

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 GIẢI PHÁP TỐI ƯU  
HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG CHO Ô  
TÔ ĐIỆN**

Người hướng dẫn: PGS. TS. PHẠM QUỐC THÁI  
TS. VÕ ĐẠI QUÍ

Sinh viên thực hiện: VÕ NHƯ TRUNG  
NGUYỄN THÁI SƠN

Số thẻ sinh viên: 103200105 - 103200062  
Lớp: 20C4CLC1 - 20C4B

Đà Nẵng, 26/05/2025

## NHẬN XÉT ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

### I. Thông tin chung:

- Họ và tên sinh viên: Võ Như Trung
- Lớp: 20C4CLC1                      Số thẻ SV: 103200105
- Tên đề tài: Nghiên cứu giải pháp tối ưu hệ thống năng lượng cho ô tô điện
- Người hướng dẫn: PGS.TS. Phạm Quốc Thái – TS. Võ Đại Quý    Học hàm/ học vị:  
Phó giáo sư – Tiến sĩ

### II. Nhận xét đồ án tốt nghiệp:

- Về tính cấp thiết, sáng tạo và ứng dụng của đồ án: (điểm đánh giá tối đa là 2đ)  
.....  
.....
- Về kết quả giải quyết các nội dung nhiệm vụ yêu cầu của đồ án: (điểm tối đa là 4đ)  
.....  
.....
- Về hình thức, cấu trúc, bố cục của đồ án tốt nghiệp: (điểm đánh giá tối đa là 2đ)  
.....  
.....
- NCKH: (nếu có bài báo khoa học hoặc ĐATN là đề tài NCKH: cộng thêm 1đ)  
.....  
.....
- Các tồn tại, thiếu sót cần bổ sung, chỉnh sửa:  
.....  
.....

### III. Tinh thần, thái độ làm việc của sinh viên: (điểm đánh giá tối đa 1đ)

.....  
.....

### IV.Đánh giá:

- Điểm đánh giá:                      /10
- Đề nghị:                      Được bảo vệ đồ án/ Bổ sung thêm đề bảo vệ/ Không được bảo vệ

Đà Nẵng, ngày                      tháng                      năm 201

**Người hướng dẫn**

## NHẬN XÉT ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

### V. Thông tin chung:

5. Họ và tên sinh viên: Nguyễn Thái Sơn  
6. Lớp: 20C4B                      Số thẻ SV: 103200062  
7. Tên đề tài: Nghiên cứu giải pháp tối ưu hệ thống năng lượng cho ô tô điện  
8. Người hướng dẫn: PGS.TS. Phạm Quốc Thái – TS. Võ Đại Quý    Học hàm/ học vị:  
    Phó giáo sư – Tiến sĩ

### VI. Nhận xét đồ án tốt nghiệp:

6. Về tính cấp thiết, sáng tạo và ứng dụng của đồ án: (điểm đánh giá tối đa là 2đ)  
.....  
.....  
7. Về kết quả giải quyết các nội dung nhiệm vụ yêu cầu của đồ án: (điểm tối đa là 4đ)  
.....  
.....  
8. Về hình thức, cấu trúc, bố cục của đồ án tốt nghiệp: (điểm đánh giá tối đa là 2đ)  
.....  
.....  
9. NCKH: (nếu có bài báo khoa học hoặc ĐATN là đề tài NCKH: cộng thêm 1đ)  
.....  
.....  
10. Các tồn tại, thiếu sót cần bổ sung, chỉnh sửa:  
.....  
.....

### VII. Tinh thần, thái độ làm việc của sinh viên: (điểm đánh giá tối đa 1đ)

.....  
.....

### VIII. Đánh giá:

3. Điểm đánh giá:                      /10  
4. Đề nghị:                      Được bảo vệ đồ án/ Bổ sung thêm đề bảo vệ/ Không được bảo vệ

Đà Nẵng, ngày                      tháng                      năm 201

**Người hướng dẫn**

## CÂU HỎI PHẢN BIỆN ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

### I. Thông tin chung:

1. Họ và tên sinh viên: Võ Như Trung – Nguyễn Thái Sơn
2. Lớp: 20C4CLC1 – 20C4B      Số thẻ SV: 103200105 - 103200062
3. Tên đề tài: Nghiên cứu giải pháp tối ưu hệ thống năng lượng cho ô tô điện
4. Người phản biện: TS. Hoàng Thắng      Học hàm/ học vị: Tiến sĩ

### II. Các câu hỏi đề nghị sinh viên trả lời

1. ....  
.....
2. ....  
.....

**Đáp án:** (người phản biện ghi vào khi chấm và nộp cùng với hồ sơ bảo vệ)

1. ....  
.....  
.....  
.....
2. ....  
.....  
.....  
.....  
.....

Đà Nẵng, ngày      tháng      năm 201...

**Người phản biện**

## NHẬN XÉT PHẢN BIỆN ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

### IX. Thông tin chung:

9. Họ và tên sinh viên: Võ Như Trung – Nguyễn Thái Sơn  
10. Lớp: 20C4CLC1 – 20C4B Số thẻ SV: 103200105 - 103200062  
11. Tên đề tài: Nghiên cứu giải pháp tối ưu hệ thống năng lượng cho ô tô điện  
12. Người phản biện: TS. Hoàng Thắng Học hàm/ học vị: Tiến sĩ

### X. Nhận xét, đánh giá đồ án tốt nghiệp:

TT	Các tiêu chí đánh giá	Điểm tối đa	Điểm trừ	Điểm còn lại
1	<b>Sinh viên có phương pháp nghiên cứu phù hợp, giải quyết đủ nhiệm vụ đồ án được giao</b>	80		
1a	- Hiểu và vận dụng được kiến thức Toán và khoa học tự nhiên trong vấn đề nghiên cứu	15		
1b	- Hiểu và vận dụng được kiến thức cơ sở và chuyên ngành trong vấn đề nghiên cứu	25		
1c	- Có kỹ năng vận dụng thành thạo các phần mềm mô phỏng, tính toán trong vấn đề nghiên cứu	10		
1d	- Có kỹ năng đọc, hiểu tài liệu bằng tiếng nước ngoài ứng dụng trong vấn đề nghiên cứu	10		
1e	- Có kỹ năng làm việc nhóm, kỹ năng giải quyết vấn đề	10		
1f	- Đề tài có giá trị khoa học, công nghệ; có thể ứng dụng thực tiễn:	10		
2	<b>Kỹ năng viết:</b>	20		
2a	- Bố cục hợp lý, lập luận rõ ràng, chặt chẽ, lời văn súc tích	15		
2b	- Thuyết minh đồ án không có lỗi chính tả, in ấn, định dạng	5		
3	<b>Tổng điểm đánh giá: theo thang 100</b>			
	<b>Quy về thang 10 (lấy đến 1 số lẻ)</b>			

5. Các tồn tại, thiếu sót cần bổ sung, chỉnh sửa:

.....  
.....

6. Ý kiến khác:

.....

7. Đề nghị: Được bảo vệ đồ án/ Bổ sung thêm đề bảo vệ/ Không được bảo vệ

Đà Nẵng, ngày tháng năm 201...

**Người phản biện**

## NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

TT	Họ tên sinh viên	Số thẻ SV	Lớp	Ngành
1	Võ Như Trung	103200105	20C4CLC1	Cơ khí động lực
2	Nguyễn Thái Sơn	103200062	20C4B	Cơ khí động lực

1. Tên đề tài đồ án:

Nghiên cứu giải pháp tối ưu hệ thống năng lượng cho 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:

Thông số một pack pin xe điện VinFast VF e34

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

a. Phần chung:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Nguyễn Thái Sơn	- Tính cấp thiết và ý nghĩa của đề tài - Mục tiêu, đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài - Phương pháp nghiên cứu - Tổng quan về xe điện
2	Võ Như Trung	- Tổng quan về tình hình nghiên cứu hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện ở trong nước và quốc tế - Kết luận

b. Phần riêng:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Nguyễn Thái Sơn	- Nguyên lý hoạt động của hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện - Giới thiệu phần mềm ANSYS Fluent - Xây dựng mô hình mô phỏng cho các phương án thiết kế hệ thống tản nhiệt pin xe điện VinFast VF e34 - Kết quả tối ưu hóa cell pin hệ thống tản nhiệt pin xe điện VinFast VFe 34 - Bàn luận
2	Võ Như Trung	- Cơ sở lý thuyết mô phỏng và bố trí hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện - Chia lưới và đánh giá kết quả lưới các mô hình - Điều kiện biên và vận hành mô hình - Tổng quan kết quả mô phỏng - So sánh kết quả

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

a. Phần chung:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Nguyễn Thái Sơn	- Bản vẽ tổng thể các module mô phỏng
2	Võ Như Trung	

b. Phần riêng:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Nguyễn Thái Sơn	- Đồ thị chênh lệch suất - Đồ thị phân bố nhiệt độ
2	Võ Như Trung	- Đồ thị phân bố vận tốc - Đồ thị phân bố nhiệt độ theo vị trí

6. Họ tên người hướng dẫn:	Phân/ Nội dung:
PGS. TS. Phạm Quốc Thái TS. Võ Đại Quý	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nguyên lí hoạt động của hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện</li> <li>- Giới thiệu phần mềm ANSYS Fluent</li> <li>- Xây dựng mô hình mô phỏng cho các phương án thiết kế hệ thống tản nhiệt pin xe điện VinFast VF e34</li> <li>- Cơ sở lý thuyết mô phỏng và bố trí hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện</li> <li>- Chia lưới và đánh giá kết quả lưới các mô hình</li> <li>- Kết quả tối ưu hóa cell pin hệ thống tản nhiệt pin xe điện VinFast VFe 34</li> <li>- Điều kiện biên và vận hành mô hình</li> <li>- Tổng quan kết quả mô phỏng</li> <li>- So sánh kết quả</li> <li>- Bàn luận</li> </ul>

7. Ngày giao nhiệm vụ đồ án: 16/02/2025

8. Ngày hoàn thành đồ án: 03/06/2025

Đà Nẵng, ngày tháng năm 201

Trưởng Bộ môn.....

Người hướng dẫn

## TÓM TẮT

Tên đề tài: Nghiên cứu giải pháp tối ưu hệ thống năng lượng cho ô tô điện

Sinh viên thực hiện: Võ Như Trung – Nguyễn Thái Sơn

Số thẻ SV: 103200105 – 103200062      Lớp: Lớp 20C4CLC1 – 20C4B

Trước thực trạng biến đổi khí hậu và ô nhiễm không khí gia tăng, ô tô điện trở thành xu hướng tất yếu nhờ ưu điểm không phát thải trực tiếp và giảm phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch. Tuy nhiên, những hạn chế của pin lithium-ion như hiệu suất chưa tối ưu, thời gian sạc lâu và chi phí cao đang là rào cản. Tại Việt Nam, với quá trình đô thị hóa nhanh và nhu cầu phương tiện cá nhân lớn, ô tô điện có vai trò quan trọng trong phát triển giao thông xanh và bền vững. Đề tài “Nghiên cứu giải pháp tối ưu hệ thống năng lượng cho ô tô điện” nhằm xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống làm mát pin trên xe VinFast VF e34 bằng phần mềm Ansys Fluent, đánh giá hành vi nhiệt và đề xuất cải tiến phù hợp với điều kiện khí hậu Việt Nam. Nghiên cứu sử dụng các phương pháp lý thuyết, phân tích, mô phỏng và tổng hợp nhằm nâng cao hiệu suất, tuổi thọ pin, góp phần phát triển ngành công nghiệp ô tô điện trong nước.

## LỜI NÓI ĐẦU

Trong bối cảnh thế giới đang đối mặt với những thách thức lớn về biến đổi khí hậu, ô nhiễm môi trường và sự cạn kiệt của các nguồn năng lượng hóa thạch, ô tô điện đã và đang trở thành một giải pháp giao thông bền vững, góp phần giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường. Tuy nhiên, để ô tô điện thực sự phát huy tiềm năng và trở nên phổ biến, việc tối ưu hóa hệ thống năng lượng là một trong những vấn đề cốt lõi cần được nghiên cứu và giải quyết.

Đề án "Nghiên cứu giải pháp tối ưu hệ thống năng lượng cho ô tô điện" được thực hiện với mục tiêu tìm hiểu, phân tích và đề xuất các giải pháp cải thiện hiệu suất sử dụng năng lượng, nâng cao khả năng vận hành và giảm chi phí sản xuất của ô tô điện. Đây không chỉ là một bài toán kỹ thuật mà còn mang ý nghĩa thực tiễn sâu sắc trong việc thúc đẩy sự phát triển của ngành công nghiệp ô tô hiện đại.

Chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến PGS.TS. Phạm Quốc Thái và TS. Võ Đại Quý, đã tận tình hướng dẫn, chia sẻ những kiến thức chuyên môn quý báu và định hướng cho chúng em trong suốt quá trình thực hiện đề án. Sự hỗ trợ và động viên từ thầy là nguồn động lực lớn để tôi hoàn thành công trình này.

Mặc dù đã cố gắng hết sức, đề án không tránh khỏi những thiếu sót. Chúng em rất mong nhận được những ý kiến đóng góp quý báu từ các thầy cô và bạn đọc để công trình này được hoàn thiện hơn. Hy vọng rằng những kết quả từ nghiên cứu này sẽ đóng góp một phần nhỏ vào sự phát triển của lĩnh vực ô tô điện tại Việt Nam cũng như trên thế giới.

## **CAM ĐOAN**

Chúng tôi xin cam đoan rằng đề án tốt nghiệp với đề tài: “Nghiên cứu giải pháp tối ưu hệ thống năng lượng cho ô tô điện” là công trình nghiên cứu và thực hiện của riêng tôi dưới sự hướng dẫn của PGS.TS. Phạm Quốc Thái và TS.Võ Đại Quý.

Chúng tôi xin cam kết rằng toàn bộ nội dung trong đề án này là kết quả của quá trình học tập, nghiên cứu nghiêm túc và trung thực. Các tài liệu, số liệu, hình ảnh, bảng biểu và trích dẫn sử dụng trong đề án đều đã được tôi ghi rõ nguồn gốc và trích dẫn đầy đủ theo đúng quy định.

Chúng tôi hoàn toàn chịu trách nhiệm về tính trung thực và liêm chính học thuật của nội dung đề án. Nếu phát hiện có hành vi sao chép, gian lận hoặc vi phạm quy định về liêm chính học thuật, tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm và chấp nhận mọi hình thức xử lý theo quy định của Nhà trường.

Đà Nẵng, ngày 25 tháng 05 năm 2025

Sinh viên thực hiện

## MỤC LỤC

<b>TÓM TẮT</b> .....	i
<b>LỜI NÓI ĐẦU</b> .....	ii
<b>CAM ĐOAN</b> .....	iii
<b>MỤC LỤC</b> .....	iv
<b>DANH SÁCH CÁC BẢNG, HÌNH VẼ</b> .....	vi
<b>DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT</b> .....	viii
<b>MỞ ĐẦU</b> .....	1
<b>1. Tính cấp thiết và ý nghĩa của đề tài</b> .....	1
<b>2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài</b> .....	2
<b>3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu của đề tài</b> .....	2
<b>4. Phương pháp nghiên cứu</b> .....	2
<b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ XE Ô TÔ ĐIỆN</b> .....	4
<b>1.1. Tổng quan về xe điện</b> .....	4
1.1.1. Lịch sử phát triển của ô tô điện .....	4
1.1.2. Vai trò và xu hướng phát triển của ô tô điện trong bối cảnh bảo vệ môi trường toàn cầu .....	5
1.1.3. Ưu điểm và nhược điểm của ô tô điện.....	7
<b>1.2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện ở trong nước và quốc tế</b> .....	8
1.2.1. Tình hình nghiên cứu trong nước .....	8
1.2.2. Tình hình nghiên cứu quốc tế .....	9
<b>CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT</b> .....	12
<b>2.1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện</b> .....	12
2.1.1. Nguyên lý hoạt động.....	12
2.1.2. Các phương pháp tản nhiệt cho pin xe điện .....	12
2.1.3. Nguyên lý hoạt động của hệ thống tản nhiệt pin xe điện bằng chất lỏng.....	19
<b>2.2. Cơ sở lý thuyết mô phỏng và bố trí hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện</b> .....	20
2.2.1. Cơ sở lý thuyết mô phỏng.....	20
2.2.2. Bố trí hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện.....	22
<b>2.3. Giới thiệu phần mềm ANSYS Fluent</b> .....	23

<b>CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG HỆ THỐNG TẢN NHIỆT PIN XE ĐIỆN VINFAST VF E34</b> .....	24
<b>3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng cho các phương án thiết kế hệ thống tản nhiệt pin xe điện VinFast VF e34</b> .....	24
3.1.1. Các điều kiện giả định của mô hình mô phỏng .....	24
3.1.2. Cấu trúc của các mô hình mô phỏng .....	25
3.1.3. Vật liệu và tính chất vật lí.....	27
<b>3.2. Chia lưới và đánh giá kết quả lưới các mô hình</b> .....	28
3.2.1. Chia lưới và đánh giá kết quả lưới cho mô hình 1 tầng.....	29
3.2.2. Chia lưới và đánh giá kết quả lưới cho mô hình 2 tầng.....	30
<b>3.3. Thiết lập mô phỏng và điều kiện biên</b> .....	31
<b>CHƯƠNG 4: KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN</b> .....	36
<b>4.1. Tổng quan kết quả mô phỏng</b> .....	36
<b>4.2. So sánh kết quả</b> .....	39
4.2.1. Chênh lệch áp suất giữa các phương án .....	39
4.2.2. Phân bố nhiệt độ của các phương án làm mát .....	41
4.2.3. Phân bố nhiệt độ cell pin .....	43
4.2.4. Phân bố nhiệt độ chất lỏng làm mát.....	45
4.2.5. Phân bố vận tốc chất lỏng làm mát.....	47
<b>4.3. Bàn luận</b> .....	49
<b>KẾT LUẬN</b> .....	52
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> .....	53

## **DANH SÁCH CÁC BẢNG, HÌNH VẼ**

Hình 1.1: Mẫu xe ô tô điện VinFast VF e34.....	6
Hình 1.2: Hệ thống trạm sạc ô tô điện VinFast tại Việt Nam.....	7
Hình 2.1: Tản nhiệt bằng vật liệu chuyển pha.....	14
Hình 2.2: Cánh tản nhiệt.....	16
Hình 2.3: Tản nhiệt bằng chất lỏng.....	17
Hình 2.4: Tản nhiệt bằng không khí.....	18
Hình 2.5: Sơ đồ hệ thống làm mát pin bằng chất lỏng.....	19
Hình 2.6: Các ứng dụng của phần mềm Ansys Fluent.....	23
Hình 3.1: (a) Mô hình một tầng bố trí các cell pin thẳng hàng; (b) Mô hình hai tầng bố trí các cell pin thẳng hàng ; (c) Mô hình một tầng bố trí các cell pin so le.....	26
Hình 3.2: Cell pin Samsung INR21700-48X.....	27
Hình 3.3: Đồ thị kết quả đánh giá độc lập lưới 1 tầng.....	29
Hình 3.4: Lưới có kích thước chia 1.2 mm model 1 tầng.....	30
Hình 3.5: Đồ thị đánh giá độc lập lưới 2 tầng.....	30
Hình 3.6: Lưới có kích thước chia 1.2 mm của model 2 tầng.....	31
Hình 4.1: Sự thay đổi nhiệt độ của cell pin và chất lỏng làm mát trong quá trình sạc của phương án 6.....	38
Hình 4.2: Đồ thị chênh lệch áp suất giữa các phương án trong quá trình sạc.....	40
Hình 4.3: Phân bố nhiệt độ của các phương án làm mát (mặt cắt ngang mô hình ở vị trí 25 mm) .....	41
Hình 4.4: Đồ thị phân bố nhiệt độ của các phương án làm mát.....	42
Hình 4.5: Phân bố nhiệt độ trên bề mặt cell pin.....	43
Hình 4.6: Phân bố nhiệt độ chất lỏng làm mát.....	45
Hình 4.7: Phân bố vận tốc chất lỏng làm mát.....	47

Hình 4.8: Đồ thị phân bố vận tốc chất lỏng làm mát của các phương án.....	49
Bảng 3.1: Tính chất vật lí của hỗn hợp nước và etylen glycol 50:50.....	28
Bảng 3.2: Thông số kĩ thuật của cell pin Samsung INR21700-48X.....	28
Bảng 3.3: Kết quả đánh giá độc lập lưới 1 tầng.....	29
Bảng 3.4: Kết quả đánh giá lưới 2 tầng.....	30
Bảng 3.5: Thiết lập mô phỏng và điều kiện biên của các phương án.....	35
Bảng 4.1: Số liệu kết quả mô phỏng cho các phương án.....	36
Bảng 4.2: Chênh lệch áp suất tại cửa vào và cửa ra của các phương án tại thời gian sạc 1080 giây .....	39
Bảng 4.3: Nhiệt độ trung bình của các mô hình sau 18 phút sạc nhanh.....	44

## DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

### KÝ HIỆU:

STT	Ký hiệu	Tên gọi
1	$\rho$	Mật độ khối của chất lỏng hoặc khí
2	$\partial\rho/\partial t$	Đạo hàm riêng theo thời gian của mật độ – biểu thị sự thay đổi mật độ tại một điểm theo thời gian
3	$\nabla\cdot(\rho\mathbf{v})$	Phép toán divergence (phân kỳ) của mật độ nhân với vận tốc
4	$\mathbf{v}$	Vector vận tốc của dòng chảy
5	$\mathbf{v}\cdot\nabla\mathbf{v}$	Thành phần chuyển động đối lưu, ảnh hưởng của chuyển động không gian lên vận tốc dòng chảy
6	$\nabla p$	Gradient áp suất, lực do chênh lệch áp suất
7	$\mu$	Hệ số nhớt
8	$F$	Lực ngoại lai
9	$C_p$	Nhiệt dung riêng đẳng áp
10	$T$	Nhiệt độ
11	$Q$	Nguồn nhiệt nội sinh

### CHỮ VIẾT TẮT:

STT	Kí hiệu chữ viết tắt	Chữ viết đầy đủ
1	BTMS	Battery Thermal Management System (Bộ quản lý nhiệt pin)
2	PCM	Phase Change Material (Vật liệu chuyển pha)
3	CFD	Computational Fluid Dynamics (Tính toán động lực học chất lưu)
4	NCA	NiCoAlO <sub>2</sub> (Pin Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide)

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết và ý nghĩa của đề tài

#### a. Tính cấp thiết của đề tài

Trong những năm gần đây, sự gia tăng nhanh chóng của biến đổi khí hậu và ô nhiễm không khí đã đặt ra yêu cầu cấp bách đối với việc chuyển đổi từ các phương tiện sử dụng nhiên liệu hóa thạch sang các giải pháp giao thông thân thiện với môi trường. Ô tô điện, với ưu điểm không phát thải khí nhà kính trực tiếp và giảm sự phụ thuộc vào dầu mỏ, đã trở thành một xu hướng tất yếu trong ngành công nghiệp ô tô toàn cầu. Tuy nhiên, pin xe điện còn những hạn chế như quãng đường di chuyển ngắn, thời gian sạc lâu, chi phí sản xuất cao và tuổi thọ pin chưa tối ưu đang cản trở sự phổ biến của loại phương tiện này.

Tại Việt Nam, với tốc độ đô thị hóa nhanh chóng và nhu cầu sử dụng phương tiện giao thông cá nhân ngày càng tăng, ô tô điện không chỉ là một giải pháp giảm thiểu ô nhiễm mà còn góp phần nâng cao chất lượng cuộc sống và thúc đẩy phát triển kinh tế bền vững. Tuy nhiên, để ô tô điện trở thành lựa chọn khả thi cho người dùng Việt Nam, việc nghiên cứu và tối ưu hóa hệ thống năng lượng là một yêu cầu mang tính sống còn. Điều này không chỉ giúp cải thiện hiệu suất vận hành mà còn giảm chi phí, từ đó đưa công nghệ này đến gần hơn với thực tế ứng dụng trong nước.

Hơn nữa, trong bối cảnh các quốc gia trên thế giới đang chạy đua phát triển công nghệ năng lượng sạch và cạnh tranh trong lĩnh vực ô tô điện, Việt Nam cần có những nghiên cứu chuyên sâu để bắt kịp xu hướng, từng bước xây dựng nền tảng công nghệ nội địa. Đề tài "Nghiên cứu giải pháp tối ưu hệ thống năng lượng cho ô tô điện" vì vậy mang tính cấp thiết cả về mặt khoa học lẫn thực tiễn, góp phần giải quyết các bài toán kỹ thuật quan trọng và mở ra cơ hội phát triển ngành công nghiệp ô tô điện trong tương lai.

#### b. Ý nghĩa của đề tài

Đề tài bổ sung tri thức về quản lý nhiệt pin lithium-ion, đề xuất giải pháp làm mát tối ưu hóa năng lượng, cung cấp cơ sở lý thuyết và phương pháp mô phỏng cho nghiên cứu công nghệ pin và giao thông bền vững. Nghiên cứu nâng cao hiệu suất, tuổi thọ pin

ô tô điện, giảm chi phí vận hành, hỗ trợ phát triển công nghiệp ô tô điện Việt Nam, đáp ứng nhu cầu giao thông xanh và điều kiện khí hậu thực tế.

## **2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài**

Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống làm mát pin cho xe điện VinFast VF e34 kết hợp với công cụ mô phỏng Ansys Fluent nhằm tối ưu hóa hiệu năng lượng của pin lithium-ion.

Phân tích hành vi nhiệt của pin dưới các điều kiện vận hành khác nhau thông qua mô phỏng, từ đó đánh giá hiệu quả tản nhiệt của pin xe điện

Đề xuất cải tiến thiết kế hệ thống làm mát phù hợp với đặc điểm kỹ thuật của xe điện VinFast VF e34 và điều kiện khí hậu Việt Nam.

## **3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu của đề tài**

### **a. Phạm vi của đề tài**

Tập trung vào đặc điểm kỹ thuật của pin trên xe điện VinFast VF e34.

Mô phỏng và phân tích trong điều kiện vận hành thực tế tại Việt Nam.

Xây dựng mô hình mô phỏng, phân tích nhiệt và đề xuất cải tiến tối ưu năng lượng của pin trên xe điện

### **b. Đối tượng nghiên cứu của đề tài**

Khối pin trên xe điện VinFast VF e34

## **4. Phương pháp nghiên cứu**

Cách tiếp cận: Đề tài sử dụng phương pháp tiếp cận từ lý thuyết đến thực tiễn. Trước hết, tiến hành thu thập và nghiên cứu cơ sở lý thuyết thông qua các tài liệu khoa học trong và ngoài nước, bao gồm các bài báo, sách chuyên ngành, tiêu chuẩn kỹ thuật và báo cáo nghiên cứu liên quan đến pin lithium-ion, hệ thống làm mát pin, cũng như các mô hình tối ưu hóa năng lượng đã được áp dụng trong thực tiễn. Trên cơ sở lý thuyết này, đề tài sẽ xây dựng mô hình mô phỏng, tiến hành phân tích nhiệt và hiệu suất vận hành của hệ thống pin, từ đó đề xuất các giải pháp tối ưu cụ thể phù hợp với điều kiện khí hậu và hạ tầng kỹ thuật tại Việt Nam.

Phương pháp nghiên cứu:

- Phương pháp nghiên cứu lý thuyết:

+ Thu thập, phân tích và tổng hợp các tài liệu khoa học, bài báo, sách chuyên ngành và báo cáo kỹ thuật liên quan đến hệ thống năng lượng pin trên xe điện

+ Nghiên cứu các nguyên lý hoạt động, cấu tạo và đặc tính vật lý của pin lithium-ion, đặc biệt là các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất nhiệt và tuổi thọ pin.

