



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)



## Sản xuất hydro sử dụng cho pin nhiên liệu xe điện, xe lai tại Việt Nam

Phạm Tuấn Anh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí – Điện- Điện tử - Ô tô, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

\*Người chịu trách nhiệm bài viết: Phạm Tuấn Anh (email: [anhpt@ntt.edu.vn](mailto:anhpt@ntt.edu.vn))

Ngày nhận bài: 15/10/2023

Ngày phân biện: 1/11/2023

Ngày duyệt đăng: 30/11/2023

**Title:** Hydrogen production for future development of electric & hybrid vehicles in Vietnam

**Keywords:** aqueous methanol, cell temperature, electrolysis, hydrogen production, porous flow field

**Từ khóa:** dung dịch methanol-nước, điện phân, nhiệt độ bình điện phân, sản xuất khí hydro, trường dòng chảy xốp

### ABSTRACT

This study presents effective approaches for producing hydrogen using the electrolysis method, with the aim of future development for electric and hybrid vehicles in Vietnam. Three approaches were tested: (i) using aqueous methanol, (ii) implementing a porous flow field, and (iii) increasing the electrolyzer cell temperature. These approaches were evaluated for their impact on hydrogen production efficiency. The results showed that at a current density of  $0,2A/cm^2$ , the consumed electric energies were 19,8, 17,8, and 15,4 kWh to generate 1kg of hydrogen gas, with energy conversion efficiencies of 71,8%, 74,7%, and 78,6% respectively for cell temperatures of 298K, 323K, and 348K when using the porous flow field. These findings demonstrated that the approaches utilized in this study effectively improve hydrogen production efficiency.

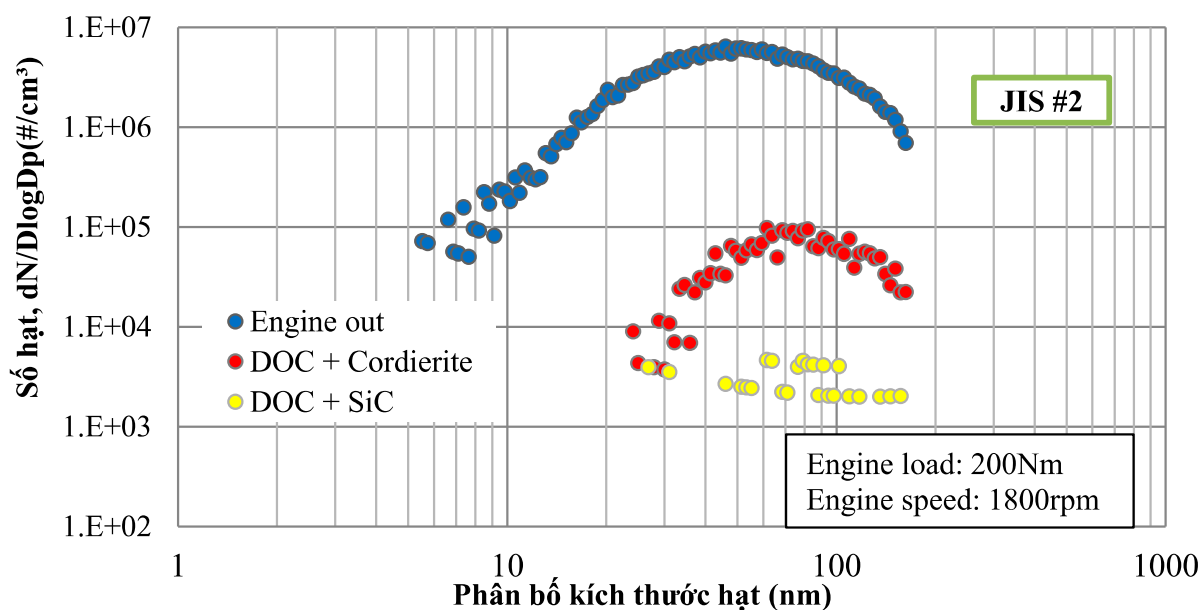
### TÓM TẮT

Bài báo này trình bày các phương thức sản xuất hydro hiệu quả bằng phương pháp điện phân ứng dụng công nghệ pin nhiên liệu phục vụ hướng phát triển xe điện, xe lai tại Việt Nam trong tương lai. 03 cách tiếp cận bao gồm: (i) sử dụng dung dịch methanol-nước, (2) sử dụng trường dòng chảy xốp, và (iii) tăng nhiệt độ bình điện phân được thí nghiệm để chứng minh việc tăng hiệu quả sản xuất khí hydro. Tại cùng lượng sản xuất khí hydro với mật độ dòng điện là  $0,2A/cm^2$ , năng lượng điện tiêu thụ lần lượt là 19,8, 17,8 và 15,4 kWh để tạo ra 01 kg khí hydro, tương ứng với hiệu suất chuyển đổi năng lượng lần lượt là 71,8, 74,7 và 78,6% cho nhiệt độ 298, 323 và 348K khi sử dụng trường dòng chảy xốp. Kết quả trên cho thấy cách tiếp cận trong nghiên cứu này giúp cải thiện hiệu suất của quá trình sản xuất hydro.

