NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG SỐ 2D DÒNG PHUN VUÔNG GÓC ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG LÀM MÁT PIN XE Ô TÔ ĐIỆN

NUMERICAL INVESTIGATION OF 2D JET IMPINGEMENT COOLING FOR ELECTRIC VEHICLE BATTERIES

Nguyễn Anh Tuấn[1], Nguyễn Văn Thành[2], Nguyễn Văn Kựu[1,*], Nguyễn Văn Lập[1]

DOI: https://doi.org/10.57001/huih5804.2026.055

TÓM TẮT

Pin là một thành phần quan trọng của xe năng lượng mới, và an toàn nhiệt là vấn đề then chốt trong quá trình phát triển loại pin này. Trong quá trình sạc và xả, việc làm thế nào để tăng cường khả năng tản nhiệt nhanh và đồng đều của pin đã trở thành vấn đề hết sức cấp thiết. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Ansys Fluent để xây dựng mô hình 2D và mô phỏng đặc tính dòng chảy và truyền nhiệt của dòng phun vuông góc làm mát pin xe ô tô điện bằng các dung dịch làm mát khác nhau, đồng thời khảo sát ảnh hưởng của số Reynolds đến vận tốc dòng phun và khả năng truyền nhiệt của hệ thống làm mát pin sử dụng dòng phun vuông góc lên tấm làm mát để làm mát cục bộ các khu vực sinh nhiệt.

Từ khoá: *CFD; dòng phun vuông góc; pin xe điện; Ansys Fluent.*

ABSTRACT

The battery is a key component in new energy vehicles, and ensuring thermal safety remains a critical challenge in its development. During charging and discharging cycles, enhancing the efficiency and uniformity of heat dissipation has become increasingly urgent. In this study, a two-dimensional numerical model was developed using ANSYS Fluent to simulate the flow dynamics and heat transfer characteristics of jet impingement cooling applied to electric vehicle batteries with various coolant solutions. The investigation further examines the effects of the Reynolds number on jet velocity and thermal performance, with a focus on the local cooling efficiency of heat-generating regions through perpendicular jet impingement on a cooling plate

Keywords: *CFD; impinging jet; electric vehicle battery; Ansys Fluent.*

[1]Khoa Cơ khí, Trường Đại học Thuỷ lợi

[2]Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

[*]Email: nguyenvankuu123@tlu.edu.vn

Ngày nhận bài: 12/9/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 12/12/2025

Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

1. GIỚI THIỆU

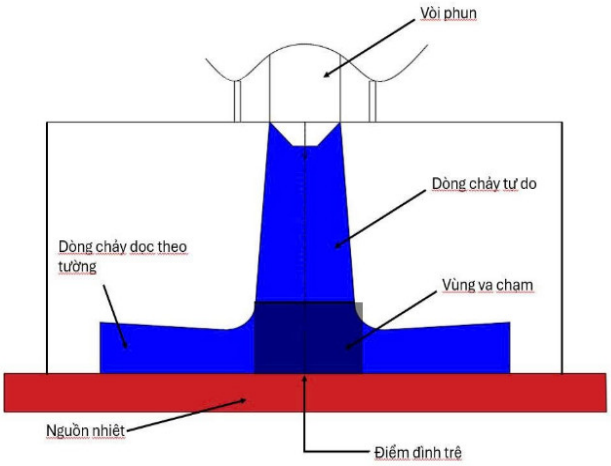
Việc chuyển đổi từ xe sử dụng động cơ đốt trong sang xe sử dụng động cơ điện gặp thách thức ở phương pháp vận hành và duy trì hiệu quả năng lượng của Pin, tuổi thọ và hiệu suất phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ. Vì bộ Pin luôn làm việc ở tốc độ xả và sạc cao, dẫn đến tốc độ sinh nhiệt cao, sự phân bố nhiệt độ không đồng đều. Nhiệt độ cao trong Pin dẫn đến các phản ứng hóa học trên diện rộng trong Pin, làm giảm tuổi thọ của Pin. Do đó, việc điều chỉnh và kiểm soát nhiệt độ của Pin thông qua hệ thống làm mát Pin là việc rất quan trọng và cần thiết [1]. Các công nghệ quản lý nhiệt hiện tại cho pin EV bao gồm làm mát không khí [2], làm mát bằng chất lỏng [3] và làm mát bằng vật liệu thay đổi pha [4]. Hệ thống làm mát bằng chất lỏng, tận dụng hệ số truyền nhiệt cao của dòng chất lỏng, có độ dẫn nhiệt và nhiệt dung riêng lớn hơn nhiều so với không khí, dẫn đến tốc độ truyền nhiệt nhanh hơn. Trong môi trường nhiệt độ thấp, hệ thống làm mát bằng chất lỏng có thể quản lý pin một cách hiệu quả thông qua các bước như lưu trữ năng lượng, giải phóng nhiệt, tản nhiệt và kiểm soát nhiệt độ, từ đó tăng cường sự ổn định của hệ thống và kéo dài tuổi thọ pin. Các phương pháp tấm làm mát bằng chất lỏng hiện tại đạt được khả năng tản nhiệt hiệu quả cho các tình huống pin phát ra nhiệt thấp hơn. Tuy nhiên, khi nhu cầu về khả năng sạc nhanh tăng lên, các kịch bản sạc-xả tốc độ cao hơn có khả năng chi phối việc sạc pin trong tương lai [5]. Với việc pin tạo ra nhiều nhiệt hơn đáng kể trong thời gian ngắn, các tấm làm mát có thể gặp phải những hạn chế trong việc tản nhiệt hiệu quả. Hơn nữa, trong các điều kiện khắc nghiệt như lạm dụng nhiệt, đoản mạch, sạc quá mức, xâm nhập và nghiền nát pin lithium-ion [6], các phương pháp tấm làm mát bằng chất lỏng có thể dẫn đến quá nhiệt, có khả năng gây ra sự cố nhiệt [7] và các sự cố cháy nghiêm trọng