+ Nghiên cứu các công nghệ pin tiên tiến hiện nay và các giải pháp tối ưu hóa năng lượng đã được áp dụng trên thế giới để làm cơ sở lý thuyết cho đề tài.

- Phương pháp phân tích và đánh giá:

+ Phân tích các đặc tính kỹ thuật của pin xe điện thông qua việc đánh giá các thông số như khoảng cách các cell pin và các phương án bố trí hệ thống tản nhiệt xe điện VinFast VF34

+ So sánh hiệu quả của các giải pháp tối ưu hóa hiện có nhằm xác định những hạn chế cần khắc phục và tiềm năng cải tiến.

+ Đánh giá hiệu quả tản nhiệt của hệ thống hiện tại thông qua việc xem xét các yếu tố như lưu lượng chất làm mát, thiết kế ống dẫn nhiệt, vị trí cảm biến nhiệt, và sự phân bố nhiệt trong khối pin.

- Phương pháp mô phỏng:

+ Sử dụng phần mềm inventor để xây dựng mô hình mô phỏng và áp dụng phần mềm mô phỏng dòng chất lỏng và truyền nhiệt Ansys Fluent để tiến hành các phương án mô phỏng về hành vi nhiệt của pin.

+ Mô phỏng các thiết kế hệ thống làm mát cải tiến như thay đổi thiết kế các kênh làm mát và thay đổi lưu lượng dòng chảy để đánh giá hiệu quả so với thiết kế ban đầu.

- Phương pháp tổng hợp và đề xuất:

+ Dựa trên kết quả từ các phương pháp trên, tổng hợp dữ liệu và phân tích để đưa ra các giải pháp tối ưu hóa năng lượng pin phù hợp với điều kiện thực tế tại Việt Nam, như khí hậu nhiệt đới, thói quen sử dụng xe và cơ sở hạ tầng sạc.

+ Đề xuất các hướng cải tiến cụ thể, bao gồm cả giải pháp kỹ thuật và giải pháp ứng dụng thực tiễn.

Thông qua việc kết hợp chặt chẽ giữa nghiên cứu lý thuyết và thực tiễn mô phỏng, đề tài hướng đến việc cung cấp giải pháp có tính ứng dụng cao, góp phần nâng cao hiệu suất, kéo dài tuổi thọ pin và tối ưu hóa hệ thống năng lượng cho xe điện, đáp ứng các yêu cầu về tiết kiệm chi phí, hiệu quả vận hành và phát triển bền vững trong tương lai.

## **CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ XE Ô TÔ ĐIỆN**

### **1.1. Tổng quan về xe điện**

#### **1.1.1. Lịch sử phát triển của ô tô điện**

Xe điện (Electric Vehicle – EV) là một trong những thành tựu công nghệ tiêu biểu trong ngành công nghiệp giao thông vận tải hiện đại, với lịch sử phát triển kéo dài gần hai thế kỷ. Ngay từ đầu thế kỷ 19, con người đã bắt đầu thử nghiệm các phương tiện chạy bằng điện như một giải pháp thay thế cho các cỗ xe ngựa và các phương tiện thô sơ thời đó. Vào những năm 1830, nhà phát minh người Scotland Robert Anderson được cho là người đầu tiên chế tạo thành công một cỗ xe chạy bằng nguồn điện từ pin không thể sạc lại. Tuy nhiên, các phương tiện này còn rất thô sơ, hiệu suất kém và chưa thể ứng dụng rộng rãi.

Bước ngoặt đầu tiên xảy ra vào cuối thế kỷ 19, khi pin sạc chì-axít ra đời, mở đường cho việc phát triển các mẫu xe điện thực tiễn hơn. Đến những năm 1880–1900, xe điện trở nên phổ biến tại các thành phố lớn như New York, London và Paris nhờ vào đặc tính êm ái, không phát thải và dễ điều khiển hơn so với các xe dùng động cơ hơi nước hay động cơ xăng thời kỳ đầu. Đặc biệt, năm 1899, chiếc xe điện “La Jamais Contente” đã lập kỷ lục thế giới khi lần đầu tiên vượt qua tốc độ 100 km/h, minh chứng cho tiềm năng kỹ thuật vượt trội của xe điện so với mặt bằng công nghệ thời điểm đó. Vào năm 1900, xe điện thậm chí chiếm tới khoảng 1/3 số lượng phương tiện lưu thông tại Mỹ – một tỷ lệ đáng kể trong lịch sử ngành giao thông.

Tuy nhiên, thời kỳ hoàng kim của xe điện không kéo dài. Từ thập niên 1910–1920, sự xuất hiện của dây chuyền sản xuất hàng loạt do Henry Ford phát triển, đặc biệt với mẫu xe Model T, đã làm giảm mạnh chi phí sản xuất xe chạy xăng. Đồng thời, những cải tiến trong công nghệ động cơ đốt trong đã làm tăng đáng kể hiệu suất và tầm hoạt động, trong khi mạng lưới trạm tiếp nhiên liệu xăng dầu phát triển nhanh chóng. Kết quả là xe điện dần mất đi ưu thế cạnh tranh về cả hiệu năng lẫn giá thành. Trong suốt giai đoạn từ 1920 đến khoảng 1970, xe điện gần như biến mất khỏi thị trường tiêu dùng, chỉ còn tồn tại dưới dạng phương tiện chuyên dụng như xe golf, xe trong nhà máy hoặc các phương tiện vận chuyển nhỏ trong khu vực kín.

Phải đến những năm 1970, khi thế giới đối mặt với cuộc khủng hoảng dầu mỏ và ngày càng lo ngại về sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch, xe điện mới một lần nữa được quan tâm trở lại. Các nhà sản xuất ô tô và chính phủ bắt đầu nghiên cứu những giải pháp thay thế bền vững hơn, bao gồm việc phát triển các mẫu xe điện thử nghiệm. Tuy nhiên, các vấn đề về công nghệ pin – vốn có mật độ năng lượng thấp, thời gian sạc dài và tuổi thọ ngắn – đã cản trở sự quay trở lại của xe điện trong thời gian này. Một ví dụ điển hình là dự án EV1 của General Motors vào những năm 1990, dù được đánh giá cao nhưng vẫn không đạt được thành công thương mại và bị ngừng sản xuất.

Bước ngoặt thực sự chỉ xuất hiện vào đầu thế kỷ 21, khi công nghệ pin lithium-ion được cải tiến đáng kể, đồng thời vấn đề môi trường trở thành một chủ đề nóng toàn cầu. Mẫu xe hybrid Toyota Prius ra mắt năm 1997 (sau đó phổ biến vào đầu thập niên 2000) đã chứng minh rằng xe điện có thể hoạt động hiệu quả trong điều kiện sử dụng hàng ngày. Năm 2003, sự ra đời của công ty Tesla Motors (Mỹ) đánh dấu một thời kỳ đổi mới mạnh mẽ trong ngành công nghiệp ô tô. Tesla Roadster – mẫu xe thể thao chạy hoàn toàn bằng điện ra mắt năm 2008 – sử dụng pin lithium-ion với tầm hoạt động lên đến hơn 300 km, mở ra một kỷ nguyên mới cho xe điện hiệu suất cao. Thành công của Tesla đã thúc đẩy hàng loạt các hãng xe truyền thống như Nissan, Chevrolet, BMW, Mercedes-Benz... tham gia phát triển xe điện, với nhiều dòng sản phẩm thương mại lần lượt ra đời như Nissan Leaf, Chevrolet Volt, BMW i3,...

Từ năm 2010 trở lại đây, xe điện đã bước vào giai đoạn phát triển mạnh mẽ chưa từng có. Chính phủ nhiều quốc gia ban hành các chính sách ưu đãi thuế, trợ giá, đầu tư hạ tầng trạm sạc và đặt mục tiêu loại bỏ xe sử dụng nhiên liệu hóa thạch trong tương lai gần. Trung Quốc hiện là thị trường xe điện lớn nhất thế giới, với nhiều thương hiệu như BYD, NIO, Xpeng phát triển nhanh chóng. Tại Việt Nam, sự xuất hiện của hãng xe VinFast và các chính sách định hướng của Chính phủ cho thấy tiềm năng lớn trong việc tham gia vào chuỗi giá trị xe điện toàn cầu.

### ***1.1.2. Vai trò và xu hướng phát triển của ô tô điện trong bối cảnh bảo vệ môi trường toàn cầu***

Hiện nay, trong cuộc cách mạng công nghiệp hoá, vấn đề bảo vệ môi trường và biến đổi khí hậu đang là thách thức đối với mỗi quốc gia trên toàn thế giới. Lượng khí thải từ các phương tiện giao thông ngày một tăng đến mức báo động, ảnh hưởng trực tiếp đến “sức khoẻ” của trái đất và toàn nhân loại. Đây là trách nhiệm của mỗi quốc gia trên thế giới cần phải tìm kiếm nguồn năng lượng mới thay thế cho thế hệ năng lượng

hoá thạch đang dần cạn kiệt và gây ra biến đổi khí hậu phức tạp. Chính vì thế sự ra đời của ô tô điện mang đến những thay đổi mang tính cách mạng cho ngành công nghiệp ô tô toàn cầu. Với sự phát triển không ngừng của công nghệ và nhận thức bảo vệ môi trường, ô tô điện ngày càng phổ biến và đang dần khẳng định vị thế là phương tiện giao thông của tương lai.



Hình 1.1: Mẫu xe ô tô điện VinFast VF e34

Thị trường ô tô điện ngày càng trở nên đa dạng với sự xuất hiện của nhiều mẫu xe đến từ các hãng sản xuất ô tô truyền thống và các công ty khởi nghiệp. Từ những mẫu xe nhỏ gọn dành cho đô thị đến những mẫu SUV và sedan sang trọng, người tiêu dùng có nhiều lựa chọn phù hợp với nhu cầu và ngân sách của mình. Nhiều quốc gia trên thế giới đã ban hành các chính sách hỗ trợ và khuyến khích việc sử dụng ô tô điện, như giảm thuế, trợ cấp mua xe, xây dựng trạm sạc công cộng và hạn chế xe chạy xăng dầu. Những chính sách này đã góp phần thúc đẩy sự phát triển của thị trường ô tô điện và tạo điều kiện thuận lợi cho người tiêu dùng chuyển sang sử dụng phương tiện xanh. Một trong những thách thức lớn nhất đối với sự phát triển của ô tô điện là hạ tầng trạm sạc. Tuy nhiên, tình hình đang dần được cải thiện với sự đầu tư mạnh mẽ của các chính phủ, doanh nghiệp và tổ chức vào việc xây dựng và mở rộng mạng lưới trạm sạc công cộng. Các trạm sạc nhanh và siêu nhanh đang được triển khai rộng rãi, giúp rút ngắn thời gian sạc và tạo điều kiện thuận lợi cho người dùng di chuyển xa. Bên cạnh đó, công nghệ pin – yếu tố cốt lõi quyết định hiệu suất và phạm vi hoạt động của ô tô điện – cũng đang có những bước tiến vượt bậc. Các loại pin mới với mật độ năng lượng cao hơn, thời gian sạc nhanh hơn và tuổi thọ lâu hơn đang được nghiên cứu và thương mại hóa. Sự phát triển này không chỉ giúp xe điện trở nên tiện lợi và linh hoạt hơn, mà còn góp phần làm giảm chi phí sản xuất, đưa giá thành xe điện ngày càng gần hơn với xe truyền thống.

Nhờ đó, ô tô điện đang dần trở thành lựa chọn ưu tiên cho tương lai giao thông bền vững.



Hình 1.2: Hệ thống trạm sạc ô tô điện VinFast tại Việt Nam

Công nghệ pin là yếu tố then chốt quyết định hiệu suất và phạm vi hoạt động của ô tô điện. Những tiến bộ vượt bậc trong công nghệ pin lithium-ion, như tăng mật độ năng lượng và giảm chi phí sản xuất, đã giúp cải thiện đáng kể quãng đường di chuyển và giảm giá thành của ô tô điện. Bên cạnh đó, các công nghệ sạc nhanh và sạc không dây cũng đang được nghiên cứu và phát triển, giúp rút ngắn thời gian sạc và mang lại sự tiện lợi cho người dùng.

### ***1.1.3. Ưu điểm và nhược điểm của ô tô điện***

- Ưu điểm của ô tô điện:

+ Thân thiện với môi trường: Không phát thải khí thải, góp phần giảm ô nhiễm không khí và biến đổi khí hậu.

+ Tiết kiệm chi phí vận hành: Chi phí điện thường thấp hơn chi phí xăng dầu, đồng thời chi phí bảo dưỡng cũng ít hơn do động cơ điện đơn giản hơn.

+ Vận hành êm ái: Động cơ điện hoạt động êm ái, không gây tiếng ồn và rung lắc như động cơ đốt trong.

+ Hiệu suất cao: Động cơ điện có khả năng tăng tốc nhanh và mạnh mẽ.

+ Công nghệ tiên tiến: Ô tô điện thường được trang bị nhiều công nghệ hiện đại như hệ thống hỗ trợ lái xe tự động, kết nối internet,...

- Nhược điểm của ô tô điện:
  - + Giá thành cao: Giá mua ô tô điện thường cao hơn xe chạy xăng dầu cùng phân khúc.
  - + Thời gian sạc lâu: Thời gian sạc pin có thể mất vài giờ, tùy thuộc vào loại xe và trạm sạc.
  - + Hạ tầng trạm sạc chưa phát triển: Số lượng trạm sạc công cộng còn hạn chế, đặc biệt ở các vùng nông thôn.
  - + Quãng đường di chuyển hạn chế: Quãng đường di chuyển của ô tô điện sau mỗi lần sạc vẫn còn thấp hơn so với xe chạy xăng dầu.
  - + Tuổi thọ pin: Chi phí thay thế pin sau một thời gian sử dụng có thể khá tốn kém.

## **1.2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện ở trong nước và quốc tế**

Hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo hiệu suất, tuổi thọ và an toàn của xe. Nghiên cứu trong lĩnh vực này đang diễn ra sôi động cả trong nước và quốc tế, với nhiều hướng tiếp cận và công nghệ tiên tiến.

### **1.2.1. Tình hình nghiên cứu trong nước**

Trong bối cảnh nhu cầu sử dụng năng lượng tái tạo và phương tiện điện ngày càng gia tăng, pin lithium-ion đã trở thành một thành phần thiết yếu trong nhiều ứng dụng, đặc biệt là trong các hệ thống lưu trữ năng lượng và xe điện. Song song với sự phát triển này, vấn đề quản lý nhiệt cho pin lithium-ion ngày càng được chú trọng, bởi hiệu suất và tuổi thọ của pin chịu ảnh hưởng lớn từ nhiệt độ làm việc. Trong những năm gần đây, nhiều nhà nghiên cứu trong nước đã tiến hành các nghiên cứu chuyên sâu nhằm hiểu rõ hơn về cơ chế sinh nhiệt, sự lan truyền nhiệt cũng như các giải pháp làm mát hiệu quả cho loại pin này. Dưới đây là một số công trình tiêu biểu:

TS. Thẩm Bội Châu đã phát triển mô hình mô phỏng nhiệt của module pin lithium-ion bằng phương pháp số. Nghiên cứu chỉ ra rằng các cell pin trong module ảnh hưởng nhiệt lẫn nhau, với cell pin ở giữa có nhiệt độ cao hơn so với cell pin ngoài. Trong điều kiện không làm mát, nhiệt độ pin tăng lên 40°C sau chu kỳ sạc 0,2 giờ, vượt ngưỡng an toàn. Khi tăng hiệu quả trao đổi nhiệt đối lưu, nhiệt độ giảm xuống 35°C, nằm trong giới hạn hoạt động cho phép, nhấn mạnh vai trò của làm mát trong việc duy trì hiệu suất pin [1].

PGS. TS. Phạm Quốc Thái tập trung vào các yếu tố ảnh hưởng đến tuổi thọ pin lithium-ion, như nhiệt độ, điện áp, dung lượng và chu kỳ sạc/xả. Nghiên cứu đề xuất phương pháp ước lượng trạng thái pin bằng bộ lọc Kalman mở rộng, khắc phục lỗi của các phương pháp truyền thống khi xử lý mô hình phức tạp và nhiễu. Dù không trực tiếp nghiên cứu làm mát, phương pháp này hỗ trợ hệ thống làm mát pin bằng cách cung cấp dữ liệu chính xác để tối ưu hóa quản lý nhiệt [2].

Trong nghiên cứu của thạc sĩ Phạm Minh Mận tập trung vào việc cải thiện hiệu suất hệ thống làm mát pin lithium, nhấn mạnh ảnh hưởng của khoảng cách giữa các cell pin đến công suất quạt và tiêu thụ năng lượng. Hiệu quả làm mát tăng khi vận tốc dòng không khí đầu vào cao hơn, với các vận tốc phù hợp là 4 m/s, 5 m/s, 9 m/s, 20 m/s tương ứng với khoảng cách 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm. Khoảng cách 3mm cho công suất quạt thấp nhất (1,66W) [3].

Các nghiên cứu trong nước đã có những đóng góp quan trọng vào việc hiểu rõ cơ chế nhiệt của pin lithium-ion cũng như phát triển các công cụ mô phỏng, ước lượng và giải pháp làm mát. Tuy nhiên, vẫn còn nhiều tiềm năng để khai thác, đặc biệt là trong việc tích hợp các phương pháp điều khiển thông minh, sử dụng vật liệu mới trong tản nhiệt, cũng như tối ưu hóa cấu trúc module pin để đạt được hiệu suất cao và tuổi thọ dài hơn trong điều kiện vận hành thực tế.

### ***1.2.2. Tình hình nghiên cứu quốc tế***

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ pin lithium-ion và xu hướng điện hóa phương tiện giao thông trên toàn cầu, các quốc gia có nền công nghiệp tiên tiến đã đầu tư đáng kể vào nghiên cứu và phát triển các hệ thống quản lý nhiệt cho pin – Battery Thermal Management Systems (BTMS). Các nghiên cứu quốc tế không chỉ tập trung vào việc đảm bảo pin hoạt động trong ngưỡng nhiệt độ tối ưu nhằm duy trì hiệu suất và tuổi thọ, mà còn đề cập đến các vấn đề về an toàn, hiệu quả năng lượng, cũng như khả năng tích hợp và tối ưu hóa hệ thống trong điều kiện vận hành thực tế. Hệ thống BTMS đóng vai trò trung tâm trong việc điều tiết nhiệt độ pin, đặc biệt là trong các ứng dụng đòi hỏi mật độ năng lượng cao như xe điện (EV) và hệ thống lưu trữ năng lượng quy mô lớn (ESS). Tùy theo yêu cầu vận hành và điều kiện sử dụng, các giải pháp làm mát bằng không khí, chất lỏng, hoặc kết hợp cả hai đã được nghiên cứu và triển khai thực tế. Trong đó, hệ thống làm mát bằng chất lỏng, đặc biệt là dạng làm mát gián tiếp, được quan tâm nhiều hơn do hiệu suất cao và khả năng kiểm soát nhiệt độ chính xác.

Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng thiết kế kênh làm mát, lưu lượng chất lỏng, tốc độ xả pin, cũng như chiến lược điều khiển là những yếu tố then chốt quyết định hiệu quả của hệ thống làm mát. Đặc biệt, trong bối cảnh nhu cầu tối ưu hóa đồng thời nhiều mục tiêu như hiệu suất, chi phí và độ an toàn, các phương pháp mô phỏng số, mô hình điều khiển thông minh và thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu đã được ứng dụng rộng rãi. Những nghiên cứu tiêu biểu dưới đây phản ánh phần nào chiều sâu và phạm vi tiếp cận của cộng đồng khoa học quốc tế đối với vấn đề quản lý nhiệt pin lithium-ion.

Hệ thống quản lý nhiệt pin (BTMS) là một thành phần quan trọng và hiệu quả nhằm duy trì nhiệt độ của pin trong một phạm vi hợp lý, từ đó tránh lãng phí năng lượng và hiện tượng đoản mạch nhiệt gây nguy hiểm cho hệ thống pin [4]. Trong đó, hệ thống làm mát bằng chất lỏng đang được nhiều nhà sản xuất xe điện hàng đầu như Chevrolet Volt, Tesla Model 3 và Model S, BMW i3 và i8 áp dụng nhờ vào hiệu quả làm mát cao, chi phí hợp lý và khả năng tích hợp dễ dàng với các bộ phận làm mát khác [5].

Đối với hệ thống làm mát gián tiếp, dung dịch làm mát (thường là hỗn hợp ethylene glycol và nước) có độ nhớt thấp hơn đáng kể so với các loại dầu khoáng cách điện được dùng trong hệ thống làm mát trực tiếp. Nhờ đó, ở cùng mức tiêu thụ điện năng, hệ thống làm mát gián tiếp cho phép đạt được lưu lượng chất lỏng cao hơn [6]. Do đó, các hệ thống làm mát bằng chất lỏng kiểu tiếp xúc gián tiếp đã được nghiên cứu rộng rãi, với dòng chất lỏng chảy qua các kênh dẫn bên trong như tấm kim loại có tích hợp kênh làm mát hoặc ống dẹt [7].

Trong hệ thống làm mát bằng chất lỏng, các yếu tố như lưu lượng khối tại đầu vào và nhiệt độ chất lỏng có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất làm mát ở các mức xả khác nhau. Các yếu tố này đã được nghiên cứu sâu rộng [8, 9], với các giá trị tối ưu được xác định cho từng cấu hình cụ thể của hệ thống làm mát. Wang và cộng sự [10] đã thực hiện thử nghiệm trực giao nhằm đánh giá ảnh hưởng của vận tốc dòng vào và hình dạng kênh làm mát đối với hiệu suất làm mát của ống uốn cong. Kết quả cho thấy, khi vận tốc đầu vào dao động từ 0,2 đến 0,5 m/s và số lượng kênh từ 1 đến 2, hiệu quả làm mát được cải thiện rõ rệt.

Huo và cộng sự [11] đã nghiên cứu ảnh hưởng của thông số kênh và lưu lượng khối đầu vào đến hiệu quả làm mát. Kết quả chỉ ra rằng khi lưu lượng khối tăng, hiệu suất làm mát cũng tăng theo, tuy nhiên tốc độ tăng có xu hướng chậm dần. Mức lưu lượng đầu vào được khuyến nghị là  $5 \times 10^{-4}$  kg/s. Trong khi đó, Deng và cộng sự [8] sử dụng hệ thống làm mát cho cụm pin gồm bốn module và năm tấm cold plate để đánh giá

ảnh hưởng của lưu lượng đầu vào, cấu trúc kênh và cách bố trí tấm lạnh đến hiệu suất nhiệt. Kết quả cho thấy lưu lượng đầu vào thích hợp cho toàn bộ cụm pin (ở chế độ xả 3C và 5C) là khoảng  $1 \times 10^{-3}$  kg/s. Tang và cộng sự [12] tiến hành thí nghiệm trên ba chiến lược làm mát bằng nước khác nhau sử dụng các kênh nhỏ tích hợp trong tấm lạnh, chỉ ra rằng lưu lượng dòng và tốc độ xả ảnh hưởng lớn đến nhiệt độ tối đa. Mức lưu lượng tối ưu về độ đồng đều nhiệt độ được xác định là  $3.3 \times 10^{-2}$  kg/s.

Ozge và Tahir [13] thực hiện mô phỏng số một cụm pin và nhận thấy rằng nhiệt độ pin giảm khi tốc độ sạc giảm, tuy nhiên quá trình này cần thời gian dài để đạt hiệu quả rõ rệt. Trong phần lớn các nghiên cứu trên, lưu lượng chất lỏng và tốc độ xả được giữ ổn định trong mỗi trường hợp mô phỏng hoặc thí nghiệm, nhằm đơn giản hóa quá trình phân tích và xác định các điều kiện tối ưu. Tuy nhiên, phương pháp này lại không phản ánh đúng thực tế, nơi mà các điều kiện vận hành như tốc độ dòng chảy và tốc độ xả thường xuyên thay đổi theo nhu cầu vận hành và điều kiện môi trường.

Đối với các loại xe điện và xe điện lai, phạm vi hoạt động của hệ thống quản lý nhiệt không chỉ giới hạn ở việc làm mát hoặc sưởi ấm pin, mà còn bao gồm việc làm mát động cơ điện, bộ điều khiển, bình ngưng và các bộ phận truyền động khác. Để kiểm soát hiệu quả toàn bộ quá trình này, hệ thống cần một chiến lược điều khiển tối ưu với khả năng phản hồi nhanh [14]. Hamut và cộng sự [15] đã tối ưu hóa hệ thống quản lý nhiệt của xe điện lai thông qua thuật toán tiến hóa đơn mục tiêu và đa mục tiêu, đạt được hiệu suất năng lượng cao hơn 13% và giảm 5% tác động môi trường, dù phải đánh đổi với chi phí tăng 27%. Gao và cộng sự [16] áp dụng phương pháp điều khiển mờ để quản lý nhiệt, kết hợp mô hình thứ tự giảm với vận tốc dòng chất làm mát thay đổi, xác minh độ chính xác bằng mô phỏng CFD, và kiểm chứng hiệu quả thông qua đồng mô phỏng giữa ANSYS và MATLAB.

Liu và Zhang [17] phát triển hệ thống quản lý nhiệt thông minh sử dụng làm mát bằng không khí, điều khiển bởi mô hình dự đoán dựa trên mạng nơ-ron. Trước khi xây dựng mô hình điều khiển, họ đã thực hiện một lượng lớn mô phỏng động học chất lỏng rối loạn (transient CFD) nhằm tối ưu hóa cấu trúc và dự đoán nhiệt độ pin theo thời gian thực. Kết quả cho thấy việc áp dụng điều khiển dự đoán giúp cải thiện hiệu suất năng lượng lên đến 15,8%. Do đó, việc nghiên cứu và ứng dụng các phương pháp điều khiển thông minh là vô cùng cần thiết để giảm thiểu tổn hao năng lượng không cần thiết trong vận hành hệ thống BTMS [18].

## **CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT**

### **2.1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện**

#### **2.1.1. Nguyên lý hoạt động**

Nguyên lý hoạt động của hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện dựa trên các cơ chế truyền nhiệt như dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ. Trong thực tế, các hệ thống làm mát pin thường sử dụng môi chất làm mát (như không khí, nước, dung dịch ethylene glycol hoặc các loại dầu cách điện) để hấp thụ và vận chuyển nhiệt lượng sinh ra từ các cell pin ra bên ngoài. Tùy theo loại hệ thống, việc truyền nhiệt có thể diễn ra theo dạng tiếp xúc trực tiếp hoặc gián tiếp thông qua các cấu trúc trung gian như tấm tản nhiệt, ống dẫn nhiệt, kênh vi lưu hoặc các vật liệu dẫn nhiệt cao.

Ngoài ra, các hệ thống tản nhiệt hiện đại thường được tích hợp với các cảm biến nhiệt độ và bộ điều khiển thông minh, cho phép điều chỉnh lưu lượng chất làm mát, tốc độ quạt hoặc chế độ hoạt động tùy theo tình trạng thực tế của pin và điều kiện môi trường. Việc kiểm soát linh hoạt này không chỉ giúp tối ưu hiệu suất làm mát mà còn giảm tiêu thụ năng lượng cho hệ thống phụ trợ, góp phần nâng cao hiệu suất tổng thể của phương tiện.

