



## Hiện trạng, thách thức và xu thế của hệ thống tích trữ năng lượng dùng trong xe điện

Trần Hữu Phúc<sup>1,\*</sup>, Phạm Đức Cường<sup>2</sup>, Đoàn Thị Như Quỳnh<sup>2</sup>, Hoàng Thị Mỹ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghệ Đông Á

<sup>2</sup>Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

<sup>3</sup>Trường Cao Đẳng nghề Hải Dương

\*Email: [phucth@eaut.edu.vn](mailto:phucth@eaut.edu.vn)

### Tóm tắt

Hệ thống tích trữ năng lượng (Energy Storage System - ESS) đang ngày càng trở thành yếu tố quan trọng trong chuyển đổi năng lượng toàn cầu, đặc biệt là với sự phát triển của năng lượng tái tạo. Công nghệ pin tích trữ năng lượng, nhờ hiệu suất cao và giá thành giảm, đang chiếm ưu thế trên thế giới, trong đó các công nghệ mới như pin thể rắn đang được nghiên cứu. Tại Việt Nam, ESS còn ở giai đoạn phát triển ban đầu, chủ yếu ứng dụng trong các dự án điện mặt trời và điện gió, nhưng thiếu cơ sở hạ tầng và chính sách hỗ trợ. Các thách thức chính bao gồm: chi phí cao, tuổi thọ pin hạn chế, vấn đề an toàn và tác động môi trường. Đặc biệt, Việt Nam đối mặt với thách thức lớn là thiếu nguồn nhân lực chất lượng cao và công nghệ nội địa. Để phát triển ESS, cần xây dựng chính sách hỗ trợ, thúc đẩy hợp tác quốc tế và đầu tư vào nghiên cứu công nghệ mới, nhằm hướng tới một tương lai năng lượng bền vững. Bài báo này sẽ trình bày tổng quan về các loại pin tích trữ năng lượng và nêu rõ hiện trạng cũng như các thách thức đối với việc phát triển công nghệ pin tích trữ năng lượng, không chỉ ở Việt Nam mà còn trên toàn cầu.

**Từ khóa:** Hệ thống tích trữ năng lượng (ESS), xe điện (Electric Vehicle-EV), pin Li-ion.

### Abstract

Energy Storage Systems (ESS) are increasingly becoming a critical component in the global energy transition, particularly with the rapid growth of renewable energy sources. Battery energy storage technologies, thanks to their high efficiency and declining costs, are gaining dominance worldwide, with emerging technologies such as solid-state batteries currently under active research. In Vietnam, ESS is still in an early stage of development, mainly applied in solar and wind power projects, but faces limitations in infrastructure and supporting policies. Key challenges include high costs, limited battery lifespan, safety concerns, and environmental impacts. Notably, Vietnam also faces a significant shortage of high-quality human resources and domestic technological capabilities. To promote ESS development, it is necessary to establish supportive policies, enhance international collaboration, and invest in advanced technology research, aiming toward a sustainable energy future. This paper provides an overview of battery energy storage technologies and highlights the current status as well as the challenges in developing energy storage technologies, not only in Vietnam but also globally.

**Keywords:** Energy Storage System (ESS), Electric Vehicle (EV), Li-ion battery.

## 1. Đặt vấn đề

Hệ thống tích trữ năng lượng đóng vai trò quan trọng trong việc thu hẹp khoảng cách giữa sản xuất và tiêu thụ năng lượng, mang lại lợi ích không chỉ cho lưới điện mà còn cho người tiêu dùng cá nhân. Ngày càng nhiều ngành công nghiệp khám phá các ứng dụng của ESS, bao gồm xe điện (EV), tích trữ năng lượng tái tạo, triển khai lưới điện vi mô/thông minh và hơn thế nữa. Các thế hệ xe EV mới nhất có khả năng thay thế đáng tin cậy cho động cơ đốt trong (Internal Combustion Engine - ICE) truyền thống. Các phương tiện giao thông chạy bằng ICE (ô tô, xe tải, máy bay, v.v.) sử dụng nhiên liệu hóa thạch, thải ra khí CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO và NO, gây ô nhiễm không khí và làm trầm trọng thêm hiệu ứng nhà kính. Lượng khí thải carbon ngày càng tăng là nguyên nhân chính của biến đổi khí hậu, trở thành mối quan tâm hàng đầu của giới khoa học.

Tuy nhiên, vẫn cần nghiên cứu sâu rộng về nhiều vấn đề, bao gồm lựa chọn giải pháp tích trữ pin phù hợp, phát triển phương pháp sạc nhanh, cải tiến thiết bị điện tử công suất, tối ưu hóa khả năng chuyển đổi và tích hợp các thuật toán hybrid. Bài viết này cung cấp cái nhìn tổng quan về các hệ thống tích trữ năng lượng điện hóa hiện nay, như pin lithium-ion (Li-ion), pin axit-chì, pin niken-cadmium, pin Ni-MH và pin lithium-polimer.

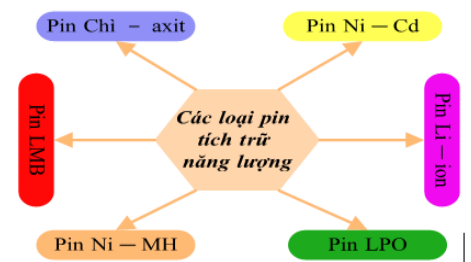
Pin lithium (Lithi) ngày càng trở nên quan trọng trong ngành công nghiệp tích trữ năng lượng điện nhờ mật độ năng lượng và năng lượng riêng cao. Các tài liệu nghiên cứu cung cấp một bản tổng quan toàn diện về những tiến bộ chính và các hạn chế của pin Li-ion. Pin Li-ion được phân loại là một biến thể của pin lithi, sử dụng vật liệu điện cực chứa hợp chất lithi xen kẽ. Các tác giả Shaik Nyamathulla và C. Dhanamjayulu [1] đã nghiên cứu khả năng tích trữ năng lượng của pin Li-ion và các loại pin khác. Các tác giả này cũng đưa ra các hệ thống quản lý năng lượng của pin tích trữ năng lượng. Từ đó đưa ra các xu hướng mới của hệ thống quản lý năng lượng trong tương lai đối với hệ thống pin tích trữ năng lượng.

Một số nội dung chính của bài báo gồm:

- Phân tích các công nghệ tích trữ pin, vật liệu, tính chất và hiệu suất của các loại pin sử dụng cho xe EV;
- Đưa ra các thách thức và thực trạng của hệ thống pin tích trữ năng lượng trên thế giới và Việt Nam;
- Đưa ra xu hướng phát triển trong tương lai của hệ thống pin tích trữ năng lượng.