trong xe điện. Do đó, nghiên cứu sử dụng dòng phun để làm mát pin trên xe ô tô điện là phương pháp có tiềm năng vượt trội trong việc làm mát cục bộ, cho phép giảm nhiệt độ nhanh chóng ở các điểm nóng. Nhờ khả năng làm mát trực tiếp với tốc độ truyền nhiệt cao, công nghệ này không chỉ giúp duy trì hiệu suất mà còn tối ưu hóa thiết kế nhỏ gọn và tiết kiệm không gian trong ô tô điện.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

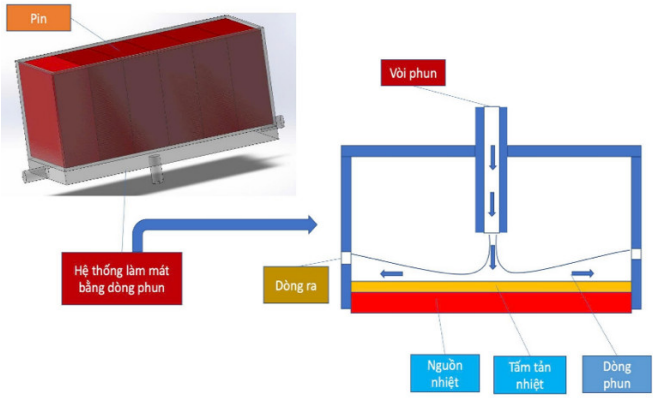
2.1. Xây dựng mô hình vật lý

Khi sử dụng hệ thống dòng phun để làm mát, dòng phun được chia thành 3 vùng chính như trong hình 1, bao gồm: Dòng chảy tự do, dòng chảy dọc tường và vùng va chạm. Khi đó, một lớp biên vận tốc và nhiệt độ rất mỏng được hình thành gần điểm đình trệ và cường độ nhiễu loạn cao sinh ra bởi dòng tia tốc độ cao có thể đạt hiệu quả truyền nhiệt lớn hơn, qua đó tạo ra tác dụng làm mát đáng kể đối với vùng nhiệt độ cao cục bộ của nguồn thông lượng nhiệt lớn [8].



Hình 1. Cấu trúc dòng phun

Mô hình tổng quát của bài toán mô phỏng được thiết lập ở hình 2, mô hình thể hiện đầy đủ cấu hình của dòng phun tia, bao gồm: Dòng chất lỏng được cấp từ bơm đi vào vòi và thoát ra xuống thẳng bề mặt phẳng của tấm tản nhiệt. Vòi phun với đường kính trong là 4mm và đường kính ngoài là 6mm, được đặt chính giữa và hướng vuông góc, cách bề mặt tấm tản nhiệt 4mm. Phần nắp bao phủ bên trên, có vai trò giữ kín không gian bên trong và ngăn chặn sự nhiễu loạn từ bên ngoài. Tấm tản nhiệt được làm mát có bề mặt tiếp xúc chính là nơi dòng phun tia tác động. Mặt đáy của tấm tản nhiệt tiếp xúc với thiết bị sinh nhiệt, nơi nhiệt nóng được truyền lên tấm tản nhiệt thông qua dẫn nhiệt. Sau đó, nhiệt độ nóng của tấm phẳng được làm mát bằng đối lưu cưỡng bức nhờ dòng chảy của chất lỏng.

