

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA CƠ KHÍ GIAO THÔNG

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
- CAPSTONE PROJECT
NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ
CHUYÊN NGÀNH: CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC

ĐỀ TÀI:

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG LÀM MÁT
PIN LITHIUM-ION TRÊN ÔTÔ ĐIỆN**

Người hướng dẫn: **PGS.TS. PHAN THÀNH LONG**
Người phản biện: **ThS. THÁI THỊ NGỌC HẰNG**
Sinh viên thực hiện: **LƯU VĂN THÀNH**
Số thẻ sinh viên: **103200103**
Lớp: **20C4CLC1**

Đà Nẵng, 05/2025

TÓM TẮT

Tên đề tài: Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

Sinh viên thực hiện: Lưu Văn Thành

Số thẻ sinh viên: 103200103

Lớp: 20C4CLC1

Trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng và xu hướng phát triển xe điện ngày càng mạnh mẽ, việc đảm bảo hiệu suất và tuổi thọ của hệ thống pin lithium-ion là thành phần then chốt của xe điện trở nên cấp thiết. Vậy nên mục đích đề tài này là nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện bao gồm tính toán thiết kế bộ pin mô phỏng đánh giá kết cấu và mô phỏng đánh khả năng làm mát của hệ thống, nhằm đánh giá độ bền cơ học và đánh giá nhiệt độ hoạt động trong giới hạn an toàn từ đó ta có thể thiết kế hệ thống làm mát pin phù hợp để nâng cao tuổi thọ và hiệu suất của pin.

Mở đầu, báo cáo trình bày tổng quan về công nghệ xe điện hiện nay, nhấn mạnh vai trò của pin lithium-ion và công nghệ hiện nay. Tiếp theo, hệ thống pin được xây dựng dựa trên các giả định kỹ thuật cụ thể, bao gồm lựa chọn cell, tính toán cấu trúc điện nối tiếp – song song, và tính xác định các thông số cơ khí của hệ thống pin rồi ta đi mô phỏng kết cấu và đánh giá hệ thống cơ khí đã thiết kế.

Phần ba trình bày quá trình mô phỏng nhiệt và dòng chảy bằng phần mềm ANSYS Fluent. Dựa trên việc tính số Reynolds, bài toán được phân loại chế độ dòng (chảy tầng hay rối), từ đó thiết lập mô hình và xây dựng mô hình mô phỏng phù hợp. Quá trình độc lập lưới và đánh giá hội tụ được thực hiện nghiêm túc để đảm bảo độ tin cậy của kết quả mô phỏng, sau khi tìm được phần tử lưới độc lập ta đi mô phỏng đánh giá khả năng làm mát của pin tại phần tử lưới đã xác định.

Tiếp theo tính toán hệ thống làm mát bằng chất lỏng, lựa chọn các thành phần cho hệ thống làm mát pin để đảm bảo lưu lượng nước làm mát phù hợp phù hợp với hệ thống.

Cuối cùng, kết luận đánh giá lại hệ thống đã thiết kế và kết quả mô phỏng đã thu được.

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ tên sinh viên: Lưu Văn Thành Số thẻ sinh viên: 103200103
Lớp: 20C4CLC1 Khoa: Cơ Khí Giao Thông Ngành: Kỹ Thuật Cơ Khí

1. Tên đề tài đồ án:

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

2. Đề tài thuộc diện: Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện

3. Các số liệu và dữ liệu ban đầu:

Hệ thống pin cho xe điện công suất 504 kW.

4. Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:

MỞ ĐẦU

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ XE ĐIỆN

1.1. Giới thiệu về xe điện và vai trò của pin lithium

1.1.1. Lịch sử phát triển của xe điện

1.1.2. Phân loại các dòng xe điện

1.1.3. Các ảnh hưởng của của xe điện đến môi trường

1.2. Các công nghệ pin xe điện

1.2.1. Pin axit-chì

1.2.2. Pin nickle-metal-hydrate (NiMH)

1.2.3. Pin nickel-cadmium (NiCd)

1.2.4. Pin lithium-ion

1.2.5. Các dạng cell pin

1.3. Các phương pháp làm mát pin xe điện

1.3.1. Phương pháp làm mát thụ động

1.3.2. Phương pháp làm mát chủ động

1.4 Cấu tạo cơ khí bộ pin

CHƯƠNG 2: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ BỘ PIN

2.1. Tính toán bộ pin

2.1.1. Thông số cho trước

2.1.2. Tính toán thiết kế bộ pin

2.2. Thiết kế cơ khí bộ pin

CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG LÀM MÁT CỦA HỆ THỐNG PIN

3.1. Giới thiệu về Ansys Fluent

3.2. Xây dựng bài toán mô phỏng

3.2.1. *Xây dựng mô hình*

3.2.2. *Thiết lập mô phỏng*

3.2.3. *Đánh giá độc lập lưới*

3.3. Kết quả và đánh giá

CHƯƠNG 4: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ HỆ THỐNG LÀM MÁT PIN

4.1. Phân tích hệ thống làm mát

4.1.1. *Cấu tạo hệ thống làm mát*

4.1.2. *Nguyên lý làm việc*

4.2. Tính toán thiết kế hệ thống làm mát

4.2.1. *Tính chọn đường ống*

4.2.2. *Tính toán tổn thất áp suất và tính chọn bơm*

CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN

5. *Các bản vẽ, đồ thị (ghi rõ các loại và kích thước bản vẽ):*

Bản vẽ chi tiết nắp bộ pin (bản vẽ A3).

Bản vẽ chi tiết cell pin NCR18650B (bản vẽ A3).

Bản vẽ chi tiết kênh làm mát (bản vẽ A3).

Bản vẽ chi tiết giá đỡ cell pin (bản vẽ A3).

Bản vẽ chi tiết vách ngăn (bản vẽ A3).

Bản vẽ chi tiết khay bộ pin (bản vẽ A3).

Đồ thị đánh giá độc lập lưới (bản vẽ A3).

Đồ thị đánh giá nhiệt độ cell (bản vẽ A3).

Sơ đồ hệ thống làm mát pin (bản vẽ A3).

6. *Họ tên người hướng dẫn:* PGS.TS. Phan Thành Long

7. *Ngày giao nhiệm vụ đồ án:* /...../202.....

8. *Ngày hoàn thành đồ án:* /...../202.....

Đà Nẵng, ngày tháng năm 20

Trưởng Bộ môn

Người hướng dẫn

LỜI NÓI ĐẦU

Trong quá trình học tập tại "Khoa Cơ khí Giao thông – Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng", em được các thầy cô giảng dạy và định hướng về nhiều vấn đề kỹ thuật có tính thời sự, trong đó nổi bật là tác động của phát thải giao thông đối với môi trường – một chủ đề mang tính cấp thiết trong bối cảnh biến đổi khí hậu và xu hướng phát triển bền vững hiện nay. Từ nền tảng kiến thức đó, em dần hình thành mối quan tâm đến các giải pháp kỹ thuật nhằm giảm phát thải và nâng cao hiệu suất năng lượng cho phương tiện giao thông.

Đặc biệt, trong quá trình thực tập, em đã nhận được sự hướng dẫn tận tình của "PGS.TS Phan Thành Long". Qua những buổi làm việc và trao đổi với thầy, em được thầy định hướng tiếp cận chuyên sâu vào lĩnh vực quản lý nhiệt cho pin lithium-ion – một trong những yếu tố then chốt trong việc phát triển xe điện để giúp giảm phát thải ra môi trường. Từ những gợi mở quý báu ấy, em đã xác định và lựa chọn đề tài đề án tốt nghiệp xoay quanh việc nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện.

Trong suốt quá trình thực hiện đề án, em đã nhận được sự chỉ dẫn tận tình của thầy. Thầy không chỉ giúp em làm rõ các vấn đề kỹ thuật cốt lõi mà còn luôn khuyến khích em tiếp cận vấn đề một cách khoa học, phản biện và có hệ thống. Em xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành và sâu sắc đến thầy vì sự đồng hành quý báu đó. Em cũng xin chân thành cảm ơn quý thầy cô trong "Khoa Cơ khí Giao thông – Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng" đã tận tâm giảng dạy, truyền đạt cho em nền tảng kiến thức vững chắc cùng tư duy kỹ thuật chặt chẽ. Đây chính là hành trang quan trọng giúp em tiếp cận và hoàn thành đề án một cách nghiêm túc và có cơ sở khoa học.

Mặc dù đã nỗ lực trong quá trình thực hiện, do giới hạn về thời gian và kinh nghiệm, đề án khó tránh khỏi những thiếu sót nhất định. Em kính mong nhận được sự thông cảm và góp ý từ quý thầy cô để em có thể tiếp tục hoàn thiện hơn trong những nghiên cứu sau này.

Em xin chân thành cảm ơn!

Ngày 02 tháng 06 năm 2025

Sinh viên thực hiện

CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan rằng đồ án này được thực hiện đúng theo yêu cầu và hướng dẫn đã được giao. Tất cả số liệu đều có nguồn gốc rõ ràng được công bố hợp pháp. Các kết quả trong đồ án là do em tự nghiên cứu, phân tích và tính toán một cách trung thực, khách quan và chính xác nhất.

Ngày 02 tháng 06 năm 2025

Sinh viên thực hiện

MỤC LỤC

TÓM TẮT	
NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP	
LỜI NÓI ĐẦU	i
CAM ĐOAN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH SÁCH CÁC BẢNG, HÌNH VẼ	v
DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT	viii
	Trang
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ XE ĐIỆN	2
1.1. Giới thiệu về xe điện và vai trò của pin lithium:.....	2
<i>1.1.1. Lịch sử phát triển của xe điện:</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2. Phân loại các dòng xe điện:</i>	<i>3</i>
<i>1.1.3. Các ảnh hưởng của của xe điện đến môi trường:</i>	<i>4</i>
1.2. Các công nghệ pin xe điện:	7
<i>1.2.1. Pin axit-chì:</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2. Pin nickle-metal-hydrate (NiMH):</i>	<i>8</i>
<i>1.2.3. Pin nickel-cadmium (NiCd):</i>	<i>8</i>
<i>1.2.4. Pin lithium-ion:</i>	<i>9</i>
<i>1.2.5. Các dạng cell pin:</i>	<i>10</i>
1.3. Các phương pháp làm mát pin xe điện:.....	13
<i>1.3.1. Phương pháp làm mát thụ động:</i>	<i>13</i>
<i>1.3.2. Phương pháp làm mát chủ động:</i>	<i>15</i>
1.4 Cấu tạo cơ khí bộ pin:.....	17
CHƯƠNG 2: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ BỘ PIN.....	20
2.1. Tính toán bộ pin:	20
<i>2.1.1. Thông số cho trước:</i>	<i>20</i>
<i>2.1.2: Tính toán thiết kế bộ pin:.....</i>	<i>20</i>
2.2. Thiết kế cơ khí bộ pin:	22

CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG LÀM MÁT CỦA HỆ THỐNG PIN	39
3.1. Giới thiệu về Ansys Fluent:	39
3.2. Xây dựng bài toán mô phỏng:	40
3.2.1. <i>Xây dựng mô hình:</i>	40
3.2.2. <i>Thiết lập mô phỏng:</i>	43
3.2.3. <i>Đánh giá độc lập lưới:</i>	52
3.3. Kết quả và đánh giá:	53
CHƯƠNG 4: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ HỆ THỐNG LÀM MÁT PIN	55
4.1. Phân tích hệ thống làm mát:	55
4.1.1. <i>Cấu tạo hệ thống làm mát:</i>	55
4.1.2. <i>Nguyên lý làm việc:</i>	55
4.2. Tính toán thiết kế hệ thống làm mát:	56
4.2.1. <i>Tính chọn đường ống:</i>	56
4.2.2. <i>Tính toán tổn thất áp suất và tính chọn bơm:</i>	58
CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN	61
TÀI LIỆU THAM KHẢO	63
PHỤ LỤC 1	65

DANH SÁCH CÁC BẢNG, HÌNH VẼ

DANH SÁCH BẢNG:

Bảng 1.1: Tổng hợp so sánh đặc điểm các công nghệ pin.....	9
Bảng 1.2: Bảng tổng hợp đánh giá các hình dạng cell pin.	12
Bảng 2.1: Bảng thông số cell NCR18650B.	20
Bảng 2.2: Kích thước bố trí cell trong modul.	22
Bảng 2.3: Giá trị khối lượng.	28
Bảng 3.1: Thông số cơ bản của mô hình hệ thống làm mát.	40
Bảng 3.2: Thông số nhiệt động học cấu cell pin, dung dịch làm mát và ống dẫn.	43
Phụ lục 1.1: Số liệu kết quả chạy mô phỏng đánh giá độc lập lưới.....	65
Phụ lục 1.2: Kết quả mô phỏng đánh giá nhiệt độ của cell pin.	69

DANH SÁCH HÌNH VẼ:

Hình 1.1: Cấu trúc các dòng xe điện.....	3
Hình 1.2: Biểu đồ phát thải khí CO ₂ trong các lĩnh vực.	4
Hình 1.3: Phát thải của xe truyền thống và xe điện.	5
Hình 1.4: Cấu tạo pin axit-chì.....	7
Hình 1.5: Cấu trúc của pin lithium-ion.	9
Hình 1.6: Cell dạng trụ.....	11
Hình 1.7: Cell dạng lăng trụ.....	11
Hình 1.8: Cell dạng túi.....	12
Hình 1.9: Mô hình mô phỏng làm mát pin bằng vật liệu PCM trên Ansys.	14
Hình 1.10: Sơ đồ hệ thống làm mát pin bằng không khí thụ động.	15
Hình 1.11: Phương pháp làm mát bằng tấm dẫn nhiệt.	16
Hình 1.12: Cấu trúc kênh dẫn làm mát pin trong một modul.	17
Hình 1.13: Cấu tạo cơ khí của bộ pin.	18
Hình 2.1: Bố trí kích thước cell.	22
Hình 2.2: Bố trí kích thước giá đỡ cell.	23
Hình 2.3: Bố trí kích thước modul và vách ngăn.....	23
Hình 2.4: Bố trí kích thước khay pin.	24

Hình 2.5: Bố trí kích thước nắp pin.	25
Hình 2.6: Thiết kế cơ khí của bộ pin.	26
Hình 2.7: Thay đổi vật liệu mô hình.	27
Hình 2.8: Điều chỉnh vật liệu và xác định khối lượng của mô hình.	28
Hình 2.9: Vào môi trường mô phỏng kết cấu trong inventor.	29
Hình 2.10: Khởi tạo dự án mô phỏng kết cấu.	30
Hình 2.11: Thiết lập các vị trí cố định cho mô hình.	30
Hình 2.12: Thiết lập lực cho mô hình.	31
Hình 2.13: Tạo lưới cho mô hình.	31
Hình 2.14: Chạy mô phỏng kết cấu.	32
Hình 2.15: Kết quả ứng suất làm việc lớn nhất của khay pin.	32
Hình 2.16: Kết quả ứng suất làm việc theo phương xx.	33
Hình 2.17: Kết quả ứng suất làm việc theo phương xy.	33
Hình 2.18: Kết quả ứng suất theo phương xz.	34
Hình 2.19: Kết quả ứng suất làm việc theo phương yy.	34
Hình 2.20: Kết quả ứng suất làm việc theo phương yz.	35
Hình 2.21: Kết quả ứng suất làm việc theo phương zz.	35
Hình 2.22: Kết quả độ chuyển vị của mô hình theo trục x.	36
Hình 2.23: Kết quả độ chuyển vị của mô hình theo trục y.	36
Hình 2.24: Kết quả độ chuyển vị của mô hình theo trục z.	37
Hình 2.25: Kết quả hệ số an toàn của mô hình.	37
Hình 3.1: Mô hình hệ thống mát pin lithium.	41
Hình 3.2: Đặt điều kiện biên cho dòng chảy.	44
Hình 3.4: Đặt điều kiện biên cho cell pin.	44
Hình 3.5: Đặc điều kiện biên cho kênh dẫn dung dịch.	45
Hình 3.6: Thiết lập lưới cho mô hình.	45
Hình 3.7: Điều chỉnh gia tốc trọng trường cho mô hình.	46
Hình 3.8: Thiết lập kiểu dòng chảy cho mô hình.	47
Hình 3.9: Tạo và thay đổi vật liệu cho mô hình.	48
Hình 3.10: Lấy vật liệu từ thư viện.	48
Hình 3.11: Thay đổi vật liệu và gắn nguồn nhiệt cho cell pin.	49
Hình 3.12: Điều chỉnh lưu lượng khối lượng dòng chảy.	49

Hình 3.13: Điều chỉnh Residual.....	50
Hình 3.14: Thực hiện lưu các dữ liệu sau khi chạy.	51
Hình 3.16: Đồ thị đánh giá độc lập lưới.	52
Hình 3.17: Kết quả thay đổi nhiệt tại bề mặt pin.....	53
Hình 3.18: Đồ thị đánh giá nhiệt của cell.	54
Hình 4.1: Sơ đồ mạch hệ thống làm mát pin.	56
Hình 4.2: Ống dẫn chất lỏng “Tygon E-3603”.	57
Hình 4.3: Bộ trao đổi nhiệt “SWEP B10T”.	58
Hình 4.4: Van điện từ “ODE 21JN1R0V23”.....	59
Hình 4.5: Bơm “DC40E-1250”.....	60

DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

KÝ HIỆU:

- D_c : Đường kính cell (mm).
- H_c : Chiều cao cell (mm).
- U_c : Điện áp định mức của cell (mm).
- C_c : Dung lượng cell (mm).
- m_c : Khối lượng của cell (mm).
- C_b : Dung lượng của bộ pin (Ah).
- E_b : Năng lượng của bộ pin (kWh).
- U_{dm} : Điện áp định mức (V).
- V_c : Thể tích của cell (m^3).
- N_s : Số cell bắt nối tiếp.
- N_p : Số cell kết nối song song.
- N_b : Số cell trong bộ pin.
- V_b : Thể tích của bộ pin (m^3).
- m_b : Khối lượng của bộ pin (kg).
- U'_b : Điện áp của bộ pin sau khi tính lại (V).
- C'_b : Dung lượng của bộ pin sau khi tính lại (Ah).
- E'_b : Năng lượng của bộ pin sau khi tính lại (kWh)
- E_g : Mật độ năng lượng riêng (kWh/kg).
- E_l : Mật độ năng lượng theo thể tích (kWh/l).
- b : Bề rộng kênh làm mát (mm).
- e : Bề dày vỏ modul với cell (mm).
- e_1 : Bề dày giá đỡ (mm).
- x : Khoảng cách của 2 cell pin song song (mm).
- x_1 : Khoảng cách của 2 cell nối tiếp (mm).

- x_2 : Khoảng cách của 2 cell nối tiếp qua kênh làm mát (mm).
- x_3 : Khoảng cách cell theo chiều cell nối tiếp đến rìa kênh làm mát (mm).
- x_4 : Khoảng cách của 2 cell song song (mm).
- x_5 : Khoảng cách cell theo chiều cell nối song song đến rìa kênh làm mát (mm).
- i : Chiều dài của giá đỡ cell pin trong một modul (mm).
- z : Chiều rộng của giá đỡ cell pin trong một modul (mm).
- i_m : Chiều dài của modul (mm).
- z_m : Chiều rộng của modul (mm).
- h_m : Chiều cao của modul (mm).
- t : Bề rộng của vách ngăn (mm).
- e_k : Khoảng hở của khay pin và các modul (mm).
- t_1 : Bề dày của khay pin (mm).
- i_{vd} : Chiều dài của vách ngăn dọc (mm).
- i_{vm} : Chiều dài của vách ngăn ngang (mm).
- h_v : Chiều cao của vách ngăn (mm).
- h_k : Chiều cao bên trong khay pin (mm).
- i_{kd} : Chiều dài trong khay pin (mm).
- z_{kr} : Chiều rộng trong khay pin (mm).
- t_2 : Bề dày của nắp bộ pin (mm).
- i_n : Chiều dài của nắp bộ pin (mm).
- z_n : Chiều rộng của nắp bộ pin (mm).
- m_g : Khối lượng của giá đỡ (kg).
- m_v : Khối lượng của vách ngăn (kg).
- m_n : Khối lượng của nắp bộ pin (kg).
- m : Khối lượng tác dụng lên khay pin (kg).
- F : Lực tác dụng lên khay pin (N).
- g : Gia tốc trọng trường (m/s^2).
- δ_{cp} : Ứng suất cho phép (MPa).

δ_c : Giới hạn chảy của vật liệu nhôm 6061 (MPa).

n : Hệ số an toàn chọn.

δ_{lv} : Ứng suất làm việc.

γ_{cp} : Chuyển vị cho phép (mm).

γ_{lv} : Chuyển vị làm việc (mm).

H_m : Chiều cao kênh dẫn dung dịch (mm).

r : Bề rộng của inlet (mm).

a : Chiều cao của inlet và outlet (mm).

ρ : Khối lượng riêng của dung dịch (kg/m³).

v : Vận tốc dòng chảy vào kênh làm mát (m/s).

μ : Hệ số nhớt động học của dung dịch (kg/m.s)

A : Diện tích của inlet (m²).

D_h : Đường kính thủy lực (m).

\dot{m} : Lưu lượng khối lượng (kg/s).

Re : Số Reynolds.

$\frac{\partial u_i}{\partial t}$: Thành phần không thời gian của gia tốc (m/s²).

$u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$: Thành phần phân đôi lưu của gia tốc chất lưu (m/s²).

$\frac{\partial p}{\partial x_i}$: Gradient áp suất theo hướng i (Pa/m).

$\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2}$: Thành phần khuếch tán nhớt (1/s²).

$C_{p,fluid}, C_{p,b}$: Nhiệt dung riêng đẳng áp của chất lỏng và pin (J/(kg·K)).

$u_j \frac{\partial T_{fluid}}{\partial x_j}$: Thành phần đối lưu nhiệt (K/s).

$\frac{\partial^2 T_{fluid}}{\partial x_j^2}, \frac{\partial^2 T_b}{\partial x_j^2}$: Khuếch tán nhiệt của chất lỏng và pin (K/m²).

k, k_s : Hệ số dẫn nhiệt của chất lỏng và pin (W/(m·K)).

- q : Quá trình sinh nhiệt nội trở (W/m^3).
- Q : Lưu lượng qua kênh làm mát (m^3/s).
- Q_u : Lưu lượng thực tế (m^3/s).
- v_d : Vận dòng chảy trong đường ống (m/s).
- Q_d : Lưu lượng trên đường ống bơm (m^3/s).
- A_d : Diện tích đường ống (m^2).
- D_d : Đường kính đường ống (mm).
- l_d : Chiều dài đường ống trong hệ thống (m).
- λ : Hệ số tỷ lệ.
- ΔP_d : Tổn thất áp dọc đường (Pa).
- $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4, \zeta_5, \zeta_6$: Hệ số tổn thất lần lượt tại van, tê, co, cửa vào bộ trao đổi nhiệt, bên trong bộ trao đổi nhiệt và cửa ra bộ trao đổi nhiệt.
- $\Delta P_{c1}, \Delta P_{c2}, \Delta P_{c3}, \Delta P_{c4}, \Delta P_{c5}, \Delta P_{c6}$: Tổn thất áp tại van, tê, co, cửa vào bộ trao đổi nhiệt, bên trong bộ trao đổi nhiệt và cửa ra bộ trao đổi nhiệt (Pa).
- ΔP_b : Tổn thất áp tại kênh làm mát pin (Pa).
- ΔP : Tổn thất áp tổng của hệ thống (Pa).
- η : Hiệu suất của bơm.
- N_u : Công suất thủy lực của bơm (W).

CHỮ VIẾT TẮT:

EV (Electric Vehicle): Xe điện.

BTMS (Battery Thermal Management System): Hệ thống quản lý nhiệt pin.

PCM (Phase Change Material): Vật liệu chuyển pha.

PHEV (Plug-in Hybrid Vehicles): Xe lai điện có công sạc.

HEV (Hybrid Electric Vehicles): Xe lai điện.

BEV (Battery Electric Vehicles): Xe thuần điện.

CFD (Computational Fluid Dynamics): Mô phỏng động lực học chất lỏng.

MỞ ĐẦU

Trong bối cảnh khủng hoảng năng lượng và ô nhiễm môi trường ngày càng nghiêm trọng, ngành công nghiệp ô tô toàn cầu đang có sự chuyển dịch mạnh mẽ từ động cơ đốt trong sang các giải pháp vận hành bằng điện. Xe điện (Electric Vehicles - EVs) được xem là một hướng đi tất yếu nhằm giảm thiểu phát thải khí nhà kính và phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch.

Tuy nhiên, bên cạnh những lợi thế rõ rệt về môi trường và hiệu suất vận hành, xe điện cũng đặt ra nhiều thách thức về công nghệ, trong đó nổi bật là vấn đề quản lý nhiệt cho hệ thống pin lithium-ion.

Pin lithium-ion là trái tim của xe điện, chịu trách nhiệm lưu trữ và cung cấp năng lượng cho toàn bộ hệ thống. Khi hoạt động với dòng cao trong thời gian dài, pin sinh ra một lượng nhiệt đáng kể. Nếu không được kiểm soát hiệu quả, nhiệt độ cao có thể làm giảm tuổi thọ, giảm hiệu suất và thậm chí gây ra hiện tượng thoát nhiệt nguy hiểm. Do đó, việc nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện phù hợp là một yêu cầu thiết yếu trong quá trình phát triển xe điện.

Xuất phát từ thực tiễn đó, đồ án này tập trung vào việc nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát hiệu quả cho hệ thống pin lithium-ion trên ô tô điện. Nội dung đồ án bao gồm tổng quan sơ lược về xe điện, tính toán hệ thống pin, thiết kế cơ khí bộ pin (mô phỏng đánh giá kết cấu), thiết lập bài toán mô phỏng và xây dựng mô hình để mô phỏng đánh giá khả năng làm mát của pin lithium-ion trên ô tô điện bằng phần mềm Ansys, tính toán thiết kế cho hệ thống làm mát pin, và tổng kết và đánh giá lại hệ thống đã thiết kế.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ XE ĐIỆN

1.1. Giới thiệu về xe điện và vai trò của pin lithium:

1.1.1. Lịch sử phát triển của xe điện:

Vào khoảng những năm 1740, các nguyên lý đầu tiên về động cơ điện đã được hình thành thông qua các công trình của Andrew Gordon – một tu sĩ Benedictine người Scotland – và Benjamin Franklin. Những phát minh liên quan đến điện học trong giai đoạn này đã đặt nền móng kỹ thuật quan trọng cho việc nghiên cứu chuyển đổi điện năng thành cơ năng thông qua hiện tượng điện từ. Đáng chú ý, vào năm 1821, Michael Faraday lần đầu tiên trình diễn hiện tượng điện từ tạo ra chuyển động quay. Tiếp đó, vào năm 1828, nhà khoa học người Hungary Ányos Jedlik giới thiệu nguyên mẫu động cơ điện đầu tiên sử dụng nam châm điện. Năm 1832, William Sturgeon – nhà khoa học người Anh – phát minh động cơ điện một chiều, góp phần quan trọng trong lịch sử phát triển ngành cơ điện. Đến những năm 1880, các nghiên cứu về động cơ điện xoay chiều được đẩy mạnh nhờ khả năng truyền tải điện năng hiệu quả ở điện áp cao và khoảng cách xa [1].

Cùng với sự hoàn thiện về kỹ thuật, động cơ điện sớm được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và giao thông vận tải, đặc biệt là phương tiện chạy điện. Lịch sử phát triển của phương tiện giao thông điện, tiêu biểu là ô tô điện, có thể được phân chia thành các giai đoạn như sau:

Giai đoạn khởi đầu (1801–1850): Xuất hiện nhiều nghiên cứu và phát minh liên quan đến phương tiện chạy điện. Một số nguyên mẫu đã được thử nghiệm trong vận tải hành khách và hàng hóa, mở đầu cho việc ứng dụng động cơ điện trong giao thông [1].

Giai đoạn hoàn thiện và phổ biến ban đầu (1851–1900): Các mẫu ô tô điện dần được hoàn thiện, đa dạng về mẫu mã và được sản xuất hàng loạt. Trong giai đoạn này, ô tô điện chiếm ưu thế về số lượng. Song song đó, các nguyên mẫu xe sử dụng động cơ đốt trong cũng bắt đầu xuất hiện, đặt nền móng cho sự cạnh tranh trong lĩnh vực ô tô [1].

Giai đoạn phát triển mạnh (1901–1950): Ô tô điện bước vào thời kỳ tăng trưởng nhanh chóng với khoảng 30.000 xe được vận hành vào năm 1912. Tuy nhiên, cùng

với sự cải thiện hạ tầng giao thông, giá xăng/dầu giảm và sự linh hoạt của động cơ đốt trong (hoạt động ở khoảng cách xa, giá thành rẻ hơn), ô tô điện dần mất vị thế. Những hạn chế như dung lượng pin thấp, thời gian sạc dài và chi phí pin cao khiến dòng xe này không còn được ưa chuộng và gần như biến mất từ những năm 1930 [1].

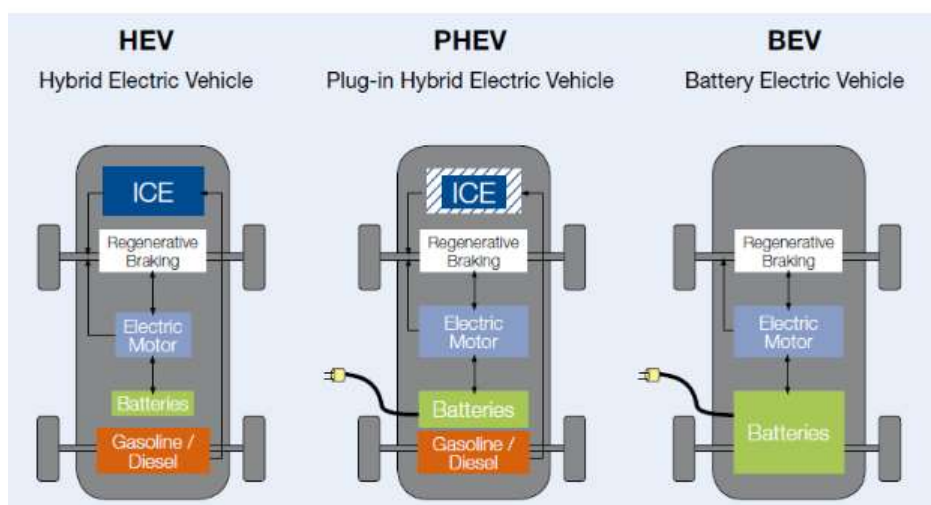
Giai đoạn tái quan tâm (1950–2000): Tình trạng giá nhiên liệu hóa thạch tăng cao và mối lo ngại về phát thải khí nhà kính cùng ô nhiễm không khí đã khiến ô tô điện được các quốc gia chú trọng trở lại. Mỹ và Nhật Bản là hai quốc gia tiên phong trong việc giới thiệu các mẫu xe điện hóa tích hợp nhiều công nghệ hiện đại [1].

Giai đoạn chuyên tiếp (2001–2012): Giá nhiên liệu tiếp tục leo thang, đồng thời ý thức về môi trường được nâng cao, dẫn tới sự gia tăng đáng kể về số lượng xe điện. Đến năm 2012, tổng số xe điện toàn cầu đã vượt mốc 180.000 chiếc [1].

Giai đoạn bùng nổ (2012 đến nay): Từ năm 2012, ngành công nghiệp ô tô điện chứng kiến sự tăng trưởng đột phá cả về công nghệ và sản lượng. Số lượng xe điện tăng từ dưới 500.000 chiếc năm 2013 lên hơn 5 triệu vào năm 2018. Đến năm 2022, tổng số xe điện toàn cầu đã gấp hơn 5 lần con số năm 2018, đạt khoảng 26 triệu chiếc (bao gồm cả xe thuần điện và xe hybrid). Trung Quốc vươn lên trở thành thị trường dẫn đầu thế giới về cả sản xuất lẫn tiêu thụ ô tô điện [1].

1.1.2. Phân loại các dòng xe điện:

Có 3 loại xe điện chính phổ biến hiện nay: HEV (Hybrid Electric Vehicle-xe xăng lai điện), PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle – xe hybrid sạc điện), BEV (Battery Electric Vehicle - xe thuần điện chạy hoàn toàn bằng pin) [2].



