

MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH CUNG CẤP HỖN HỢP BIOGAS-HYDROGEN CHO ĐỘNG CƠ HONDA GX160 SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO

SIMULATION IN THE SUPPLY PROCESS OF BIOGAS-HYDROGEN MIXTURE TO HONDA GX160 ENGINE USING RENEWABLE ENERGY

Hồ Trần Ngọc Anh¹, Nguyễn Minh Tiến¹, Võ Anh Vũ², Phùng Minh Tùng¹,
Đỗ Phú Ngưu¹, Phạm Minh Mẫn¹, Bùi Văn Hùng^{1*}

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

²Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: bvhung@ute.udn.vn

(Nhận bài / Received: 10/9/2023; Sửa bài / Revised: 21/10/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 24/10/2023)

Tóm tắt - Biogas có giá trị nhiệt thấp và tốc độ đốt cháy thấp nên cần bổ sung khí có nhiệt trị cao và tính năng cháy tốt như là hydrogen để tăng hiệu quả công tác của động cơ. Hỗn hợp biogas-hydrogen trong thực tế có thành phần thường thay đổi, vì vậy điều chỉnh linh hoạt hệ thống cung cấp nhiên liệu để tối ưu hóa hiệu suất và giảm phát thải ô nhiễm. Điều này đặt ra thách thức, đặc biệt là khi động cơ sử dụng hỗn hợp này có sự biến đổi lớn trong thành phần. Nghiên cứu này tập trung vào mô phỏng các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình cung cấp nhiên liệu biogas-hydrogen như là hàm lượng CH₄ trong biogas, hàm lượng hydrogen trong hỗn hợp, góc đóng bướm ga từ đó xây dựng gián đồ phun cơ bản nhiên liệu khí cho động cơ, tạo tiền đề để chế tạo hệ thống điều khiển thời gian phun nhiên liệu cho động cơ có khả năng sử dụng nhiên liệu khí linh hoạt.

Từ khóa - Năng lượng tái tạo; hydrogen; ô nhiễm không khí; động cơ đánh lửa cưỡng bức.

1. Giới thiệu

Trái đất đang đối mặt với sự tăng nhanh chóng của nhiệt độ trong bầu khí quyển do phát thải CO₂. Mới đây, tại Hội nghị thường niên về biến đổi khí hậu COP26, các lãnh đạo quốc gia đã đề xuất chiến lược Net-Zero (là chiến lược trung hòa carbon, mức độ phát thải khí nhà kính thấp hơn so với mức chúng được loại bỏ khỏi môi trường). Tại hội nghị này, Việt Nam cũng đã cam kết giảm phát thải CO₂ và CH₄ để đạt được mục tiêu Net-Zero vào năm 2050 [1].

Để đạt được mục tiêu Net-Zero, từ nhiều năm qua các quốc gia đã có xu hướng chuyển sang sử dụng năng lượng tái tạo, đưa ra các chính sách ưu tiên và khuyến khích để tăng công suất lắp đặt của các hệ thống năng lượng tái tạo thay cho các loại nhiên liệu hóa thạch truyền thống. Sinh khối là một trong những nguồn năng lượng tái tạo đáng chú ý, đặc biệt khi kết hợp với năng lượng mặt trời. Hiện tại, sinh khối là nguồn năng lượng lớn thứ tư trên toàn thế giới [2]. Một số tác giả đã tiến hành nghiên cứu về việc kết hợp sử dụng sinh khối trong các hệ thống quy mô nhỏ cùng với các nguồn năng lượng tái tạo khác. Perkins [3] đã thực hiện một phân tích về chi phí năng lượng cho việc sản xuất điện từ kết hợp giữa năng lượng mặt trời và sinh khối và kết luận rằng giải pháp này có chi phí thấp hơn so với việc sử dụng riêng lẻ sinh khối hoặc năng lượng mặt trời kết hợp với pin

Abstract - Biogas has low calorific value and a low combustion rate, so it requires the addition of high-calorific-value gasses with good combustion properties, such as hydrogen, to enhance the engine's efficiency. In practice, the composition of biogas-hydrogen mixtures often varies; therefore, the flexible adjustment of the fuel supply system is needed to optimize performance and reduce pollution emissions. This presents a challenge, especially when engines using such mixtures experience significant variations in their composition. This research focuses on simulating factors that affect the biogas-hydrogen fuel supply process, such as the CH₄ content in biogas, the hydrogen content in the mixture, and the throttle valve angle, to create a foundation for designing a timed fuel injection control system for engines capable of using flexible gas fuels.

