



Tạp chí Khoa học và Kinh tế Phát triển  
Trường Đại học Nam Cần Thơ

Website: [jsde.nctu.edu.vn](http://jsde.nctu.edu.vn)



## Những thách thức kỹ thuật đối với ô tô điện

Bùi Văn Ga<sup>1</sup>, Bùi Thị Minh Tú<sup>1</sup>, Phạm Xuân Mai<sup>2</sup>, Bùi Văn Hùng<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa-Đại học Đà Nẵng

<sup>2</sup>Công ty Cổ phần Ô tô Trường Hải

<sup>3</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật-Đại học Đà Nẵng

\*Người chịu trách nhiệm bài viết: Bùi Văn Ga (email: [buivanga@ac.udn.vn](mailto:buivanga@ac.udn.vn))

Ngày nhận bài: 20/10/2023

Ngày phản biện: 10/11/2023

Ngày duyệt đăng: 5/12/2023

**Title:** Electric vehicles-  
technical challenges

**Keywords:** electric vehicles,  
fuel cell, hydrogen, lithium-  
ion battery, zero-emission  
vehicles

**Từ khóa:** không phát thải  
ô nhiễm, ô tô điện, pin nhiên  
liệu

### ABSTRACT

Electric vehicles, including battery-powered vehicles and hydrogen-fuel cell vehicles, are potential future substitutes for traditional internal combustion engine vehicles. These vehicles offer several advantages, such as high efficiency, suitable torque characteristics, noise-free operation, and zero emissions. However, electric vehicles also have some common disadvantages, including low onboard energy density storage, short cruising range, high initial cost, and significant investment in recharging infrastructure. Fortunately, advancements in technology and materials have led to improvements in battery energy density and reduced charging times. Additionally, the development of new materials has also made significant progress in the hydrogen storage technology, particularly in the form of hydrides. The single motor powertrain has an advantage in reusing most components of traditional vehicles. The in-wheel motor is an optimal solution for the mechanical structure of the powertrain system and can improve vehicle efficiency. As the cost of batteries and hydrogen fuel cells continues to drop, it is predicted that electric vehicles will become cheaper than traditional vehicles in the near future. In the short term, when the infrastructure for electric vehicle operation is not widely available, a step-by-step electrification approach through hybrid vehicles is appropriate. In our country, this intermediate step can begin when the EURO VI emission standard is applied. In the medium term, battery electric vehicles and hydrogen fuel cell vehicles can coexist. In the long term, as the hydrogen-based economy progresses, hydrogen fuel cell vehicles may become dominant.

## TÓM TẮT

*Ô tô điện, bao gồm ô tô điện accu và ô tô điện sử dụng pin nhiên liệu hydrogen, sẽ thay thế ô tô truyền thống sử dụng động cơ đốt trong trong tương lai không xa. Ưu điểm chính của ô tô điện là hiệu suất cao, đặc tính momen phù hợp, không gây ồn và không phát thải ô nhiễm khi hoạt động. Nhược điểm chung của ô tô điện là mật độ lưu trữ năng lượng trên ô tô thấp làm giảm tầm hoạt động của xe; giá thành ô tô và đầu tư cơ sở hạ tầng phục vụ nạp năng lượng cao. Nhờ ứng dụng công nghệ và vật liệu mới, khả năng lưu trữ năng lượng trên ô tô điện accu được cải thiện, thời gian nạp điện được rút ngắn. Công nghệ lưu trữ hydrogen dưới dạng hydrua cũng đạt được những bước tiến đáng kể nhờ phát triển các loại vật liệu mới. Hệ thống động lực 1 động cơ điện cho phép tận dụng tối đa các bộ phận của ô tô truyền thống. Hệ thống động lực 2 động cơ điện tích hợp vào bánh xe chủ động cho phép đơn giản hóa tối đa cơ cấu truyền động và nâng cao hiệu suất ô tô điện. Giá thành của accu và của pin nhiên liệu hydrogen giảm nhanh giúp cho ô tô điện rẻ hơn ô tô truyền thống trong tương lai gần. Trong ngắn hạn, khi hệ thống hạ tầng phục vụ cho việc sử dụng ô tô điện chưa được phát triển mạnh thì việc điện hóa từng bước ô tô thông qua trung gian ô tô hybrid là phù hợp. Bước trung gian này có thể bắt đầu ở nước ta khi áp dụng tiêu chuẩn phát thải EURO VI. Trong trung hạn, ô tô điện accu và ô tô điện sử dụng pin nhiên liệu hydrogen cùng tồn tại song song. Trong dài hạn, khi nền kinh tế hydrogen phát triển thì ô tô điện sử dụng pin nhiên liệu hydrogen có thể chiếm ưu thế.*

## 1. GIỚI THIỆU

Ngành giao thông vận tải phát sinh khoảng 1/4 tổng lượng phát thải khí gây hiệu ứng nhà kính trên toàn cầu, trong đó hơn 70% lượng khí thải này là do vận tải đường bộ gây ra. Để giảm thiểu phát thải ô nhiễm, nhiều quốc gia đã xây dựng chiến lược giao thông bền vững, trong đó các phương tiện phát thải carbon cực thấp đang được quan tâm đặc biệt [1]. Theo chiều hướng đó, trong tương lai gần, xe điện sẽ thay thế các phương tiện giao thông truyền thống. Mới đây, chính phủ Anh, Pháp, Đức, Hà Lan và các quốc gia khác đã công bố lộ trình ngừng sản xuất xe chạy bằng động cơ đốt trong từ năm 2025-2040 [3]. Ở Đông Nam Á, chính phủ Singapore đặt ra

kế hoạch tắt cả phương tiện giao thông đường bộ sử dụng năng lượng sạch vào năm 2040 [4]. Bên cạnh đó nhiều quốc gia trên thế giới đã áp dụng các chính sách khuyến khích phát triển xe điện. Các chính sách này bao gồm hỗ trợ tài chính cho người mua xe điện, cho phép ô tô điện được chạy trong làn ưu tiên dành cho xe bus, ưu tiên và miễn phí chỗ đậu xe, hỗ trợ phát triển cơ sở hạ tầng sạc điện cho xe [1]. Các chính sách này đã tác động đáng kể đến sự gia tăng số lượng ô tô điện trong thực tế.

Về mặt kỹ thuật có hai loại xe điện, đó là xe điện chạy bằng accu và xe điện chạy bằng pin nhiên liệu hydrogen. Mỗi loại xe điện có những lợi thế riêng và những thách thức kỹ thuật riêng.

Loại xe điện nào chiếm ưu thế trên thị trường trong tương lai phụ thuộc vào các tiến bộ về mặt công nghệ giúp chúng vượt qua được những thách thức. Xe điện accu hiệu suất chuyển đổi năng lượng cao, không tạo ra khí thải khi hoạt động, khả năng tăng tốc tốt, giá thành vận hành thấp. Tuy nhiên, chúng phải đối mặt với những thách thức rất lớn như khả năng lưu trữ năng lượng thấp, thời gian sạc điện kéo dài, giá thành xe cao, tuổi thọ accu thấp. Vì tầm hoạt động của xe điện thấp hơn so với các phương tiện thông thường và việc sạc pin mất nhiều thời gian khiến người tiêu dùng có tâm lý lo ngại. Vấn đề này trở nên trầm trọng hơn khi cơ sở hạ tầng sạc điện chưa được phổ biến. Tuy nhiên, với những thành quả nghiên cứu về accu cùng với các chính sách khuyến khích của chính phủ nhiều nước trên thế giới, những rào cản này có thể được tháo gỡ trong tương lai không xa. Vấn đề đáng lo ngại nhất là sự chấp nhận của xã hội đối với xe điện, thay đổi thói quen sử dụng ô tô truyền thống đã thấm sâu hàng trăm năm qua. Đây là rào cản cuối cùng trước khi xe điện có thể thâm nhập thị trường ở bất kỳ mức độ nào [2].

So với xe điện chạy bằng accu, xe điện chạy bằng pin nhiên liệu hydrogen cũng là loại phương tiện không phát thải ô nhiễm khi vận hành nhưng thời gian nạp nhiên liệu ngắn hơn (như xe xăng dầu truyền thống) và quãng đường hoạt động dài hơn. Mức độ phát thải chất khí gây hiệu ứng nhà kính trong tổng vòng đời của xe pin nhiên liệu hydrogen thấp hơn xe điện accu. Tuy nhiên giá thành của xe điện chạy bằng pin nhiên liệu hydrogen cao, đầu tư cho cơ sở hạ tầng cung cấp hydrogen rất tốn kém. Đó là những rào cản hạn chế việc sử dụng loại ô tô này hiện nay trên thế giới. Cả hai loại ô tô điện nói trên vấp phải khó khăn chung là vấn đề lưu trữ năng lượng. Cải thiện khả năng lưu trữ năng lượng và giảm thời gian sạc điện cho ắc quy là những hướng nghiên cứu chính về xe điện accu. Gần đây, các nhà khoa học đã tập trung nghiên cứu phát triển accu lithium thế hệ mới như

lithium-sulfur, lithium-không khí và accu thể rắn hoàn toàn (SSB). Đây là những loại accu có khả năng lưu trữ năng lượng cao, tuổi thọ dài và chi phí thấp [5],[6]. Khả năng lưu trữ của pin lithium ion hiện nay có thể đạt 300 Wh/kg và 750 Wh/L. Thế hệ pin lithium mới có thể đạt mật độ năng lượng cao hơn, khoảng 500 Wh/kg và 1.000 Wh/L [7]. Đối với ô tô điện chạy bằng pin nhiên liệu thì vấn đề lưu trữ hydrogen trên ô tô là một thách thức lớn. Hydrogen có mật độ năng lượng khối lượng cao nhưng mật độ năng lượng thể tích rất thấp. Vì vậy để tầm hoạt động của ô tô có thể chấp nhận được người ta phải sử dụng các giải pháp công nghệ đặc biệt để lưu trữ hydrogen. Các giải pháp lưu trữ hydrogen trên ô tô thường dùng hiện nay là nén áp suất cao (lên đến 700 bar), hóa lỏng hydrogen (ở nhiệt độ rất thấp, 20K), lưu trữ hydrogen dưới dạng hydrua kim loại. Nhờ những nghiên cứu tăng cường, các nhà khoa học đã tìm ra những loại vật liệu mới cho phép lưu trữ hydrogen dưới dạng hydrua với mật độ năng lượng cao, áp suất và nhiệt độ vận hành thấp. Đây là giải pháp nhiều hứa hẹn cho việc phát triển ô tô pin nhiên liệu.

Trong khi các nhà khoa học chưa tìm ra các giải pháp hữu hiệu lưu trữ năng lượng trên ô tô điện thì giải pháp ô tô hybrid có thể được xem là giải pháp khả thi. Giải pháp này có thể xem là công nghệ điện hóa từng phần ô tô bằng cách sử dụng hai hay nhiều nguồn năng lượng trong đó ít nhất có một nguồn năng lượng điện. Trên nguyên tắc đó, ô tô hybrid có thể kết hợp động cơ đốt trong-điện accu, động cơ đốt trong-pin nhiên liệu hydrogen hay điện accu-pin nhiên liệu hydrogen,... Bài báo này phân tích những thách thức hiện nay đối với ô tô điện accu và ô tô điện pin nhiên liệu hydrogen và các giải pháp kỹ thuật hỗ trợ cho sự phát triển của các loại ô tô này trong tương lai.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

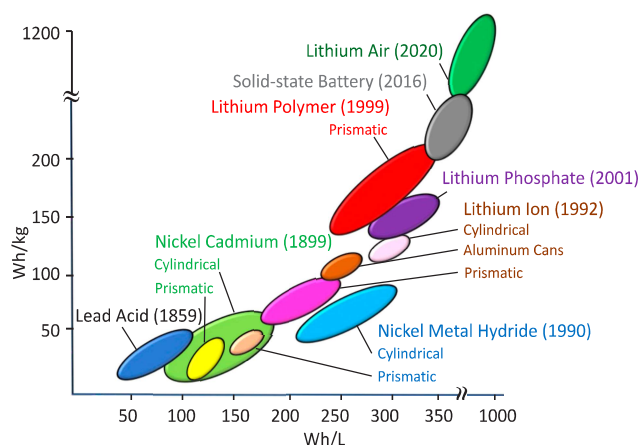
Nghiên cứu này được thực hiện bằng phương pháp định tính qua việc tổng hợp các tài liệu có liên quan.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 Ô tô điện accu

##### 3.1.1 Khả năng lưu trữ của accu:

Khả năng lưu trữ năng lượng của accu axit-chì và nicken-cadmium không được cải thiện gì nhiều từ khi chúng được đưa vào ứng dụng trong thực tế trong khi đó accu lithium-ion có những bước cải thiện đáng kể. Hướng phát triển accu trên nền lithium hiện nay là dùng chất điện phân rắn thay thay cho dung dịch điện phân. Công nghệ này giúp cải thiện độ dẫn ion của lithium, do đó cải thiện đáng kể mật độ năng lượng của pin. Việc tăng điện áp đầu ra của pin cũng là một công nghệ để nâng cao mật độ lưu trữ năng lượng [8]. Người ta kỳ vọng vào tương lai của accu lithium-không khí [2]. Accu này có

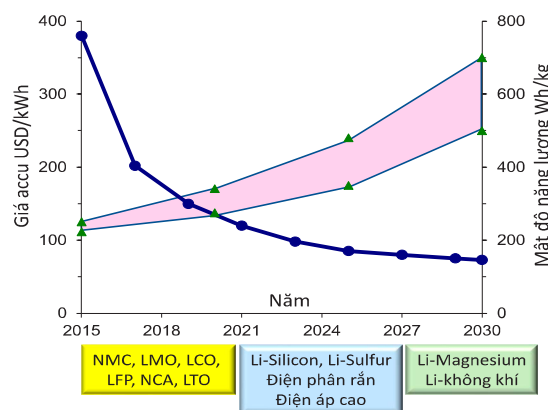


Hình 1. Mật độ năng lượng của các loại accu

Hình 2 giới thiệu khả năng lưu trữ năng lượng thực tế và giá thành của các loại accu nền lithium hiện nay và trong 10 năm tới. Hiện nay khả năng lưu trữ của accu khoảng 300-350 Wh/kg phụ thuộc vào vật liệu làm cực âm. Dự kiến trong 10 năm tới, khả năng lưu trữ của accu khoảng từ 500-700 Wh/kg với các loại accu thế hệ mới. Giá thành của accu nền lithium giảm liên tục từ 380 USD/kWh năm 2015 xuống còn khoảng 70 USD/kWh năm 2030. Những kết quả nghiên cứu ngày nay cho thấy khả năng lưu trữ của

mật độ năng lượng lý thuyết rất cao (đạt 3.458 Wh/kg) [9], có thể so sánh với mật độ năng lượng của xăng, cho phép mở rộng phạm vi hoạt động của xe điện lên đến 800 km mà công nghệ Lithium-ion hiện nay dường như không thể đạt được. Trên thực tế, pin lithium-không khí có thể cung cấp mật độ năng lượng 1.214 Wh/kg và 896 Wh/L [9].

Hình 1 minh họa khả năng lưu trữ của các loại accu. Có thể thấy rằng mật độ năng lượng trọng trường và thể tích của lithium-ion sẽ tăng gấp đôi trong 10 năm tới [10]. Theo Công ty công nghiệp pin Matsushita, mật độ năng lượng của pin lithium ion đã tăng với tốc độ 11,6% hàng năm kể từ năm 1990 [11].



Hình 2. Dự báo khả năng lưu trữ và giá thành accu nền lithium

accu sẽ tăng đáng kể và giá thành accu sẽ giảm mạnh trong những thập niên tới. Đây là những yếu tố tích cực giúp cho xe máy điện phát triển nhanh chóng trong tương lai gần.

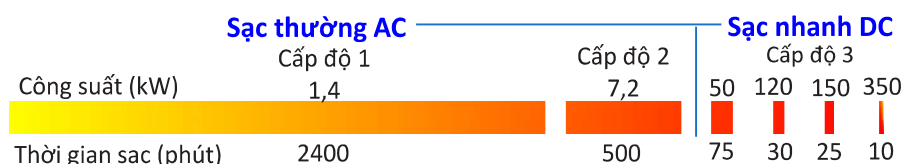
##### 3.1.2 Thời gian nạp điện cho accu

###### - Sạc điện truyền thống:

Có ba cấp độ của hệ thống sạc điện qua dây dẫn [2] (Hình 3). Sạc điện cấp độ 1 có điện áp xoay chiều 120V hay 220V, công suất bộ sạc thường 1,4 kW với dòng điện sạc 15 đến 20A thường dùng để sạc ở nhà. Đây là hệ thống sạc

phổ biến nhất, sử dụng điện lưới gia dụng. Với bộ sạc này, cần 5-8 giờ để nạp đầy bộ accu 60kWh của ô tô. Hầu hết các bộ sạc ngày nay là bộ sạc cấp độ 2, điện áp AC 240V, công suất từ 6-18kW, dòng điện sạc từ 16 đến 40A [13]. Cấp độ này yêu cầu phải thiết lập một mạng điện riêng cho xe điện. Cấp độ 3, còn được gọi

là sạc nhanh, thông thường điện áp lên đến 800V với công suất lên đến 400 kW. Cấp độ này yêu cầu một mạng điện đặc biệt và các biện pháp an toàn nghiêm ngặt. Sạc nhanh có thể giúp nạp đầy bình accu lithium-ion của xe điện trong vòng 10 phút.



**Hình 3. Thời gian sạc điện cho ô tô điện có dung lượng accu 60 kWh khi sạc thường và sạc nhanh**

Sạc điện nhanh đang được các hãng sản xuất ô tô điện nghiên cứu phát triển [13]. Các nhà khoa học đang nỗ lực tăng tốc độ nạp điện từ 1C lên 6C tương ứng với rút giảm thời gian từ sạc từ 60 phút xuống còn 10 phút [14]. Điều này liên quan đến 3 vấn đề kỹ thuật cần phải xử lý, đó là nhiệt độ accu, vật liệu làm điện cực và công suất trạm nạp điện.

Nhờ nỗ lực của các nhà sản xuất ô tô điện, thời gian nạp điện cho accu của xe ngày càng được rút ngắn. Ngưỡng thời gian nạp điện 10 phút là rất khả thi trong thập niên tới. Cơ quan tổ chức đua xe quốc tế Formula E gần đây đã công bố thông số kỹ thuật cho thế hệ thứ ba của dòng xe đua chạy hoàn toàn bằng điện sẽ ra mắt trên đường cao tốc vào năm 2022. Những chiếc xe Formula E mới sẽ là những chiếc xe đầu tiên sử dụng trạm sạc cực nhanh có đủ để sạc đầy accu trong khoảng 10 phút. Điều này khẳng định tính hiện thực của công nghệ nạp điện nhanh cho xe điện [15].

*- Sạc điện cảm ứng không dây:*

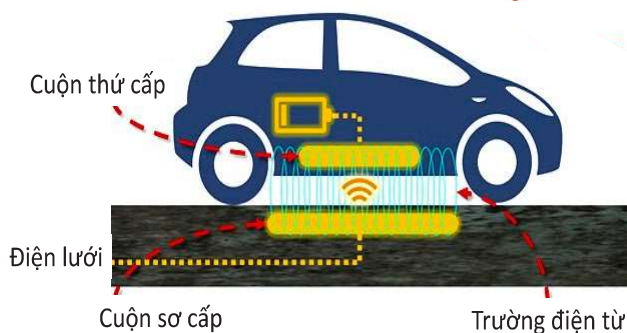
Sạc điện cảm ứng không dây (Inductive Coupling Power Transfer) hiện đã áp dụng rộng rãi đối với các thiết bị di động. Đối với ô tô điện, sạc điện cảm ứng không dây cũng theo nguyên tắc tương tự nhưng dĩ nhiên công suất lớn hơn rất nhiều. Sạc điện cảm ứng sử dụng cảm ứng điện từ giữa biến áp được thiết kế đặc biệt để

truyền năng lượng. Toàn bộ hệ thống năng lượng đặt dưới mặt đường (Hình 4). Người dùng chỉ phải dừng xe lại một lúc trên những chỗ đậu xe đặc biệt để sạc accu. Công nghệ này có ưu điểm nổi bật là an toàn. Nguy cơ vấp phải dây cáp điện hoặc phát sinh tia lửa điện trong quá trình kết nối giữa ô tô và trạm nạp điện không xảy ra. Tuy nhiên, hiệu suất sạc điện phụ thuộc nhiều vào vị trí của ô tô và khoảng cách giữa bộ phát và accu, thường thấp hơn so với hệ thống sạc bằng dẫn điện [2]. Mặt khác, bức xạ điện từ do bộ sạc phát ra có thể ảnh hưởng đến các thiết bị điện tử của ô tô. Do đó ô tô cần phải được thiết kế đặc biệt để có thể sạc điện cảm ứng và các hệ thống điện tử trên xe có thể chịu được tác động của bức xạ điện từ.

*- Hoán đổi accu của xe điện:*

Việc nạp nhanh đòi hỏi đầu tư rất lớn mạng lưới các trạm nạp điện. Điều này không thể diễn ra trong thời gian ngắn, đặc biệt ở các nước đang phát triển. Trong điều kiện đó, công nghệ hoán đổi accu là giải pháp nạp điện nhanh cho ô tô phù hợp nhất. Thay vì phải đợi sạc điện, accu hết điện được thay thế bằng accu đã được sạc đầy tại các trạm hoán đổi accu. Việc thay thế accu có thể được thực hiện trong thời gian rất ngắn nhưng công nghệ này đối mặt với 4 thách thức lớn: (1) việc tháo lắp accu vào hệ thống điện của xe có nguy cơ xảy ra phóng điện gây

mất an toàn, đồng thời các tiếp điểm có điện áp và dòng điện cao giữa accu và hệ thống điện có thể mòn, giảm tiếp xúc; (2) việc đầu tư các trạm hoán đổi accu với đầy đủ cơ sở hạ tầng nạp điện, lưu trữ một số lượng accu đáng kể để hoán đổi rất đắt tiền; (3) xe điện phải được thiết kế đặc biệt phù hợp với pin hoán đổi, khác với xe điện có accu cố định; (4) cần có sự hợp tác giữa các hãng sản xuất xe điện để chuẩn hóa accu sao cho có thể lắp lẫn accu cho các chủng loại xe điện



Hình 4. Sạc điện cảm ứng không dây

### 3.2 Ô tô điện chạy bằng pin nhiên liệu hydrogen

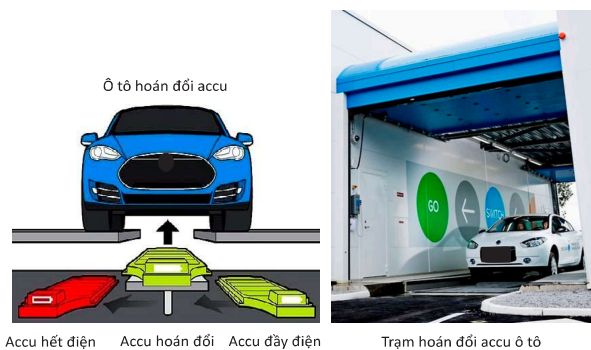
#### 3.2.1 Lưu trữ hydrogen trên ô tô

- Lưu trữ bằng phương pháp vật lý:

Việc lưu trữ hydro trên xe là một trong những thách thức lớn mà các nhà chế tạo ô tô phải đối mặt khi phổ biến phương tiện chạy bằng pin nhiên liệu. Mật độ năng lượng theo khối lượng của hydro cao (33,33 kWh/kg), nhưng mật độ năng lượng thể tích của nó rất thấp (2,99 kWh/m<sup>3</sup> ở nhiệt độ và áp suất môi trường). Hiện nay, công nghệ nén hydrogen đến áp suất khoảng 350-700 bar được sử dụng chủ yếu để lưu trữ hydro trên xe du lịch và xe tải nặng. Công nghệ lưu trữ này có một số ưu điểm như mật độ khối lượng cao, nạp nhiên liệu nhanh chóng và lưu lượng xả hydro thực tế không giới hạn. Những nhược điểm chính của công nghệ này là đầu tư cao cho cơ sở hạ tầng cung cấp nhiên liệu và vấn đề an toàn liên quan đến bình chứa áp suất cao. Về mặt lý thuyết, năng lượng cần thiết cho quá trình nén hydrogen đẳng nhiệt

khác nhau nhằm giảm bớt qui mô đầu tư cho các trạm hoán đổi accu.

Nguyên lý hoán đổi accu rất đơn giản: khi ô tô đi vào đúng vị trí, một hệ thống tự động sẽ tháo accu cũ ra khỏi gầm xe và lắp accu đã sạc đầy vào vị trí (Hình 5). Accu hết điện được băng tải chuyển đến vị trí nạp điện. Thời gian thay thế accu chỉ bằng khoảng thời gian đổ đầy bình xăng ô tô truyền thống [2].



Hình 5. Hoán đổi accu

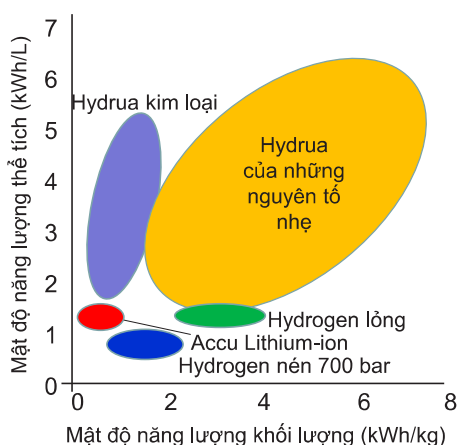
từ 1 bar đến 800 bar khoảng 2,21 kWh/kg. Trong thực tế, việc nén hydro từ điều kiện khí quyển lên đến 350 bar và 700 bar cần lần lượt là 9% và 12% năng lượng hydro lưu trữ trong bình áp lực. Mặt khác, mặc dù áp suất khá cao, mật độ năng lượng thể tích của hydro vẫn quá thấp so với các loại nhiên liệu truyền thống.

Mật độ năng lượng thể tích có thể được cải thiện đáng kể bằng cách lưu trữ hydro ở trạng thái lỏng. Trong trường hợp này, hydro lỏng được lưu trữ trong một bình cách nhiệt ở nhiệt độ 20K và áp suất khí quyển. Công nghệ này tốn rất nhiều năng lượng cho quá trình hóa lỏng khi lưu trữ và bốc hơi hydrogen khi sử dụng. Các quá trình này cần đến khoảng 30% năng lượng hydrogen chứa trong hệ thống lưu trữ [16]. Bên cạnh đó, hiện tượng sôi hydro trong bình chứa cũng là một vấn đề quan trọng của công nghệ lưu trữ hydrogen dưới dạng lỏng. Do hydro lỏng dẫn nổ đáng kể khi nó nóng lên từ 20 K đến điểm tới hạn (33 K), để ngăn rò rỉ, các

bình chứa hydrogen lỏng chỉ được chứa đầy đến 85-95% dung tích. Bình chứa phải được xả khí sau 3-5 ngày không hoạt động. Do đó, bình chứa đầy hydro lỏng có thể bị cạn kiệt hoàn toàn sau một thời gian dù xe không hoạt động [17]. Hydrogen thoát ra khỏi bình chứa có thể gây cháy nổ đặc biệt là khi ô tô đậu trong không gian để xe khép kín.

- Lưu trữ bằng phương pháp hóa học:

Công nghệ lưu trữ hydro dựa trên vật liệu cung cấp một giải pháp thay thế đầy hứa hẹn cho việc ứng dụng hydro vào các phương tiện giao thông hạng nhẹ [18]. Hydro có thể được hấp thụ trong nhiều hiđrua kim loại hoặc hợp kim [19]. Dựa trên nhiệt độ hoạt động, các hydrua kim loại được phân loại thành các hydrua nhiệt độ thấp (LT) (20-100°C) và nhiệt độ cao (HT) (200-400°C) [20]. Các hydrua LT có mật độ lưu trữ hydro khá thấp, khoảng 1-4% theo khối lượng. Các hydrua kim loại HT có mật độ lưu trữ hydrogen lớn hơn, khoảng 7,6% khối lượng, nhưng nhiệt độ giải hấp cao hơn 300°C. Các hydrua kim loại phức tạp có thể hoạt động ở nhiệt độ giải hấp phụ tương đối thấp (<150°C)



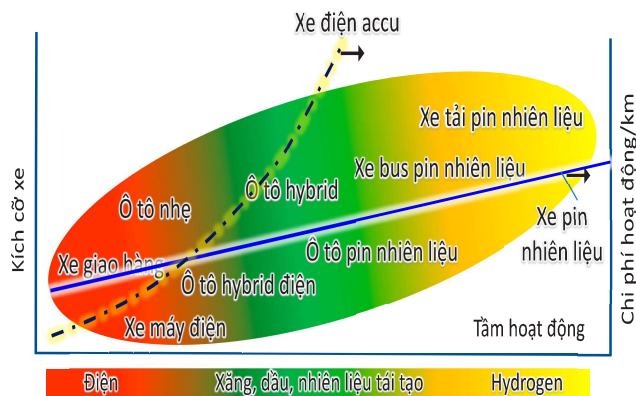
Hình 6. So sánh mật độ lưu trữ năng lượng

Hình 7 giới thiệu sự phù hợp của các loại ô tô khác nhau theo điều kiện sử dụng. Nguồn động lực accu phù hợp với ô tô nhẹ, tầm hoạt động ngắn. Trong điều kiện này thì chi phí trên

với khả năng lưu trữ hydro hiệu quả khoảng 5,6% khối lượng. Nói chung đặc tính lưu trữ hydrogen dưới dạng hydrua thay đổi trong phạm vi rộng. Tùy theo điều kiện sử dụng chúng ta có thể chọn kim loại phù hợp.

Do đặc tính thu nhiệt của quá trình giải hấp hydrogen và áp suất thấp, tốc độ giải phóng hydro ra khỏi bình chứa hydrua kim loại bị hạn chế. Điều này làm giảm khả năng nguy cơ bắt lửa khi bình chứa bị nứt, vỡ do tai nạn [21]. Do đó, các hydrua kim loại là phương tiện lưu trữ hydrogen có tính an toàn cao. Tuy nhiên do giới hạn nhiệt động học nên thời gian nạp hydrogen vào bình chứa kéo dài hơn so với nạp hydrogen bằng phương pháp nén hay hóa lỏng. Đây là một thách thức lớn đối với phương pháp lưu trữ hydrogen trên ô tô bằng hydrua kim loại.

Hình 6 so sánh mật độ lưu trữ năng lượng của accu lithium-ion và các phương pháp lưu trữ hydrogen khác nhau. Chúng ta thấy các giải pháp công nghệ lưu trữ hydrogen đều có mật độ năng lượng lớn hơn nhiều so với accu. Đây là một lợi thế lớn của ô tô chạy bằng pin nhiên liệu hydrogen so với ô tô điện accu.



Hình 7. Đặc điểm sử dụng của các loại ô tô điện

một km của xe điện accu thấp. Nhưng đối với xe du lịch, xe khách, xe tải hoạt động tầm xa thì nguồn động lực pin nhiên liệu chạy bằng hydrogen có nhiều lợi thế. Khi ô tô điện accu và

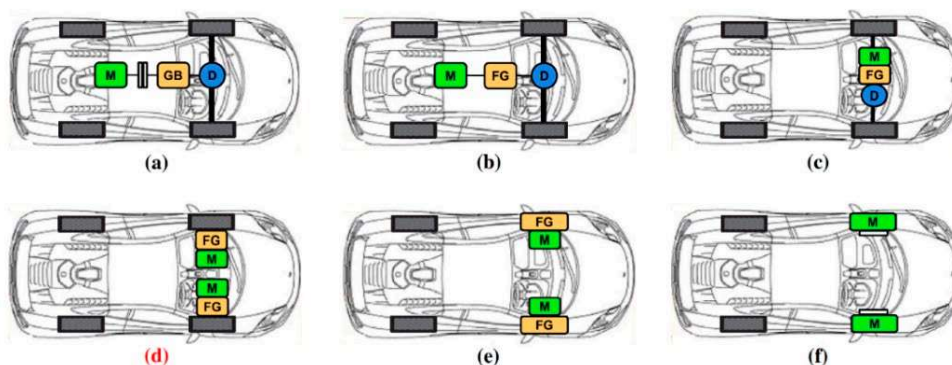
ô tô pin nhiên liệu hydrogen chưa phát triển rộng rãi thì các loại xe hybrid, xe hybrid nhiệt-điện là giải pháp trung gian, phù hợp với tầm hoạt động trung bình.

### 3.2.2 Giá thành pin nhiên liệu và hydrogen

Yếu tố chính góp phần vào chi phí chung của các loại xe chạy bằng pin nhiên liệu là lượng bạch kim cần thiết để sản xuất pin nhiên liệu. Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc sử dụng các vật liệu tiên tiến rẻ hơn để thay thế bạch kim. Nhờ những kết quả đó chi phí của xe chạy bằng pin nhiên liệu đã giảm khoảng 65% mà không ảnh hưởng đến mật độ năng lượng của nó trong thập kỷ qua. Bên cạnh đó, giá thành của máy điện phân hydro cũng liên tục giảm, điều này làm giảm chi phí sản xuất hydro. Dự kiến, chi phí xe chạy bằng pin nhiên liệu sẽ thấp hơn so với xe chạy bằng accu hoặc xe chạy bằng động cơ đốt trong trong thập niên tới [22],[23],[24]. Việc thiếu cơ sở hạ tầng cung cấp hydro hiện nay là một rào cản lớn có thể cản trở các phương tiện chạy bằng nhiên liệu hydro trong ngắn hạn. Tuy nhiên, trở ngại này sẽ được khắc phục dần dần trong quá trình hình thành nền kinh tế hydrogen trong dài hạn.

### 3.3 Bố trí hệ thống động lực ô tô điện

Hình 8a-c minh họa hệ thống động lực ô tô điện chỉ sử dụng một động cơ. Động cơ truyền lực đến các bánh xe thông qua hệ thống truyền động cơ khí. Phương án này có ưu điểm là có thể tận dụng tối đa các hệ thống cơ khí hiện có trên ô tô truyền thống, chỉ thay động cơ đốt trong bằng động cơ điện. Xe có thể sử dụng bộ điều tốc đa cấp hay bộ giảm tốc một cấp cố định và bộ vi sai giúp các bánh xe có thể chuyển động ở các tốc độ khác nhau khi xe chuyển hướng. Hệ thống động lực của phương án 1 động cơ điện có thể bố trí theo cấu hình truyền thống như ô tô sử dụng động cơ đốt trong gồm bộ vi sai (D), hộp số (GB), ly hợp (C) và động cơ điện (M) thay thế động cơ đốt trong đặt phía sau xe (Hình 8a). Phương án này cũng có thể đơn giản hóa hộp số và ly hợp truyền thống, thay vào đó là bộ giảm tốc với tỷ số truyền cố định để truyền lực từ động cơ điện đến bánh trước chủ động (hình 8b). Cụm động cơ điện-hộp giảm tốc và vi sai có thể tích hợp vào cầu bánh xe chủ động (hình 8c). Nhờ bố trí tích hợp, hệ thống động lực của xe trở nên đơn giản và gọn nhẹ.



**Hình 8. Các phương án bố trí hệ thống động lực của ô tô điện**

(C: ly hợp, D: bộ vi sai, FG: bộ giảm tốc cố định, GB: hộp số, M: động cơ điện)

Hình 9a là ảnh chụp của phương án tích hợp động cơ điện-hộp giảm tốc-vi sai trên cầu chủ động. Mặt khác, để chuyển đổi ô tô truyền thống sang chạy bằng điện, các nhà chế tạo đã cung cấp trên thị trường cụm hệ thống động lực tích

hợp với đầu ra tương thích với hệ thống động lực ô tô sử dụng động cơ đốt trong (Hình 9b). Với hệ thống này, việc cải tạo ô tô truyền thống thành ô tô điện đơn giản, chỉ thay thế cụm động cơ còn cầu xe và hệ thống truyền động giữ



nguyên như cũ. Hệ thống động lực một động cơ điện được sử dụng phổ biến trên các loại ô tô điện hiện nay.

Hệ thống động lực sử dụng 2 động cơ điện có ưu điểm là rút ngắn đường truyền cơ học từ động cơ điện đến bánh xe chủ động như Hình 8d-f. Các động cơ điện dẫn động bánh xe riêng biệt với bộ giảm tốc cố định. Các động cơ có thể

được điều chỉnh để chạy ở tốc độ khác nhau khi cần thiết nên không cần bộ vi sai trong cơ cấu truyền động. Cụm động cơ điện-hộp giảm tốc cố định có thể bố trí ngoài bánh xe (hình 8d), hoặc bộ giảm tốc cố định được tích hợp vào bánh xe để làm cho hệ thống động lực trở nên gọn hơn (Hình 8e). Hình 10 a, b giới thiệu các kiểu bố trí hệ thống động lực 2 động cơ điện.



**Hình 9. Hệ thống động lực một động cơ điện trong thực tế**



**Hình 10. Hệ thống động lực 2 động cơ điện**

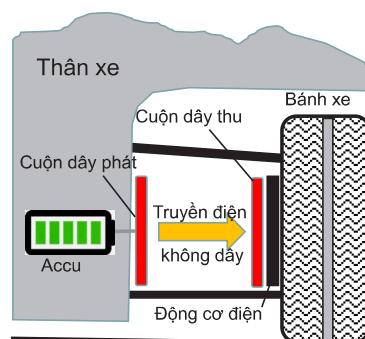
Để nâng cao hiệu suất và tối ưu hóa bố trí hệ thống động lực, trên ô tô điện hiện đại động cơ điện được tích hợp vào bánh xe, không sử dụng bộ giảm tốc (in-wheel motor hay wheel hub motor). Trong trường hợp này, cấu trúc cơ khí của hệ thống động lực trở nên đơn giản nhưng hệ thống điện và hệ thống điều khiển trở nên phức tạp hơn. Tốc độ chuyển động của bánh xe phụ thuộc hoàn toàn vào tốc độ động cơ điện. Bộ điện tử công suất được thiết kế tích hợp vào động cơ để điều chỉnh tốc độ và công suất (Hình 11). Phương án này rất gọn gàng, hiệu

suất cao vì không tổn thất năng lượng qua hệ thống truyền động cơ khí.

Khó khăn chính của phương án động cơ tích hợp vào bánh xe liên quan đến đảm bảo an toàn và tin cậy của kỹ thuật cấp điện cho động cơ. Mới đây các nhà khoa học Nhật Bản đã đưa ra phương án cấp điện không dây cho động cơ tích hợp. Nguyên lý của công nghệ này tương tự hệ thống sạc điện không dây cho ô tô. Việc truyền năng lượng điện không dây cho động cơ tích hợp trong bánh xe có thể được thực hiện giữa hai cuộn dây cách nhau 10cm (Hình 12) [25].



Hình 11. Hệ thống động cơ điện tích hợp vào bánh xe

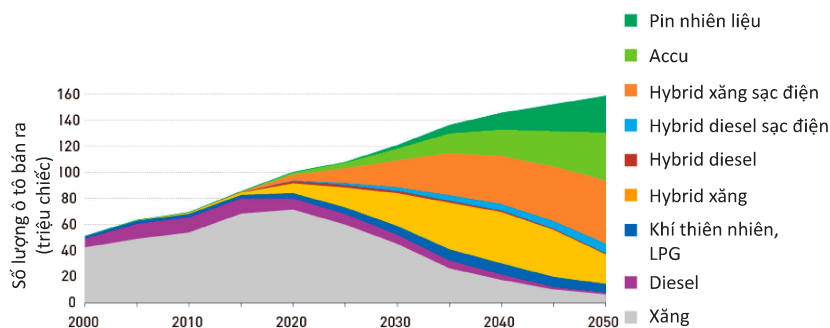


Hình 12. Truyền năng lượng điện không dây

### 3.4 Dự báo giá thành ô tô điện

Với những thành tựu nghiên cứu các loại phương tiện không phát thải ô nhiễm hiện nay và dưới áp lực của các quy định về cắt giảm phát

thải các chất khí gây hiệu ứng nhà kính, người ta dự báo sự phân khúc thị trường xe điện sẽ có những thay đổi lớn trong những thập niên tới.



Hình 13. Dự báo thị phần ô tô đến năm 2050

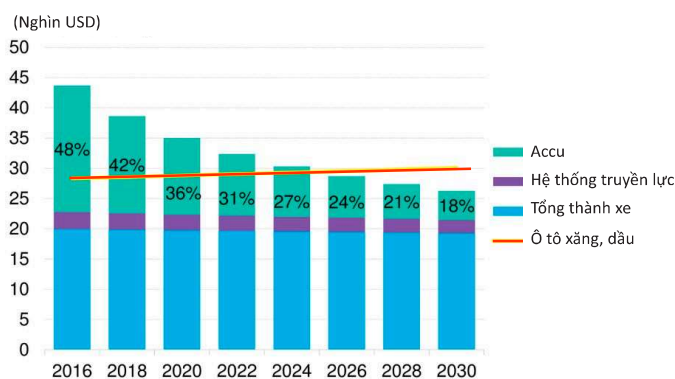
(Nguồn: IEA Energy Technology Perspectives 2015)

Theo Cơ quan Năng lượng quốc tế (IEA), các phương tiện chạy bằng nhiên liệu hóa thạch sẽ đạt đỉnh vào năm 2020 và sau đó giảm dần trong khi các phương tiện chạy điện sẽ thống trị thị trường vào năm 2050 như Hình 13. Điều này phù hợp với lộ trình của cắt giảm phát thải các chất khí gây hiệu ứng nhà kính COP21, Paris.

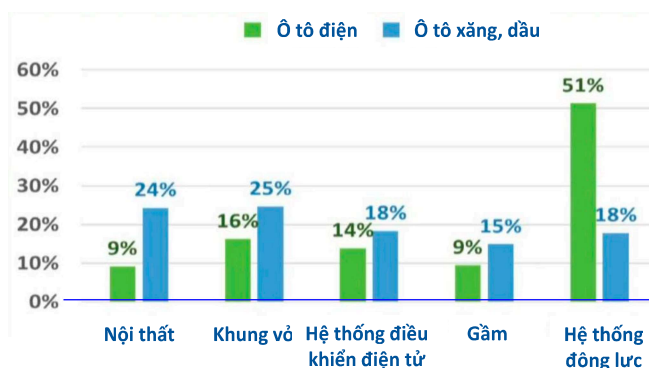
Cơ quan năng lượng quốc tế (IEA) dự báo hai kịch bản về phát triển xe điện trong thập niên tới. Kịch bản 1 dựa và chính sách cụ thể của các chính phủ và kịch bản 2 dựa vào yêu cầu phát triển bền vững tương thích với các mục tiêu khí hậu của Thỏa thuận Paris. Theo kịch bản 1 thì ô tô điện toàn cầu năm 2030 đạt khoảng 140 triệu xe và chiếm 7% tổng lượng ô tô hoạt động. Trong khi đó theo kịch bản 2, số

lượng ô tô điện toàn cầu tăng 36% hàng năm, đạt 245 triệu xe vào năm 2030, gấp hơn 30 lần so với mức hiện nay [12].

Các hãng sản xuất xe điện đang nỗ lực rút giảm giá thành sản xuất để tăng tính cạnh tranh của xe điện so với các loại xe truyền thống. Hình 14 giới thiệu các cấu phần của giá thành ô tô điện cỡ trung. Năm 2016 bộ accu chiếm đến 48% giá thành của xe điện. Tỉ trọng giá thành accu giảm dần nhờ những tiến bộ trong nghiên cứu phát triển như đã nói ở các phần trên. Hiện nay, giá thành accu còn chiếm 36% tổng giá thành của xe và dự báo đến năm 2030, giá thành accu chỉ còn chiếm 18% tổng giá thành của xe điện. Nhờ giá accu ngày càng rẻ nên giá xe điện sẽ trở nên thấp hơn giá xe dùng động cơ đốt trong cùng cỡ vào cuối thập niên này.



Hình 14. So sánh giá thành ô tô cỡ trung chạy bằng accu và bằng động cơ đốt trong



Hình 15. So sánh tỉ lệ giá thành của các cấu phần tương ứng ô tô điện và ô tô chạy bằng động cơ đốt trong

Hình 15 so sánh tỉ lệ giá thành của các cấu phần tương ứng ô tô điện và ô tô truyền thống. Chúng ta thấy hệ thống gầm, khung vỏ của ô tô điện đơn giản hơn ô tô truyền thống nên chiếm tỉ lệ thấp trong giá thành tổng thể. Như đã trình bày ở trên, hệ thống động lực (bao gồm accu) của xe điện chiếm tỉ lệ giá thành cao nhất. Giá thành của hệ thống này sẽ giảm dần trong những năm tới do giá thành accu giảm.

### 3.5 Dự báo phát triển ô tô điện ở Việt nam

Nghiên cứu trên đây cho thấy những điều kiện hỗ trợ cho sự phát triển của xe điện trong tương lai rất hiện thực. Đối với ô tô điện accu, mật độ lưu trữ năng lượng của các accu thế hệ mới sẽ gia tăng, công nghệ sạc điện nhanh sẽ phát triển mạnh. Đối với ô tô điện chạy bằng pin nhiên liệu hydrogen thì khả năng lưu trữ nhiên liệu ngày càng được cải thiện, giá thành pin nhiên liệu và hydrogen ngày càng giảm, cơ sở

hạ tầng cung cấp nhiên liệu hydrogen ngày càng phát triển. Những điều kiện đó làm cho giá thành ô tô điện giảm xuống thấp hơn ô tô truyền thống cùng kích cỡ trong tương lai gần. Những yếu tố này giúp cho việc sử dụng xe điện gần giống như sử dụng xe xăng dầu, giải quyết vấn đề kỹ thuật và tâm lý thuyết phục người tiêu dùng chuyển sang sử dụng xe điện. Chính vì vậy nhiều nước phát triển đã đặt ra mục tiêu loại bỏ ô tô truyền thống chạy bằng động cơ đốt trong trước năm 2040. Đối với các nước đang phát triển, lộ trình này có thể chậm trễ hơn tuy nhiên có một điều thấy rõ là khoảng nửa sau của thế kỷ này, động cơ đốt trong sẽ không còn là nguồn động lực chính cho ô tô, xe máy. Thay vào đó là ô tô điện chạy bằng accu hay bằng pin nhiên liệu hydrogen.

Sự thâm nhập của ô tô điện vào thị trường không chỉ phụ thuộc vào tính hấp dẫn của chiếc

xe mà còn phụ thuộc rất nhiều vào các điều kiện phục vụ cho xe hoạt động và chính sách của chính phủ. Hệ thống phân phối xăng dầu đã tồn tại gần một thế kỷ qua cũng không dễ biến mất ngay khi mà hệ thống cung cấp năng lượng mới chưa thực sự cạnh tranh. Vì vậy việc chuyển từ ô tô xăng dầu sang ô tô điện hay ô tô pin nhiên liệu hydrogen cần phải có giai đoạn chuyển tiếp. Trong giai đoạn này ô tô hybrid xăng sạc điện sẽ là phương tiện giao thông phù hợp. Trong ô tô hybrid xăng sạc điện phần năng lượng điện sẽ tăng dần, phần năng lượng xăng dầu sẽ giảm dần phù hợp với lộ trình phát triển của hệ thống hạ tầng cung cấp điện cho xe. Giai đoạn bắt đầu hybrid này dài hay ngắn phụ thuộc từng quốc gia. Những quốc gia có chiến lược chuyển mạnh sang ô tô không phát thải ô nhiễm sẽ đầu tư mạnh cho phát triển cơ sở hạ tầng xe điện và có chính sách khuyến khích người tiêu dùng sử dụng xe điện thì sẽ rút ngắn giai đoạn hybrid. Những quốc gia chưa sẵn sàng cho việc chuyển đổi này thì giai đoạn hybrid sẽ kéo dài. Trên thực tế hiện nay ô tô hybrid đã khá phổ biến ở các nước phát triển trong khi đó nó vẫn chưa được quen biết ở các nước đang phát triển.

Khi các nước có nền công nghiệp ô tô phát triển dừng sản xuất ô tô truyền thống thì cũng đồng nghĩa là những nghiên cứu phát triển ô tô sử dụng động cơ đốt trong sẽ không còn được thực hiện. Công nghệ sản xuất ô tô truyền thống vì vậy cũng sẽ dần dần biến mất và thay vào đó là nền công nghiệp sản xuất xe điện. Điều này có thể sẽ xảy ra vào giữa thế kỷ này. Như đã nói ở trên, trong giai đoạn chuyển tiếp vài ba thập niên tới, thị phần ô tô hybrid sẽ tăng dần với mức độ “điện hóa” ô tô ngày càng lớn.

Ở nước ta trong vài thập niên tới ô tô sử dụng động cơ đốt trong vẫn chiếm lĩnh thị trường. Việc chuyển ô tô truyền thống sang ô tô hybrid hay ô tô điện accu, ô tô pin nhiên liệu hydrogen

có thể sẽ diễn ra chậm hơn các nước phát triển. Hiện nay chúng ta đang áp dụng tiêu chuẩn phát thải ô nhiễm EURO IV cho ô tô mới, các ô tô cũ vẫn còn áp dụng tiêu chuẩn EURO II. Trong khi đó các nước phát triển đã áp dụng tiêu chuẩn EURO VI từ năm 2015 và nhiều nước đang có kế hoạch chiến lược áp dụng ô tô không phát thải ô nhiễm như đã nêu trên đây. Do tiềm lực đầu tư của nền kinh tế có giới hạn nên chúng ta không thể chuyển đổi nhanh chóng tiêu chuẩn ô nhiễm từ mức thấp lên mức cao hơn. Theo lộ trình đến năm 2022 ô tô mới ở nước ta phải đạt mức phát thải EURO V. Để đạt được tiêu chuẩn phát thải này, công nghệ chế tạo ô tô phải thay đổi căn bản, các nhà sản xuất ô tô sẽ phải đầu tư lớn hơn để có thể áp dụng công nghệ mới. Nước ta hiện nay vẫn chưa xây dựng lộ trình áp dụng tiêu chuẩn khí thải EURO VI. Tiêu chuẩn này đòi hỏi áp dụng công nghệ ô tô đỉnh cao, động cơ đốt trong thế hệ mới, hệ thống xử lý khí thải hiệu quả và đó là những thách thức rất lớn đối với các nhà sản xuất ô tô trong nước.

Kế hoạch chuyển sang sản xuất xe điện phụ thuộc vào lộ trình áp dụng tiêu chuẩn phát thải EURO VI của chính phủ. Do công nghệ chế tạo, lắp ráp ô tô điện đơn giản hơn công nghệ áp dụng đối với ô tô truyền thống nên việc chuyển đổi dây chuyền lắp ráp ô tô hiện nay sang lắp ráp ô tô điện không phải là vấn đề thách thức về qui mô đầu tư và trình độ kỹ thuật. Thậm chí việc sản xuất accu, pin nhiên liệu hydrogen, các bộ phận quan trọng nhất của ô tô điện cũng có thể được sản xuất trong nước với sự chuyển giao công nghệ từ nước ngoài. Điều này không hiện thực đối với sản xuất động cơ đốt trong thế hệ mới.

Có thể dự báo khi nước ta chuyển sang áp dụng tiêu chuẩn phát thải EURO VI thì đầu tư công nghệ sản xuất ô tô điện sẽ có nhiều lợi thế trong khi sản xuất ô tô truyền thống trong nước sẽ giảm tính cạnh tranh. Đây là định hướng có

ý nghĩa thiết thực đối với ngành công nghiệp ô tô nước ta trong tương lai gần.

Việc áp dụng xe điện ở nước ta có nhiều thuận lợi. Điều kiện khí hậu nước ta rất thuận tiện cho công nghệ nạp điện nhanh cho xe. Đó cũng là một yếu tố hỗ trợ cho sự phát triển của xe điện. Mặt khác trong tương lai phần lớn điện năng của nước ta sẽ được sản xuất bằng năng lượng tái tạo. Các hộ dân cũng có thể sản xuất điện mặt trời để nạp điện cho accu hay sản xuất hydrogen cung cấp cho ô tô. Accu đã qua sử dụng trên ô tô có thể được sử dụng làm nguồn lưu trữ năng lượng của các nhà máy điện gió, điện mặt trời trong nước để giảm giá thành đầu tư các nhà máy điện. Sự kết hợp chặt chẽ giữa ngành giao thông vận tải và ngành sản xuất năng lượng sẽ giúp nước ta nhanh chóng thực hiện được các mục tiêu của nền kinh tế carbon thấp, đảm bảo phát triển bền vững.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu trên đây cho phép chúng ta rút ra được những kết luận sau đây:

- Ô tô điện accu có hiệu suất chuyển đổi năng lượng cao, tính năng gia tốc tốt, không phát thải ô nhiễm khi sử dụng, chi phí sử dụng thấp. Rào cản chính hiện nay là khả năng lưu trữ của accu thấp, thời gian nạp điện kéo dài, cơ sở hạ tầng nạp điện chưa phát triển và tâm lý ngại thay đổi thói quen sử dụng ô tô truyền thống của người tiêu dùng.

- Ô tô điện chạy bằng pin nhiên liệu hydrogen có mức độ phát thải CO<sub>2</sub> trong vòng đời thấp, hiệu suất sử dụng năng lượng cao, thời gian nạp nhiên liệu ngắn, quãng đường hoạt động dài. Nhược điểm chính hiện nay là giá thành ô tô cao và đầu tư lớn cho hệ thống hạ tầng phục vụ cung cấp nhiên liệu hydrogen.

- Trong các loại accu thông dụng hiện nay thì accu lithium-ion là nguồn lưu trữ năng lượng phù hợp nhất cho ô tô điện. Nhờ ứng dụng vật liệu mới cho các điện cực và chất điện phân rắn,

khả năng lưu trữ của accu nền lithium sẽ tăng khoảng 2 lần trong thập niên tới. Thời gian nạp accu cũng rút giảm nhờ kết hợp sử dụng vật liệu mới cho accu và điều chỉnh nhiệt độ nạp điện phù hợp.

- Lưu trữ hydrogen bằng phương pháp nén và hóa lỏng giúp giảm thời gian nạp nhiên liệu nhưng cần đầu tư cơ sở hạ tầng tốn kém, tiêu hao năng lượng nhiều và nguy cơ mất an toàn cao. Lưu trữ hydrogen dưới dạng hydrua kim loại với mật độ năng lượng cao, áp suất và nhiệt độ làm việc vừa phải là giải pháp nhiều hứa hẹn ứng dụng trên ô tô pin nhiên liệu hydrogen trong tương lai.

- Hệ thống động lực một động cơ điện cho phép tận dụng tối đa các bộ phận của ô tô sử dụng động cơ đốt trong truyền thống nhưng hiệu suất không cao. Công nghệ tích hợp động cơ điện vào bánh xe chủ động giúp đơn giản hóa tối đa hệ thống truyền lực, nâng cao hiệu suất ô tô điện. Khó khăn liên quan đến việc cấp điện cho động cơ tích hợp có thể được giải quyết bằng công nghệ truyền năng lượng điện không dây.

- Giá thành của accu cũng như của pin nhiên liệu hydrogen liên tục giảm nhờ phát triển công nghệ chế tạo và ứng dụng các loại vật liệu mới. Trong tương lai gần giá thành ô tô điện sẽ thấp hơn ô tô chạy bằng nhiên liệu hóa thạch truyền thống. Bên cạnh đó, tỷ trọng điện năng sản xuất từ năng lượng tái tạo ngày càng tăng, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển ô tô điện trong nền kinh tế carbon thấp.

- Khi nước ta bắt đầu áp dụng tiêu chuẩn khí thải EURO VI và các hiệp định thương mại tự do thế hệ mới có hiệu lực đối với mặt hàng ô tô thì việc sản xuất, lắp ráp ô tô truyền thống trong nước sẽ giảm tính cạnh tranh so với ô tô nhập khẩu. Trong điều kiện đó thì việc chuyển hướng đầu tư sang sản xuất, lắp ráp ô tô hybrid để tiêu thụ trong nước và ô tô điện để xuất khẩu sẽ có nhiều lợi thế cạnh tranh.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Shawn, N.M., Salisbury, D., Graeme, A., & Hill. (2017). Analysing the usage and evidencing the importance of fast chargers for the adoption of battery electric vehicles, *Energy Policy* 108 (2017),474-486. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.033>
- [2] Andwari, A.M., Pesiridis, A., & Rajoo, S. (2017). A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78 (2017), 414-430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.138>
- [3] Chen, W., Liang, J., Yang, Z., & Li, G. (2019). A Review of Lithium-Ion Battery for Electric Vehicle Applications and Beyond. *Energy Procedia* 158 (2019), 4363-4368. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.783>
- [4] <https://mothership.sg/2020/10/hyundai-electric-car-singapore/>
- [5] Cui, G. (2020). Reasonable Design of High-Energy-Density Solid-State Lithium-Metal Batteries. *Matter* 2 (2020), 805-815. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.02.003>
- [6] Kamaya, N., Homma, K., & Yamakawa, Y. (2011). A lithium superionic conductor. *Nature Mater* 10 (2011), 682-686. <https://doi.org/10.1038/nmat3066>
- [7] Jin, Y., Liu, L., & Lang, J. (2020). High-Energy-Density Solid-Electrolyte-Based Liquid Li-S and Li-Se Batteries. *Joule* 4 (2020), 262-274. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.09.003>
- [8] Chen, L., Fan, X., & Hu, E. (2019). Achieving High Energy Density through Increasing the Output Voltage: A Highly Reversible 5.3 V Battery, *CHEM* 5 (2019), 896-912. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2019.02.003>
- [9] Lee, H.C., Park, J.O., & Kim, M. (2019). High-Energy-Density Li-O<sub>2</sub> Battery at Cell Scale with Folded Cell Structure, *JOULE* 3 (2019), 542-556. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.11.016>
- [10] Battery Innovation Roadmap 2030. (2020). *EUROBAT Association of European Automotive and Industrial Battery Manufacturers* (2020). [https://www.eurobat.org/images/members/EUROBAT\\_Battery\\_Innovation\\_Roadmap\\_2030\\_White\\_Paper.pdf](https://www.eurobat.org/images/members/EUROBAT_Battery_Innovation_Roadmap_2030_White_Paper.pdf)
- [11] <http://fatknowledge.blogspot.com/2007/05/japan-and-battery-development.html>
- [12] <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- [13] <https://www.ionenergy.co/resources/blogs/fast-charging-for-electric-vehicles/>
- [14] <https://www.batterypoweronline.com/news/the-future-for-fast-charging-lithium-ion-batteries/>
- [15] <https://www.wired.com/story/charge-a-car-battery-in-5-minutes-thats-the-plan/>
- [16] Ahluwalia, R.K. and Peng, J.K. (2008). Dynamics of cryogenic hydrogen storage in insulated pressure vessels for automotive applications. *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (2008), 4622-4633. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.05.090>
- [17] Aceves, S.M., Berry, G.D., Martinez-Frias, J., & Espinosa-Loza, F. (2006). Vehicular storage of hydrogen in insulated pressure vessels. *International Journal of Hydrogen Energy* 31 (2006), 2274-2283. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.02.019>
- [18] Møller, K.T., Jensen, T.J., Akiba, E., & Hai-wen Li (2017). Hydrogen-A sustainable energy carrier. *Progress in Natural Science: Materials International* 27 (2017), 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2016.12.014>

- [19] Liu, H., Xu, L., & Han, Y. (2020). Development of a gaseous and solid-state hybrid system for stationary hydrogen energy storage. *Green Energy & Environment*, available online 10 June 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.gee.2020.06.006>
- [20] Mellouli, S., Abhilash, E., & Askri, F. (2016). Integration of thermal energy storage unit in a metal hydride hydrogen storage tank. *Applied Thermal Engineering* 102 (2016), 1185-1196.  
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.03.116>
- [21] Turgut E.T., Rosen, M.A. (2010). Partial substitution of hydrogen for conventional fuel in an aircraft by utilizing unused cargo compartment space. *Int. J. Hydrogen Energy* 35 (2010),1463-1473.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.11.047>
- [22] Staffell, I., Scamman, D., & Abad, A.V. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy Environment Science* 12 (2019), 463-491; DOI: 10.1039/c8ee01157e
- [23]<http://fatknowledge.blogspot.com/2007/05/japan-and-battery-development.html>
- [24]<https://www.energytrend.com/research/20180710-12379.html>
- [25]<http://www.electricvehiclenews.com/2015/05/wireless-in-wheel-motor-system.html>