Hình 1.1: Cấu trúc các dòng xe điện.

a) Xe lai điện (HEV):

Xe Hybrid Electric Vehicle hay HEV được vận hành bởi cả động cơ điện và động cơ xăng truyền thống. Nguồn năng lượng điện được sản sinh ra bởi chính hệ thống phanh của xe để nạp lại pin. Hệ thống phanh này được gọi là phanh tái sinh, một quá trình mà trong đó motor điện giúp giảm tốc độ xe và chuyển một phần năng lượng thành nhiệt bằng hệ thống phanh [2].

b) Xe lai điện có cổng sạc (PHEV):

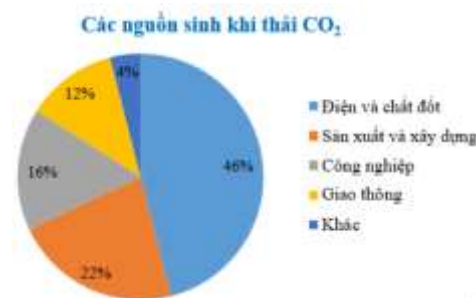
Plug-in Hybrid Electric Vehicle hay PHEV có thể nạp lại pin bằng phanh tái sinh hoặc bằng cách cắm vào nguồn điện bên ngoài. Trong khi các xe hybrid bình thường có thể di chuyển 2-4 dặm trước khi động cơ xăng được sử dụng thì xe PHEV có thể đi quãng đường 10-40 dặm trước khi có sự hỗ trợ của động cơ xăng [2].

c) Xe thuần điện (BEV):

Battery Electric Vehicle (BEV) thường được gọi với cái tên EV (Electric Vehicle) là loại xe sử dụng hoàn toàn động cơ điện với bộ pin có thể nạp lại được và không dùng động cơ xăng. Xe BEV tích điện trong các bộ pin có dung lượng lớn và được dùng để chạy motor điện hay các bộ phận sử dụng điện khác. Xe BEV không thải ra khí gây ô nhiễm môi trường như động cơ truyền thống. Xe BEV được nạp điện bằng các nguồn bên ngoài. Bộ nạp này được phân loại dựa trên tốc độ nạp đầy pin trên mỗi xe BEV [2].

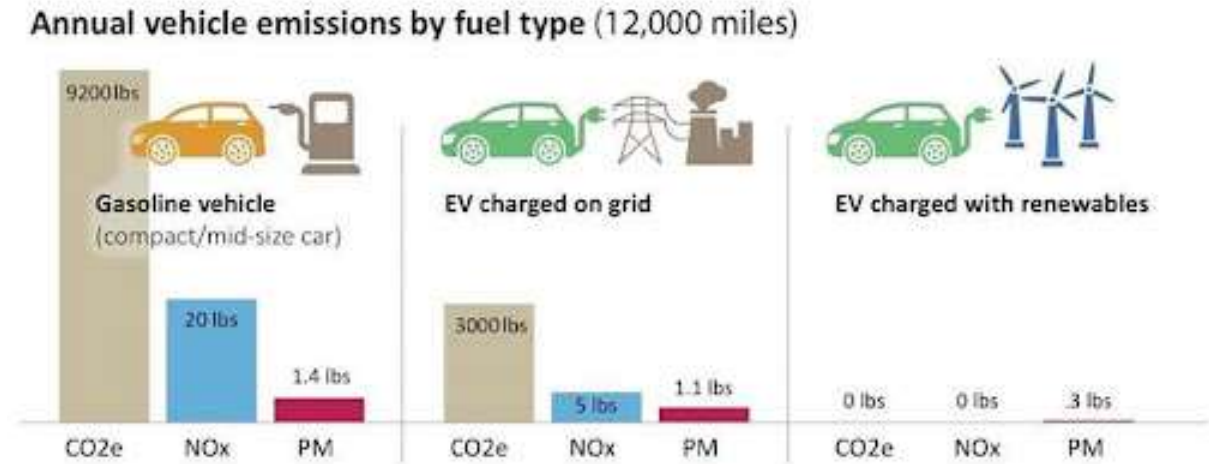
1.1.3. Các ảnh hưởng của của xe điện đến môi trường:

Biến đổi khí hậu, ô nhiễm không khí đô thị và sự cạn kiệt tài nguyên hóa thạch đang tạo ra áp lực to lớn lên ngành giao thông vận tải – một trong những lĩnh vực phát thải khí nhà kính lớn nhất toàn cầu. Theo báo cáo của Cơ quan Năng lượng Quốc tế ngành vận tải chiếm khoảng 20% lượng phát thải CO₂ toàn cầu, trong đó phương tiện chạy nhiên liệu hóa thạch là nguồn phát thải chính.



Hình 1.2: Biểu đồ phát thải khí CO₂ trong các lĩnh vực.

Trong bối cảnh đó, xe điện (– EV) nổi lên như một giải pháp tiềm năng nhằm giảm phát thải tại chỗ, gia tăng hiệu suất sử dụng năng lượng và thúc đẩy chuyển dịch sang các nguồn năng lượng sạch.



Hình 1.3: Phát thải của xe truyền thống và xe điện.

Tuy nhiên, không thể chỉ nhìn nhận xe điện dưới lăng kính “phi phát thải” tại thời điểm sử dụng, mà cần đánh giá toàn diện theo vòng đời, bao gồm phát thải từ khai thác nguyên liệu, sản xuất, vận hành cho đến xử lý thải. Pin lithium-ion, thành phần năng lượng trung tâm của xe điện, chính là nút thắt lớn nhất trong bài toán môi trường và kỹ thuật này.

Công nghệ pin lithium-ion mang lại nhiều ưu điểm nổi bật như mật độ năng lượng cao, khả năng sạc nhanh, tuổi thọ dài và hiệu suất điện hóa vượt trội so với các thế hệ pin truyền thống. Đây là lý do pin lithium-ion hiện là công nghệ chủ đạo trong gần như tất cả các dòng xe điện thương mại, từ xe máy điện đến ô tô điện cao cấp. Tuy nhiên, đi kèm với đó là những thách thức không thể xem nhẹ như:

Quá trình khai thác các vật liệu chính của pin như lithium, cobalt và nickel đòi hỏi tiêu tốn năng lượng lớn, ảnh hưởng đến tài nguyên nước và gây ô nhiễm đất – nước – không khí nếu không được kiểm soát nghiêm ngặt. Bên cạnh đó, chuỗi cung ứng của các nguyên tố này hiện đang phụ thuộc nhiều vào một số khu vực nhạy cảm về môi trường và địa chính trị, như vùng “Tam giác lithium” ở Nam Mỹ hay mỏ cobalt tại Cộng hòa Dân chủ Congo, nơi điều kiện lao động và giám sát môi trường còn nhiều bất cập.

Việc sản xuất pin lithium-ion gây ra lượng phát thải CO₂ đáng kể. Một nghiên cứu của IVL Swedish Environmental Research Institute (2017) ước tính rằng để sản xuất một bộ pin 100 kWh có thể phát thải từ 10 đến 15 tấn CO₂, tương đương với phát thải của một chiếc xe xăng trong khoảng 60.000–100.000 km đầu tiên. Do đó, việc xe điện có "xanh" hơn xe truyền thống hay không còn phụ thuộc mạnh vào quãng đường sử dụng, nguồn điện sạc (nhiệt điện hay năng lượng tái tạo) và khả năng tái sử dụng/tái chế pin sau khi kết thúc vòng đời.

Trong quá trình sử dụng, pin lithium là yếu tố quyết định đến hiệu suất, độ ổn định và an toàn của toàn bộ hệ thống truyền động điện. Tuy nhiên, bản chất hóa học của pin khiến nó nhạy cảm với nhiệt độ: khi sạc/xả với dòng lớn hoặc trong môi trường nhiệt độ cao, pin có thể sinh nhiệt nhanh chóng. Nếu không được làm mát kịp thời, pin có thể suy giảm hiệu suất, lão hóa sớm, và trong trường hợp cực đoan còn có thể gây cháy nổ do hiện tượng thermal runaway là một phản ứng dây chuyền nhiệt, điện, cơ có thể lan nhanh giữa các cell pin.

Do đó, hệ thống quản lý nhiệt (Battery Thermal Management System – BTMS) trở thành một bộ phận then chốt trong thiết kế xe điện hiện đại. BTMS không chỉ có vai trò duy trì nhiệt độ trung bình của pin trong vùng tối ưu (thường từ 20–40°C), mà còn phải đảm bảo độ chênh lệch nhiệt độ giữa các cell không vượt quá mức cho phép (thường <5°C) để tránh mất cân bằng điện áp, tăng hiệu quả hoạt động và kéo dài tuổi thọ pin. Các giải pháp làm mát hiện nay bao gồm tản nhiệt bằng không khí, chất lỏng, phase-change material (PCM), thậm chí kết hợp với làm lạnh bán dẫn hoặc hệ thống bơm nhiệt trong các thiết kế cao cấp.

Một hệ thống BTMS hiệu quả không chỉ giúp đảm bảo an toàn, mà còn góp phần trực tiếp vào việc giảm phát thải gián tiếp bằng cách kéo dài tuổi thọ pin, giảm tần suất thay thế và nhu cầu sản xuất pin mới – vốn là khâu phát thải lớn nhất trong vòng đời EV.

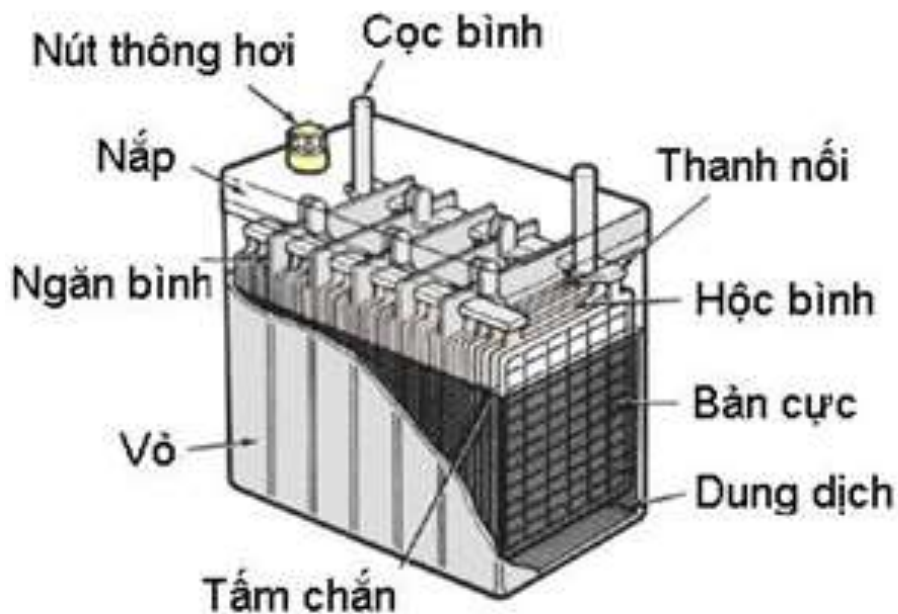
Vậy nên ta có thể thấy được pin lithium vừa là trái tim của xe điện, vừa là thách thức kỹ thuật và môi trường lớn nhất. Trong đó, khả năng quản lý nhiệt là yếu tố trọng yếu, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu năng, độ tin cậy và tính bền vững của toàn bộ hệ thống. Chính vì vậy, nghiên cứu thiết kế các giải pháp làm mát pin lithium một cách hiệu quả, tiết kiệm năng lượng và có thể ứng dụng thực tế là vấn đề cấp thiết và có ý nghĩa lâu dài trong tiến trình phát triển xe điện.

1.2. Các công nghệ pin xe điện:

Trong tiến trình phát triển của xe điện, pin luôn giữ vai trò thiết yếu trong các ứng dụng xe điện từ giai đoạn mở đầu cho tới các ứng dụng hiện nay. Pin được cấu tạo bởi điện cực dương và điện cực âm với chất điện phân dẫn điện và cách điện ở giữa. Trong quá trình sạc pin, điện cực dương thường xảy ra phản ứng oxi hóa và điện cực âm xảy ra phản ứng khử. Trong quá trình phóng điện, phản ứng ngược lại và do đó cực tính các điện cực sẽ đảo ngược. Trong quá trình phát triển của mình, bốn loại pin điển hình đã được sử dụng cho xe điện cũng như xe lai điện là: pin axit-chì, pin nickel-metal-hydrite, pin nickel-cadmium và pin lithium-ion [3].

1.2.1. Pin axit-chì:

Pin axit-chì là công nghệ pin lâu đời nhất, từng được ứng dụng phổ biến trong các xe điện thế hệ đầu. Cấu tạo pin bao gồm các bản cực làm bằng chì và dung dịch axit sulfuric đóng vai trò là chất điện phân. Nguyên lý hoạt động dựa trên phản ứng điện hóa giữa chì và chì dioxide trong môi trường axit để sinh ra dòng điện.



Hình 1.4: Cấu tạo pin axit-chì.

Ưu điểm lớn nhất của pin axit-chì là chi phí sản xuất thấp và kỹ thuật chế tạo đơn giản. Tuy nhiên, loại pin này tồn tại nhiều hạn chế: mật độ năng lượng riêng thấp (chỉ khoảng 20–40 Wh/kg), khối lượng lớn, và tuổi thọ ngắn.

Ngoài ra, thành phần chì và axit sulfuric cũng gây ra những lo ngại về môi trường và an toàn xử lý sau sử dụng. Mặc dù vậy, nhờ chi phí rẻ, pin axit-chì vẫn được ứng dụng giới hạn trong các phương tiện vận tải nhỏ, xe điện nhẹ hoặc xe nâng trong nhà kho. Tuy nhiên, trong xu hướng điện hóa giao thông hiện đại, pin axit-chì đang dần được thay thế bởi các công nghệ tiên tiến hơn [3].

1.2.2. Pin nickle-metal-hydrite (NiMH):

Pin NiMH là thế hệ tiếp theo trong tiến trình thay thế pin axit-chì. Công nghệ này đã từng là lựa chọn chủ đạo cho các mẫu xe lai (Hybrid Electric Vehicles – HEV), đặc biệt nổi bật trong các dòng xe như Toyota Prius. Cấu tạo pin sử dụng hợp kim hấp thụ hydrogen tại cực âm, và hợp chất oxi hóa nickel tại cực dương.

So với pin axit-chì, pin NiMH có mật độ năng lượng cao hơn, tuổi thọ dài hơn và trọng lượng nhẹ hơn, giúp cải thiện đáng kể phạm vi hoạt động của xe. Tuy nhiên, nhược điểm của công nghệ này nằm ở hiệu suất sạc/xả không cao, tốc độ tự phóng điện lớn, và nhạy cảm với chu kỳ xả sâu. Việc xả nhanh, sạc nhanh lặp lại nhiều lần có thể làm suy giảm tuổi thọ đáng kể, khiến nó không phù hợp cho các xe điện thuần (Battery Electric Vehicles-BEV), vốn yêu cầu công suất cao và phản ứng năng lượng tức thời.

Vậy nên thường được ứng dụng trong các dòng xe lai và pin NiMH đang dần bị thay thế do sự phát triển nhanh chóng của công nghệ lithium-ion [3].

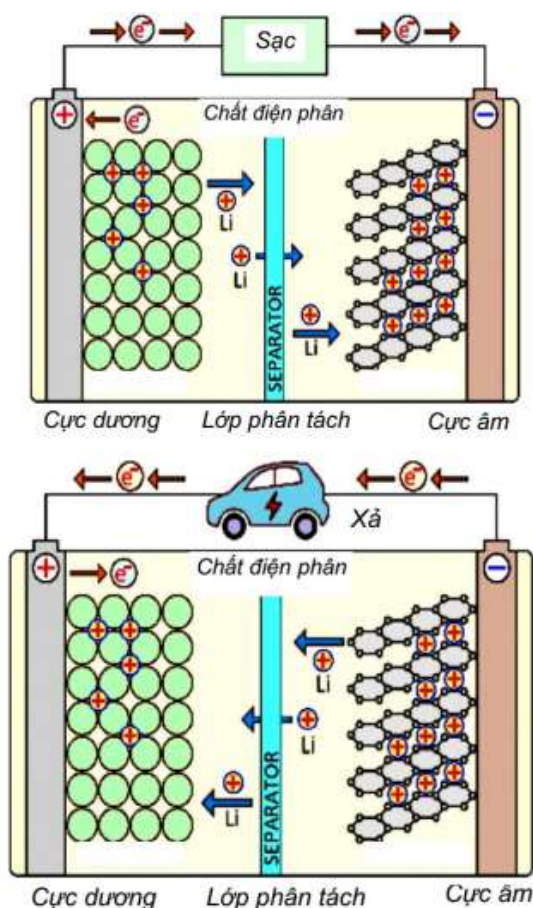
1.2.3. Pin nickel-cadmium (NiCd):

Pin NiCd là một dạng khác của pin nền tảng nickel, sử dụng cadmium làm vật liệu điện cực âm. Công nghệ này từng được đánh giá cao nhờ mật độ năng lượng cao hơn và khả năng chịu nhiệt tốt hơn so với pin axit-chì. Tuy nhiên, pin NiCd tồn tại một số nhược điểm lớn như: Công suất điện thấp, dễ gây quá nhiệt hoặc cháy nổ nếu sạc/phóng điện quá nhanh. Gây suy giảm dung lượng nếu không được xả hết trước khi sạc lại. Độc hại với môi trường do sự hiện diện của cadmium, kim loại nặng có độc tính cao.

Chính vì những lý do trên, pin NiCd hiện nay hầu như đã bị loại bỏ trong lĩnh vực xe điện, và chỉ còn xuất hiện trong một số ứng dụng chuyên biệt không yêu cầu công suất cao [3].

1.2.4. Pin lithium-ion:

Pin lithium-ion (Li-ion) là loại pin được sử dụng rộng rãi và phổ biến nhất hiện nay trong các ứng dụng xe điện. Pin Li-ion sở hữu mật độ năng lượng cao, thậm chí tốt hơn cả pin nickel do phân tử Li có thế năng điện hóa cao và trọng lượng riêng thấp. Pin Li-ion có hiệu suất cao, tuổi thọ dài, độ tự phóng điện thấp và rất thân thiện với môi trường do hầu hết các bộ phận đều có thể tái chế [3].



Hình 1.5: Cấu trúc của pin lithium-ion.

Nhược điểm lớn nhất của pin Li-ion nằm ở khía cạnh kinh tế, do giá thành cao hơn các loại pin khác.

Bảng 1.1: Tổng hợp so sánh đặc điểm các công nghệ pin.

	Axit-chì	NiCd	NiMh	Li-on
Mật độ năng lượng (Wh/kg)	20~30	≤ 50	≤ 60	≤ 100

Chu kỳ và tuổi thọ	400	500~1000	400~	300~
Tự xả	10%	30%	30%	3%
Thân thiện với môi trường	Không	Không	Có	Có
Trọng lượng	Rất nặng	Nặng	Trung bình	Nhẹ

Với ưu điểm nổi trội về hai thông số quan trọng, mật độ năng lượng cao nhất và trọng lượng thấp nhất, pin Li-ion là pin phù hợp nhất trong các ứng dụng xe điện hiện nay.

1.2.5. Các dạng cell pin:

Cell pin là đơn vị cấu trúc cơ bản của hệ thống pin xe điện, quyết định đến mật độ năng lượng, khả năng tản nhiệt, độ bền cơ học cũng như hiệu quả tổ chức không gian của hệ thống lưu trữ. Trong các thiết kế pin lithium-ion hiện đại, ba dạng cell phổ biến nhất là:

- Cell hình trụ (cylindrical).
- Cell hình lăng trụ (prismatic).
- Cell túi mềm (pouch).

Cell hình trụ được cấu tạo bằng cách cuộn các lớp điện cực lại thành hình trụ, đóng trong vỏ kim loại kín. Ưu điểm nổi bật của dạng cell này là độ bền cơ học cao, dễ sản xuất hàng loạt với mức độ chuẩn hóa tốt, đồng thời khả năng tản nhiệt khá hiệu quả do có các khe hở tự nhiên giữa các cell. Tuy nhiên, chính đặc điểm hình học này lại dẫn đến hiệu suất sử dụng thể tích thấp, gây hạn chế trong các thiết kế đòi hỏi mật độ tích hợp cao hoặc không gian giới hạn.



Hình 1.6: Cell dạng trụ.

Cell hình hộp (prismatic) có dạng khối hộp chữ nhật, với các lớp điện cực được xếp lớp hoặc cuộn dẹt và đóng trong vỏ nhôm cứng. Thiết kế này cho phép tối ưu hóa mật độ năng lượng trên đơn vị thể tích, đồng thời thuận lợi trong việc sắp xếp và module hóa hệ thống pin. Tuy nhiên, do thiếu các khoảng trống tự nhiên, hiệu suất tản nhiệt của cell prismatic phụ thuộc nhiều vào giải pháp làm mát tiếp xúc trực tiếp với bề mặt cell, và thường kém hơn so với cell hình trụ trong điều kiện tải nhiệt cao.



Hình 1.7: Cell dạng lăng trụ.

Cell túi mềm (pouch) sử dụng lớp vỏ polymer mềm để bao bọc các lớp điện cực bên trong. Nhờ cấu trúc linh hoạt, dạng cell này có mật độ năng lượng cao cả về khối lượng lẫn thể tích, đồng thời cho phép tùy biến hình dạng để phù hợp với không gian thiết kế cụ thể. Tuy nhiên, điểm yếu lớn của dạng này là độ bền cơ học thấp và dễ bị phồng rộp, biến dạng khi hoạt động trong điều kiện khắc nghiệt, yêu cầu hệ thống cơ khí và quản lý nhiệt phải đủ tinh vi để kiểm soát.



Hình 1.8: Cell dạng túi.

Mỗi định dạng đều có ưu và nhược điểm như tóm tắt dưới đây:

Cell hình trụ có năng lượng riêng cao, độ ổn định cơ học tốt. Thiết kế cell cho phép bổ sung các tính năng an toàn mà các định dạng khác không có, pin này có chu kỳ tốt, tuổi thọ dài và chi phí thấp, nhưng mật độ đóng gói không lý tưởng.

Cell hình lăng trụ được bọc trong nhôm hoặc thép để có độ ổn định. Được cuộn thành dạng thạch hoặc xếp chồng, cell này tiết kiệm không gian nhưng có thể tổn kém hơn khi sản xuất cell hình trụ.

Cell dạng túi nhẹ và tiết kiệm chi phí nhưng tiếp xúc với độ ẩm và nhiệt độ cao có thể làm giảm tuổi thọ. Thêm áp suất nhẹ lên pin sẽ giúp kéo dài tuổi thọ bằng cách ngăn ngừa tình trạng tách lớp. Phải cân nhắc đến sự phồng lên 8–10% trong 500 chu kỳ với một số thiết kế cell. Cell lớn hoạt động tốt nhất với tải nhẹ và thời gian sạc vừa phải.

Bảng 1.2: Bảng tổng hợp đánh giá các hình dạng cell pin.

Thông số	Dạng trụ	Dạng lăng trụ	Dạng túi
Kích thước cell	Nhỏ	Lớn nhất	Lớn
Dung lượng	1-5Ah	20-300Ah	20-100Ah
Mật độ năng lượng	Trung bình	Khá	Tốt

Mật độ công suất	Trung bình	Trung bình	Tốt
Hiệu suất làm mát	Tốt	Trung bình	Trung bình

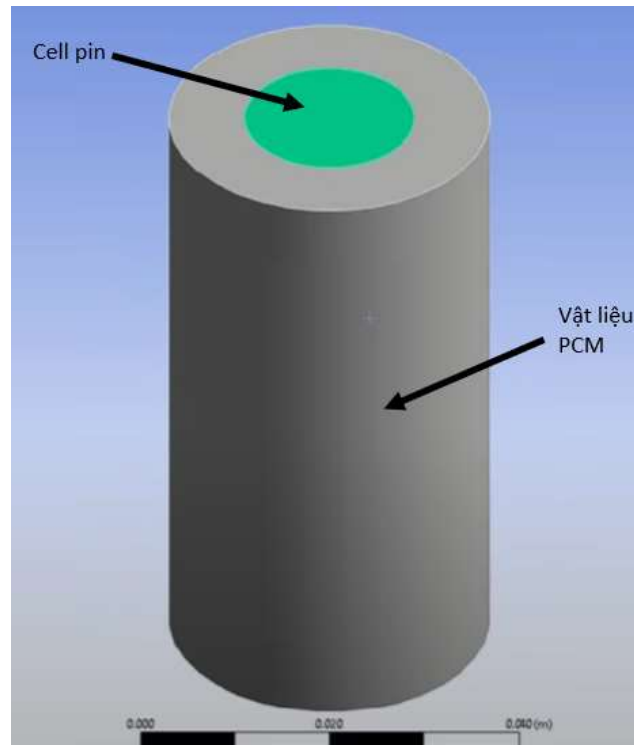
1.3. Các phương pháp làm mát pin xe điện:

Nhiệt độ là một trong những yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến hiệu suất, độ an toàn và tuổi thọ của pin lithium-ion. Trong quá trình hoạt động, đặc biệt là khi sạc nhanh hoặc xả với dòng lớn, pin sinh ra lượng nhiệt đáng kể do tổn hao nội trở và phản ứng hóa học. Nếu nhiệt lượng này không được kiểm soát hiệu quả, pin có thể bị suy giảm hiệu suất, lão hóa nhanh chóng hoặc trong trường hợp xấu nhất là dẫn đến hiện tượng runaway nhiệt (thermal runaway). Chính vì vậy, việc xây dựng hệ thống quản lý nhiệt là yêu cầu bắt buộc trong thiết kế hệ thống pin cho xe điện. Trong đó, hai nhóm giải pháp chính được sử dụng là làm mát thụ động và chủ động.

1.3.1. Phương pháp làm mát thụ động:

Làm mát thụ động là phương pháp dựa vào khả năng tản nhiệt tự nhiên mà không cần sử dụng bộ phận truyền nhiệt điều khiển bằng năng lượng ngoài.

Hình thức phổ biến nhất là sử dụng các vật liệu dẫn nhiệt tốt trong cấu trúc vỏ pin hoặc áp dụng vật liệu thay đổi pha (Phase Change Material – PCM) để hấp thụ nhiệt thông qua quá trình chuyển trạng thái. Lợi thế lớn nhất của hệ thống thụ động là đơn giản về cấu tạo, không tiêu tốn điện năng, không có bộ phận chuyển động nên ít hỏng hóc và bảo trì. Tuy nhiên, vì không có khả năng kiểm soát dòng nhiệt một cách chủ động, nên hiệu quả làm mát thường phụ thuộc rất lớn vào điều kiện môi trường. Trong các ứng dụng yêu cầu công suất cao, tải nhiệt lớn, hệ thống thụ động thường không đủ khả năng duy trì pin trong vùng nhiệt độ tối ưu (khoảng 20–40°C), dẫn đến suy giảm hiệu suất và tăng nguy cơ mất an toàn nhiệt. Hơn nữa, vật liệu PCM dù hấp thụ nhiệt tốt nhưng không có khả năng tỏa nhiệt nhanh ra môi trường, dẫn đến tình trạng “bão hòa nhiệt” trong chu kỳ làm việc kéo dài.



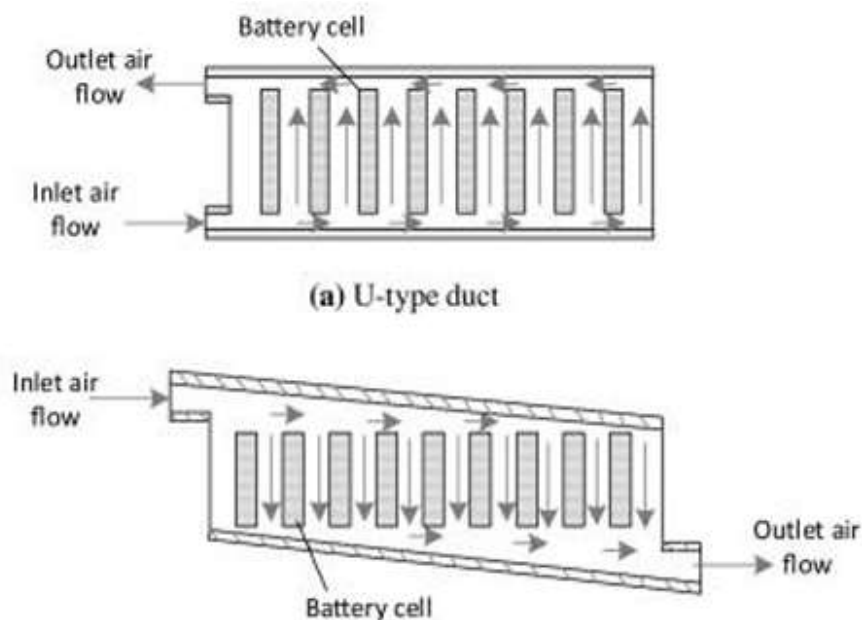
Hình 1.9: Mô hình mô phỏng làm mát pin bằng vật liệu PCM trên Ansys.

Bên cạnh đó phương pháp làm mát bằng ống dẫn nhiệt cũng được xếp vào nhóm làm mát bị động, nhờ khả năng truyền nhiệt hiệu quả mà không cần sử dụng năng lượng điện hay bộ phận cơ khí chủ động như quạt hoặc bơm chất lỏng. Ống dẫn nhiệt hoạt động dựa trên cơ chế chuyển pha chất lỏng bên trong ống: khi tiếp xúc với vùng phát nhiệt (gần bề mặt cell pin), chất lỏng bên trong bốc hơi, mang theo năng lượng nhiệt và di chuyển về đầu lạnh – nơi nó ngưng tụ và giải phóng nhiệt ra môi trường. Dòng chất lỏng sau đó quay trở lại đầu nóng nhờ hiện tượng mao dẫn hoặc trọng lực, tạo thành một chu trình khép kín, liên tục. Ưu điểm nổi bật của hệ thống ống dẫn nhiệt là tốc độ truyền nhiệt cao, độ tin cậy tốt và không gây tiếng ồn. Tuy nhiên, cơ chế này không có khả năng lưu trữ nhiệt, và hiệu suất làm mát phụ thuộc vào chênh lệch nhiệt độ giữa hai đầu ống cũng như hướng lắp đặt, do có liên quan đến trọng lực hoặc cấu trúc mao dẫn.

So với một công nghệ làm mát bị động phổ biến khác là vật liệu chuyển pha PCM, ống dẫn nhiệt có nguyên lý hoạt động và hiệu quả rất khác biệt. PCM hấp thụ nhiệt thông qua quá trình chuyển pha rắn–lỏng hoặc rắn–rắn, từ đó giữ nhiệt độ bề mặt pin ổn định trong một khoảng thời gian nhất định. Trong khi đó, ống dẫn nhiệt không giữ lại năng lượng mà chuyển nhiệt nhanh chóng ra khỏi vùng sinh nhiệt. Do đó, ống dẫn nhiệt thường được sử dụng khi cần dẫn nhiệt nhanh, còn PCM thích hợp

trong tình huống cần ổn định nhiệt độ và làm trễ quá trình tăng nhiệt. Trong nhiều thiết kế BTMS hiện đại, hai công nghệ này còn được kết hợp để tận dụng đồng thời cả khả năng truyền nhiệt nhanh (của ống dẫn nhiệt) và ổn định nhiệt độ tại chỗ (của PCM), từ đó nâng cao hiệu quả tổng thể của hệ thống.

Như trong hình 1.10 thì đây là mô hình làm mát thụ động bằng không khí bằng cách đưa không khí từ bên ngoài vào để làm mát các cell pin. Thì nó phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố môi trường, nếu nhiệt môi trường cao thì việc làm mát pin sẽ giảm xuống đồng thời khoảng cách của các cell pin cũng là các yếu tố gây ảnh hưởng tới khả năng làm mát. Vậy nên phương pháp làm mát thụ động còn rất nhiều hạn chế như: Công suất làm mát thấp, gặp khó khăn nhiều trong môi trường khắc nghiệt làm ảnh hưởng đến độ bền của pin.



Hình 1.10: Sơ đồ hệ thống làm mát pin bằng không khí thụ động.