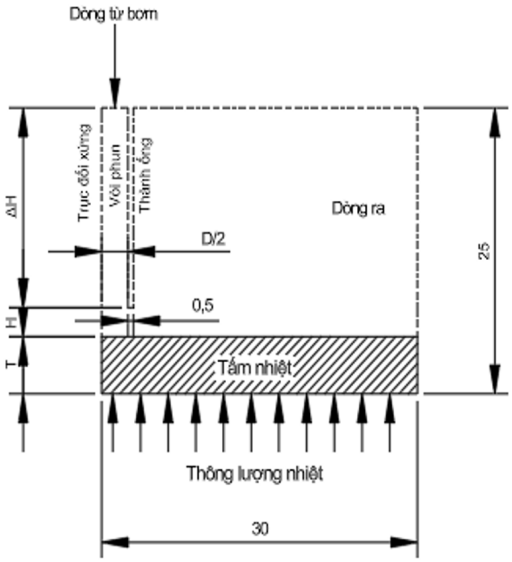


Hình 2. Mô hình hệ thống làm mát pin bằng dòng phun vuông góc

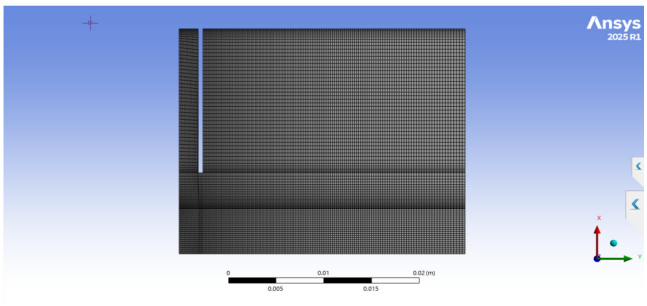
Tuy nhiên, trong hệ thống làm mát pin thực tế, diện tích bề mặt cần làm mát rất lớn và thường được bố trí nhiều vòi phun hoạt động đồng thời. Hiệu năng làm mát tổng thể của hệ thống vì vậy được quyết định chủ yếu bởi hiệu quả truyền nhiệt của từng vòi phun đơn nhưng do tính chất dòng phun tia thường có đối xứng trục, cho phép sử dụng mô phỏng 2D để giảm chi phí tính toán trong khi vẫn bảo toàn các đặc trưng vật lý quan trọng của dòng phun vuông góc. Trong mô hình 2D này, chỉ một nửa của cấu hình bài toán sẽ được mô phỏng, kết hợp với điều kiện biên đối xứng dọc theo trục dòng phun. Hình 3 mô tả mô hình hình học 2D đối xứng của bài toán mô phỏng với các thông số như trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số hình học

Đường kính vòi phun (D)	4mm
Khoảng cách vòi phun đến tấm (H)	4mm
Chiều dài vòi phun (ΔH)	16mm
Chiều dày tấm (T)	5mm



a) Mô hình 2D



b) Chia lưới mô hình

Hình 3. Mô hình 2D đối xứng của bài toán mô phỏng

Các phương trình mô tả dòng phun và truyền nhiệt của bài toán được trình bày như sau:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

ρ: mật độ của chất lỏng (kg/m^3)

u_i: thành phần vận tốc theo hướng x_i (m/s)

x_i: toạ độ không gian

Phương trình động lượng:

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right] \quad (2)$$

$-\frac{\partial p}{\partial x_i}$: gradien áp suất gây gia tốc cho dòng.

μ_t: độ nhớt rối (turbulent viscosity) - đặc trưng cho ảnh hưởng của dòng rối.

Phương trình năng lượng:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho c_p T u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\lambda + \frac{c_p \mu_t}{\sigma_T}\right)\frac{\partial T}{\partial x_j}\right] \quad (3)$$

T: nhiệt độ (K)

c_p: nhiệt dung riêng áp suất không đổi (J/kg.K)

λ: hệ số dẫn nhiệt của chất lỏng (W/m.K)

σ_T: số Prandtl rối, đặc trưng cho truyền nhiệt trong dòng rối.

Công thức tính Reynolds:

$$\mathrm{Re} = V\frac{D}{v} \quad (4)$$

v: độ nhớt động học của chất lỏng (m^2/s)

D: đường kính ống (m)

V: vận tốc trung bình (m/s)

2.2. Điều kiện biên và chia lưới

Để giải các phương trình và chia lưới cho bài toán, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Ansys Fluent với mô hình rối k-ω SST, lưới được chia dưới dạng tứ giác, ô lưới lớn nhất là 0,2mm. Tổng số lượng phần tử là 18.561 và tổng số lượng nút lưới là 18.917. Ở vùng sát tường, lưới được chia mịn để mô phỏng chính xác các thay đổi nhanh về vận tốc và nhiệt độ, nơi có sự tương tác mạnh giữa dòng chảy và bề mặt tường. Với tấm phẳng, vật liệu được làm từ nhôm có độ dẫn nhiệt k = 204,2Wm/K. Nhiệt độ ban đầu của tấm phẳng là 300K. Thông lượng nhiệt được cấp vào với hằng số q = 10.000W/m^2. Trong bài toán này, nhóm ta giả sử dụng 02 loại dụng dịch làm chất làm mát là nước và Ethylene Glycol (25%) + Nước (75%) với các tính chất như trong bảng 2 [9].

