

MÔ PHỎNG PHUN TRỰC TIẾP HỖN HỢP SYNGAS-BIOGAS-HYDROGEN CÓ THÀNH PHẦN THAY ĐỔI VÀO BUỒNG CHÁY ĐỘNG CƠ DUAL FUEL

SIMULATION ON DIRECT INJECTION OF FLEXIBLE SYNGAS-BIOGAS-HYDROGEN BLEND INTO COMBUSTION CHAMBER OF DUAL FUEL ENGINE

Bùi Văn Ga, Nguyễn Thị Thanh Xuân*, Bùi Thị Minh Tú

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng¹

*Tác giả liên hệ: nttxuan@dut.udn.vn

(Nhận bài: 23/02/2023; Chấp nhận đăng: 06/4/2023)

Tóm tắt - Phun trực tiếp thông qua hệ thống vòi phun kép cho phép nâng cao công suất động cơ dual fuel, cải thiện tính năng điều tốc, giúp động cơ có thể sử dụng hỗn hợp nhiên liệu khí syngas- biogas-hydrogen có thành phần thay đổi linh hoạt, phù hợp với hệ thống năng lượng tái tạo hybrid. Góc kết thúc phun được xác định theo công suất cực đại và tốc độ định mức của động cơ. Thành phần hỗn hợp được điều chỉnh bằng góc bắt đầu phun. Khi giảm áp suất phun từ 5 bar xuống 3 bar thì góc bắt đầu phun sớm hơn 20°TK và áp suất dư trong xi lanh giảm 0,1 bar. Khi động cơ chạy bằng syngas, để đạt được $\phi=0,75$ với áp suất phun 3,5 bar tại vị trí góc quay trục khuỷu 250°TK thì góc bắt đầu phun lần lượt là 80°TK, 50°TK và 25°TK ứng với tốc độ động cơ 2000 v/ph, 2400 v/ph và 2800 v/ph; Áp suất dư trong xi lanh lần lượt là 0,77 bar, 0,85 bar và 0,89 bar, tăng tương ứng 100%, 97% và 79% so với khi cung cấp nhiên liệu kiểu hút.

Từ khóa – Động cơ dual fuel; Phun trực tiếp nhiên liệu khí; Syngas; Biogas; Hydrogen

1. Giới thiệu

Tại Hội nghị Thượng đỉnh về biến đổi khí hậu COP26 diễn ra ở Glasgow mới đây, Việt Nam đã cam kết thực hiện các cơ chế theo thỏa thuận Paris, để đạt mức phát thải ròng bằng 0 (Net Zero) vào năm 2050 [1]. Để đạt mục tiêu này, Chính phủ Việt Nam đã tiến hành thực hiện chiến lược chuyển đổi năng lượng, thay thế dần năng lượng hóa thạch bằng năng lượng tái tạo.

Tuy công nghệ sản xuất và sử dụng năng lượng tái tạo đến nay đã được hoàn thiện đáng kể nhưng những nhược điểm cơ bản của chúng vẫn chưa được khắc phục bằng những giải pháp truyền thống. Năng lượng tái tạo nói chung là không ổn định, công suất nguồn phát năng lượng thay đổi theo thời gian trong ngành hay thay đổi ngẫu nhiên theo điều kiện khí hậu, thời tiết. Vì vậy, để đảm bảo tính ổn định của hệ thống năng lượng, chúng ta cần phối hợp sử dụng nhiều nguồn năng lượng tái tạo khác nhau, gọi là hệ thống năng lượng tái tạo lai (hybrid), thay vì sử dụng một nguồn năng lượng tái tạo độc lập [2]. Nước ta cũng như một số nước thuộc vùng nhiệt đới, tiềm năng về điện mặt trời, điện gió và sinh khối rất dồi dào. Do đó hệ thống năng lượng tái tạo hybrid syngas-biogas-năng lượng mặt trời-năng lượng gió (gọi chung là hệ thống năng lượng tái tạo SBS, Syngas-Biogas-Solar) có nhiều lợi thế [3-6].