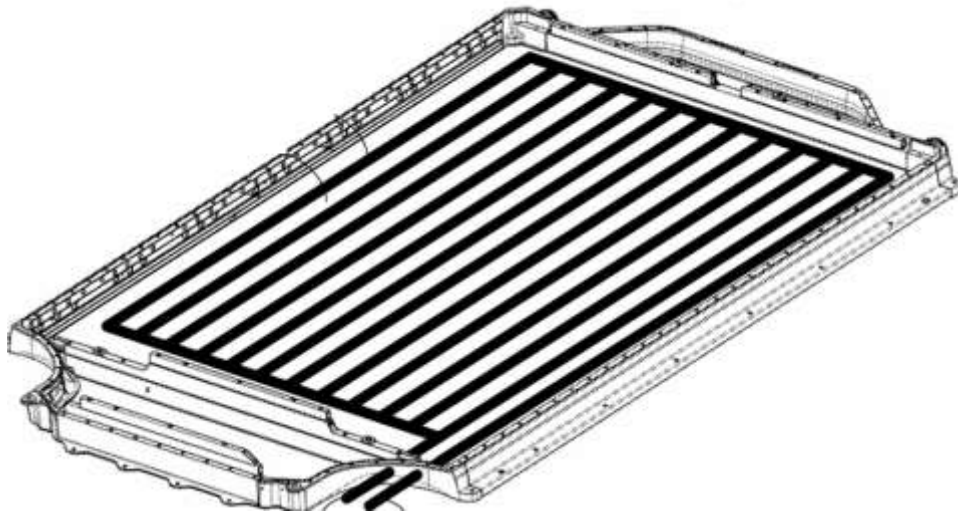
1.3.2. Phương pháp làm mát chủ động:

Làm mát chủ động sử dụng các thiết bị cơ điện để điều khiển luồng truyền nhiệt từ pin ra môi trường, từ đó kiểm soát chính xác nhiệt độ của cell. Ba cơ chế chính trong nhóm này là làm mát bằng không khí cưỡng bức, bằng chất lỏng tuần hoàn và bằng chất làm mát hai pha. Làm mát bằng không khí sử dụng quạt để thổi khí qua bề mặt pin hoặc giữa các khe cell. Đây là phương án chi phí thấp, cấu trúc đơn giản hơn so với làm mát chất lỏng, nhưng khả năng truyền nhiệt kém do hệ số truyền nhiệt của không khí thấp và phụ thuộc lớn vào nhiệt độ môi trường xung quanh. Với các hệ

thống pin mật độ cao, phương pháp này khó đảm bảo đồng đều nhiệt giữa các cell và thường dẫn đến tình trạng quá nhiệt cục bộ.

Làm mát bằng dung dịch hiện đang được coi là giải pháp hiệu quả và ổn định nhất trong thực tiễn. Với hệ số truyền nhiệt cao hơn không khí hàng chục lần, dung dịch có khả năng hấp thụ và vận chuyển nhiệt hiệu quả, đồng thời cho phép thiết kế các kênh làm mát tiếp xúc trực tiếp với từng module hoặc cell. Hai cấu hình phổ biến nhất hiện nay là làm mát gián tiếp bằng tấm dẫn nhiệt và làm mát bằng ống dẫn xoắn quanh cell. Mỗi phương án đều có những đặc điểm riêng, phù hợp với yêu cầu kỹ thuật và kiến trúc thiết kế khác nhau.

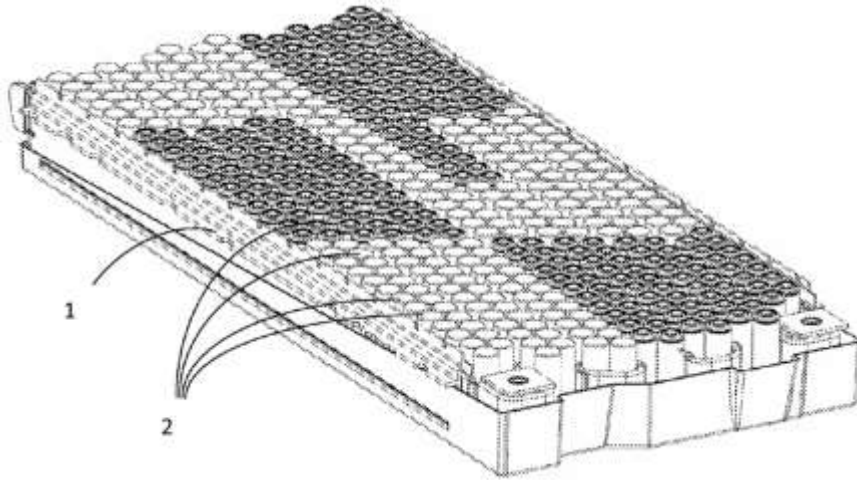
Phương pháp làm mát bằng tấm dẫn nhiệt sử dụng một tấm kim loại có tích hợp kênh dẫn dung dịch làm mát, được áp sát vào mặt module hoặc cụm cell pin. Ưu điểm nổi bật của phương án này là hiệu quả truyền nhiệt cao nhờ diện tích tiếp xúc lớn và khả năng kiểm soát nhiệt độ chính xác thông qua hệ thống bơm tuần hoàn. Ngoài ra, vì dung dịch không tiếp xúc trực tiếp với cell nên đảm bảo an toàn điện cao hơn. Tuy nhiên, cấu trúc này đòi hỏi hệ thống cơ khí và thủy lực tương đối phức tạp, làm tăng khối lượng và chi phí sản xuất, đồng thời yêu cầu mặt tiếp xúc phẳng và đều để đạt hiệu suất tối ưu [4].



Hình 1.11: Phương pháp làm mát bằng tấm dẫn nhiệt.

Ngược lại, phương pháp làm mát bằng ống dẫn xoắn quanh cell bố trí các kênh dẫn dung dịch đan xen hoặc bao quanh từng cell riêng lẻ, thường áp dụng cho cấu trúc cell hình trụ. Cách này cho phép tiếp cận trực tiếp đến vị trí sinh nhiệt chính, tăng hiệu quả tản nhiệt cục bộ và phù hợp với các bộ pin có hình dạng linh hoạt. Tuy nhiên, thách thức lớn của phương án này là đảm bảo sự phân bố nhiệt đồng đều giữa các

cell: nếu dòng chảy không đều hoặc bị cản trở, một số vùng có thể bị quá nhiệt. Bên cạnh đó, hệ thống ống đan xen bên trong pack pin cũng gây khó khăn trong việc lắp ráp, bảo trì và thay thế [5].



Hình 1.12: Cấu trúc kênh dẫn làm mát pin trong một modul.

Chú thích: 1 - Ống dẫn dung dịch làm mát, 2 – Cell pin.

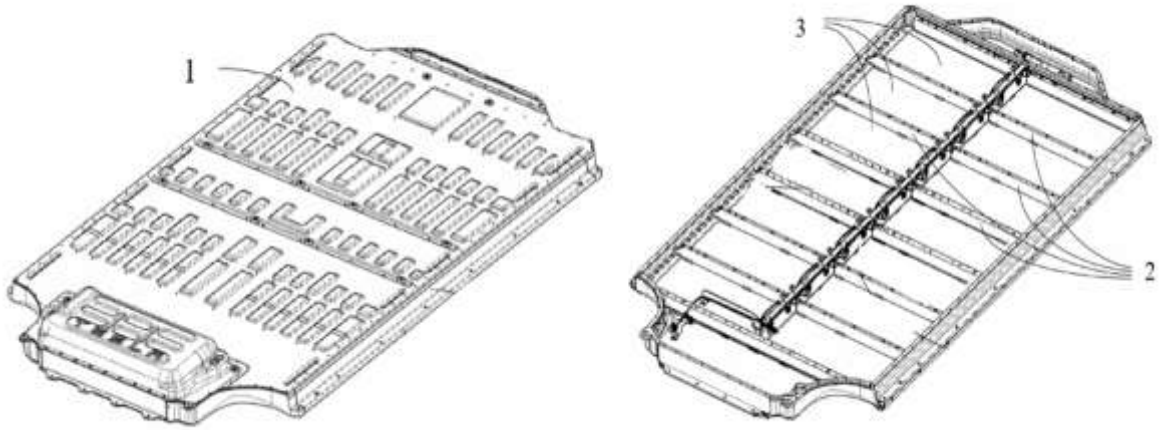
Bên cạnh đó, các phương pháp làm mát sử dụng môi chất hai pha, nơi pin được ngập trong chất lỏng có khả năng sôi ở nhiệt độ thấp, đang được nghiên cứu như một hướng tiếp cận tiềm năng. Cơ chế hấp thụ nhiệt qua chuyển pha cho phép tốc độ truyền nhiệt rất cao, nhưng yêu cầu cao về vật liệu cách điện và độ bền cơ học trong môi trường ngập lỏng.

Phương pháp làm mát chủ động với các ưu điểm như chủ động cung cấp các chất làm mát như dung dịch, khí, ... để nhằm điều chỉnh nhiệt độ hiệu quả và duy trì hoạt động của pin ở trạng thái tối ưu. Thì phương pháp này hiện tại thường được áp dụng rộng trong các dòng xe điện tiêu biểu như Vinfast và Tesla đều sử dụng hệ thống làm mát bằng dung dịch.

1.4 Cấu tạo cơ khí bộ pin:

Cấu tạo cơ khí bộ pin gồm 3 thành phần chính [5]:

- Nắp bộ pin.
- Vách ngăn.
- Khay pin.



Hình 1.13: Cấu tạo cơ khí của bộ pin.

Chú thích: 1- nắp pin, 2 - các vách ngăn và 3 - khay pin.

Mỗi bộ phận giữ vai trò thiết yếu trong việc đảm bảo hiệu quả hoạt động, an toàn và độ bền cơ học cho toàn bộ hệ thống lưu trữ năng lượng.

Nắp pin là bộ phận che chắn phía trên của gói pin, có chức năng chính là bảo vệ các thành phần bên trong khỏi các tác động vật lý từ môi trường bên ngoài như bụi, nước, rung động và va đập trong quá trình vận hành. Ngoài ra, nhiều thiết kế hiện đại còn tích hợp khả năng cách nhiệt và chống cháy lan, giúp hạn chế nguy cơ lan truyền sự cố trong trường hợp xảy ra hiện tượng quá nhiệt hoặc cháy nổ tại một vùng pin cục bộ. Trong một số kết cấu, đặc biệt là ở các mẫu xe có thiết kế sàn phẳng, nắp pin còn đồng thời đóng vai trò như một phần của sàn xe, góp phần cải thiện khí động học và độ cứng kết cấu tổng thể. Vật liệu chế tạo nắp pin thường là nhôm định hình, thép không gỉ hoặc vật liệu composite có độ bền cao và trọng lượng nhẹ.

Đối với khay pin là phần giá đỡ chịu lực chính, nơi bố trí và cố định các module pin hoặc các cell đơn lẻ. Cấu trúc này được thiết kế để đảm bảo tính ổn định cơ học cao, chống biến dạng khi xe vận hành hoặc chịu va chạm. Bên cạnh vai trò cơ học, khay pin còn đóng vai trò là bộ phận tản nhiệt trong hệ thống, thường được tích hợp các kênh dẫn chất làm mát hoặc các bề mặt dẫn nhiệt nhằm duy trì nhiệt độ vận hành ổn định cho các cell pin. Đồng thời, khay pin cần đảm bảo tính kín hoàn toàn theo tiêu chuẩn hoặc cao hơn, để chống thấm nước và bụi xâm nhập, đặc biệt trong điều kiện môi trường khắc nghiệt. Vật liệu được sử dụng phổ biến là nhôm đúc hoặc thép dập định hình, tùy theo yêu cầu về trọng lượng và khả năng chịu tải.

Về cấu trúc vách ngăn được bố trí bên trong khay pin với chức năng phân chia khay pin thành các vùng riêng biệt cho từng module pin. Nhờ đó, hệ thống có thể hoạt động ổn định hơn khi chịu rung động, đồng thời giảm thiểu sự lan truyền của các rủi ro nhiệt hoặc chập mạch điện giữa các vùng trong trường hợp xảy ra sự cố. Ngoài ra, một số vách ngăn còn được thiết kế để làm giá đỡ cho hệ thống dây điện, cảm biến, hệ thống làm mát và các thành phần thuộc bộ quản lý pin. Việc sử dụng vật liệu đồng bộ với khay pin như nhôm hoặc thép giúp tránh hiện tượng ăn mòn điện hóa khi tiếp xúc lâu dài.

CHƯƠNG 2: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ BỘ PIN

2.1. Tính toán bộ pin:

2.1.1. Thông số cho trước:

Bài nghiên cứu này tập trung vào việc nghiên cứu và thiết kế hệ thống làm mát bằng dung dịch cho bộ pin lithium, nhằm đảm bảo khả năng tản nhiệt hiệu quả, duy trì hoạt động ổn định và kéo dài tuổi thọ pin. Các thông số đầu vào được lựa chọn dựa trên cấu hình của xe điện Tesla model S một trong những đại diện tiêu biểu cho dòng xe hiệu suất cao hiện nay. Cụ thể, bộ truyền động điện có công suất cực đại 504 kW, năng lượng định danh bộ pin đạt 100 kWh và điện áp định mức 400 V. Đồng thời cell pin sẽ sử dụng thiết kế trong bộ pin là cell NCR18650B các thông số như bảng 2.1 [6]. Những thông số này là cơ sở để xây dựng mô hình tính toán nhiệt và đề xuất phương án làm mát phù hợp.

Bảng 2.1: Bảng thông số cell NCR18650B.

Cell NCR18650B		
Đường kính cell (D_c)	0.0185	m
Chiều cao cell (H_c)	0.0653	m
Điện áp của cell (U_c)	3.6	V
Dung lượng cell (C_c)	3.4	Ah
Khối lượng của cell (m_c)	46	g

2.1.2: Tính toán thiết kế bộ pin:

Từ bảng 2.1 ta tính được [7-8]:

Dung lượng của bộ pin:

$$C_b = \frac{E_b}{U_{dm}} = \frac{100 \times 10^3}{400} = 250(\text{Ah}) \quad (2.1)$$

Với U_{dm} là điện áp định mức $U_{dm} = 400V$ và năng lượng của bộ pin $E_b = 100kWh$.

Thể tích của cell pin:

$$V_c = \pi \frac{H_c \times D_c^2}{4} = \pi \frac{0.0653 \times 0.0185^2}{4} \approx 1.755 \times 10^{-5} (m^3) \quad (2.2)$$

Số lượng cell pin bắt nối tiếp:

$$N_s = \frac{U_{dm}}{U_c} = \frac{400}{3.6} \approx 111.1111(cell) \quad (2.3)$$

Vì số cell pin phải là số nguyên nên ta lấy số nguyên lớn nhất ta được:

$$N_s = 112(cell)$$

Số lượng cell pin kết nối song song:

$$N_p = \frac{C_b}{C_c} = \frac{250}{3.4} \approx 73.5294(cell) \quad (2.4)$$

Ta chọn lại số cell pin: $N_p = 74(cell)$.

Tổng số cell pin trong bộ pin:

$$N_b = N_s \times N_p = 112 \times 74 = 8288(cell) \quad (2.5)$$

Thể tích của bộ pin:

$$V_b = N_b \times V_c = 8288 \times 1.755 \times 10^{-5} \approx 0.1454(m^3) \approx 145.4(l) \quad (2.6)$$

Khối lượng của bộ pin:

$$m_b = N_b \times m_c = 8288 \times 46 \times 10^{-3} = 401.968(kg) \quad (2.7)$$

Tính lại điện áp của bộ pin:

$$U'_b = N_s \times U_c = 112 \times 3.6 = 403.2(V) \quad (2.8)$$

Tính lại dung lượng của bộ pin:

$$C'_b = C_c \times N_p = 3.4 \times 74 \approx 251.6(Ah) \quad (2.9)$$

Tính lại năng lượng của bộ pin:

$$E'_b = \frac{U'_b \times C'_b}{1000} = \frac{403.2 \times 251.6}{1000} \approx 101.445(kWh) \quad (2.10)$$

Mật độ năng lượng riêng:

$$E_g = \frac{E'_b}{m_b} = \frac{101.445}{401.968} \approx 0.2523(kWh / kg) \quad (2.11)$$

Mật độ năng lượng riêng theo thể tích:

$$E_l = \frac{E'_b}{V_b} = \frac{101.445}{145.4} \approx 0.6976(kWh / l) \quad (2.12)$$

2.2. Thiết kế cơ khí bộ pin:

a) Tính toán thiết kế cơ khí sơ bộ:

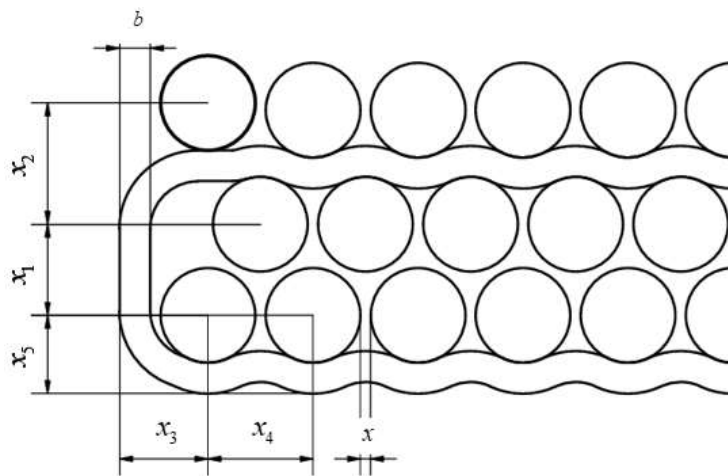
Với số cell pin trong bộ pin là 8288 cell pin trong chuỗi nối tiếp gồm 112 cell pin và chuỗi song song gồm 74 cell pin.

Để đơn giản hóa việc quản lý và bảo vệ bộ pin, ta chia số cell trong bộ pin đưa vào các modul. Ta bố trí 2 dãy và mỗi hàng 8 modul và tổng cell pin trong một modul là 518 cell pin với 14 cell nối tiếp và 37 cell song song trong mỗi dãy kết nối trong modul.

Giá đỡ cell trong một modul:

Vì các cell pin ta bố trí theo kiểu xen kẽ nên ta:

Chọn khoảng cách giữa 2 cell pin song song cách nhau $x = 2$ (mm) và bề rộng kênh làm mát $b = 6$ (mm) và bề dày vỏ modul $e = 1$ (mm), từ đó dựa vào bố trí cell pin như hình 2.1 ta xác định được các khoảng cách như bảng 2.2:

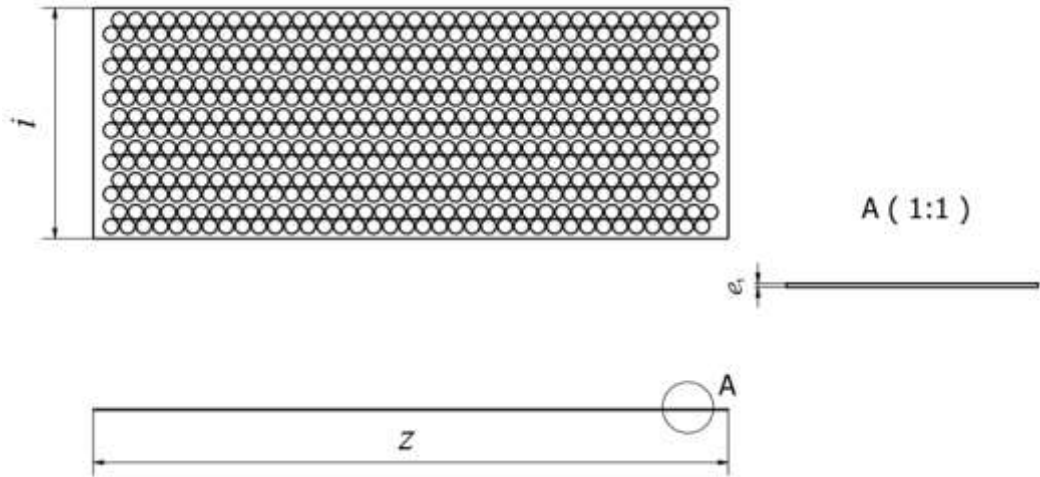


Hình 2.1: Bố trí kích thước cell.

Bảng 2.2: Kích thước bố trí cell trong modul.

Thông số	Giá trị
Khoảng cách của 2 cell nối tiếp (mm)	$x_1 = 17.75$
Khoảng cách của 2 cell nối tiếp qua kênh làm mát (mm)	$x_2 = 22.25$

Khoảng cách cell theo chiều cell nối tiếp đến rìa kênh làm mát (mm)	$x_3=15.25$
Khoảng cách của 2 cell song song (mm)	$x_4=20.5$
Khoảng cách cell theo chiều cell nối song song đến rìa kênh làm mát (mm)	$x_5=17.25$



Hình 2.2: Bố trí kích thước giá đỡ cell.

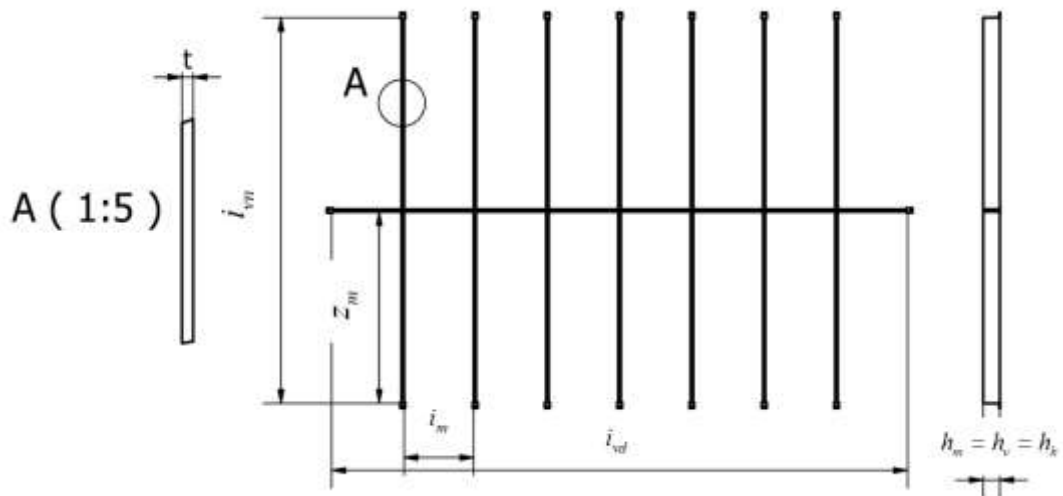
Chiều dài của giá đỡ cell pin trong một modul (theo chiều nối tiếp):

$$i = 7 \times x_1 + 6 \times x_2 + 2 \times x_3 = 7 \times 17.75 + 6 \times 22.25 + 2 \times 15.25 = 288.25(mm) \quad (2.13)$$

Chiều rộng của giá đỡ cell pin trong một modul (theo chiều song song):

$$z = 37 \times x_4 + 2 \times x_5 = 37 \times 20.5 + 2 \times 17.25 = 793(mm) \quad (2.14)$$

Chọn bề dày của giá đỡ: $e_1 = 1(mm)$



Hình 2.3: Bố trí kích thước modul và vách ngăn.

Chiều dài của modun:

$$i_m = i + 2 \times e = 288.25 + 2 \times 1 = 290.25(mm) \quad (2.15)$$

Chiều rộng của modun:

$$z_m = z + 2 \times e = 793 + 2 \times 1 = 795(mm) \quad (2.16)$$

Chiều cao của modun:

$$h_m = H_c + 2 \times e + e_1 = 65.3 + 2 \times 1 + 1 = 68.3(mm) \quad (2.17)$$

Tính kích thước vách ngăn và khay pin:

Vì bộ pin ta gồm 2 hàng và mỗi hàng 8 modun ta cần 7 vách ngăn ngang và 1 vách ngăn dọc và được xếp xen kẽ giữa các modun để ngăn cách:

Chọn bề rộng của vách ngăn: $t = 10(mm)$

Chọn khoảng hở của khay pin với các modun: $e_k = 10(mm)$

Chọn bề dày của khay pin: $t_1 = 10(mm)$.

Chiều dài của vách ngăn dọc:

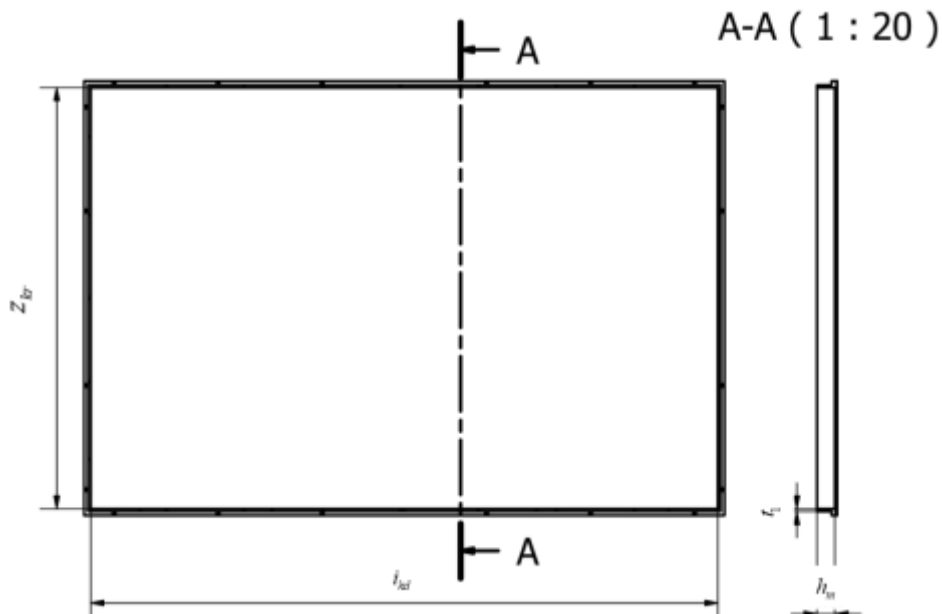
$$i_{vd} = 8 \times i_m + 7 \times t = 8 \times 290.25 + 7 \times 10 = 2392(mm) \quad (2.18)$$

Chiều dài của vách ngăn ngang:

$$i_{vn} = 2 \times z_m + t = 2 \times 795 + 10 = 1600(mm) \quad (2.19)$$

Chiều cao của vách ngăn và chiều cao bên trong khay pin:

$$h_v = h_k = h_m = 68.3(mm) \quad (2.20)$$



Hình 2.4: Bố trí kích thước khay pin.

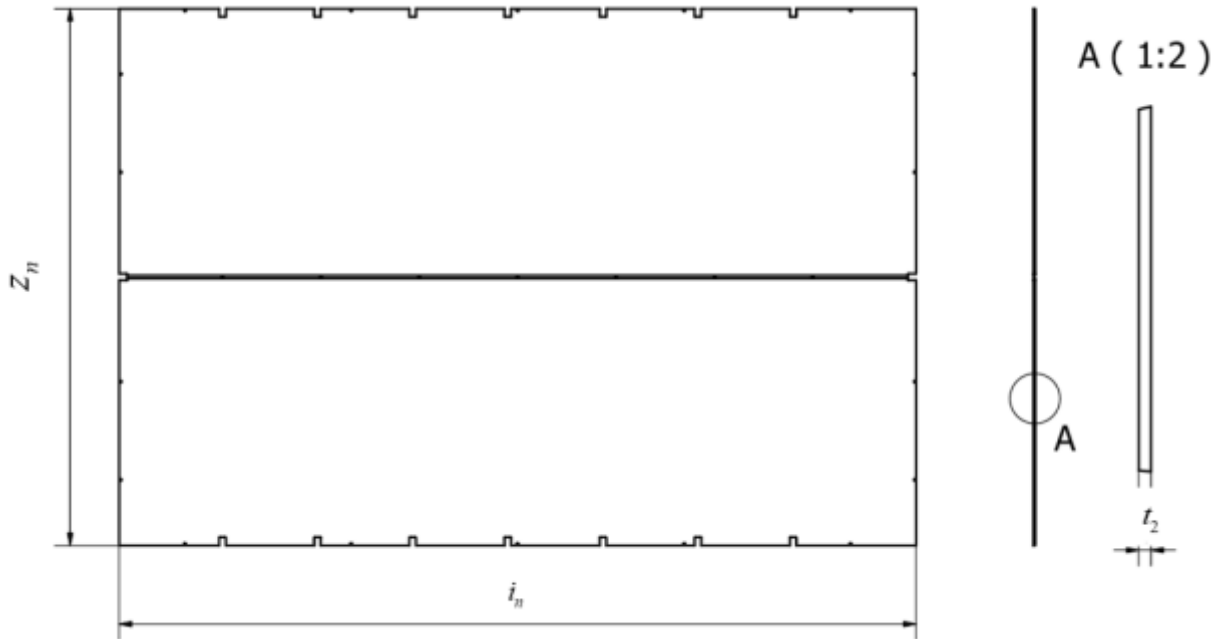
Chiều dài trong khay pin:

$$i_{kd} = i_{vd} + 2 \times e_k = 2392 + 2 \times 10 = 2412(mm) \quad (2.21)$$

Chiều rộng trong khay pin:

$$z_{kr} = i_{vn} + 2 \times e_k = 1600 + 2 \times 10 = 1620(mm) \quad (2.22)$$

Tính kích thước nắp trên của bộ pin:



Hình 2.5: Bố trí kích thước nắp pin.