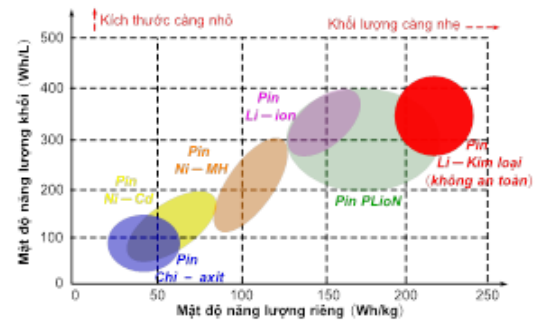
## 2. Tổng quan về tích trữ năng lượng điện hoá

Các phương pháp điện hóa, chủ yếu sử dụng pin và tụ điện, có thể tích trữ năng lượng điện. Pin được coi là công nghệ tích trữ năng lượng ổn định, bao gồm những đặc điểm nổi bật như mật độ năng lượng và điện áp cao [2]. Hình 1 hiển thị một số loại pin tích trữ năng lượng đang được nghiên cứu hiện nay trên thế giới.



Hình 1. Các loại pin tích trữ năng lượng [3]

Các nghiên cứu về các vật liệu điện cực và chất điện phân nhằm mục đích nâng cao tính khả thi về kinh tế, mật độ năng lượng, mật độ công suất, tuổi thọ chu kỳ và các đặc tính an toàn của pin. Hình 2 hiển thị mật độ năng lượng riêng và thể tích của các loại pin khác nhau trong hệ thống tích trữ năng lượng bằng pin [1]. Sau đây, tiến hành khảo sát và đánh giá các đặc tính, phẩm chất và thành phần thiết yếu của tích trữ pin trong bối cảnh ứng dụng xe EV đang phổ biến trên toàn cầu [2].



Hình 2. Các loại pin ứng với năng lượng khối và năng lượng riêng khác nhau [2]

### 2.1. Pin chì-axit

Như thấy trong Hình 2, pin chì - axit có mật độ năng lượng riêng thấp, thường dao động từ (20-40) Wh/kg [3]. Một quãng đường 200 km sẽ cần khoảng 150 kg pin Li-ion, nhưng lại cần hơn 500 kg bình ắc quy chì [4]. Ngoài ra, chu kỳ sạc và tuổi thọ của pin này ngắn hơn so với các công nghệ khác [5]. Hơn nữa, Pin chì-axit là một công nghệ đã hoàn thiện và được biết đến rộng rãi khó có khả năng cải tiến. Đây là lý do tại sao công nghệ này không được xem xét sử dụng trong các xe thuần điện chạy. Tuy nhiên, chi phí thấp của pin này (khoảng 100 USD/kWh) làm cho pin chì-axit phù hợp với các phương tiện nhỏ có hiệu suất thấp và quãng đường di chuyển ngắn trong khu vực [4].

### 2.2. Pin Ni-Cd

Mật độ năng lượng của pin niken-cadmium (Ni-Cd) cao nên đã được sử dụng rộng rãi vào những năm 1990. Công nghệ pin Ni-Cd được ứng dụng trong các lĩnh vực như viễn thông và mạng di động để nâng cao các yếu tố như chất lượng điện và tích trữ năng lượng. Phương trình (1) cho thấy phản ứng điện hóa của một pin Ni-Cd, trong đó Cd được sử dụng làm cực âm và NiO(OH) được sử dụng làm cực dương trong môi trường điện môi KOH [6]:



trong đó: - Tại cực dương:  $NiO(OH) + H_2O + e^- \rightleftharpoons Ni(OH)_2 + OH^-$   
(2)

- Tại cực âm:  $Cd + 2OH^- \rightleftharpoons Cd(OH)_2 + 2e^-$  (3)

So sánh với pin Ni-MH thì pin Ni-Cd có tuổi thọ dài hơn nhiều với khoảng 1500 chu kỳ sạc. Tuy nhiên pin này nhanh hỏng do xả điện sâu và thời gian sạc nhanh. Cadmium là kim loại có nguy cơ gây tác hại đến môi trường và sức khỏe của người sử dụng, đây là một trong những nhược điểm lớn của vật liệu này [7].

### 2.3. Pin Li-ion

Pin lithium-ion (Li-ion) được xem là một trong những công nghệ pin hàng đầu được sử dụng trong các phương tiện xe EV. Mật độ năng lượng cao, hiệu suất lớn hơn, chu kỳ tuổi thọ dài hơn và hiệu suất tốt hơn ở nhiệt độ cao là những đặc điểm nổi bật của pin Li-ion. Lithi duy trì tiềm năng oxi hóa khử thấp nhất, khoảng (-3,05 V), và độ tương đương điện hóa lớn nhất là (3,86 Ah/g) [8]. Ưu điểm quan trọng nhất của pin này là khả năng tái chế. Tuy nhiên, sự khan hiếm về vật liệu và chi phí cao (135 USD /kWh) là những nhược điểm đáng kể của loại pin này [7]. Hiệu suất của pin li-ion phụ thuộc vào vật liệu. Vật liệu dùng cho cực dương là các graphite, vật liệu dùng cho cực âm là các hợp chất oxide kim loại chuyển tiếp như LiCoO<sub>2</sub>, LiMnO<sub>2</sub>, v.v [9].

#### 2.3.1. Pin LCO

Nhà nghiên cứu John Goodenough, Đại học Texas đã công bố sự tồn tại của các oxit kim loại chuyển tiếp trong năm 1980 [8]. Chúng được xem là một trong những điện cực dương được sử dụng phổ biến nhất. Năm 1991, Sony đã công bố pin LCO và sử dụng coban oxit làm cực âm, đây là vật liệu được sử dụng phổ biến nhất trong công nghệ pin Li-ion. Dung lượng lý thuyết của LCO khoảng 274 mAh/g với dung lượng khối cao là 1363 mAh/cm<sup>3</sup>. Pin này có mật độ năng lượng cao, tuổi thọ vừa phải và đảm bảo an toàn đáng kể, phù hợp với các thiết bị như máy ảnh, máy tính xách tay và máy tính bảng. Tuy nhiên, pin LCO hoạt động không ổn định trong điều kiện làm việc với dòng điện sạc-xả cao. Do đó, cần có các biện pháp bảo vệ thích hợp để tránh quá nhiệt. Ngoài ra, chi phí của coban khá cao nên cần có một vật liệu cực âm thay thế coban để nâng cao tính phù hợp của LCO trong các phương tiện EV [10].