Nguyên lý hoạt động của hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện dựa trên việc chủ động kiểm soát và duy trì nhiệt độ pin trong giới hạn an toàn thông qua các cơ chế truyền nhiệt và điều khiển hiệu quả. Đây là yếu tố then chốt góp phần đảm bảo hiệu suất, độ ổn định và an toàn trong vận hành của các phương tiện sử dụng năng lượng đi

#### **2.1.2. Các phương pháp tản nhiệt cho pin xe điện**

- Các hệ thống làm mát xe điện được chia thành hai loại chính là thụ động và chủ động. Hệ thống làm mát thụ động gồm các phương pháp như dùng vật liệu chuyển pha (Phase change material – PCM), ống dẫn nhiệt hoặc chất hóa học có tác dụng làm mát hydrogel. Làm mát thụ động trên xe điện không tiêu tốn năng lượng từ pin nhưng khó kiểm soát quá trình làm mát.

- Hệ thống làm mát chủ động dựa trên nguyên lý hoạt động của cánh tản nhiệt, không khí hoặc chất làm mát chuyên dụng. Với những phương pháp này, hiệu quả làm mát được cải thiện nhưng dễ bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ môi trường bên ngoài trong một số trường hợp

nhất định. Hệ thống làm mát được phân loại đa dạng. Mỗi loại đều sở hữu những ưu, nhược điểm riêng biệt

#### **a. Tản nhiệt pin xe điện bằng vật liệu chuyển pha (PCM – Phase Change Material)**

Vật liệu chuyển pha (PCM) là một loại chất làm mát đặc biệt, thường có thành phần từ carbon hoặc muối hydrat. Khi pin xe điện sinh ra lượng nhiệt lớn trong quá trình hoạt động, PCM sẽ hấp thụ năng lượng nhiệt thông qua quá trình chuyển pha từ trạng thái rắn sang lỏng. Trong suốt quá trình thay đổi pha này, vật liệu có khả năng hấp thụ một lượng nhiệt lớn mà không làm thay đổi đáng kể nhiệt độ môi trường xung quanh. Đây là ưu điểm nổi bật giúp duy trì nhiệt độ ổn định cho pin mà không cần tiêu thụ nhiều năng lượng từ các hệ thống làm mát chủ động.

Tuy nhiên, PCM cũng tồn tại một số hạn chế. Phạm vi nhiệt độ hoạt động của vật liệu chuyển pha thường khá hẹp, chủ yếu quanh điểm chuyển pha cụ thể. Ngoài ra, sự thay đổi thể tích trong quá trình chuyển pha cũng tạo ra các thách thức về thiết kế và tích hợp vào hệ thống pin. Một nhược điểm khác là khả năng dẫn nhiệt của PCM thường thấp, điều này làm giảm hiệu quả truyền nhiệt ra khỏi lõi pin đến các vùng khác, khiến hệ thống khó có thể hạ nhiệt toàn bộ như các hệ thống làm mát bằng chất lỏng hoặc khí cưỡng bức.

Chính vì những hạn chế trên, hiện nay PCM chưa được ứng dụng phổ biến trong sản xuất ô tô điện. Tuy nhiên, loại vật liệu này vẫn được đánh giá cao trong lĩnh vực điều hòa nhiệt độ thụ động, đặc biệt trong xây dựng, nơi nó giúp làm giảm dao động nhiệt độ trong các toà nhà cao tầng và giảm tải cho hệ thống điều hòa không khí vào những thời điểm cao điểm.

Ưu điểm của vật liệu chuyển pha (PCM):

- Ổn định nhiệt độ: PCM có khả năng duy trì nhiệt độ quanh điểm chuyển pha, điều này rất hữu ích trong việc giữ cho pin luôn hoạt động trong khoảng nhiệt độ tối ưu, từ đó hạn chế nguy cơ quá nhiệt và tăng độ ổn định của hệ thống.

- Hiệu quả năng lượng cao: PCM hấp thụ và giải phóng một lượng lớn nhiệt trong quá trình chuyển pha, giảm sự phụ thuộc vào hệ thống làm mát chủ động như quạt hoặc chất lỏng, từ đó tiết kiệm năng lượng tiêu thụ.

- Kéo dài tuổi thọ pin: Việc duy trì nhiệt độ pin ổn định giúp giảm tốc độ thoái hóa của cell pin, kéo dài thời gian sử dụng và giảm chi phí bảo trì, thay thế.

- Thiết kế nhỏ gọn: So với các hệ thống làm mát truyền thống, hệ thống sử dụng PCM thường có kết cấu nhỏ gọn, nhẹ hơn, giúp tiết kiệm không gian và giảm trọng lượng tổng thể cho xe điện.

- Tăng cường an toàn: PCM có thể ngăn chặn hiện tượng "thermal runaway" (nhiệt chạy đua) – một hiện tượng có thể gây cháy nổ khi pin bị quá nhiệt, từ đó nâng cao tính an toàn trong vận hành xe điện.

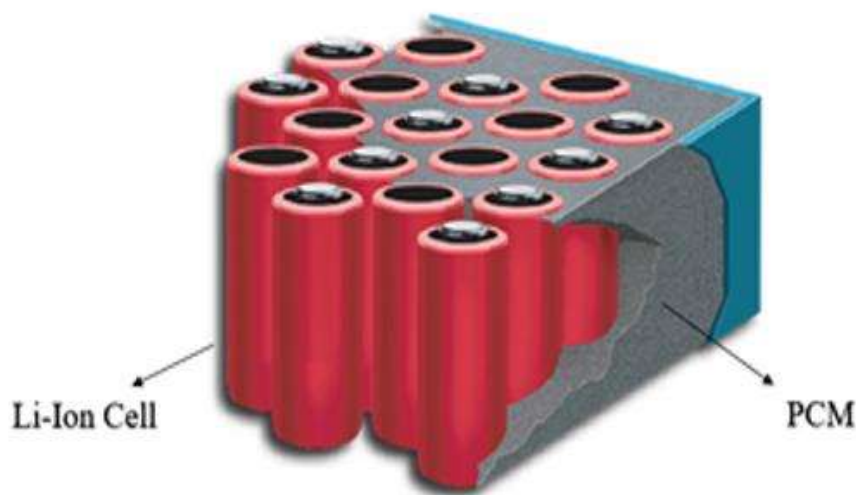
Nhược điểm của vật liệu chuyển pha (PCM):

- Giới hạn nhiệt độ hoạt động: PCM chỉ hoạt động hiệu quả trong khoảng nhiệt độ hẹp xung quanh điểm chuyển pha. Nếu nhiệt độ vượt quá hoặc thấp hơn khoảng này, khả năng làm mát sẽ giảm đáng kể.

- Chi phí đầu tư cao: Giá thành của vật liệu PCM và chi phí thiết kế, tích hợp vào hệ thống pin thường cao hơn các giải pháp làm mát truyền thống. Việc phát triển và kiểm nghiệm vật liệu cũng đòi hỏi nguồn lực nghiên cứu đáng kể.

- Phức tạp trong thiết kế hệ thống: Việc tích hợp PCM đòi hỏi thiết kế tinh vi để bảo đảm sự tương thích với các thành phần trong hệ thống pin, làm tăng độ phức tạp trong quá trình sản xuất và bảo trì.

- Độ dẫn nhiệt thấp: Nhiều loại PCM có khả năng dẫn nhiệt kém, ảnh hưởng đến tốc độ truyền nhiệt. Để khắc phục điều này, cần bổ sung thêm các vật liệu có độ dẫn nhiệt cao như than chì, graphene hoặc các kết cấu truyền nhiệt phụ trợ.



Hình 2.1: Tản nhiệt bằng vật liệu chuyển pha

## **b. Tản nhiệt pin xe điện bằng bằng cánh tản nhiệt**

Làm mát bằng cánh tản nhiệt là một trong những phương pháp được ứng dụng trên một số dòng xe điện. Cánh tản nhiệt có chức năng làm tăng diện tích bề mặt tiếp xúc với không khí, từ đó nâng cao khả năng truyền nhiệt. Quá trình làm mát diễn ra theo hai bước: nhiệt lượng từ bộ pin được truyền dẫn đến cánh tản nhiệt, sau đó nhiệt được truyền tiếp ra môi trường bên ngoài thông qua quá trình đối lưu. Việc này giúp trung hòa nhiệt độ sinh ra trong quá trình vận hành pin, góp phần duy trì hiệu suất hoạt động ổn định của hệ thống điện.

Tuy nhiên, phương pháp này tồn tại một số hạn chế. Do kích thước lớn và thiết kế công kênh, hệ thống làm mát bằng cánh tản nhiệt thường chiếm nhiều không gian, làm tăng trọng lượng và ảnh hưởng đến thiết kế tổng thể của xe điện. Bên cạnh đó, hiệu suất tản nhiệt của cánh tản nhiệt bị giới hạn, đặc biệt trong các điều kiện vận hành có tải lớn hoặc môi trường nhiệt độ cao. Chính vì vậy, phương pháp làm mát bằng cánh tản nhiệt hiện nay không được các nhà sản xuất ô tô điện sử dụng phổ biến mà thường được áp dụng trong lĩnh vực thiết bị điện tử như máy tính, laptop, nơi yêu cầu làm mát thấp hơn và không gian cố định.

Ưu điểm của hệ thống làm mát bằng cánh tản nhiệt:

- Thiết kế đơn giản, chi phí thấp: So với các hệ thống làm mát sử dụng chất lỏng hay điện tử, cánh tản nhiệt có thiết kế đơn giản, dễ chế tạo, giúp giảm chi phí sản xuất và bảo trì.

- Độ tin cậy cao: Do không có bộ phận chuyển động, hệ thống này ít bị hỏng hóc và không cần bảo trì thường xuyên, làm tăng tính ổn định trong quá trình vận hành.

- Không tiêu thụ năng lượng bổ sung: Cánh tản nhiệt hoạt động mà không cần đến nguồn năng lượng phụ trợ như bơm hay quạt, từ đó tiết kiệm năng lượng và kéo dài phạm vi hoạt động của xe điện.

- Tính linh hoạt cao: Phương pháp này có thể áp dụng cho nhiều cấu hình pin khác nhau, từ kích thước nhỏ đến lớn, phù hợp với các hệ thống có yêu cầu thiết kế linh hoạt.

Nhược điểm của hệ thống làm mát bằng cánh tản nhiệt:

- Hiệu quả làm mát hạn chế: Cánh tản nhiệt phụ thuộc vào khả năng truyền nhiệt qua không khí, vốn có hiệu suất thấp. Trong điều kiện môi trường khắc nghiệt hoặc khi xe hoạt động với công suất cao, khả năng làm mát có thể không đáp ứng được yêu cầu.

- Phụ thuộc vào luồng không khí: Hiệu quả làm mát chỉ tốt khi có luồng không khí đủ mạnh. Trong môi trường kín hoặc khi xe đứng yên, khả năng tản nhiệt sẽ giảm đáng kể.

- Không phù hợp với mọi điều kiện vận hành: Trong các môi trường có nhiệt độ cao, ẩm hoặc lạnh cực độ, cánh tản nhiệt không đủ khả năng điều tiết nhiệt độ pin về mức an toàn, ảnh hưởng đến hiệu suất và tuổi thọ pin.

- Chiếm nhiều không gian: Cấu trúc vật lý của cánh tản nhiệt đòi hỏi diện tích lắp đặt lớn, ảnh hưởng đến bố trí linh kiện và thiết kế không gian của xe điện.



Hình 2.2: Cánh tản nhiệt

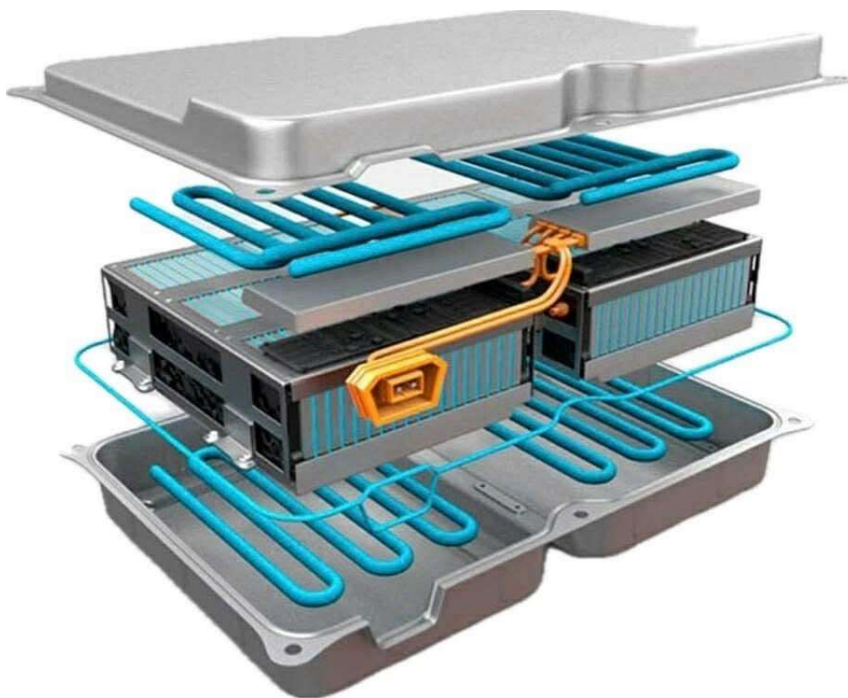
### **c. Tản nhiệt pin xe điện bằng chất lỏng**

- Làm mát bằng chất lỏng: chất làm mát dạng lỏng được luân chuyển tuần hoàn giữa bộ pin và bộ tản nhiệt thông qua bơm. Các tế bào pin không tiếp xúc trực tiếp với chất làm mát nhưng được liên kết với mạch chất làm mát thông qua vật liệu dẫn nhiệt tốt (ví dụ: nhôm). Để tăng hiệu quả làm lạnh, có thể sử dụng kết hợp với quạt làm mát. Tùy thuộc vào nhiệt độ môi trường xung quanh và yêu cầu hệ thống điện, bộ tản nhiệt có thể là dạng đơn giản hoặc tích hợp vào chu trình chất làm lạnh.

- Để tăng hiệu quả làm mát và tạo ra mức nhiệt đồng đều giữa các tế bào pin, các ống dẫn nhiệt được bố trí không chỉ xen giữa các mô-đun mà còn tiếp xúc trực tiếp với từng tế bào

- Ưu điểm lớn nhất của làm mát bằng chất lỏng là có công suất cao hơn đáng kể và nhiệt dung cao, cho phép thiết kế rất nhỏ gọn. Mức công suất và khả năng kiểm soát nhiệt tốt cũng đáp ứng cho sạc nhanh hoặc sử dụng trong điều kiện khí hậu khắc nghiệt

- Nhược điểm của hệ thống làm mát bằng chất lỏng là cách bố trí phức tạp hơn dẫn đến khối lượng hệ thống cao hơn. Do có thêm các thành phần và đường ống, những hệ thống đó cũng có thể dễ xảy ra lỗi và tốn nhiều chi phí bảo dưỡng hơn so với hệ thống làm mát bằng không khí thông thường. Một lưu ý nữa là nguy cơ rò rỉ, đặc biệt là trong trường hợp xảy ra tai nạn.



Hình 2.3: Tản nhiệt bằng chất lỏng

#### **d. Tản nhiệt pin xe điện bằng không khí**

Làm mát pin bằng không khí là một trong những giải pháp “đời đầu” được các nhà sản xuất xe điện áp dụng. Phương pháp này dựa trên nguyên lý đối lưu cưỡng bức: quạt (hoặc máy thổi) đẩy không khí đi qua bề mặt bộ pin đang nóng, nhờ đó nhiệt lượng được truyền ra ngoài. Cấu trúc đơn giản giúp hệ thống dễ điều khiển và giám sát. Tuy nhiên, ở các vùng khí hậu nóng hoặc với bộ pin dung lượng cao, lượng nhiệt thải ra lớn hơn nhiều so với khả năng mang đi của không khí, khiến hiệu quả tản nhiệt giảm đáng kể. Bên cạnh đó, quạt có thể tạo tiếng ồn, độ rung và chiếm thêm không gian lắp đặt.

##### **Ưu điểm**

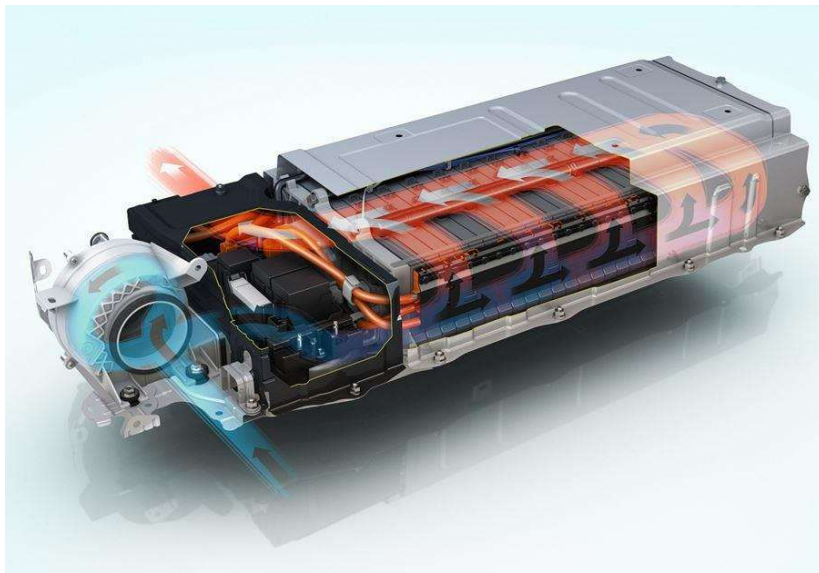
- Đơn giản, dễ triển khai: Thiết kế thẳng-thẳng, dễ tích hợp vào cách bố trí hiện có của xe, giúp rút ngắn thời gian và chi phí phát triển.

- Chi phí thấp: Vật liệu, gia công và bảo dưỡng rẻ hơn so với các hệ thống làm mát bằng chất lỏng hay PCM.

- Không dùng chất lỏng: Tránh rò rỉ, không cần bơm/chiller, tăng độ tin cậy và giảm khối lượng bảo dưỡng.
- Trọng lượng nhẹ: Không phải mang thêm két nước, đường ống, dung dịch, giúp giảm khối lượng tổng và cải thiện hiệu suất năng lượng.
- An toàn, thân thiện môi trường: Không khí không cháy, không độc, không gây ô nhiễm.
- Bảo trì và vệ sinh dễ dàng: Tháo lắp quạt, làm sạch đường gió đơn giản; không cần xả/đổ lại dung dịch như hệ thống lỏng.
- Giảm độ phức tạp tổng thể: Không yêu cầu máy bơm, bộ trao đổi nhiệt hay van điều khiển phức tạp, nhờ đó giảm nguy cơ hỏng hóc.

#### Nhược điểm

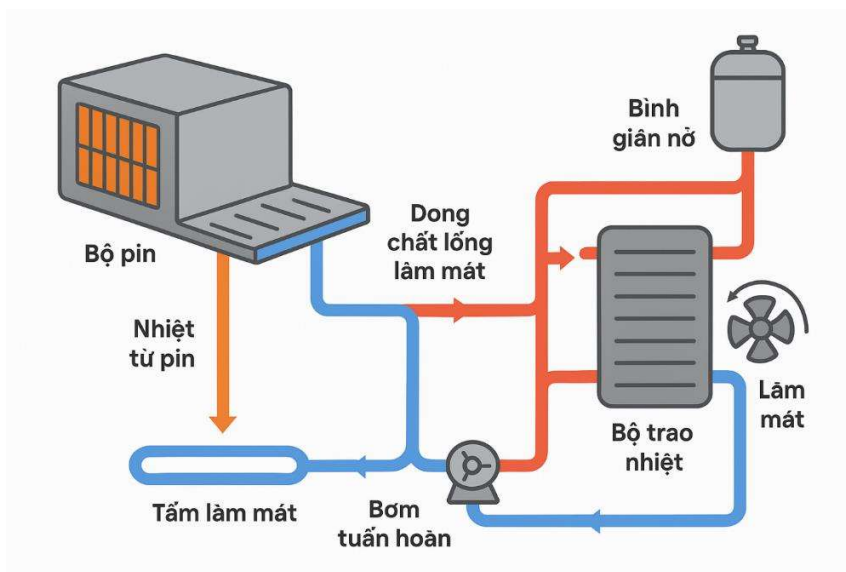
- Hiệu quả làm mát hạn chế: Hệ số truyền nhiệt của không khí thấp; khó giữ pin trong dải nhiệt độ an toàn khi xe chạy tải lớn hoặc trời nóng.
- Phụ thuộc môi trường: Gió ngoài nóng/lạnh hoặc xe chạy tốc độ thấp làm giảm khả năng tản nhiệt.
- Chiếm không gian: Để đạt cùng hiệu quả với hệ thống chất lỏng, cần diện tích bề mặt trao đổi nhiệt lớn hơn, khiến kết cấu cồng kềnh.
- Tiếng ồn và rung: Quạt công suất cao phát sinh tiếng ồn, ảnh hưởng trải nghiệm cabin, đặc biệt trên xe điện cao cấp vốn đề cao sự êm ái.



Hình 2.4: Tản nhiệt bằng không khí

### **2.1.3. Nguyên lý hoạt động của hệ thống tản nhiệt pin xe điện bằng chất lỏng**

Trong quá trình sạc và xả, đặc biệt khi dòng điện lớn, pin xe điện sinh ra một lượng nhiệt đáng kể. Để kiểm soát nhiệt độ và bảo vệ pin, hệ thống tản nhiệt bằng chất lỏng được sử dụng. Nhiệt phát sinh từ pin được truyền trực tiếp sang tấm làm mát (cold plate), một cấu trúc được gắn sát với các cell pin nhằm hấp thụ nhiệt hiệu quả. Chất lỏng làm mát, thường là hỗn hợp giữa nước và glycol, được bơm tuần hoàn liên tục qua tấm làm mát. Trong quá trình này, chất lỏng hấp thụ nhiệt từ pin rồi tiếp tục di chuyển tới bộ trao nhiệt. Tại đây, nhiệt từ chất lỏng được giải phóng ra môi trường không khí nhờ sự hỗ trợ của quạt làm mát giúp tăng cường lưu thông không khí qua bộ tản nhiệt. Sau khi được làm mát, chất lỏng quay trở lại tấm làm mát để bắt đầu chu trình tiếp theo. Trong toàn bộ hệ thống, bình giãn nở đóng vai trò duy trì sự ổn định về áp suất và thể tích của chất lỏng, đặc biệt khi nhiệt độ thay đổi làm chất lỏng giãn nở. Hệ thống này giúp duy trì nhiệt độ pin ở mức tối ưu, nâng cao hiệu suất và kéo dài tuổi thọ của pin.



Hình 2.5: Sơ đồ hệ thống làm mát pin bằng chất lỏng

Cấu tạo:

- Tấm làm mát:
  - + Gắn trực tiếp vào mặt pin hoặc giữa các module pin.
  - + Có các đường dẫn chất lỏng bên trong để hấp thụ nhiệt từ pin.
- Bơm tuần hoàn:
  - + Đóng vai trò đẩy chất lỏng làm mát (nước + glycol) chạy trong hệ thống.

- + Có thể điều chỉnh lưu lượng theo nhiệt độ.
  - Ống dẫn: Dẫn chất lỏng từ tấm làm mát tới bộ trao đổi nhiệt và ngược lại.
  - Bộ trao đổi nhiệt:
    - + Là nơi tản nhiệt ra môi trường không khí.
    - + Gió làm mát có thể đến từ quạt điện hoặc luồng khí động học khi xe chạy.
    - Bình giãn nở: Chứa chất lỏng dư và bù lại khi chất lỏng giãn nở do nhiệt độ cao.
    - Cảm biến nhiệt độ:
      - + Được đặt tại nhiều vị trí để giám sát nhiệt độ pin và chất lỏng.
      - + Gửi tín hiệu về hệ thống quản lý nhiệt (BTMS).
- Ưu điểm hệ thống làm mát pin bằng chất lỏng:
- Hiệu quả cao trong việc duy trì nhiệt độ ổn định.
  - Có thể điều khiển nhiệt độ chính xác hơn nhiều so với tản nhiệt khí.
  - Giúp kéo dài tuổi thọ pin, đảm bảo an toàn và tăng hiệu suất.

## **2.2. Cơ sở lý thuyết mô phỏng và bố trí hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện**

### **2.2.1. Cơ sở lý thuyết mô phỏng**

Việc thiết kế một hệ thống tản nhiệt hiệu quả cho pin xe điện là một thách thức lớn trong bối cảnh yêu cầu ngày càng cao về hiệu suất, độ an toàn và độ bền của xe điện. Phương pháp thử nghiệm thực tế tuy cung cấp dữ liệu trực tiếp và chính xác, nhưng lại thường đi kèm với nhiều hạn chế như chi phí cao, thời gian triển khai dài, và khó khăn trong việc tái hiện đầy đủ các điều kiện hoạt động khắc nghiệt mà phương tiện có thể gặp phải trong thực tế. Điều này đặc biệt đúng đối với các hệ thống pin lithium-ion – nơi mà sự chênh lệch nhiệt độ giữa các cell có thể ảnh hưởng nghiêm trọng đến hiệu suất và tuổi thọ của toàn bộ hệ thống.

Để vượt qua những hạn chế đó, các công cụ mô phỏng số đã trở thành một xu hướng chủ đạo trong nghiên cứu và phát triển hệ thống quản lý nhiệt cho pin xe điện. Trong số đó, phương pháp mô phỏng động lực học chất lỏng tính toán (Computational Fluid Dynamics – CFD) được xem là một trong những công cụ mạnh mẽ và hữu ích nhất. CFD cho phép các kỹ sư phân tích chi tiết quá trình truyền nhiệt và chuyển động của chất lỏng làm mát trong hệ thống pin bằng cách giải các hệ phương trình vi phân mô tả sự bảo toàn khối lượng, động lượng và năng lượng của dòng chảy.

Những phương trình này thường bao gồm:

- Phương trình liên tục (bảo toàn khối lượng):

$$\partial\rho/\partial t + \nabla\cdot(\rho\mathbf{v}) = 0 \quad (2.1)$$

Trong đó:

+  $\rho$ : Mật độ khối (density) của chất lỏng hoặc khí, đơn vị thường là  $\text{kg}/\text{m}^3$

+  $\partial\rho/\partial t$ : Đạo hàm riêng theo thời gian của mật độ – biểu thị sự thay đổi mật độ tại một điểm theo thời gian.

+  $\nabla\cdot(\rho\mathbf{v})$ : Phép toán divergence (phân kỳ) của mật độ nhân với vận tốc, đại diện cho lượng khối lượng ra vào tại một điểm trong không gian.

+  $\mathbf{v}$ : Vector vận tốc của dòng chảy, đơn vị  $\text{m}/\text{s}$ .

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

$$\rho(\partial\mathbf{v}/\partial t + \mathbf{v}\cdot\nabla\mathbf{v}) = -\nabla p + \mu\nabla^2\mathbf{v} + \mathbf{F} \quad (2.2)$$

Trong đó:

+  $\rho$ : Mật độ chất lỏng hoặc khí ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

+  $\mathbf{v}$ : Vector vận tốc dòng chảy ( $\text{m}/\text{s}$ ).

+  $\partial\mathbf{v}/\partial t$ : Đạo hàm riêng theo thời gian của vận tốc, biểu thị sự thay đổi vận tốc theo thời gian.

+  $\mathbf{v}\cdot\nabla\mathbf{v}$ : Thành phần chuyển động đối lưu, ảnh hưởng của chuyển động không gian lên vận tốc dòng chảy.

+  $\nabla p$ : Gradient áp suất, lực do chênh lệch áp suất.

+  $\mu\nabla^2\mathbf{v}$ : Lực ma sát nhớt, ảnh hưởng của độ nhớt.