Abstract - Direct injection through a twining injection system enables an increase in output power of dual-fuel engines, improves the speed control capacity, and allows the engine to use flexible gaseous fuel blends of syngas-biogas-hydrogen with large variation of compositions. The stop injection angle is determined by the maximum power and rated speed of the engine. The air to fuel equivalence ratio is adjusted by the start injection angle. When the injection pressure is reduced from 5 bar to 3 bar, the start injection angle is advanced by 20°TK and the gauge pressure in the cylinder drops by 0,1 bar. In syngas fueling mode, with an injection pressure of 3.5 bar, to achieve $\phi=0.75$ at a crankshaft position of 250°TK, the start injection angles are 80°TK, 50°TK, and 25°TK corresponding to engine speeds of 2000 rpm, 2400 rpm, and 2800 rpm, respectively. The gauge pressure in the cylinder is 0.77 bar, 0.85 bar and 0.89 bar, respectively, correspondingly increasing by 100%, 97%, and 79%, compared to natural aspiration fueling mode.

Key words – Dual fuel engine; Direct injection gaseous fuels; Syngas; Biogas; Hydrogen

Bên cạnh ưu điểm về sản xuất năng lượng sạch, hệ thống năng lượng tái tạo SBS còn góp phần xử lý chất thải rắn trong sản xuất và sinh hoạt ở nông thôn. Các chất thải rắn khó phân hủy được chế biến thành viên nén nhiên liệu RDF rồi khí hóa thành syngas [7]. Các chất thải hữu cơ dễ phân hủy được sử dụng để sản xuất biogas. Khi công suất của điện mặt trời, điện gió cao hơn công suất phụ tải thì phần công suất dư được sử dụng để sản xuất hydrogen. Syngas, biogas và hydrogen được lưu trữ chung trong túi chứa nhiên liệu khí để cung cấp cho động cơ phát điện khi nguồn điện mặt trời gián đoạn hay không đủ cung cấp cho phụ tải [8].

Theo nguyên lý hoạt động của hệ thống năng lượng SBS nêu trên thì thành phần nhiên liệu khí cung cấp cho động cơ thay đổi một cách ngẫu nhiên và trong phạm vi rộng. Động cơ có thể chạy hoàn toàn bằng một loại nhiên liệu thành phần, cũng có thể chạy bằng hỗn hợp 2 nhiên liệu thành phần hay 3 nhiên liệu thành phần với tỉ lệ khác nhau [9-10]. Sự khác biệt lớn về tỉ số không khí/nhiên liệu của syngas so với các nhiên liệu còn lại là thách thức đối với hệ thống nạp. Tỉ số không khí/nhiên liệu của syngas thấp, dẫn đến thời gian phun kéo dài khiến cho nhiên liệu cung cấp cho chu trình không được hút hoàn toàn vào xi lanh vào cuối kỳ nạp. Điều này khiến cho hệ số tương đương của động cơ không thể đạt được giá trị stoichiometric (thành phần hỗn hợp cháy hoàn toàn lý

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Nguyen Thi Thanh Xuan, Bui Thi Minh Tu, Bui Van Ga)

thuyết), đặc biệt khi động cơ chạy ở tốc độ cao. Sự tích lũy của nhiên liệu trên đường nạp ở chu kỳ trước làm mất kiểm soát hệ số tương đương của hỗn hợp ở các chu kỳ tiếp theo và gây ra hiện tượng nổ ngược. Kỹ thuật cung cấp biogas được làm giàu bởi hydrogen cho động cơ đánh lửa cưỡng bức đã được nghiên cứu trong các công trình [11-12]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, giải pháp hữu hiệu nhất để cung cấp nhiên liệu biogas được làm giàu bởi hydrogen là phun điều khiển điện tử [13-18]. Tuy nhiên, khi sử dụng syngas làm nhiên liệu thì các giải pháp này không còn phù hợp. Tỷ lệ không khí/nhiên liệu (A/F) của syngas thấp hơn rất nhiều so với các loại nhiên liệu truyền thống là một thách thức kỹ thuật rất lớn đối với hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ. Giải pháp kỹ thuật cung cấp nhiên liệu cho động cơ sử dụng nhiên liệu khí linh hoạt là sử dụng hệ thống phun kép [19, 20].