#### 2.3.2. Pin LMO

Pin Lithium Mangan Oxit (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) – LMO đôi khi được gọi là pin lithium manganate hoặc pin lithium ion mangan, hoặc pin Spinel li-mangan hoặc mangan. Công nghệ cho loại pin



này lần đầu tiên được phát hiện vào những năm 1980 [11]. Phòng thí nghiệm Bellcore đã phát triển công nghệ pin LMO vào năm 1994. Kiến trúc spinel 3D của LMO giúp giảm điện trở bên trong và đồng thời tăng cường dòng điện sạc/xả. Nó có thể chứa nhiều năng lượng hơn 50% so với các loại pin sử dụng niken. Dung lượng lý thuyết của LMO khoảng 148 mAh/g. LMO nguyên bản đảm bảo 95% khả năng cung cấp dung lượng của nó, lớn hơn nhiều đối với LCO [12]. Tuy nhiên, kiến trúc spinel 3D này lại ảnh hưởng tiêu cực đến chu kỳ sạc, tuổi thọ pin và hiệu suất. Ở nhiệt độ cao Mangan trong LMO sẽ bị phân huỷ mạnh mẽ dẫn đến mất mát dung lượng lớn. Dung lượng của LMO thấp hơn khoảng 33% so với các pin sử dụng coban [13]. Hiện nay, LMO được ứng dụng trong công nghệ xe điện Nissan Leaf [14].

### 2.3.3. Pin LFP

Đại học Texas đã phát hiện ra rằng phốt phat có thể được sử dụng làm vật liệu cực dương cho pin lithium vào năm 1996. Cực dương này ổn định trong điều kiện sạc quá mức và có thể chịu được nhiệt độ cao mà không bị phân huỷ [15]. Pin LFP được làm từ vật liệu phốt phat ở kích thước nano có điện trở thấp, tuổi thọ dài, khả năng xử lý tải cao, độ an toàn và ổn định nhiệt được cải thiện, không có tác động độc hại và chi phí thấp hơn. Khi sạc quá mức hoặc sạc không đầy sẽ làm năng lượng riêng bị giảm nhưng vẫn thấp hơn so với pin LMO. Pin LFP có nhược điểm là hiệu suất giảm nhiều khi làm việc trong môi trường có nhiệt độ quá cao hoặc quá thấp. Pin LFP có khả năng cung cấp năng lượng riêng khoảng 160 mAh/g và điện áp danh định 3,40 V [16].

### 2.3.4. Pin LNMC

Hiện nay, các công ty sản xuất pin tập trung vào việc nghiên cứu hỗn hợp cực dương từ niken-mangan-coban. Sử dụng cực dương loại này nhằm mục đích nâng cao năng lượng riêng hoặc công suất của pin. Niken có năng lượng riêng cao nhưng không ổn định. Ngược lại Mangan đặc biệt ổn định nhưng lại có năng lượng riêng thấp. Sự kết hợp này có thể tận dụng lợi ích của mỗi nguyên tố để tạo ra một hợp chất hóa học ổn định với năng lượng riêng cao [17].

Hỗn hợp cực dương của pin LNMC với tỷ lệ 33% niken, 33% mangan và 34% coban mang lại một công thức mới giúp giảm chi phí nguyên liệu thô nhờ hàm lượng coban thấp hơn. Hiện tại, loại pin này đang được ưa chuộng trong các ứng dụng xe EV nhờ năng lượng riêng cao và tỷ lệ tự sinh nhiệt thấp.

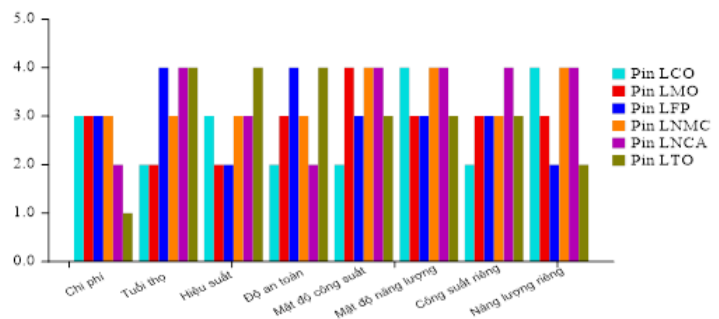
### 2.3.5. Pin LNCA

Pin LNCA được giới thiệu vào năm 1999. Pin này chiếm một phần nhỏ trong thị trường pin toàn cầu. Việc sử dụng niken làm vật liệu cathode giúp giảm sự phụ thuộc vào coban trong lithium cobalt oxit [18]. Hiện nay, các ngành công nghiệp ô tô đang chú trọng vào việc sản xuất pin NCA nhờ những ưu điểm vượt trội như: năng lượng riêng cao, mật độ công suất lớn và tuổi thọ dài cũng như cân nhắc đến yếu tố chi phí và an toàn. Tesla đang sử dụng công nghệ pin LNCA để phát triển các dòng xe điện.

### 2.3.6. Pin LTO

Pin lithium-titanium-oxide (LTO) sử dụng các tinh thể nano lithium-titanate thay cho carbon trên bề mặt cực dương của nó. Điều này giúp cực dương có diện tích bề mặt khoảng 100 mét vuông trên một gam, so với 3 mét vuông trên một gam của carbon, cho phép các electron đi vào và thoát ra khỏi cực dương một cách nhanh chóng. Pin LTO có hiệu suất hoạt động cao ngay cả trong điều kiện nhiệt độ đóng băng [19].

Hiệu suất của các loại pin Li-ion liên quan đến năng lượng riêng hoặc dung lượng, công suất riêng hoặc khả năng truyền dòng điện cao, mật độ năng lượng, độ an toàn, hiệu suất ở các nhiệt độ khác nhau, tuổi thọ và chi phí (hình 3). Pin LNCA sử dụng hợp chất  $\text{LiNiCoAlO}_2$  làm vật liệu điện cực. Sự kết hợp các vật liệu Niken, Coban và Oxit Nhôm đã tạo nên khả năng cung cấp năng lượng mạnh mẽ với mật độ năng lượng cao, đạt mức 322 Wh/kg.