Chọn bề dày của nắp bộ pin:

$$t_2 = 5(mm)$$

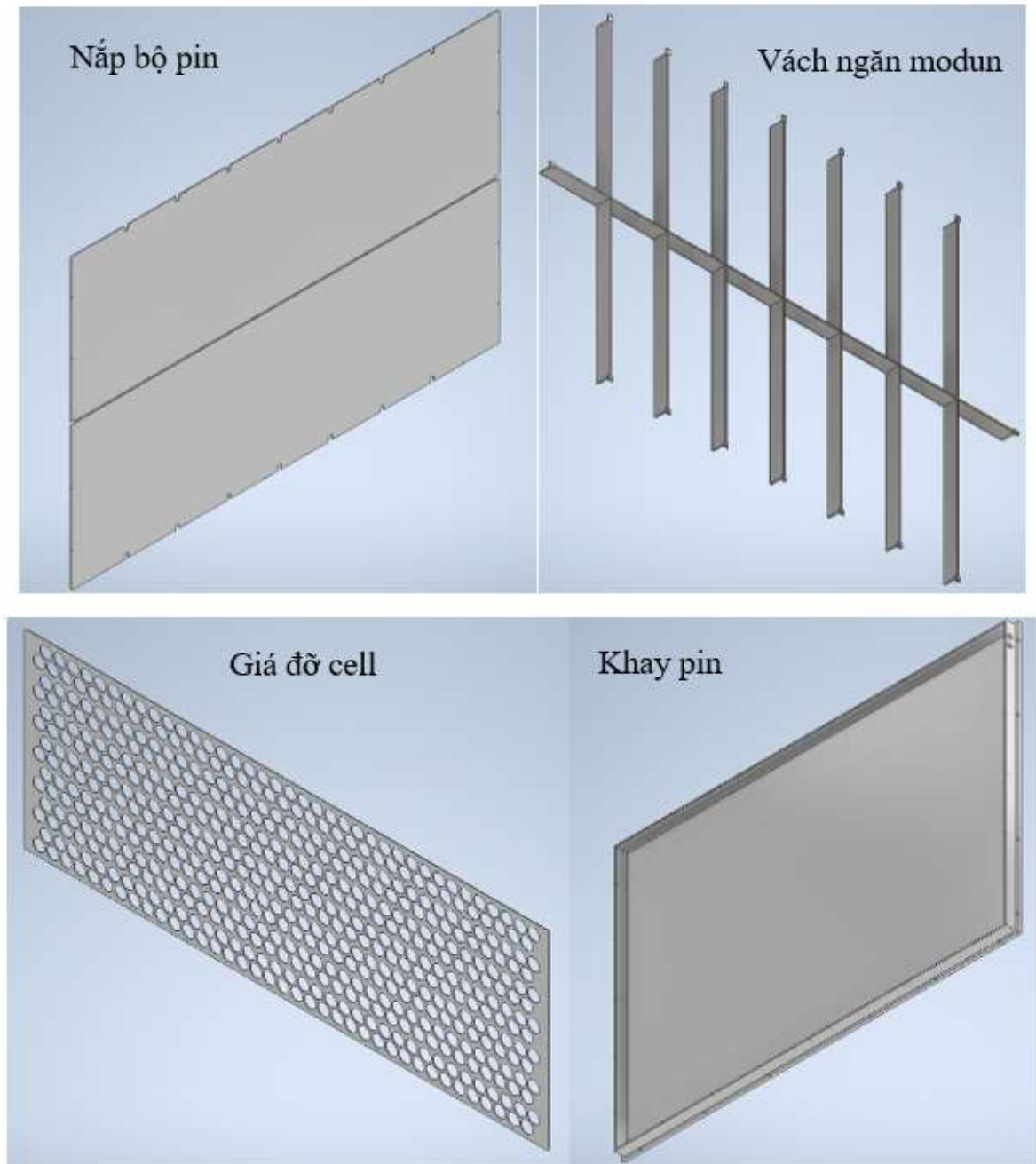
Chiều dài của nắp bộ pin:

$$i_n = i_{kd} + 2 \times t_1 = 2412 + 2 \times 10 = 2432(mm) \quad (2.23)$$

Chiều rộng của nắp bộ pin:

$$z_n = z_{kr} + 2 \times t_1 = 1620 + 2 \times 5 = 1640(mm) \quad (2.24)$$

Từ các số liệu kích thước ta xác định ở trên ta thiết kế kết cấu cơ khí của bộ pin như hình 2.6 sau:



Hình 2.6: Thiết kế cơ khí của bộ pin.

b) Mô phỏng kết cấu cơ khí của bộ pin tác dụng lên khay pin:

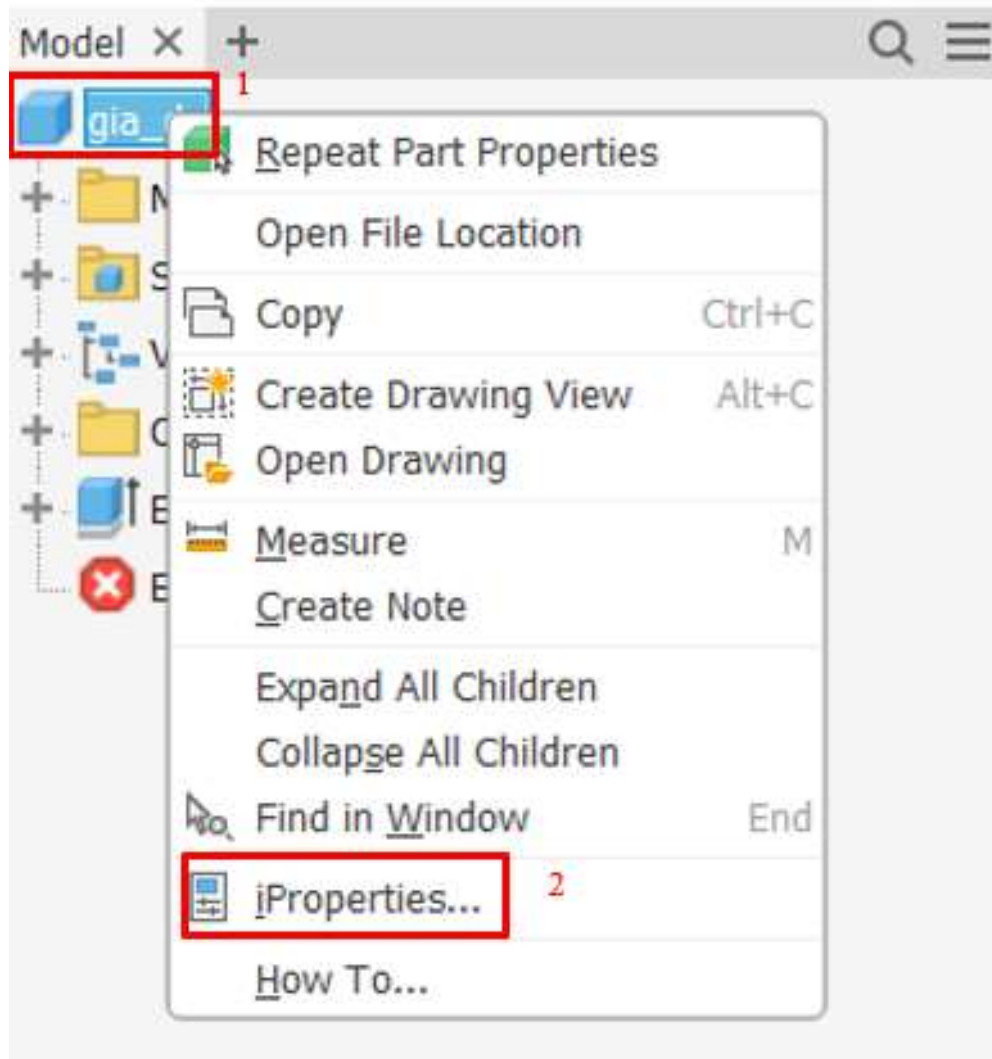
Giới thiệu phần mềm Autodesk Inventor:

Autodesk Inventor là phần mềm thiết kế cơ khí 3D chuyên dụng, được sử dụng để mô hình hóa, kiểm tra và đánh giá kết cấu trong môi trường ảo. Với khả năng mô phỏng chính xác hình học, lắp ráp và tương tác giữa các bộ phận, Inventor hỗ trợ quá trình thiết kế trở nên trực quan và hiệu quả hơn, đặc biệt phù hợp trong giai đoạn phát triển hệ thống cơ khí phức tạp. Vì vậy trong nghiên cứu thiết kế cơ khí hệ thống pin này ta

sử dụng phần mềm Autodesk Inventor để thiết kế các chi tiết cơ khí của hệ thống pin và mô phỏng đánh giá kết cấu của các chi tiết cơ khí đã thiết kế.

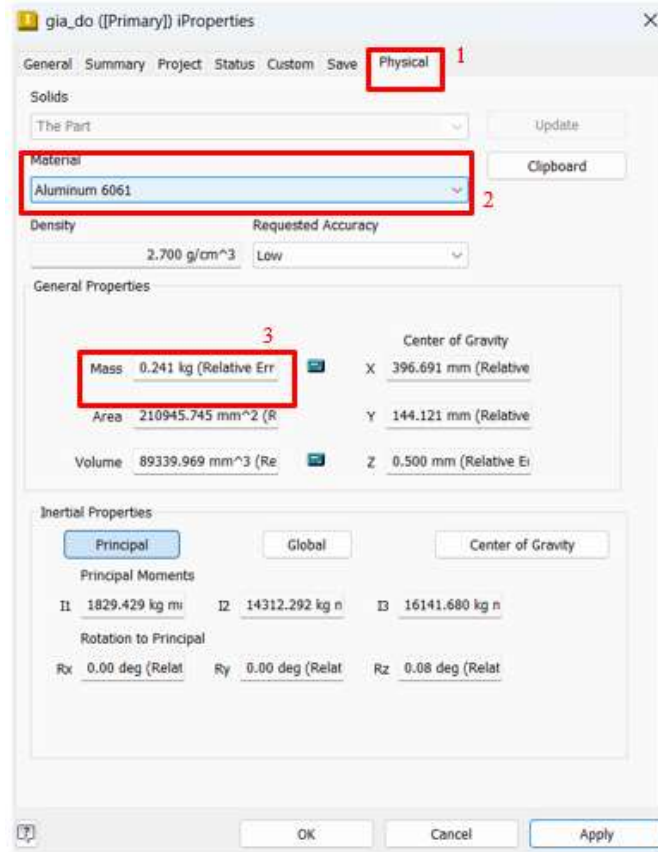
Thiết lập mô phỏng kết cấu trên Autodesk Inventor:

Sau khi xây dựng được mô hình trên Autodesk Inventor như hình 2.6, ta lựa chọn vật liệu cho mô hình là nhôm 6061, từ đó xác định khối lượng của giá đỡ, vách ngăn và nắp bộ pin bằng cách vào iProperties như hình 2.7.



Hình 2.7: Thay đổi vật liệu mô hình.

Trong giao diện của iProperties ta chọn vào Physical để thực hiện lựa chọn vật liệu cho mô hình và xác định khối lượng của mô hình của mình cần tìm như hình 2.8:



Hình 2.8: Điều chỉnh vật liệu và xác định khối lượng của mô hình.

Từ đó ta xác định được khối lượng lần lượt của giá đỡ, vách ngăn và nắp bộ pin là:

Bảng 2.3: Giá trị khối lượng.

Thông số	Giá trị
Khối lượng của giá đỡ (kg)	$m_g = 0.241$
Khối lượng của vách ngăn (kg)	$m_v = 10.958$
Khối lượng của nắp bộ pin (kg)	$m_n = 53.538$

Tính lực tác dụng lên khay pin khi tải trọng tĩnh:

Khối lượng tác dụng lên khay pin:

$$m = m_b + 16 \times m_g + m_v + m_n = 401.968 + 16 \times 0.241 + 10.958 + 53.538 \quad (2.25)$$

$$\Rightarrow m \approx 470.32(\text{kg})$$

Lực tác dụng lên khay pin:

$$F = m \times g = 470.32 \times 9.81 \approx 4613.83(\text{N}) \quad (2.26)$$

Ta chọn vật liệu của khay pin là nhôm 6061 giới hạn chảy là 276 (MPa):

Ứng suất cho phép [9]:

$$\delta_{cp} = \frac{\delta_c}{n} = \frac{276}{3} = 92(MPa) \geq \delta_{lv} \quad (2.27)$$

Trong đó: δ_{cp} : Ứng suất cho phép (MPa).

δ_c : Giới hạn chảy của vật liệu nhôm 6061 (MPa).

n : Hệ số an toàn chọn (1.5 đến 3).

δ_{lv} : Ứng suất làm việc.

Chuyển vị cho phép [10]:

$$\gamma_{cv} = \frac{i_n}{250} = \frac{2432}{250} = 9.728(mm) \geq \gamma_{lv} \quad (2.28)$$

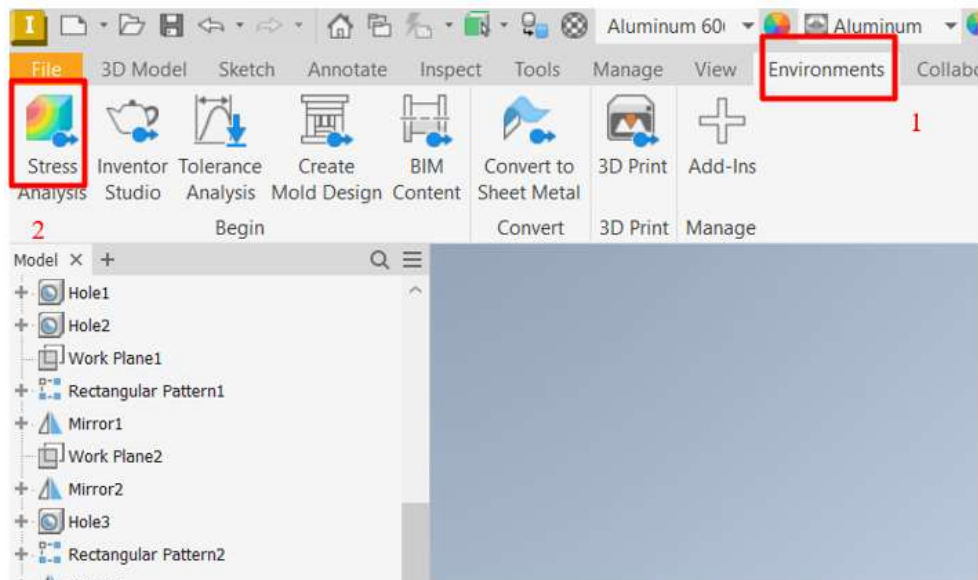
Trong đó: γ_{cp} : Chuyển vị cho phép (mm).

i_n : Chiều dài của nắp pin (bằng chiều dài ngài của khay pin) (mm).

γ_{lv} : Chuyển vị làm việc (mm).

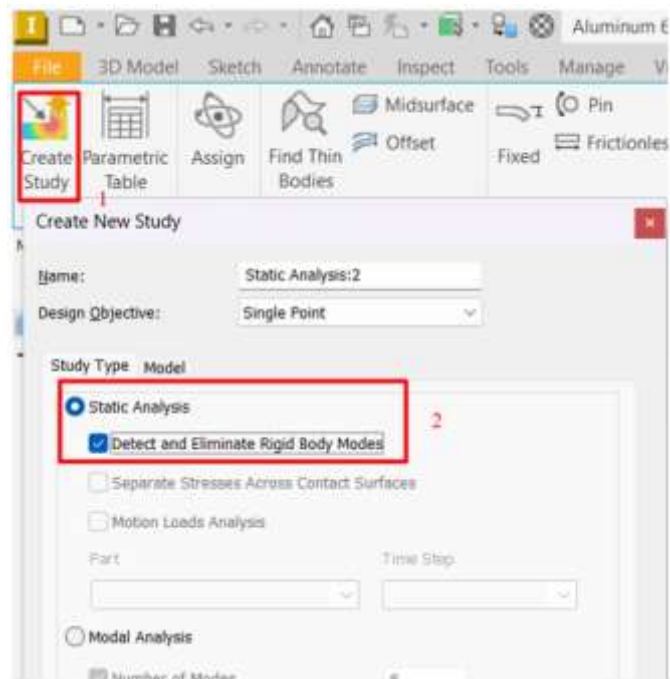
Thiết lập mô phỏng:

Đầu tiên sau khi ta xây dựng được mô hình, để mô phỏng kết cấu của khay pin ta vào Environments chọn Stress Analysis để vào giao diện mô phỏng. Tương tự các bước trong hình 2.9.



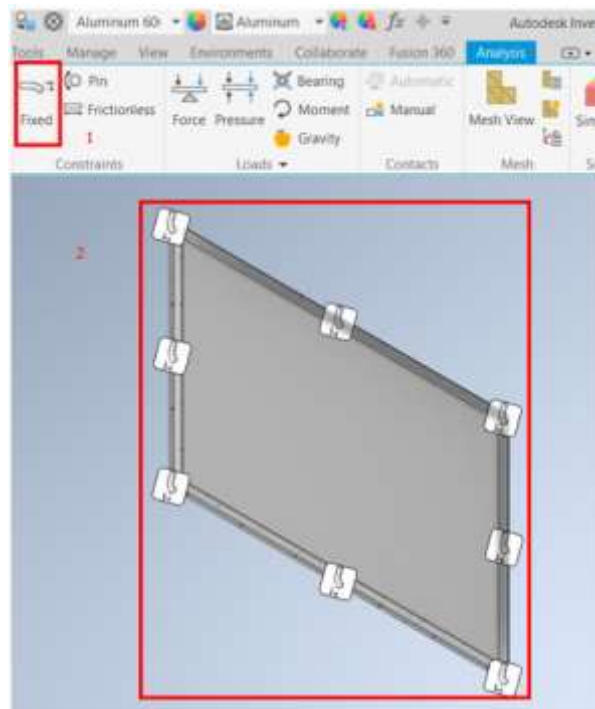
Hình 2.9: Vào môi trường mô phỏng kết cấu trong inventor.

Tiếp theo ta chọn vào Create Study để khởi tạo dự án như trong hình 2.10.



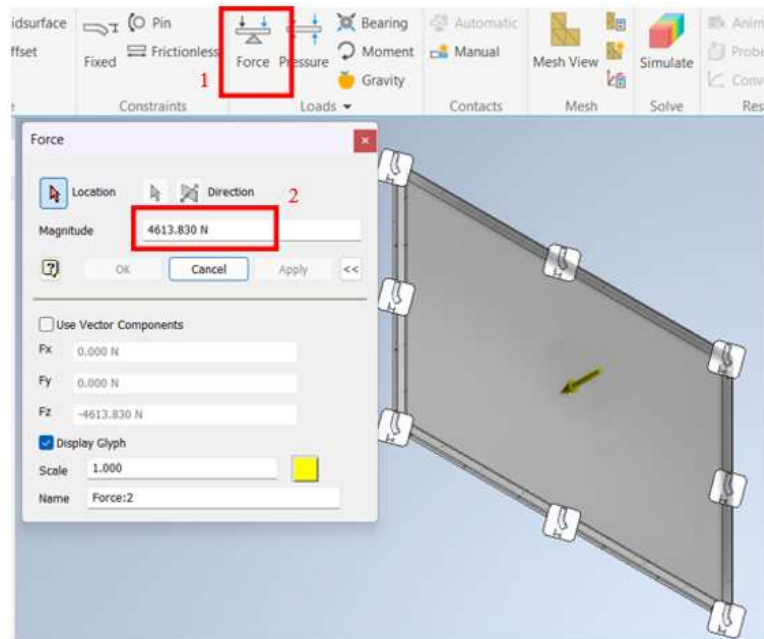
Hình 2.10: Khởi tạo dự án mô phỏng kết cấu.

Do trong bài mô phỏng này là mô phỏng kết cấu dạng tấm ta cần đặt các điểm cố định cho mô hình. Ta thực hiện như sau chọn Fixed sau đó chọn các vị trí cố định như trong hình 2.11.



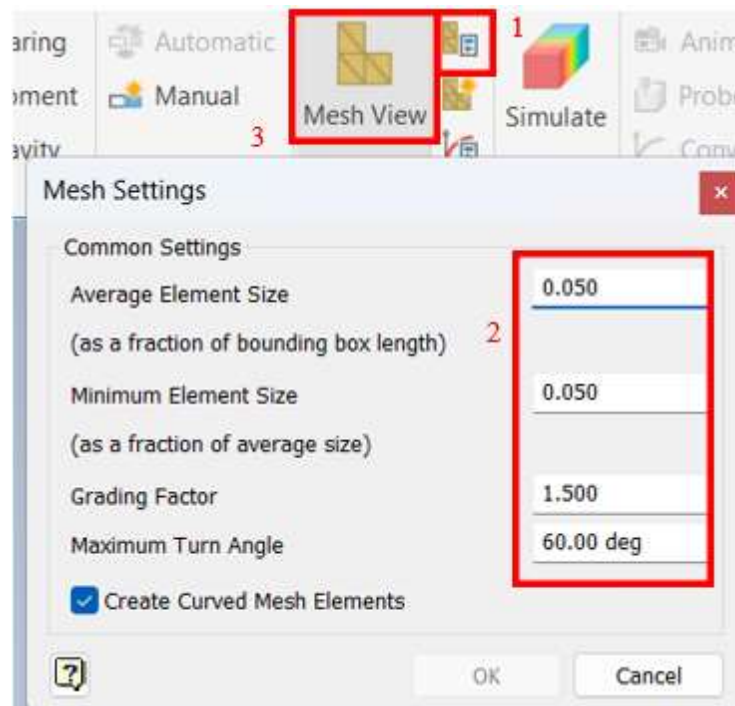
Hình 2.11: Thiết lập các vị trí cố định cho mô hình.

Từ lực tác dụng lên khay pin ta tính được ở trên ta thiết lập lực tác dụng lên khay pin như sau ta vào Force sau chọn bề mặt đặt lực sau đó thiết lập lực cho mô hình như hình 2.12.



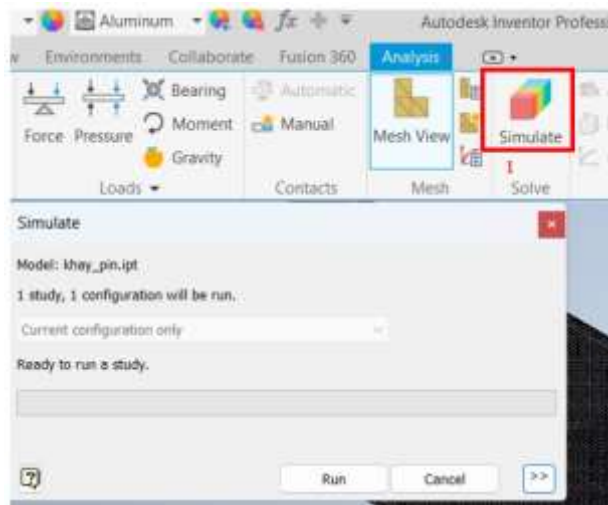
Hình 2.12: Thiết lập lực cho mô hình.

Sau khi thiết lập có điều kiện xong tạo vào Mesh Setting để điều chỉnh các kích thước lưới sau đó chọn Mesh View để tạo lưới cho mô hình.



Hình 2.13: Tạo lưới cho mô hình.

Cuối cùng ta và Simulate để chạy mô phỏng kết cấu của mô hình.

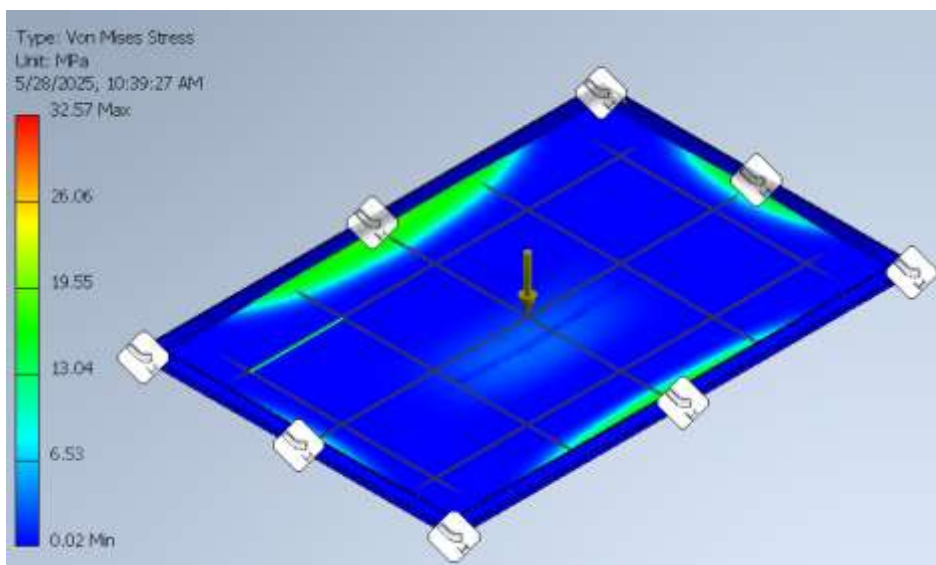


Hình 2.14: Chạy mô phỏng kết cấu.

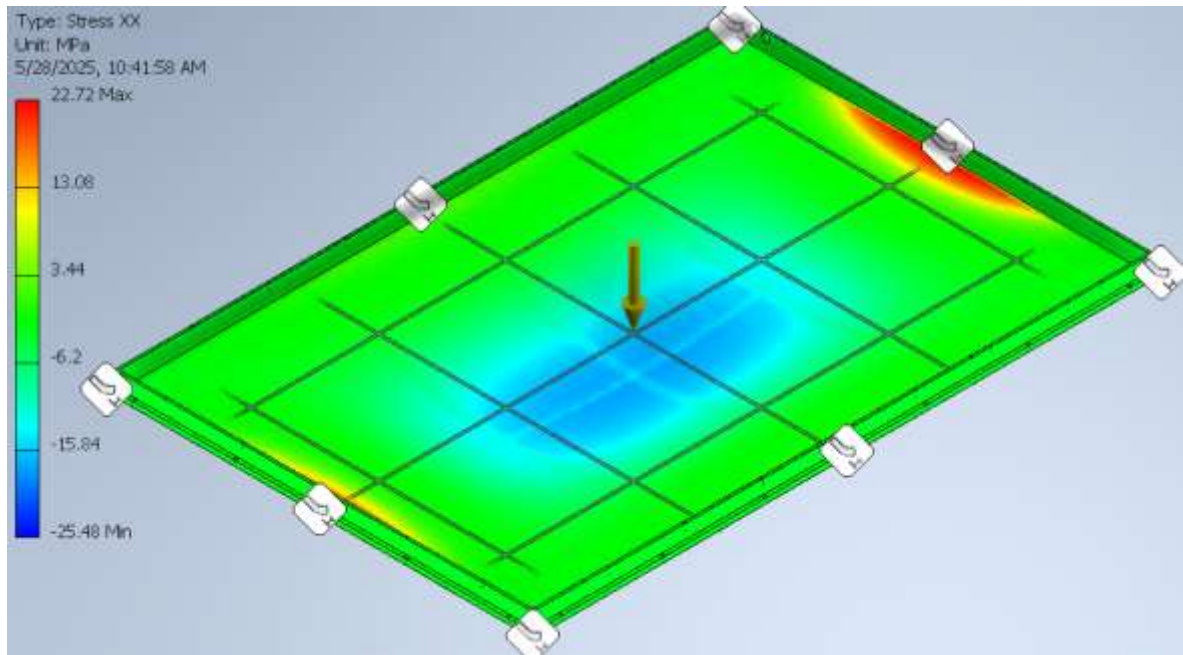
c) Đánh giá kết quả mô phỏng kết cấu khay pin:

Đánh giá ứng suất làm việc của khay pin:

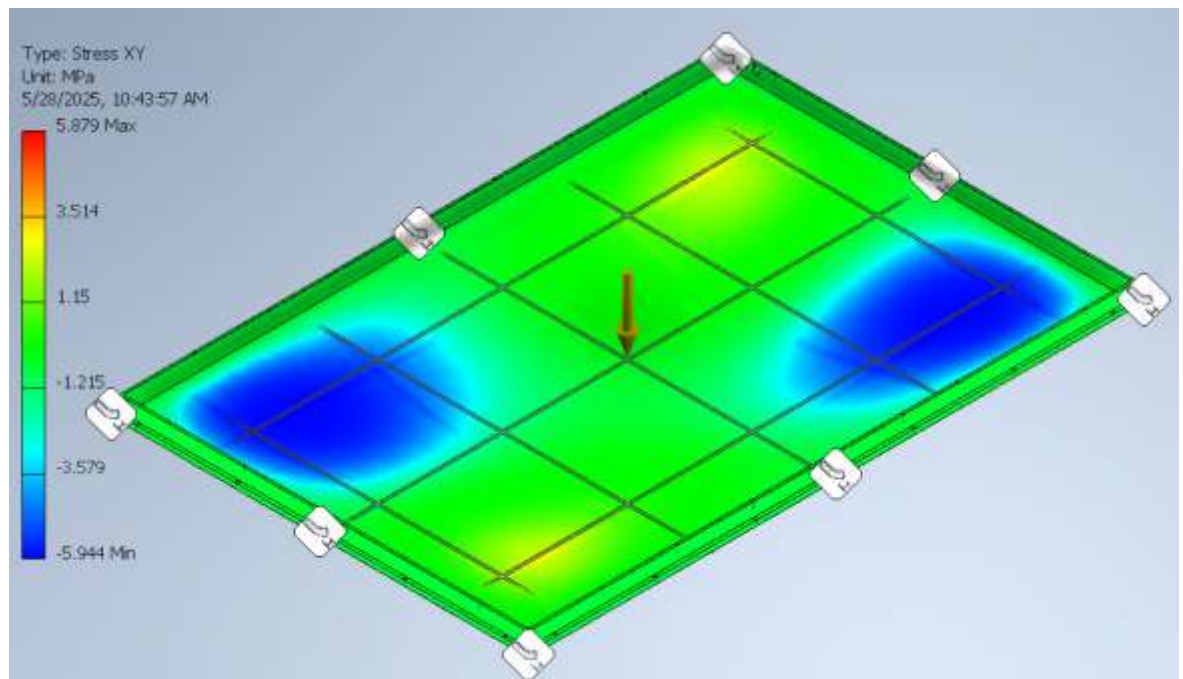
Với giá trị ứng suất cho phép ta tính được là 92 (MPa) thì ta thấy như trong hình 2.15, kết quả cho ta thấy được ứng suất làm việc lớn của khay pin tại tải trọng tĩnh thì ứng suất làm việc lớn nhất là 32.57 (MPa) thì nó thỏa mãn ứng suất cho phép của vật liệu mà ta đã tính, tương tự đối với các ứng suất tác dụng lên mô hình theo các phương mô tả bên dưới cho ta thấy khoảng giá trị ứng suất làm việc của mô hình đang ở khoảng ứng suất khá tốt. Đối với các giá trị âm trong các ứng suất làm việc tại các phương thì rất bình vì nó chỉ là thể hiện ứng suất tại vị trí đó (nhưng lại ngược với chiều nó quy ước) nên khi chạy nó sẽ cho ra các giá trị âm như các hình mô tả ở dưới.



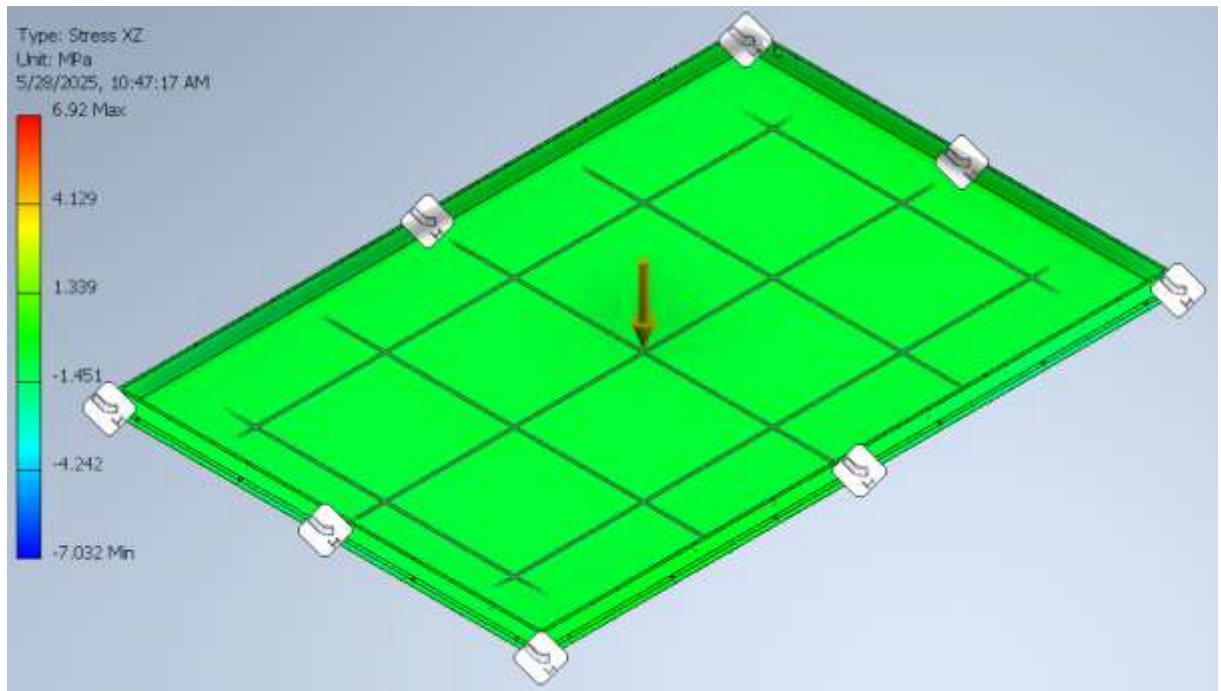
Hình 2.15: Kết quả ứng suất làm việc lớn nhất của khay pin.



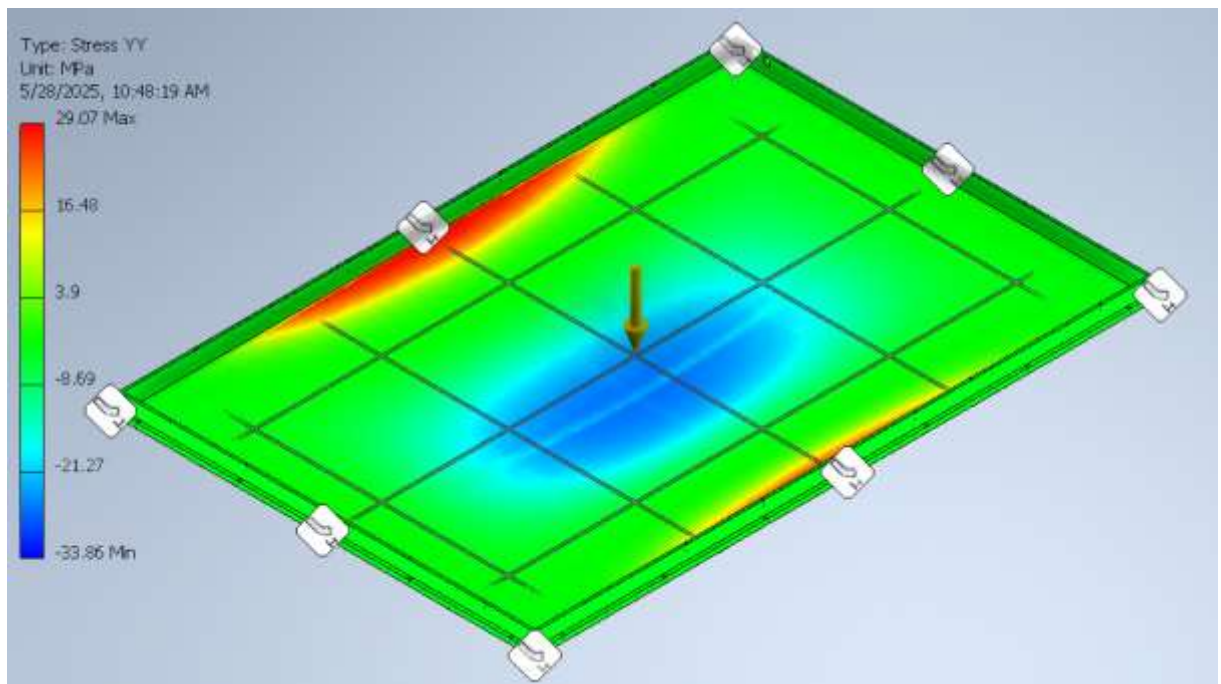
Hình 2.16: Kết quả ứng suất làm việc theo phương xx.