Một khó khăn khác liên quan đến sử dụng syngas trên động cơ là nhiệt trị của nhiên liệu rất thấp dẫn đến giảm công suất động cơ. Thành phần thể tích của syngas khi sử dụng không khí làm chất ô xy hóa thường 18-20% H₂, 18-20% CO, 2% CH₄, 11-13% CO₂, một ít H₂O, còn lại là N₂ [21]. Nhiệt trị thấp của syngas thông thường trong khoảng 4-6 MJ/kg [22], chỉ bằng khoảng 10% nhiệt trị của khí thiên nhiên, LPG hay xăng dầu. Tuy nhiên do lượng không khí cần thiết để đốt cháy một đơn vị khối lượng syngas cũng chỉ bằng 10% các loại nhiên liệu truyền thống nên việc tụt giảm công suất động cơ không tỉ lệ với nhiệt trị nhiên liệu. Thực tế cho thấy khi chạy bằng syngas công suất động cơ giảm khoảng 15%-20% so với động cơ diesel và giảm 30%-40% so với động cơ xăng [23]. Giải pháp thường dùng để cải thiện tính năng của động cơ chạy bằng syngas là làm giàu chúng bằng những nhiên liệu có nhiệt trị cao hơn như biogas, hydrogen [20]. Tuy nhiên, như mô tả trên đây, trong hệ thống năng lượng tái tạo hybrid, động cơ được cung cấp hỗn hợp nhiên liệu syngas-biogas-hydrogen có thành phần thay đổi trong phạm vi rộng. Do đó, việc làm giàu syngas bằng biogas, hydrogen không đảm bảo công suất động cơ ổn định trong các điều kiện cung cấp nhiên liệu khác nhau. Giải pháp cho vấn đề này là phun trực tiếp nhiên liệu khí vào xi lanh động cơ để cải thiện hệ số nạp.

Thực tế hiện nay đã có những động cơ phun trực tiếp nhiên liệu khí truyền thống như LPG, CNG, hydrogen. Tuy nhiên những công trình nghiên cứu động cơ phun trực tiếp sử dụng hỗn hợp nhiên liệu khí tái tạo có thành phần thay đổi linh hoạt hầu như rất hiếm. Đặc biệt là động cơ dual fuel sử dụng nhiên liệu khí linh hoạt syngas-biogas-hydrogen. Đối với loại động cơ này, ngoài xử lý vấn đề kỹ thuật cung cấp nhiên liệu còn phải xử lý việc tổ chức phân bố thành phần hỗn hợp trong buồng cháy sao cho tia phun mỗi có đủ oxygen để có thể tự bốc cháy.

Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng phun trực tiếp nhiên liệu khí vào xi lanh động cơ dual fuel sử dụng nhiên liệu syngas-biogas-hydrogen có thành phần thay đổi linh hoạt.

2. Phương pháp và trang thiết bị nghiên cứu

2.1. Động cơ và nhiên liệu

Nghiên cứu được tiến hành trên động cơ Vikyno

RV165 có đường kính xi lanh 105mm, hành trình piston 97mm, tỉ số nén 20. Khi chạy bằng diesel động cơ phát công suất tối đa 16,5 HP ở tốc độ 2400 v/ph. Khi chuyển thành động cơ dual fuel sử dụng nhiên liệu khí linh hoạt syngas-biogas-hydrogen, buồng cháy động cơ được cải tạo để giảm tỉ số nén xuống còn 16,5.

Biogas, syngas và hydrogen có các đặc trưng chính được trình bày trên Bảng 1.

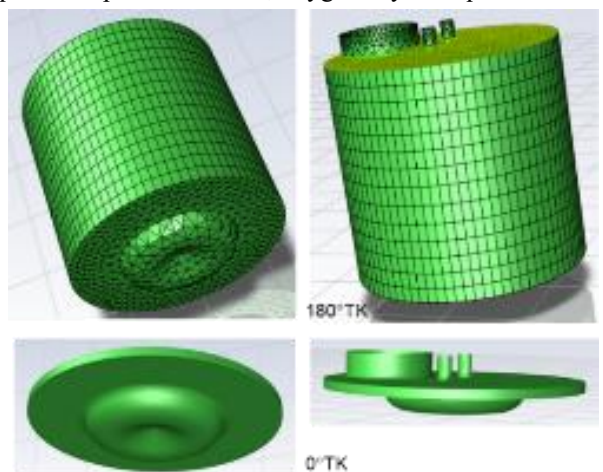
Bảng 1. Các thông số đặc trưng của nhiên liệu

Nhiên liệu	Thành phần (mol/mol)					M (g/mol)	m _{kk} /m _{nl} (g/g)	V _{kk} /V _{nl} (l/l)
	CH ₄	H ₂	CO	CO ₂	N ₂			
Biogas	0,7	0	0	0,3	0	24,40	7,98	6,71
Syngas	0,05	0,18	0,20	0,12	0,45	24,64	1,64	1,39
Hydro	0	1	0	0	0	2	34,78	2,4
Nhiệt trị thấp (MJ/m ³)	33,9	10,24	12,03	-	-			

2.2. Thiết lập mô hình

Tính toán mô phỏng được thực hiện nhờ phần mềm Ansys Fluent 2021R1. Không gian tính toán gồm buồng cháy và xi lanh động cơ có thể tích thay đổi theo góc quay trục khuỷu. Buồng cháy động cơ có dạng omega. Nhiên liệu khí được phun trực tiếp vào xi lanh động cơ thông qua hai vòi phun có đường kính 6mm. Trục các vòi phun nằm trên mặt cắt dọc xy của xi lanh còn trục xú páp nạp nằm trên mặt cắt dọc yz của xi lanh.