Key words - Renewable energy; hydrogen; air pollution; SI engine.

lưu trữ. Do đó, nhiều nhà nghiên cứu đã đề xuất triển khai các hệ thống lai tạo sử dụng năng lượng mặt trời và sinh khối tại các khu vực nông thôn để sản xuất điện.

Trong khi chờ đợi sự phát triển rộng rãi của công nghệ sử dụng hydrogen trong động cơ đốt trong, việc nghiên cứu và áp dụng nhiên liệu tái tạo để tăng cường sự đa dạng hóa nguồn năng lượng trở nên ngày càng quan trọng. Trong số nhiều lựa chọn nhiên liệu khí tái tạo dự thảo, biogas nổi lên như một trong những tùy chọn phổ biến nhất. Biogas được tạo ra từ chất thải hữu cơ, đặc biệt là từ hoạt động nông nghiệp và chăn nuôi. Nó chứa một lượng lớn khí methane (CH₄), với tỷ lệ dao động từ khoảng 60% đến 80%. Giá trị nhiệt của biogas thấp hơn so với khí tự nhiên [4], điều này dẫn đến hiệu suất năng lượng thấp. Hơn nữa, do có sự hiện diện của CO₂, tốc độ đốt cháy của nó thường thấp, tác động đến hiệu suất kinh tế và mức độ phát thải ô nhiễm của động cơ, đặc biệt là với các động cơ kích thước nhỏ.

Do tính chất ngẫu nhiên của nguyên liệu và quá trình sản xuất nhiên liệu khí biogas, hydrogen nên thành phần của hỗn hợp khí biogas-hydrogen thường biến đổi. Do đó, hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ sử dụng nhiên liệu khí cần được điều chỉnh một cách linh hoạt để tối ưu hóa quá trình đốt cháy và giảm phát thải ô nhiễm. Mặt khác tỷ lệ tương đương tối ưu của hỗn hợp nhiên liệu biogas-

¹ The University of Danang - University of Technology and Education, Danang, Vietnam (Ho Tran Ngoc Anh, Nguyen Minh Tien, Phung Minh Tung, Do Phu Nguu, Pham Minh Man, Bui Van Hung)

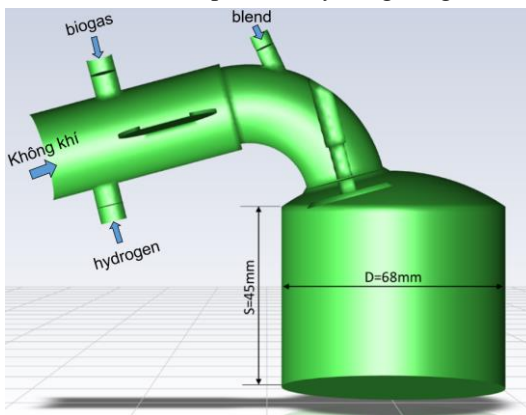
² The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Vo Anh Vu)

hydrogen thấp hơn so với khí chỉ sử dụng biogas, dẫn đến giảm phát thải CO và HC so với khí động cơ sử dụng biogas một mình. Tuy nhiên, khi tăng hàm lượng hydrogen, phát thải NO_x tăng lên do tăng nhiệt độ cháy [5]. Thêm vào đó, cùng với chế độ vận hành và hàm lượng hydrogen trong hỗn hợp nhiên liệu, khí thành phần biogas thay đổi, quy tắc cung cấp nhiên liệu cũng cần điều chỉnh [6-8].

Do đó, khí động cơ hoạt động bằng hỗn hợp biogas-hydrogen với thành phần biến đổi trong một phạm vi lớn rộng, việc điều chỉnh cung cấp nhiên liệu để đảm bảo tỷ lệ tương đương nằm trong giới hạn tối ưu là một thách thức. Điều chỉnh linh hoạt quá trình cung cấp nhiên liệu như vậy không thể thực hiện dễ dàng thông qua bộ điều khiển hòa khí tiêu chuẩn. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả nghiên cứu mô phỏng quá trình cung cấp nhiên liệu khí biogas-hydrogen cho động cơ từ đó tạo tiền đề cho việc thiết kế hệ thống điều chỉnh thời gian phun nhiên liệu bằng vi điều khiển để nâng cấp động cơ từ đánh lửa cưỡng bức truyền thống thành động cơ có thể sử dụng nhiên liệu khí linh hoạt.