Hình 3. Điểm số đánh giá các thông số kỹ thuật và chi tiêu kinh tế của các loại pin Li-ion

Đặc tính này giúp cho pin NCA có trọng lượng nhẹ, kích thước nhỏ hơn nhiều so

với các loại pin khác cùng dung lượng. Pin LTO với nhiều ưu điểm như tuổi thọ, hiệu suất và độ an toàn cao, tuy nhiên chi phí lớn (điểm số đánh giá thấp nhất trên bảng so sánh chi phí), năng lượng riêng thấp và mật độ công suất và năng lượng ở mức trung bình. Pin LCO và LMO có các đặc tính trung bình. Khi xem xét ứng dụng của pin Li-ion trong xe điện, chu kỳ sống và các tính năng an toàn nên được coi trọng hơn dung lượng. Việc lựa chọn vật liệu là rất quan trọng, đặc biệt là đối với điện cực dương. Vật liệu các điện cực đóng vai trò then chốt trong việc xác định các đặc tính chính của pin, bao gồm công suất đầu ra, độ an toàn, chi phí và tuổi thọ.

#### 2.4. Pin Ni-MH

Ngành công nghiệp pin Ni-MH đã trải qua quá trình phát triển nhanh chóng kể từ khi Nhật Bản bắt đầu sản xuất pin Ni-MH với số lượng lớn vào năm 1990, và các nhà sản xuất pin nổi tiếng ở nhiều quốc gia cũng đã đẩy nhanh sự phát triển công nghiệp của pin Ni-MH [20]. Mật độ năng lượng theo khối lượng của pin Ni-MH cỡ AA đã được nâng từ 54 Wh/kg lên 110 Wh/kg và mật độ năng lượng theo thể tích tăng từ 190 Wh/L lên 490 Wh/L tương ứng [21]. Công suất của chúng đã tăng từ (200-1200) W/kg trên thị trường thương mại lên đến 2000 W/kg ở mức độ phát triển.

#### 2.5. Pin LPO

Vào đầu thế kỷ 21, công nghệ pin lithium-ion đã bắt đầu thay đổi mô hình từ các tế bào điện phân lỏng sang điện phân dạng gel polymer. Công nghệ pin này thường được gọi là pin lithium-ion polymer (LPO) (hay còn gọi là pin Lipo) [22]. Công nghệ pin LPO là một loại pin thứ cấp bao gồm một chất điện phân polymer trong chất điện phân lỏng được sử dụng trong các pin lithium-ion thông thường. Tất cả các tế bào Li-ion đều giãn nở ở mức độ sạc cao hoặc khi sạc quá mức do sự bay hơi nhẹ của chất điện phân. Điều này có thể dẫn đến sự tách lớp và tiếp xúc kém giữa các lớp bên trong của tế bào, từ đó làm giảm độ tin cậy và tuổi thọ chu kỳ tổng thể của tế bào. Pin LPO đã mang lại kết quả cao và đã thay thế pin Ni-MH trong các thiết bị điện tử di động như điện thoại thông minh và máy tính xách tay. Mật độ năng lượng và công suất cao khiến chúng trở thành ứng cử viên sáng giá cho các ứng dụng xe điện (EV) và xe lai điện (HEV).

#### 2.6. Pin Li-kim loại

Pin Li-kim loại (LMB) có dung lượng riêng lý thuyết cực cao (3860 mAh/g) và điện thế điện hóa âm nhất (-3,04 V so với điện cực hydro tiêu chuẩn) [23]. Khác với các tương tác kiểu xen kẽ trong cấu trúc cực âm có cấu trúc lớp, cực âm kim loại Li đơn giản chuyển đổi giữa kim loại Li và ion Li. Cụ thể, trong quá trình phóng điện, kim loại Li mất electron và bị oxy hóa thành ion Li, trong khi sạc, ion Li nhận electron và bị khử thành kim loại Li, lắng đọng trên cực âm kim loại Li. Về góc độ mật độ năng lượng, các loại pin sử dụng cực âm kim loại Li, chẳng hạn như pin Li-air (5210 Wh/kg) và pin Li-S (2600 Wh/kg), vượt trội so với pin Li-ion thương mại (250 Wh/kg) sử dụng cực âm graphite. Do vấn đề an toàn đã ảnh hưởng lớn đến việc ứng dụng của LMB vào thực tế. Dù vậy, với mật độ năng lượng cực cao vượt trội, pin dựa trên Li-kim loại có tiềm năng được thương mại hóa rộng rãi trong tương lai.

### 3. Thách thức và xu thế hiện nay của hệ thống tích trữ năng lượng sử dụng pin điện hóa

#### 3.1. Thách thức trên thế giới

Các phương tiện EV trong tương lai cần phải bền vững hơn để có thể cạnh tranh với các phương tiện chạy bằng xăng thông thường, và chúng cần các hệ thống tối ưu hóa thông minh, điều khiển và quản lý để duy trì mức sạc của hệ thống lưu trữ pin. Cấu trúc đơn giản, thân thiện với môi trường, không gây tiếng ồn và hiệu suất cao là một số tính năng gia tăng giá trị của xe EV. Xe EV cũng cung cấp khả năng tăng tốc liên tục và mô-men xoắn cao tức thời. Tuy nhiên, có một số lĩnh vực mà xe EV còn hạn chế, nên xe EV vẫn đang trong quá trình phát triển, trong đó có cả khó khăn trong nghiên cứu và phát triển pin cho xe EV.

##### 3.1.1. Công nghệ sạc pin

Đây là một trong những vấn đề ảnh hưởng đến chất lượng và tuổi thọ của pin. Sạc nhanh gây ra dòng điện cao, dẫn đến sự gia tăng nhiệt độ, ảnh hưởng đến hiệu suất pin và rút ngắn tuổi thọ pin. Việc kết hợp nối tiếp và song song các pin nhỏ là cần thiết để tạo ra một hệ thống pin có cấu trúc an toàn, chi phí cạnh tranh và dung lượng cao trong một hình thức nhỏ gọn với hệ thống thông gió và làm mát. Trong tương lai, bộ điều khiển nên phân chia pin theo cách mà một số pin có thể sạc từ nguồn trong khi những pin khác cung cấp năng lượng cho động cơ. Một số tế bào pin đã được chia thành nhiều phân đoạn hơn để cho phép sạc nhanh [24]. Mặc dù công nghệ sạc nhanh đang phát triển, nhưng thời gian sạc pin vẫn còn lâu hơn so với thời gian đổ xăng của xe truyền thống.