Hệ phương trình đối lưu-khuếch tán được khép kín nhờ mô hình rối k-ε. Mỗi khi thay đổi nhiên liệu, tính toán lại bảng pdf thông số nhiệt động học. Nhờ vậy điều kiện biên tính toán sẽ được đơn giản hóa. Ở đầu vào đường nạp thì chỉ có không khí nên thành phần hỗn hợp f (fraction volumic) bằng 0. Ở đầu vào các vòi phun chỉ có nhiên liệu nên f=1. Hệ số tương đương cục bộ của hỗn hợp được tính qua thành phần nhiên liệu, oxygen hay tính qua f.



Hình 1. Chia lưới không gian tính toán

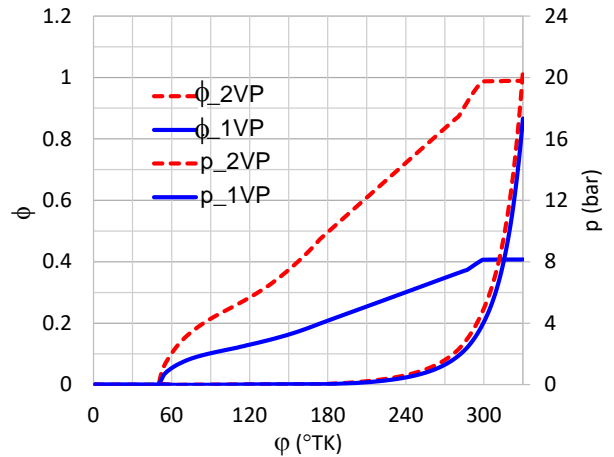
Hình 1 giới thiệu buồng cháy, xi lanh, cửa nạp, các vòi phun và chia lưới không gian tính toán. Nhiên liệu sử dụng trong mô phỏng là syngas, biogas, hydrogen và hỗn hợp của chúng. Động cơ chạy ở tốc độ 2000 v/ph, 2400 v/ph và 2800 v/ph. Áp suất phun nhiên liệu thay đổi trong phạm vi từ 3 bar đến 5 bar.

3. Kết quả và bình luận

3.1. Bố trí vòi phun và áp suất phun

Hình 2a và Hình 2b giới thiệu biến thiên nồng độ nhiên liệu và trường tốc độ dòng khí trong xi lanh trên mặt cắt xy và yz ở vị trí piston 155°TK khi syngas được phun trực tiếp vào buồng cháy động cơ thông qua một vòi phun và thông qua 2 vòi phun. Động cơ chạy ở tốc độ 2400 v/ph, vòi phun đường kính 6mm với áp suất phun 5 bar. Chúng ta thấy trong trường hợp phun qua một vòi phun thì khi tia nhiên liệu chạm đáy buồng cháy một bộ phận nhiên liệu phản xạ ngược lại, tạo nên một khu vực xoáy về phía nửa buồng cháy đối diện với cửa nạp. Trong trường hợp phun qua hai vòi phun thì vùng xoáy lốc trong buồng cháy đối xứng qua tâm xi lanh. Trong cả hai trường hợp, vùng hỗn hợp nghèo tập trung về phía xú páp nạp. Tại cùng vị trí piston ở 155°TK, khi phun nhiên liệu qua hai vòi phun thì vùng hỗn hợp nghèo hẹp hơn trường hợp phun bằng một vòi phun. Trong cùng điều kiện về áp suất phun và thời điểm bắt đầu phun thì nồng độ nhiên liệu cực đại trong xi lanh trong trường hợp hai vòi phun cao gấp đôi trường hợp một vòi phun. Do đó, để đạt được cùng hệ số tương đương của

hỗn hợp thì thời gian phun qua một vòi phun kéo dài. Điều này làm tăng áp suất nén trong buồng cháy, do đó làm tăng tổn thất công bơm của động cơ. Mặt khác, nếu thời gian phun kéo dài khi áp suất trong xi lanh tăng tạo nên đối áp làm giảm lưu lượng phun.