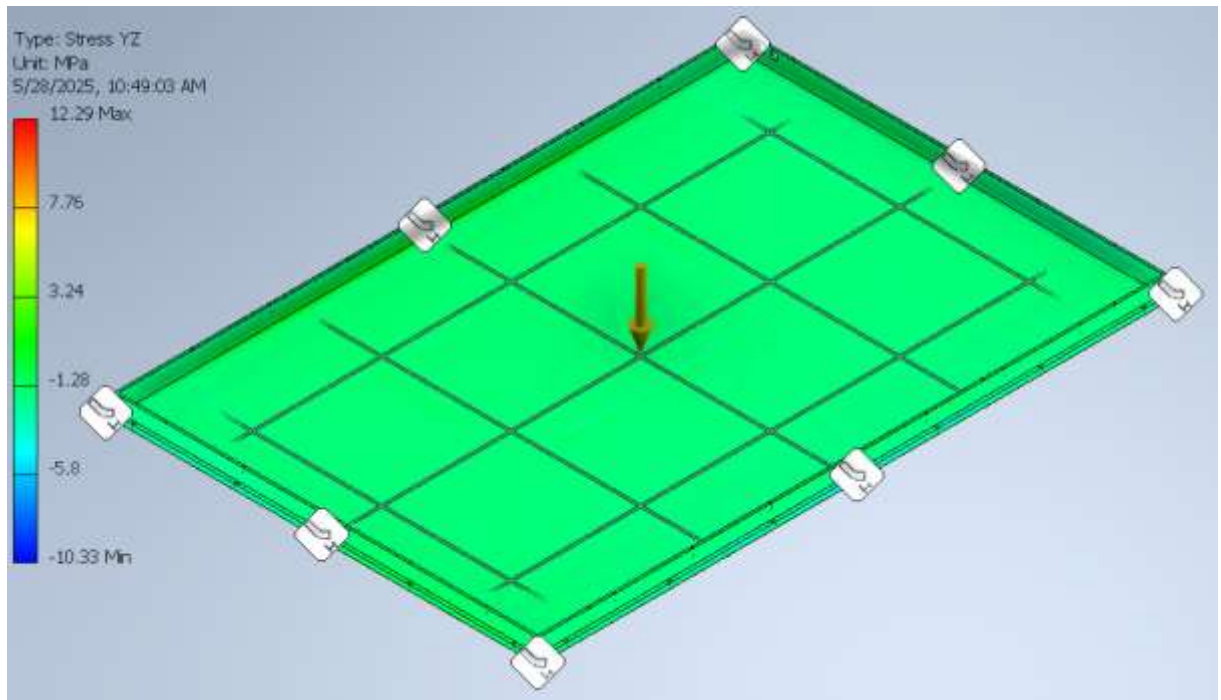
Hình 2.17: Kết quả ứng suất làm việc theo phương xy.



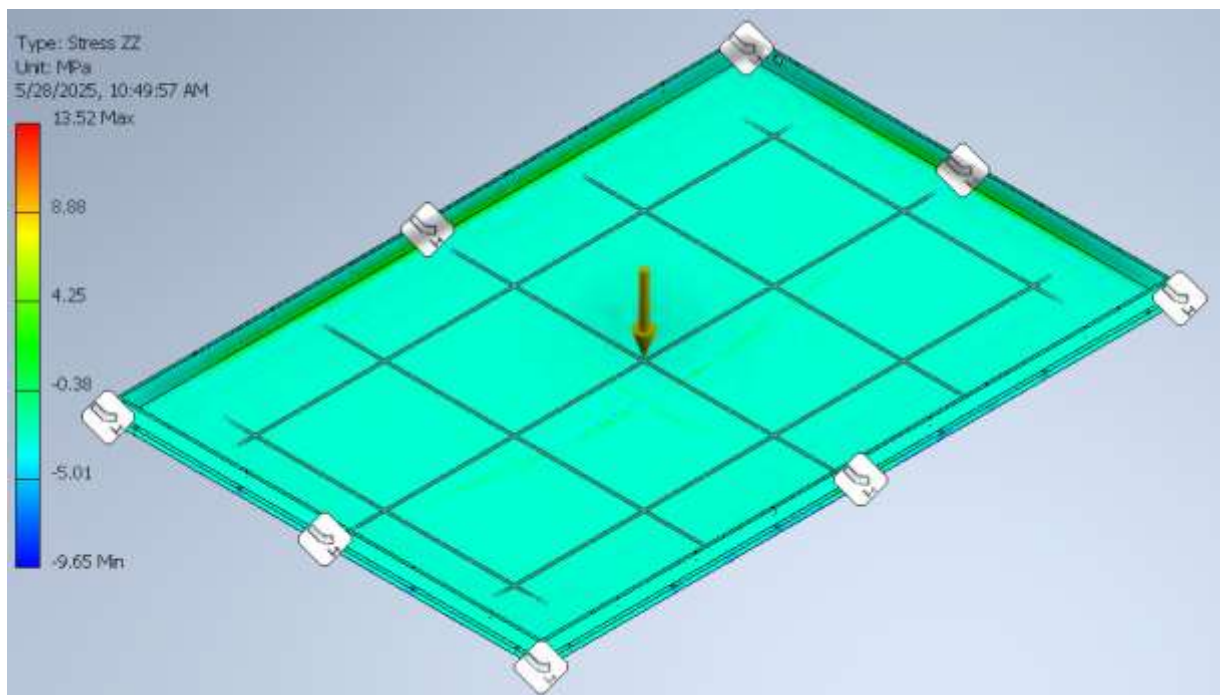
Hình 2.18: Kết quả ứng suất theo phương xz.



Hình 2.19: Kết quả ứng suất làm việc theo phương yy.



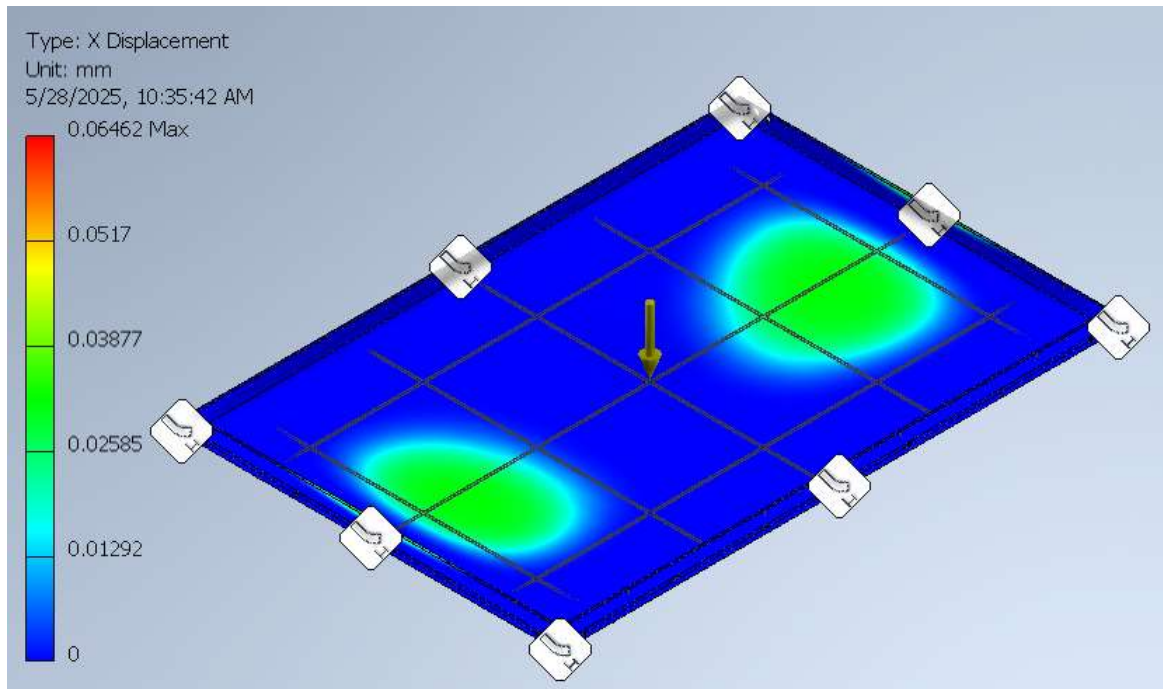
Hình 2.20: Kết quả ứng suất làm việc theo phương yz.



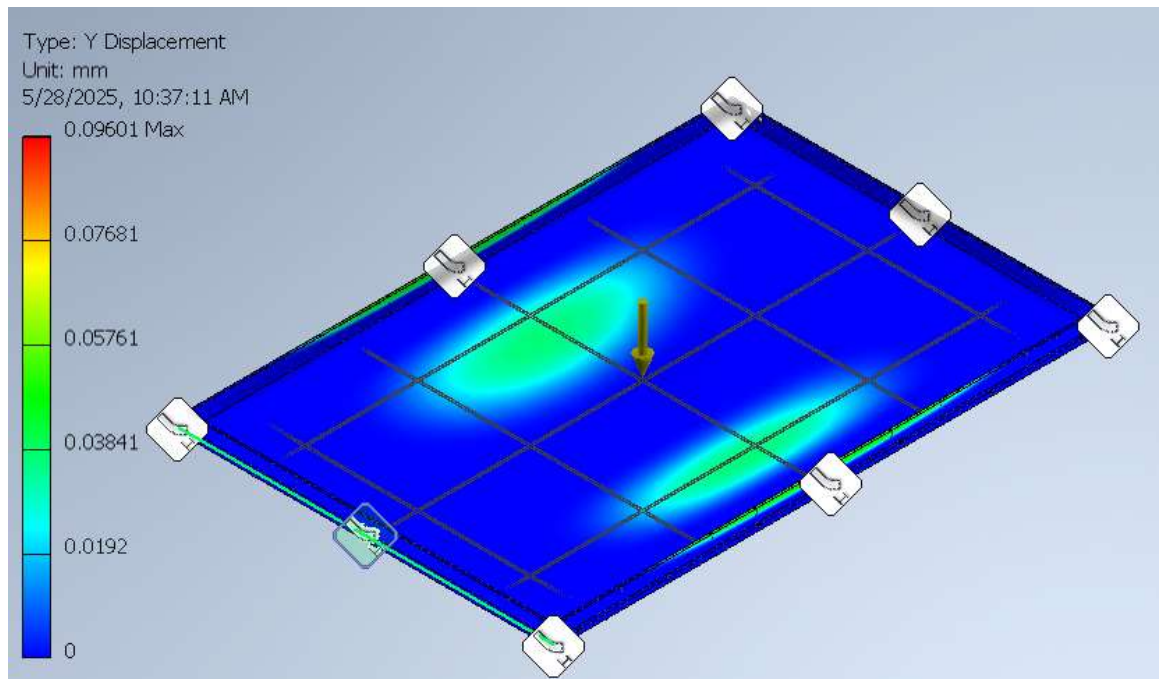
Hình 2.21: Kết quả ứng suất làm việc theo phương zz.

Đánh giá độ chuyển vị của khay pin:

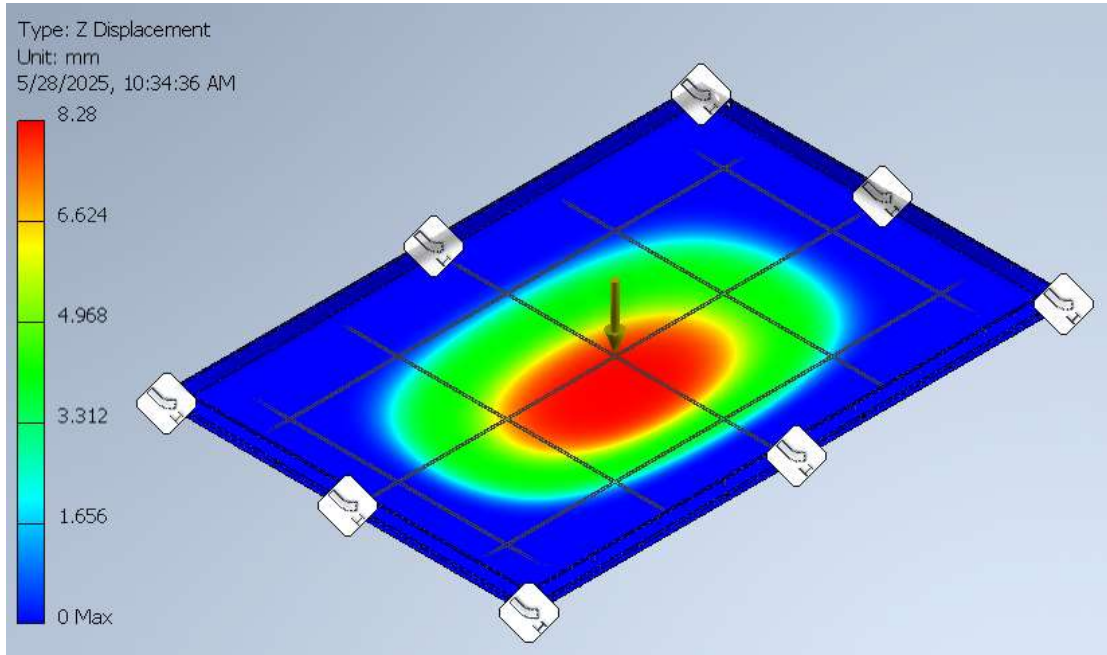
Đối độ chuyển vị lớn nhất nhất của mô hình thì do lực hiện tại đặt theo trục z nên trọng lượng tải sẽ tập trung theo trục z vậy nên chuyển vị tại trục z sẽ là lớn nhất với kết quả của bài mô phỏng là 8.28 (mm) thì so với độ chuyển vị cho phép ta tính được là 9.728 (mm) thì mô hình của ta thỏa mãn giá trị cho phép mà ta đã tính được ở trên.



Hình 2.22: Kết quả độ chuyển vị của mô hình theo trục x.



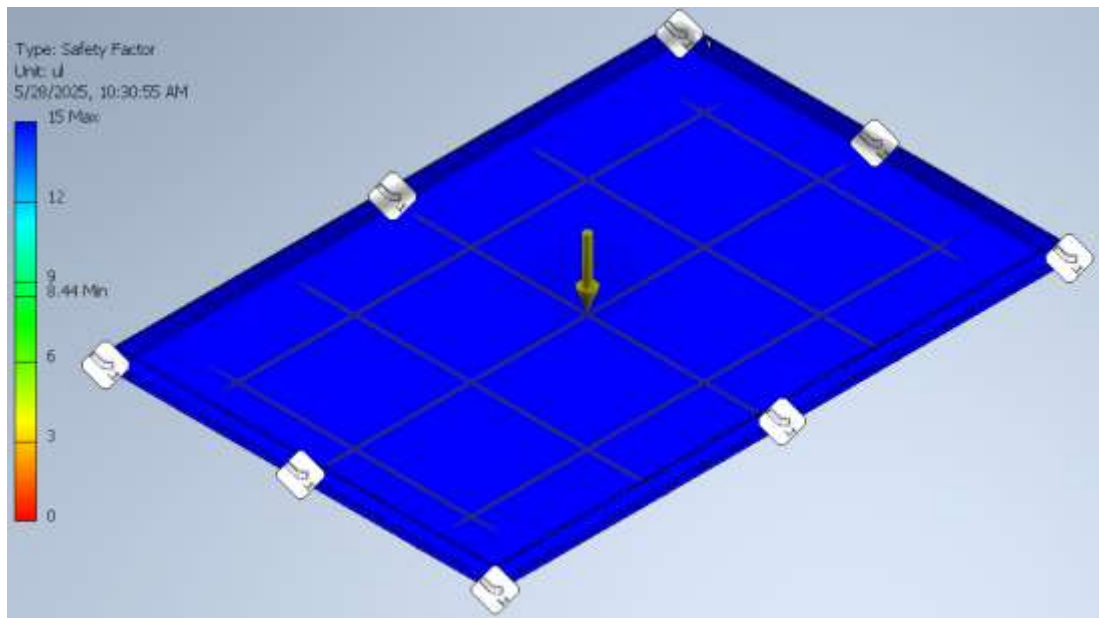
Hình 2.23: Kết quả độ chuyển vị của mô hình theo trục y.



Hình 2.24: Kết quả độ chuyển vị của mô hình theo trục z.

Đánh giá hệ số an toàn:

Đối với hệ số an toàn thì lại ngược lại so với ứng suất và chuyển vị nếu hệ số an toàn càng cao thì nó sẽ đảm bảo được độ an toàn của kết cấu của mình thiết kế và hệ số an toàn hiện tại là 15 cho thấy mô hình hiện tại đang vượt quá sự mong đợi của hệ số an toàn mình chọn.



Hình 2.25: Kết quả hệ số an toàn của mô hình.

Từ kết quả mô phỏng ở trên cho ta thấy các giá trị của mô hình luôn nằm trong khoảng cho phép mà ta tính được. Do ban đầu mô phỏng kết quả cho thấy độ chuyển

vị vượt quá độ chuyển vị cho phép nên em đã tạo thêm các đường gân bên dưới để gia cố thêm cho mô hình và kết quả đã cho thấy độ chuyển vị đã nằm trong khoảng cho phép mình tính. Từ đó ta có thể kết luận mô hình mình đang hoạt động ổn định tại tải trọng tĩnh là 470.32 kg. Tuy nhiên mô hình cũng còn khá là nhiều hạn chế về kích thước của khay pin hay khối lượng của nắp pin đang nằm trong khoảng giá trị khá lớn, để tối ưu các hạn chế trên ta có thể cải tiến bằng cách lựa chọn các cell pin tương đương với cell NCR18650B nhưng với các giá trị điện áp định mức và dung lượng cell cao hơn nhằm giảm số lượng cell pin trong các chuỗi kết nối từ đó ta có thể giảm được chiều dài và rộng của bộ pin, đồng thời để tối ưu hóa khối lượng của nắp bộ pin bằng cách điều chỉnh độ dày của nắp pin, sau đó ta đi xác định lại tải tác dụng lên khay pin và thực hiện mô phỏng đánh giá như ở trên.

CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG LÀM MÁT CỦA HỆ THỐNG PIN

3.1. Giới thiệu về Ansys Fluent:

ANSYS Fluent là một trong những phần mềm hàng đầu trong lĩnh vực mô phỏng động lực học chất lỏng (CFD - Computational Fluid Dynamics). Với khả năng mô phỏng chi tiết và chính xác các hiện tượng dòng chảy, truyền nhiệt, và phản ứng hóa học phức tạp, ANSYS Fluent được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp khác nhau, từ hàng không, ô tô, năng lượng cho đến y sinh và môi trường.

Phần mềm này cung cấp nhiều công cụ mạnh mẽ để mô hình hóa và giải các bài toán liên quan đến dòng chảy khí, chất lỏng, cũng như các quá trình kết hợp giữa dòng chảy và phản ứng hóa học, như quá trình cháy trong buồng đốt, trao đổi nhiệt trong hệ thống làm mát, hay sự phân tán của chất ô nhiễm trong môi trường.

Với ANSYS Fluent, người dùng có thể tùy chỉnh mô hình theo yêu cầu cụ thể của từng ứng dụng, từ các mô hình dòng chảy ổn định, dòng chảy rối, đến các mô hình đa pha, đa thành phần phức tạp. Đặc biệt, phần mềm cung cấp giao diện thân thiện với người dùng, tích hợp các công cụ phân tích và xử lý dữ liệu, giúp người dùng dễ dàng thực hiện và kiểm tra các mô hình mô phỏng, cũng như tối ưu hóa thiết kế.

Nhờ tính chính xác cao và khả năng mô phỏng đa dạng, ANSYS Fluent là công cụ hữu ích giúp các kỹ sư, nhà nghiên cứu tối ưu hóa thiết kế, tiết kiệm chi phí thử nghiệm và nâng cao hiệu suất của các hệ thống công nghiệp.

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng phương pháp CFD là một phương pháp hiệu quả để đánh giá hiệu suất của hệ thống quản lý nhiệt pin. Nhiều học giả đã khám phá các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất làm mát của hệ thống.

Bài báo cáo này, em nghiên cứu và đánh giá ảnh hưởng và khả năng hấp thụ nhiệt tản ra bằng phương pháp làm mát pin bằng dung dịch khí đi qua qua các kênh dẫn tiếp xúc với các cell pin. Khả năng làm mát tại các bề mặt cell được hệ thống đánh giá thông qua tính toán CFD. Các trường hợp số học điển hình được sử dụng để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số vận hành và các thông số cấu trúc đến nhiệt độ và sự khác biệt nhiệt độ trên bộ pin.

3.2. Xây dựng bài toán mô phỏng:

Như trong phần tổng quan cho ta thấy các ưu điểm của hệ thống mát dung dịch bằng cách bố trí cách bố trí các kênh làm mát xen kẽ giữa các cell. Trước hết, cách bố trí này giúp tăng hiệu quả truyền nhiệt nhờ diện tích tiếp xúc lớn giữa môi chất làm mát và bề mặt các cell pin, từ đó duy trì nhiệt độ hoạt động ổn định. Bên cạnh đó, thiết kế kênh làm mát xen kẽ có tính linh hoạt cao, dễ dàng tích hợp vào các module pin với nhiều cấu trúc khác nhau mà vẫn đảm bảo mật độ năng lượng lớn. So với các phương pháp làm mát khác, giải pháp này cũng giúp tối ưu hóa trọng lượng và thể tích hệ thống, từ đó nâng cao hiệu suất tổng thể cho xe điện. Hơn nữa, việc kiểm soát nhiệt độ chính xác và nhanh chóng nhờ kênh làm mát xen kẽ góp phần giảm thiểu nguy cơ quá nhiệt, giúp tăng cường độ an toàn và hạn chế các sự cố nghiêm trọng như hiện tượng dẫn nhiệt không kiểm soát. Với các ưu điểm kể trên, phương pháp làm mát xen kẽ giữa các cell pin là lựa chọn phù hợp cho các hệ thống pin yêu cầu hiệu năng cao và độ tin cậy lớn.

3.2.1. Xây dựng mô hình:

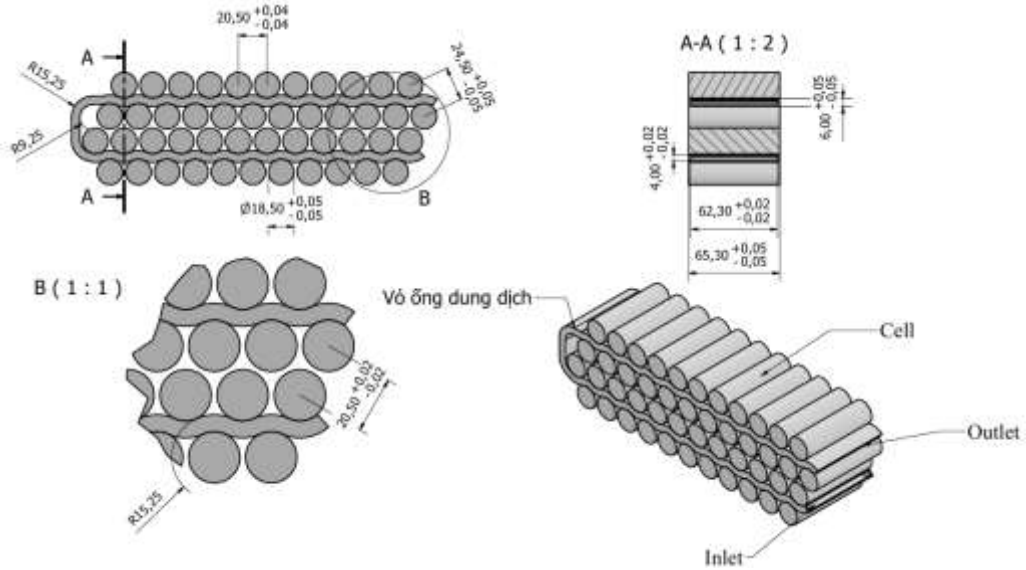
Trong quá trình mô phỏng ta xây dựng một phần nhỏ với 46 cell có trong bộ pin như hình 3.1, để đánh giá khả năng làm mát của pin. Chi tiết thông số trong bảng 3.1.

Bảng 3.1: Thông số cơ bản của mô hình hệ thống làm mát.

Thông số	Kích thước
Chiều cao cell pin (mm)	$H_c = 65.3$
Đường kính cell (mm)	$D_c = 18.5$
Bề rộng ống dẫn dung dịch (mm)	$b = 6$
Chiều cao kênh dẫn dung dịch (mm)	$H_m = 65.3$
Bề rộng cửa inlet và outlet (mm)	$r = 4$
Chiều cao cửa inlet và outlet (mm)	$a = 62.3$

Xây dựng mô hình:

Nguyên lý làm việc: Như trong hình 3.1, dung dịch sẽ được cung cấp bởi bơm đến cửa vào (Inlet) của ống dẫn dung dịch làm mát, từ đó dung dịch theo các kênh dẫn và hấp thụ nhiệt tản ra từ các cell pin. Nhằm duy trì nhiệt độ làm việc của các cell trong vùng cho phép. Sau khi dung dịch đi hết đường ống dung dịch thoát ra và được đưa tới đường ống dẫn đến bộ làm mát lại dung dịch để chuẩn bị cho chu trình vòng lặp tiếp theo.



Hình 3.1: Mô hình hệ thống mát pin lithium.

Để đánh giá hiệu suất làm mát của hệ thống quản lý nhiệt pin làm mát bằng dung dịch ta cần xác định được luồng chất lưu và luồng nhiệt. Trong nghiên cứu hiện tại, phương pháp động lực học lưu chất (CFD) được sử dụng để tính toán vận tốc và nhiệt độ. Vùng rắn là khu vực của các viên pin, vùng dung dịch là khu vực của hệ thống quản lý nhiệt pin ngoại trừ viên pin, bao gồm ống dẫn vào, ống dẫn ra và các kênh làm mát. Phương trình điều khiển cho dòng chảy là phương trình Navier-Stokes (N-S). Các giá trị điển hình của mật độ nước, độ nhớt động học nước, vận tốc đầu vào kênh làm mát lần lượt là $998.2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$, $0.001003 \text{ (Kg/ m.s)}$, 0.1 (m/s) .

Số Reynolds điển hình của vận tốc nước đầu vào được tính như sau [11]:

Diện tích inlet:

$$A = a \times r = 0.004 \times 0.0623 = 0.0002492 \text{ (m}^2\text{)} \quad (3.1)$$

Đường kính thủy lực:

$$D_h = \frac{4 \times a \times r}{2 \times (a + r)} = \frac{4 \times 0.004 \times 0.0623}{2 \times (0.004 + 0.0623)} \approx 0.0076259 \text{ (m)} \quad (3.2)$$

Lưu lượng khối lượng:

$$\dot{m} = \rho \times A \times v = 998.2 \times 0.0002492 \times 0.1 \approx 0.02487 \text{ (kg/s)} \quad (3.3)$$

Số Reynolds:

$$R_e = \frac{\rho \times v \times D_h}{\mu} = \frac{998.2 \times 0.1 \times 0.0076259}{0.001003} \approx 758.9447 \quad (3.4)$$

Trong đó: μ : Hệ số nhớt động học của nước (kg/ m.s).
 ρ : Mật độ của nước (kg/m³).
 v : Vận tốc dung dịch đi vào kênh làm mát (m/s).

Vậy nên từ số Reynolds đã tính ta biết được trạng thái dòng chảy của nước trong mô hình là chảy tầng [11].

Do đó ta có phương trình Navier-Stokes với mô hình laminar được biểu diễn như sau [11]:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.5)$$

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

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} \quad (3.6)$$

Trong đó: u_i là các thành phần vận tốc Reynolds trung bình, p là áp suất Reynolds trung bình, ρ là mật độ của nước làm mát, μ là hệ số độ nhớt phân tử. Lượng nhiệt được tạo ra bởi cell pin phụ thuộc vào nhiệt độ của cell. Do đó, tỷ lệ tạo nhiệt thay đổi theo thời gian. Vì vậy, phương trình nhiệt không ổn định được giới thiệu để tính toán các lĩnh vực nhiệt độ của chất lỏng và gói pin, như sau:

Phương trình nhiệt độ cho dòng chảy:

$$\rho C_{p,fluid} \left(\frac{\partial T_{fluid}}{\partial t} + u_j \frac{\partial T_{fluid}}{\partial x_j} \right) = k \frac{\partial^2 T_{fluid}}{\partial x_j^2} \quad (3.7)$$

Phương trình nhiệt độ cho bộ pin:

$$\rho_b C_{p,b} \frac{\partial T_b}{\partial t} = k_s \frac{\partial^2 T_b}{\partial x_j^2} + q \quad (3.8)$$

Trong đó:

T_{fluid} và T_b lần lượt là nhiệt độ của dung dịch làm mát và cell pin, $C_{p, fluid}$ và $C_{p, b}$ là năng lượng nhiệt riêng của dòng chảy và cell pin, tương ứng. ρ_b là mật độ của cell pin, q là tỷ lệ tạo nhiệt của cell pin.

Đặc biệt để mô phỏng chính xác quá trình truyền nhiệt và đánh giá hiệu quả của hệ thống làm mát, việc xác định các thông số nhiệt vật lý của môi chất là bước không thể thiếu.

Các thông số này bao gồm:

- Khối lượng riêng (Density).
- Nhiệt dung riêng (Specific Heat, Cp).
- Hệ số dẫn nhiệt (Thermal Conductivity).
- Độ nhớt động học (Viscosity).
- Tốc độ sinh nhiệt (Heat Generation).

Những đại lượng này đóng vai trò quyết định trong việc xác định đặc tính truyền nhiệt và cũng như hiệu suất tổng thể của hệ thống [12]. Các thông số được xác định theo bảng sau:

Bảng 3.2: Thông số nhiệt động học của cell pin, dung dịch làm mát và ống dẫn.

Thông số	Cell pin	Nhôm	Nước
Khối lượng riêng [kg/m ³]	2018	2719	998.2
Nhiệt dung riêng Cp [J/(kg·K)]	1282	871	4182
Hệ số dẫn nhiệt [W/(m·K)]	2.7	202.4	0.6
Độ nhớt [kg/(m·s)]	-	-	0.001003
Nhiệt sinh ra (W/m ³)	74163	-	-

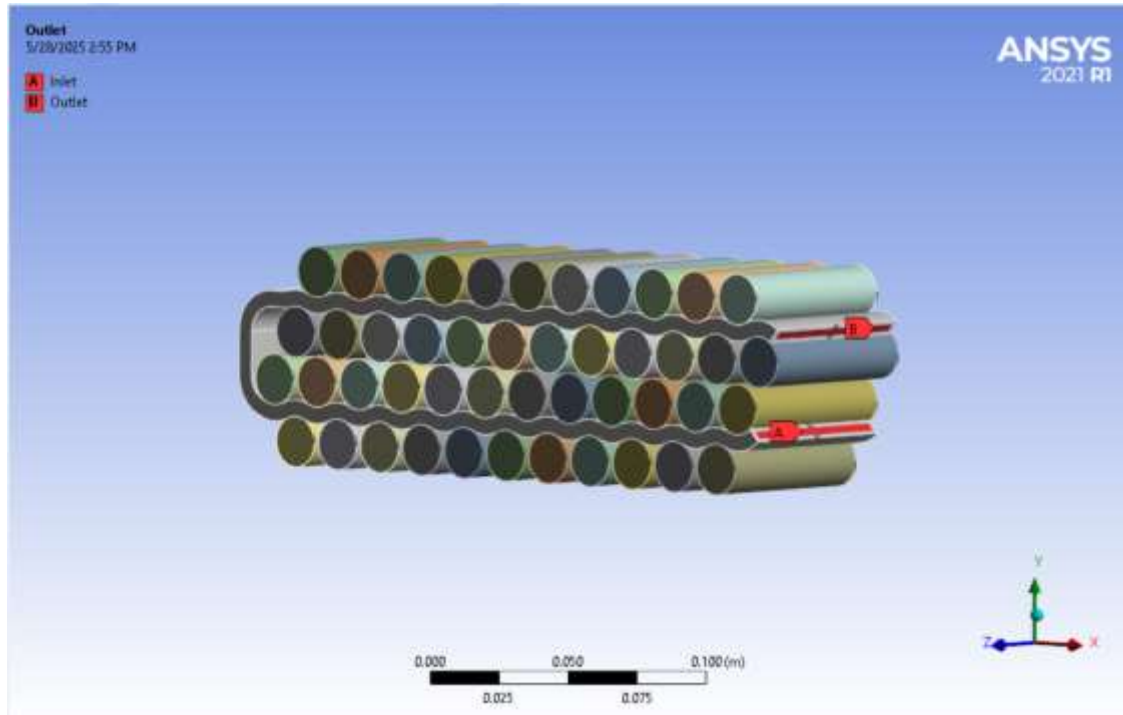
3.2.2. Thiết lập mô phỏng:

Để tiến hành mô phỏng chính xác quá trình trao đổi nhiệt và phân bố nhiệt độ trong hệ thống, mô hình hình học được chia lưới bằng phần mềm Ansys Fluent. Quá trình chia lưới đảm bảo độ mịn phù hợp tại các vùng có gradient nhiệt độ cao như bề mặt tiếp xúc giữa pin và môi chất làm mát, đồng thời tối ưu số lượng phần tử để cân bằng giữa độ chính xác và thời gian tính toán.