##### 3.1.2. Ổn định hiệu suất và nhiệt độ pin

Pin là linh kiện nhạy cảm với nhiệt độ. Do vậy trong quá trình khai thác pin cần phải quan tâm đến việc quản lý nhiệt độ của nó. Một bộ pin gồm nhiều pin kết nối nối tiếp và song song. Hiệu suất của bộ pin khó theo dõi do các pin sạc/xả ở tốc độ khác nhau và hoạt động trong điều kiện nhiệt độ, trạng thái sạc và dung lượng khác nhau. Hệ thống quản lý pin (BMS) cần theo dõi sạc/xả từng tế bào để đảm bảo hiệu suất và kéo dài tuổi thọ pin [25]. Hai nhiệm vụ chính của BMS là cân bằng sạc và quản lý nhiệt. Cân bằng thụ động tiêu tán năng lượng dư qua điện trở, đòi hỏi phải có hệ thống làm mát. Cân bằng chủ động hiệu quả hơn bằng cách phân phối lại năng lượng giữa các tế bào, sử dụng thiết bị điện tử công suất để chuyển năng lượng từ tế bào mạnh sang tế bào yếu, tối đa hóa năng lượng và dung lượng. Quản lý nhiệt phải duy trì nhiệt độ an toàn, tránh suy giảm hiệu suất hoặc hư hỏng pin.

### **3.1.3. Tuổi thọ, phạm vi hoạt động và độ bền**

Tuổi thọ và độ bền của pin là hai thách thức lớn đối với sự phát triển và ứng dụng rộng rãi của các loại pin hiện đại, đặc biệt là trong lĩnh vực xe điện và các thiết bị lưu trữ năng lượng. Tuổi thọ pin thường bị ảnh hưởng bởi số chu kỳ sạc-xả, trong khi độ bền phụ thuộc vào khả năng chịu đựng các điều kiện môi trường và vận hành khắc nghiệt. Một trong những vấn đề chính là sự suy giảm dung lượng theo thời gian, khiến pin mất dần khả năng lưu trữ năng lượng. Nhiệt độ cao, quá tải, và sự hình thành các sợi nhánh (dendrite) trong pin cũng góp phần làm giảm tuổi thọ và độ bền. Để giải quyết các thách thức này, cần có sự kết hợp giữa cải tiến công nghệ pin, hệ thống quản lý nhiệt hiệu quả, và các phương pháp tái chế, tái sử dụng pin. Việc phát triển các loại pin mới như pin thể rắn và pin lithium-sulfur cũng hứa hẹn mang lại những cải tiến đáng kể về tuổi thọ và độ bền, nhưng vẫn cần thêm thời gian để hoàn thiện và thương mại hóa. Không những thế, công nghệ pin đã có cải thiện, nhưng phạm vi di chuyển của xe điện vẫn còn hạn chế so với xe chạy xăng, đặc biệt trong điều kiện thời tiết khắc nghiệt.

### **3.1.4. Nguy cơ an toàn cho xe điện**

Một loạt vấn đề liên quan đến an toàn hệ thống điện trong xe điện cần được giải quyết một cách hiệu quả. Vì xe điện không có động cơ ở phía trước – bộ phận thường đóng vai trò hấp thụ lực va chạm – nên trong trường hợp xảy ra tai nạn, tài xế và hành khách có thể bị đẩy sát vào xe phía trước. Khi pin bị hư hỏng do va chạm nghiêm trọng, điện áp cao có thể gây nguy hiểm cho tài xế và hành khách.

Ngoài ra, mặc dù nhiều công nghệ pin mới nổi hướng đến việc cải thiện độ an toàn so với pin truyền thống, các công nghệ hóa học mới vẫn tiềm ẩn những rủi ro nhất định. Ví dụ, trong khi pin thể rắn giảm thiểu nguy cơ cháy nổ, các vấn đề như sự hình thành sợi nhánh (dendrite) có thể dẫn đến đoản mạch nếu không được kiểm soát đúng cách. Đảm bảo an toàn trong các ứng dụng thực tế là một thách thức quan trọng cần được khắc phục để thúc đẩy sự phát triển bền vững của xe điện.

### **3.1.5. Chi phí sản xuất**

Chi phí công nghệ sản xuất pin thay đổi đáng kể từ quy mô nghiên cứu trong phòng thí nghiệm sang sản xuất thương mại, nhờ những cải tiến trong tổng hợp vật liệu, kỹ thuật và quy mô sản xuất mà hiệu quả kinh tế được tăng lên. Hơn nữa, các quy trình sản xuất tự động, bao gồm chuẩn bị hỗn hợp và phủ là các công nghệ mới dự kiến sẽ đưa vào sản xuất cực âm của pin làm cho chi phí sản xuất pin ngang bằng với chi phí sản xuất truyền thống vào năm 2030 [26]. Thách thức chính nằm ở việc phát triển chất điện phân thể rắn giá rẻ. Các ứng dụng lưu

trữ lưới điện quy mô lớn đang giúp giảm chi phí, với dự báo giảm 30% vào năm 2030 khi năng lực sản xuất tăng lên. Những công nghệ pin này hứa hẹn đạt được hiệu quả chi phí và khả năng mở rộng nhờ đổi mới vật liệu, sản xuất tối ưu và sản xuất quy mô lớn.

### ***3.1.6. Tác động đến môi trường***

Xe EV là phương tiện thân thiện với môi trường vì chúng có thể giảm lượng khí thải góp phần vào việc hạn chế biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, chúng có thể gây hại khi pin hết hạn sử dụng và không được chôn lấp hoặc tái chế đúng cách [27], hoặc nếu nguồn sạc là điện sản xuất từ các nguồn tài nguyên không tái tạo.

### ***3.1.7. Tích hợp các trạm sạc vào cơ sở hạ tầng***

Việc thiếu hụt cơ sở hạ tầng sạc pin, đặc biệt tại các khu vực nông thôn hoặc đang phát triển, là một rào cản lớn đối với sự phổ biến của xe điện (EV). Mặc dù công nghệ sạc nhanh có thể giúp giải quyết phần nào vấn đề này, nhưng việc gia tăng số lượng trạm sạc vẫn là yếu tố then chốt. Người dùng cần dễ dàng xác định và tiếp cận các trạm sạc gần nhất trước khi di chuyển. Sự thiếu hụt trạm sạc không chỉ hạn chế việc sử dụng xe điện mà còn có thể tác động tiêu cực đến xã hội. Để đảm bảo trải nghiệm thuận tiện và thoải mái cho chủ sở hữu, xe điện cần được sạc nhanh chóng và dễ dàng. Hơn nữa, cơ sở hạ tầng sạc xe điện phải được mở rộng để đáp ứng nhu cầu tăng trưởng mạnh mẽ của thị trường cũng như đa dạng hóa các tình huống sử dụng sạc khác nhau.