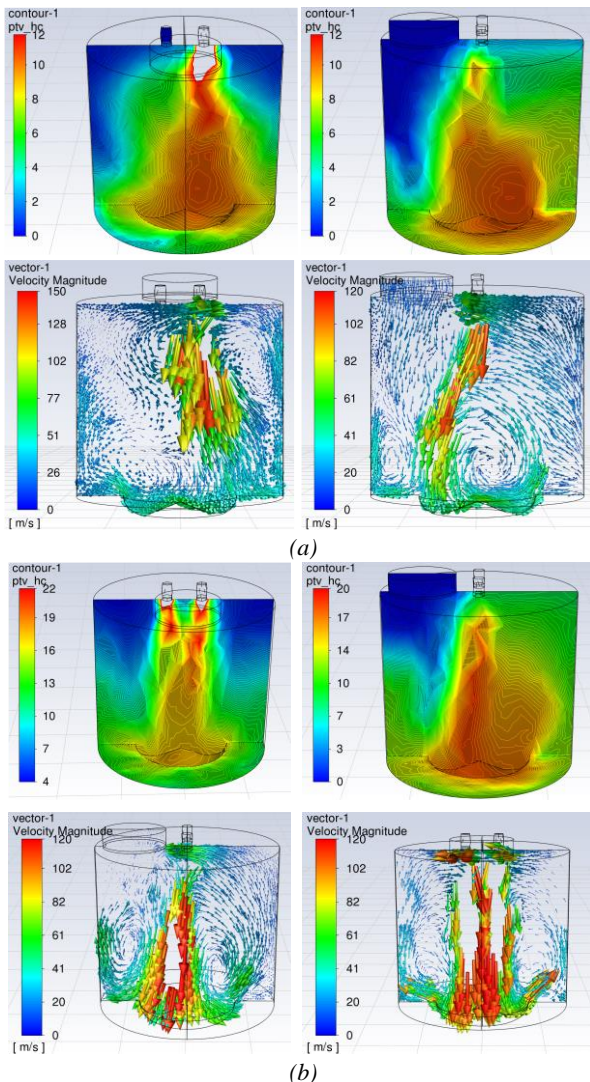


Hình 3. Biến thiên hệ số tương đương và áp suất trong xi lanh theo góc quay trục khuỷu khi cung cấp syngas qua một vòi phun và qua hai vòi phun ($n=2400$ v/ph, $p_p=5$ bar, $\varphi_{start}=50^\circ$ TK)

Hình 3 giới thiệu biến thiên hệ số tương đương và áp suất trong buồng cháy trong trường hợp cung cấp syngas qua một vòi phun và qua 2 vòi phun. Các vòi phun bắt đầu mở ở $\varphi_{start}=50^\circ$ TK với áp suất phun $p_p=5$ bar trong cả hai trường hợp. Chúng ta thấy, tại vị trí 180°TK, hệ số tương đương trong trường hợp một vòi phun đạt $\phi=0,21$ còn trong trường hợp hai vòi phun đạt $\phi=0,5$. Tại vị trí 240°TK, hệ số tương đương đạt lần lượt là 0,3 và 0,71 đối với trường hợp một vòi phun và trường hợp 2 vòi phun. Đến vị trí 300°TK gần cuối quá trình nén hệ số tương đương trong trường hợp một vòi phun chỉ đạt 0,4. Như vậy, nếu sử dụng một vòi phun đường kính 6mm và áp suất phun 5 bar thì hỗn hợp không thể đạt $\phi=1$ ngay cả khi vòi phun mở ngay từ khi bắt đầu quá trình nạp. Đối với trường hợp hai vòi phun, chúng ta có một khoảng góc quay trục khuỷu đủ lớn để điều chỉnh thành phần hỗn hợp khi thay đổi tốc độ động cơ hay thay đổi chế độ tải.