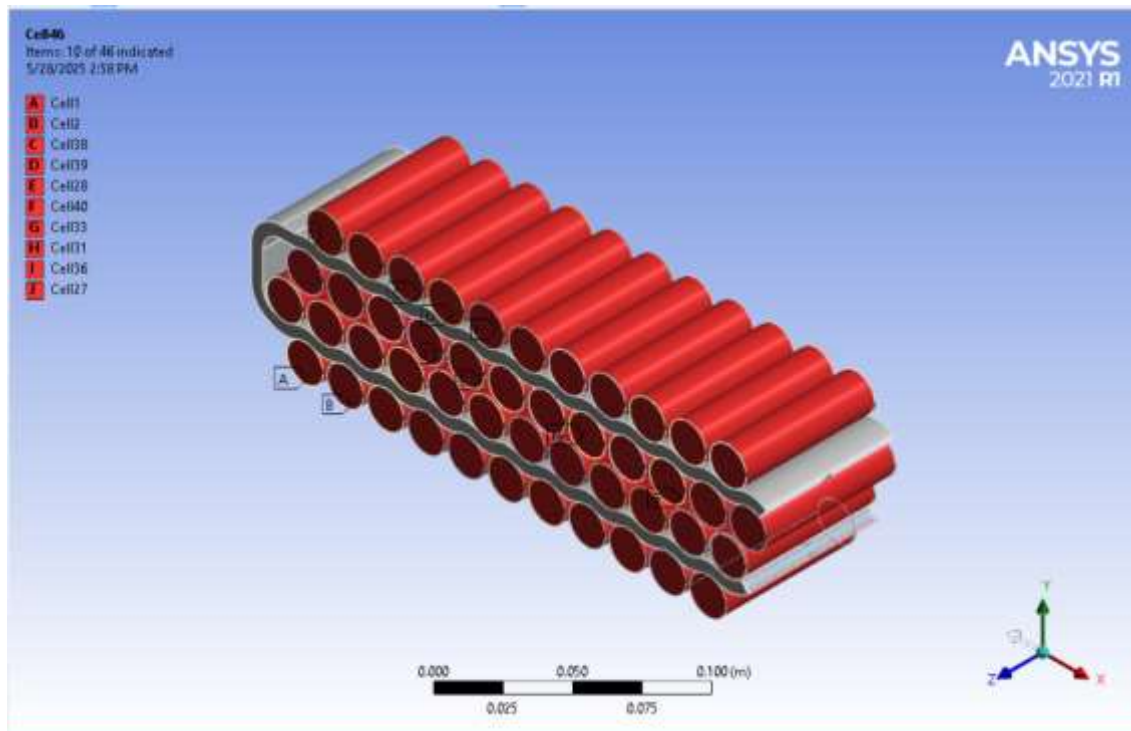
Lưới cần tăng cường độ mịn tại các vùng biên hoặc vị trí có dòng chất lỏng phức tạp.

Các điều kiện biên được thiết lập bao gồm:

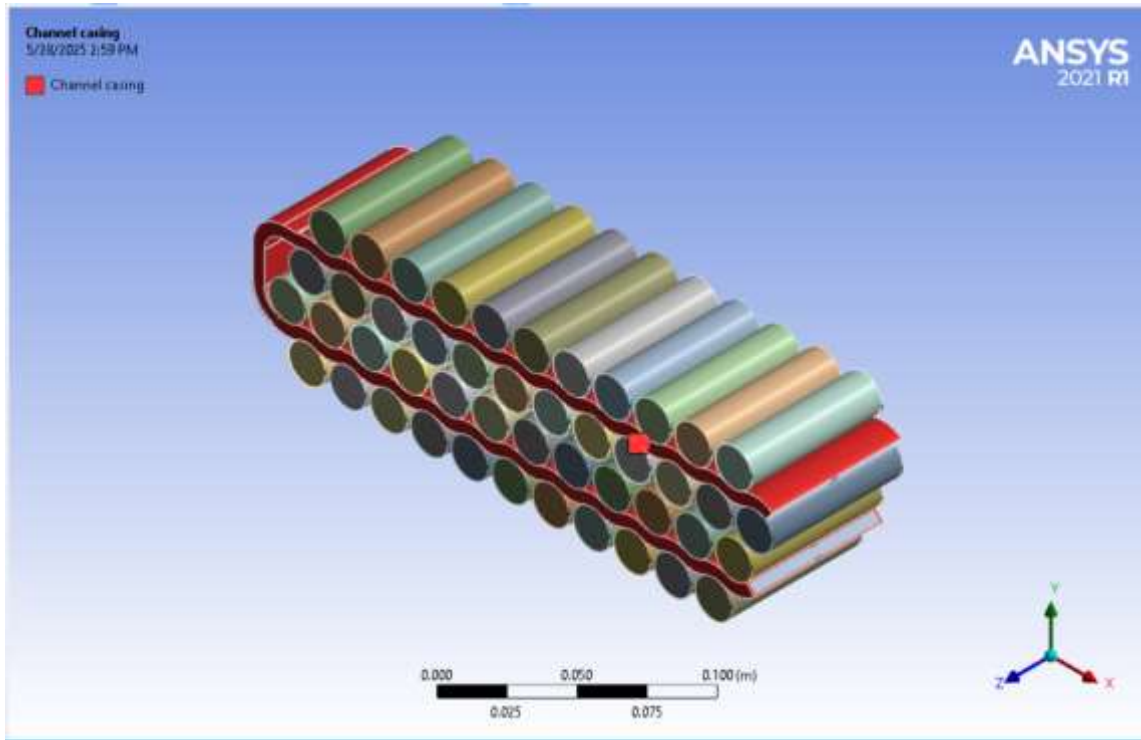
Điều kiện đầu vào và ra của dòng chảy.



Hình 3.2: Đặt điều kiện biên cho dòng chảy.
Điều kiện tại các cell pin (ta cần đặt cho từng cell pin).

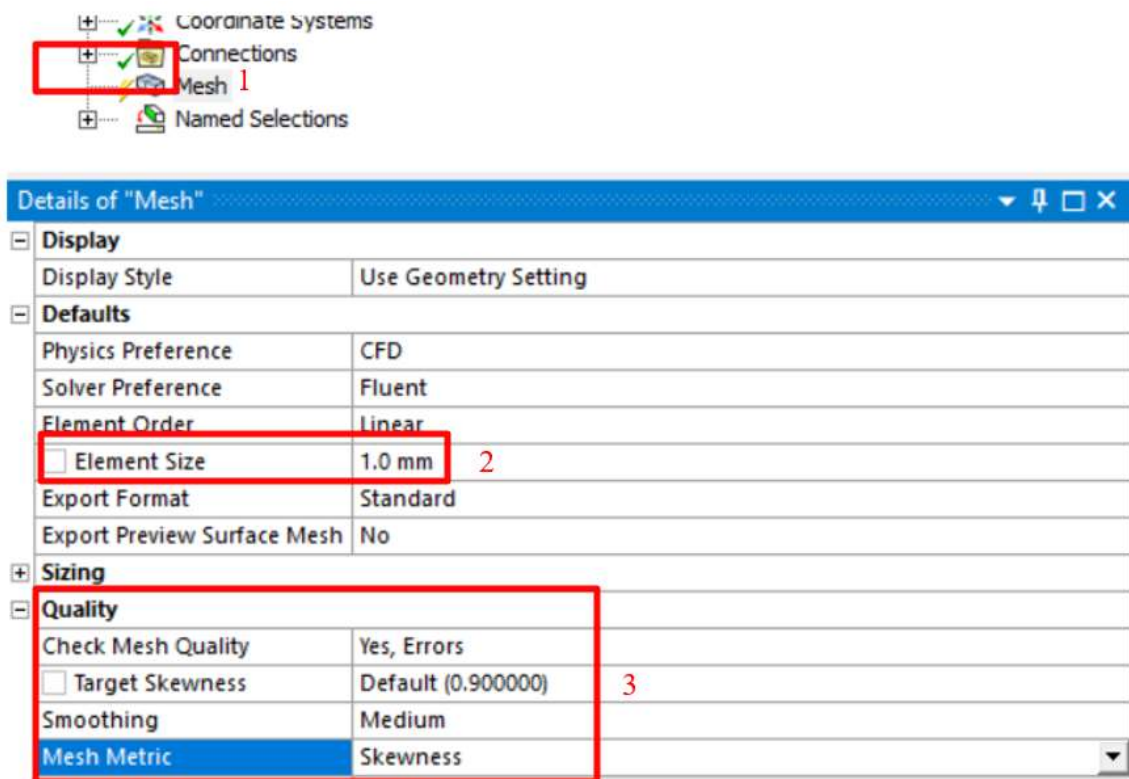


Hình 3.4: Đặt điều kiện biên cho cell pin.
Điều kiện tại kênh dẫn dung dịch làm mát.



Hình 3.5: Đặc điều kiện biên cho kênh dẫn dung dịch.

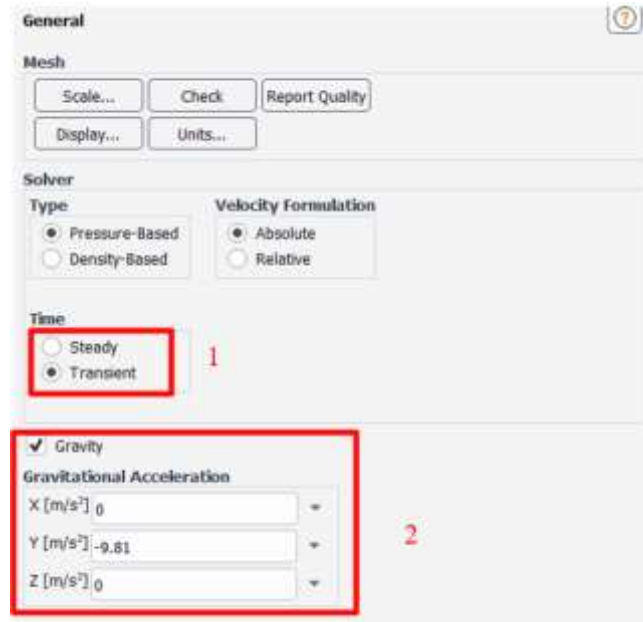
Để chia lưới ta vào Mesh điều chỉnh thông số tại Element Size để thiết lập lưới và cuối cùng ta kiểm tra chất lượng lưới đã tốt chưa.



Hình 3.6: Thiết lập lưới cho mô hình.

Việc thiết lập lưới và điều kiện biên đóng vai trò then chốt trong độ tin cậy của kết quả mô phỏng, vì chúng quyết định độ phân giải của các thông số vật lý và khả năng hội tụ của bài toán.

Sau khi hoàn thiện mô hình hình học và chia lưới, ta vào Setup và điều chỉnh lại kiểu chạy và đặt gia tốc trọng trường cho mô hình.

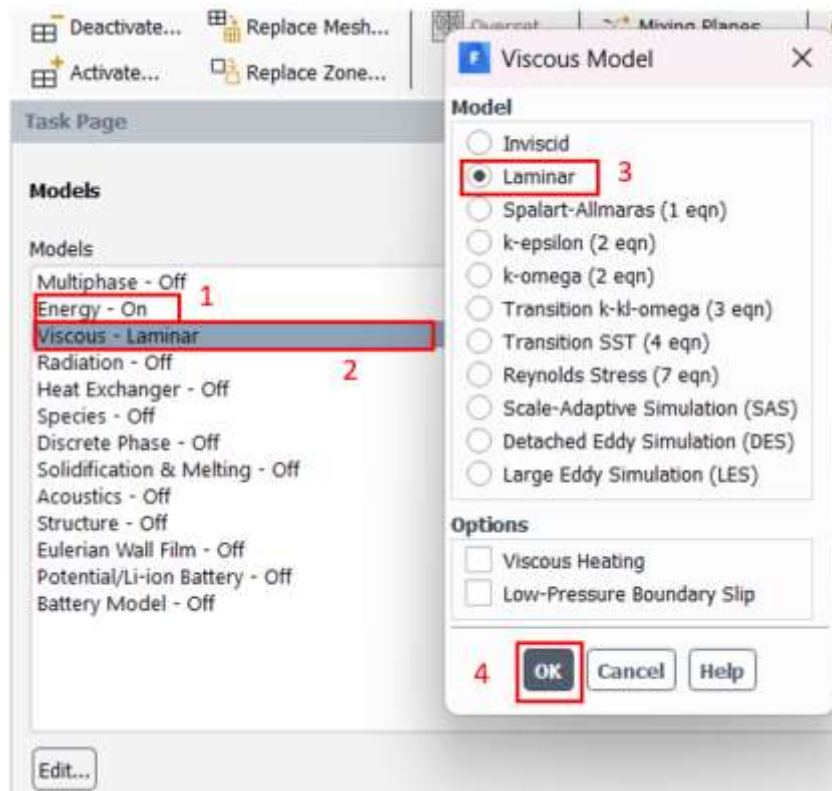


Hình 3.7: Điều chỉnh gia tốc trọng trường cho mô hình.

Bước tiếp theo là thiết lập các thông số vật lý và điều kiện biên cho mô phỏng. Quá trình này bao gồm việc xác định miền vật lý (solid/fluid), gán vật liệu tương ứng cho từng thành phần, thiết lập các điều kiện đầu vào/đầu ra dòng chảy, và cấu hình nguồn nhiệt từ các cell pin.

Cụ thể, chất làm mát được giả định chảy qua các kênh dẫn bao quanh cụm cell, với đầu vào (inlet) và đầu ra (outlet) được gán tại các vị trí tương ứng như thể hiện trong hình 3.2 Các cell pin được định nghĩa là miền rắn có khả năng sinh nhiệt, với công suất tỏa nhiệt được tham khảo từ tài liệu như bảng 3.2. Thành phần vỏ dẫn nhiệt và kênh dẫn được gán vật liệu có đặc tính dẫn nhiệt phù hợp (như nhôm), nhằm đảm bảo mô phỏng phản ánh chính xác quá trình truyền nhiệt từ pin ra môi trường làm mát.

Bên cạnh đó, do số Reynolds của mô hình nhỏ hơn 2320 nên trong phần thiết lập ta điều chỉnh chọn cho dòng chảy trong mô hình là tầng như hình 3.8.



Hình 3.8: Thiết lập kiểu dòng chảy cho mô hình.

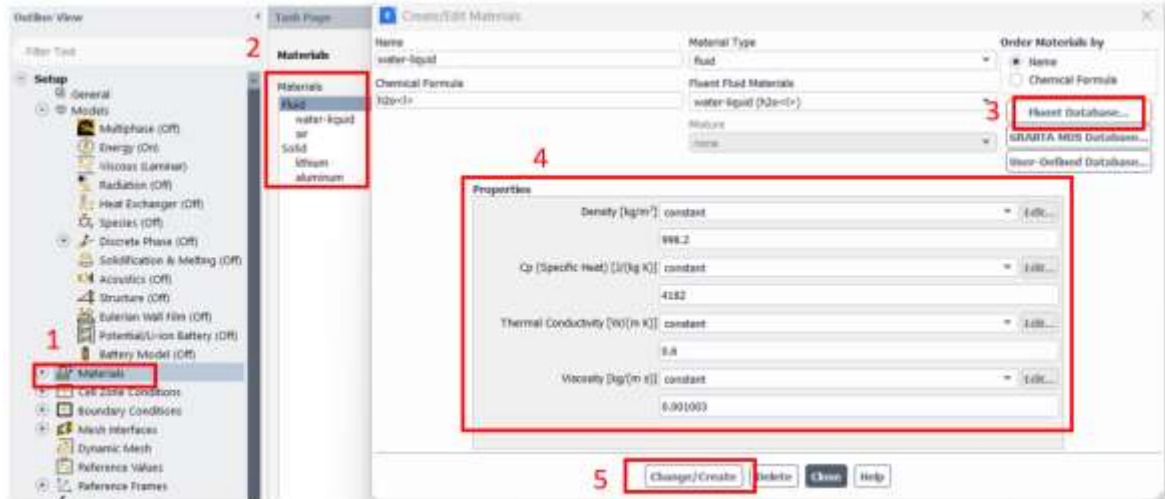
Trong quá trình mô phỏng, việc định nghĩa chính xác đặc tính vật liệu của các thành phần là yếu tố then chốt để đảm bảo độ tin cậy của kết quả. Do các vật liệu sử dụng trong hệ thống – như chất làm mát đặc thù, vỏ pin dẫn nhiệt, hoặc vật liệu cấu tạo cell pin – không có sẵn trong thư viện mặc định của phần mềm, cần phải tiến hành tạo mới vật liệu với các thông số được tra cứu từ dữ liệu thực nghiệm hoặc tài liệu kỹ thuật.

Cụ thể, vật liệu chất làm mát được bổ sung vào cơ sở dữ liệu với các thông số gồm:

- Khối lượng riêng (density).
- Độ nhớt động học (dynamic viscosity).
- Nhiệt dung riêng (specific heat capacity).
- Hệ số dẫn nhiệt (thermal conductivity).

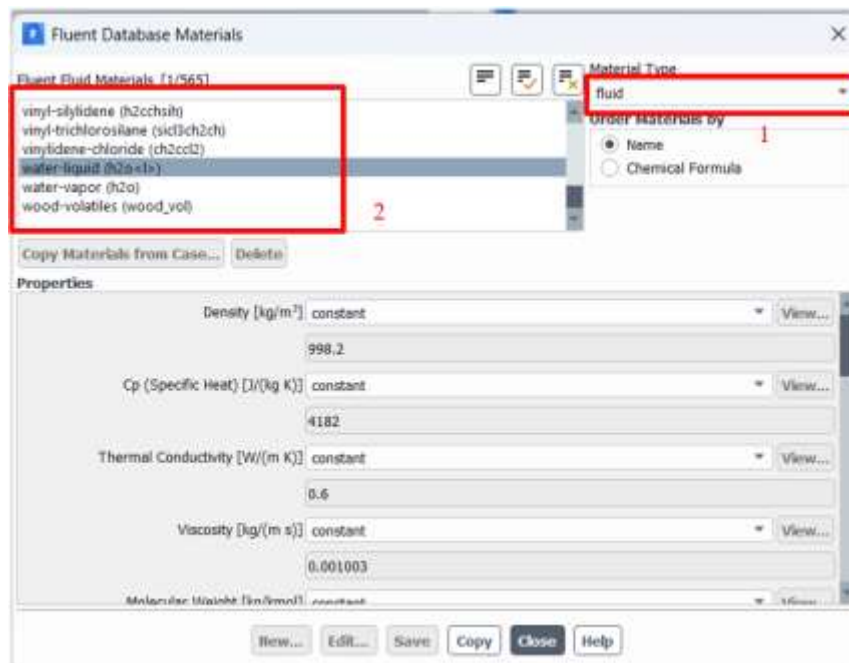
Tương tự, vật liệu cấu thành vỏ dẫn nhiệt và cell pin cũng được định nghĩa riêng biệt, phản ánh đúng tính chất truyền nhiệt và khả năng chịu tải nhiệt trong điều kiện vận hành. Việc tạo vật liệu mới đảm bảo mô hình phản ánh trung thực hơn đặc điểm của hệ thống thực tế, đồng thời nâng cao độ chính xác trong mô phỏng dòng chảy và truyền nhiệt.

Việc khởi tạo vật liệu mới cho mô hình bằng cách mở Material vào Fluid hoặc Solid để điều chỉnh hoặc tải thêm vật liệu từ thư viện để điều chỉnh (Fluent Database). Sau khi tải vật liệu và điều chỉnh các thông số trong Properties ta cần kích chuột vào Change/Create để tạo và lưu thay đổi.



Hình 3.9: Tạo và thay đổi vật liệu cho mô hình.

Để lấy vật từ Fluent Database ta vào Material Type để lựa chọn kiểu vật liệu mình cần lấy thêm sau đó ta vào Fluent Fluid Materials để lựa chọn vật liệu mình đưa thêm vào, tiếp đó chọn Copy để sao chép loại vật liệu đó chi tiết như hình 3.10.

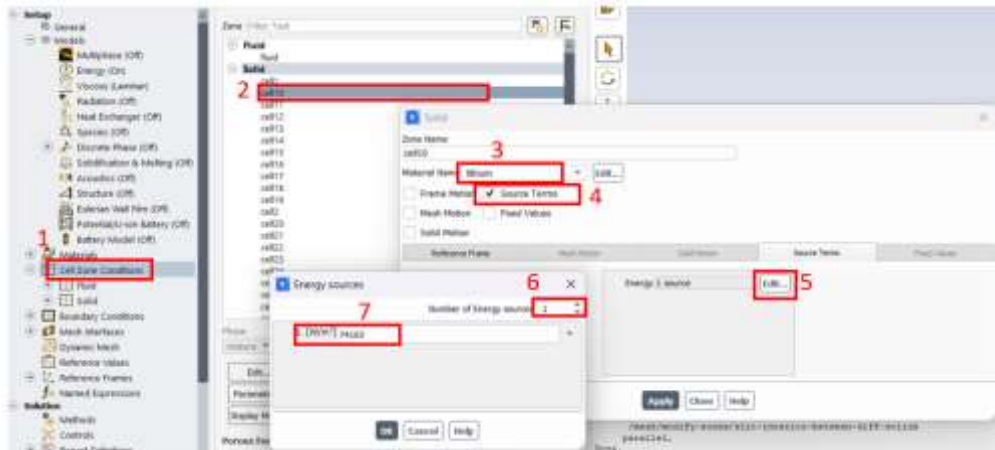


Hình 3.10: Lấy vật liệu từ thư viện.

Việc tạo và thay đổi vật liệu trong mô hình sẽ chưa được cập nhật đúng vào các điều kiện chúng ta đã đặt, ta cần tinh chỉnh lại các vật liệu và thay đổi nhiệt độ

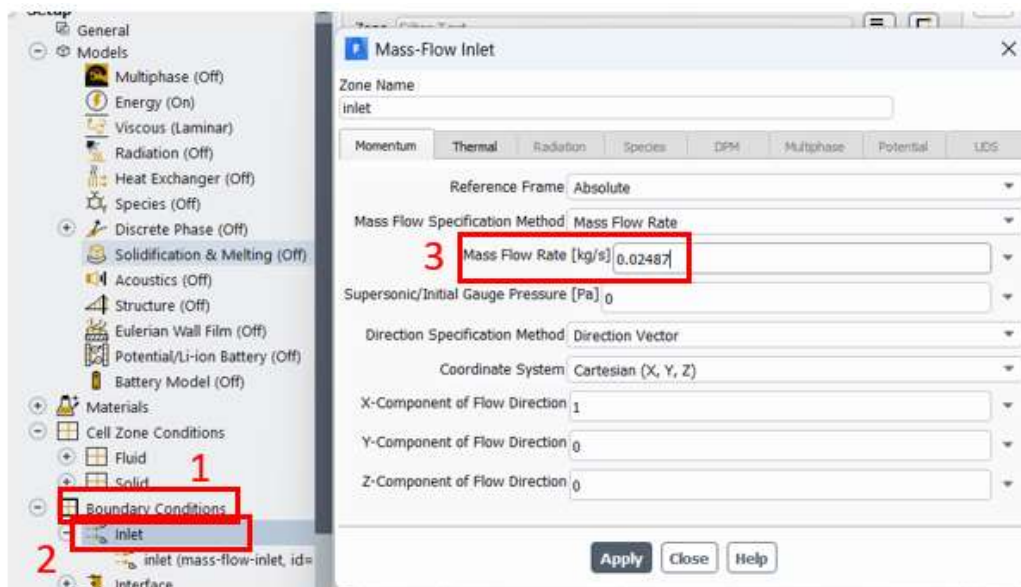
đầu vào và lưu lượng khối lượng của inlet hay thêm nguồn nhiệt cho các cell pin bằng cách vào Cell Zone Conditions để điều chỉnh vật liệu và nguồn nhiệt và Boundary Condition để thay đổi lưu lượng khối lượng.

Điều chỉnh vật liệu và nguồn nhiệt sinh ra từ cell pin: Ta thực hiện mở Cell Zone Conditions chọn vào đối tượng cần thay đổi chọn để điều chỉnh vật liệu ở Material Name. Nếu đối với cell pin cần gắn nguồn nhiệt sinh ra ta cần mở Source Terms để gắn nguồn nhiệt.



Hình 3.11: Thay đổi vật liệu và gắn nguồn nhiệt cho cell pin.

Để điều chỉnh lưu lượng khối lượng của inlet: Ta mở Boundary Condition kích trái chuột vào inlet chọn kiểu Mass Flow Inlet để thay đổi lưu lượng khối lượng của dòng chảy.



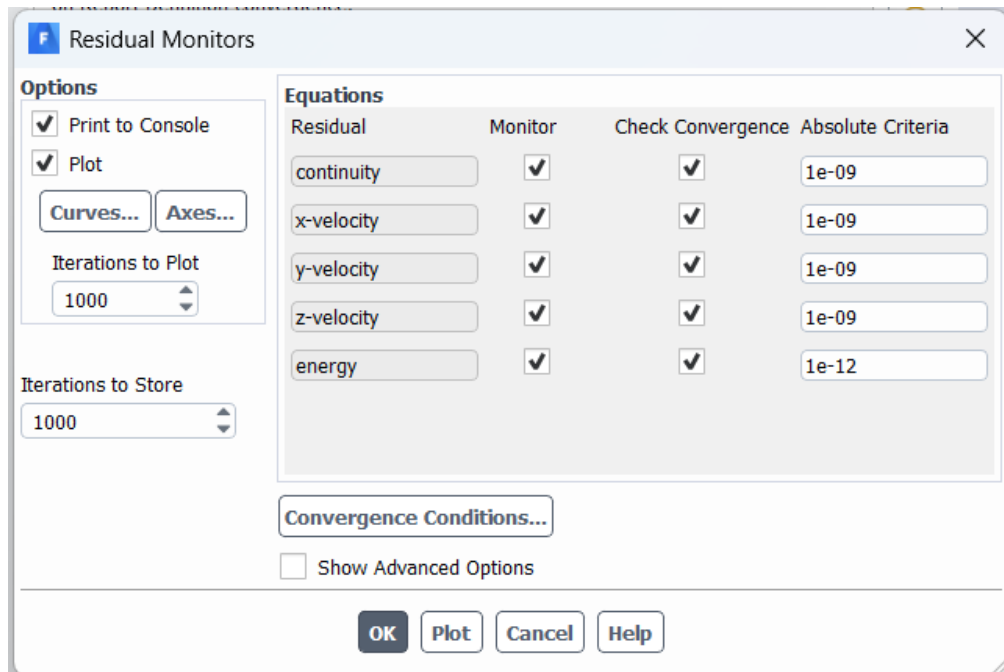
Hình 3.12: Điều chỉnh lưu lượng khối lượng dòng chảy.

Trong mô phỏng, quá trình giải bài toán được lặp đi lặp lại cho đến khi các giá trị trong mỗi phương trình đạt độ sai số nằm trong giới hạn chấp nhận được, gọi là tiêu chí hội tụ (residuals). Việc thiết lập residual phù hợp đóng vai trò then chốt nhằm đảm bảo tính chính xác và độ tin cậy của kết quả mô phỏng.

Trong mô hình này, các giá trị residual mặc định trong phần mềm được hiệu chỉnh để phù hợp với độ phức tạp của hệ thống làm mát pin. Cụ thể:

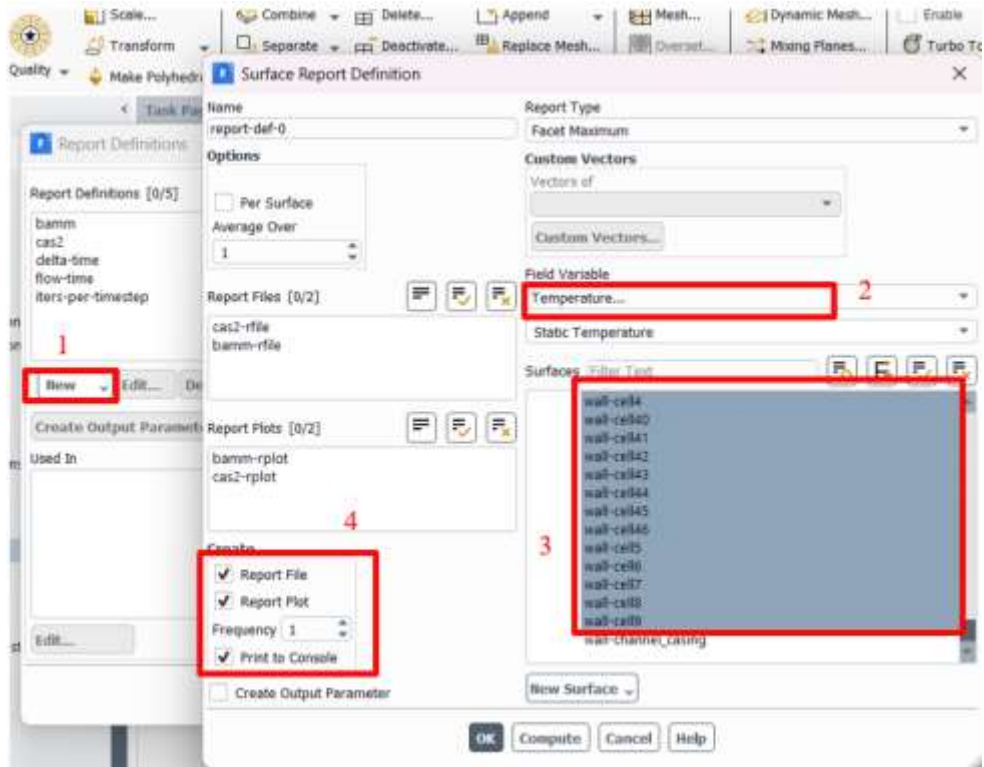
Sai số cho các phương trình momentum, continuity, và energy được thiết lập ở mức 1×10^{-5} đến 1×10^{-12} , nhằm đảm bảo sự hội tụ tốt cho bài toán truyền nhiệt kết hợp với dòng chảy.

Phương trình năng lượng (energy equation) được ưu tiên độ chính xác cao hơn, do nhiệt độ là đại lượng cần theo dõi chính.