### ***3.1.8. Khả năng mở rộng và tích hợp với các hệ thống năng lượng khác***

Tương tác giữa xe điện và lưới điện (V2G) chưa bao giờ dễ dàng, nhưng việc xây dựng một hệ thống tích hợp có thể hỗ trợ một số lượng lớn xe điện vì lợi ích của cả hai bên đặt ra nhiều thách thức và vấn đề. Ví dụ, các nền tảng truyền thông, như băng thông mạng và bán kính thông tin của xe điện là cần thiết để tổng hợp và giảm độ trễ mạng. Các thách thức bao gồm luật pháp và thỏa thuận pháp lý. Các vấn đề quy định của Chính phủ và nâng cấp lưới điện cũng đóng một vai trò quan trọng trong bối cảnh này. Kết nối lưới điện xe điện có một số vấn đề chính như hiệu ứng Doppler của các dạng sóng tần số thay đổi, nhiễu liên kề của tín hiệu điện, suy giảm đa đường (có thể gây suy giảm và biến dạng tín hiệu), nhiễu từ các xe điện khác hoặc các nguồn khác, độ trễ truy cập do di chuyển giữa các đối tác và thời gian ổn định mạng. Các yêu cầu chi tiết cho truyền thông V2G như độ trễ mạng, băng thông mạng và thông tin bán kính thực tế cần được nghiên cứu. Các mối đe dọa an ninh cần được giải quyết trong dịch vụ sạc xe điện thông minh bằng cách sử dụng giao thức xác thực để đảm bảo tích hợp an toàn dữ liệu lưới điện.

### **3.1.9. Nguồn nguyên liệu chế tạo pin**

Một số công nghệ pin mới dựa vào các vật liệu có thể không có sẵn nhiều hoặc có thể gặp vấn đề về chuỗi cung ứng địa chính trị [28]. Ví dụ, Pin lithium-ion phụ thuộc vào các nguyên liệu như lithium, coban, và nicken, vốn có nguồn cung hạn chế và gây tranh cãi về đạo đức khai thác. Ngoài ra, nếu các vật liệu mới yêu cầu các nguyên tố hiếm, điều này có thể tạo ra các lo ngại về tính bền vững.

### **3.1.10. Hợp tác liên ngành trong chế tạo pin**

Sự tiến bộ của các công nghệ pin cho xe EV gần đây đòi hỏi sự hợp tác liên ngành, bao gồm các lĩnh vực như khoa học vật liệu, hóa học, kỹ thuật và khoa học môi trường. Việc thiết lập các nhóm liên ngành hiệu quả và thúc đẩy sự hợp tác giữa các viện nghiên cứu, các trường đại học và ngành công nghiệp có thể phức tạp nhưng rất cần thiết để vượt qua các thách thức hiện có.

Mặc dù các công nghệ pin mới mang lại những cơ hội để cải thiện các giải pháp tích trữ năng lượng, chúng cũng đi kèm với nhiều thách thức và hạn chế. Giải quyết các vấn đề này thông qua nghiên cứu, phát triển và hợp tác tập trung sẽ là yếu tố quan trọng để khai phá tiềm năng đầy đủ của các công nghệ đổi mới này và thúc đẩy tương lai của tích trữ năng lượng.

## **3.2. Xu hướng trên thế giới**

Tương lai của các công nghệ pin mới đang hứa hẹn những bước tiến đáng kể, được thúc đẩy bởi nhu cầu ngày càng tăng về các giải pháp lưu trữ năng lượng hiệu quả, bền vững và hiệu suất cao [26]. Một trong những xu hướng hứa hẹn nhất là sự phát triển của pin thể rắn, nhằm thay thế chất điện phân lỏng bằng vật liệu rắn, từ đó cải thiện mật độ năng lượng và độ an toàn. Một xu hướng khác là nghiên cứu các vật liệu cực âm thay thế, đặc biệt là silicon và composite lithium-silicon, mang lại dung lượng cao hơn nhiều so với cực âm truyền thống. Nghiên cứu tiếp tục trong lĩnh vực này nhằm giải quyết các thách thức liên quan đến sự giãn nở thể tích và độ ổn định cơ học, cho phép thương mại hóa các loại pin dung lượng cao. Hơn nữa, sự nhấn mạnh vào tính bền vững đang thúc đẩy nghiên cứu về pin hữu cơ như những giải pháp thay thế tiềm năng cho công nghệ lithium-ion. Pin mới, sử dụng các vật liệu dồi dào và tiết kiệm chi phí, đang được khám phá cho các ứng dụng lưu trữ năng lượng quy mô lớn, trong khi pin hữu cơ tập trung vào các vật liệu tái tạo để giảm thiểu tác động môi trường [26].

Các công nghệ pin mới cho xe EV đã có những bước tiến đáng kể với các phương pháp sản xuất có thể mở rộng và cải thiện tính nhất quán của vật liệu và giảm chi phí. Những phát

triển này cho thấy sự chuyển đổi sang sản xuất hàng loạt vào năm 2030, được thúc đẩy bởi nhu cầu về mật độ năng lượng cao và sạc nhanh trong xe điện (EV) và thiết bị điện tử tiêu dùng. Những cải tiến này cho phép thiết kế các loại pin nhẹ và có dung lượng cao phù hợp với ngành công nghiệp xe điện và hàng không vũ trụ, với sản xuất hàng loạt dự kiến từ năm 2028 đến 2030 [29]. Ngược lại, các pin lượng tử đang ở giai đoạn đầu, mang lại tiềm năng sạc nhanh và hiệu suất năng lượng chưa từng có. Rào cản lớn đối với công nghệ pin lượng tử là việc kiểm soát và duy trì trạng thái lượng tử trong môi trường của thực tế sản xuất khác với môi trường nghiên cứu. Tương thích với việc tích hợp năng lượng tái tạo, nhiều công nghệ pin mới dự kiến sẽ được sản xuất hàng loạt sớm nhất vào năm 2027, từ đó đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về tích trữ năng lượng quy mô lưới điện. Bằng cách liên kết tiến bộ công nghệ với lộ trình thương mại hóa, các loại pin này có đủ tiềm năng trong việc chuyển đổi các giải pháp năng lượng đồng thời với mục tiêu bền vững.