2. Nghiên cứu mô phỏng

Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng động cơ tĩnh tại đánh lửa cưỡng bức Honda GX160 để cải tạo thành động cơ chạy bằng biogas-hydrogen điều khiển điện tử phù hợp với điều kiện làm việc trong hệ thống năng lượng tái tạo hybrid. Động cơ có đường kính xi lanh 68mm, hành trình piston 45mm, tỉ số nén 8,5. Động cơ phát công suất cực đại 4,1kW ở tốc độ 3600 v/ph khi chạy bằng xăng.

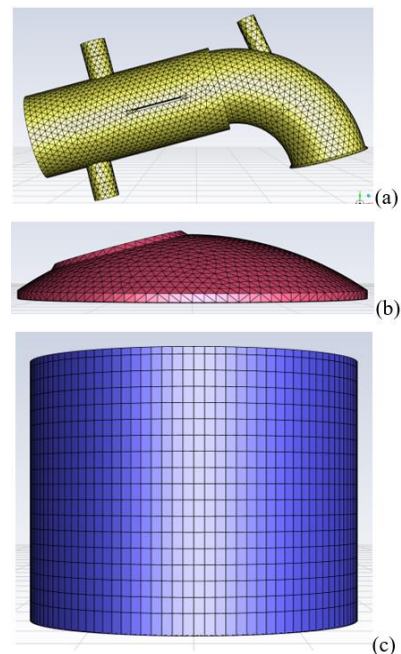


Hình 1. Xi lanh và đường nạp động cơ sau khi cải tạo

Mô phỏng tính toán được thực hiện bằng phần mềm Ansys Fluent 2021R1. Nghiên cứu này tập trung vào việc mô phỏng quá trình tạo hỗn hợp và cháy, do đó, không gian tính toán bao gồm đường nạp, xi lanh và buồng đốt động cơ. Thiết kế các không gian này được thực hiện trong phần mềm GAMBIT. Quá trình chia lưới được thực hiện tự động. Vì thể tích của xi lanh thay đổi theo quá trình di chuyển của piston, nên các phần tử trong xi lanh có thể bị biến dạng. Để đảm bảo rằng thể tích của các phần tử không trở nên quá nhỏ và dẫn đến tình trạng dừng của chương trình tính toán, không gian xi lanh được chia lưới với mật độ thấp hơn so với các không gian khác. Hình 1 mô tả không gian tính toán bao gồm buồng đốt, xi lanh và đường nạp, trên đường nạp có bố trí các vòi phun cung cấp nhiên liệu khí.

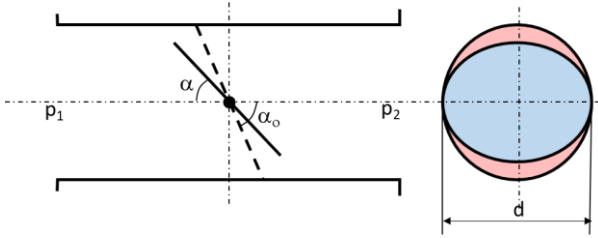
Hình 2 giới thiệu kết quả chia lưới không gian tính toán. Không gian đường nạp bao gồm 48.866 phần tử hình tứ

diện (Hình 2a), không gian buồng cháy gồm 20.333 phần tử hình tứ diện (Hình 2b), không gian xi lanh gồm 38.196 phần tử hình chêm (Hình 2c). Có tổng số 107.395 phần tử trong không gian tính toán. Vấn đề về không gian biến dạng trong xi lanh của động cơ đặt ra hai yêu cầu quan trọng khi chọn chia lưới: (1) Đảm bảo không xảy ra phần tử có thể tích âm khi biến dạng: Để tránh phần tử có thể tích âm trong xi lanh khi piston di chuyển, ta cần chia lưới một cách thận trọng và hạn chế việc tạo ra phần tử có hình dạng phức tạp. Điều này đòi hỏi sự cân nhắc giữa độ tinh vi của lưới và tài nguyên tính toán, cần sử dụng công cụ đánh giá chất lượng lưới trong phần mềm Fluent để kiểm tra và đảm bảo rằng lưới không có vấn đề nghiêm trọng về chất lượng. (2) Đảm bảo độ tin cậy của kết quả mô phỏng: Để đảm bảo tính độc lập của lưới (grid independence) và độ tin cậy của kết quả mô phỏng, bạn cần thực hiện một nghiên cứu tính độc lập của lưới (grid independence study). Điều này bao gồm việc thay đổi số lượng phần tử trong không gian tính toán theo một phương pháp cụ thể, như đã được mô tả trong tài liệu tham khảo [9]. Thông qua nghiên cứu này, có thể xác định số lượng phần tử tối ưu cho mô phỏng mà không ảnh hưởng đến kết quả chung và đảm bảo độ tin cậy của mô phỏng.