+  $\mathbf{F}$ : Lực ngoại lai.

- Phương trình năng lượng (bảo toàn nhiệt):

$$\rho c_p(\partial T/\partial t + \mathbf{v}\cdot\nabla T) = k\nabla^2 T + Q \quad (2.3)$$

Trong đó:

+  $\rho$ : Mật độ của chất lỏng hoặc khí ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

+  $c_p$ : Nhiệt dung riêng đẳng áp ( $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ).

- + T: Nhiệt độ (K hoặc °C).
- +  $\partial T/\partial t$ : Sự thay đổi nhiệt độ theo thời gian (nhiệt tích lũy).
- +  $v \cdot \nabla T$ : Đối lưu nhiệt – nhiệt di chuyển theo dòng chất lưu.
- +  $k \nabla^2 T$ : Dẫn nhiệt, từ vùng nhiệt độ cao sang thấp.
- + Q: Nguồn nhiệt nội sinh ( $W/m^3$ ).

### **2.2.2. Bố trí hệ thống tản nhiệt cho pin xe điện**

Việc bố trí hệ thống tản nhiệt đóng vai trò đặc biệt quan trọng trong thiết kế tổng thể của bộ pin xe điện. Một hệ thống làm mát hiệu quả không chỉ giúp duy trì nhiệt độ hoạt động tối ưu của pin mà còn trực tiếp ảnh hưởng đến hiệu suất, độ bền và tính an toàn trong suốt vòng đời của xe. Trong các loại hệ thống tản nhiệt được sử dụng hiện nay, tản nhiệt bằng chất lỏng là phương pháp phổ biến và hiệu quả nhất, đặc biệt đối với các dòng xe điện có mật độ năng lượng cao hoặc yêu cầu sạc nhanh.

Nguyên tắc thiết kế bố trí hệ thống tản nhiệt: Để đảm bảo hiệu quả tối ưu trong quá trình làm mát, hệ thống cần được bố trí theo một số nguyên tắc thiết kế kỹ thuật như:

- Tối đa hóa tiếp xúc nhiệt giữa chất làm mát và pin: Bề mặt tiếp xúc giữa cell pin và môi chất làm mát càng lớn thì khả năng truyền nhiệt càng cao. Do đó, cần thiết kế các tấm làm mát (cold plate) ôm sát các cụm cell pin, đảm bảo khả năng hấp thụ nhiệt đồng đều từ toàn bộ khối pin.

- Phân phối dòng chất lỏng đồng đều: Hệ thống đường ống dẫn và lõi đi của chất làm mát cần được thiết kế để đảm bảo dòng chất lỏng đi qua toàn bộ khối pin, bao phủ đều các hàng cell từ đầu đến cuối. Việc này giúp tránh tình trạng một số cell ở rìa được làm mát tốt, trong khi các cell nằm sâu bên trong bị tích nhiệt cục bộ do không có dòng chảy đi qua.

- Tránh tụ nhiệt (hot spots): Trong một số cấu hình bố trí không hợp lý, dòng chảy chất làm mát có thể bị phân bố không đều, tạo ra những vùng chết – nơi không có dòng chảy hoặc lưu lượng rất nhỏ. Tại các khu vực này, nhiệt không được dẫn ra ngoài kịp thời, dẫn đến hiện tượng tụ nhiệt cục bộ, làm suy giảm tuổi thọ cell pin hoặc thậm chí gây mất an toàn khi nhiệt độ vượt ngưỡng.

- Tối ưu hóa hệ thống dẫn và bơm: Việc lựa chọn kích thước ống dẫn, vật liệu, vị trí đặt bơm và hướng dòng chảy cũng đóng vai trò quan trọng. Các yếu tố này ảnh hưởng trực tiếp đến tổn thất áp suất, độ bền hệ thống và khả năng làm việc của bơm tuần hoàn.

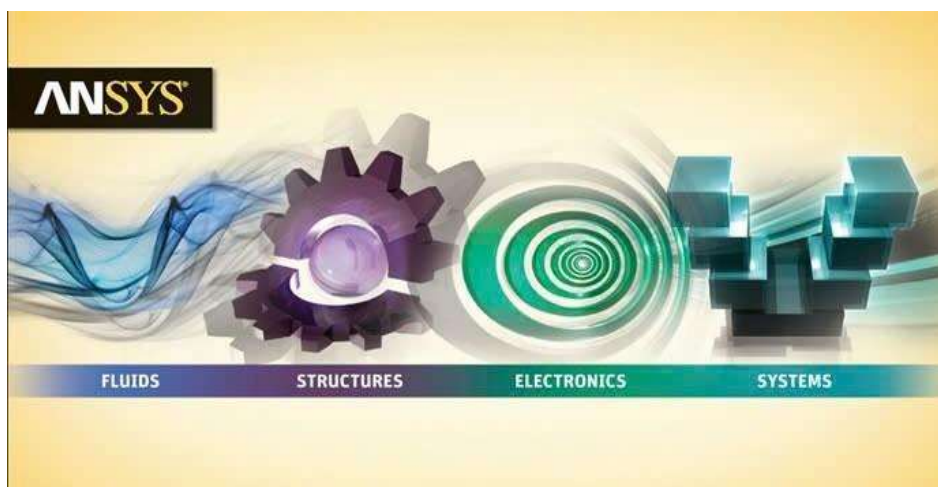
Hệ thống cần đạt được sự cân bằng giữa hiệu quả truyền nhiệt, chi phí năng lượng tiêu thụ, độ bền và khả năng bảo trì.

### **2.3. Giới thiệu phần mềm ANSYS Fluent**

ANSYS Fluent là phần mềm mô phỏng động lực học chất lỏng (CFD) hàng đầu, phát triển bởi ANSYS Inc., cho phép mô phỏng chi tiết các hiện tượng như dòng chảy, truyền nhiệt, phản ứng hóa học, dòng nhiều pha và dòng rối. Nhờ tích hợp chặt chẽ với hệ sinh thái ANSYS (Workbench, DesignModeler, SpaceClaim...), Fluent hỗ trợ quy trình mô phỏng hoàn chỉnh từ xây dựng hình học, chia lưới đến hậu xử lý.

Trong bối cảnh ứng dụng ANSYS Fluent vào thiết kế và tối ưu hóa hệ thống tản nhiệt cho bộ pin của xe điện, phần mềm đóng vai trò quan trọng trong việc phân tích hiệu suất nhiệt và cải thiện khả năng làm mát nhằm kéo dài tuổi thọ pin và đảm bảo an toàn vận hành. Cụ thể, người dùng có thể thực hiện các bước sau:

- Xây dựng mô hình 3D cụm pin (cell, vỏ, module, kênh làm mát) từ phần mềm CAD hoặc trực tiếp trong DesignModeler/SpaceClaim.
- Thiết lập điều kiện vận hành như công suất tỏa nhiệt, lưu lượng làm mát, nhiệt độ môi trường, điều kiện biên.
- Chọn mô hình vật lý phù hợp: dòng chảy (laminar/turbulence), truyền nhiệt (CHT), vật liệu, chất làm mát.
- Phân tích kết quả với biểu đồ nhiệt độ, đường dòng, véc-tơ vận tốc để xác định vùng quá nhiệt.
- So sánh, tối ưu các phương án thiết kế bằng cách thay đổi kênh làm mát, vật liệu hoặc điều kiện làm việc.



Hình 2.6: Các ứng dụng của phần mềm Ansys Fluent

## **CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH TOÁN MÔ PHÒNG HỆ THỐNG TẢN NHIỆT PIN XE ĐIỆN VINFAST VF E34**

### **3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng cho các phương án thiết kế hệ thống tản nhiệt pin xe điện VinFast VF e34**

#### **3.1.1. Các điều kiện giả định của mô hình mô phỏng**

Mô hình mô phỏng được sử dụng trong nghiên cứu này được xây dựng dựa trên cấu trúc thực tế của bộ pin trang bị trên xe điện VinFast VF e34. Theo thiết kế thực tế, bộ pin này bao gồm 11 mô-đun, trong đó mỗi mô-đun chứa 220 cell pin hình trụ. Các cell pin này được lắp ráp và liên kết với nhau thông qua hệ thống dẫn điện và hệ thống làm mát tích hợp, tạo thành một hệ thống lưu trữ năng lượng quy mô lớn, đáp ứng nhu cầu vận hành của phương tiện.

Tuy nhiên, trong quá trình xây dựng mô hình mô phỏng số, bài toán gặp phải những hạn chế đáng kể về mặt tài nguyên tính toán, đặc biệt là khả năng xử lý của phần cứng máy tính hiện có. Việc mô phỏng toàn bộ cấu trúc 11 mô-đun pin sẽ yêu cầu dung lượng bộ nhớ lớn và thời gian xử lý dài, có thể vượt quá khả năng cho phép của hệ thống. Do đó, để đảm bảo tính khả thi của bài toán mà vẫn giữ được độ chính xác và ý nghĩa kỹ thuật, nghiên cứu đã đưa ra giả định hợp lý rằng các mô-đun trong bộ pin có thiết kế cấu trúc đồng nhất, cũng như hoạt động trong cùng điều kiện môi trường và vận hành giống nhau. Với giả định này, việc mô phỏng chỉ một mô-đun duy nhất và số lượng cell pin được giảm xuống còn 105 cell pin có thể xem là đại diện cho toàn bộ hệ thống pin, giúp giảm thiểu đáng kể khối lượng tính toán mà vẫn duy trì được độ tin cậy của kết quả phân tích.

Ngoài ra, để khảo sát rõ ràng hơn quá trình trao đổi nhiệt giữa hệ thống pin và môi chất làm mát, nghiên cứu đã đơn giản hóa cấu trúc hệ thống làm mát thực tế. Trong thực tế, hệ thống làm mát của xe VinFast VF e34 sử dụng các ống dẫn chất lỏng gắn kết chặt chẽ với các mô-đun pin. Tuy nhiên, trong mô hình mô phỏng, hệ thống này được thay thế bằng các khối làm mát sử dụng chất lỏng có dạng hình học lý tưởng hóa. Hai cấu hình khối làm mát được xem xét là: khối làm mát một tầng và khối làm mát hai tầng, trong đó các khối này bao quanh toàn bộ mô-đun pin và tiếp xúc trực tiếp với các bề mặt ngoài của pin. Cách tiếp cận này nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho việc đánh giá hiệu

quả truyền nhiệt giữa các cell pin và môi trường làm mát, đồng thời cho phép so sánh hiệu suất làm mát của hai thiết kế khác nhau.

Hơn nữa, trong phạm vi mô phỏng, nghiên cứu chủ yếu tập trung vào hiện tượng tỏa nhiệt từ các cell pin trong quá trình phóng điện và hiệu quả tản nhiệt của chất lỏng làm mát. Vì vậy, để đơn giản hóa mô hình và tối ưu hóa hiệu suất tính toán, lớp vỏ bảo vệ bên ngoài của mô-đun pin (bao gồm vỏ kim loại và các kết cấu phụ trợ) được lược bỏ khỏi mô hình. Việc loại bỏ này không làm ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác của quá trình phân tích nhiệt độ bên trong cell pin, nhưng lại giúp giảm thiểu đáng kể số lượng phần tử cần tính trong mô phỏng và rút ngắn thời gian xử lý.

Nhiệt độ dòng chất lỏng vào được giả định là 30°C, phản ánh điều kiện thời tiết điển hình tại Việt Nam và đảm bảo tính ổn định trong mô phỏng

Những điều kiện giả định trong bài nghiên cứu:

- Chỉ mô phỏng 1 mô-đun đại diện của bộ pin xe VinFast VF e34 và số lượng cell pin trong mô hình 105 cell pin, đảm bảo độ tin cậy và khả thi.
- Các mô-đun của bộ pin trong các phương án có thiết kế cấu trúc đồng nhất, cũng như hoạt động trong cùng điều kiện môi trường và vận hành giống nhau.
- Đơn giản hoá hệ thống làm mát, thay đổi đường ống thành khối chất lỏng bao quanh cell pin.
- Loại bỏ lớp vỏ bảo vệ bên ngoài mô-đun (vỏ kim loại, kết cấu phụ).
- Nhiệt độ dòng chất lỏng vào được giả định là 30°C

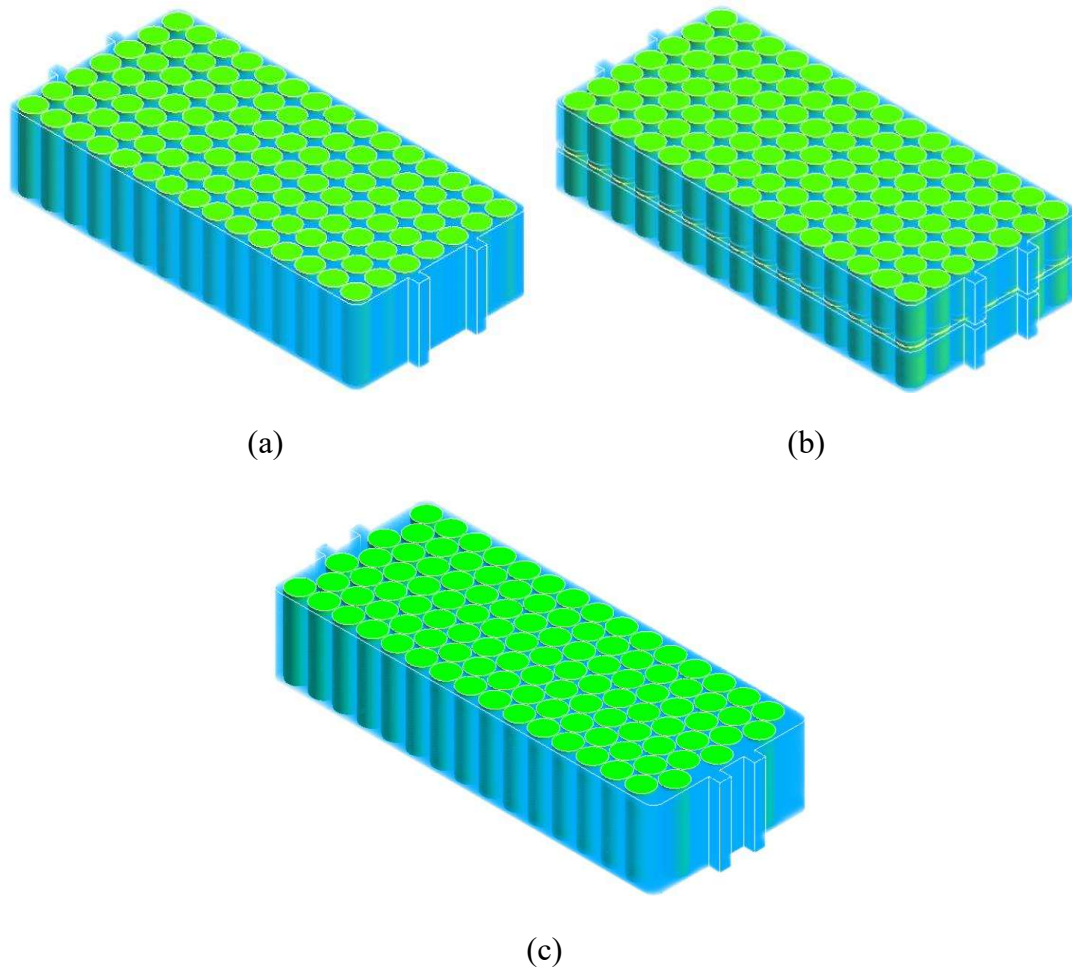
### **3.1.2. Cấu trúc của các mô hình mô phỏng**

Để đánh giá hiệu quả tản nhiệt của hệ thống làm mát bằng chất lỏng cho các cell pin lithium-ion, nghiên cứu tiến hành xây dựng và mô phỏng hai cấu hình khối làm mát điển hình: mô hình một tầng chất lỏng và mô hình hai tầng chất lỏng. Mỗi cấu hình lại được thử nghiệm với hai phương án bố trí cell pin khác nhau: sắp xếp thẳng hàng và sắp xếp so le. Tổng cộng, có bốn mô hình được phân tích, cho phép so sánh chi tiết sự ảnh hưởng của hình thái và cách bố trí đến quá trình tản nhiệt tổng thể.

Việc lựa chọn hai phương án sắp xếp này nhằm phục vụ mục tiêu nghiên cứu về hiệu quả tiếp xúc giữa dòng chất lỏng làm mát và bề mặt các cell pin, từ đó phân tích sự đồng đều trong phân bố nhiệt độ và khả năng loại bỏ nhiệt trong toàn bộ mô-đun pin. Sự sắp xếp thẳng hàng thường giúp đơn giản hóa thiết kế hệ thống và thuận lợi cho lắp

đặt, nhưng có thể gây nên hiện tượng "bóng nhiệt" (thermal shadowing) ở các cell phía sau, làm giảm hiệu quả tản nhiệt. Ngược lại, bố trí so le giúp tối ưu hóa diện tích tiếp xúc giữa dòng chất lỏng và bề mặt pin, có khả năng cải thiện độ đồng đều nhiệt độ nhưng đi kèm với sự phức tạp hơn trong thiết kế dòng chảy.

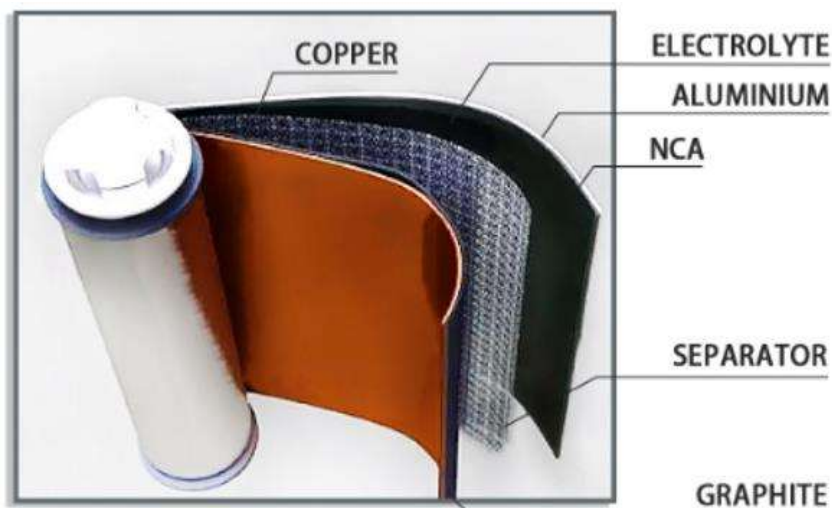
Trong cả hai cấu hình một tầng và hai tầng, lượng chất lỏng làm mát được sử dụng được kiểm soát để đảm bảo tương đương, giúp loại bỏ yếu tố sai lệch do lưu lượng làm mát gây ra. Điều này cho phép nghiên cứu tập trung vào ảnh hưởng của thiết kế hình học và hướng dòng chảy. Ngoài ra, trong cả bốn mô hình, hướng dòng chảy của chất lỏng làm mát đều được giả định là song song với trục của mô-đun pin, giúp tạo điều kiện lý tưởng để so sánh các kết quả mô phỏng.



Hình 3.1: (a) Mô hình một tầng bố trí các cell pin thẳng hàng; (b) Mô hình hai tầng bố trí các cell pin thẳng hàng ; (c) Mô hình một tầng bố trí các cell pin so le

Loại cell pin được sử dụng trong nghiên cứu là Samsung INR21700-48X, cũng chính là dòng pin đang được trang bị trên xe điện VinFast VF e34. Đây là loại pin

lithium-ion hình trụ, có hiệu suất năng lượng cao và độ ổn định nhiệt tốt, thường được ứng dụng trong các phương tiện điện nhờ mật độ năng lượng lớn và khả năng làm việc ổn định trong điều kiện nhiệt độ thay đổi. Thông số kỹ thuật thực tế của cell pin này được tích hợp vào mô hình nhằm đảm bảo độ chính xác trong việc mô phỏng quá trình sinh nhiệt và tản nhiệt.



Hình 3.2: Cell pin Samsung INR21700-48X

### **3.1.3. Vật liệu và tính chất vật lý**

#### **a. Chất lỏng làm mát**

Trọng tâm chính của nghiên cứu này là phân tích hiệu quả làm mát của hệ thống quản lý nhiệt pin, thông qua việc lưu thông chất lỏng làm mát quanh bề mặt các cell pin lithium-ion.

Trong nghiên cứu này, tỷ lệ pha trộn giữa nước và ethylene glycol được lựa chọn là 50:50 về thể tích, vốn là một cấu hình cân bằng phổ biến trong các hệ thống làm mát xe điện hiện đại. Tỷ lệ này được chứng minh là cung cấp sự kết hợp tối ưu giữa khả năng truyền nhiệt cao (đến từ nước) và khả năng chống đông – chống sôi (đến từ ethylene glycol), từ đó cải thiện hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống làm mát.

Bên cạnh đó, hỗn hợp nước–ethylene glycol còn có tính ổn định hóa học cao, ít bị phân hủy trong điều kiện nhiệt độ và áp suất thường gặp trong vận hành thực tế. Nhờ đó, quá trình tuần hoàn chất lỏng qua các kênh làm mát của mô-đun pin đảm bảo hiệu quả làm mát đồng đều và liên tục, góp phần quan trọng vào việc duy trì nhiệt độ hoạt động tối ưu cho các cell pin, từ đó kéo dài tuổi thọ và nâng cao độ an toàn cho hệ thống lưu trữ năng lượng.

Bảng 3.1: Tính chất vật lí của hỗn hợp nước và etylen glycol 50:50 [19]

Chất lỏng	Mật độ chất lỏng làm mát (kg/m <sup>3</sup> )	Nhiệt dung riêng (J/(kgK))	Độ dẫn nhiệt (W/mK)	Độ nhớt (kg/ms)
Nước và etylen glycol (50/50)	1069	3323	0.3892	0.002758

b. Cell pin Samsung INR21700-48X

Bảng 3.2: Thông số kĩ thuật của cell pin Samsung INR21700-48X [20]

Samsung INR21700-48X	
Tham số (đơn vị)	Giá trị
Định dạng cell pin	21700
Kích thước (mm)	21x70.6
Trọng lượng (g)	67,9
Điện áp (V)	3.7
Dung lượng (Ah)	4.8
Vật liệu cực âm	Graphite + Silicon Carbon Composite
Vật liệu cực dương	NCA (LiNiCoAlO <sub>2</sub> )
Mật độ (kg/m <sup>3</sup> )	2867
Nhiệt dung riêng (J/(kgK))	830
Độ dẫn nhiệt (W/(mK))	30

3.2. Chia lưới và đánh giá kết quả lưới các mô hình

Trong bài toán mô phỏng động lực học chất lỏng tính toán (CFD), quá trình chia lưới đóng vai trò then chốt, ảnh hưởng trực tiếp đến cả độ chính xác của kết quả mô phỏng lẫn hiệu suất tính toán. Lưới tính toán là cách thức mà miền mô phỏng được phân chia thành các phần tử nhỏ hơn, cho phép phần mềm giải các phương trình vi phân từng phần chi phối dòng chảy và truyền nhiệt. Chính vì vậy, chất lượng của lưới là yếu tố quyết định khả năng mô hình hóa chính xác các hiện tượng vật lý diễn ra trong hệ thống.

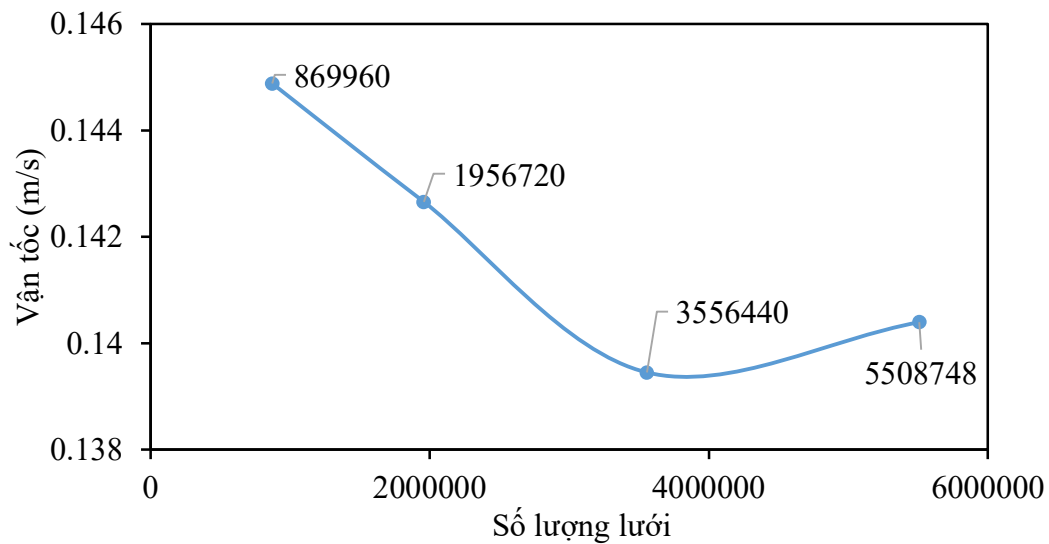
Một hệ lưới tốt cần phải cân bằng giữa độ mịn lưới và khả năng tính toán. Lưới càng mịn (số lượng phần tử càng nhiều) thì khả năng nắm bắt chi tiết các biến thiên vật lý - như gradient nhiệt độ tại biên cell pin, vùng rôi, dòng chảy cận tường - càng cao. Tuy nhiên, điều này đồng nghĩa với tăng thời gian tính toán và yêu cầu phần cứng cao

hơn. Ngược lại, lưới quá thô có thể làm giảm độ chính xác của mô phỏng, thậm chí gây ra hiện tượng hội tụ sai hoặc không hội tụ. Do đó, trong quá trình thiết lập mô hình CFD cho hệ thống pin xe điện, việc chia lưới cần được thực hiện một cách cẩn trọng.

### **3.2.1. Chia lưới và đánh giá kết quả lưới cho mô hình 1 tầng**

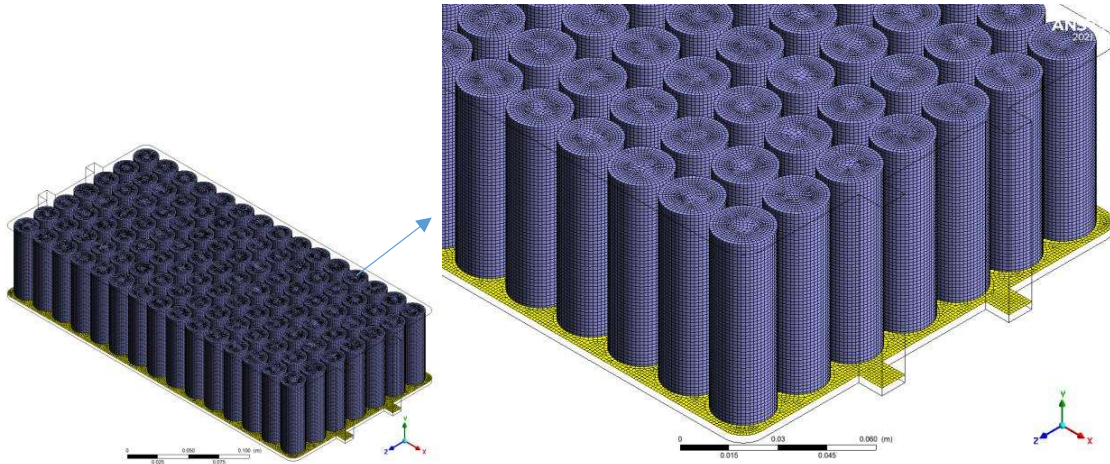
Bảng 3.3: Kết quả đánh giá độc lập lưới 1 tầng

Mô hình 1 tầng chất lỏng				
Kích thước (mm)	Số lượng nút	Số lượng phần tử	Chất lượng lưới	Vận tốc cửa ra (m/s)
1	5508748	5466930	0.77624	0.140396
1.2	3556440	3529557	0.74542	0.139447
1.5	1956720	1930666	0.78837	0.142653
2	869960	851088	0.87372	0.144879



Hình 3.3: Đồ thị kết quả đánh giá độc lập lưới 1 tầng

Dựa vào kết quả đánh giá lưới này, ta có thể chọn kích thước lưới tối ưu cho mô hình 1 tầng là 1.2 mm với số lượng lưới là 3529557 phần tử.