Bảng 2. Thông số dung dịch chất làm mát

Chất lỏng	Nước	Ethylene Glycol (25%) + Nước (75%)
Nhiệt độ (T), (K)	293	293
Khối lượng riêng (ρ), (kg/m^3)	998,19	1030
Độ nhớt Newton (η), (Pa.s)	0,0010053	0,0018
Nhiệt dung riêng (C_p), (Jkg/K)	4157,6	3742,5
Hệ số dẫn nhiệt (k), Wm/K	0,6	0,4815

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tiến hành chạy mô phỏng bài toán trên phần mềm Ansys Fluent với các trường hợp số Reynolds khác nhau ta thu được các kết quả sau:

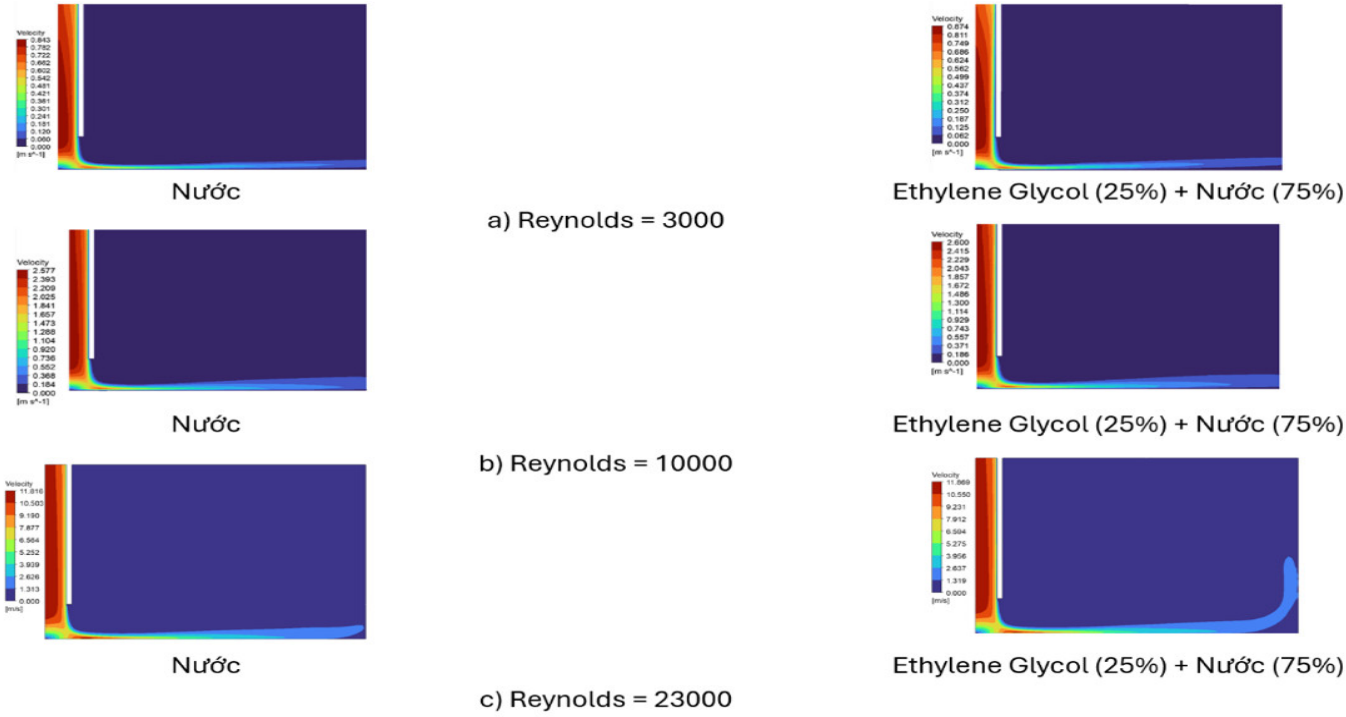
- Kết quả vận tốc:

Tại trường hợp số Reynolds = 3000 như trong hình 4a, khi mô phỏng sử dụng nước (100%) làm dung dịch làm mát, dòng chảy ổn định với vận tốc cực đại, được giữ gần như không đổi và giảm dần khi dòng chảy tỏa ra ở vùng va chạm, trước khi chuyển thành dòng chảy dọc theo tường. Ở dòng chảy dọc theo tường, vận tốc của nước giảm xuống. Khi được pha thêm ethylene glycol (25%), độ nhớt của dung dịch cao hơn, dẫn đến vận tốc tại dòng chảy dọc theo tường giảm nhanh hơn so với chất lỏng nước (100%). Kết quả mô phỏng vận tốc dòng phun với số Reynolds tăng lên từ Reynolds = 3000 lên Reynolds = 10000 và Reynolds = 23000 được thể hiện rõ ở hình 4b, 4c cho thấy sự khác biệt giữa hai dung dịch làm mát, do khi tăng số Reynolds lên, dòng phun sẽ chuyển từ trạng thái dòng chảy tầng sang dòng chảy rối, dẫn đến ảnh hưởng đến đặc tính dòng chảy trong ống, khi ở số Reynolds thấp thì tia phun hẹp, ít lan, tốc độ giảm nhanh, không khuếch