Hình 2. Chia lưới đường nạp: 48.866 phần tử tứ diện (a);
Chia lưới buồng cháy: 20.333 phần tử tứ diện (b);
Chia lưới xi lanh: 38.196 phần tử hình chêm (c)

Hệ phương trình đối lưu-khuếch tán được khép kín thông qua sử dụng mô hình rối k- ϵ . Các thông số nhiệt động học của hỗn hợp được tính toán bằng mô hình Partially Premixed. Mỗi khi thay đổi nhiên liệu, nhóm tác giả tính toán lại bảng pdf (probability density function) của các thông số nhiệt động học. Điều này giúp đơn giản hóa điều kiện biên tính toán. Ở đầu vào của đường nạp, chỉ có không khí, nên thành phần hỗn hợp f (fraction volumic) bằng 0. Ở đầu vào của các vòi phun, chỉ có nhiên liệu, nên $f=1$. Hệ số tương đương cục bộ của hỗn hợp được tính dựa trên thành phần nhiên liệu, hoặc có thể tính thông qua giá trị của f . Quá trình thiết lập mô hình cụ thể đã được trình bày trong tài liệu tham khảo [9].

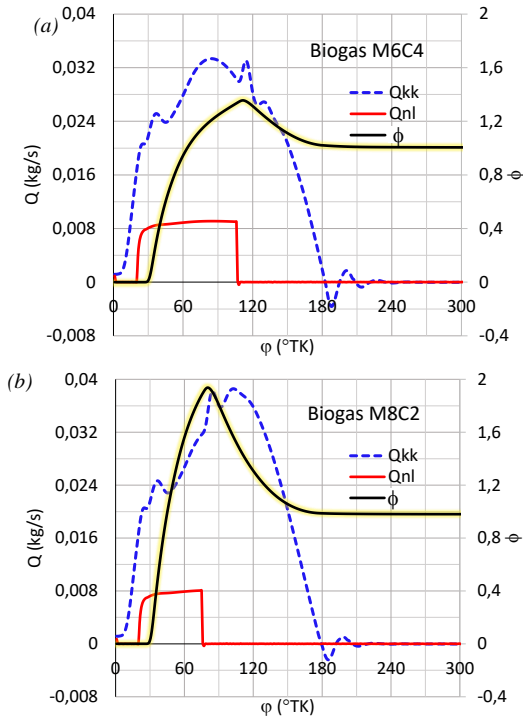


Hình 3. Sơ đồ tiết diện lưu thông trên đường nạp qua bướm ga

Hình 3 giới thiệu sơ đồ tiết diện lưu thông trên đường nạp khí thay đổi vị trí bướm ga. Độ mở bướm ga thay đổi từ $\alpha=0^\circ$ (bướm ga mở hoàn toàn) đến $\alpha=60^\circ$ (bướm ga đóng hoàn toàn). Tiết diện lưu thông của dòng khí có thể được xem là hiệu số tiết diện hình tròn và hình elip của bướm ga chiếu lên mặt phẳng vuông góc với trục đường nạp.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng CH₄ trong biogas đến quá trình tạo hỗn hợp

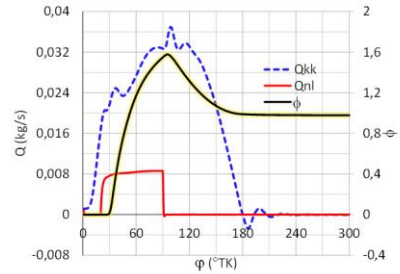
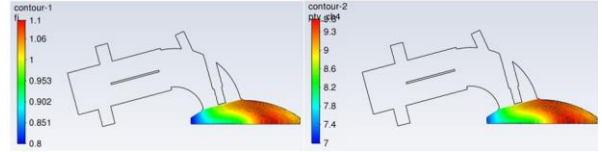