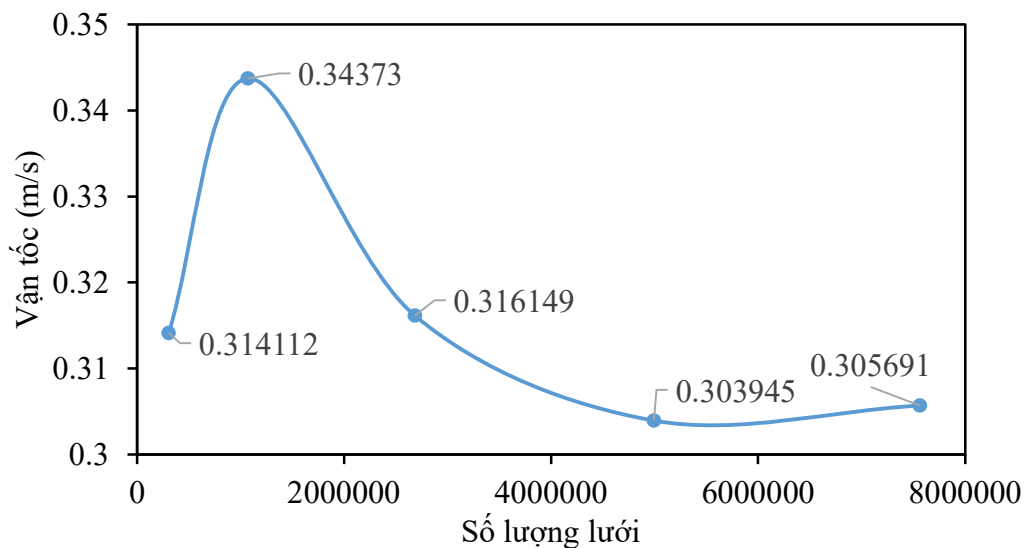


Hình 3.4: Lưới có kích thước chia 1.2 mm model 1 tầng

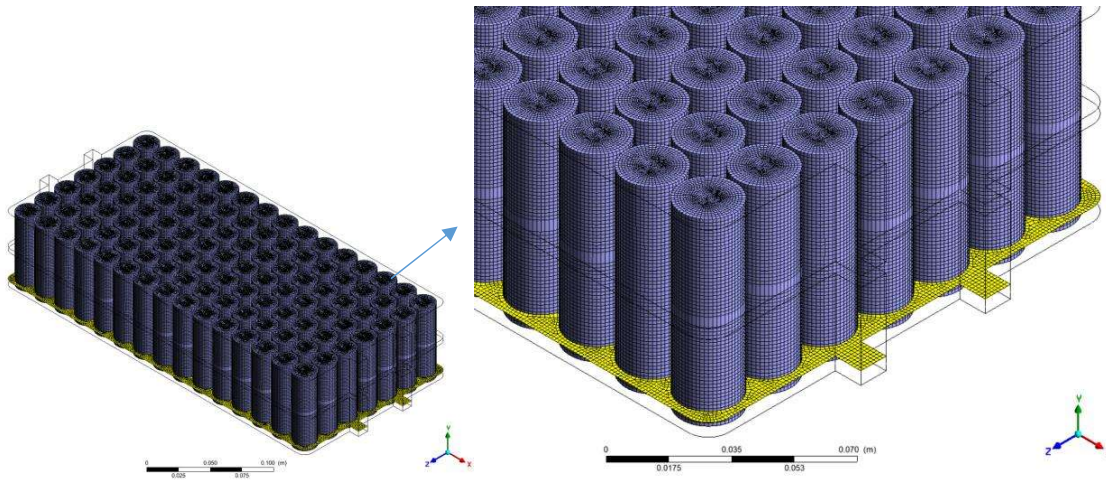
### 3.2.2. Chia lưới và đánh giá kết quả lưới cho mô hình 2 tầng

Bảng 3.4: Kết quả đánh giá lưới 2 tầng

Mô hình 2 tầng chất lỏng					
Kích thước (mm)	Số lượng nút	Số lượng phần tử	Chất lượng lưới	Vận tốc cửa ra (m/s)	
1	7563293	7444758	0.72579	0.305691	
1.2	4994096	4915025	0.67492	0.303945	
1.5	2684597	2628993	0.59726	0.316149	
2	1070392	1037274	0.82785	0.34373	
3	306361	289866	0.68525	0.314112	



Hình 3.5: Đồ thị đánh giá độc lập lưới 2 tầng



Hình 3.6: Lưới có kích thước chia 1.2 mm của model 2 tầng

Dựa vào kết quả đánh giá lưới này, ta có thể chọn kích thước lưới tối ưu cho mô hình 1 tầng là 1.2 mm với số lượng lưới là 4915025 phần tử.

### 3.3. Thiết lập mô phỏng và điều kiện biên

Trong nghiên cứu này, các mô phỏng CFD được thực hiện bằng phần mềm ANSYS Fluent nhằm đánh giá hiệu quả làm mát của hệ thống làm mát pin trong xe điện VinFast VF e34. Các mô phỏng được tiến hành cho ba cấu hình khác nhau bao gồm: một tầng chất lỏng làm mát với các cell pin được bố trí thẳng hàng, hai tầng chất lỏng với cell pin bố trí thẳng hàng, một tầng chất lỏng với cấu hình cell pin bố trí so le và hai tầng chất lỏng với cấu hình cell pin bố trí so le. Mỗi cấu hình đều được xét dưới hai điều kiện lưu lượng dòng chảy khác nhau là 0.008 kg/s và 0.01 kg/s, nhằm phân tích ảnh hưởng của tốc độ dòng chảy đến hiệu suất tản nhiệt tổng thể.

Xác định số Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times V \times D_{tl}}{\mu}$$

Trong đó:

- +  $Re$ : giá trị Reynolds
- +  $\rho$ : Khối lượng riêng chất lỏng ( $\text{kg/m}^3$ )
- +  $D_{tl}$ : Đường kính thủy lực cửa vào (m)
- +  $V$ : Vận tốc chất lỏng ở cửa vào (m/s)
- +  $\mu$ : Hệ số nhớt của chất lỏng

- Số Reynolds có thể sử dụng như một tiêu chí để phân loại dòng chảy, thường được áp dụng cho dòng chất lỏng hoặc không khí trong các hệ thống.

- Số Reynold có thể sử dụng như một tiêu chí để phân loại dòng chảy, tùy theo các dạng dòng chảy mà ta có các giới hạn khác nhau của số Re, đối với dạng dòng chảy qua ống hình chữ nhật thì số Reynold được tính như sau:

+ Ta có: Lưu lượng khối lượng 0.01 kg/s

Chiều rộng cửa vào: 10 mm = 0,01 m

Chiều dài cửa vào: 33,3 mm = 0,033 m

Hệ số nhớt: 0.002758

Khối lượng riêng chất lỏng: 1069 kg/m<sup>3</sup>

+ Đường kính thủy lực:

$$D = \frac{4 \times A}{P} = \frac{4 \times 0.01 \times 0.033}{2 \times (0.01 + 0.033)} = 0.01535(m)$$

Trong đó:

+ D: Đường kính thủy lực

+ A: Diện tích mặt cắt ngang của dòng chảy

+ P: chu vi ướt của dòng chảy

+ Vận tốc chất lỏng ở cửa vào:

$$V = \frac{Q_m}{\rho \times A_{cửa vào}} = \frac{0.01}{1069 \times 0,01 \times 0,033} = 0.02834(m / s)$$

+ Số Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} = \frac{1069 \times 0.02834 \times 0.01535}{0.002758} = 16.86 \approx 17$$

- Vậy dòng chảy trong bài nghiên cứu là dòng chảy tầng

Bộ giải dựa trên áp suất (Pressure-Based Solver) được lựa chọn cho mô phỏng, phù hợp với các bài toán dòng chảy có vận tốc thấp và biến thiên áp suất nhỏ. Dựa trên tính toán số Reynolds tại cửa vào với giá trị khoảng 1, dòng chảy được xác định là thuộc chế độ chảy tầng (Laminar Flow). Do đó, các mô hình dòng rối không được kích hoạt để đảm bảo phản ánh đúng bản chất vật lý của dòng chất lỏng trong hệ thống làm mát.

Mô phỏng được thiết lập ở chế độ không ổn định theo thời gian (Transient) với tổng thời gian tính toán là 18 phút, bám sát thời gian thực tế trong quá trình sạc nhanh từ 10% lên 80% dung lượng pin của xe điện VinFast VF e34. Việc mô phỏng trong suốt chu kỳ sạc nhằm mục tiêu theo dõi và phân tích sự phát triển nhiệt độ trong cụm pin dưới điều kiện vận hành cao tải.

Tính toán công sinh nhiệt:

- Thông số dung lượng pin của xe VinFast VF e34:

+ Dung lượng pin: 42 kWh

+ Quãng đường chạy sau một lần sạc đầy: 285 km

+ Quãng đường chạy sau khi sạc nhanh 18 phút: khoảng 180 km

- Dung lượng pin sau khi sạc nhanh được 18 phút:

$$E_{18} = (180 \times 42000) / 285 = 26526(Wh)$$

- Công suất sạc nhanh pin của xe VinFast VF e34:

$$P_{sac} = \frac{26526}{18} \times 60 = 88420(W)$$

- Giả sử rằng, khi sạc chỉ đạt được hiệu suất 90%, tổn thất nhiệt 10% do lượng nhiệt thoát ra ở bề mặt pin:

$$P_{tt} = \frac{88420 \times 10}{100} = 8842(W)$$

- Thể tích của 1 cell pin:

$$V_{1cel} = \pi \times r^2 \times h = \pi \times 10,5^2 \times 70,6 = 24453(mm^3) = 0.000024453(m^3)$$

- Công suất nhiệt riêng của 1 cell pin:

$$P_{tt/1m^3(1cell)} = \frac{P_{tt}}{2420 \times V_{1cell}} = \frac{8842}{2420 \times 0.000024453} = 149418(W/m^3)$$

Trong mô phỏng truyền nhiệt cho hệ thống pin lithium-ion, công suất phát nhiệt từ các cell pin là một trong những thông số đầu vào có ảnh hưởng lớn đến độ chính xác của kết quả mô phỏng. Đặc biệt trong các điều kiện sạc nhanh, sự gia tăng mật độ dòng điện dẫn đến hiện tượng sinh nhiệt mạnh do tổn thất điện trở trong cell. Dựa trên dữ liệu thực nghiệm và các công bố trước, công suất tỏa nhiệt trung bình trên bề mặt mỗi cell được xác định là 149418 W/m<sup>2</sup>. Giá trị này được quy đổi thành mật độ phát nhiệt thể

tích và áp dụng cho từng cell pin thông qua cài đặt Cell Zone Conditions trong phần mềm mô phỏng. Đây là thông số nền tảng giúp mô hình mô phỏng phản ánh sát thực quá trình tăng nhiệt trong cell pin và ảnh hưởng của nó đến hiệu quả làm mát tổng thể.

Về mặt thiết lập điều kiện biên, chất lỏng làm mát được bơm vào hệ thống thông qua cửa vào với thành phần là hỗn hợp ethylene glycol và nước theo tỷ lệ 50:50 về thể tích – một loại chất lỏng làm mát phổ biến trong các ứng dụng ô tô và điện tử công suất nhờ vào khả năng truyền nhiệt tốt và điểm đóng băng thấp. Tại cửa vào, lưu lượng khối lượng được cài đặt với hai giá trị khác nhau: 0,008 kg/s và 0,01 kg/s. Việc lựa chọn hai mức lưu lượng này không chỉ giúp mô phỏng các kịch bản vận hành đa dạng, mà còn nhằm mục đích so sánh và đánh giá ảnh hưởng của tốc độ dòng chảy đến hiệu quả trao đổi nhiệt giữa chất lỏng làm mát và bề mặt các cell pin. Tốc độ dòng chảy cao hơn được kỳ vọng sẽ tăng khả năng mang nhiệt ra khỏi hệ thống nhanh chóng hơn, tuy nhiên cũng kéo theo sự gia tăng tổn thất áp suất và tiêu thụ năng lượng bơm. Vì vậy, việc khảo sát với hai giá trị cụ thể giúp xác định điểm cân bằng hợp lý giữa hiệu quả làm mát và chi phí vận hành.

Nhiệt độ chất lỏng đầu vào được cố định ở mức 30 °C, phù hợp với điều kiện môi trường điển hình tại Việt Nam trong các mùa nóng. Việc chọn giá trị này giúp tăng tính thực tiễn của mô hình, đồng thời đảm bảo điều kiện ban đầu ổn định và nhất quán cho các phép phân tích nhiệt sau này.

Tại cửa ra, mô hình áp dụng điều kiện áp suất cố định, giá định bằng áp suất khí quyển tiêu chuẩn (101325 Pa). Thiết lập này giúp dòng chất lỏng thoát ra một cách tự nhiên, không gây áp lực ngược lên vùng tính toán, đảm bảo dòng chảy duy trì tính ổn định và nhất quán trong suốt quá trình mô phỏng.

Về mặt giải pháp số, mô hình sử dụng phương pháp giải liên hợp (Coupled Scheme) – một lựa chọn tối ưu cho các bài toán mô phỏng truyền nhiệt gắn liền với dòng chảy phức tạp, điển hình như trong hệ thống pin có mật độ chất lỏng lớn và đường dẫn dòng phức tạp. Phương pháp Coupled cho phép giải đồng thời các phương trình điều khiển cơ bản, bao gồm: phương trình bảo toàn khối lượng, bảo toàn động lượng và bảo toàn năng lượng. Điều này không chỉ giúp cải thiện tốc độ hội tụ của bài toán mà còn đảm bảo độ chính xác cao hơn so với phương pháp giải phân ly (Segregated), vốn thường dễ gặp sai số do giải tuần tự từng phương trình. Đặc biệt trong mô phỏng có sự tương tác nhiệt – động học mạnh mẽ giữa chất lỏng và vật rắn như hệ thống pin, việc sử dụng Coupled Scheme là hoàn toàn hợp lý.

Trong giai đoạn khởi tạo ban đầu, mô hình sử dụng phương pháp khởi tạo tiêu chuẩn (Standard Initialization), lấy điều kiện khởi tạo từ cửa vào của hệ thống. Điều này giúp thiết lập hợp lý các trường vận tốc, nhiệt độ và áp suất ban đầu cho toàn bộ miền tính toán, đồng thời giúp rút ngắn thời gian hội tụ và đảm bảo kết quả ổn định ngay từ các bước lặp đầu tiên.

Bảng 3.5: Thiết lập mô phỏng và điều kiện biên của các phương án

	Phương án 1	Phương án 2	Phương án 3	Phương án 4	Phương án 5	Phương án 6
Mô hình	1 tầng – so le – 0.008 kg/s	1 tầng – thẳng hàng – 0.008 kg/s	2 tầng – thẳng hàng – 0.008 kg/s	1 tầng – so le – 0.01 kg/s	1 tầng – thẳng hàng – 0.01 kg/s	2 tầng – thẳng hàng – 0.01 kg/s
Lưu lượng cửa vào (kg/s)	0.008	0.008	0.008	0.01	0.01	0.01
Áp suất cửa ra (Pa)	101325	101325	101325	101325	101325	101325
Loại dòng chảy	Chảy tầng (Laminar)	Chảy tầng (Laminar)	Chảy tầng (Laminar)	Chảy tầng (Laminar)	Chảy tầng (Laminar)	Chảy tầng (Laminar)
Nhiệt độ chất lỏng (°C)	30	30	30	30	30	30
Công suất phát nhiệt (W/m <sup>3</sup> )	149418	149418	149418	149418	149418	149418
Trọng lực	Hướng theo trục z	Hướng theo trục z	Hướng theo trục z	Hướng theo trục z	Hướng theo trục z	Hướng theo trục z
Loại thời gian (s)	Biến thiên	Biến thiên	Biến thiên	Biến thiên	Biến thiên	Biến thiên

## CHƯƠNG 4: KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

### 4.1. Tổng quan kết quả mô phỏng

Bảng 4.1: Số liệu kết quả mô phỏng cho các phương án

Mô hình	Thời gian sạc (s)	Nhiệt độ mô hình (°C)	Nhiệt độ trung bình bề mặt pin (°C)	Nhiệt độ chất lỏng (°C)	Vận tốc chất lỏng (m/s)
Phương án 1	1	30.059	30.0334	30.0275	0.000873
	540	54.3029	44.036	54.1528	0.000965
	1080	66.3262	46.4118	66.1679	0.000965
Phương án 2	1	29.5519	26.8858	29.4019	0.001956
	540	45.5784	39.2761	45.4284	0.002213
	1080	49.4537	40.0286	49.3037	0.002213
Phương án 3	1	29.7483	26.8899	29.7483	0.004615
	540	44.2584	37.0153	44.0712	0.005499
	1080	45.4419	37.162	45.3964	0.005499
Phương án 4	1	30.0592	30.0329	30.0442	0.004418
	540	53.6931	42.7538	53.6781	0.004585
	1080	61.2356	43.6891	61.2206	0.004585
Phương án 5	1	29.9104	26.922	29.7604	0.002699
	540	44.7127	37.452	44.5627	0.002766
	1080	45.9573	37.56	45.8073	0.002766
Phương án 6	1	29.7472	26.8719	29.5972	0.006885
	540	41.872	35.9201	41.722	0.006885
	1080	42.8047	35.9596	42.6547	0.006885

Dựa vào bảng 4.1 số liệu kết quả mô phỏng của các phương án làm mát khác nhau cho thấy cái nhìn tổng thể rõ ràng về hiệu suất truyền nhiệt và phân bố dòng chảy trong cụm pin. Dữ liệu thu được từ các thời điểm 1 giây, 540 giây và 1080 giây phản ánh quá

trình tăng dần nhiệt độ theo thời gian sặc, đồng thời cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa các cấu hình hình học và mức lưu lượng.

- Phương án 1 có hiệu quả làm mát kém nhất trong tất cả. Nhiệt độ trung bình bề mặt cell pin tăng từ 30.0334°C lên đến 46.4118°C sau 1080 giây, tiệm cận ngưỡng nguy hiểm (trên 45°C), có thể gây ảnh hưởng đến tuổi thọ và an toàn của pin. Nhiệt độ mô hình tăng từ 30.059°C lên 66.3262°C, và nhiệt độ chất lỏng lên đến 66.1679°C, phản ánh sự tích tụ nhiệt nghiêm trọng trong hệ thống. Mặc dù vận tốc chất lỏng tăng nhẹ từ 0.000873 m/s lên 0.000965 m/s, nhưng cấu trúc so le gây cản trở dòng chảy, khiến hiệu quả tản nhiệt rất thấp.

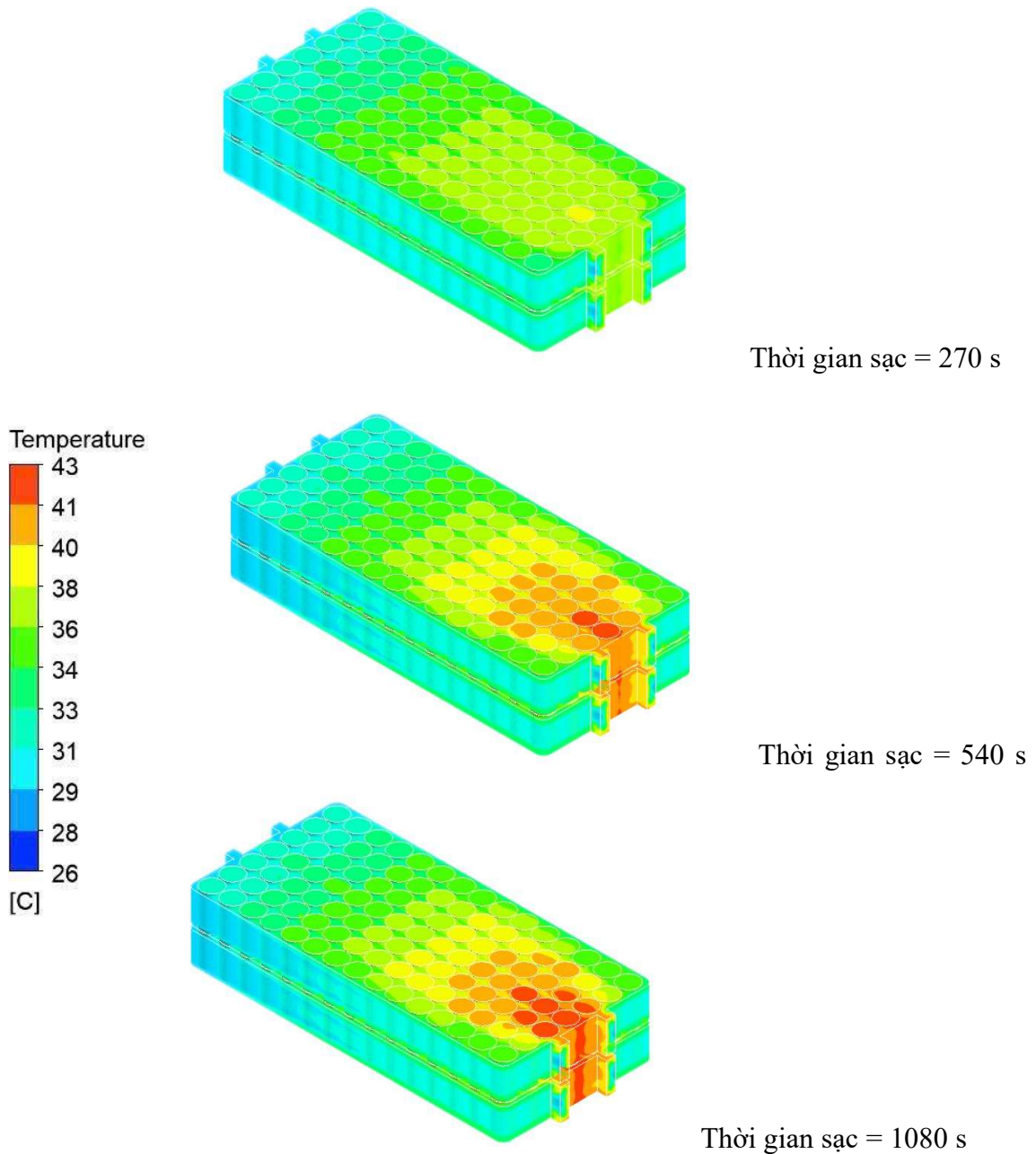
- Hiệu quả làm mát của phương án 2 được cải thiện rõ rệt so với phương án 1. Nhiệt độ bề mặt pin sau 18 phút là 40.0286°C, nằm trong giới hạn an toàn, mặc dù chưa đạt mức tối ưu (< 40°C). Nhiệt độ mô hình đạt 49.4537°C và nhiệt độ chất lỏng là 49.3037°C, cho thấy khả năng kiểm soát nhiệt đã khá tốt. Vận tốc chất lỏng tăng từ 0.001956028 m/s lên 0.002213503 m/s, hỗ trợ hiệu quả làm mát. Cấu hình bố trí các cell pin thẳng hàng giúp dòng chất lỏng lưu thông tốt hơn so với dạng bố trí so le.

- Phương án 3 tiếp tục cải thiện hiệu quả làm mát nhờ cấu trúc 2 tầng. Nhiệt độ bề mặt pin duy trì ở mức 37.162°C, thấp hơn đáng kể so với phương án 2. Nhiệt độ mô hình sau 1080 giây là 45.4419°C, và chất lỏng là 45.3964°C. Vận tốc chất lỏng tăng lên mức khá cao, từ 0.004615255 m/s đến 0.005499377 m/s, giúp tăng khả năng trao đổi nhiệt nhờ diện tích tiếp xúc lớn hơn. Đây là một phương án hiệu quả, nếu muốn tiết kiệm lưu lượng nhưng vẫn đạt hiệu suất khá tốt.

- Phương án 4 dù tăng lưu lượng so với phương án 1, nhưng kiểu bố trí so le tiếp tục cho thấy hiệu quả thấp. Nhiệt độ bề mặt pin đạt 43.6891°C, vẫn cao và không đạt mức lý tưởng. Nhiệt độ mô hình lên tới 61.2356°C và chất lỏng đạt 61.2206°C, gần tương đương phương án 1, cho thấy hiệu suất tản nhiệt không được cải thiện nhiều. Vận tốc chất lỏng tăng từ 0.004418 m/s lên 0.004585 m/s, vận tốc dòng chảy vẫn bị giới hạn bởi hình dạng hình học.

- So với phương án 2 (cùng cấu hình nhưng lưu lượng thấp hơn), phương án 5 cho thấy hiệu quả làm mát tốt hơn rõ rệt. Nhiệt độ bề mặt pin duy trì ở mức 37.56°C sau 1080 giây, thấp hơn mức 40°C và đảm bảo an toàn vận hành pin. Nhiệt độ mô hình và chất lỏng lần lượt là 45.9573°C và 45.8073°C, cho thấy nhiệt được dẫn ra khỏi hệ thống hiệu quả. Vận tốc chất lỏng tăng từ 0.002699 m/s đến 0.002766 m/s, vẫn ở mức vừa phải nhưng đủ đảm bảo hiệu quả làm mát.

- Phương án 6 là phương án tối ưu nhất. Nhiệt độ bề mặt pin sau 1080 giây là  $35.9596^{\circ}\text{C}$ , thấp nhất trong tất cả các phương án, đạt ngưỡng lý tưởng  $< 40^{\circ}\text{C}$ . Nhiệt độ mô hình đạt  $42.8047^{\circ}\text{C}$ , và nhiệt độ chất lỏng là  $42.6547^{\circ}\text{C}$ , cho thấy hệ thống kiểm soát nhiệt rất hiệu quả. Đặc biệt, vận tốc chất lỏng cao nhất:  $0.006885\text{ m/s}$ , giúp trao đổi nhiệt tốt hơn. Thiết kế 2 tầng và cấu hình thẳng hàng tạo điều kiện lý tưởng cho dòng chảy và phân bố nhiệt.



Hình 4.1: Sự thay đổi nhiệt độ của cell pin và chất lỏng làm mát trong quá trình sạc của phương án 6

Sự phân bố nhiệt độ các phần tử pin của phương án 6 được thể rõ qua từng mốc thời gian (Hình 4.1).

Ở thời điểm 270 giây, nhiệt độ của cụm cell pin tương đối thấp, phần lớn nằm trong khoảng 30 – 34°C. Điều này cho thấy hệ thống làm mát vẫn đang hoạt động hiệu quả và nhiệt sinh ra do quá trình sạc chưa đạt mức cao.

Khi thời gian sạc tăng lên đến 540 giây, khu vực trung tâm và gần đầu ra của dòng chất lỏng làm mát bắt đầu xuất hiện sự phân bố nhiệt độ cao (36 – 40°C), cho thấy nhiệt độ đã tăng lên đáng kể. Đây là giai đoạn mà quá trình sạc sinh ra nhiệt nhiều hơn, và hệ thống làm mát bắt đầu chịu áp lực lớn hơn trong việc duy trì cân bằng nhiệt độ.