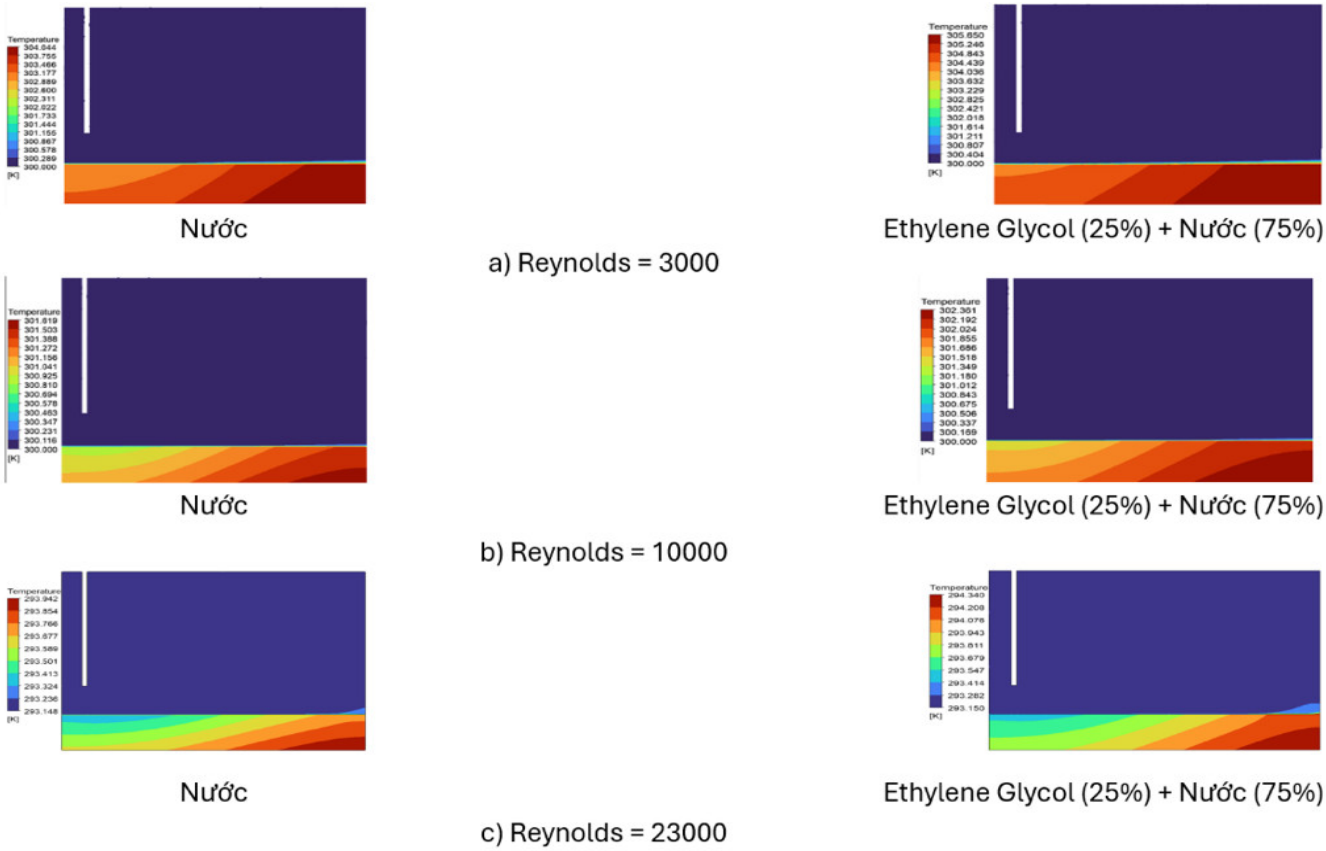
tán rộng, còn Reynolds cao thì tia phun sẽ mở rộng mạnh, có dòng xoáy kéo theo, lan rộng và truyền động lượng tốt ra các vùng xung quanh.

- Kết quả nhiệt độ:

Khi mô phỏng dòng phun có chỉ số Reynolds = 3000 như hình 5a, khi sử dụng chất làm mát là nước (100%), thì



Hình 4. Các trường vận tốc dòng phun với số Reynolds khác nhau



Hình 5. Các trường nhiệt độ với số Reynolds khác nhau

nhiệt độ trên tấm phẳng dao động từ 302,6K đến 304,044K, nhiệt độ của cả miền tính toán dao động từ 300K đến 304,044K, phản ánh hiệu suất truyền nhiệt cao nhất do độ nhớt thấp của nước, từ đó cho phép dòng chảy phát triển nhanh ra toàn bộ bề mặt tấm và lấy đi nhiệt mạnh hơn. Đối với chất lỏng hỗn hợp ethylene glycol (25%), nhiệt độ trên tấm cao hơn so với trường hợp chất lỏng nước (100%), dao động từ 304,429K đến 315,650K. Điều này là do độ nhớt cao hơn của dung dịch làm giảm tốc độ dòng chảy, dẫn đến giảm hiệu suất truyền nhiệt rõ rệt.