Hình 4. So sánh biến thiên lưu lượng không khí, lưu lượng nhiên liệu và hệ số tương đương theo góc quay trục khuỷu khi phun biogas M6C4 (a) và M8C2 (b) ($n=3600$ v/ph, $p_p=0,5$ bar, $d_p=5,5$ mm)

Hình 4a và Hình 4b so sánh quá trình tạo hỗn hợp khi phun biogas M6C4 và biogas M8C2 qua vòi phun có đường kính 5,5mm, áp suất phun 0,5 bar. Để đạt cùng giá trị hệ số tương đương $\phi=1$, góc phun trong trường hợp biogas M6C4 là 86° TK, trong khi đó góc phun trong trường hợp M8C2 chỉ có 55° TK. Do thời gian phun M8C2 kết thúc sớm hơn nên lưu lượng cực đại của không khí đi vào đường nạp lớn hơn trường hợp biogas M6C4. Hệ số tương đương cực đại trong trường hợp M8C2 cũng lớn hơn hệ số tương đương trong trường hợp M6C4 vì toàn bộ lượng nhiên liệu phun ra khỏi vòi phun đi vào xi lanh lúc lượng không khí tại đây còn ít. Sau đó lượng không khí tiếp tục được hút vào xi lanh, hệ số tương đương giảm dần và đạt giá trị ổn định trong kỳ nén.

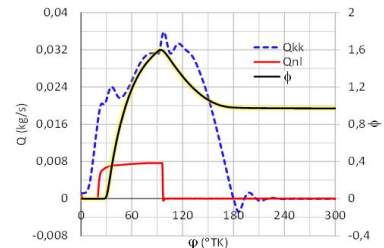
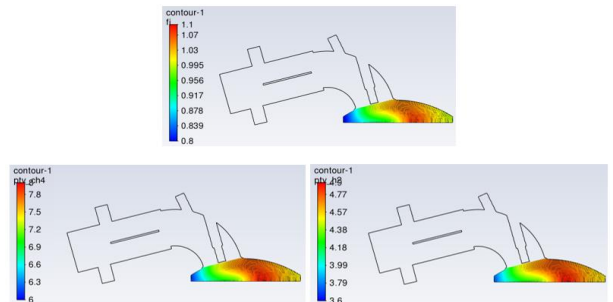
3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng hydrogen đến quá trình tạo hỗn hợp

Hình 5 giới thiệu đường đồng mức hệ số tương đương, nồng độ CH₄ trên mặt cắt ngang buồng cháy tại thời điểm 340° TK (20° TK trước ĐCT) và biểu đồ biến thiên hệ số tương đương, lưu lượng không khí, lưu lượng nhiên liệu theo góc quay trục khuỷu. Động cơ hoạt động ở tốc độ 3600 vòng/phút và nhiên liệu M7C3 được cung cấp qua vòi phun có đường kính 5,5mm và áp suất phun là 0,5 bar.



Hình 5. Biến thiên lưu lượng không khí, lưu lượng nhiên liệu và hệ số tương đương theo góc quay trục khuỷu ($n=3600$ v/ph, M7C3, $\phi_p=70^\circ$ TK, $p_p=0,5$ bar, $d_p=5,5$ mm)

Kết quả cho thấy rằng hệ số tương đương trung bình trong buồng cháy đạt giá trị $\phi=1$ nhưng sự phân bố nồng độ CH₄ cũng như hệ số tương đương trong buồng cháy không hoàn toàn đồng nhất. Hệ số tương đương biến đổi từ 0,8 đến 1,1 với khu vực hỗn hợp nghèo nằm về phía xu pạp nạp. Tại thời điểm đánh lửa, hệ số tương đương của hỗn hợp quanh bugi đánh lửa khoảng $\phi=1$. Điều này giúp cho quá trình đánh lửa diễn ra thuận lợi. Để đạt được hệ số tương đương trung bình $\phi=1$ thì thời gian phun nhiên liệu trong trường hợp này là $\phi_p=70^\circ$ TK.