Đến thời điểm 1080 giây, sự phân bố nhiệt độ trở nên rõ rệt hơn, với nhiều cell pin đạt mức nhiệt từ 40°C trở lên. Vùng nhiệt độ cao tập trung ở các cell gần khu vực đầu ra, cho thấy hiệu suất làm mát giảm dần theo chiều dòng chảy chất lỏng. Điều này đặt ra yêu cầu cần tối ưu hóa hơn nữa thiết kế luồng chảy hoặc tăng cường công suất làm mát trong các giai đoạn sạc kéo dài.

Từ phân tích hình ảnh có thể thấy rằng mặc dù hệ thống làm mát của phương án 6 hoạt động khá hiệu quả trong giai đoạn đầu, nhưng đến giai đoạn sau, đặc biệt từ 540 giây trở đi, nhiệt độ tăng nhanh, gây ra sự không đồng đều về nhiệt giữa các cell pin. Đây là yếu tố quan trọng cần xem xét trong thiết kế hệ thống pin nhằm đảm bảo tuổi thọ và hiệu suất hoạt động ổn định lâu dài.

## **4.2. So sánh kết quả**

### **4.2.1. Chênh lệch áp suất giữa các phương án**

Bảng 4.2: Chênh lệch áp suất tại cửa vào và cửa ra của các phương án tại thời gian sạc 1080 giây

Các phương án	PA 1	PA 2	PA 3	PA 4	PA 5	PA 6
$\Delta P$ (Pa)	6.8016	3.3205	13.2765	8.5949	4.0425	16.9398

Dựa vào bảng 4.2, cho ta thấy được sự chênh lệch áp suất giữa các phương án:

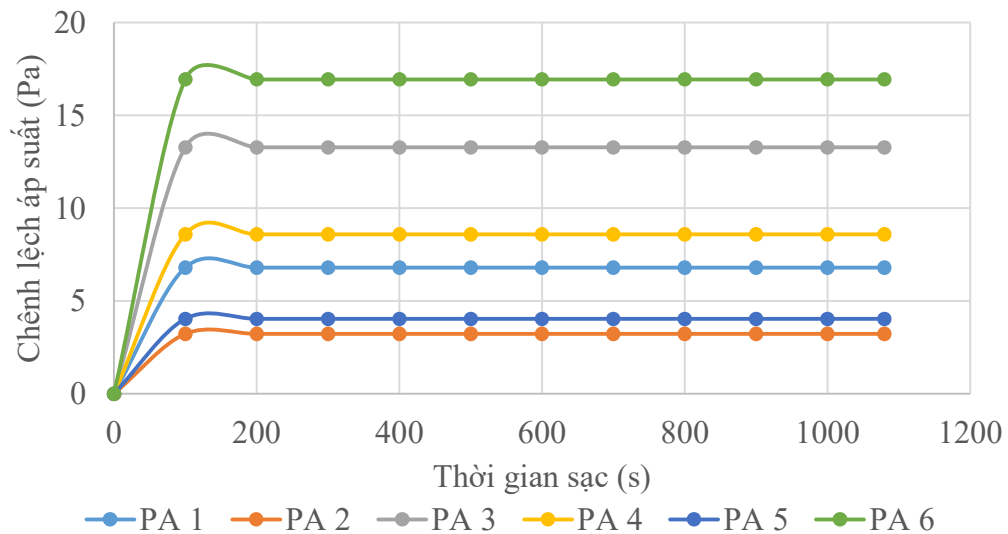
- Kết quả mô phỏng cho thấy Phương án 1 có giá trị tổn thất áp suất  $\Delta P = 6.8016$  Pa, không phải là mức tiêu thụ năng lượng bơm cao nhất, tuy nhiên lại ghi nhận nhiệt độ tối đa của pin cao nhất trong số tất cả các phương án. Điều này chỉ ra rằng Phương án 1 không đảm bảo hiệu quả làm mát cần thiết, dẫn đến hiện tượng tích nhiệt cục bộ,

khuyến pin hoạt động trong vùng nhiệt độ cao. Về lâu dài, điều này không chỉ làm tăng tốc độ lão hóa hóa học trong cell pin mà còn tiềm ẩn nguy cơ suy giảm hiệu suất, rút ngắn tuổi thọ và trong những trường hợp nghiêm trọng có thể dẫn đến sự cố an toàn như cháy nổ.

- Ở chiều ngược lại, Phương án 2 và Phương án 5 có giá trị  $\Delta P$  lần lượt là 3.3205 Pa và 4.0425 Pa, thấp nhất trong các phương án, cho thấy ưu thế về tiết kiệm năng lượng bơm. Tuy nhiên, mức nhiệt độ đạt được trong hai phương án này không đủ thấp để đảm bảo duy trì pin trong vùng vận hành lý tưởng, dẫn đến hiệu quả làm mát chỉ đạt mức trung bình, không phù hợp với các tình huống vận hành khắc nghiệt hoặc yêu cầu hiệu suất cao.

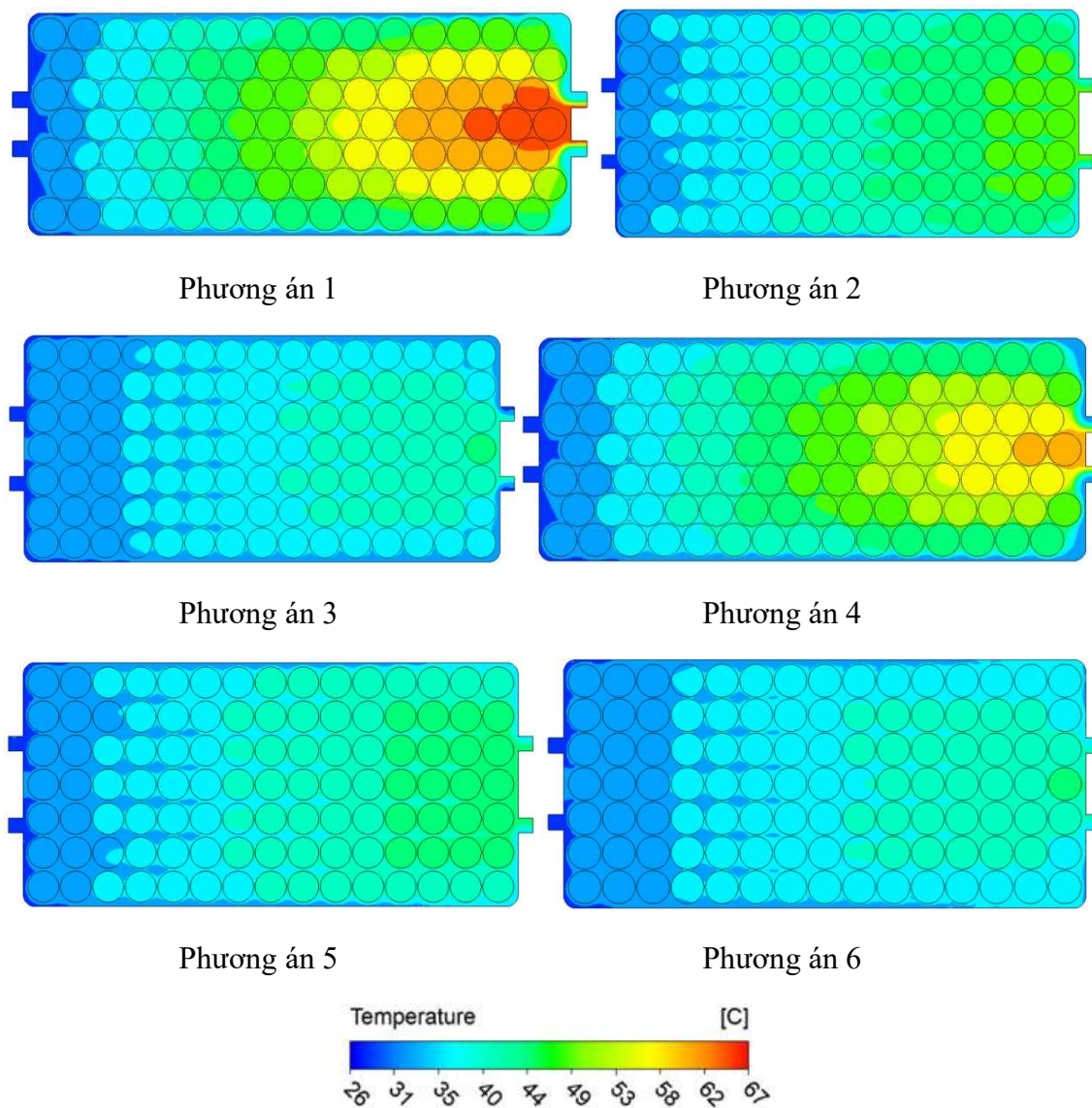
- Phương án 3 và Phương án 4 thể hiện sự cân bằng hơn giữa tổn thất áp suất và khả năng làm mát, với giá trị  $\Delta P$  cao hơn các phương án tiết kiệm năng lượng, đồng thời nhiệt độ pin đạt được thấp hơn so với các phương án kém hiệu quả. Tuy nhiên, các phương án này vẫn chưa đạt mức tối ưu tuyệt đối về mặt kiểm soát nhiệt độ.

- Đáng chú ý, Phương án 6 – mặc dù có tổn thất áp suất cao nhất ( $\Delta P = 16.9398$  Pa) – lại là phương án duy nhất đạt được nhiệt độ pin thấp nhất, gần với mức lý tưởng cho vận hành ổn định và an toàn. Điều này phản ánh rằng, hiệu quả làm mát vượt trội của Phương án 6 có thể bù đắp cho năng lượng tiêu tốn thêm của hệ thống bơm. Trong bối cảnh yêu cầu đảm bảo hiệu suất, tuổi thọ và an toàn cho pin là ưu tiên hàng đầu, Phương án 6 nổi bật lên như một lựa chọn tối ưu về mặt kỹ thuật, đặc biệt phù hợp cho các ứng dụng cần công suất lớn hoặc vận hành trong môi trường nhiệt độ cao.



Hình 4.2: Đồ thị chênh lệch áp suất giữa các phương án trong quá trình sạc

#### 4.2.2. Phân bố nhiệt độ của các phương án làm mát



Hình 4.3: Phân bố nhiệt độ của các phương án làm mát (mặt cắt ngang mô hình ở vị trí 25 mm)

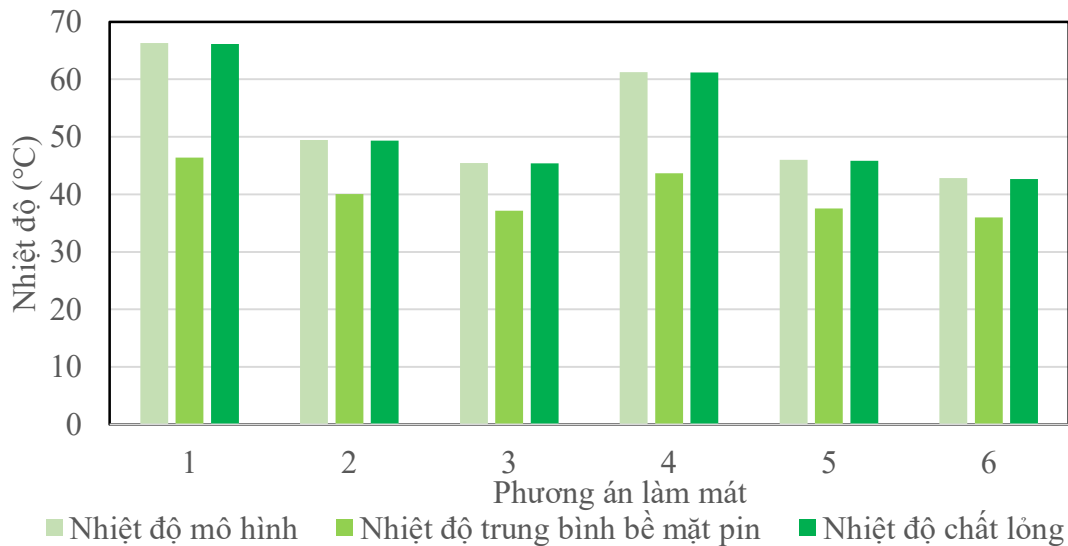
Dựa vào hình 4.3 cho ta thấy tất cả 6 phương án làm mát đều có chung xu hướng nhiệt độ tăng dần theo thời gian, từ thời điểm bắt đầu (1 giây), đến giữa chu kỳ sạc (540 giây), và đạt cực đại ở cuối chu kỳ (1080 giây). Điều này phản ánh đúng bản chất vật lý của quá trình sạc nhanh: nhiệt lượng sinh ra tại các cell pin không ngừng tích lũy trong suốt thời gian vận hành.

Tuy nhiên, tốc độ tăng nhiệt giữa các phương án không giống nhau. Phương án 1 tăng – so le cho thấy mức tăng nhiệt nhanh và cao hơn đáng kể, đặc biệt là khi dòng chất lỏng có lưu lượng thấp. Ngược lại, phương án 2 tăng – thẳng hàng duy trì tốc độ tăng

hiệt độ thấp và ổn định hơn, cho thấy khả năng không chế sự tích tụ nhiệt tốt hơn qua thời gian.

Cùng lưu lượng thấp (0.008 kg/s): phương án 1 tầng – thẳng hàng có nhiệt độ tăng đều, trong khi phương án 1 tầng – so le lại cho thấy sự gia tăng nhiệt độ cao hơn. Điều này cho thấy cấu trúc so le, mặc dù làm dòng chảy rối hơn, nhưng không tối ưu trong việc kiểm soát nhiệt khi lưu lượng không đủ mạnh để cuốn trôi nhiệt lượng tích tụ. Trong khi đó, phương án 2 tầng – thẳng hàng có xu hướng duy trì mức nhiệt độ thấp hơn, cho thấy hiệu quả làm mát tốt hơn nhờ tiếp xúc đồng thời từ hai phía.

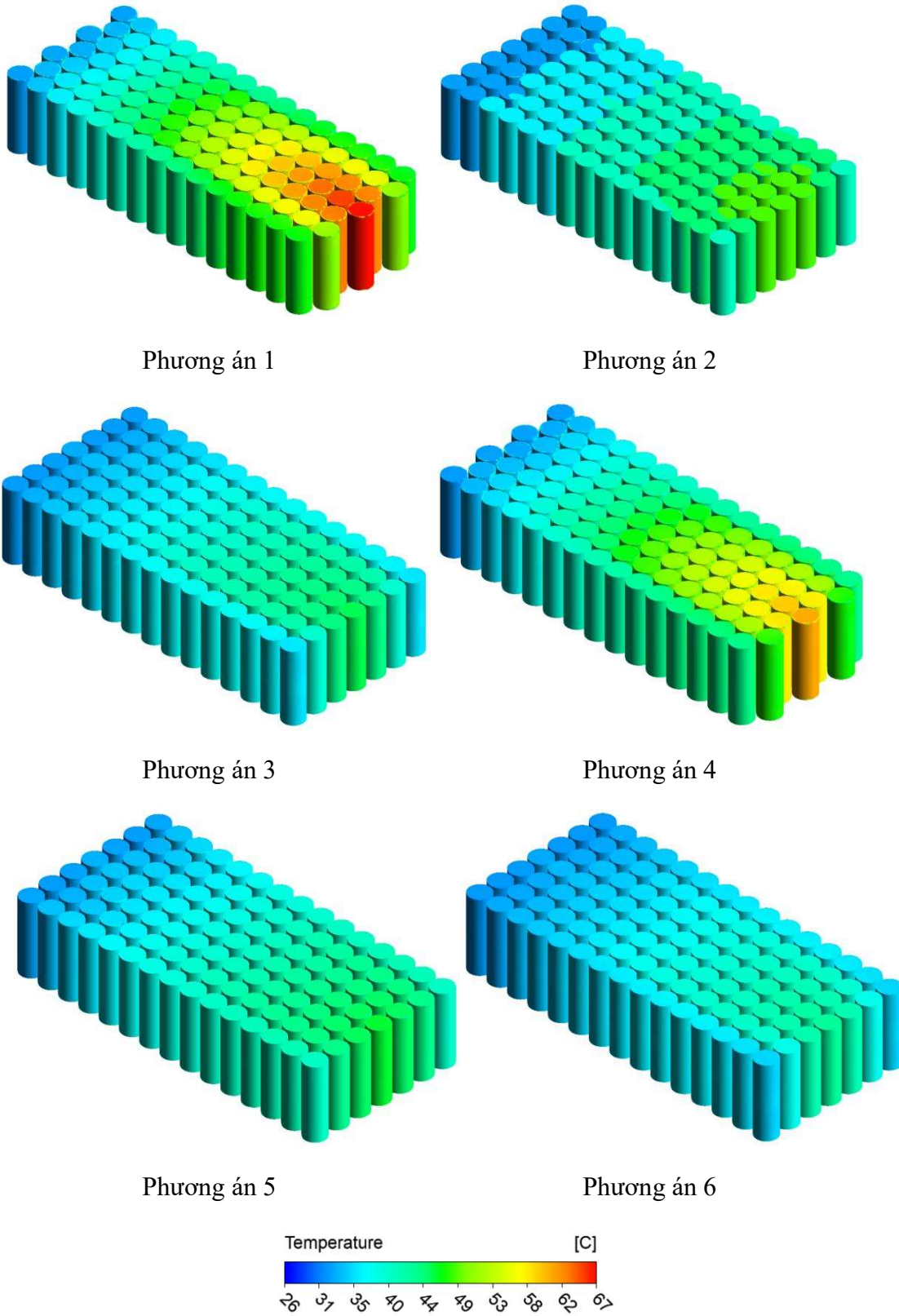
Cùng lưu lượng cao (0.01 kg/s): Khi lưu lượng được tăng lên, cả ba phương án đều có cải thiện về mặt nhiệt độ so với trường hợp lưu lượng thấp. Đặc biệt, phương án 2 tầng – thẳng hàng tiếp tục thể hiện ưu thế với sự gia tăng nhiệt độ chậm hơn và duy trì ổn định hơn so với các phương án 1 tầng. Cấu hình 1 tầng – so le, dù có dòng chảy rối hơn, vẫn không cải thiện hiệu quả làm mát đáng kể, cho thấy hình học này không phù hợp khi xét riêng ở khía cạnh kiểm soát nhiệt độ.



Hình 4.4: Đồ thị phân bố nhiệt độ của các phương án làm mát

Cấu hình làm mát ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng kiểm soát nhiệt độ của hệ thống pin trong quá trình sạc nhanh. Dù tất cả phương án đều có xu hướng nhiệt độ tăng theo thời gian, nhưng hiệu quả làm mát khác nhau do cấu trúc và lưu lượng chất lỏng. Phương án 2 tầng – thẳng hàng cho thấy khả năng duy trì nhiệt độ thấp và ổn định tốt nhất, đặc biệt khi lưu lượng thấp, nhờ tiếp xúc làm mát từ hai phía. Trong khi đó, phương án 1 tầng – so le kém hiệu quả hơn do dòng chảy rối không đủ bù đắp cho sự tích tụ nhiệt. Vì vậy, phương án 2 tầng – thẳng hàng là lựa chọn ưu tiên để đảm bảo hiệu quả và an toàn nhiệt trong vận hành.

**4.2.3. Phân bố nhiệt độ cell pin**



Hình 4.5: Phân bố nhiệt độ trên bề mặt cell pin

Để đánh giá một cách cụ thể và trực quan hiệu quả tản nhiệt của các cell pin trong từng mô hình cấu hình pin khác nhau, chúng ta tiến hành quan sát và so sánh nhiệt độ trung bình của các cell pin tại các thời điểm khác nhau trong quá trình sạc. Việc theo dõi thông số nhiệt độ trung bình không chỉ phản ánh khả năng tản nhiệt của từng mô hình mà còn cho thấy mức độ ảnh hưởng của các yếu tố cấu trúc như bố trí cell, số tầng và lưu lượng chất làm mát đến hiệu suất làm mát toàn hệ thống.

- Các mô hình bố trí so le luôn có nhiệt độ cao hơn  $\sim 6^{\circ}\text{C}$  so với bố trí thẳng hàng. Điều này cho thấy bố trí thẳng hàng hiệu quả hơn rõ rệt trong việc tản nhiệt, giúp luồng khí làm mát phân bố đều và tiếp xúc tốt hơn với các cell pin.

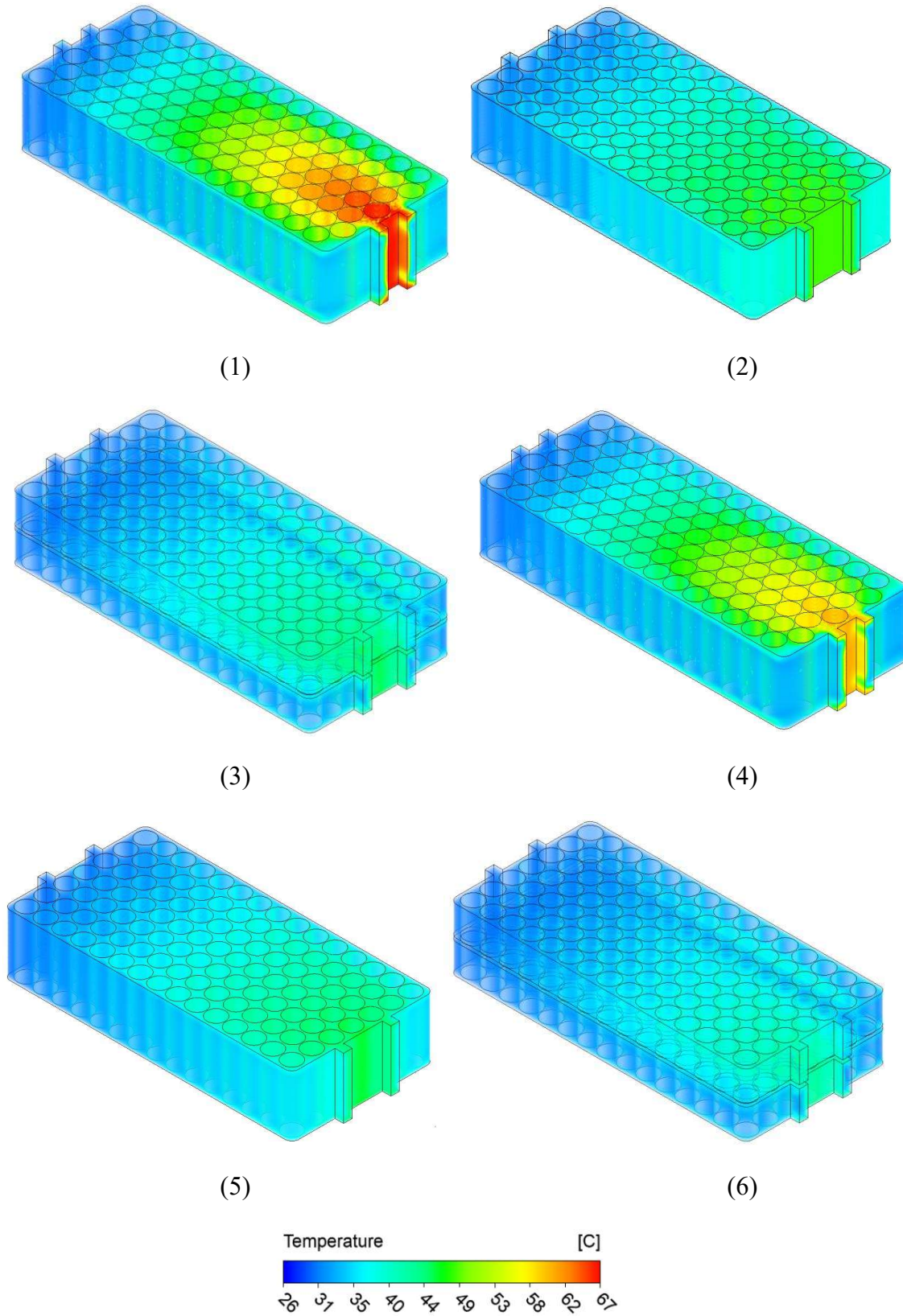
- Tăng lưu lượng từ 0.008 kg/s lên 0.01 kg/s giúp giảm nhiệt độ trung bình từ 2.5 -  $2.7^{\circ}\text{C}$ , bất kể bố trí cell nào. Điều này cho thấy việc tăng tốc độ dòng chất làm mát là một giải pháp hiệu quả để kiểm soát và giới hạn nhiệt độ tích tụ trong pin.

- Các mô hình 2 tầng cho kết quả nhiệt độ thấp hơn so với 1 tầng, trong cả hai trường hợp lưu lượng. Sự chênh lệch từ 1.6 đến  $2.9^{\circ}\text{C}$  cho thấy rằng thiết kế đa tầng có thể cải thiện luồng khí và tăng diện tích tản nhiệt, dẫn đến hiệu suất làm mát tốt hơn.

Bảng 4.3: Nhiệt độ trung bình của các mô hình sau 18 phút sạc nhanh

Mô hình	Nhiệt độ trung bình tại thời điểm 1080 giây ( $^{\circ}\text{C}$ )
Phương án 1	46.4118
Phương án 2	40.0286
Phương án 3	37.162
Phương án 4	43.6891
Phương án 5	37.56
Phương án 6	35.9596

**4.2.4. Phân bố nhiệt độ chất lỏng làm mát**



Hình 4.6: Phân bố nhiệt độ chất lỏng làm mát

Sinh viên thực hiện: Võ Như Trung  
Nguyễn Thái Sơn

Hướng dẫn: PGS. TS. Phạm Quốc Thái  
TS. Võ Đại Quý

Trong số 6 phương án khảo sát, phương án 6 (2 tầng – thẳng hàng – lưu lượng 0.01 kg/s) thể hiện hiệu quả tản nhiệt chất lỏng tối ưu nhất. Nhiệt độ chất lỏng ở thời điểm cuối (1080s) duy trì ở mức thấp nhất ( $42.65^{\circ}\text{C}$ ), với phân bố nhiệt đều và ổn định, thể hiện qua hình ảnh chủ yếu là màu xanh lam và xanh lá nhạt – dấu hiệu của nhiệt độ thấp và ít sự chênh lệch trong hệ thống.

Ngược lại, các phương án sử dụng cấu trúc so le (phương án 1 và 4) có hiệu quả làm mát kém nhất. Nhiệt độ chất lỏng tăng nhanh và đạt mức cao nhất (lên đến  $66^{\circ}\text{C}$  trong phương án 1), xuất hiện rõ các vùng màu đỏ cam trên hình ảnh mô phỏng – cho thấy dòng chất lỏng khó lưu thông đều, gây tích tụ nhiệt cục bộ và tiềm ẩn nguy cơ quá nhiệt hệ thống.

Sự khác biệt giữa cấu hình thẳng hàng và so le đóng vai trò quan trọng trong khả năng phân phối dòng chảy và tản nhiệt:

- Cấu hình thẳng hàng (phương án 2, 3, 5, 6) cho phép chất lỏng chảy đều và liên tục qua các vùng sinh nhiệt, giúp phân bố nhiệt độ đồng đều hơn trên toàn hệ thống. Nhiệt độ chất lỏng trong các phương án này luôn thấp hơn so với các phương án so le.

- Cấu hình so le (phương án 1 và 4) gây xáo trộn dòng chảy và tạo ra các điểm chết, nơi chất lỏng lưu thông kém, khiến nhiệt độ tích tụ và khó thoát ra ngoài. Điều này giải thích tại sao dù cùng lưu lượng, các phương án so le vẫn cho kết quả nhiệt độ chất lỏng cao hơn đáng kể.