Khi tăng chỉ số Reynolds lên đến 10000, dòng dung dịch chuyển từ dòng chảy tầng sang dòng chảy rối thì kết quả mô phỏng trên hình 5b cho thấy, khi dùng dung dịch làm mát bằng nước (100%) thì vẫn giữ ổn định về khả năng làm mát hiệu quả. Nhiệt độ ở tấm phẳng dao động từ 300,925K đến 301,619K. Chất lỏng hỗn hợp Ethylene glycol (25%) + nước (75%) đã cải thiện khả năng truyền nhiệt hơn nhiều so với trường hợp đầu tiên, dao động từ 301,518K đến 302,361K, có thể thấy rõ khi số Reynolds tăng lên 23000 như trên hình 5c, hiệu suất truyền nhiệt đối lưu được cải thiện rõ rệt do dòng chảy chuyển sang trạng thái rối, làm mỏng lớp biên nhiệt và tăng cường cuộn trộn giữa vùng chất lỏng làm mát và bề mặt sinh nhiệt. Tuy nhiên, mức độ cải thiện này khác biệt đáng kể giữa hai loại môi chất. Đối với nước, phân bố nhiệt cho thấy vùng nhiệt độ thấp mở rộng đáng kể quanh khu vực phun, với nhiệt độ tại vùng va chạm giảm xuống khoảng 293 - 296K và lan sâu xuống phía dưới miền chảy. Điều này xuất phát từ độ nhớt thấp và hệ số dẫn nhiệt cao, giúp dòng chảy duy trì vận tốc lớn hơn và tăng hệ số truyền nhiệt đối lưu, nhờ đó khả năng giảm nhiệt ở Re = 23000 đạt mức tối ưu. Ngược lại, đối với hỗn hợp Ethylene Glycol (25%) + nước (75%), vùng nhiệt thấp chỉ xuất hiện cục bộ quanh vị trí va chạm của tia phun, với nhiệt độ duy trì ở mức 297 - 300K. Độ nhớt cao và khả năng dẫn nhiệt kém khiến tốc độ dòng suy giảm nhanh hơn và lớp biên nhiệt trở nên dày hơn, làm hạn chế hệ số truyền nhiệt đối lưu và dẫn đến hiệu quả làm mát thấp hơn đáng kể so với nước. Như vậy, mặc dù sự gia tăng Reynolds giúp nâng cao khả năng truyền nhiệt của cả hai dung dịch, nước vẫn thể hiện ưu thế vượt trội trong điều kiện dòng rối cao, với mức giảm nhiệt lớn hơn khoảng 3 - 4K so với dung dịch Ethylene Glycol cùng điều kiện vận hành.

Để đánh giá mức độ hiệu quả truyền nhiệt khi sử dụng các chất lỏng làm mát khác nhau ta sử dụng số Nusselt là tỷ lệ giữa khả năng truyền nhiệt qua đối lưu và dẫn nhiệt, với công thức:

$$Nu = \frac{q_{dl} D_{ong}}{(T_{ttn} - T_{cl})\lambda} \quad (5)$$

Trong đó:

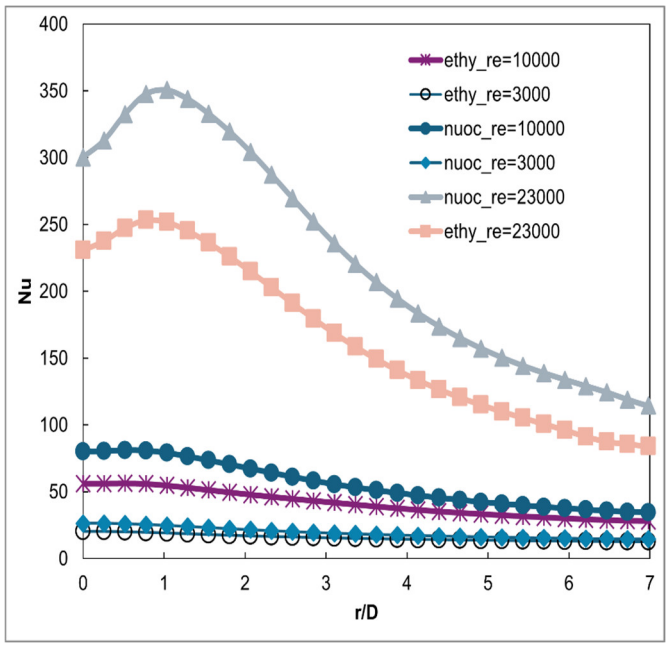
q_{dl}: thông lượng nhiệt đối lưu

D_{ong}: đường kính trong của vòi phun

λ: hệ số dẫn nhiệt của chất lỏng

T_{ttn}: Nhiệt độ trên bề mặt tấm tản nhiệt

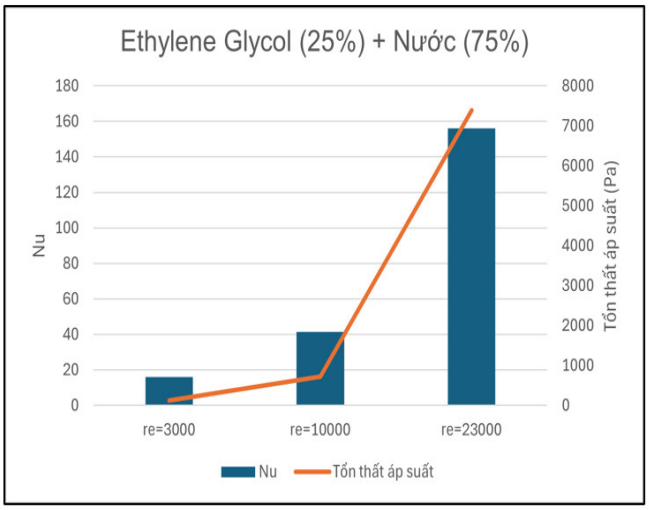
T_{cl}: Nhiệt độ ban đầu của chất lỏng



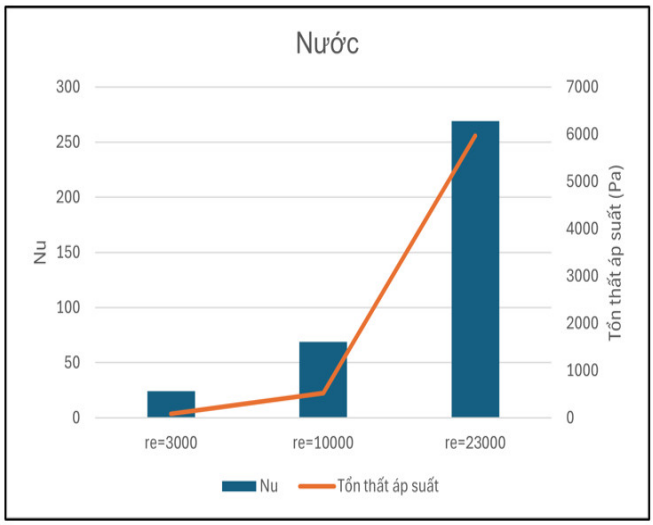
Hình 6. Số Nusselt tại bề mặt tấm phẳng

Qua dữ liệu phân bố số Nusselt theo bán kính thu được trong mô phỏng như trên hình 6, thể hiện xu hướng điển hình của dòng tia va đập [8, 10]. Ta thấy rằng số Nusselt không đồng nhất trên toàn bề mặt phẳng được tản nhiệt. Giá trị Nusselt thường cao nhất tại điểm đình trệ (r/D = 0) và giảm dần khi tỷ lệ r/D tăng vì dòng phun tia tập trung năng lượng cao nhất tại vị trí va chạm trực tiếp (gần tâm), sau đó dòng chảy và hiệu quả truyền nhiệt của các chất lỏng phân tán dần ra xa. Ở các giá trị r/D từ 4 trở đi, số Nusselt giảm chậm hơn, hiệu quả truyền nhiệt đối lưu cưỡng bức không còn thay đổi nhiều như lúc ở gần vòi phun, gần như đạt trạng thái ổn định. Mặt khác, hình 7 thể hiện biến thiên số Nusselt trung bình và tổn thất áp suất của hai dung dịch làm mát, gồm nước (100%) và Ethylene Glycol (25%) + nước (75%), trong dải Reynolds từ 3000 đến 23000. Kết quả cho thấy nước luôn đạt hiệu suất truyền nhiệt cao hơn, với Nusselt lớn hơn khoảng 1,5 - 2 lần so với hỗn hợp Ethylene glycol (25%) + nước (75%) ở cùng Reynolds, chủ yếu nhờ độ dẫn nhiệt cao và độ nhớt thấp, giúp tăng cường mức độ rối và giảm

chiều dày lớp biên nhiệt. Mặc dù cả hai dung dịch đều ghi nhận sự gia tăng Nusselt ở Reynolds = 23000, mức tăng của nước vẫn vượt trội (≈ 280 so với ≈ 150).