#### **4. Thách thức và xu thế pin năng lượng cho xe điện tại Việt Nam**

##### **4.1. Những thách thức và hiện trạng phát triển pin tích trữ năng lượng**

Hiện trạng công nghệ pin cho xe điện (EV) tại Việt Nam đang trong giai đoạn phát triển ban đầu [30], với sự quan tâm ngày càng tăng từ cả Chính phủ và khu vực tư nhân. Dưới đây là một số điểm nổi bật về hiện trạng công nghệ pin cho xe điện ở Việt Nam

###### **4.1.1. Công nghệ sản xuất pin**

Hiện tại, công nghệ pin lithium-ion là công nghệ phổ biến nhất được sử dụng trong xe điện tại Việt Nam. Đây là công nghệ được ưa chuộng nhờ mật độ năng lượng cao, tuổi thọ dài và hiệu suất tốt. Hầu hết, các sản phẩm ô tô điện VinFast hiện đang cung cấp ra thị trường đều sử dụng dòng pin Lithium ion cao cấp. Hãng xe đã hợp tác cùng LG Chem, một trong những công ty hàng đầu thế giới trong lĩnh vực sản xuất pin cho ô tô điện đạt tiêu chuẩn quốc tế. Chiếc xe ô tô điện đầu tiên ứng dụng công nghệ pin Lithium tiên tiến đó là VinFast VF e34. Trong xe đó, loại pin được sử dụng để cung cấp năng lượng cho mọi hoạt động trên xe là pin oxit nhôm lithium niken coban (NCA).

Phần lớn pin cho xe điện tại Việt Nam được nhập khẩu từ các quốc gia có nền công nghiệp pin phát triển như Trung Quốc, Hàn Quốc và Nhật Bản. Việt Nam chưa có nhiều cơ sở sản xuất pin lithium-ion quy mô lớn.

###### **4.1.2. Nghiên cứu và phát triển**

Các viện nghiên cứu và trường đại học tại Việt Nam đang bắt đầu tham gia vào nghiên cứu và phát triển công nghệ pin. Tuy nhiên, các nghiên cứu này vẫn còn ở giai đoạn đầu và cần thêm thời gian để đạt được những bước tiến đáng kể.

#### **4.1.3. Chính sách hỗ trợ từ nhà nước**

Chính phủ Việt Nam đang có những chính sách hỗ trợ phát triển xe điện và công nghệ pin, bao gồm các ưu đãi về thuế và đầu tư vào cơ sở hạ tầng sạc điện. Còn lại các chính sách về ưu tiên sử dụng xe điện hiện nay vẫn đang còn hạn chế. Hiện tại người dân khi mua xe ô tô điện thì được miễn phí trước bạ đến 28 tháng 2 năm 2027. Còn lại chỉ có chính sách của hãng xe hỗ trợ hai năm tiền sạc điện miễn phí (của VinFast), các hãng xe điện khác chưa có các động thái hỗ trợ này.

#### **4.1.4. Cơ sở hạ tầng**

Một trong những thách thức lớn nhất là thiếu cơ sở hạ tầng sạc điện và hệ thống quản lý pin hiệu quả. Ngoài ra, việc phát triển công nghệ pin trong nước còn gặp nhiều khó khăn do thiếu nguồn lực và công nghệ tiên tiến. Hiện nay ở nước ta mới chỉ có các trạm sạc của VinFast còn các trạm sạc nhượng quyền cũng đang còn vướng mắc trong khâu liên hệ cấp điện cho trạm sạc của ngành điện (giá bán điện cho trạm sạc điện chưa ngã ngũ giữa ngành điện với các hộ tiêu thụ điện trạm sạc nên ngành điện đang dừng cung cấp điện cho đối tượng này)!

### **4.2. Xu hướng tại Việt Nam**

Công nghệ pin cho xe điện tại Việt Nam đang trong giai đoạn đầu phát triển, nhưng với sự hỗ trợ từ Chính phủ và sự quan tâm từ khu vực tư nhân, tiềm năng phát triển trong tương lai là rất lớn [30-31]. Xu hướng phát triển pin năng lượng tại Việt Nam được thúc đẩy bởi nhu cầu về năng lượng sạch và bền vững, cùng với sự phát triển của các ngành công nghiệp liên quan như xe điện và năng lượng tái tạo. Công nghệ pin lithium-ion vẫn là trọng tâm chính nhờ hiệu suất cao, trong khi các nghiên cứu về pin thể rắn và pin natri-ion đang được đẩy mạnh để cải thiện hiệu suất và giảm chi phí. Việt Nam cũng hợp tác quốc tế để chuyển giao công nghệ và đào tạo nhân lực. Chính phủ đang thực hiện các chính sách ưu đãi về thuế và đầu tư, đồng thời xây dựng cơ sở hạ tầng sạc điện. Việc tập trung vào tính bền vững thông qua tái chế pin và sử dụng vật liệu thân thiện với môi trường cũng được chú trọng. Những xu hướng này không chỉ thúc đẩy ngành công nghiệp pin năng lượng mà còn góp phần vào phát triển bền vững và giảm thiểu tác động môi trường tại Việt Nam.

### **5. Kết luận**

Hiện trạng công nghệ pin tích trữ năng lượng trên thế giới đang có những bước tiến đáng kể, đặc biệt là sự phát triển của các công nghệ pin lithium-ion, pin thể rắn, và pin công nghệ mới, nhằm đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về năng lượng sạch và bền vững. Tuy nhiên, các thách thức như chi phí cao, vấn đề an toàn, và khả năng tái chế vẫn cần được giải quyết để đảm bảo tính khả thi và bền vững lâu dài. Tại Việt Nam, công nghệ pin tích trữ năng lượng vẫn đang trong giai đoạn đầu phát triển, với sự phụ thuộc lớn vào nhập khẩu và thiếu cơ sở hạ tầng hỗ trợ. Tuy vậy, với sự hỗ trợ từ Chính phủ, hợp tác quốc tế, và sự quan tâm ngày càng tăng từ khu vực tư nhân, tiềm năng phát triển của ngành công nghiệp pin tại Việt Nam là rất lớn. Xu hướng phát triển trong tương lai sẽ tập trung vào việc cải thiện hiệu suất, giảm chi phí, và tăng cường tính bền vững thông qua việc sử dụng vật liệu thân thiện với môi trường và phát triển các giải pháp tái chế hiệu quả. Để đạt được những mục tiêu này, cần có sự hợp tác chặt chẽ giữa các bên liên quan, bao gồm Chính phủ, doanh nghiệp, và các tổ chức nghiên cứu, nhằm tạo ra một hệ sinh thái pin tích trữ năng lượng hiệu quả và bền vững, không chỉ tại Việt Nam mà còn trên toàn cầu.