### 1. GIỚI THIỆU

Vấn đề tiết kiệm nhiên liệu và giảm ô nhiễm môi trường từ các nguồn động lực sử dụng động cơ đốt trong mang tính cấp thiết đòi hỏi những giải pháp phát triển bền vững từ các nhà thiết kế và chế tạo xe hơi trên thế giới. Các nghiên cứu gần đây cho thấy gần 1/3 khí thải nhà kính trên thế giới có nguồn gốc từ quá trình đốt cháy nhiên liệu hóa thạch của động cơ đốt trong dùng trên các phương tiện giao thông vận tải [1]. Theo số liệu thống kê [2], Thành phố Hồ Chí Minh đã có gần 9,0 triệu phương tiện giao thông đường bộ; trong đó, lượng xe máy chiếm 95% và tiêu thụ 56% lượng xăng, nhưng thải ra 94% HC, 87% CO và 57% NO<sub>x</sub> trong tổng lượng phát thải của các loại xe cơ giới. Đáng nói trong số này có rất nhiều các phương tiện như xe ô tô,

xe máy qua nhiều năm sử dụng có chất lượng, hiệu quả sử dụng năng lượng thấp, nồng độ chất gây ô nhiễm và bụi trong khí thải cao gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người. Các trạm quan trắc môi trường không khí hàng ngày tại TP.HCM gần đây luôn cảnh báo mức độ ô nhiễm bụi PM2.5 ở mức cao [3], các hệ thống này hiện chỉ đo được hạt bụi có kích cỡ trên 2.500 nm. Hình 1 minh họa kích cỡ hạt và số lượng hạt thải ra từ động cơ diesel Mitsubishi 4M42 (2AT3) trường hợp có và không gắn bộ xử lý khí thải DOC (Diesel Oxidation Catalyst) [4]. Kết quả từ thử nghiệm cho thấy hầu hết các khí thải tạo ra từ động cơ diesel có kích cỡ hạt nhỏ hơn 200 nm, và các máy đo chất lượng không khí hiện nay không xác định được lượng bụi với kích cỡ siêu nhỏ này.



Hình 1. Phân bố kích cỡ hạt và số lượng hạt thải ra từ động cơ Mitsubishi 4M42 [4]

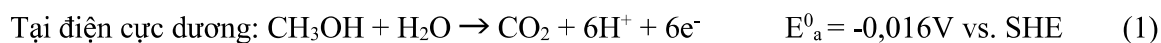
Bảng 1. So sánh năng lượng tích lũy của các chất mang năng lượng [8]

TT	Công nghệ Pin	Năng lượng tích lũy (Wh/kg)
1	Acid chì	30 - 50
2	Ni-Cd	45 - 80
3	Ni-Mh	60 - 120
4	Li-ion	110 - 160
5	Pin nhiên liệu với hydro hóa lỏng ở nhiệt độ thường, áp suất cao (35 ÷ 70 Mpa)	1.000 - 1.600

Trong lĩnh vực nghiên cứu phát triển ngành công nghiệp ô tô gần đây, xe điện nổi lên là một trong những xe “xanh” góp phần đáng kể vào việc giảm phát thải ô nhiễm môi trường và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng [5],[7]. Nhưng một thực tế không thể phủ nhận là hiện nay có quá ít những trạm sạc điện cho xe điện tại Việt Nam; ngoài ra, thời gian sạc pin cũng giới hạn phạm vi hoạt động và di chuyển của xe điện. Bảng 1 so sánh năng lượng tích lũy của các chất mang năng lượng dùng cho phát triển công nghệ pin xe điện [8]. So với pin Li-ion, pin nhiên liệu với hydro hóa lỏng ở áp suất cao thể hiện lợi điểm đáng kể về mật độ năng lượng, đồng nghĩa với việc tăng quãng đường di chuyển của xe điện cho một lần nạp liệu. Tuy nhiên, khí hydro không sẵn có trong tự nhiên mà cần phải được chế tạo; về mặt lý thuyết, mức tiêu thụ năng lượng để sản xuất hydro là 39,4 kWh/kg hydro, trong khi đối với các công nghệ sản xuất hydro hiện tại mức này là khoảng 50-55 kWh/kg hydro [9]. Công nghệ xe điện dùng pin nhiên liệu sẽ trở nên hấp dẫn hơn nếu hydro được chế tạo với mức tiêu thụ năng lượng thấp hơn. Trong nghiên cứu này, tác giả trình bày cách tiếp cận phương thức sản xuất hydro hiệu quả bằng phương pháp điện phân ứng dụng công nghệ pin nhiên liệu phục vụ hướng phát triển xe điện, xe lai tại Việt Nam. Methanol được pha thêm vào dung dịch nước và được sử dụng làm chất điện phân nhằm giảm tiêu thụ năng lượng trong quá trình sản xuất khí hydro.

## 2. PHƯƠNG PHÁP

Cách tiếp cận 1: Dùng dung dịch nước và methanol-nước làm chất điện phân để so sánh hiệu suất của quá trình sản xuất hydro. Hình 2 trình bày nguyên lý làm việc của bình điện phân

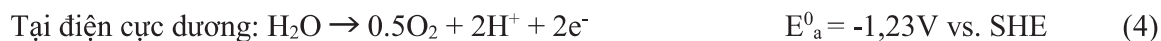


Quá trình điện phân sử dụng dung dịch nước:

sản xuất hydro sử dụng dung dịch methanol – nước (a) và nước (b). Đối với bình điện phân sử dụng dung dịch methanol-nước, methanol được đưa vào điện cực dương của bình điện phân, sau đó được khuếch tán qua lớp giấy carbon tiếp xúc với chất xúc tác tại điện cực này. Nguồn điện một chiều cung cấp nguồn cho bình điện phân để phân ly dung dịch methanol-nước thành CO<sub>2</sub>, proton và electron như trong phản ứng (1). Các electron di chuyển đến phía cực âm của bình điện phân thông qua mạch điện nguồn cung cấp; trong khi các proton được hình thành ở cực dương sẽ di chuyển qua màng trao đổi proton đến điện cực âm và kết hợp với nhau tạo ra khí hydro tại điện cực âm như phản ứng (2); toàn bộ quá trình cần cung cấp điện áp 0,016V theo lý thuyết để bắt đầu quá trình điện phân. Mặc dù CO<sub>2</sub> được tạo ra trong quá trình này, nhưng lượng CO<sub>2</sub> thực phát thải sẽ không đáng kể vì methanol có thể được sản xuất từ sinh khối [9]. Quá trình điện phân dung dịch nước diễn ra theo các phản ứng từ (4)-(6), tại điện cực dương sẽ tạo ra phân tử O<sub>2</sub>, các proton và electron, sau đó khí H<sub>2</sub> tương tự sẽ được hình thành tại điện cực âm; số phân tử H<sub>2</sub> của phương pháp điện phân dung dịch nước sẽ ít hơn so với dung dịch methanol – nước, và điện áp cần cung cấp cho toàn bộ quá trình theo tính toán lý thuyết là 1,23V. Hình 3 minh họa cấu tạo của bình điện phân ứng dụng công nghệ pin nhiên liệu dùng trong nghiên cứu.

Các phương trình phản ứng từ (1)-(6) minh họa 02 phương pháp điện phân với 02 dung dịch khác nhau:

Quá trình điện phân sử dụng dung dịch methanol-nước:

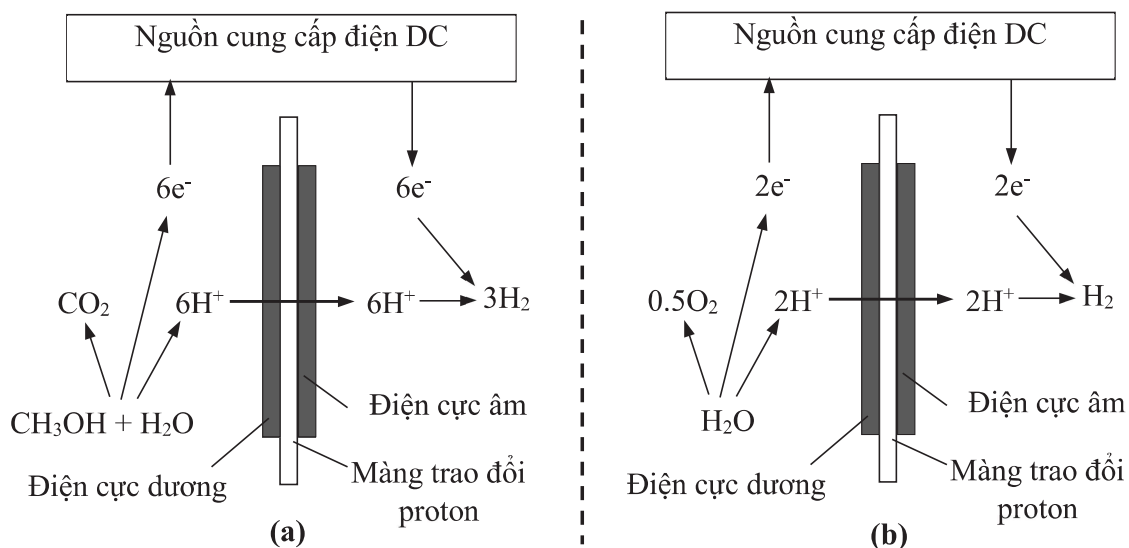


Ghi chú: SHE – standard hydrogen electrode: Điện cực hydro tiêu chuẩn

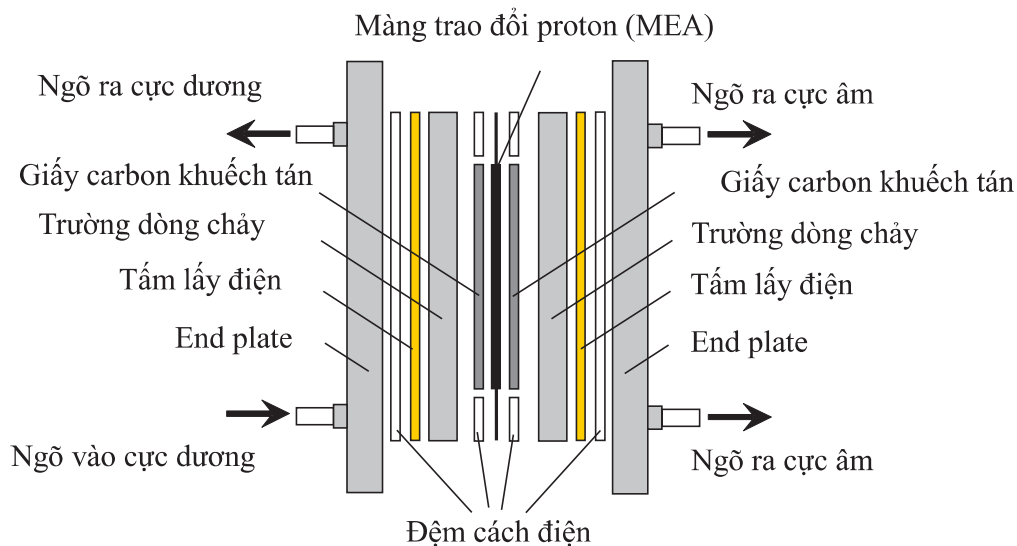
với:  $E = \frac{-\Delta G}{nF}$  (7)

Trong đó:  $\Delta G$  là thay đổi năng lượng tự do của phản ứng,  $n$  là số electron tham gia vào phản ứng hóa học,  $F$  là hằng số Faraday (96.487 C/mol),

và  $E$  là điện áp tại điện cực của bình điện phân so với điện cực hydro tiêu chuẩn.



Hình 2. So sánh nguyên lý hoạt động của điện phân dung dịch nước (b) và methanol-nước (a)



Hình 3. Cấu tạo bình điện phân ứng dụng công nghệ pin nhiên liệu

Cách tiếp cận 2: Thay đổi cấu hình trường dòng chảy của bình điện phân nhằm giảm lượng điện năng tiêu thụ. Hình 4 minh họa 02 loại trường dòng chảy sử dụng trong thí nghiệm bao gồm trường dòng chảy rãnh thẳng (groove type flow field – loại truyền thống) và trường dòng chảy xốp (porous type flow field). Bảng 3 trình bày thông số kỹ thuật của trường dòng chảy xốp

với thành phần vật liệu, đường kính hạt và tỷ lệ lỗ xốp; trong khi Bảng 2 mô tả thông số kỹ thuật của màng trao đổi proton dùng trong thử nghiệm của cách tiếp cận 1 và 2. Trường dòng chảy rãnh thẳng có độ sâu 2 mm, thể tích của trường dòng chảy là 2,9 cc và được làm bằng vật liệu JIS SUS316L.



(a) Trường dòng chảy xốp



(b) Trường dòng chảy rãnh thẳng

Hình 4. Trường dòng chảy khác nhau sử dụng cho bình điện phân

**Bảng 2. Thông số của màng trao đổi proton**

Màng polymer	Nafion117 (175 $\mu\text{m}$ )
Diện tích phản ứng	25 $\text{cm}^2$ (5 x 5 cm)
Chất xúc tác trên điện cực dương	Pt-Ru 1.0 $\text{mg}/\text{cm}^2$
Chất xúc tác trên điện cực âm	Pt 1.0 $\text{mg}/\text{cm}^2$

**Bảng 3. Thông số kỹ thuật của trường dòng chảy xốp**

Thành phần	Fe-19Cr-12Ni-2Mo (JIS SUS316L)
Đường kính hạt	350-500 $\mu\text{m}$
Tỷ lệ lỗ xốp	48%

Cách tiếp cận 3: Thay đổi nhiệt độ của bình điện phân lần lượt là 298, 323, và 348K nhằm đánh giá ảnh hưởng của việc thay đổi nhiệt độ đến hiệu suất quá trình sản xuất hydro.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 So sánh hiệu quả sản xuất hydro dùng dung dịch nước và methanol – nước

Hình 5 so sánh kết quả mức điện áp cần cung cấp để sản xuất hydro khi sử dụng dung dịch

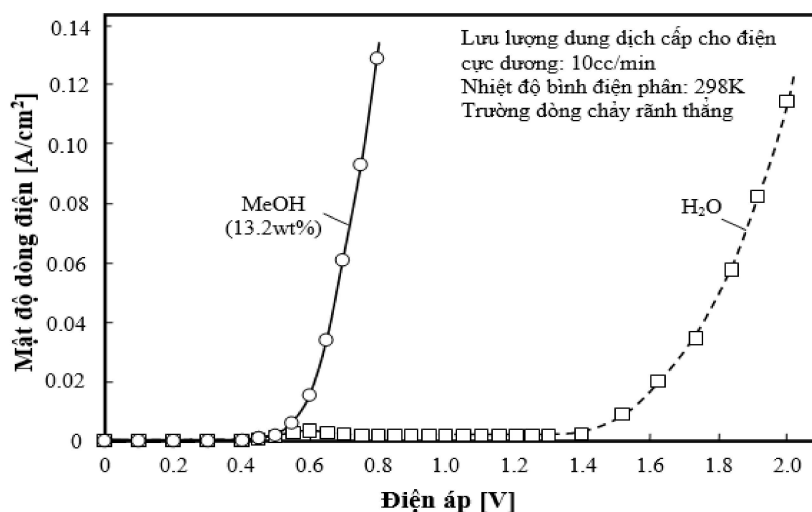
nước và methanol – nước. Trong thử nghiệm này, trường dòng chảy rãnh thẳng được sử dụng để so sánh; dung dịch methanol – nước với nồng độ 13,2 wt% và dung dịch nước được cấp vào điện cực dương với lưu lượng 10cc/phút. Nhiệt độ của bình điện phân được duy trì ở 298K và điện áp cung cấp thay đổi từ 0 đến 2V. Theo thử nghiệm thực tế, điện áp bắt đầu để tạo ra khí hydro cho quá trình điện phân dung dịch



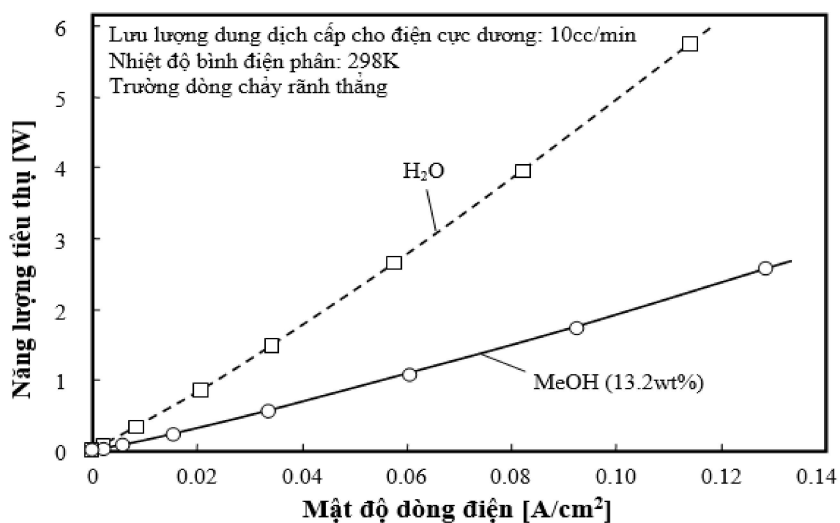
methanol-nước là khoảng 0,45V, trong khi đó điện áp cho nước là khoảng 1,4V. So với điện phân dung dịch nước, điện phân dung dịch methanol-nước chỉ cần điện áp cung cấp thấp hơn nhiều để tạo ra cùng một lượng hydro. Ví dụ, để đạt được mật độ dòng điện 0,1A/cm<sup>2</sup>, phương pháp điện phân dung dịch nước cần hiệu điện thế xấp xỉ 1,95V, trong khi điện phân dung dịch methanol-nước chỉ cần 0,76V để tạo ra cùng một lượng hydro. Lý do giải thích cho việc điện áp cung cấp cho quá trình điện phân dung dịch methanol-nước thấp hơn được dựa trên năng

lượng tự do Gibbs của methanol thấp hơn so với năng lượng này của nước. Hình 7 trình bày sự so sánh mức năng lượng tự do của các loại nhiên liệu khác nhau sử dụng cho quá trình điện phân.

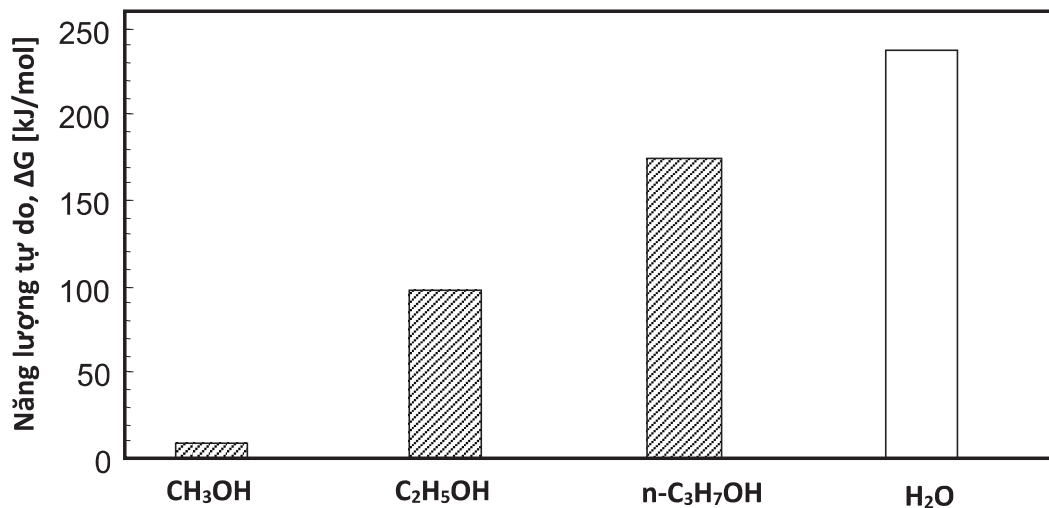
Điện áp cần cung cấp thấp hơn cho điện phân của dung dịch methanol-nước dẫn đến mức tiêu thụ năng lượng điện của dung dịch methanol-nước thấp hơn như thể hiện ở kết quả trong Hình 6; do đó việc sử dụng hỗn hợp methanol-nước là cách tiếp cận có tính phù hợp cao để sản xuất hydro một cách kinh tế trong trường hợp chi phí điện cao và giá methanol thấp.



Hình 5. So sánh mức điện áp cần cung cấp khi sử dụng dung dịch nước và methanol – nước



Hình 6. So sánh mức năng lượng tiêu thụ khi sử dụng dung dịch nước và methanol – nước

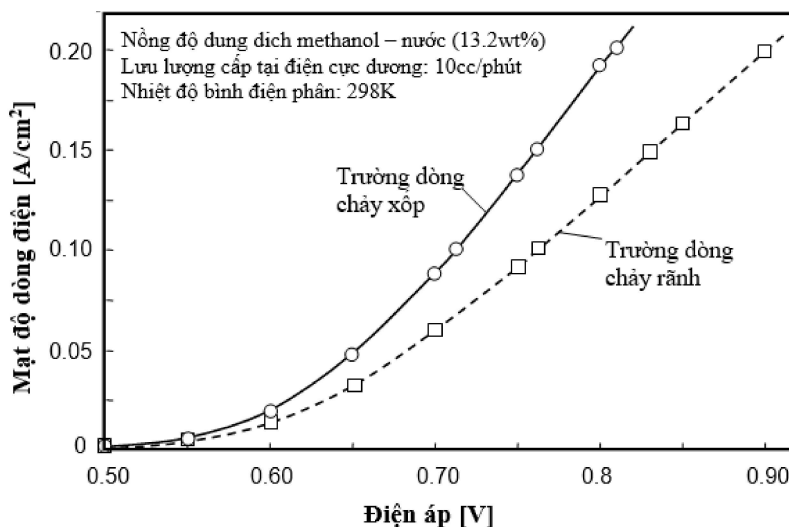


Hình 7. So sánh năng lượng tự do các loại nhiên liệu khác nhau sử dụng cho điện phân

### 3.2 So sánh hiệu quả sản xuất hydro trường dòng chảy rãnh và dòng chảy xốp

Hình 8 so sánh mức điện áp cần cung cấp để sản xuất hydro khi sử dụng trường dòng chảy rãnh và xốp, điện áp cấp được thay đổi từ 0 đến 0,9V. Dung dịch methanol-nước với nồng độ 13,2 wt% được cấp vào điện cực dương với lưu lượng 10 cc/phút; nhiệt độ của bình điện phân

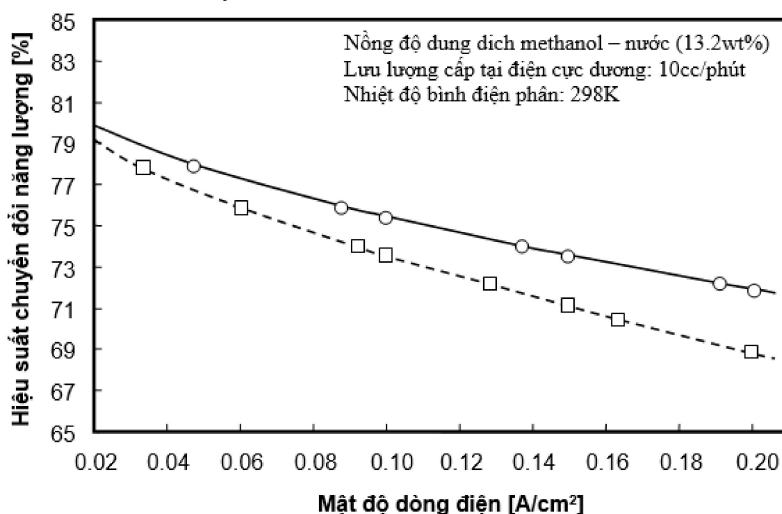
và dung dịch methanol-nước là 298K. Có thể nhận thấy tại cùng một điện áp cấp cho bình điện phân, mật độ dòng điện của trường dòng chảy xốp đạt giá trị cao hơn của trường dòng chảy rãnh. Vì mật độ dòng điện theo lý thuyết tỷ lệ thuận với lượng khí hydro sản xuất, điều này cho thấy rằng hiệu quả sản xuất khí hydro với trường dòng chảy xốp là cao hơn.



Hình 8. So sánh mức điện áp cung cấp để sản xuất khí hydro khi sử dụng trường dòng chảy rãnh thẳng và trường dòng chảy xốp

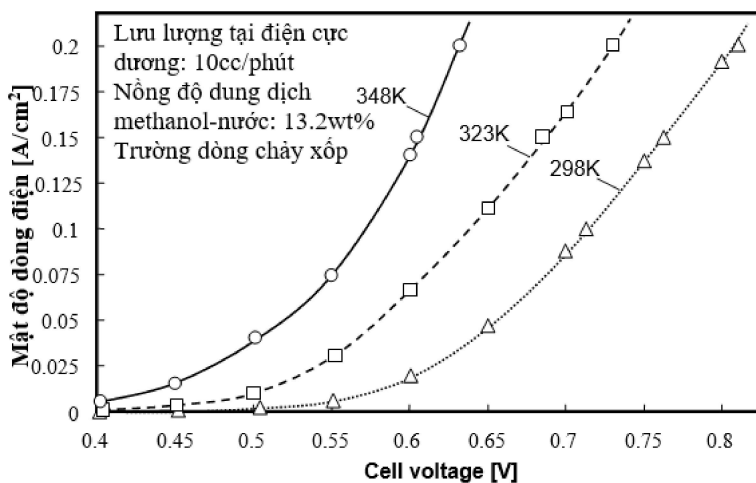
Hiệu suất của bình điện phân với O<sub>2</sub> trường dòng chảy được tiếp tục tính toán và thể hiện trong kết quả ở Hình 9. Để đạt được cùng mật độ dòng điện, điện áp tiêu thụ của trường dòng chảy xấp là thấp hơn so với trường dòng chảy rãnh. Điều này có nghĩa là trường dòng chảy xấp có hiệu quả cao hơn để sản xuất hydro, hiệu

suất chuyển đổi năng lượng của bình điện phân có xu hướng giảm khi tăng mật độ dòng điện (tức tăng tốc độ sản xuất hydro). Tuy nhiên, trường hợp với trường dòng chảy xấp mức độ suy giảm hiệu suất chuyển đổi năng lượng ít hơn so với trường dòng chảy rãnh.



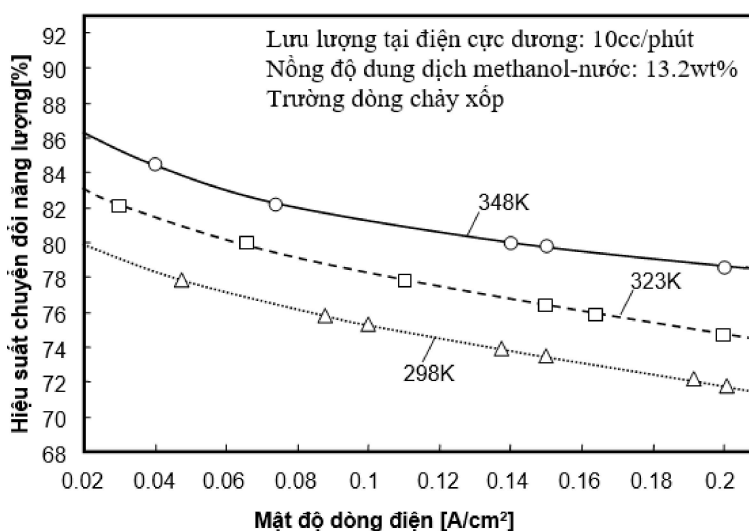
Hình 9. Hiệu suất sản xuất khí hydro trường dòng chảy rãnh thẳng và trường dòng chảy xấp

### 3.3 So sánh hiệu quả sản xuất hydro khi thay đổi nhiệt độ bình điện phân



Hình 10. So sánh điện áp cung cấp để sản xuất khí hydro ở các nhiệt độ khác nhau





Hình 11. Hiệu suất sản xuất khí hydro ở các nhiệt độ khác nhau

Hình 10 trình bày kết quả thực nghiệm của quá trình sản xuất hydro ở các nhiệt độ khác nhau gồm 298, 323 và 348K. Dung dịch methanol-nước với nồng độ 13,2 wt% được cấp vào điện cực dương với lưu lượng 10cc/phút. Có thể thấy mật độ dòng điện tăng khi nhiệt độ bình điện phân tăng lên ở cùng một điện áp cấp vào bình điện phân. Nói cách khác, có thể vận hành bình điện phân dung dịch methanol-nước ở một điện áp cung cấp thấp hơn khi tăng nhiệt độ để cùng sản xuất một lượng khí hydro giống nhau. Điện áp thấp hơn ở cùng tốc độ sản xuất hydro dẫn đến tiêu thụ năng lượng điện thấp hơn. Hình 11 tiếp tục so sánh hiệu suất chuyển đổi năng lượng cho các kết quả trong Hình 10. Để đạt được cùng mật độ dòng điện là 0,2A/cm<sup>2</sup>, năng lượng điện tiêu thụ là 19,8, 17,8 và 15,4 kWh để tạo ra 1 kg hydro ở nhiệt độ bình điện phân tương ứng là

298, 323 và 348K, tương ứng với hiệu suất chuyển đổi năng lượng lần lượt là 71,8, 74,7 và 78,6%. Kết quả trên chỉ ra rằng việc tăng nhiệt độ là một yếu tố quan trọng giúp quá trình sản xuất hydro hiệu quả hơn.

#### 4. KẾT LUẬN

Một số kết luận có thể rút ra từ nghiên cứu này như sau: Việc sử dụng dung dịch methanol-nước giúp giảm năng lượng điện cung cấp để chế tạo hydro; trường dòng chảy xốp giúp cải thiện hiệu suất quá trình sản xuất hydro bằng phương pháp điện phân; tại cùng lượng sản xuất khí hydro với mật độ dòng điện là 0,2A/cm<sup>2</sup>, năng lượng điện tiêu thụ lần lượt là 19,8, 17,8 và 15,4 kWh để tạo ra 01,kg khí hydro, tương ứng với hiệu suất chuyển đổi năng lượng lần lượt là 71,8, 74,7 và 78,6% cho nhiệt độ 298, 323 và 348K khi sử dụng trường dòng chảy xốp.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Silva, C., Ross, M., & Farias, T. (2009). Evaluation of energy consumption, emissions and cost of plug – in hybrid vehicles. *Energy Conversion Management*. Vol. 50, No. 7, pp. 1635-1643.
- [2] <https://nhandan.com.vn/baothoinay/baothoinay-xahoi/item/38096602-baodong-o-nhiem-boi-xe-co-gioi-tang-nhanh.html>.
- [3] <https://aqicn.org/map/vietnam/ho-chi-minh-map>.
- [4] Do Tan Dat (2018). *Study for the effects of after-treatment system on exhaust gas emissions and nano-scale particles of diesel engines*. Final thesis completed at Ho Chi Minh City University of Technology.

- [5] <https://xebaonam.com/xe-may-dien-vespanioshima-2018-pd,74038>.
- [6] <https://hdescooters.com/san-pham/xe-may-dien-honda-mono/>.
- [7] <https://xe.thanhvien.vn/thi-truong-xe/vinfast-klara-la-xe-may-dien-quoc-dan-neu-khong-de-cap-toi-gia-ban-17318.html>.
- [8] Khương Quang Đồng (2019). *Tìm hiểu những chuyển biến của ngành ô tô để định*

- hướng chương trình đào tạo, Phần II. Công nghiệp Ô tô điện tương lai.* Hội thảo chuyên đề tại trường Đại học Nguyễn Tất Thành.
- [9] Sasikumar, G., Muthumeenal, A., Pethaiah, S.S., Nachiappan, N., & Balaji, R. (2008). Aqueous methanol electrolysis using proton conducting membrane for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol.33, pp.5905-5910.