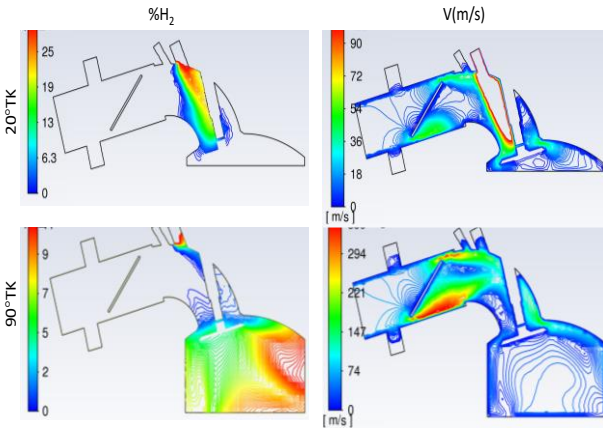


Hình 6. Biến thiên lưu lượng không khí, lưu lượng nhiên liệu và hệ số tương đương theo góc quay trục khuỷu ($n=3600$ v/ph, M7C3-30H, $\phi_p=77^\circ$ TK, $p_p=0,5$ bar, $d_p=5,5$ mm)

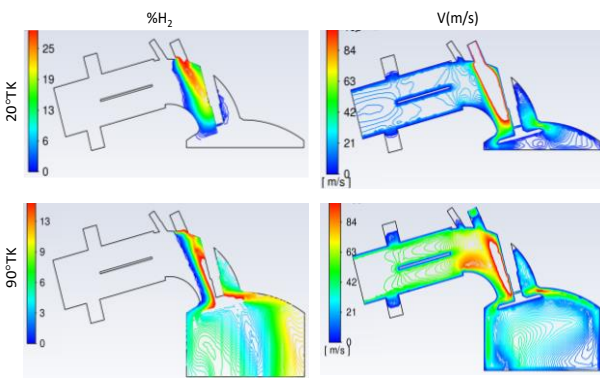
Hình 6 trình bày diễn biến các thông số của quá trình nạp động cơ khi phun nhiên liệu M7C3 làm giàu bởi 30% hydrogen. Các hình ảnh cho thấy phân bố hệ số tương đương, nồng độ CH₄, nồng độ H₂ trong buồng cháy cũng tương tự như khi động cơ sử dụng biogas M7C3. Để động cơ đạt cùng hệ số tương đương $\phi=1$, góc phun nhiên liệu trong trường hợp này là $\varphi_p=77^\circ\text{TK}$, lớn hơn 7°TK so với trường hợp động cơ chạy bằng biogas M7C3.

3.3. Ảnh hưởng của độ mở bướm ga đến quá trình tạo hỗn hợp

Hình 7 và Hình 8 so sánh quá trình tạo hỗn hợp khi phun nhiên liệu M7C3-30H qua vòi phun có đường kính $d_p=5,5\text{mm}$ với áp suất phun $p_p=0,5\text{bar}$ trong trường hợp bướm ga có độ mở $\alpha=40^\circ$ và $\alpha=0^\circ$. Khác biệt rõ rệt nhất trong hai trường hợp này là trường tốc độ. Trong trường hợp $\alpha=40^\circ$, tốc độ dòng khí đi qua khe hở giữa bướm ga và thành ống nạp tăng mạnh, làm tăng tổn thất cục bộ, giảm hệ số nạp. Do lượng không khí nạp vào động cơ giảm nên thời gian phun cũng giảm theo.



Hình 7. Diễn biến trường nồng độ H₂ và trường tốc độ trong trường hợp $\alpha=40^\circ$, $d_p=5,5\text{mm}$, $p_p=0,5\text{bar}$, M7C3-30H, $n=3600$ v/ph, $\varphi_p=61^\circ\text{TK}$



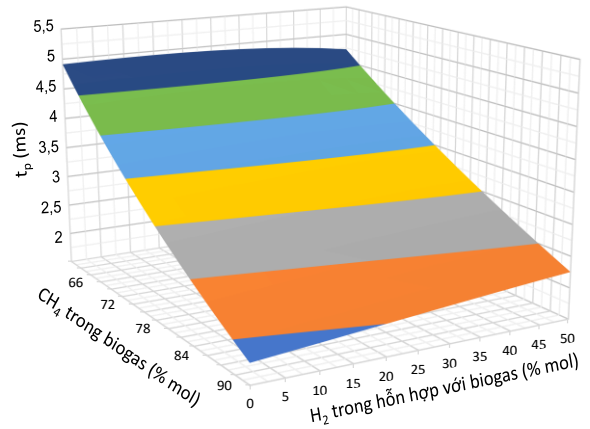
Hình 8. Diễn biến trường nồng độ H₂ và trường tốc độ trong trường hợp $\alpha=0^\circ$, $d_p=5,5\text{mm}$, $p_p=0,5\text{bar}$, M7C3-30H, $n=3600$ v/ph, $\varphi_p=77^\circ\text{TK}$

3.4. Giảm độ phun nhiên liệu biogas-hydrogen

Kết quả tính toán mô phỏng trên đây cho phép nhóm nghiên cứu xây dựng giảm độ phun nhiên liệu biogas-hydrogen cho động cơ Honda GX160.

