCM hóa lỏng ở các mặt cắt ứng với với độ cao 0, 100, 200, 300, 400, 500mm trong quá trình xả nhiệt 48 giờ thể hiện ở hình 12.

Nhiệt độ không khí vào có thể được coi như ngay lập tức được gia nhiệt đến nhiệt độ của PCM. So với vật liệu lưu trữ nhiệt là cát, trong quá trình xả nhiệt, thời gian cần để nhiệt độ của cát đạt đến nhiệt độ bão hòa với không khí là khoảng 4 giờ. Điều này thể hiện sự chênh lệch đáng kể trong khả năng xả nhiệt giữa PCM và cát, với PCM có thể xả nhiệt nhanh hơn và hiệu quả hơn. Nói một cách khác, độ bền của pin sử dụng vật liệu biến đổi pha tích được nhiều năng lượng và thời gian sử dụng dài hơn so với vật liệu không biến đổi pha. Tuy nhiên, sản xuất PCM thường đòi hỏi công nghệ và quy trình sản xuất đặc biệt. Điều này làm tăng chi phí sản xuất, và một số loại PCM đặc biệt có thể rất đắt đỏ. Cùng với đó, quy trình sản xuất PCM thường đòi hỏi điều kiện chính xác về nhiệt độ và áp suất để đảm bảo chất lượng và tính đồng nhất của sản

phẩm. Điều này có thể làm tăng độ phức tạp và chi phí sản xuất. Một số PCM sử dụng các nguyên liệu có thể có tác động đến môi trường trong quá trình chiết tách hoặc sản xuất. Ngoài ra, quy trình sản xuất có thể tạo ra chất thải và sản phẩm phụ có thể ảnh hưởng đến môi trường. Mặc dù PCM mang lại nhiều lợi ích trong việc lưu trữ nhiệt, nhưng nhược điểm về giá thành, quy trình sản xuất, và tác động đến môi trường là những vấn đề cần xem xét khi áp dụng chúng trong các ứng dụng thực tế.



Hình 11. Hình ảnh đường mức thể hiện tỷ lệ lỏng của pin trong quá trình xả nhiệt



Hình 12. Tỷ lệ lỏng của vật liệu trong quá trình xả nhiệt biến đổi pha theo thời gian

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Bài báo đã trình bày kết quả mô phỏng CFD cho hệ thống trữ nhiệt sử dụng cát, hỗn hợp cát - dầu và vật liệu biến đổi pha. Kết quả cho thấy: Mô hình CFD cho kết quả phù hợp với thực nghiệm và có thể ứng dụng để nghiên cứu các ảnh hưởng của các yếu tố tới quá trình vận hành của pin. Sự thay đổi nhiệt độ của vật liệu lưu trữ nhiệt thay đổi dọc theo chiều cao của pin, vùng không gian gần các ống dẫn khí xảy ra sự thay đổi sớm nhất. Việc thay đổi số lượng ống dẫn khí, pin với 11 ống dẫn khí có tổng thời gian xả nhiệt cũng như tích nhiệt dài hơn hẳn so với pin sử dụng 19 hay 26 ống dẫn khí. Khi tăng số lượng ống dẫn

khí (pin sử dụng 26 ống so với pin sử dụng 19 ống dẫn khí) hiệu quả về mặt thời gian tích và xả nhiệt không quá lớn. Nhiệt độ không khí nóng đi vào ống dẫn khí không ảnh hưởng đến tổng thời gian tích nhiệt của pin cát, tuy nhiên với nhiệt độ không khí càng cao, tốc độ tăng nhiệt độ của cát càng nhanh. So với pin nhiệt chỉ sử dụng vật liệu lưu trữ nhiệt là cát, việc hòa trộn dầu với cát giúp cho nhiệt dung riêng cao hơn, khiến lượng nhiệt mà pin tích được cao hơn. PCM có những ưu điểm của riêng mình, như khả năng lưu trữ lượng nhiệt lớn trong khoảng nhiệt độ nhất định và khả năng giữ nhiệt độ ổn định trong thời gian dài. Nhưng so với PCM, cát là một vật liệu phổ biến, rẻ tiền và dễ kiếm, điều này giúp giảm chi phí sản xuất so với một số loại PCM đặc biệt. Cát so có khả năng truyền nhiệt tốt, giúp tăng cường hiệu suất của hệ thống lưu trữ nhiệt. Trong khi PCM thay đổi trạng thái pha để lưu giữ năng lượng, cát so giữ nguyên trạng thái pha của nó trong quá trình truyền nhiệt, điều này có thể làm giảm mức độ mất mát năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Holeczek J. L., Geli H. M. E., Sawalhah M. N., Valdez R., "A Global Assessment: Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050," *Sustainability*, 14/8, 2022.
- [2]. Han X., Xu B., Li B., Kumar A., Yang Y., "Experimental Study of a Novel Thermal Storage System using Sands with High-Conductive Fluids Occupying the Pores," *International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Montreal, Quebec, Canada, November 14-20, 2014.
- [3]. Sanyal S., Borgohain A., Gupta S. P., "Simulation of Charging and Discharging a Thermal Energy Storage System Involving Phase Change Material," *Energy Storage*, 253-276, 2021.
- [4]. Tumilowicz E., C. L. Chan, P. Li, Xu, B., "An enthalpy formulation for thermocline with encapsulated PCM thermal storage and benchmark solution using the method of characteristics," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 79, 362-377, 2014.
- [5]. Wei Y., "The development and application of CFD technology in mechanical engineering," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 274, 2017.
- [6]. Xu B., P. Li, Chan C., Tumilowicz E., "General volume sizing strategy for thermal storage system using phase change material for concentrated solar thermal power plant," *Applied Energy*, 140, 256-268, 2015.
- [7] ANSYS, *ANSYS Fluent 2023R1 Theory guide*. 2023.

AUTHORS INFORMATION

Tran Thi Thu Huong¹, Vu Minh Nguyet², Tran Thi Thu Hang²

¹Faculty of Electronics and Computer Engineering, University of Economics - Technology for Industries, Vietnam

²Department of Thermal Energy, School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam