



# NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG PIN NHIÊN LIỆU “FUEL CELL” THAY THẾ CHO DẦU DIESEL SỬ DỤNG TRÊN CÁC THIẾT BỊ KHAI THÁC MỎ LỘ THIÊN NHẪM GIẢM Ô NHIỄM MÔI TRƯỜNG

Nguyễn Đăng Tấn<sup>1,\*</sup>, Tạ Ngọc Hải<sup>2</sup>

Trường Đại học Thủy lợi, 175 Tây Sơn, Hà Nội, Việt Nam

Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam, 226 Lê Duẩn, Hà Nội, Việt Nam

## THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 02/5/2024

Ngày nhận bài sửa: 20/7/2024

Ngày chấp nhận đăng: 05/8/2024

<sup>1,\*</sup>Tác giả liên hệ:

Email: nguyendangtan@tlu.edu.vn

## TÓM TẮT

Nguồn xăng, dầu diesel đang có nguy cơ giảm dần do trữ lượng có hạn và nhu cầu sử dụng ngày càng lớn, đồng thời khí thải từ những việc đốt cháy xăng, dầu diesel của động cơ đốt trong là tác nhân chính gây ô nhiễm môi trường như: Cacbon monoxit (CO), Oxit nitơ (NO<sub>x</sub>), Các bon dioxit CO<sub>2</sub>,... gây ô nhiễm môi trường, góp phần gây hiệu ứng nhà kính. Sự gia tăng số lượng phương tiện giao thông sử dụng động cơ đốt trong đã tăng lượng khí thải độc hại, đe dọa chính cho cuộc sống của con người. Các phương tiện giao thông điện đã và đang phát triển mạnh mẽ, chúng thân thiện với môi trường vì không thải ra bất kỳ loại khí nào gây ô nhiễm môi trường và đang thay thế dần cho các phương tiện giao thông sử dụng động cơ đốt trong. Tuy nhiên, các thiết bị công suất lớn sử dụng trong khai thác mỏ lộ thiên như xe tải, máy xúc, máy ủi thì dung lượng pin khó đáp ứng được nhu cầu vận hành của chúng. Mặc dù các thiết bị này có số lượng nhỏ hơn nhiều so với phương tiện vận tải dân dụng, chúng sử dụng động cơ đốt trong có công suất lớn nên lượng khí phát thải ra lớn. Nguồn năng lượng sạch mới không phát thải ra môi trường, thay thế cho xăng, dầu diesel đang được nghiên cứu và phát triển là pin nhiên liệu hydro. Hydro phản ứng hóa học với ô xy để sinh ra năng lượng điện và nước nên được coi như nguồn năng lượng sạch vì mức phát thải bằng không. Để pin nhiên liệu hydro có thể thay thế cho dầu diesel trên các thiết bị khai thác mỏ lộ thiên thì cần phải nghiên cứu đánh giá những yếu tố kinh tế, kỹ thuật. Bài báo này sẽ nghiên cứu, tính toán và đánh giá khả năng ứng dụng pin nhiên liệu hydro trên thiết bị vận tải và khai thác mỏ lộ thiên.

**Từ khóa:** Pin nhiên liệu, xe tải mỏ, phát thải ròng bằng không, khí thải ô nhiễm môi trường, biến đổi khí hậu, khí thải nhà kính

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, khối lượng đất đá thải của các đơn vị thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) chỉ riêng tại vùng Quảng Ninh đã lên tới 150 triệu m<sup>3</sup>. Để vận chuyển khối lượng đất đá thải này, TKV đã sử dụng nhiều phương tiện, trong đó dùng ô tô là chủ yếu, trong đó có nhiều ô tô tải nặng, tải trọng từ 58 Tấn đến

100 Tấn. Gần đây đã có những thử nghiệm ô tô có trọng tải 130 Tấn truyền động điện. Ngoài ra còn số lượng lớn các ô tô chạy xăng được sử dụng. Khi làm việc, động cơ xe ô tô sử dụng thải ra các khí độc hại như: Cacbon monoxit (CO), Ôxit nitơ (NO<sub>x</sub>), Cacbon dioxit CO<sub>2</sub>,... gây ô nhiễm môi trường, góp phần gây hiệu ứng nhà kính. Để giảm thải ô nhiễm môi trường, trên thế



giới đã đề xuất nhiều giải pháp, trong đó có giải pháp sử dụng pin nhiên liệu hydro. Bài báo giới thiệu về những tiến bộ trong việc áp dụng ô tô vận tải mỏ sử dụng pin nhiên liệu hydro và khả năng áp dụng nhằm giảm thiểu phát thải khí độc hại, bảo vệ môi trường, gián tiếp giảm phát thải CO<sub>2</sub>.

## 2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Khí thải của động cơ đốt trong và mức tiêu hao nhiên liệu

Động cơ ô tô tải mỏ sử dụng động cơ xăng hoặc động cơ diesel. Khí thải động cơ ô tô chứa những chất độc như CO, NO<sub>x</sub>, HC, CO<sub>2</sub> (động cơ xăng),... không những có hại cho môi trường mà còn có hại đến sức khỏe con người. Ngoài những chất khí độc này, đối với động cơ diesel còn có những hạt các bon siêu mịn, có thể thâm thấu sâu vào trong phổi [1], [4], [6]. Lượng khí thải phụ thuộc vào lượng nhiên liệu tiêu thụ của động cơ đốt trong, sản lượng phát thải tính trên 1 tấn nhiên liệu của động cơ xăng và động cơ diesel thể hiện Bảng 1.

**Bảng 1. Lượng khí thải khi đốt cháy 1 tấn nhiên liệu**

Tên sản phẩm cháy khi đốt nhiên liệu xăng và dầu diesel	Khối lượng phát thải vào khí quyển (tấn)	
	Động cơ xăng	Động cơ Diesel
CO	0,6	0,2
HC	0,1	0,03
NO <sub>x</sub>	0,04	0,04
SO <sub>2</sub>	0,002	0,02
Muội khói	0,00058	0,0155
Tổng cộng	0,74258	0,3055

Lượng xăng dầu bán lẻ ra thị trường tỉnh Quảng Ninh năm 2023 ước đạt trên 1,19 triệu m<sup>3</sup>, lượng xăng dầu ngành than tiêu thụ chiếm tới 65% tổng sản lượng xăng dầu trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh tương ứng sản lượng 0,7735 triệu m<sup>3</sup>. Các thiết bị khai thác, vận tải chủ yếu dùng dầu diesel có khối lượng riêng trung bình 0,85 kg/m<sup>3</sup> nên khối lượng phát thải ước bằng 0,7735.0,8.0,3055 = 0,20086 triệu tấn. Rõ ràng, khối lượng phát thải do thiết bị khai thác, bốc xúc ra ngoài môi trường khá lớn. Giảm thiểu lượng phát thải này sẽ đóng góp vào giảm thiểu khí thải độc hại với môi trường.

Một trong các tiêu chí theo dõi và đánh giá tính hiệu quả việc vận hành của xe đó là định mức tiêu hao nhiên liệu theo quãng đường di chuyển (FC- Fuel Consumption). Tiêu chí này thể hiện số lít nhiên liệu xe đã tiêu thụ để di chuyển một quãng đường 100 km và được đo lường trong suốt quá trình hoạt động của xe, theo từng chuyến, theo tháng hoặc tại một thời điểm bất kỳ có đơn vị đo là lít/100 km.

Tuy nhiên, lượng nhiên liệu tiêu thụ trong 100 km phụ thuộc vào điều kiện vận hành cụ thể như trọng tải xe, lực cản trong quá trình làm việc. Việc chưa xác định được chính xác rằng động

cơ có thể sản sinh bao nhiêu công suất với tốc độ dòng nhiên liệu nên không đánh giá được mức độ hiệu quả của việc tiêu thụ nhiên liệu. Suất tiêu hao nhiên liệu theo công suất (BSFC-brake-specific fuel consumption) là đặc tính kỹ thuật đánh giá hiệu năng tiêu thụ nhiên liệu của động cơ. Đơn vị thường sử dụng của BSFC là g/kWh.

$$BSFC = \frac{m_f}{P} 3600$$

Trong đó:

$m_f$  (g/s) – Lưu lượng khối lượng nhiên liệu tiêu thụ; P(kW) – Công suất động cơ sinh ra; BSFC (g/kWh) – Suất tiêu hao nhiên liệu theo công suất.

Suất tiêu hao nhiên liệu theo quãng đường và theo công suất động cơ thường được xác định bằng thực nghiệm. Bảng 2 trình bày kết quả thực nghiệm suất tiêu hao nhiên liệu của xe tải, máy kéo. Suất tiêu hao nhiên liệu theo km chỉ áp dụng với một xe cụ thể với tải trọng cũng như cùng đường vận chuyển cụ thể. Suất tiêu hao nhiên liệu theo công suất động cơ đánh giá mức độ hiệu quả của động cơ diesel. BSFC của xe tính trung bình là 227 g/kWh. Xe tải tốt nhất trong phân khúc có BSFC là 202 g/kWh trong trên



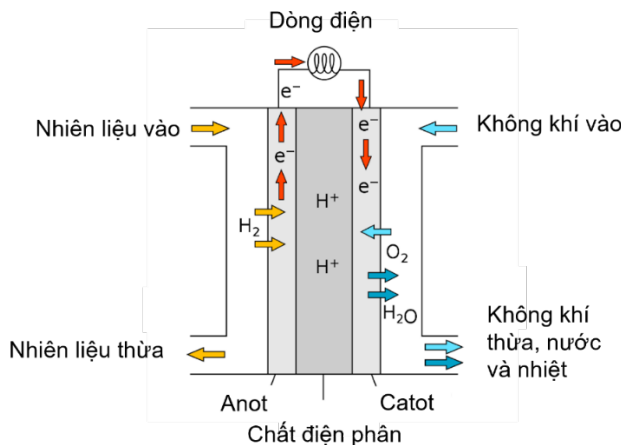
đường [15]. BSFC được sử dụng để tính toán lượng nhiên liệu tiêu hao cho xe tải mỏ.

**Bảng 2. Suất tiêu hao nhiên liệu của xe tải, máy kéo [15]**

Thiết bị	Định mức tiêu thụ nhiên liệu theo quãng đường (FC), l/100 km		Suất tiêu hao nhiên liệu theo công suất (BSFC), g/kWh	
	Đường dài	Di chuyển ngắn	Đường dài	Di chuyển ngắn
Máy kéo cổ điển	32,6	34,3	227	236
Máy kéo thế hệ mới	29,9	31,6	202	210
Xe tải	31,1	21,6	225	238

**2.2. Nguyên lý làm việc của xe pin nhiên liệu hydro**

Có nhiều loại pin nhiên liệu, nhưng chúng đều bao gồm cực dương, cực âm và chất điện phân cho phép các ion, thường là các ion hydro (proton) tích điện dương, di chuyển giữa hai phía của pin nhiên liệu. Ở cực dương, chất xúc tác làm cho nhiên liệu trải qua các phản ứng ô xy hóa tạo ra các ion (thường là các ion hydro tích điện dương) và electron. Các ion di chuyển từ cực dương sang cực âm thông qua chất điện phân. Đồng thời, các electron di chuyển từ cực dương sang cực âm thông qua một mạch điện bên ngoài, tạo ra dòng điện một chiều. Ở cực âm, một chất xúc tác khác làm cho các ion, electron và ô xy phản ứng, tạo thành nước và có thể cả các sản phẩm khác.



**Hình 1. Sơ đồ trao đổi proton của pin nhiên liệu đơn**

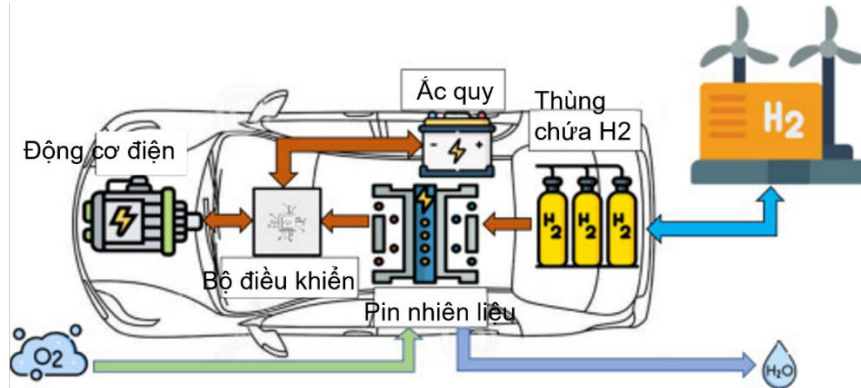
Pin nhiên liệu được phân loại theo loại chất điện phân mà chúng sử dụng và theo sự khác biệt về thời gian khởi động, từ 1 s đối với pin

nhiên liệu màng trao đổi proton (pin nhiên liệu PEM hoặc PEMFC) đến 10 min đối với pin nhiên liệu oxit rắn (SOFC). Một công nghệ liên quan là pin dòng chảy, trong đó nhiên liệu có thể được tái tạo bằng cách sạc lại. Các tế bào nhiên liệu riêng lẻ tạo ra điện thế tương đối nhỏ, khoảng 0,7 V, vì vậy các tế bào được "xếp chồng lên nhau" hoặc xếp thành chuỗi để tạo ra điện áp đủ đáp ứng yêu cầu của ứng dụng.

Ngoài điện, pin nhiên liệu còn tạo ra hơi nước, nhiệt và tùy thuộc vào nguồn nhiên liệu, một lượng rất nhỏ khí nitơ dioxide và các khí thải khác. Tế bào PEMFC thường tạo ra ít oxit nitơ hơn tế bào SOFC: chúng hoạt động ở nhiệt độ thấp hơn, sử dụng hydro làm nhiên liệu và hạn chế sự khuếch tán nitơ vào cực dương thông qua màng trao đổi proton, tạo thành NOx. Hiệu suất năng lượng của pin nhiên liệu thường nằm trong khoảng từ 40 đến 60%; tuy nhiên, nếu nhiệt thải được thu giữ trong sơ đồ đồng phát, hiệu suất có thể đạt tới 85%. Bộ cực chung của một ô được hiển thị trên Hình 1.

Phương tiện chạy bằng hydro tiêu chuẩn cho dù đó là ô tô chở khách, xe tải, máy xúc ..., nghĩa là nó sử dụng pin nhiên liệu để sản xuất điện trên xe và cung cấp năng lượng cho hệ thống truyền động điện. Cấu trúc của chiếc xe được trình bày trên Hình 2. Nó tương tự như cấu trúc xe điện sử dụng pin điện nhưng hoạt động kết hợp với hai nguồn năng lượng trên xe: pin và hệ thống hydro

Nhiên liệu hydro từ thùng chứa sẽ được đưa đến các tế bào pin nhiên liệu, đồng thời Ô xy trong không khí cũng được dẫn vào đây. Dòng điện sinh ra từ tế bào pin nhiên liệu được đưa vào bộ điều khiển. Bộ điều khiển quyết định dòng điện cung cấp trực tiếp đến động cơ điện để dẫn động bánh xe hoặc bổ xung nguồn điện từ pin lithium (Ắc quy). Ở chế độ hãm, động cơ điện được điều khiển để trở thành máy phát điện, nguồn điện sinh ra được qua bộ điều khiển để nạp vào Ắc quy (xem Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ dòng năng lượng phương tiện sử dụng pin nhiên liệu

Hệ thống nhiên liệu hydro bao gồm pin nhiên liệu, bộ lưu trữ hydro và pin điện lithium (ắc quy). Vì có hai nguồn năng lượng trong hệ thống nên cần xác định về kích thước để tạo ra sự phù hợp giữa kích thước Ắc quy và năng lượng pin nhiên liệu

Thùng lưu trữ hydro trong các phương tiện giao thông đường bộ cho các phương tiện vận tải nhẹ thường là bình xăng có thể chịu được áp suất 350-700 bar (35-70 MPa) tùy theo mục đích sử dụng. Khối lượng riêng của loại này thường là 5,7% khối lượng riêng dầu diesel, nghĩa là đối với một bình chứa được 100 kg dầu diesel có thể chứa 5,7 kg hydro. Dung tích chứa hydro trên xe con là khoảng 5 kg. Tiêu chuẩn phổ biến nhất là 700 bar (70 MPa). Ở áp suất này, hydro có khối lượng riêng là 42 kg/m<sup>3</sup> và do đó 5 kg H<sub>2</sub> vừa với bình 125 L. Nếu hydro được hóa lỏng và bảo quản ở -253°C, khối lượng riêng là 71 kg/m<sup>3</sup> và 5 kg H<sub>2</sub> sẽ vừa với bình 75 L. Điều này có vẻ rất phù hợp với phương tiện giao thông vận tải nhưng có nhiều vấn đề xảy ra với hydro lỏng như hiện tượng bay hơi đòi hỏi phải có sự điều chỉnh nhiệt quan trọng. Việc hóa lỏng cũng tốn kém và làm giảm hiệu suất của truyền động.

### 2.3. Tình hình nghiên cứu, phát triển xe tải mô sử dụng pin nhiên liệu

#### 2.3.1. Xe ô tô thông thường sử dụng pin nhiên liệu hydro hiện có

Các phương tiện sử dụng hydro đã nhận được sự quan tâm ngày càng tăng ngay sau khi có nhu cầu giảm lượng khí thải nhà kính trên toàn thế giới và đặc biệt là từ giao thông vận tải. Từ những năm 70 và 90, một số nhà sản xuất ô tô đã thực hiện một số nghiên cứu về phương tiện chạy bằng hydro và đặc biệt là hydro ICE như BMW và BMW Hydrogen 5 vào năm 1972. Mazda cũng đã khám phá khả năng của hydro vào năm 1991 với nguyên mẫu động cơ Wankel sử dụng hydro. Sau nghị định thư Kyoto, BMW và Mazda đã nhắc lại dự án của họ bằng cách lần lượt phát triển BMW Hydrogen 7 chạy bằng động cơ V12 chạy bằng hydro và Mazda với RX8 Hydrogen RE. Gần đây hơn, một số mẫu xe du lịch đã được tung ra thị trường như Honda FCX Clarity Fuel Cell vào năm 2008, Hyundai ix35 FCEV vào năm 2013, Toyota Mirai vào cuối năm 2014, Mercedes GLC Pin nhiên liệu năm 2019 (xem Bảng 3).

Bảng 3. Xe ô tô sử dụng pin nhiên liệu [10]

Nhãn hiệu	Tên xe	Công suất pin nhiên liệu, kW	Công suất động cơ điện, kW	Mô men xoắn động cơ điện, Nm	Phạm vi di chuyển, km	Năm sản xuất
Honda	FCX Clarity Fuel Cell	100	100	256	435	2008



Nhãn hiệu	Tên xe	Công suất pin nhiên liệu, kW	Công suất động cơ điện, kW	Mô men xoắn động cơ điện, Nm	Phạm vi di chuyển, km	Năm sản xuất
Hyundai	ix35 FCEV	100	100	300	594	2013
Toyota	Mirai	114	113	335	650	2014
Mercedes	GLC Fuel Cell	NA	147	350	437	2019
Hyundai	Nexo	95	120	395	666	2018
Honda	Clarity Fuel Cell	103	130	300	580	2021
Toyota	Mirai II	128	134	300	650 km	2021

Tuy nhiên, ngày nay chỉ có Toyota Mirai mới, sản phẩm kế thừa của Hyundai Nexo ix35 có mặt trên thị trường. Honda Clarity Fuel Cell mới cũng có sẵn nhưng chỉ có ở thị trường California. Hiện nay, nhiều hãng sản xuất ô tô đang tập trung phát triển ô tô sử dụng pin nhiên liệu cũng như các trung tâm nghiên cứu sản xuất hydro. Trong tương lai gần, phương tiện sử dụng nhiên liệu hydro được kỳ vọng thay thế cho động cơ sử dụng nhiên liệu hóa thạch cũng như xe điện sử dụng pin lithium nạp từ nguồn điện ngoài xe.

**2.3.2. Nghiên cứu, phát triển xe tải mỏ sử dụng pin nhiên liệu**

Kuhn Schweiz ở Đức đã phát triển một chiếc xe tải khai thác điện khí hóa không cần sạc bên ngoài; thay vào đó nó cung cấp năng lượng cho pin bằng cách sử dụng năng lượng thu được. Công ty đã mua một chiếc xe tải khai thác mỏ tải trọng 111 Tấn từ Komatsu và thay thế động cơ diesel bằng bộ pin điện lithium-iron-phosphate 600 kWh từ công ty Lithium Storage (Hình 3). Đây là hệ thống pin lớn nhất được lắp đặt trên xe cho đến nay. Bộ pin điều khiển một động cơ điện đồng bộ 590 kW mang lại mô men xoắn lên tới 9500 Nm, trong khi bộ điều khiển pin thu năng lượng tái tạo từ động cơ. Khi xe di chuyển xuống dốc, động cơ điện chuyển thành máy phát để nạp năng lượng cho pin trên xe [10]. Pin điện được sử dụng cho xe tải hybrid của hãng Sany, xe có trọng tải 136 Tấn, 220 Tấn với công suất

động cơ 1400 kW, 2090 kW và bộ pin có dung lượng 128 kWh, 78,5 kWh [12].

Ngày 12 tháng 12 năm 2023 - General Motors và Komatsu sẽ cùng phát triển mô đun năng lượng pin nhiên liệu hydro cho xe tải khai thác dẫn động điện 930E của Komatsu, chiếc xe tải chở hàng siêu hạng bán chạy nhất thế giới. Nhẹ và nhanh chóng tiếp nhiên liệu, pin nhiên liệu hydro rất lý tưởng cho các ứng dụng điện khí hóa truyền thống chạy bằng động cơ diesel. Hydro cung cấp một phương pháp hiệu quả để đóng gói một lượng lớn năng lượng trên xe mà không ảnh hưởng đến khả năng mang tải (Hình 4).

Ngoài ra, pin nhiên liệu còn cung cấp giải pháp tuyệt vời không phát thải khí thải cho các phương tiện có yêu cầu vận chuyển khắc nghiệt, như xe tải khai thác mỏ Komatsu 930E, với trọng tải danh nghĩa là 320 Tấn. Những phương tiện này thường hoạt động tại một mỏ duy nhất trong suốt vòng đời của chúng, giúp đơn giản hóa những thách thức trong việc xác định quy mô và triển khai cơ sở hạ tầng tiếp nhiên liệu hydro hiệu quả để phục vụ đội xe. Tại GM, pin nhiên liệu có thể đóng một vai trò không thể thiếu trong một tương lai không phát thải, giúp điện khí hóa các ứng dụng nặng hơn”. Xe tải khai thác mỏ là một trong những phương tiện lớn nhất, có khả năng hoạt động tốt nhất được sử dụng trong bất kỳ ngành công nghiệp nào và pin nhiên liệu hydro là phù hợp nhất để cung cấp lực đẩy không phát thải cho các ứng dụng đòi hỏi khắt khe này.



**Hình 3. Xe tải khai thác mỏ nặng 111 Tấn của Komatsu đã được chuyển sang hoạt động bằng điện với bộ pin điện lithium-iron-phosphate 600 kWh [10]**

Komatsu đã đặt mục tiêu giảm 50% lượng khí thải toàn cầu vào năm 2030 và mục tiêu đầy thách thức là đạt được mức độ trung hòa các bon vào năm 2050. Các kế hoạch để đạt được các mục tiêu này bao gồm giảm và loại bỏ khí thải trong các sản phẩm của công ty cũng như trong các cơ sở của công ty và sản xuất các sản phẩm của mình. Komatsu cũng hợp tác chặt chẽ với khách hàng trong việc giảm thiểu và loại bỏ khí thải trong quá trình sử dụng sản phẩm thông qua các chương trình tối ưu hóa được hỗ trợ bởi các giải pháp công nghệ và dịch vụ của Komatsu, mục tiêu là trung hòa hoàn toàn các bon trong cả sản phẩm và hoạt động vào năm 2040.



**Hình 4. Xe tải khai thác 930E của Komatsu sẽ chạy bằng pin nhiên liệu hydro [12]**

Dan Funcannon, Phó chủ tịch Kỹ thuật và Phát triển Bắc Mỹ của Komatsu cho biết: “Tìm ra những cách mới để cung cấp năng lượng cho thiết bị mà khách hàng cần để thực hiện công việc quan trọng là khai thác và xây dựng là một phần quan trọng trong cam kết của chúng tôi

nhằm hỗ trợ một tương lai bền vững hơn”. Đây là công việc thiết yếu đòi hỏi sự hợp tác giữa các ngành và chúng tôi được hợp tác với GM về giải pháp quan trọng này để cung cấp dịch vụ vận chuyển không phát thải khí thải. GM và Komatsu thử nghiệm nguyên mẫu phương tiện khai thác chạy bằng HYDROTEC đầu tiên vào giữa những năm 2020 tại cơ sở nghiên cứu và phát triển Arizona Proving Grounds (AZPG) của Komatsu. Chiếc xe này sẽ được cung cấp năng lượng từ các khối năng lượng HYDROTEC có công suất hơn 2 MW. GM đã tiến hành nghiên cứu pin nhiên liệu và phát triển sản phẩm trong hơn 50 năm và là một trong những công ty duy nhất có nền tảng công nghệ tiên tiến cho cả pin điện lithium-ion và pin nhiên liệu hydro. GM và Komatsu tin rằng những công nghệ miễn phí này có thể giúp thúc đẩy việc áp dụng các giải pháp di chuyển có lượng khí thải thấp hơn và giúp các ngành công nghiệp khác ngoài xe chở khách đạt được các mục tiêu bền vững.

Hiện nay, xe tải mỏ chạy bằng pin nhiên liệu mới đang được tiến hành nghiên cứu, thử nghiệm nên chưa có những đánh giá về giá thành đầu tư ban đầu cũng như chi phí vận hành, bảo dưỡng. Vì vậy, bài báo này căn cứ vào so sánh hiện có cho xe buýt để làm cơ sở so sánh cho xe tải mỏ [14].

Sau khi chiếc xe buýt chạy bằng pin nhiên liệu hydro mới đầu tiên được New Flyer giao cho Lewis County Transit vào thứ ngày 19 tháng 3 năm 2024. Xe buýt có công suất động cơ điện 300 kW chạy bằng nhiên liệu hydro có chi phí khoảng 1,2 triệu USD mỗi xe buýt. Xe buýt chạy bằng pin nhiên liệu hydro sẽ giúp Lewis County Transit tiết kiệm tiền về lâu dài mặc dù xe buýt chạy bằng động cơ diesel hiện có mức giá thấp hơn khoảng 800.000 USD mỗi chiếc. Sau chi phí mua ban đầu, nhân viên của Lewis County Transit cũng phải tính chi phí bảo trì và bảo trì hàng năm cho đội xe buýt. Mặc dù chi phí ban đầu rẻ hơn nhưng xe buýt chạy bằng diesel tốn trung bình 300.000 USD hàng năm để vận hành và bảo trì. Xe buýt chạy bằng khí hydro có giá trung bình khoảng 225.000 USD một năm. Mỗi chiếc xe buýt được mua đều có thời gian phục vụ tối thiểu 12 năm trong đội xe của Lewis County Transit. Điều đó có nghĩa là, trong khoảng thời gian 12 năm, xe buýt chạy bằng pin nhiên liệu hydro sẽ tiết kiệm cho Lewis County Transit khoảng 900.000 USD chi phí bảo trì và bảo trì cho mỗi xe buýt [14]. Trên cơ sở đó, tổng

chi phí đối với xe sử dụng trong thời gian 12 năm là:

- Dầu diesel là  $800\ 000 + 300\ 000 \cdot 12 = 4\ 400\ 000$  USD
- Pin nhiên liệu là  $1200\ 000 + 225\ 000 \cdot 12 = 3\ 900\ 000$  USD

Do đó, tỷ lệ chi phí đầu tư ban đầu xe sử dụng pin nhiên liệu so với động cơ diesel  $1\ 200\ 000 / 800\ 000 = 1,5$  lần. Tỷ lệ chi phí bảo dưỡng trung bình của xe sử dụng pin nhiên liệu so với xe sử dụng dầu diesel là  $225\ 000 / 300\ 000 = 0,75$  lần.

Chi phí tính theo công suất động cơ trình bày trong Bảng 4.

**Bảng 4. So sánh chi phí theo công suất động cơ**

Loại xe	Chi phí đầu tư ban đầu, USD /1 kW	Chi phí nhiên liệu và bảo dưỡng, USD /1 kW
Xe buýt sử dụng động cơ Diesel	$800.000/300 = 266,67$	$1.200.000/300 = 400$
Xe buýt sử dụng pin nhiên liệu trong 1 năm	$300.000/300 = 100$	$225.000/300 = 75$

**2.4. Tính toán lượng nhiên liệu sử dụng và so sánh chi phí nhiên liệu với động cơ diesel trên cùng một số xe tải mô**

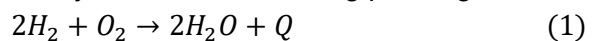
Trong nghiên cứu về pin nhiên liệu, thuật ngữ cân bằng hóa học được sử dụng. Ý nghĩa của nó có thể được định nghĩa là “một lượng vừa đủ”. Vì vậy, trong phản ứng pin nhiên liệu đơn giản  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ , chính xác sẽ cung cấp hai mol hydro cho mỗi mol ô xy. Điều này sẽ tạo ra điện tích chính xác là  $4F$ , do hai electron được chuyển cho mỗi mol hydro. Lưu ý rằng một trong hai hoặc cả hydro và ô xy thường được cung cấp ở mức lớn hơn tốc độ cân bằng hóa học. Điều này đặc biệt đúng đối với ô xy nếu nó được cung cấp dưới dạng không khí. Nếu nó được cung cấp ở mức chính xác theo tỷ lệ cân bằng hóa học thì không khí rời khỏi tế bào sẽ hoàn toàn không có ô xy. Cũng lưu ý rằng chất phản ứng không thể được cung cấp ở mức thấp hơn tốc độ cân bằng hóa học. Phép cân bằng hóa học này có thể được biểu diễn dưới dạng một biến và ký hiệu  $\lambda$  thường được sử dụng. Công dụng của nó có thể được mô tả như sau: nếu tốc độ sử dụng một chất trong phản ứng là  $n$  mol trên s thì tốc độ cung cấp là  $\lambda n$  mol trên s [9].

Để tăng tính hữu ích của các công thức, chúng đã được đưa ra dưới dạng công suất điện

của toàn bộ ngăn xếp pin nhiên liệu  $P_e$  và điện áp trung bình của từng ngăn trong ngăn xếp  $V_c$ . Năng lượng điện gần như luôn được biết đến vì đây là thông tin cơ bản và quan trọng nhất về hệ thống pin nhiên liệu. Có thể được giả định điện áp sinh ra nằm trong khoảng từ 0,6 đến 0,7 V, vì hầu hết pin nhiên liệu hoạt động trong vùng này,  $V_c = 0,65$  V sẽ cho kết quả gần đúng. Ước tính cao hơn một chút nếu pin nhiên liệu được điều áp [10].

**Sử dụng oxy và không khí**

Trong hoạt động cơ bản của pin nhiên liệu hydro, bốn electron được chuyển giao cho mỗi mol oxy; được thể hiện bằng phương trình.



Tuy nhiên, sẽ hữu ích hơn nếu có công thức tính bằng  $kg/s$  để không cần thiết phải biết số lượng tế bào  $n$ , cũng như về công suất  $P_e(W)$  hơn là dòng điện  $I(A)$ . Nếu điện áp của mỗi ô trong ngăn xếp là  $V_c(V)$ . Công suất pin nhiên liệu được xác định

$$P_e = V_c \cdot I \cdot n \quad (W) \tag{2}$$

Lưu lượng ô xy sử dụng được xác định

$$O_2 = \frac{8,29 \cdot 10^{-8} \cdot P_e}{V_c} \quad kg/s$$

Công thức này cho phép xác định mức sử dụng oxy của bất kỳ hệ thống pin nhiên liệu nào có công suất nhất định. Khi không biết  $V_c$ , nó có thể được tính toán từ hiệu suất và nếu không



đưa ra thông số này, như đã lưu ý trước đó, thì  $V_c = 0,65 V$  có thể được sử dụng làm giá trị gần đúng.

Oxy thường được cung cấp dưới dạng không khí và do đó cần phải điều chỉnh phương trình trên cho phù hợp với việc sử dụng không khí. Tỷ lệ mol của không khí là oxy là 0,21 và khối lượng mol của không khí là  $28,97 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$ . Lưu lượng không khí sử dụng được xác định:

$$\text{Lưu lượng không khí} = \frac{3,58 \cdot 10^{-7} \cdot P_e}{V_c} \text{ kg/s}$$

#### Lượng hydro sử dụng

Tỷ lệ sử dụng hydro được tính theo cách tương tự như đối với ô xy, ngoại trừ việc có hai electron từ mỗi mol hydro. Khối lượng mol của hydro là  $2,02 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$  nên lưu lượng hydro sử dụng được xác định

$$H_2 = 1,05 \cdot 10^{-8} \frac{P_e}{V_c} \text{ kg/s}$$

Ngoài tốc độ tiêu thụ hydro, điều quan trọng là phải biết năng lượng điện có thể được tạo ra từ một khối lượng hoặc thể tích hydro nhất định. Ngoài năng lượng 'thô' trên mỗi kg và lít tiêu chuẩn, còn có năng lượng 'hiệu quả' tính đến hiệu suất của pin và được biểu thị bằng  $V_c$ , điện áp trung bình của mỗi pin.

Để đánh giá tính khả thi khi chuyển đổi từ động cơ diesel sang pin nhiên liệu trên các thiết bị khai thác, vận tải mỏ ở Việt Nam, nghiên cứu sẽ tính toán thông số cơ bản hệ thống nhiên liệu dùng cho năm loại xe tải điển hình chở đất đá khai thác lộ thiên ở Quảng Ninh (Bảng 5). Ứng với mỗi loại xe, tải trọng, công suất động cơ và dung tích thùng nhiên liệu được tra trong tài liệu kỹ thuật của xe. Lượng dầu diesel cần thiết cho vận hành 1 ca (8 h) tùy thuộc vào công suất động cơ làm việc và thay đổi theo thời gian làm việc của xe. Để thuận lợi cho việc so sánh, đánh giá chi phí nhiên liệu, nghiên cứu này tính toán lượng nhiên liệu tiêu thụ tối đa khi động cơ làm việc ở công suất lớn nhất.

**Bảng 5. Tiêu thụ nhiên liệu diesel của một số xe tải công suất lớn dùng trong khai thác lộ thiên ở Việt Nam**

Loại xe	Tải trọng, Tấn	Công suất động cơ, kW	Dung tích thùng nhiên liệu, lít	Lượng dầu diesel cần thiết (lít) cho vận hành 1 ca (8h) ứng với BSFC = 238 g/kWh
Cat 773E	55,5	501	700	953,90
Cat 777D	93,6	749	1.137	1.426,10
HD 325-7R	34,5	371	500	706,38
HD 465-7R	55	533	780	1.014,83
HD 785-7	91	879	1308	1.673,62

Áp dụng công thức tính toán lượng hydro, ôxy và khả năng chứa hydro trong bình nhiên liệu cho năm loại xe tải trong Bảng 5, kết quả tính toán được chỉ trong Bảng 6. Vì hydro có khối lượng riêng nhẹ hơn nhiều dầu diesel nên khối lượng tiêu thụ hydro nhỏ hơn khá nhiều khối lượng nhiên liệu diesel trong 8 giờ. Tuy nhiên,

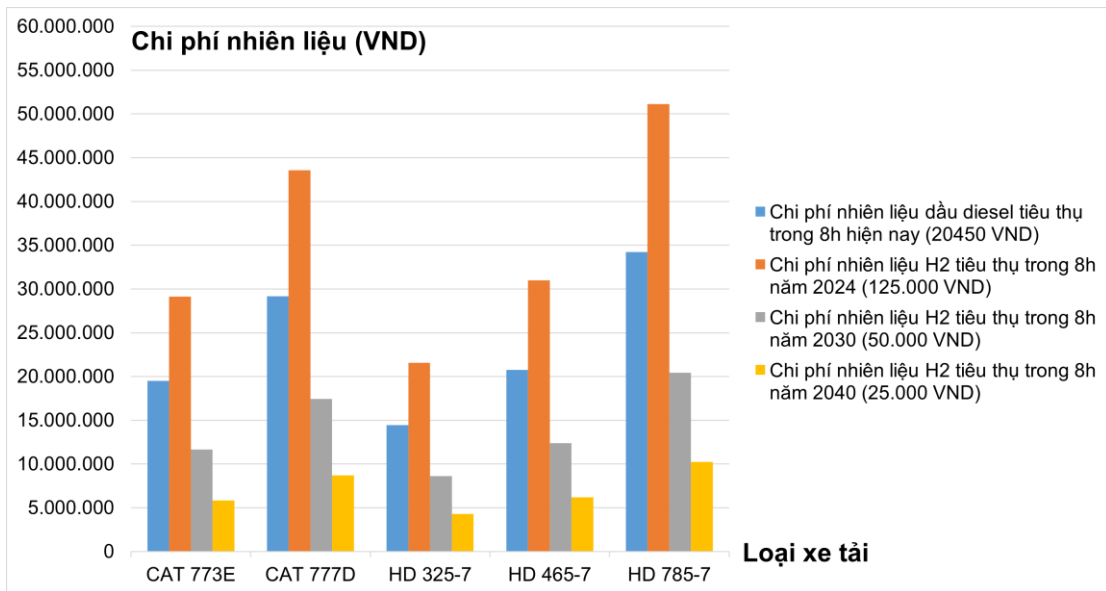
việc chứa hydro thì lại cần dung tích thùng chứa lớn, dung tích thùng chứa để đáp ứng nhu cầu vận hành trong 8 h so với dung tích bình nhiên liệu diesel lớn hơn từ 7,7 đến 8,6 lần. Vì vậy, trên thiết bị vận tải dùng pin nhiên liệu cần bố trí nhiều bình chứa ở các vị trí khác nhau trên xe.

**Bảng 6. Tiêu thụ nhiên liệu hydro tương ứng với một số loại sử dụng động cơ diesel**

Loại xe	Lượng không khí tiêu thụ (kg/h) khi công suất động cơ tối đa	Lượng hydro sử dụng (kg/h) khi công suất động cơ tối đa	Lượng H <sub>2</sub> cần thiết (kg) cho vận hành 1 ca 8h	Dung tích thùng chứa hydro (lít) để sử dụng trong 1 ca 8h với công suất động cơ tối đa	So sánh với dung tích bình nhiên liệu của động cơ diesel
CAT 773E	993,37	29,14	233,08	5.827,02	8,3 lần
CAT 777D	1.485,09	43,56	348,46	8.711,45	7,7 lần
HD 325-7R	735,61	21,58	172,60	4.315,02	8,6 lần
HD 465-7R	1.056,82	31,00	247,97	6.199,20	7,9 lần
HD 785-7	1.742,85	51,12	408,94	10.223,45	7,8 lần

Hiện nay, chi phí chế tạo pin nhiên liệu cao nên chi phí cho chế tạo ô tô sử dụng pin nhiên liệu đắt hơn đến 1,5 lần ô tô sử dụng động cơ diesel. Tương tự như vậy, giá thành sản xuất 1 lít khí hydro cũng cao hơn nhiều việc khai thác dầu khí sẵn có trong tự nhiên làm chi phí nhiên liệu hydro cao. Hiện tại giá 1kg hydrogen xanh khoảng 5 USD, nhưng với sản lượng ngày càng tăng, dự kiến tới 2030, sẽ giảm xuống còn 2

USD/kg và tới 2040 chỉ còn 1 USD/kg tương đương với giá 1 lít xăng hiện nay [3]. Coi giá dầu diesel biến động ít từ năm 2024 đến năm 2040, biểu đồ cột so sánh chi phí nhiên liệu cho năm loại xe tải trong Bảng 5 được thể hiện trên Hình 5. Khi giá thành 1 lít khí hydro giảm xuống thì chi phí nhiên liệu hydro cho xe tải mở giảm xuống nhanh chóng, lúc đó hiệu quả kinh tế trong vận tải đạt mức cao.



**Hình 5. So sánh chi phí nhiên liệu tiêu thụ của xe tải sử dụng dầu diesel và hydro theo thời gian**



### 3. KẾT LUẬN

➤ Khối lượng khí phát thải ra ngoài môi trường của thiết bị vận tải và khai thác mỏ rất lớn, ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường. Sử dụng pin nhiên liệu trên các thiết bị này là giải pháp có tính thực tiễn về kinh tế cũng như kỹ thuật;

➤ Kết quả tính toán được lượng hydro cần thiết, dung tích thùng chứa hydro và so sánh

hiệu quả kinh tế cho thấy hoàn toàn có thể áp dụng ô tô tải mỏ lộ thiên sử dụng pin nhiên liệu;

➤ Nội dung bài báo mới đưa ra các thông tin tham khảo và đánh giá sơ bộ ban đầu. Để có thể đánh giá khả năng áp dụng ô tô tải mỏ lộ thiên sử dụng pin nhiên liệu tại ngành Than Việt Nam cần có nghiên cứu sâu hơn, lập đề án áp dụng thử và đánh giá kết quả □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Cổng thông tin điện tử Quảng Ninh. *Hỗ trợ doanh nghiệp- Đảm bảo cung ứng xăng dầu dịp cuối năm*. <https://doanhnghiep.quangninh.gov.vn/>
  - [2]. Cục đăng kiểm Việt Nam – Cổng thông tin điện tử. *Khí thải ô tô là gì mà lại gây ô nhiễm môi trường?*. <http://www.vr.org.vn/tin-tuc-su-kien/>
  - [3]. Diễn đàn doanh nghiệp. *Cơ hội nào cho ô tô sử dụng nhiên liệu hydrogen tại Việt Nam*. <https://diendandoanhnghiep.vn/>
  - [4]. Nguyễn Thị Lê Hiền (2019). Pin nhiên liệu – Nguồn năng lượng tương lai. *Tạp chí dầu khí*, Số 7 – 2019. 57 - 67
  - [5]. Quảng Ninh Điện tử. *Nâng cao năng lực xúc bốc, vận tải các mỏ lộ thiên*. <https://baoquangninh.vn/>
  - [6]. Nguyễn Văn Tiến (2009). Phương pháp quan trắc và tính toán nguồn thải giao thông cơ giới. *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, Số 2-2009.
  - [7]. Komatsu. *GM and Komatsu collaborate on hydrogen fuel cell-powered mining truck*. <https://www.komatsu.com/>
  - [8]. Clément Hissler (2022). How to determine the fuel consumption for a hydrogen light commercial vehicle project to be competitive. *Master of Science in Engineering*. KTH Royal Institute of Technology.8
  - [9]. E-Mobility Engineering. *Electric truck mines own energy*. <https://www.emobility-engineering.com/>
  - [10]. James Larminie, Andrew Dicks (2023). *Fuel Cell Systems Explained - Second Edition*. [1].
  - [11]. Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Stefano Longo, Kambiz M. Ebrahimi (2018). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. Taylor & Francis Group, LLC.
  - [12]. Sany-Electric Drive Mining Truck. *Diesel-Electric Hybrid Power*. <https://www.sanyglobal.com/>
  - [13]. Tractebel. *Discover the world's first hydrogen-powered mining truck*. <https://tractebel-engie.com/en/news/2023/>
  - [14]. The Chronicle. *Diesel vs. hydrogen buýtes: Lewis County Transit director talks cost comparison*. <https://www.chronline.com/stories/>
  - [15]. The International council on clean transportation. *Comparison of fuel consumption and emissions for representative heavyduty vehicles in Europe*. [www.theicct.org](http://www.theicct.org), 04/2018
-



## RESEARCH AND APPLICATION OF FUEL CELLS TO REPLACE DIESEL USED IN OPEN PIT MINING EQUIPMENTS TO REDUCE ENVIRONMENTAL POLLUTION

Tan Dang Nguyen<sup>1,\*</sup>, Hai Ngoc Ta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Thuyloi University, 175 Tay Son, Ha Noi, Vietnam

<sup>2</sup>Vietnam Mining Science and Technology Association, 226 Le Duan, Ha Noi, Vietnam

### ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 02/8/2024

Revised: 18/9/2024

Accepted: 20/9/2024

<sup>1,\*</sup> Corresponding author:

Email: nguyendangtan@tlu.edu.vn

---

### ABSTRACT

*Gasoline and diesel sources are at risk of decreasing due to limited reserves and increasing demand. At the same time, emissions from burning gasoline and diesel in internal combustion engines are the main causes of environmental pollution such as: Carbon monoxide (CO), Nitrogen oxide (NOx), Carbon dioxide CO<sub>2</sub>, ... causing environmental pollution, contributing to the greenhouse effect. The increase in the number of vehicles using internal combustion engines has increased the amount of toxic emissions, which is a major threat to human life. Electric vehicles have been developing strongly, they are environmentally friendly because they do not emit any gases that pollute the environment and are gradually replacing vehicles using internal combustion engines. However, for large-capacity equipment used in open-pit mining such as trucks, excavators, and bulldozers, the battery capacity is difficult to meet their operating needs. Although these devices are much smaller in number than civil vehicles, they use high-power internal combustion engines, so they emit a large amount of gas. A new clean energy source that does not emit into the environment and replaces gasoline and diesel is being researched and developed, which is hydrogen fuel cells. Hydrogen reacts chemically with oxygen to produce electricity and water, so it is considered a clean energy source because the emission level is zero. In order for hydrogen fuel cells to replace diesel on open-pit mining equipment, it is necessary to study and evaluate economic and technical factors. This article will study, calculate and evaluate the possibility of applying hydrogen fuel cells on open-pit mining and transportation equipment.*

**Keywords:** Fuel cells, mining trucks, net zero emissions, air pollution, climate change, greenhouse gases

---

@ Vietnam Mining Science and Technology Association