Với biogas có hàm lượng CH₄ cho trước, thời gian phun tăng rất nhẹ theo hàm lượng hydrogen trong hỗn hợp nhiên liệu (Hình 9). Tuy nhiên, với hàm lượng hydrogen trong

hỗn hợp nhiên liệu cho trước, thời gian phun tăng rất nhanh khi hàm lượng CH₄ trong biogas giảm. Do đó để đơn giản hóa hệ thống điều khiển, chúng ta chỉ cần thiết lập mối quan hệ giữa thời gian phun và thành phần CH₄ trong biogas.

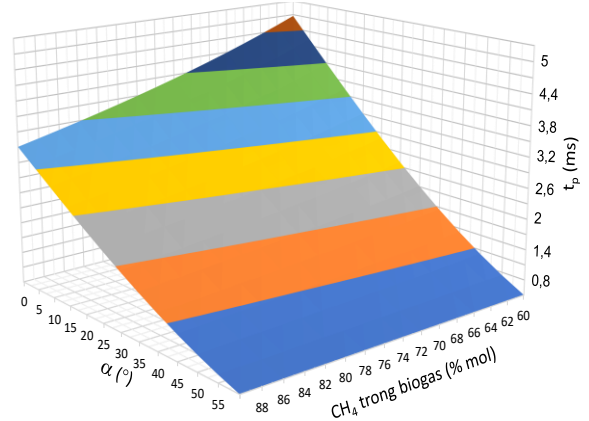


Hình 9. Giảm độ phun hỗn hợp nhiên liệu biogas-hydrogen (vòi phun $d_p=5,5\text{mm}$, $p_p=0,5\text{ bar}$, $\alpha=0^\circ$, $n=3600$ v/ph)

Hình 10 biểu diễn biến thiên thời gian phun nhiên liệu theo góc đóng của bướm ga và hàm lượng CH₄ trong biogas. Tính toán được thực hiện với vòi phun $d_p=5,5\text{mm}$, $p_p=0,5\text{ bar}$, nhiên liệu M7C3-20H với tốc độ động cơ 3600 v/ph. Chúng ta thấy cùng cấu hình của hệ thống phun, biến thiên thời gian phun theo góc đóng của bướm ga thay đổi rất rõ rệt theo thành phần CH₄ trong biogas. Dạng đường cong biến thiên lưu lượng phun theo góc đóng bướm ga có thể biểu diễn bằng biểu thức:

$$t_p = k \cdot (1 - \sin \alpha) \Delta p^{1/2}$$

Trong đó, k là hằng số phụ thuộc vào nhiên liệu. Như đã trình bày trên đây, động cơ tĩnh tại làm việc trong dải tốc độ thay đổi trong phạm vi hẹp và thành phần hydrogen chỉ ảnh hưởng đến tỉ lệ V_{kk}/V_{nl} nên giảm độ phun nhiên liệu có thể đơn giản hóa. Hai thông số ảnh hưởng đến thời gian phun nhiên liệu là góc mở bướm ga và hàm lượng CH₄ trong biogas. Khi hàm lượng CH₄ trong biogas tăng thì thời gian phun giảm. Khi đóng dần bướm ga thì thời gian phun giảm theo mức độ giảm của lưu lượng không khí.



Hình 10. Giảm độ phun hỗn hợp nhiên liệu biogas-hydrogen (vòi phun $d_p=5,5\text{mm}$, $p_p=0,5\text{ bar}$, M7C3-20H, $n=3600$ v/ph)

Việc kiểm soát linh hoạt hệ số tương đương theo thành phần nhiên liệu như trên chỉ có thể thực hiện được khi sử

dụng hệ thống phun nhiên liệu điều khiển điện tử. Hệ thống phun nhiên liệu điều khiển điện tử của động cơ ô tô hoạt động nhờ thông tin từ nhiều cảm biến như cảm biến vị trí trục khuỷu, cảm biến vị trí bướm ga, cảm biến áp suất khí nạp, cảm biến nhiệt độ khí nạp, cảm biến lambda. Khi cài tạo động cơ truyền thống thành động cơ phun nhiên liệu điều khiển điện tử, hệ thống phải được đơn giản hóa để đảm bảo tính khả thi.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trên đây cho phép rút ra được những kết luận sau:

- Với biogas có hàm lượng CH_4 cho trước, thời gian phun tăng nhẹ theo hàm lượng hydrogen trong hỗn hợp nhiên liệu. Với hàm lượng hydrogen trong hỗn hợp nhiên liệu cho trước, thời gian phun tăng rất nhanh khi hàm lượng CH_4 trong biogas giảm.

- Cùng cấu hình của hệ thống phun nhiên liệu khí, biến thiên thời gian phun theo góc đóng của bướm ga thay đổi rất rõ rệt theo thành phần CH_4 trong biogas.

- Hai thông số ảnh hưởng đến thời gian phun nhiên liệu là góc mở bướm ga và hàm lượng CH_4 trong biogas. Khi hàm lượng CH_4 trong biogas tăng thì thời gian phun giảm. Khi đóng dần bướm ga thì thời gian phun giảm theo mức độ giảm của lưu lượng không khí.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng trong đề tài “Thiết kế, chế tạo hệ thống điều khiển phun khí syngas-biogas-hydrogen trên động cơ lưỡng nhiên liệu” có mã số: T2022-06-08.

Ký hiệu

θ_{TK}	:Độ góc quay trục khuỷu;
P	:Áp suất (bar);
n	:Tốc độ động cơ (vòng/phút);
MxCy	:Biogas cấu thành bởi 10x% CH_4 và 10y% CO_2 theo thể tích;

MxCyHz Biogas cấu thành bởi 10x% CH_4 , 10y% CO_2 và z (%) H_2 theo thể tích theo thể tích;

ϕ Hệ số tương đương;

α Góc mở bướm ga từ 0° đến 60° .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] VNA/VNS, “Viet Nam strives to achieve ‘net zero’ by 2050, with international support: PM”, *Viet Nam News*, November 02/2021. [Online]. Available: <https://vietnamnews.vn/environment/1071075/viet-nam-strives-to-achieve-net-zero-by-2050-with-international-support-pm.html> [Accessed 05/9/2023]
- [2] M. R. B. Neto, P. C. M. Carvalho, J. O. B. Carioca, and F. J. F. Canafistula, “Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas”, *Energy Policyn*, Vol. 38, No. 8, pp. 4497-4506, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.004>
- [3] G. Perkins, “Techno-economic comparison of the levelised cost of electricity generation from solar PV and battery storage with solar PV and combustion of bio-crude using fast pyrolysis of biomass”, *Energy Conversion and Management*, vol. 171, pp. 1573-1588, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.090>
- [4] V. G. Bui, T. H. Vo, T. M. T. Bui, L. B. T. Truong, and T. T. X. Nguyen, “Characteristics of Biogas-Hydrogen Engines in a Hybrid Renewable Energy System”, *International Energy Journal*, Vol. 21, No. 4, pp. 467-480, 2021.
- [5] V. G. Bui *et al.*, “Optimizing operation parameters of a spark-ignition engine fueled with biogas-hydrogen blend integrated into biomass-solar hybrid renewable energy system”, *Energy*, vol. 252, p. 124052, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124052>
- [6] Y. S. Mohammed, M. W. Mustafa, and N. Bashir, “Hybrid renewable energy systems for off-grid electric power: Review of substantial issues”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 35, pp. 527-539, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.022>
- [7] I. Eziyi and A. Krothapalli, “Sustainable rural development: solar/biomass hybrid renewable energy system”, *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 1492-1501, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.141>
- [8] K. Bär, S. Wagender, F. Solka, A. Saidi, and W. Zörner, “Flexibility potential of photovoltaic power plant and biogas plant hybrid systems in the distribution grid”, *Chemical Engineering & Technology*, vol. 43, No. 8, pp. 1571-1577, 2020. <https://doi.org/10.1002/ceat.202000025>
- [9] V.G. Bui, V.N. Tran, V.D. Nguyen, Q.T. Nguyen, and T.T. Huynh, “Octane number stratified mixture preparation by gasoline-ethanol dual injection in SI engines”, *International journal of environmental science and technology*, vol. 16, pp. 3021-3034, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1942-1>.