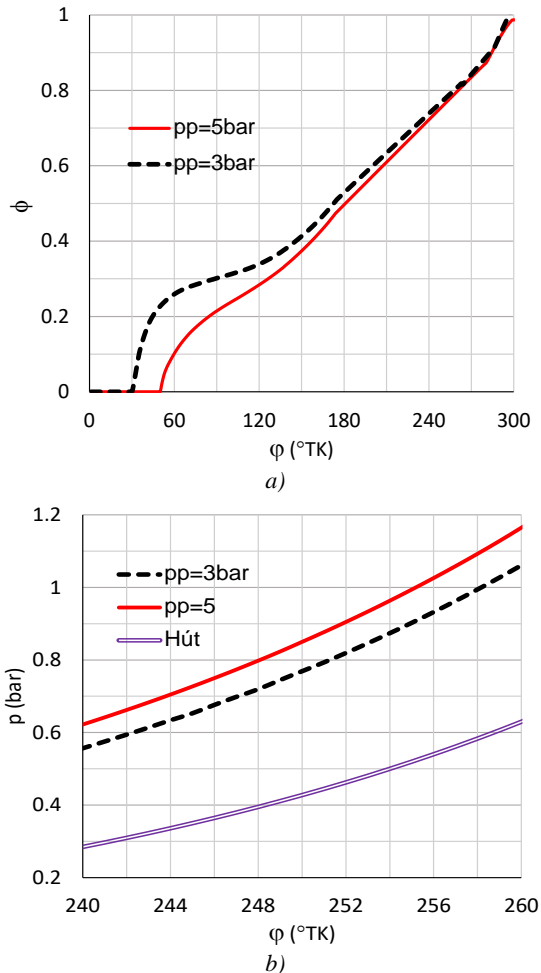
Tương tự như trường hợp động cơ đánh lửa cưỡng bức sử dụng syngas, nếu dùng một vòi phun thì đường kính lưu thông phải lớn hoặc áp suất phun cao [23, 24]. Điều này gây khó khăn cho hệ thống nén nhiên liệu trước khi cung cấp vào động cơ và kỹ thuật làm kín vòi phun, đặc biệt là vòi phun trực tiếp lắp vào buồng cháy động cơ. Mặt khác, để động cơ có thể sử dụng nhiều loại nhiên liệu khí tái tạo khác nhau, hệ thống cung cấp nhiên liệu cần có khả năng thích ứng mỗi khi thành phần nhiên liệu thay đổi.

Khi giảm áp suất phun thì ta phải tăng góc phun sớm để đảm bảo thành phần hỗn hợp tương đương khi kết thúc quá trình phun. Hình 4a so sánh biến thiên hệ số tương đương theo góc quay trục khuỷu khi áp suất phun 5 bar và áp suất phun 3 bar ở cùng tốc độ động cơ 2400 v/ph. Trong trường hợp áp suất phun 3 bar, thời điểm bắt đầu phun 30TK còn trong trường hợp áp suất phun 5 bar thì thời điểm bắt đầu phun 50°TK. Trong cả hai trường hợp, tại vị trí piston 250°TK, hệ số tương đương của hỗn hợp



Hình 2. Biến thiên nồng độ nhiên liệu và trường tốc độ trong xi lanh trên mặt cắt xy, yz khi phun trực tiếp syngas qua một vòi phun(a) và hai vòi phun (b) ở vị trí piston 155°TK ($p_p=5$ bar, $\varphi_{start}=30^\circ$ TK)

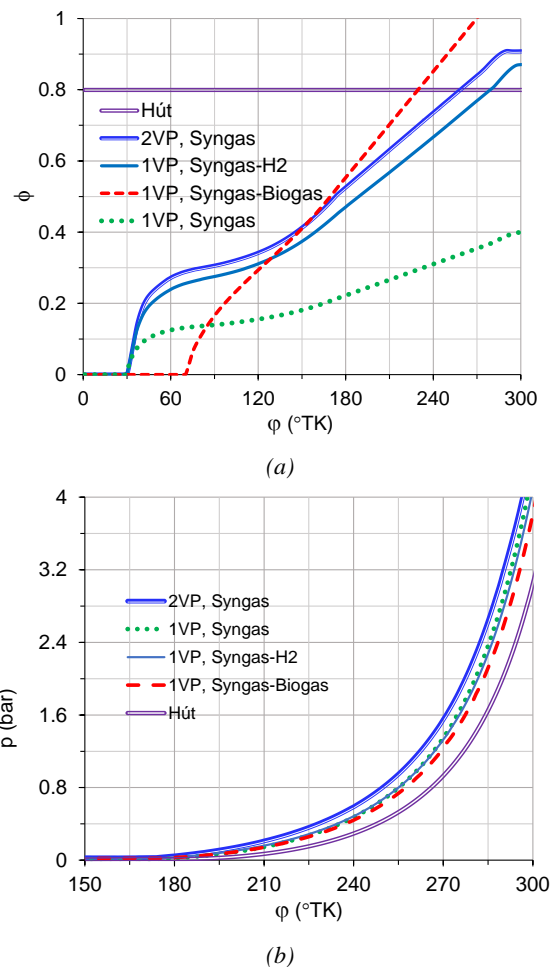
đạt 0,75. Hình 4a cho thấy trong phạm vi hệ số tương đương của syngas thay đổi từ 0,6 đến 0,9 khi giảm áp suất phun từ 5 bar xuống 3 bar thì vòi phun phải mở sớm hơn 20°TK. Khi áp suất phun 5 bar thì áp suất hỗn hợp khí trong xi lanh cao hơn trường hợp phun nhiên liệu ở áp suất 3 bar trung bình 0,1 bar. Điều này dẫn đến công chỉ thị chu trình của động cơ trong trường hợp áp suất phun 3 bar thấp hơn trường hợp áp suất phun 5 bar.



Hình 4. Ảnh hưởng của áp suất phun đến biến thiên hệ số tương đương (a) và áp suất trong xi lanh (b) theo góc quay trục khuỷu ($n=2400$ v/ph, 2 vòi phun)

Khi thay đổi thành phần nhiên liệu thì các thông số của quá trình phun cũng phải thay đổi. Hình 5a biểu diễn biến thiên hệ số tương đương theo góc quay trục khuỷu khi phun syngas (góc mở vòi phun 70°TK) và khi phun hỗn hợp 50% syngas+50% biogas, 50% syngas+50% hydrogen (góc mở vòi phun 30TK). Syngas được phun qua hai vòi phun còn các hỗn hợp được phun qua 1 vòi phun. Trong điều kiện đó để đạt được cùng hệ số tương đương $\phi=0,8$ thì các vòi phun syngas dừng phun ở 259°TK, vòi phun hỗn hợp 50% syngas+50% biogas dừng ở 230°TK, còn vòi phun 50% syngas+50% hydrogen dừng ở 280°TK. Các vị trí này tương ứng với áp suất dư của môi chất trong xi lanh là 1,079 bar, 0,311 bar và 1,885 bar. So với trường hợp cung cấp nhiên liệu kiểu hút thì khối lượng hỗn hợp nạp vào xi lanh tăng lần lượt là 75%, 62% và 39%. Trong trường hợp phun syngas qua một vòi phun với cùng áp suất phun

3,5 bar thì hệ số tương đương của hỗn hợp không quá 0,4 ở vị trí piston 300°TK. Kết quả này cho thấy, cần phải sử dụng hai vòi phun để cung cấp nhiên liệu cho động cơ khi chạy bằng syngas.

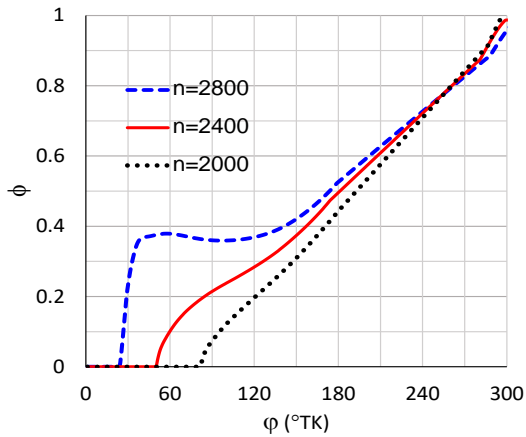


Hình 5. Biến thiên hệ số tương đương (a) và áp suất trong xi lanh (b) theo góc quay trục khuỷu khi phun syngas và hỗn hợp 50% syngas+50% biogas, 50% syngas+50% hydrogen ($n=2400$ v/ph, $p_p=3,5$ bar)