a) Ethylene Glycol (25%) + Nước (75%)



b) Nước

Hình 7. Số Nusselt trung bình và tổn thất áp suất

Tổn thất áp suất cũng cho thấy sự khác biệt đáng kể giữa hai dung dịch, hỗn hợp Ethylene glycol (25%) + nước (75%) luôn gây ra tổn thất áp suất lớn hơn (300 - 7500Pa) so với nước (200 - 6500Pa) do độ nhớt cao hơn, kéo theo nhu cầu công suất bơm lớn. Xét theo hiệu quả, nước đạt hiệu suất truyền nhiệt hữu ích cao hơn 2 - 3 lần, khẳng định ưu thế rõ rệt khi cần cân bằng giữa khả năng tản nhiệt và chi phí thủy lực. Nhìn chung, nước vẫn là lựa chọn tối ưu, trong khi hỗn hợp Ethylene glycol (25%) + nước (75%) chỉ thích hợp trong các điều kiện vận hành yêu cầu chống đóng băng hoặc ổn định hóa vật liệu, nhưng phải đánh đổi hiệu suất truyền nhiệt tổng thể.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã trình bày một hệ thống làm mát pin xe ô tô điện bằng dòng phun nhằm cải thiện khả năng truyền nhiệt cục bộ. Các tác giả đã xây dựng mô hình và mô phỏng 2D hệ thống trên phần mềm Ansys Fluent để đánh giá đặc tính dòng chảy và hiệu quả truyền nhiệt của dòng phun, đồng thời nghiên cứu ảnh hưởng của các số Reynolds, các loại dung dịch chất làm mát đến đặc tính dòng chảy và truyền nhiệt trong hiệu quả làm mát của hệ thống. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi số Reynolds tăng lên, vận tốc dòng phun lớn hơn và lượng nhiệt từ bề mặt tấm phẳng truyền vào dòng chất chất lỏng tăng lên, làm cho sự phân bố nhiệt độ ở vùng sát tấm phẳng mở rộng hơn. Đối với các chất lỏng Newton, nhiệt độ tấm phẳng ở điểm đình trệ chỉ còn chênh từ 2 đến 3K so với nhiệt độ chất lỏng ban đầu (300K), nhiệt độ giữa dòng chảy và bề mặt tấm phẳng giảm dần khi đi xa hơn so với các trường hợp số Reynolds thấp hơn. Điều này cho thấy các chất lỏng này dẫn nhiệt tốt hơn ở vận tốc dòng chảy cao, dẫn đến một vùng nhiệt độ thay đổi rất ít khi chảy ra xa khỏi vòi phun.

Trong nghiên cứu này, chỉ phân tích đặc tính va đập của tia phun sử dụng chất lỏng Newton lên tấm tản nhiệt phẳng trên cơ sở xây dựng mô hình 2D. Việc phân tích đặc tính dòng chảy và truyền nhiệt lên tấm phẳng bằng mô hình 3D hay tấm tản nhiệt có các cấu trúc vây với số lượng và cách bố trí khác nhau, cũng như sử dụng các chất làm mát phi Newton sẽ được thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. C. Wu, Y. Sun, H. Tang, S. Zhang, W. Yuan, L. Zhu, Y. Tang, "A review on the liquid cooling thermal management system of lithium-ion batteries," *Appl. Energy*, 375, 2024

[2]. L.H. Saw, Y. Ye, A.A.O. Tay, W.T. Chong, S.H. Kuan, M.C. Yew, "Computational fluid dynamic and thermal analysis of Lithium-ion battery pack with air cooling," *Appl. Energy*, 177, 783-792, 2016.

[3]. Z. Qian, Y. Li, Z. Rao, "Thermal performance of lithium-ion battery thermal management system by using mini-channel cooling," *Energ. Conver. Manage.*, 126, 622-631, 2016.

[4]. M. Alipanah, X. Li, "Numerical studies of lithium-ion battery thermal management systems using phase change materials and metal foams," *Int. J. Heat Mass Transf.*, 102, 1159-1168, 2016.

[5]. P. Fu, L. Zhao, X. Wang, J. Sun, Z. Xin, "A review of cooling technologies in lithium-ion power battery thermal management systems for new energy vehicles," *Processes*, 11 (12), 3450, 2023.

[6]. J. Ye, H. Chen, Q. Wang, P. Huang, J. Sun, S. Lo, "Thermal behavior and failure mechanism of lithium ion cells during overcharge under adiabatic conditions," *Appl. Energy,* 182, 464-474, 2016.

[7]. Q. Wang, P. Ping, X. Zhao, G. Chu, J. Sun, C. Chen, "Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery," *J. Power Sources,* 208, 210-224, 2012.

[8]. A. Dewan, R. Dutta, B. Srinivasan, "Recent trends in computation of turbulent jet impingement heat transfer," *Heat Transf. Eng.,* 33 (4), 447-460, 2012.

[9]. D. Bohne, S. Fischer, E. Obermeier, "Thermal, Conductivity, Density, Viscosity, and Prandtl-Numbers of Ethylene Glycol-Water Mixtures," *Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie*, 88, 739-742, 1984.

[10]. Karel Petera, Martin Dostal, "Heat transfer measurements and CFD simulations of an impinging jet," in *EPJ Web of Conferences,* 114, 2016.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Anh Tuan[1], Nguyen Van Thanh[2], Nguyen Van Kuu[1], Nguyen Van Lap[1]

[1]Faculty of Mechanical Engineering, Thuyloi University, Vietnam

[2]Hanoi University of Industry, Vietnam