Lưu lượng dòng chảy ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng mang nhiệt ra khỏi hệ thống:

- Khi tăng lưu lượng từ 0.008 kg/s lên 0.01 kg/s, hiệu quả làm mát được cải thiện rõ rệt. Phương án 2 (thẳng hàng, 0.008 kg/s) có nhiệt độ chất lỏng  $49.3^{\circ}\text{C}$ . Trong khi đó, phương án 5 (thẳng hàng, 0.01 kg/s) giảm xuống còn  $45.8^{\circ}\text{C}$ .

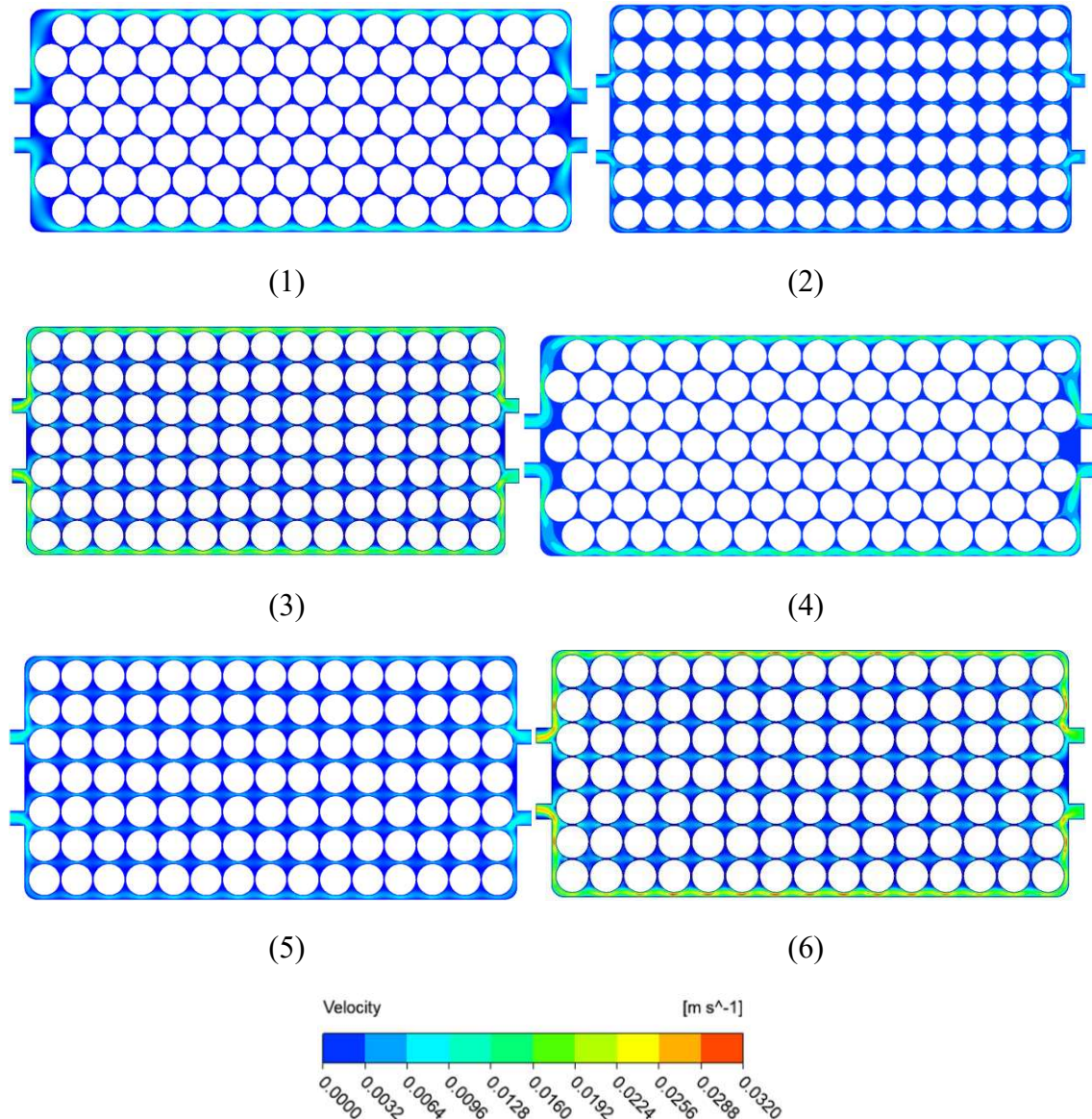
- Việc tăng lưu lượng giúp nhiệt được cuốn ra khỏi hệ thống nhanh hơn, giảm nguy cơ tích tụ nhiệt tại các điểm nóng. Tuy nhiên, hiệu quả còn phụ thuộc vào cấu trúc dòng chảy – nếu cấu hình kém (như so le), hiệu quả cải thiện sẽ không đáng kể (ví dụ: phương án 4 vẫn ở mức  $61.2^{\circ}\text{C}$  dù đã tăng lưu lượng).

Việc chuyển từ thiết kế 1 tầng sang 2 tầng giúp tăng diện tích tiếp xúc giữa chất lỏng và các bề mặt phát nhiệt, đồng thời tối ưu hóa khả năng dẫn nhiệt qua toàn bộ khối pin:

- So sánh giữa phương án 2 (1 tầng – thẳng hàng – 0.008 kg/s) và phương án 3 (2 tầng – thẳng hàng – 0.008 kg/s), ta thấy nhiệt độ chất lỏng giảm từ 49.3°C xuống còn 45.4°C.

- Hiệu quả này thể hiện rõ nhất ở phương án 6 (2 tầng – 0.01 kg/s), nơi nhiệt độ chất lỏng thấp nhất và phân bố nhiệt đồng đều nhất. Điều này cho thấy thiết kế 2 tầng phát huy tối đa khả năng trao đổi nhiệt khi kết hợp với lưu lượng chất lỏng hợp lý.

#### **4.2.5. Phân bố vận tốc chất lỏng làm mát**



Hình 4.7: Phân bố vận tốc chất lỏng làm mát

Dựa vào hình ảnh, cho thấy được mỗi cấu hình bố trí pin và đường dẫn dòng chất lỏng đều ảnh hưởng trực tiếp đến vận tốc thực tế trong mô hình, dữ liệu mô phỏng cho thấy vận tốc chất lỏng (m/s) thay đổi theo thời gian và cấu hình mô hình làm mát:

- Phương án 1: 1 tầng – so le – 0.008 kg/s: Vận tốc tăng từ 0.000872959 m/s lên 0.000965395 m/s, với mức tăng chỉ 0.000092436 m/s. Vận tốc rất thấp và tăng chậm, phản ánh dòng chảy yếu và không đồng đều, làm giảm hiệu quả trao đổi nhiệt.

- Phương án 2: 1 tầng – thẳng hàng – 0.008 kg/s: Vận tốc tăng từ 0.001956028 m/s lên 0.002212503 m/s, tăng 0.000256475 m/s. Dù vận tốc vẫn thấp, cấu hình thẳng hàng giúp dòng chảy ổn định hơn so với phương án 1, góp phần cải thiện hiệu suất tản nhiệt.

- Phương án 3: 2 tầng – thẳng hàng – 0.008 kg/s: Vận tốc tăng từ 0.004614993 m/s lên 0.005498703 m/s, mức tăng 0.00088371 m/s. Vận tốc cao hơn đáng kể so với các phương án 1 tầng, nhờ thiết kế 2 tầng giúp phân phối dòng chảy tốt hơn.

- Phương án 4: 1 tầng – so le – 0.01 kg/s: Vận tốc tăng từ 0.004418314 m/s lên 0.004584822 m/s, mức tăng 0.000166508 m/s. Tuy có lưu lượng cao hơn phương án 1, cấu trúc so le làm dòng chảy không đồng đều, hạn chế khả năng tăng vận tốc và làm mát.

Phương án 5: 1 tầng – thẳng hàng – 0.01 kg/s: Vận tốc tăng từ 0.002698581 m/s lên 0.002766231 m/s, mức tăng chỉ 0.00006765 m/s. Mặc dù vận tốc không cao, cấu trúc thẳng hàng vẫn mang lại dòng chảy ổn định hơn so với phương án 4.

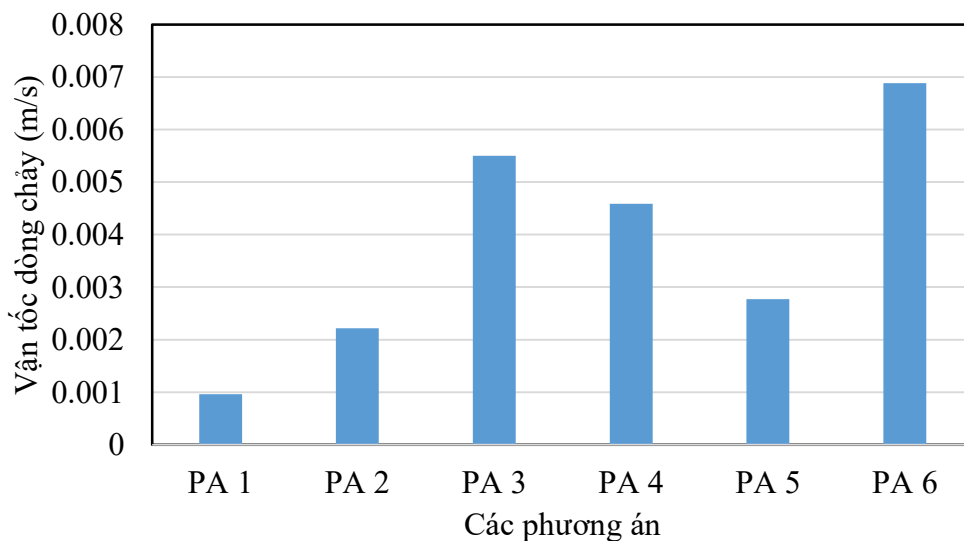
- Phương án 6: 2 tầng – thẳng hàng – 0.01 kg/s: Vận tốc duy trì ổn định ở mức 0.006884782 m/s suốt quá trình, không thay đổi đáng kể. Đây là vận tốc cao nhất và đồng đều nhất trong tất cả các phương án, phản ánh dòng chảy mạnh, ổn định và hiệu quả làm mát tối ưu.

Tác động của cấu hình dòng chảy: Cấu hình thẳng hàng (phương án 2, 3, 5, 6) cho thấy khả năng duy trì vận tốc ổn định và phân bố dòng chảy đồng đều hơn so với cấu hình so le (phương án 1, 4). Điều này giúp cải thiện hiệu quả trao đổi nhiệt rõ rệt, đặc biệt trong các phương án 3 và 6.

Ảnh hưởng của lưu lượng chất lỏng: Khi tăng lưu lượng từ 0.008 kg/s lên 0.01 kg/s, vận tốc chất lỏng có xu hướng tăng. Tuy nhiên, hiệu quả chỉ thể hiện rõ ở các mô hình thẳng hàng (phương án 5 và đặc biệt là 6), trong khi so le (phương án 4) vẫn bị hạn chế do cản trở dòng chảy.

Vai trò của thiết kế 2 tầng: Các mô hình có thiết kế 2 tầng (phương án 3 và 6) cho vận tốc cao hơn hẳn so với các phương án 1 tầng, nhờ diện tích tiếp xúc lớn và hướng dòng chảy được tối ưu hóa. Phương án 6 đặc biệt nổi bật khi đạt vận tốc cao nhất (0.006884782 m/s) và ổn định nhất.

Mối quan hệ với hiệu quả tản nhiệt: Vận tốc chất lỏng cao và ổn định có tương quan trực tiếp với nhiệt độ chất lỏng đầu ra thấp. Phương án 6, với vận tốc lớn nhất, đi kèm với nhiệt độ thấp nhất (42.6547°C), trong khi phương án 1 có vận tốc thấp và không đều lại cho nhiệt độ cao nhất (66.1679°C). Do đó, vận tốc dòng chảy là một chỉ số quan trọng để đánh giá và tối ưu hiệu suất làm mát.



Hình 4.8: Đồ thị phân bố vận tốc chất lỏng làm mát của các phương án

### 4.3. Bàn luận

Việc thay đổi cấu hình bố trí cell pin – bao gồm kiểu thẳng hàng, so le, cũng như số tầng bố trí cell – có ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu quả làm mát của hệ thống pin trong các mô hình được khảo sát. Mỗi cấu hình mang đến đặc điểm phân bố dòng chảy và trao đổi nhiệt riêng biệt, từ đó ảnh hưởng đến nhiệt độ trung bình của các cell pin trong suốt quá trình sạc.

Mô hình 1 tầng – thẳng hàng thể hiện khả năng duy trì dòng chảy ổn định theo chiều dọc, giúp kiểm soát dòng chất làm mát tốt hơn. Tuy nhiên, do đặc điểm luồng chảy tuyến tính và tiếp xúc hạn chế với bề mặt cell, khả năng truyền nhiệt bị giới hạn, đặc biệt khi các cell ở trung tâm không nhận được lượng làm mát tương xứng như ở viền

ngoài. Điều này khiến hiệu quả làm mát ở mô hình này chỉ ở mức trung bình, nhất là khi thời gian sạc kéo dài.

Ngược lại, mô hình 1 tầng – so le lại tạo ra hiệu ứng xáo trộn dòng (turbulence) mạnh hơn nhờ sự lệch hướng giữa các hàng cell, từ đó tăng cường quá trình trao đổi nhiệt tại bề mặt cell. Tuy nhiên, hiệu ứng này chỉ phát huy hiệu quả khi lưu lượng chất làm mát đủ lớn. Khi lưu lượng thấp (0.008 kg/s), sự phân bố dòng không đều và hiện tượng tụ nhiệt tại các góc khuất dễ xảy ra, dẫn đến nhiệt độ trung bình cao hơn đáng kể. Điều này cho thấy hiệu suất làm mát của cấu hình so le khá nhạy cảm với điều kiện vận hành.

Mô hình 2 tầng – thẳng hàng nổi bật nhất về hiệu quả nhiệt nhờ sự kết hợp giữa cấu trúc phân bố dòng đều và diện tích tiếp xúc tăng lên đáng kể. Việc chia tầng không chỉ phân tán nhiệt hiệu quả hơn mà còn cải thiện vận tốc dòng chảy ở các lớp khác nhau, tạo điều kiện thuận lợi cho dòng chất làm mát tiếp cận toàn bộ bề mặt pin. Kết quả đo cho thấy mô hình này duy trì nhiệt độ ổn định hơn hẳn so với các mô hình còn lại, đặc biệt là ở thời điểm 1080 giây – tương đương với giai đoạn sạc kéo dài trong điều kiện thực tế.

Bên cạnh cấu hình bố trí, lưu lượng dòng chất làm mát là yếu tố không thể tách rời trong việc điều chỉnh hiệu suất nhiệt. Khi tăng lưu lượng từ 0.008 kg/s lên 0.01 kg/s, nhiệt độ trung bình giảm rõ rệt từ 2 đến 3°C ở hầu hết các mô hình, cho thấy rằng dòng chảy mạnh hơn có khả năng mang nhiệt ra khỏi hệ thống nhanh hơn. Tuy nhiên, điều này đi kèm với yêu cầu về công suất bơm cao hơn, từ đó làm tăng chi phí vận hành và tiêu thụ năng lượng tổng thể. Chính vì vậy, việc lựa chọn lưu lượng cần được tối ưu hóa theo hướng cân bằng giữa hiệu quả làm mát và chi phí hệ thống. Trong bối cảnh này, mô hình 2 tầng – thẳng hàng với lưu lượng 0.01 kg/s được đánh giá là cấu hình tối ưu nhất, mang lại hiệu suất làm mát cao nhất với chi phí vận hành hợp lý.

Khi xem xét yếu tố thời gian sạc, xu hướng tăng nhiệt độ trung bình theo thời gian là hoàn toàn dễ hiểu và phù hợp với thực tiễn hoạt động của pin. Ở thời điểm sạc ban đầu (1 giây), các mô hình chưa có sự khác biệt đáng kể về nhiệt độ do lượng nhiệt sinh ra còn thấp. Tuy nhiên, tại các mốc thời gian kéo dài hơn như 540 giây và đặc biệt là 1080 giây, sự chênh lệch nhiệt độ giữa các mô hình bắt đầu rõ rệt. Mô hình 1 tầng – thẳng hàng bắt đầu ghi nhận hiện tượng tích nhiệt, trong khi mô hình 2 tầng – thẳng hàng vẫn giữ được mức nhiệt độ tương đối ổn định. Điều này phản ánh khả năng làm

mát duy trì trong thời gian dài là một tiêu chí quan trọng, đặc biệt trong bối cảnh sạc nhanh – nơi dòng điện lớn khiến nhiệt độ tăng nhanh và liên tục.

Từ các yếu tố nêu trên, có thể kết luận rằng hiệu quả tản nhiệt của hệ thống làm mát cho pin phụ thuộc đồng thời vào ba yếu tố chính: cấu hình hình học, lưu lượng dòng chảy, và thời gian sạc. Trong số các phương án đã khảo sát, mô hình 2 tầng – thẳng hàng kết hợp với lưu lượng 0.01 kg/s cho thấy khả năng kiểm soát nhiệt độ vượt trội, giúp hệ thống vận hành ổn định và an toàn trong suốt quá trình sạc. Đây là lựa chọn đầy tiềm năng cho các hệ thống pin xe điện thế hệ mới, đặc biệt trong điều kiện yêu cầu sạc nhanh và hiệu suất cao ngày càng phổ biến trên thị trường.

## **KẾT LUẬN**

Từ các phân tích và mô phỏng đã thực hiện, có thể rút ra rằng hiệu quả làm mát của hệ thống pin xe điện phụ thuộc chặt chẽ vào ba yếu tố chính: cấu hình bố trí cell pin, lưu lượng chất làm mát, và thời gian sạc. Trong số các cấu hình đã khảo sát, mô hình hai tầng thẳng hàng thể hiện ưu thế vượt trội về hiệu suất truyền nhiệt, nhờ vào sự phân bố dòng chảy đồng đều, diện tích tiếp xúc lớn và khả năng duy trì nhiệt độ ổn định trong suốt quá trình sạc, đặc biệt là trong điều kiện sạc nhanh.

Việc tăng lưu lượng chất làm mát góp phần nâng cao hiệu quả tản nhiệt, giảm thiểu nguy cơ hình thành các vùng quá nhiệt. Tuy nhiên, sự gia tăng lưu lượng cũng kéo theo yêu cầu về năng lượng bơm cao hơn, đặt ra bài toán cần tối ưu hóa giữa hiệu quả nhiệt và chi phí vận hành. Trong bối cảnh đó, cấu hình hai tầng thẳng hàng kết hợp với lưu lượng chất làm mát cao được đánh giá là phương án cân bằng tốt giữa hiệu quả làm mát và hiệu suất năng lượng.

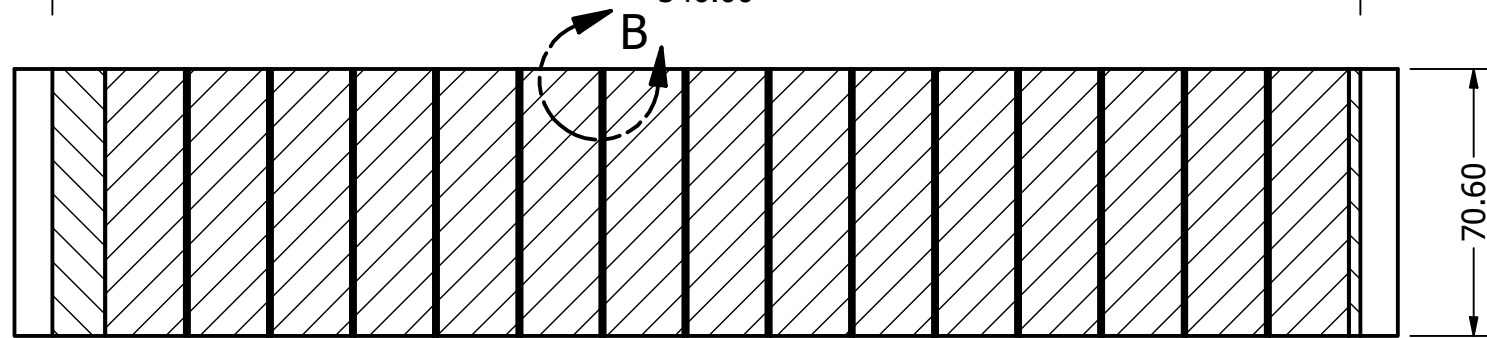
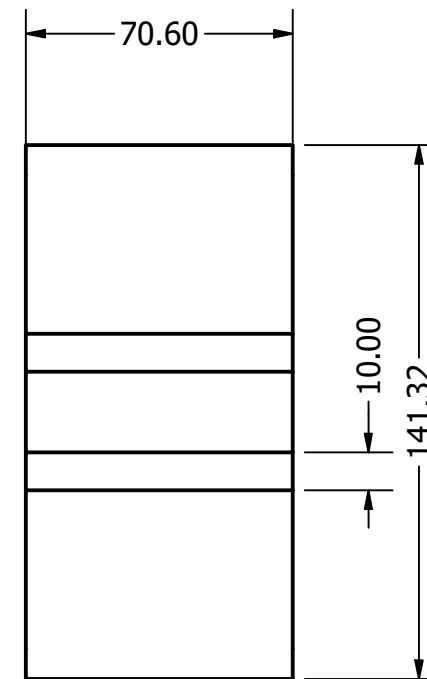
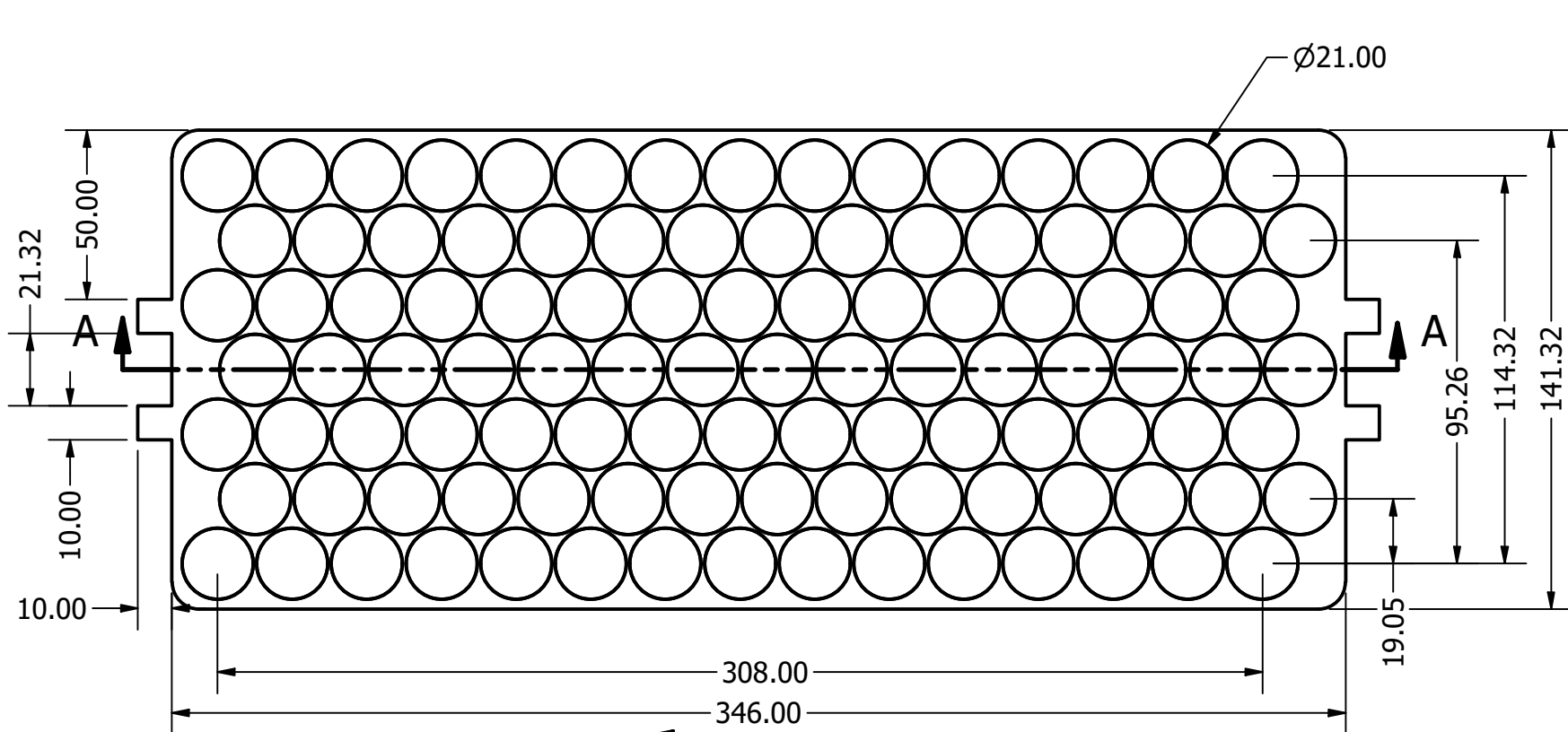
Ngoài ra, sự khác biệt về hiệu suất tản nhiệt giữa các mô hình trở nên rõ rệt hơn theo thời gian. Điều này cho thấy tầm quan trọng của thiết kế hệ thống làm mát không chỉ ở khả năng đáp ứng tức thời, mà còn phải đảm bảo độ ổn định nhiệt lâu dài, phù hợp với các chiến lược sạc nhanh đang ngày càng phổ biến hiện nay.

Tổng thể, các kết quả thu được mang lại ý nghĩa thực tiễn rõ rệt trong việc định hướng thiết kế và tối ưu hóa hệ thống làm mát cho bộ pin xe điện, từ đó góp phần nâng cao độ bền, độ an toàn và hiệu suất vận hành của toàn hệ thống lưu trữ năng lượng.

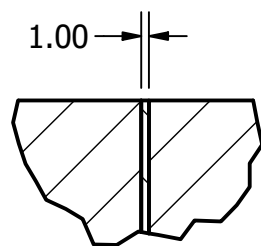
## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Thẩm Bội Châu, Trần Thế Nam, Nghiên cứu quá trình trao đổi nhiệt trong module pin lithium 18650 sử dụng trên xe điện bằng phương pháp số, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, ISSN 1859-312X.
- [2] Phạm Quốc Thái, Trần Thuận Hoàng, Dương Văn Hòa, Nông Trọng Tú, Dư Văn Ngân, Ngô Tấn Thông, Phan Văn Bình, Huỳnh Đức Trí, Lê Lít, Estimation of the State of Lithium-ion Battery for Electric Vehicles Using Extended Kalman Filter, Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng & Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam.
- [3] Trần Phước Định, Phạm Minh Mận, Nguyễn Lê Châu Thành, Bùi Văn Hùng, Tống Duy Quốc, Mô phỏng quá trình làm mát khối pin lithium trong xe điện ứng dụng phần mềm ANSYS Fluent, Tạp chí Khoa học và Công nghệ – Đại học Đà Nẵng, Tập 21, Số 11.2, 2023, tr. 71.
- [4] Z. An, L. Jia, Y. Ding, C. Dang, X. Li, A review on lithium-ion power battery thermal management technologies and thermal safety, -Journal of Thermal Science, 26 (2017) 391-412.
- [5] S. Hardman, E. Shiu, R. Steinberger-Wilckens, Changing the fate of Fuel Cell Vehicles: Can lessons be learnt from Tesla Motors?, International Journal of Hydrogen Energy, 40 (2015) 1625-1638.
- [6] L. Jin, P. Lee, X. Kong, Y. Fan, S. Chou, Ultra-thin minichannel LCP for EV battery thermal management, Applied Energy, 113 (2014) 1786-1794.
- [7] W. Wu, W. Wu, S. Wang, K. Chen, S. Hong, Y. Lai, A critical review of battery thermal performance and liquid based battery thermal management, Energy Conversion and Management, 182 (2019) 262-281.
- [8] T. Deng, G. Zhang, Y. Ran, P. Liu, Thermal performance of lithium ion battery pack by using cold plate, Applied Thermal Engineering, 160 (2019) 114088.
- [9] Z. Rao, X. Zhang, Investigation on thermal management performance of wedge-shaped microchannels for rectangular Li- ion batteries, International Journal of Energy Research, 43 (2019) 3876-3890.
- [10] Y. Wang, G. Zhang, X. Yang, Optimization of liquid cooling technology for cylindrical power battery module, Applied Thermal Engineering, 162 (2019) 114200.