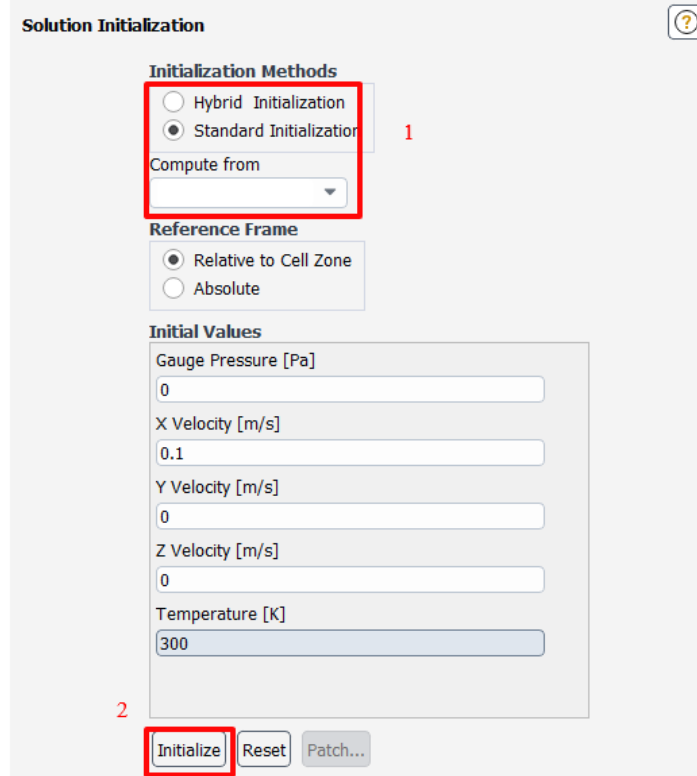
Hình 3.13: Điều chỉnh Residual.

Để lấy được giá trị sau khi chạy mô phỏng để phục vụ cho việc xử lý số liệu ta vào Report Definitions chọn vào New và điều chỉnh lại kết quả mình cần lấy tại Fiel Variable, tiếp đó lựa chọn các bề mặt phù hợp với giá trị mình cần lấy và lưu lại các dữ liệu sau khi chạy lại.



Hình 3.14: Thực hiện lưu các dữ liệu sau khi chạy.

Tiếp đó tạo cập nhật lại giá trị của inlet trong Initiazation để mô hình khi chạy mô phỏng thực hiện tính toán phân tích.



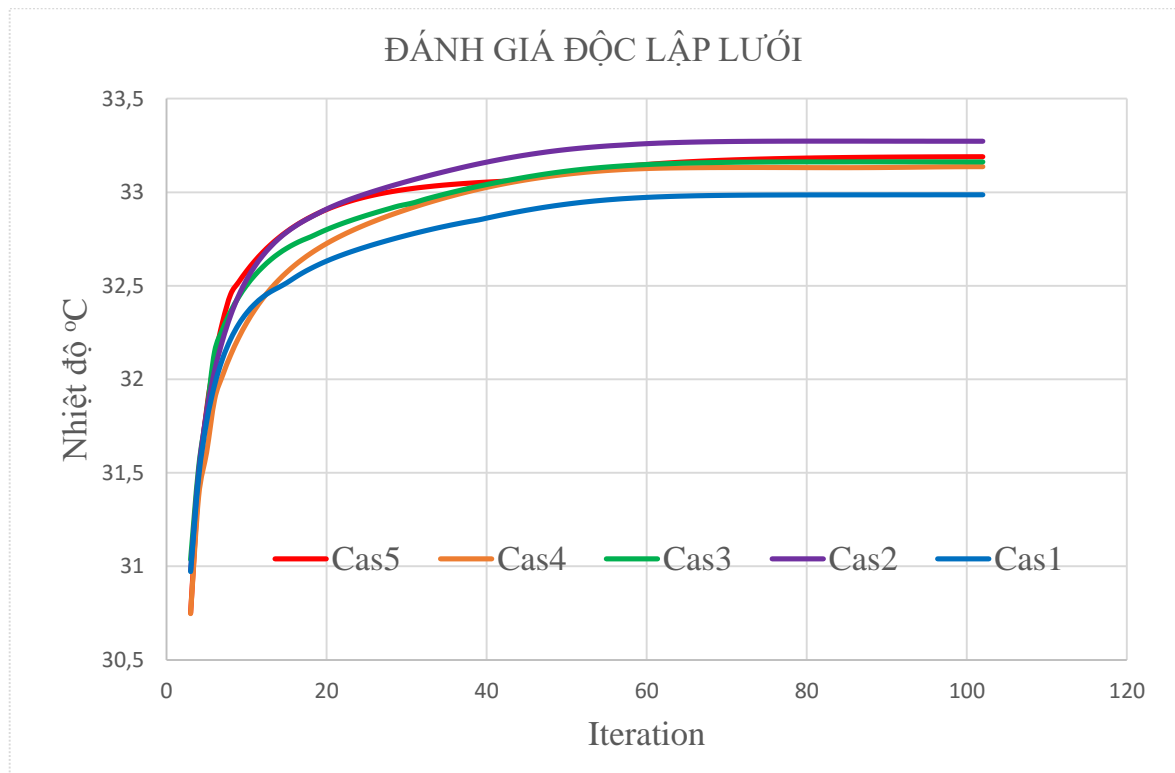
Hình 3.15: Khởi tạo giá trị cho mô hình.

Với các thiết lập cơ bản này ta sẽ bắt đầu chạy mô phỏng và đánh giá các kích thước lưới để xem tại số lượng lưới bao nhiêu thì mô hình sẽ cho kết quả độc lập và đáng tin cậy nhất. Sau đó ta sẽ sử dụng kích thước lưới đó để đi mô phỏng mà đánh giá khả năng làm mát của pin lithium.

3.2.3. Đánh giá độc lập lưới:

Để phân tích độ độ phân giải của lưới, các thử nghiệm độc lập nghiêm ngặt đã được thực hiện. Trong phương pháp đánh giá lưới này ta sử dụng phương pháp mô phỏng trạng thái ổn (Steady) để đánh giá các hệ thống lưới có số phần tử lần lượt là Cas1 = 401784, Cas2 = 493826, Cas3 = 625842, Cas4 = 814916, Cas5 = 945993 tương ứng. Nhằm tìm ra phần tử lưới độc lập để sử dụng trong việc mô phỏng và đánh giá, khi tìm được phần tử lưới độc lập ta sẽ điều chỉnh thiết lập để mô hình chạy theo phương pháp mô phỏng trạng thái không ổn định (Transient) để quan sát được các trạng thái nhiệt độ của pin theo thời gian thực. Quá trình mô phỏng phân bố nhiệt độ của bộ pin với nhiệt độ nước làm mát là 27 °C.

Từ số liệu kết quả mô phỏng trên ta dựng được đồ thị như hình 3.16 từ đó tìm được tại số phần tử lưới là 625842 có tính độc lập cao vì độ sai lệch kết quả so với các phần tử lưới khác nằm trong khoảng 0.0473% nên ta chọn số phần tử lưới 625842 để mô phỏng và đánh giá kết quả.

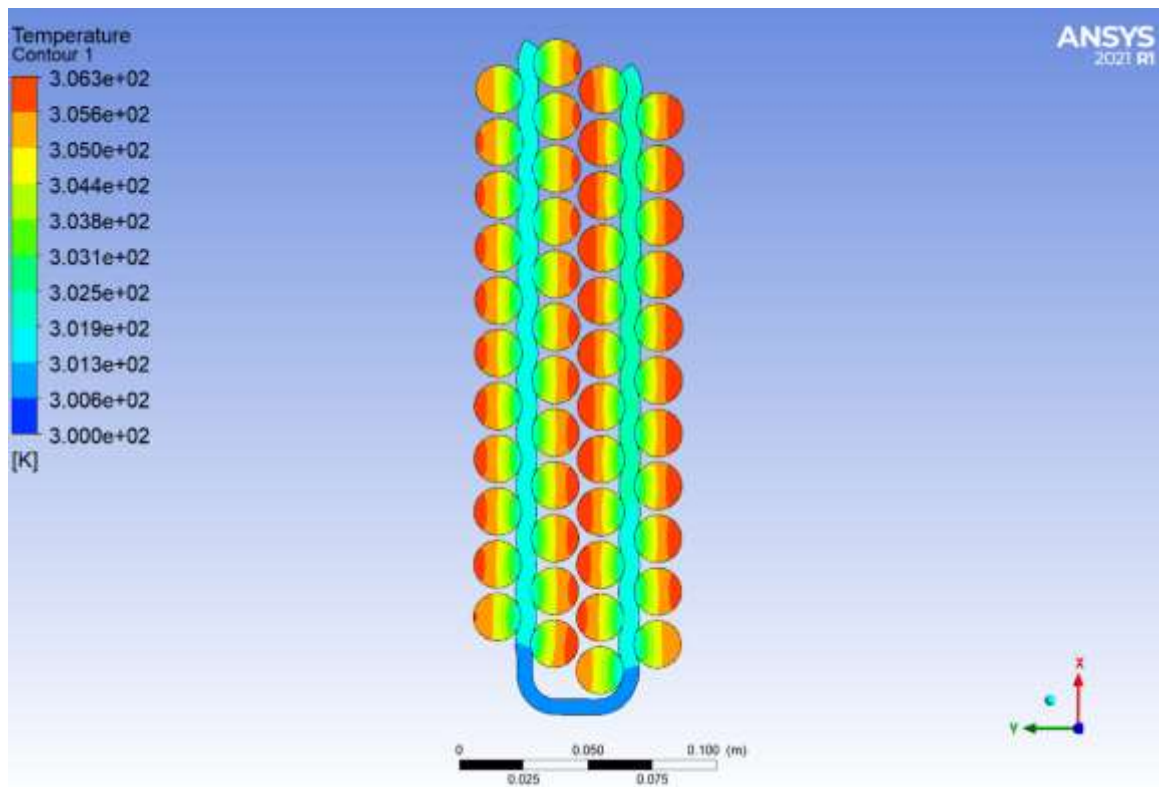


Hình 3.16: Đồ thị đánh giá độc lập lưới.

3.3. Kết quả và đánh giá:

Từ việc đánh giá độc lập lưới trên ta sử dụng phần tử lưới độc lập đã xác định để đi mô phỏng và đánh giá nhiệt và khả năng làm mát của hệ thống. Với các thông số đầu vào như lưu lượng khối lượng, nhiệt độ nước làm mát lần lượt là 0.024875 (kg/s), 27°C. Đồng thời ta điều chỉnh lại phương pháp chạy là trạng thái không ổn định (Transient) để mô phỏng, nhằm xác định được nhiệt độ xác với thực tế.

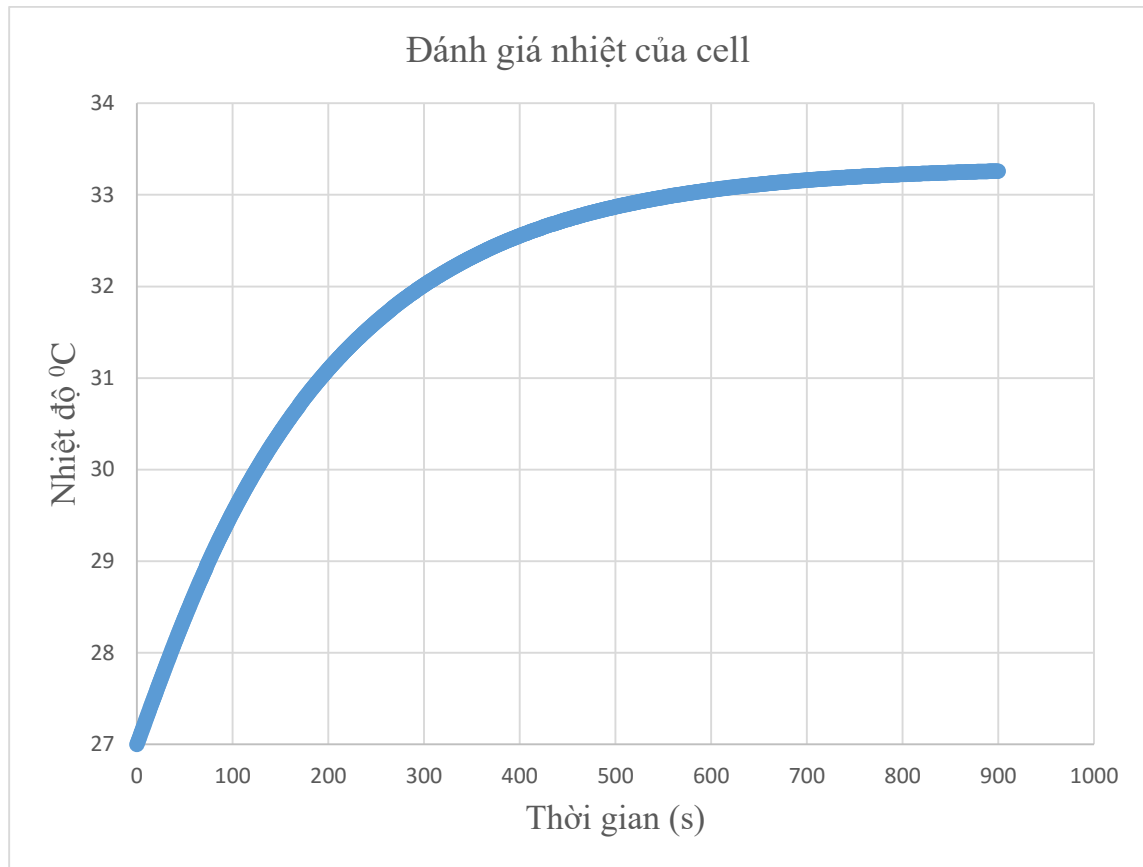
Kết quả mô phỏng nhiệt độ tổng thể như hình 3.17 và hình 3.18 cho thấy hệ thống làm mát bằng chất lỏng hiện tại đạt được hiệu quả nhất định khi duy trì nhiệt độ các cell pin trong khoảng từ 27°C đến 33.27°C đối với lưu lượng khối lượng của dòng chảy là 0.024875 (kg/s). Tuy nhiên, sự phân bố nhiệt còn chưa đồng đều, với hiện tượng tăng nhiệt rõ rệt theo chiều dòng chảy. Như trong hình 3.17 tại các bề mặt cell khi tiếp xúc với bề mặt của kênh làm mát thì sẽ có nhiệt độ làm việc thấp hơn so với các bề mặt không được tiếp điều làm cho việc phân bố nhiệt tại các bề mặt cell không được đồng đều.



Hình 3.17: Kết quả thay đổi nhiệt tại bề mặt pin.

Từ đó có thể rút ra rằng thiết kế kênh làm mát bằng dung dịch hiện tại còn hạn chế về khả năng phân phối nhiệt đều giữa các cell. Để cải thiện các việc nhiệt độ phân bố trên bề mặt cell pin ta có tăng lưu lượng của chất làm mát đi qua các kênh dẫn hay bố trí kênh làm mát tiếp xúc đều với các bề mặt cell pin và cuối cùng để

cải thiện hạn chế trên ta có thể thay thế dung dịch làm mát như nanofluid để tăng khả năng hấp thụ nhiệt của dung dịch làm mát.



Hình 3.18: Đồ thị đánh giá nhiệt của cell.

CHƯƠNG 4: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ HỆ THỐNG LÀM MÁT PIN

4.1. Phân tích hệ thống làm mát:

4.1.1. Cấu tạo hệ thống làm mát:

Hệ thống làm mát bằng dung dịch được thiết kế nhằm duy trì nhiệt độ hoạt động ổn định cho các cell pin lithium-ion, giúp tăng hiệu suất, độ bền và an toàn cho bộ pin. Cấu tạo của hệ thống này thường bao gồm các thành phần chính sau:

Bơm có nhiệm vụ duy trì tuần hoàn liên tục của dung dịch làm mát trong hệ thống, đảm bảo dòng chảy ổn định và áp suất phù hợp. Loại bơm phổ biến thường là bơm điện nhỏ gọn, có thể điều chỉnh lưu lượng tùy theo nhiệt độ và tải của pin.

Các kênh làm mát được thiết kế chạy dọc hoặc bao quanh từng cell hoặc module pin, tạo điều kiện cho dung dịch làm mát tiếp xúc trực tiếp hoặc gần sát bề mặt pin. Thiết kế kênh có thể đa dạng: kênh thẳng, kênh gợn sóng (wavy channels), nhằm tối ưu khả năng trao đổi nhiệt giữa dung dịch và pin.

Bộ trao đổi nhiệt thường đặt ở vị trí cuối hoặc đầu hệ thống, có nhiệm vụ lấy nhiệt từ dung dịch nóng sau khi hấp thụ nhiệt từ pin và truyền sang môi trường bên ngoài (không khí hoặc chất làm lạnh khác).

Dung dịch làm mát.

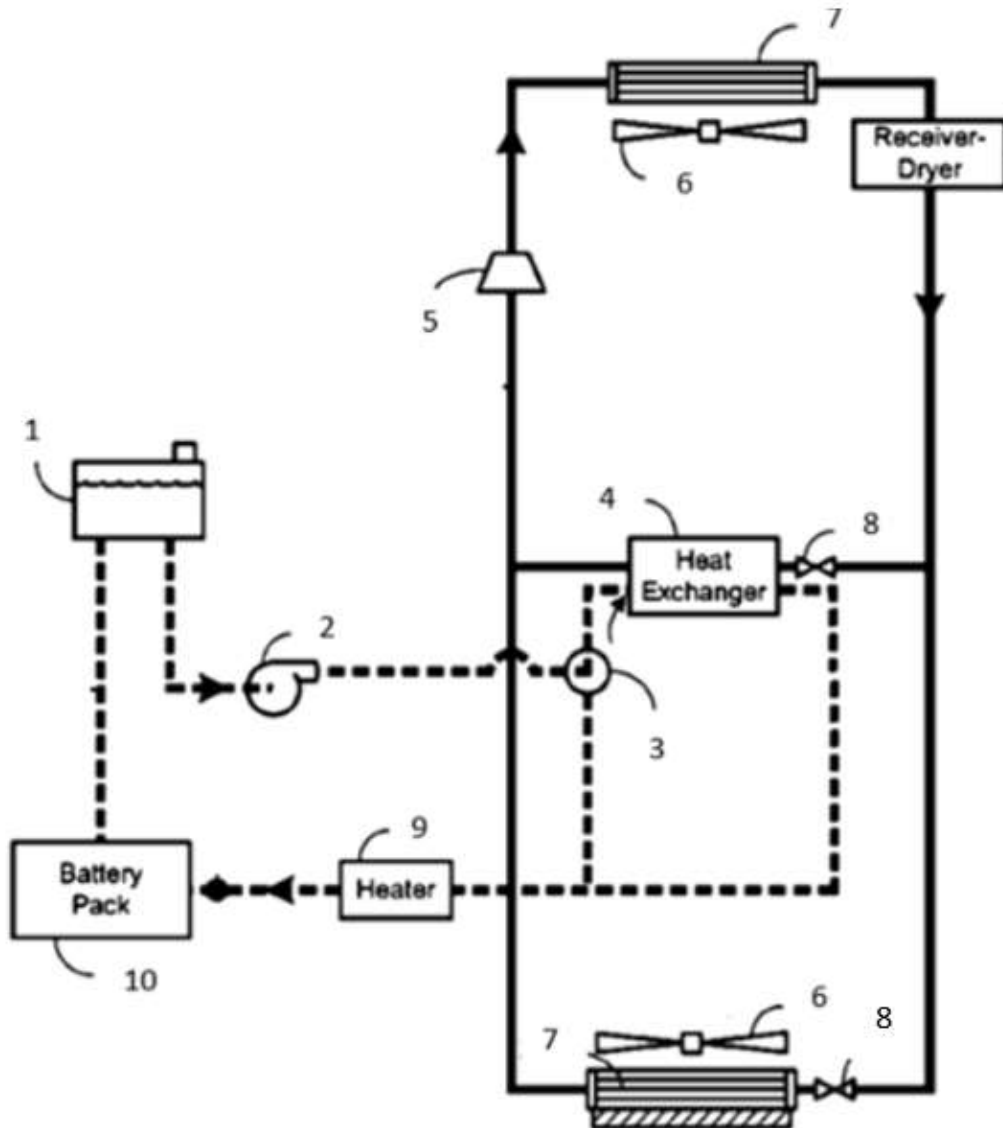
Hệ thống ống dẫn được thiết kế để kết nối các thành phần với nhau, đảm bảo kín khít, chịu áp lực và không rò rỉ dung dịch làm mát. Vật liệu ống thường là cao su chịu nhiệt, nhựa kỹ thuật hoặc kim loại nhẹ như nhôm.

Hệ thống làm mát thường đi kèm với các cảm biến nhiệt độ đặt tại các vị trí quan trọng trên pin và trong đường ống dung dịch. Dữ liệu từ cảm biến được truyền về bộ điều khiển trung tâm để điều chỉnh bơm, quạt hoặc van, nhằm duy trì nhiệt độ pin trong ngưỡng an toàn.

4.1.2. Nguyên lý làm việc:

Chế độ làm mát: Khi nhiệt độ pin cao, dung dịch làm mát được bơm (2) đưa qua bộ pin (10) để hấp thụ nhiệt, sau đó trao đổi nhiệt với môi chất lạnh trong bộ trao đổi nhiệt (4). Môi chất lạnh tuần hoàn nhờ máy nén (5), đi qua két làm mát (7), bộ trao đổi nhiệt (4) để hấp thụ nhiệt từ dung dịch, giúp hạ nhiệt cho pin. Quạt (6) hỗ trợ tản nhiệt ra môi trường. Van điện từ (8) mở để kích hoạt chu trình lạnh.

Chế độ sưởi ấm: Khi nhiệt độ pin thấp, van (8) đóng, máy nén (5) ngưng hoạt động. Bộ gia nhiệt (9) đun nóng dung dịch làm mát, sau đó được tuần hoàn qua pin để tăng nhiệt độ. Chế độ này không sử dụng mạch lạnh.



Hình 4.1: Sơ đồ mạch hệ thống làm mát pin.

Chú thích: 1-Bình chứa; 2-bơm; 3-Tê; 4-bộ trao đổi nhiệt; 5-máy nén; 6-quạt; 7-Kết nước làm mát; 8-van điện từ; 9-bộ gia nhiệt; 10-bộ pin.

4.2. Tính toán thiết kế hệ thống làm mát:

4.2.1. Tính chọn đường ống:

Ta có các thông số từ mô phỏng:

$$\dot{m} = 0.024875(\text{kg/s}), \rho = 998.2(\text{kg} / \text{m}^3). \quad (4.1)$$

Chọn vận tốc trước khi vào kênh làm mát: $v_d = 2(m/s)$.

Lưu lượng tới kênh làm mát [11]:

$$Q = \frac{m}{\rho} = \frac{0.024875}{998.2} \approx 2.49 \times 10^{-5} (m^3/s) \quad (4.2)$$

Theo định luật bảo toàn khối lượng từ ống bơm tới kênh làm mát:

$$Q_d = Q \quad (4.3)$$

$$\Leftrightarrow A_d \times v_d = Q$$

$$\Leftrightarrow A_d \times 2 = 2.49 \times 10^{-5}$$

$$\Rightarrow A_d \approx 1.245 (m^2)$$

Trong đó: Q_d : Lưu lượng trên đường ống bơm.

A_d : Diện tích đường ống.

Đường kính ống:

$$D_d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v_d}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.00002492}{\pi \times 2}} \approx 3.98 \times 10^{-3} (m) = 3.98 (mm) \quad (4.4)$$

Chọn loại ống dẫn chất lỏng loại Tygon E-3603 (hãng Saint-Gobain) [17], mã số ACF00010 với đường kính trong 4 mm.



Hình 4.2: Ống dẫn chất lỏng “Tygon E-3603”.

Tính lại lưu lượng thực tế:

$$Q_u = \pi \times \frac{D_d^2 \times v_d}{4} = \pi \times \frac{0.004 \times 2}{4} \approx 2.5 \times 10^{-5} (m^3 / s) \quad (4.5)$$

Chọn chiều dài tổng thể của ống trong hệ thống làm mát: $l_d = 10(m)$.

Chọn bộ trao đổi nhiệt:

Đối với hệ thống làm mát pin với lưu lượng chất làm mát $2.49 \times 10^{-5} (m^3/s)$ và mức sinh nhiệt cao ($74163 W/m^3$), bộ trao đổi nhiệt SWEP B10T [18] được lựa chọn do phù hợp với điều kiện lưu lượng thấp và yêu cầu hiệu suất cao. Đây là bộ trao đổi nhiệt dạng tấm hàn, vật liệu thép không gỉ, phù hợp để duy trì nhiệt độ cell pin trong khoảng $35-40^\circ C$.



Hình 4.3: Bộ trao đổi nhiệt “SWEP B10T”.

4.2.2. Tính toán tổn thất áp suất và tính chọn bơm:

a) Tổn thất áp suất dọc đường:

Tính lại số Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v_d \times D_d}{\mu} = \frac{998.2 \times 2 \times 4 \times 10^{-3}}{0.001003} \approx 7961.7 > 4000 \quad (4.6)$$

Vậy dòng chảy trong đường ống là dòng chảy rối.

Hệ số tỉ lệ được xác định như sau [19]:

$$\lambda = (1.8 \times \log(Re) - 1.64)^{-2} = (1.8 \times \log(7961.7) - 1.64)^{-2} \approx 0.034 \quad (4.7)$$

Tổn thất áp suất dọc đường:

$$\Delta P_d = \lambda \times \frac{l_d}{D_d} \times \frac{\rho \times v_d^2}{2} = 0.034 \times \frac{10}{4 \times 10^{-3}} \times \frac{998.2 \times 2^2}{2} \approx 169694 (Pa) \quad (4.8)$$

b) Tổn thất áp suất cục bộ:

Qua 2 van, coi diện tích đầu vào và ra của van bằng nhau.

Hệ số tổn thất cục bộ qua van:

$$\zeta_1 = \left(\frac{F_1}{0.65 \times F_2} - 1 \right)^2 = 0.29 \quad (4.9)$$

Tổn thất áp suất qua 2 van:

$$2 \times \Delta P_{c1} = 2 \times \zeta_1 \times \frac{\rho \times v_d^2}{2} = 2 \times 0.29 \times \frac{998.2 \times 2^2}{2} \approx 1157.91(Pa) \quad (4.10)$$

Van được lựa chọn là ODE 21JN1R0V23 [20], do hãng ODE sản xuất, van điện từ được sử dụng là loại van điện từ thường đóng 2 ngã (2/2-way NC), có nhiệm vụ điều khiển dòng môi chất làm mát theo tín hiệu điều khiển.



Hình 4.4: Van điện từ “ODE 21JN1R0V23”.

Qua 2 tê đều chọn hệ số tổn thất qua tê là: $\zeta_2 = 0.3$.

Tổn thất áp qua 2 tê:

$$2 \times \Delta P_{c2} = 2 \times \zeta_2 \times \frac{\rho \times v_d^2}{2} = 2 \times 0.3 \times \frac{998.2 \times 2^2}{2} \approx 1197.84(Pa) \quad (4.11)$$

Qua 2 co chọn hệ số tổn thất qua co: $\zeta_3 = 0.35$.

Tổn thất áp suất qua 2 co:

$$2 \times \Delta P_{c3} = 2 \times \zeta_3 \times \frac{\rho \times v_d^2}{2} = 2 \times 0.35 \times \frac{998.2 \times 2^2}{2} \approx 1397.48(Pa) \quad (4.12)$$

c) Tổn thất áp qua bộ trao đổi nhiệt:

Tổn thất áp suất tại cửa vào bộ trao đổi nhiệt, chọn hệ số tổn thất tại cửa vào: $\zeta_4 = 1$

$$\Delta P_{c4} = \zeta_4 \times \frac{\rho \times v_d^2}{2} = 1 \times \frac{998.2 \times 2^2}{2} \approx 1996.4(Pa) \quad (4.13)$$

Tổn thất áp suất tại bên trong bộ trao đổi nhiệt, chọn hệ số tổn thất bên trong bộ trao đổi nhiệt: $\zeta_5 = 0.5$.

$$\Delta P_{c5} = \zeta_5 \times \frac{\rho \times v_d^2}{2} = 0.5 \times \frac{998.2 \times 2^2}{2} \approx 998.2(Pa) \quad (4.14)$$

Tổn thất áp suất tại cửa ra bộ trao đổi nhiệt, chọn hệ số tổn thất tại cửa ra: $\zeta_6 = 1$.

$$\Delta P_{c6} = \zeta_6 \times \frac{\rho \times v_d^2}{2} = 1 \times \frac{998.2 \times 2^2}{2} \approx 1996.4(Pa) \quad (4.15)$$

d) Tổn thất qua kênh làm mát bộ pin xác định từ mô phỏng:

$$\Delta P_b = 58.26(Pa) \quad (4.16)$$

e) Tổng tất cả tổn thất áp suất trong hệ thống:

$$\Delta P = \Delta P_d + 2 \times \Delta P_{c1} + 2 \times \Delta P_{c2} + 2 \times \Delta P_{c3} + \Delta P_{c4} + \Delta P_{c5} + \Delta P_{c6} + \Delta P_b \quad (4.17)$$

$$\Leftrightarrow \Delta P = 169694 + 1157.91 + 1197.84 + 1397.48 + 1996.4 + 998.2 + 1996.4 + 58.26 \\ \Rightarrow \Delta P = 178495.49(Pa)$$

f) Tính công suất bơm:

Công suất của bơm: Với η là hiệu suất của bơm ta chọn 0.4.

$$N_{tl} = \frac{\Delta P \times Q_{tt}}{\eta} = \frac{178495.49 \times 2.5 \times 10^{-5}}{0.4} \approx 11.15(W) \quad (4.18)$$

Vậy bơm làm mát được lựa chọn là loại bơm ly tâm “DC40E-1250” [21] do hãng “Shenpeng Electronics” sản xuất. Bơm hoạt động với điện áp 12VDC, có công suất tiêu thụ ~14.4W, phù hợp với yêu cầu công suất thủy lực 12W vận hành ổn định ở lưu lượng thấp.



Hình 4.5: Bơm “DC40E-1250”.

CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN

Chương 1 đã làm rõ vai trò trung tâm của pin lithium-ion trong xe điện, một giải pháp then chốt giúp giảm phát thải và chuyển dịch sang năng lượng sạch. Đồng thời, chương cũng phân tích đặc điểm các loại cell pin và tầm quan trọng của quản lý nhiệt trong duy trì hiệu suất, an toàn và tuổi thọ pin. Phần cuối chương đã giới thiệu các phương pháp làm mát pin phổ biến, từ làm mát thụ động (PCM, ống dẫn nhiệt) đến làm mát chủ động (không khí cưỡng bức, làm mát bằng dung dịch), khẳng định tầm quan trọng của hệ thống quản lý nhiệt (BTMS) trong duy trì hiệu suất, an toàn và tuổi thọ pin. Việc lựa chọn và tối ưu hệ thống làm mát phù hợp là yếu tố kỹ thuật cốt lõi, ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng ứng dụng thực tế và phát triển bền vững của xe điện. Qua phân tích các phương pháp làm mát phổ biến như làm mát bằng không khí, làm mát thụ động và làm mát bằng dung dịch, phương pháp làm mát bằng dung dịch được xác định là giải pháp hiệu quả nhất nhờ khả năng truyền nhiệt cao và kiểm soát nhiệt độ đồng đều. Ngoài ra, chương cũng đã đề cập đến thiết kế các kênh làm mát xen kẽ giữa các cell pin như một giải pháp tiên tiến nhằm tối ưu hóa hiệu quả làm mát do cách bố trí này giúp tăng hiệu quả truyền nhiệt nhờ diện tích tiếp xúc lớn giữa môi chất làm mát và bề mặt các cell pin, từ đó duy trì nhiệt độ hoạt động ổn định. Những cơ sở lý thuyết và tổng quan này sẽ làm nền tảng cho nghiên cứu, phân tích và thiết kế chi tiết trong các chương tiếp theo.

Đối với chương 2, ta đã tham khảo xe “Tesla models S” để nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium với công suất cực đại là 504 kW, về cơ bản ta tính được cấu hình của bộ pin là 112S74P đạt yêu cầu về năng lượng (~100kWh) và điện áp (~400V). Từ cơ sở số lượng cell pin đã thiết kế 8288 ta đã đi tính toán thiết kế cơ khí cho bộ pin tiếp đó qua mô phỏng kết cấu ta đánh giá được độ bền cơ học mà khay pin ta đang thiết kế là đang nằm trong khoảng cho phép tuy nhiên nó cũng cho ta thấy được những hạn chế như về kích thước bộ pin hay khối lượng của nắp pin đang khá là lớn.

Ở chương 3 sau khi xây dựng mô hình và thiết lập các bài toán mô phỏng thu được các kết quả như hình 3.16 đến hình 3.18. Trong phần kết quả đồ thị của hình 3.16 giúp ta xác định được tại kích thước lưới 625842 thì kết quả của bài mô phỏng sẽ độc lập nhằm tăng độ chính xác và thực tế của bài mô phỏng. Từ kích thước đó ta chạy mô phỏng và đánh giá nhiệt độ của bề mặt cell pin tại nhiệt độ chất làm mát

là 27°C thì kết quả cho thấy nhiệt độ tại bề mặt pin là từ 27°C đến 33.27°C, với kết quả thu thập được cho ta hệ thống làm đang làm mát và duy trì nhiệt của cell pin ở nhiệt độ tối ưu nhưng trong hình 3.17 đồng thời cũng cho ta thấy được nhược điểm của phương pháp làm mát bằng kênh làm mát xen kẽ các cell pin là nhiệt độ làm mát trên bề mặt cell là chưa đồng đều.

Ở phần chương 4 từ các kết quả của mô phỏng ở trên ta xác định được lưu lượng khối lượng, nhiệt lượng của cell pin tạo ra trong thể tích ta đã đi lựa chọn bộ trao đổi nhiệt để phù hợp với hệ thống làm mát và tính toán đường kính ống trên hệ thống và các tổn thất áp suất trên hệ thống dựa vào đó ta chọn đường ống trong hệ thống và tính được công suất thủy lực của bơm khoảng 12 W để chọn bơm phù hợp với hệ thống mình đang thiết kế.

Đề xuất cải tiến, ở chương 2 để cải thiện số lượng cell trong bộ pin và các kích thước của bộ pin, mà yếu tố ảnh hưởng đến kích thước là số lượng cell pin và yếu tố để số lượng cell tăng lên là vì điện áp, dung lượng lưu trữ trong cell pin từ đó ta có thể cải thiện bằng thay đổi các cell pin với điện áp, dung lượng của cell nhưng có kích thước tương đương và đồng thời tối ưu hóa lại khối lượng của nắp bộ pin bằng cách điều chỉnh lựa chọn lại độ dày của nắp bộ pin để nhằm tối ưu hóa khối lượng. Còn về phần chương 3 để cải thiện các việc nhiệt độ phân bố trên bề mặt cell pin ta có thể tăng lưu lượng của chất làm mát đi qua các kênh dẫn hay bố trí kênh làm mát tiếp xúc đều với các bề mặt cell pin và cuối cùng để cải thiện hạn chế trên ta có thể thay thế dung dịch làm mát như nanofluid để tăng khả năng hấp thụ nhiệt của dung dịch làm mát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] - Nguyen, Hung Manh. Công nghệ ô tô điện - Quyển 1: Nhân điện và sử dụng ô tô điện an toàn. Nhà xuất bản Xây dựng, 2025.
- [2] - Bộ Giao thông Vận tải. (2020, 15 tháng 10). Phân loại xe ô tô điện. Cổng thông tin điện tử Bộ Giao thông Vận tải. <https://www.mt.gov.vn/moitruong/tin-tuc/993/69300/phan-loai-xe-o-to-dien.aspx>.
- [3] - Nguyễn Đức Quang, “Nghiên cứu tổng hợp và đánh giá về pin xe điện: công nghệ, các mô hình và mô phỏng tính toán hiệu suất pin xe GMEV1”, “Tạp chí Khoa học và Công nghệ Năng lượng – Trường Đại học Điện lực”, “Ngày đăng 11/08/2022”.
- [4] - Mardall, J., & Yeomans, P. (2019, November 12). Battery pack base plate heat exchanger (U.S. Patent No. 10,476,051 B2). United States Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US10476051B2>.
- [5] - Herron, N. H., Kohn, S. I., Hermann, W. A., Leutheusser, A. H., Weintraub, J. C., Grace, D., Edwards, B. P., Verzeni, N., & Mardall, J. (2013, October 15). Battery pack venting system (U.S. Patent No. 8,557,415 B2). United States Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US8557415B2>.
- [6] - “Cylindrical Cell Comparison 4680 vs 21700 vs 18650”, January 8, 2023 by Aditya_Dhage. Link truy cập: <https://www.batterydesign.net/cylindrical-cell-comparison-4680-vs-21700-vs-18650/>.
- [7] - Abdellatif M. Sadeq, “Mechanical Design of Battery Pack”, August 2023.
- [8] - Decibels Lab, “Electric Vehicle Battery pack calculation using Microsoft Excel,” YouTube, phát ngày 29 tháng 10 năm 2021. Link truy cập: <https://www.youtube.com/watch?v=Nn-fMyMd7a8&t=2242s>.
- [9] - "Mức ứng suất cho phép của kết cấu trong thiết kế kỹ thuật là gì?". Prebecc.com, 2023, Link truy cập: <https://prebecc.com/muc-ung-suat-cho-phep-cua-ket-cau-trong-thiet-ke-ky-thuat-la-gi/>.
- [10] - "Tieu chuan quốc gia TCVN 5575:2012 về kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế". Caselaw.vn, 2012. Link truy cập: <https://caselaw.vn/van-ban-phap-luat/251362-tieu-chuan-quoc-gia-tcvn-5575-2012-ve-ket-cau-thep-tieu-chuan-thiet-ke-nam-2012>.
- [11] - GS.TSKH. Vũ Duy Quang (Chủ biên), PGS.TS. Phạm Đức Nhuận, “Giáo trình Kỹ thuật Thủy khí”. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

- [12] - Subhedar, D., Chauhan, K. V., Panchal, S., & Bais, A. (n.d.). Numerical investigation of performance for liquid-cooled cylindrical electrical vehicle battery pack using Al_2O_3 /EG-water nano coolant. CHAMOS Matrusanstha Department of Mechanical Engineering, CSPIT, Charotar University of Science and Technology; Mechanical and Mechatronic Engineering Department, University of Waterloo.
- [13] - Sarchami, A., Tousi, M., Kiani, M., Arshadi, A., Najafi, M., Darab, M., & Houshfar, E. (2022). A novel nanofluid cooling system for modular lithium-ion battery thermal management based on wavy/stair channels. *International Journal of Thermal Sciences*, 182, 107823. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107823>.
- [14] - Hasan, H. A., Togun, H., Mohammed, H. I., Abed, A. M., & Homod, R. Z. (2023). CFD simulation of effect spacing between lithium-ion batteries by using flow air inside the cooling pack. *Journal of Energy Storage*, 72, 108631. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108631>.
- [15] - Wang, M., Teng, S., Xi, H., & Li, Y. (2021). Cooling performance optimization of air-cooled battery thermal management system. *Applied Thermal Engineering*, 195, 117242. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117242>.
- [16] - Trần, P. D., Phạm, M. M., Nguyễn, L. C. T., Bùi, V. H., & Tống, D. Q. (2023). Mô phỏng quá trình làm mát khối pin lithium trong xe điện ứng dụng phần mềm ANSYS Fluent [Simulating the cooling process of lithium batteries in electric vehicles using ANSYS Fluent software]. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ – Đại học Đà Nẵng*, 21(11.2), 71–76.
- [17] - Saint-Gobain. (2022). Tygon® E-3603 Tubing for Laboratory and Vacuum Applications [Datasheet]. Saint-Gobain Life Sciences. <https://www.ics.saint-gobain.com/sites/hps-mac3-lifesciences-fluid-transfer/files/2022-11/tygon-e-3603-lab-application-tubing.pdf?cache=sKG5c3Is>.
- [18] - SWEP International AB. SWEP B10T Heat Exchanger – Product Sheet. Truy cập từ: <https://lyngson.no/wp-content/uploads/2016/04/b10t-en.pdf>.
- [19] - “Hệ thống cung cấp nhiệt và làm mát”, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Link try cập: <https://www.studocu.vn/vn/document/truong-dai-hoc-bach-khoa-ha-noi/he-thong-cung-cap-nhiet-va-lam-mat/mang-nhiet-chuong-3-416588/58372323>.
- [20] - Công ty TNHH Thương Mại Thiết bị Tự động hóa Cao Đạt. Van điều khiển màng VCM/VOM – Valas. Truy cập từ: <https://vandieukhien.com/pro.asp?pro=1845>.
- [21] - Shenpeng Technology. DC40E-1250 Brushless DC Water Pump Specifications. Truy cập từ: <https://www.s-waterpump.com/dc40-1250-pump-page>.

PHỤ LỤC 1

Phụ lục 1.1: Số liệu kết quả chạy mô phỏng đánh giá độc lập lưới.

Độ C					
	Cas1	Cas2	Cas3	Cas4	Cas5
1	30.97195	30.97729	31.03546	30.74725	30.75051
2	31.47427	31.50234	31.52682	31.37292	31.43505
3	31.77282	31.82314	31.82049	31.60977	31.83801
4	31.97048	32.0454	32.14752	31.8926	32.10629
5	32.11053	32.20971	32.26742	32.02139	32.30694
6	32.21462	32.34142	32.36266	32.12975	32.45403
7	32.2937	32.44711	32.43972	32.2221	32.51959
8	32.35436	32.53274	32.50262	32.3016	32.57879
9	32.40179	32.60275	32.55535	32.37057	32.63156
10	32.43902	32.66052	32.60015	32.43081	32.67825
11	32.46829	32.70913	32.63915	32.4837	32.71966
12	32.49136	32.75094	32.67217	32.53036	32.75637
13	32.51544	32.78616	32.70016	32.57189	32.78924
14	32.54321	32.81661	32.72396	32.60906	32.81848
15	32.56918	32.8431	32.74423	32.64251	32.84451
16	32.59213	32.86642	32.76162	32.67281	32.86788
17	32.61309	32.8886	32.78143	32.70049	32.88888
18	32.63223	32.91	32.80029	32.72589	32.90783
19	32.64971	32.92928	32.81759	32.74935	32.92468
20	32.66592	32.94692	32.83364	32.77114	32.93975
21	32.68109	32.96334	32.84872	32.79153	32.9533

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

22	32.69537	32.97842	32.86297	32.81069	32.96545
23	32.70898	32.99282	32.87655	32.82879	32.97631
24	32.72198	33.00662	32.88964	32.846	32.98599
25	32.73449	33.01983	32.90228	32.86242	32.99474
26	32.74655	33.03283	32.91458	32.87817	33.00253
27	32.7582	33.04507	32.92669	32.89324	33.00961
28	32.76949	33.05709	32.93548	32.90777	33.01595
29	32.78036	33.06878	32.94534	32.92181	33.02166
30	32.79083	33.08019	32.95864	32.93533	33.02679
31	32.8009	33.09152	32.97057	32.94833	33.0314
32	32.81057	33.10226	32.98174	32.9609	33.03564
33	32.81979	33.11282	32.99255	32.97299	33.03948
34	32.82861	33.1231	33.00305	32.98458	33.04293
35	32.83694	33.1332	33.01318	32.99572	33.04614
36	32.84478	33.14291	33.02291	33.00634	33.04901
37	32.85217	33.15209	33.03231	33.0165	33.05172
38	32.8616	33.161	33.04138	33.02612	33.05419
39	32.87075	33.16955	33.05001	33.03527	33.05645
40	32.87957	33.17779	33.05822	33.04391	33.05847
41	32.88806	33.18554	33.06609	33.05209	33.06033
42	32.8962	33.1929	33.07382	33.05975	33.06567
43	32.90392	33.19982	33.08132	33.06695	33.07296
44	32.91128	33.20635	33.08843	33.07369	33.07977
45	32.91821	33.21246	33.09521	33.08004	33.08605
46	32.92474	33.21823	33.1015	33.08593	33.09188
47	32.93087	33.2235	33.10739	33.09142	33.09725
48	32.93655	33.22836	33.11288	33.09652	33.1022

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

49	32.94183	33.23287	33.11797	33.10119	33.10674
50	32.94671	33.23693	33.12271	33.10549	33.11138
51	32.9512	33.24069	33.12704	33.10943	33.11724
52	32.95529	33.24407	33.13098	33.11297	33.12274
53	32.95898	33.24719	33.13458	33.11614	33.12783
54	32.96237	33.24996	33.13787	33.11895	33.13259
55	32.96539	33.25244	33.14086	33.12142	33.13702
56	32.96807	33.25515	33.14352	33.12356	33.14111
57	32.97051	33.25759	33.14596	33.12533	33.14489
58	32.97265	33.25976	33.14813	33.12682	33.1484
59	32.97454	33.26168	33.15008	33.12805	33.15164
60	32.97619	33.26342	33.15179	33.12902	33.15463
61	32.97766	33.26492	33.15331	33.12985	33.1574
62	32.97894	33.26626	33.15466	33.13043	33.15997
63	32.98	33.26739	33.15585	33.13094	33.16235
64	32.98095	33.2684	33.15688	33.13134	33.16454
65	32.98177	33.26925	33.15777	33.13165	33.16656
66	32.98248	33.26998	33.15856	33.13195	33.16845
67	32.98306	33.27062	33.15923	33.1321	33.17019
68	32.98358	33.27114	33.15981	33.13223	33.17181
69	32.984	33.2716	33.16033	33.13235	33.1733
70	32.98434	33.27197	33.16076	33.13238	33.17468
71	32.98464	33.2723	33.1611	33.13247	33.17599
72	32.98492	33.27255	33.1614	33.13247	33.17718
73	32.98513	33.27276	33.16168	33.13235	33.17828
74	32.98528	33.27294	33.16189	33.13226	33.17932
75	32.98544	33.27307	33.16204	33.13214	33.18026

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

76	32.98556	33.27316	33.16219	33.13204	33.18118
77	32.98568	33.27325	33.16229	33.13186	33.18197
78	32.98577	33.27331	33.16238	33.13174	33.18273
79	32.98583	33.27334	33.16241	33.13162	33.18344
80	32.98593	33.27334	33.16244	33.13156	33.18411
81	32.98596	33.27334	33.16244	33.13149	33.18469
82	32.98602	33.27334	33.16247	33.13143	33.18524
83	32.98605	33.27334	33.16256	33.13143	33.18575
84	32.98611	33.27331	33.16262	33.13152	33.18624
85	32.98614	33.27328	33.16265	33.13168	33.18667
86	32.98617	33.27325	33.16265	33.13189	33.18707
87	32.9862	33.27319	33.16268	33.13217	33.18743
88	32.9862	33.27316	33.16265	33.13253	33.18777
89	32.98623	33.2731	33.16265	33.13296	33.18807
90	32.98626	33.27307	33.16262	33.13342	33.18835
91	32.98629	33.27303	33.16259	33.13391	33.18859
92	32.98632	33.273	33.16256	33.13445	33.18884
93	32.98632	33.27297	33.16253	33.13491	33.18902
94	32.98635	33.27294	33.16247	33.1354	33.18923
95	32.98638	33.27291	33.16244	33.1358	33.18939
96	32.98641	33.27288	33.16241	33.13619	33.18954
97	32.98644	33.27285	33.16235	33.13647	33.18969
98	32.98647	33.27285	33.16232	33.13668	33.18981
99	32.98647	33.27282	33.16229	33.13683	33.1899
100	32.98651	33.27282	33.16223	33.13687	33.19003

Phụ lục 1.2: Kết quả mô phỏng đánh giá nhiệt độ của cell pin.

Thời gian (s)	Nhiệt độ C	Thời gian (s)	Nhiệt độ C	Thời gian (s)	Nhiệt độ C
0	26.85	301	31.87233887	602	32.90780029
1	26.87865601	302	31.87926636	603	32.90917358
2	26.90734253	303	31.88613281	604	32.91054688
3	26.93599854	304	31.89296875	605	32.91188965
4	26.96465454	305	31.89977417	606	32.91326294
5	26.99334106	306	31.90651855	607	32.91460571
6	27.02199707	307	31.91326294	608	32.91591797
7	27.05065308	308	31.91994629	609	32.91726074
8	27.07930908	309	31.92659912	610	32.918573
9	27.10796509	310	31.93322144	611	32.91988525
10	27.13662109	311	31.93981323	612	32.92119751
11	27.1652771	312	31.94637451	613	32.92250977
12	27.19390259	313	31.95287476	614	32.9237915
13	27.22252808	314	31.95934448	615	32.92507324
14	27.25112305	315	31.96581421	616	32.92635498
15	27.2796875	316	31.9722229	617	32.92763672
16	27.30825195	317	31.97860107	618	32.92888794
17	27.33675537	318	31.98494873	619	32.93016968
18	27.36525879	319	31.99123535	620	32.9314209
19	27.39370117	320	31.99752197	621	32.9326416
20	27.42211304	321	32.00377808	622	32.93389282
21	27.45049438	322	32.00997314	623	32.93511353
22	27.47878418	323	32.01616821	624	32.93636475

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

23	27.50704346	324	32.02230225	625	32.93755493
24	27.5352417	325	32.02840576	626	32.93877563
25	27.56337891	326	32.03447876	627	32.93999634
26	27.59142456	327	32.04052124	628	32.94118652
27	27.6194397	328	32.04656372	629	32.94237671
28	27.64736328	329	32.05254517	630	32.94356689
29	27.67519531	330	32.05849609	631	32.94475708
30	27.70296631	331	32.06438599	632	32.94591675
31	27.73061523	332	32.07027588	633	32.94707642
32	27.75820313	333	32.07613525	634	32.94823608
33	27.78569946	334	32.08196411	635	32.94939575
34	27.81310425	335	32.08776245	636	32.95055542
35	27.840448	336	32.09353027	637	32.95168457
36	27.8677002	337	32.09926758	638	32.95281372
37	27.89486084	338	32.10494385	639	32.95394287
38	27.92189941	339	32.11062012	640	32.95507202
39	27.94884644	340	32.11626587	641	32.95620117
40	27.9757019	341	32.1218811	642	32.9572998
41	28.00246582	342	32.12746582	643	32.95839844
42	28.02910767	343	32.13302002	644	32.95952759
43	28.05565796	344	32.13851318	645	32.9605957
44	28.0821167	345	32.14400635	646	32.96169434
45	28.10845337	346	32.14946899	647	32.96276245
46	28.13466797	347	32.15490112	648	32.96386108
47	28.16079102	348	32.16033325	649	32.9649292
48	28.18679199	349	32.16570435	650	32.96599731
49	28.21270142	350	32.17104492	651	32.96703491

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

50	28.23845825	351	32.17635498	652	32.96810303
51	28.26415405	352	32.18163452	653	32.96914063
52	28.28969727	353	32.18691406	654	32.97017822
53	28.31514893	354	32.19213257	655	32.97121582
54	28.34047852	355	32.19735107	656	32.97225342
55	28.36571655	356	32.20253906	657	32.97329102
56	28.390802	357	32.20766602	658	32.9742981
57	28.4157959	358	32.21279297	659	32.97530518
58	28.44066772	359	32.2178894	660	32.97631226
59	28.465448	360	32.22295532	661	32.97731934
60	28.49007568	361	32.22799072	662	32.97832642
61	28.51461182	362	32.23302612	663	32.97930298
62	28.53902588	363	32.23800049	664	32.98031006
63	28.56331787	364	32.24297485	665	32.98128662
64	28.58748779	365	32.24788818	666	32.98226318
65	28.61156616	366	32.25280151	667	32.98323975
66	28.63549194	367	32.25768433	668	32.98418579
67	28.65932617	368	32.26253662	669	32.98516235
68	28.68303833	369	32.26738892	670	32.9861084
69	28.70665894	370	32.27218018	671	32.98705444
70	28.73012695	371	32.27697144	672	32.98800049
71	28.75350342	372	32.28170166	673	32.98894653
72	28.77675781	373	32.28643188	674	32.98989258
73	28.79989014	374	32.29113159	675	32.99080811
74	28.82293091	375	32.2958313	676	32.99172363
75	28.84584961	376	32.30046997	677	32.99266968
76	28.86861572	377	32.30510864	678	32.99358521

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

77	28.8913208	378	32.30968628	679	32.99447021
78	28.91387329	379	32.31426392	680	32.99538574
79	28.93633423	380	32.31884155	681	32.99627075
80	28.9586731	381	32.32335815	682	32.99718628
81	28.98088989	382	32.32787476	683	32.99807129
82	29.00301514	383	32.33236084	684	32.9989563
83	29.02501831	384	32.33681641	685	32.99984131
84	29.04689941	385	32.34124146	686	33.00072632
85	29.06868896	386	32.34563599	687	33.00158081
86	29.09035645	387	32.35003052	688	33.00246582
87	29.11193237	388	32.35439453	689	33.00332031
88	29.13335571	389	32.35872803	690	33.0041748
89	29.15471802	390	32.36306152	691	33.0050293
90	29.17592773	391	32.36733398	692	33.00588379
91	29.1970459	392	32.37160645	693	33.00670776
92	29.21807251	393	32.37584839	694	33.00756226
93	29.23897705	394	32.38009033	695	33.00838623
94	29.25975952	395	32.38430176	696	33.00921021
95	29.28045044	396	32.38845215	697	33.01003418
96	29.30101929	397	32.39263306	698	33.01085815
97	29.32149658	398	32.39675293	699	33.01168213
98	29.34188232	399	32.4008728	700	33.0125061
99	29.362146	400	32.40496216	701	33.01329956
100	29.3822876	401	32.409021	702	33.01409302
101	29.40233765	402	32.41307983	703	33.01491699
102	29.42229614	403	32.41710815	704	33.01571045
103	29.44213257	404	32.42110596	705	33.01650391

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

104	29.46187744	405	32.42510376	706	33.01726685
105	29.48153076	406	32.42904053	707	33.0180603
106	29.50106201	407	32.43297729	708	33.01882324
107	29.52050171	408	32.43691406	709	33.0196167
108	29.53981934	409	32.44082031	710	33.02037964
109	29.55904541	410	32.44469604	711	33.02114258
110	29.57817993	411	32.44854126	712	33.02190552
111	29.5972229	412	32.45238647	713	33.02266846
112	29.6161438	413	32.45620117	714	33.02340088
113	29.63497314	414	32.45998535	715	33.02416382
114	29.65371094	415	32.46376953	716	33.02489624
115	29.67235718	416	32.46752319	717	33.02565918
116	29.69091187	417	32.47124634	718	33.0263916
117	29.70934448	418	32.47496948	719	33.02712402
118	29.72768555	419	32.47866211	720	33.02785645
119	29.74593506	420	32.48232422	721	33.02855835
120	29.76409302	421	32.48598633	722	33.02929077
121	29.78215942	422	32.48961792	723	33.03002319
122	29.80010376	423	32.49324951	724	33.0307251
123	29.81798706	424	32.49685059	725	33.031427
124	29.83574829	425	32.50042114	726	33.03212891
125	29.85344849	426	32.5039917	727	33.03283081
126	29.87102661	427	32.50750122	728	33.03353271
127	29.88851318	428	32.51104126	729	33.03423462
128	29.90593872	429	32.51455078	730	33.03493652
129	29.92324219	430	32.51802979	731	33.03560791
130	29.9404541	431	32.52147827	732	33.0362793

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

131	29.95760498	432	32.52492676	733	33.0369812
132	29.97463379	433	32.52834473	734	33.03765259
133	29.99160156	434	32.5317627	735	33.03832397
134	30.00844727	435	32.53515015	736	33.03899536
135	30.02523193	436	32.5385376	737	33.03963623
136	30.04192505	437	32.54189453	738	33.04030762
137	30.05849609	438	32.54522095	739	33.040979
138	30.07503662	439	32.54854736	740	33.04161987
139	30.09145508	440	32.55184326	741	33.04226074
140	30.10778198	441	32.55510864	742	33.04293213
141	30.12401733	442	32.55840454	743	33.043573
142	30.14019165	443	32.5616394	744	33.04421387
143	30.15627441	444	32.56487427	745	33.04485474
144	30.17226563	445	32.56807861	746	33.04546509
145	30.1881958	446	32.57128296	747	33.04610596
146	30.20400391	447	32.57445679	748	33.04671631
147	30.21975098	448	32.57763062	749	33.04735718
148	30.23540649	449	32.58077393	750	33.04796753
149	30.25100098	450	32.58388672	751	33.04857788
150	30.26647339	451	32.58699951	752	33.04918823
151	30.28188477	452	32.5901123	753	33.04979858
152	30.29723511	453	32.59316406	754	33.05040894
153	30.3124939	454	32.59624634	755	33.05101929
154	30.32766113	455	32.5992981	756	33.05162964
155	30.34273682	456	32.60231934	757	33.05220947
156	30.35775146	457	32.60534058	758	33.05281982
157	30.37267456	458	32.6083313	759	33.05339966

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

158	30.38753662	459	32.6112915	760	33.05397949
159	30.40230713	460	32.61428223	761	33.05455933
160	30.4170166	461	32.61721191	762	33.05513916
161	30.43163452	462	32.6201416	763	33.05571899
162	30.44616089	463	32.62307129	764	33.05629883
163	30.46062622	464	32.62597046	765	33.05687866
164	30.47503052	465	32.62883911	766	33.05742798
165	30.48934326	466	32.63173828	767	33.05800781
166	30.50359497	467	32.63457642	768	33.05855713
167	30.51775513	468	32.63741455	769	33.05913696
168	30.53185425	469	32.64025269	770	33.05968628
169	30.54586182	470	32.6430603	771	33.0602356
170	30.55980835	471	32.6458374	772	33.06078491
171	30.57366333	472	32.6486145	773	33.06133423
172	30.58745728	473	32.6513916	774	33.06188354
173	30.60119019	474	32.65413818	775	33.06240234
174	30.61483154	475	32.65688477	776	33.06295166
175	30.62841187	476	32.65960083	777	33.06350098
176	30.64193115	477	32.66231689	778	33.06401978
177	30.65535889	478	32.66500244	779	33.06453857
178	30.66872559	479	32.66765747	780	33.06508789
179	30.68203125	480	32.67034302	781	33.06560669
180	30.69524536	481	32.67296753	782	33.06612549
181	30.70839844	482	32.67562256	783	33.06664429
182	30.72149048	483	32.67824707	784	33.06716309
183	30.73449097	484	32.68084106	785	33.06765137
184	30.74743042	485	32.68343506	786	33.06817017

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

185	30.76030884	486	32.68599854	787	33.06868896
186	30.77312622	487	32.68856201	788	33.06917725
187	30.78588257	488	32.69112549	789	33.06969604
188	30.79854736	489	32.69365845	790	33.07018433
189	30.81115112	490	32.69619141	791	33.07067261
190	30.82369385	491	32.69869385	792	33.07116089
191	30.83617554	492	32.70119629	793	33.07164917
192	30.84856567	493	32.70366821	794	33.07213745
193	30.86092529	494	32.70614014	795	33.07262573
194	30.87319336	495	32.70861206	796	33.07311401
195	30.88540039	496	32.71105347	797	33.07360229
196	30.89754639	497	32.71346436	798	33.07409058
197	30.90963135	498	32.71587524	799	33.07454834
198	30.92165527	499	32.71828613	800	33.07503662
199	30.93361816	500	32.72069702	801	33.07549438
200	30.9454895	501	32.72307739	802	33.07595215
201	30.95733032	502	32.72542725	803	33.07640991
202	30.96911011	503	32.7277771	804	33.07689819
203	30.98079834	504	32.73012695	805	33.07735596
204	30.99245605	505	32.73244629	806	33.07781372
205	31.00402222	506	32.73476563	807	33.07827148
206	31.01555786	507	32.73705444	808	33.07869873
207	31.02700195	508	32.73934326	809	33.07915649
208	31.03841553	509	32.74163208	810	33.07961426
209	31.04973755	510	32.74389038	811	33.0800415
210	31.06102905	511	32.74614868	812	33.08049927
211	31.072229	512	32.74840698	813	33.08092651

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

212	31.08339844	513	32.75063477	814	33.08138428
213	31.09450684	514	32.75283203	815	33.08181152
214	31.10552368	515	32.75505981	816	33.08223877
215	31.11651001	516	32.75722656	817	33.08266602
216	31.1274353	517	32.75942383	818	33.08309326
217	31.13829956	518	32.76159058	819	33.08352051
218	31.14910278	519	32.76375732	820	33.08394775
219	31.15987549	520	32.76589355	821	33.084375
220	31.17055664	521	32.76802979	822	33.08480225
221	31.18120728	522	32.77016602	823	33.08519897
222	31.19176636	523	32.77227173	824	33.08562622
223	31.20229492	524	32.77437744	825	33.08602295
224	31.21276245	525	32.77645264	826	33.0864502
225	31.22316895	526	32.77852783	827	33.08684692
226	31.23354492	527	32.78060303	828	33.08724365
227	31.24382935	528	32.78264771	829	33.0876709
228	31.25408325	529	32.78469238	830	33.08806763
229	31.26427612	530	32.78673706	831	33.08846436
230	31.27443848	531	32.78875122	832	33.08886108
231	31.28450928	532	32.79076538	833	33.08925781
232	31.29454956	533	32.79277954	834	33.08965454
233	31.30452881	534	32.79476318	835	33.09002075
234	31.31444702	535	32.79674683	836	33.09041748
235	31.32433472	536	32.79873047	837	33.09081421
236	31.33413086	537	32.80068359	838	33.09118042
237	31.343927	538	32.80263672	839	33.09157715
238	31.35363159	539	32.80455933	840	33.09194336

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

239	31.36330566	540	32.80648193	841	33.09234009
240	31.3729187	541	32.80840454	842	33.0927063
241	31.3824707	542	32.81032715	843	33.09307251
242	31.39199219	543	32.81221924	844	33.09343872
243	31.40145264	544	32.81411133	845	33.09383545
244	31.41085205	545	32.8159729	846	33.09420166
245	31.42022095	546	32.81783447	847	33.09456787
246	31.42952881	547	32.81969604	848	33.09493408
247	31.43880615	548	32.82155762	849	33.09526978
248	31.44802246	549	32.82338867	850	33.09563599
249	31.45717773	550	32.82521973	851	33.0960022
250	31.46630249	551	32.82702026	852	33.09636841
251	31.47536621	552	32.8288208	853	33.0967041
252	31.48439941	553	32.83062134	854	33.09707031
253	31.49337158	554	32.83242188	855	33.09740601
254	31.50228271	555	32.83419189	856	33.09777222
255	31.51116333	556	32.83596191	857	33.09810791
256	31.51998291	557	32.83773193	858	33.0984436
257	31.52877197	558	32.83947144	859	33.09880981
258	31.5375	559	32.84121094	860	33.09914551
259	31.54619751	560	32.84295044	861	33.0994812
260	31.55483398	561	32.84465942	862	33.09981689
261	31.56343994	562	32.84636841	863	33.10015259
262	31.57198486	563	32.84807739	864	33.10048828
263	31.58049927	564	32.84978638	865	33.10082397
264	31.58895264	565	32.85146484	866	33.10112915
265	31.59737549	566	32.85314331	867	33.10146484

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

266	31.6057373	567	32.85479126	868	33.10180054
267	31.6140686	568	32.85646973	869	33.10213623
268	31.62236938	569	32.85811768	870	33.10244141
269	31.63060913	570	32.85973511	871	33.1027771
270	31.63878784	571	32.86138306	872	33.10308228
271	31.64693604	572	32.86300049	873	33.10338745
272	31.65505371	573	32.86461792	874	33.10372314
273	31.66311035	574	32.86620483	875	33.10402832
274	31.67113647	575	32.86782227	876	33.1043335
275	31.67913208	576	32.86940918	877	33.10466919
276	31.68706665	577	32.87096558	878	33.10497437
277	31.6949707	578	32.87255249	879	33.10527954
278	31.70281372	579	32.87410889	880	33.10558472
279	31.71062622	580	32.87566528	881	33.10588989
280	31.71837769	581	32.87722168	882	33.10619507
281	31.72612915	582	32.87874756	883	33.10646973
282	31.73381958	583	32.88027344	884	33.1067749
283	31.74144897	584	32.88179932	885	33.10708008
284	31.74904785	585	32.88329468	886	33.10738525
285	31.75661621	586	32.88482056	887	33.10765991
286	31.76415405	587	32.88631592	888	33.10796509
287	31.77163086	588	32.88781128	889	33.10827026
288	31.77907715	589	32.88927612	890	33.10854492
289	31.78649292	590	32.89074097	891	33.10881958
290	31.79384766	591	32.89220581	892	33.10912476
291	31.80117188	592	32.89367065	893	33.10939941
292	31.80846558	593	32.89510498	894	33.10967407

Nghiên cứu thiết kế hệ thống làm mát pin lithium-ion trên ô tô điện

293	31.81572876	594	32.89656982	895	33.10997925
294	31.82293091	595	32.89800415	896	33.11025391
295	31.83010254	596	32.89940796	897	33.11052856
296	31.83724365	597	32.90084229	898	33.11080322
297	31.84432373	598	32.90224609	899	33.11107788
298	31.85140381	599	32.9036499	900	33.11135254
299	31.85842285	600	32.90505371	900	33.11135254
300	31.86541138	601	32.906427		