#### **Tài liệu tham khảo**

1. Nyamathulla, S., & Dhanamjayulu, C. (2024). A review of battery energy storage systems and advanced battery management system for different applications: Challenges and recommendations. *Journal of Energy Storage*, 86, 111179.
2. Lipu, M. S. H., Mamun, A. A., Ansari, S., Miah, M. S., Hasan, K., Meraj, S. T., ... & Tan, N. M. (2022). Battery management, key technologies, methods, issues, and future trends of electric vehicles: A pathway toward achieving sustainable development goals. *Batteries*, 8(9), 119.
3. Miller, J. M. (2009, September). Energy storage system technology challenges facing strong hybrid, plug-in and battery electric vehicles. In *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference* (pp. 4-10). IEEE.
4. Offer, G. J., Howey, D., Contestabile, M., Clague, R., & Brandon, N. P. (2010). Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy policy*, 38(1), 24-29.
5. Manzetti, S., & Mariasiu, F. (2015). Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1004-1012.
6. Chauhan, P., Sharma, R., Nehra, S., Sharma, H. S., & Kumar, D. (2024). for Nickel-



Cadmium Batteries. *Advanced Materials for Batteries: Advantage, Disadvantage, and Future Applications*, 317.

7. Hanifah, R. A., Toha, S. F., & Ahmad, S. (2015). Electric vehicle battery modelling and performance comparison in relation to range anxiety. *Procedia Computer Science*, 76, 250-256.

8. Maiyalagan, T., & Elumalai, P. (Eds.). (2021). *Rechargeable lithium-ion batteries: trends and progress in electric vehicles*. Boca Raton: CRC Press.

9. Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., & Yushin, G. (2015). Li-ion battery materials: present and future. *Materials today*, 18(5), 252-264.

10. Wang, K., Wan, J., Xiang, Y., Zhu, J., Leng, Q., Wang, M., ... & Yang, Y. (2020). Recent advances and historical developments of high voltage lithium cobalt oxide materials for rechargeable Li-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 460, 228062.

11. Liu, H., Li, M., Xiang, M., Guo, J., Bai, H., Bai, W., & Liu, X. (2021). Effects of crystal structure and plane orientation on lithium and nickel co-doped spinel lithium manganese oxide for long cycle life lithium-ion batteries. *Journal of Colloid and Interface Science*, 585, 729-739.

12. Marinceş, A. H., & Ilea, P. *Enhancing Lithium Manganese Oxide Electrochemical Behavior by Doping and Surface Modifications, Coatings*. 11 (2021) 456.

13. Chen, Q., Luo, L., Wang, L., Xie, T., Dai, S., Yang, Y., ... & Yuan, M. (2018). Enhanced electrochemical properties of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-coated-(lithium-manganese)-rich layered oxides as cathode materials for use in lithium-ion batteries. *Journal of Alloys and Compounds*, 735, 1778-1786.

14. Hannan, M. A., Hoque, M. M., Hussain, A., Yusof, Y., & Ker, P. J. (2018). State-of-the-art and energy management system of lithium-ion batteries in electric vehicle applications: Issues and recommendations. *Ieee Access*, 6, 19362-19378.

15. Zhao, C., Yin, H., & Ma, C. (2015). Quantitative evaluation of LiFePO<sub>4</sub> battery cycle life improvement using ultracapacitors. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(6), 3989-3993.

16. Huang, Q., Yang, J., Ng, C. B., Jia, C., & Wang, Q. (2016). A redox flow lithium battery based on the redox targeting reactions between LiFePO<sub>4</sub> and iodide. *Energy & Environmental Science*, 9(3), 917-921.



17. Omar, N., Verbrugge, B., Mulder, G., Van den Bossche, P., Van Mierlo, J., Daowd, M., ... & Pauwels, S. (2010, September). Evaluation of performance characteristics of various lithium-ion batteries for use in BEV application. In *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference* (pp. 1-6). IEEE.
18. Makimura, Y., Sasaki, T., Nonaka, T., Nishimura, Y. F., Uyama, T., Okuda, C., ... & Takeuchi, Y. (2016). Factors affecting cycling life of  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$  for lithium-ion batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, *4*(21), 8350-8358.
19. Asekomeh, A., Gershon, O., & Azubuikwe, S. I. (2021). Optimally clocking the low carbon energy mile to achieve the Sustainable Development Goals: Evidence from Dundee's Electric Vehicle Strategy. *Energies*, *14*(4), 842.
20. Marcondes, A., Scherer, H. F., Salgado, J. R., & de Freitas, R. L. (2019, October). Sodium-nickel chloride single cell battery electrical model–Discharge voltage behavior. In *2019 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS)* (pp. 1-4). IEEE.
21. Ouyang, L., Huang, J., Wang, H., Liu, J., & Zhu, M. (2017). Progress of hydrogen storage alloys for Ni-MH rechargeable power batteries in electric vehicles: A review. *Materials Chemistry and Physics*, *200*, 164-178.
22. Li, M., Lu, J., Chen, Z., & Amine, K. (2018). 30 years of lithium-ion batteries. *Advanced materials*, *30*(33), 1800561.
23. Li, J., Kong, Z., Liu, X., Zheng, B., Fan, Q. H., Garratt, E., ... & Jin, H. (2021). Strategies to anode protection in lithium metal battery: A review. *InfoMat*, *3*(12), 1333-1363.
24. Hussain, S. S., Aftab, M. A., Ali, I., & Ustun, T. S. (2020). IEC 61850 based energy management system using plug-in electric vehicles and distributed generators during emergencies. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *119*, 105873.
25. Lipu, M. H., Hannan, M. A., Karim, T. F., Hussain, A., Saad, M. H. M., Ayob, A., ... & Mahlia, T. I. (2021). Intelligent algorithms and control strategies for battery management system in electric vehicles: Progress, challenges and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, *292*, 126044.
26. Itani, K., & De Bernardinis, A. (2023). Review on new-generation batteries technologies: trends and future directions. *Energies*, *16*(22), 7530.
27. Bai, Y., Muralidharan, N., Sun, Y. K., Passerini, S., Whittingham, M. S., & Belharouak, I. (2020). Energy and environmental aspects in recycling lithium-ion batteries: Concept of



Battery Identity Global Passport. *Materials Today*, 41, 304-315.\

28. Orangi, S., Manjong, N., Clos, D. P., Usai, L., Burheim, O. S., & Strømman, A. H. (2024). Historical and prospective lithium-ion battery cost trajectories from a bottom-up production modeling perspective. *Journal of Energy Storage*, 76, 109800.

29. Wu, D., & Wu, F. (2022). Toward better batteries: solid-state battery roadmap 2035+. *ETransportation* 2023; 16: 100224.

30. Trung, N. T., & Urmee, T. (2024). Electrifying Vietnam's streets: Identifying the determinants of electric two-wheelers uptake. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 129, 104116.

31. Nakajima, S., Kobayashi, H., & Ueki, Y. (2023). Viet Nam 2045: Automobile Industry. *Viet Nam 2045: Development Issues and Challenges*, 253-80.