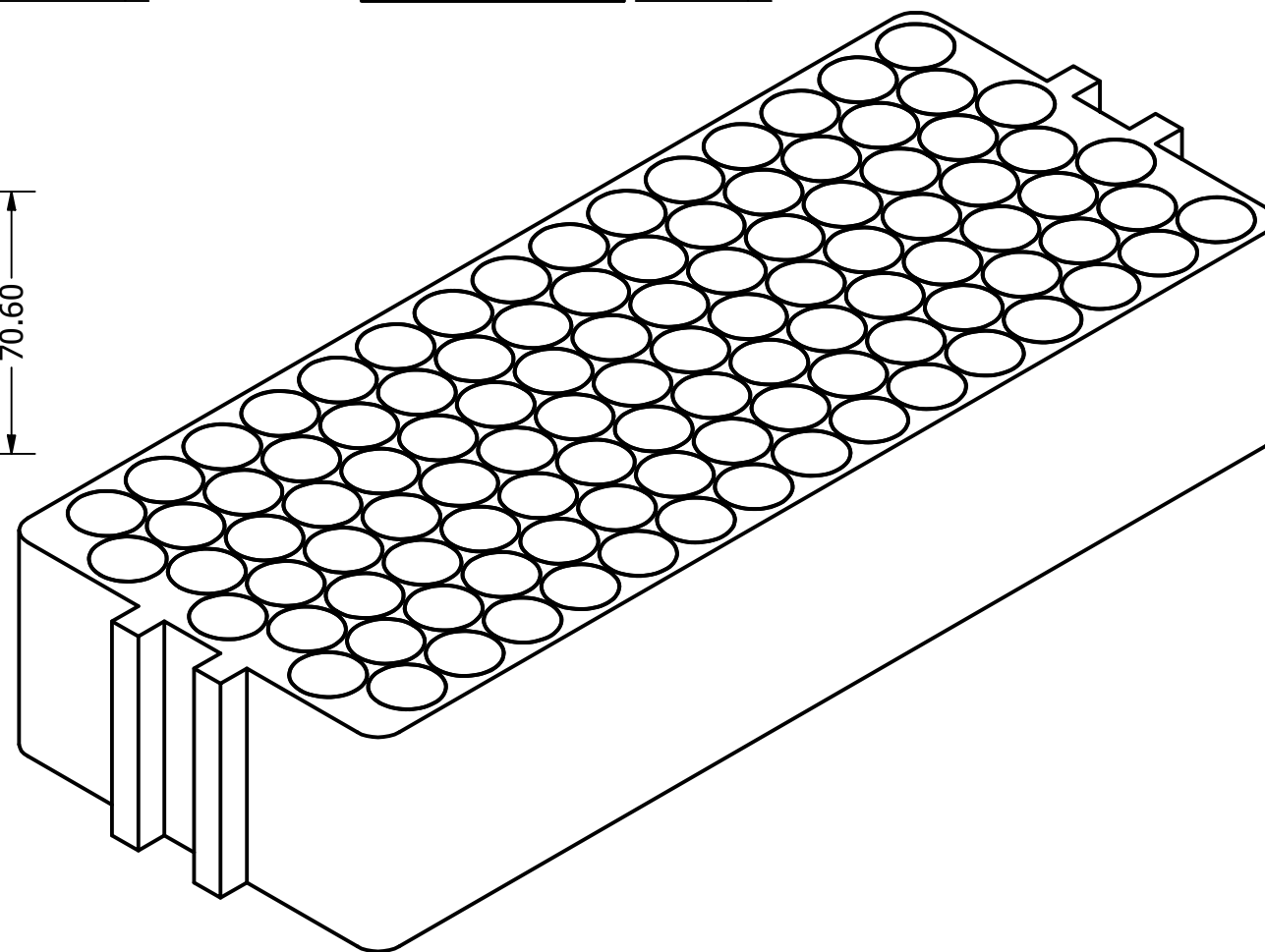
- [11] Y. Huo, Z. Rao, X. Liu, J. Zhao, Investigation of power battery thermal management by using mini-channel cold plate, *Energy Conversion and Management*, 89 (2015) 387-395.
- [12] A. Tang, J. Li, L. Lou, C. Shan, X. Yuan, Optimization design and numerical study on water cooling structure for power lithium battery pack, *Applied Thermal Engineering*, 159 (2019) 113760.
- [13] O. Yetik, T.H. Karakoc, A numerical study on the thermal performance of prismatic li-ion batteries for hibrid electric aircraft, *Energy*, 195 (2020) 117009.
- [14] Y. Alkhulaifi, N. Qasem, S. Zubair, Improving the performance of thermal management system for electric and hybrid electric vehicles by adding an ejector, *Energy Conversion and Management*, 201 (2019) 112133.
- [15] H.S. Hamut, I. Dincer, G.F. Naterer, Analysis and optimization of hybrid electric vehicle thermal management systems, *Journal of Power Sources*, 247 (2014) 643-654.
- [16] X. Gao, Y. Ma, H. Chen, Active thermal control of a battery pack under elevated temperatures, *International Feferation of Automatic Control*, 51 (2018) 262-267.
- [17] Y. Liu, J. Zhang, Self-adapting J-type air-based battery thermal management system via model predictive control, *Applied Energy*, 263 (2020) 114640.
- [18] Y. Hu, H. Chen, H. Chen, P. Wang, L. Ren, Nonlinear model predictive controller design based on learning model for turbocharged gasoline engine of passenger vehicle, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 109 (2018) 74-88.
- [19] L. Sourirajan, M. Subramanian, B.S. Arputharaj, P. Rajendran, P. Sakthivel, V. Raja, A. Karuppasamy, C.A. Saleel, N. Hasan, Multi-perspective behavioural investigations on coolant of battery thermal management systems in electrical vehicles using computational fluid dynamics, *Energy Science and Engineering*, (2024). <https://doi.org/10.1002/ese3.1555>.
- [20] N. Lee, W. Choi, J. Choi, D. Shin, S. Um, Experimental measurement and numerical analysis of dynamic heat transfer characteristics on NCA 21700 lithium-ion battery for electric vehicle applications during discharge process, Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Hanyang University, Korea Automotive Technology Institute, Poster presentation.



A-A (1:1)



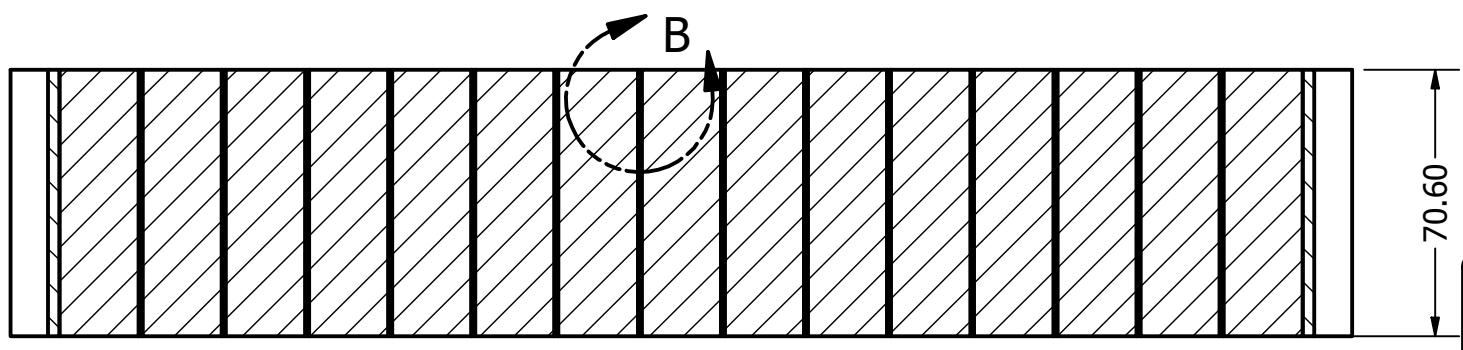
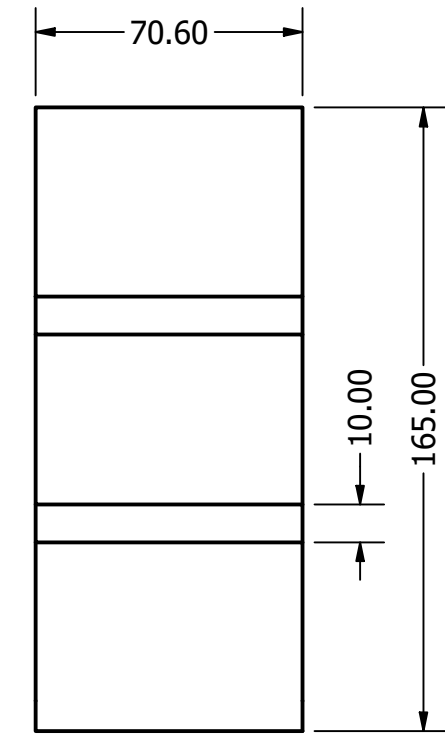
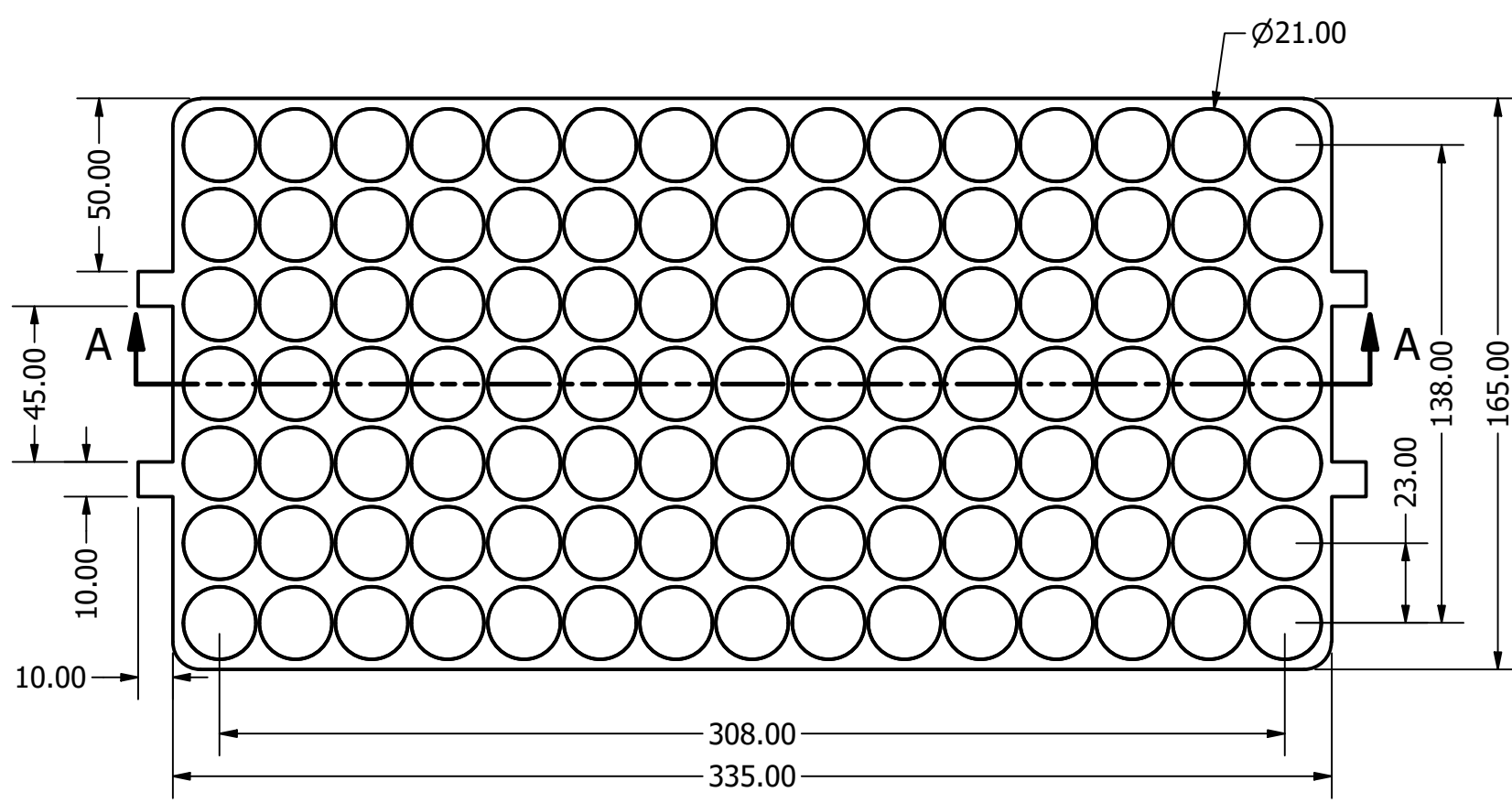
DETAIL B  
SCALE 1 : 1



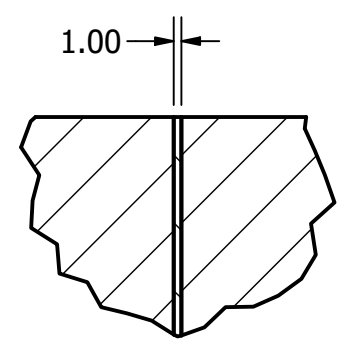
CAPSTONE PROJECT

Nghiên cứu giải pháp tối ưu cho hệ thống năng lượng trên ô tô

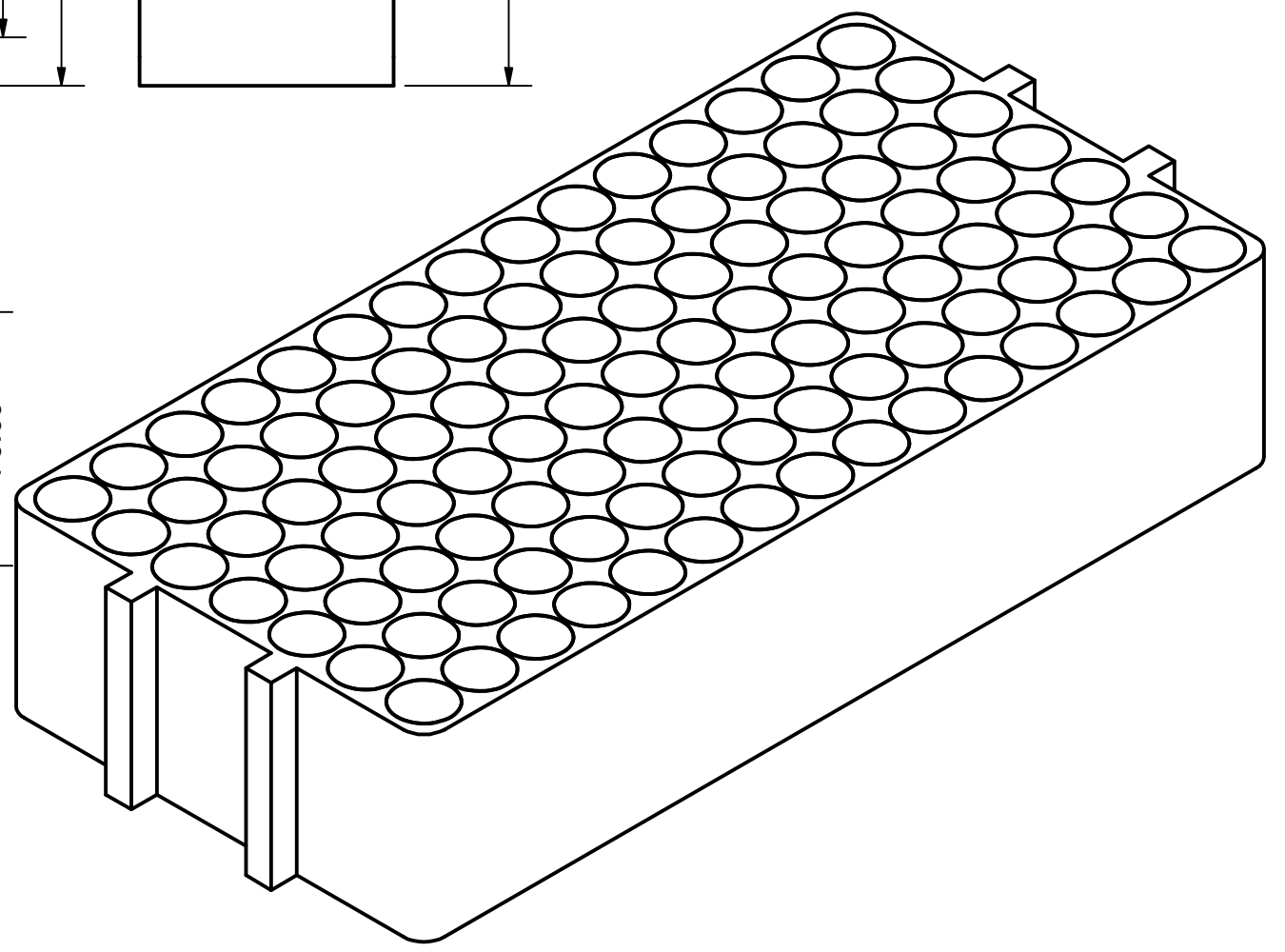
Nhiệm vụ	Họ và tên	kí	ngày	MÔ HÌNH 1 TẦNG BỐ TRÍ CÁC CELL PIN SO LE	Tỉ lệ	1:2
SVTH	Nguyễn Thái Sơn				Tờ số	1
Hướng dẫn	PGS.TS Phạm Quốc Thái TS.Võ Đại Quý				Khoa	Cơ Khí Giao Thông
Duyệt	TS.Hoàng Thăng				Trường	ĐH Bách Khoa -ĐHQĐHN



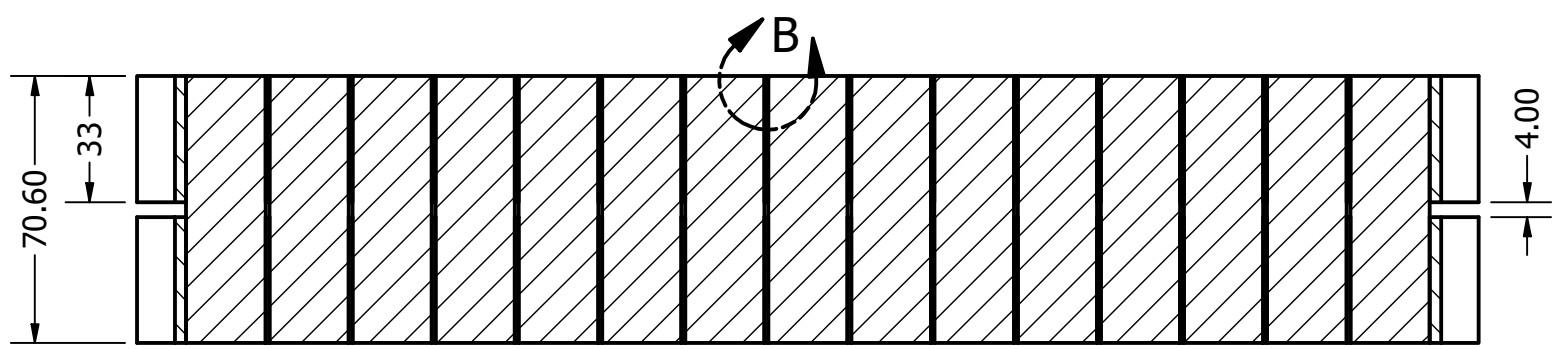
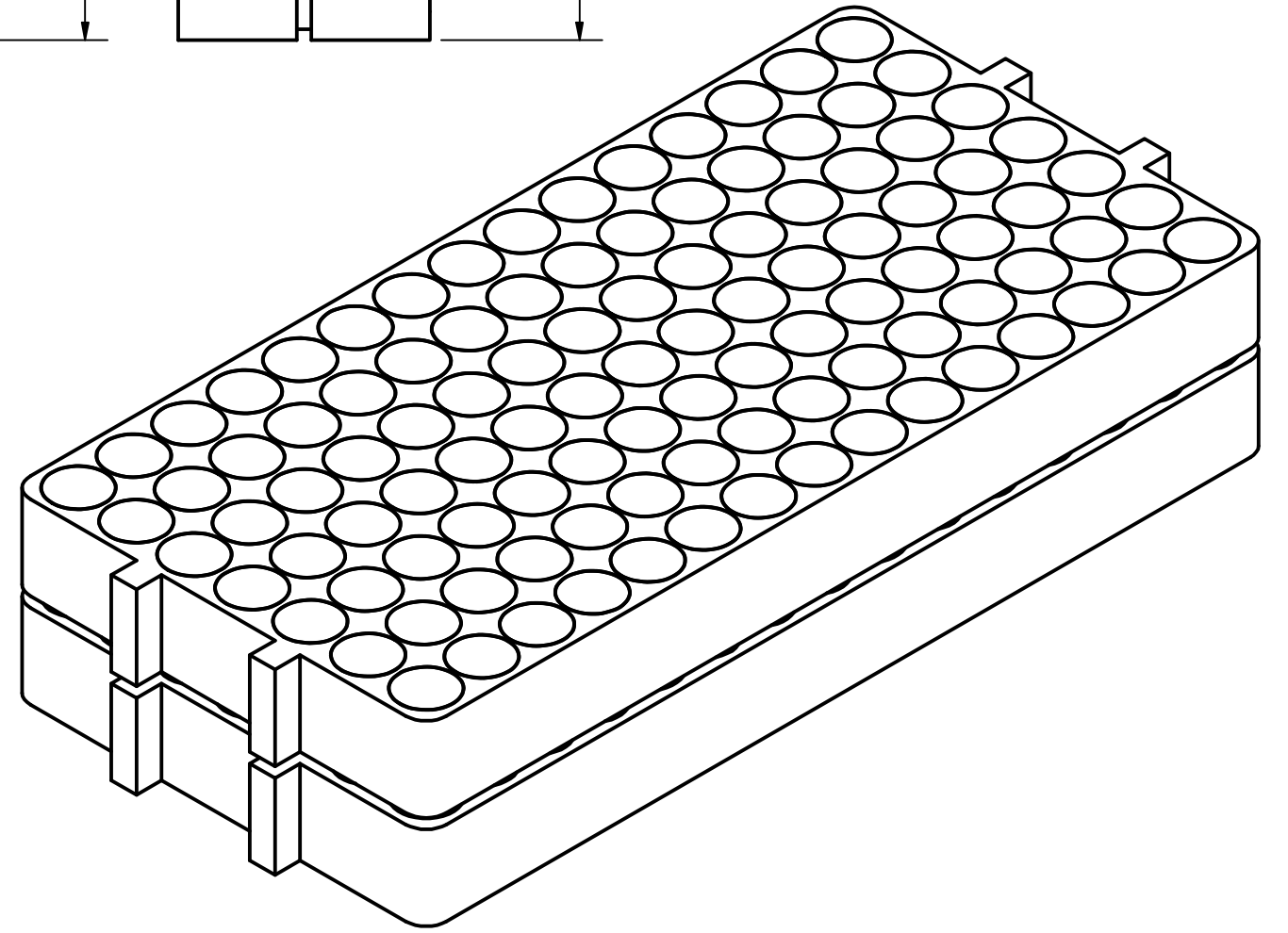
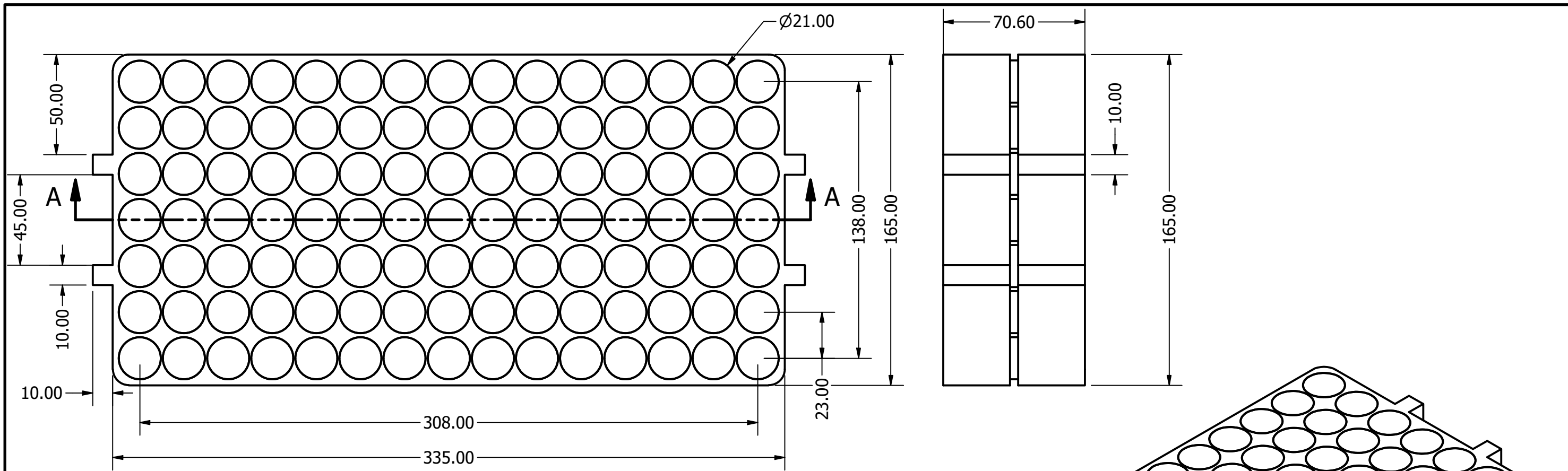
A-A (1:1)



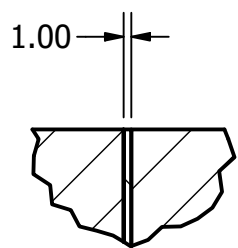
DETAIL B  
SCALE 1 : 1



CAPSTONE PROJECT						
Nghiên cứu giải pháp tối ưu cho hệ thống năng lượng trên ô tô						
Nhiệm vụ	Họ và tên	kí	ngày	MÔ HÌNH 1 TẦNG BỐ TRÍ CÁC CELL PIN THẲNG HÀNG	Tỉ lệ	1:2
SVTH	Nguyễn Thái Sơn				Tờ số	2
Hướng dẫn	PGS.TS Phạm Quốc Thái TS.Võ Đại Quí				Khoa	Cơ Khí Giao Thông
Duyệt	TS.Hoàng Thăng				Trưởng	ĐH Bách Khoa -ĐHQĐHN



A-A (1:1)



DETAIL B  
SCALE 1 : 1

CAPSTONE PROJECT						
Nghiên cứu giải pháp tối ưu cho hệ thống năng lượng trên ô tô						
Nhiệm vụ	Họ và tên	kí	ngày	MÔ HÌNH 2 TẦNG BỐ TRÍ CÁC CELL PIN THẲNG HÀNG	Tỉ lệ	1:2
SVTH	Võ Như Trung				Tờ số	3
Hướng dẫn	PGS.TS Phạm Quốc Thái TS.Võ Đại Quý				Khoa	Cơ Khí Giao Thông
Duyệt	TS.Hoàng Thăng				Trưởng	ĐH Bách Khoa -ĐHĐN