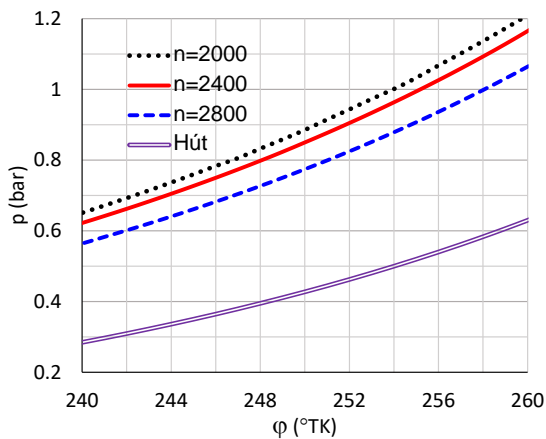
Khi tốc độ định mức của động cơ tăng thì thời gian tính theo 1 góc quay trục khuỷu giảm. Do đó, để đạt được cùng hệ số tương đương và kết thúc phun tại cùng thời điểm thì vòi phun phải mở sớm hơn. Thời điểm bắt đầu phun là thông số cài đặt ban đầu đối với động cơ có tốc độ định mức cho trước. Hình 6a cho thấy, để đạt được $\phi=0,75$ tại vị trí góc quay trục khuỷu 250°TK thì góc bắt đầu mở vòi phun lần lượt là 80°TK, 50°TK và 25°TK ứng với tốc độ động cơ 2000 v/ph, 2400 v/ph và 2800 v/ph. Như vậy, để giữ ổn định hệ số tương đương thì khi tăng tốc độ động cơ chúng ta phải tăng góc phun sớm.

Hình 6b cho thấy, khi tốc độ động cơ càng cao thì chênh lệch giữa áp suất hỗn hợp trong xi lanh cho bởi phương pháp phun trực tiếp syngas và phương pháp hút càng giảm. Điều này là do hệ số nạp của động cơ giảm khi tăng tốc độ. Tại vị trí góc quay trục khuỷu 250°TK, áp suất dư trong xi lanh lần lượt là 0,77 bar, 0,85 bar và 0,89 bar đối với tốc độ động cơ 2800 v/ph, 2400 v/ph và 2000 v/ph. Áp suất dư trong xi lanh khi nạp nhiên liệu bằng phương pháp hút tại

vị trí góc quay trục khuỷu 250°TK là 0,43 bar. Do đó, so với khi cung cấp nhiên liệu bằng kiểu hút tại vị trí 250°TK thì áp suất dư khí phun syngas trực tiếp tăng 79%, 97% và 100% tương ứng với tốc độ động cơ lần lượt là 2800 v/ph, 2400 v/ph và 2000 v/ph. Sự gia tăng áp suất dư đồng nghĩa với lượng hỗn hợp nạp vào xi lanh lớn hơn, do đó ta có thể điều chỉnh các thông số quá trình phun để đạt được công suất động cơ dual fuel syngas-diesel theo yêu cầu.



(a)



(b)

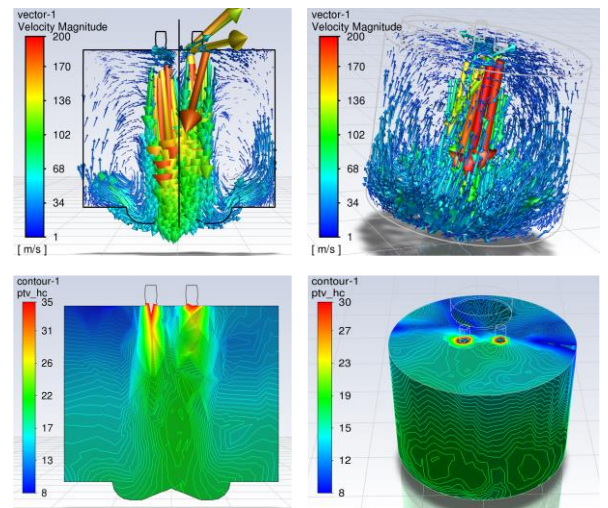
Hình 6. So sánh biến thiên của hệ số tương đương (a) và áp suất trong xi lanh (b) theo góc quay trục khuỷu khi động cơ chạy ở tốc độ 2000 v/pn, 2400 v/ph và 2800 v/ph với cùng hệ số tương đương $\phi=0,75$ ở góc quay trục khuỷu 250°TK ($p_p=5$ bar)

Trong quá trình hoạt động, chế độ tải của động cơ được điều chỉnh để đảm bảo tốc độ động cơ không thay đổi. Khi giảm tải động cơ thì quá trình phun kết thúc sớm hơn. Điều này một mặt làm giảm lượng phun nhiên liệu khí và mặt khác làm giảm áp suất cuối kỳ nén (giảm hệ số nạp) do đó làm tải động cơ giảm nhanh hơn trường hợp cung cấp nhiên liệu kiểu hút. Khi tăng tải thì quá trình diễn ra ngược lại. Do đó, đường cong mô men của động cơ phun nhiên liệu syngas dốc hơn đường cong mô men trong trường hợp hút, tạo thuận lợi cho quá trình điều tốc.

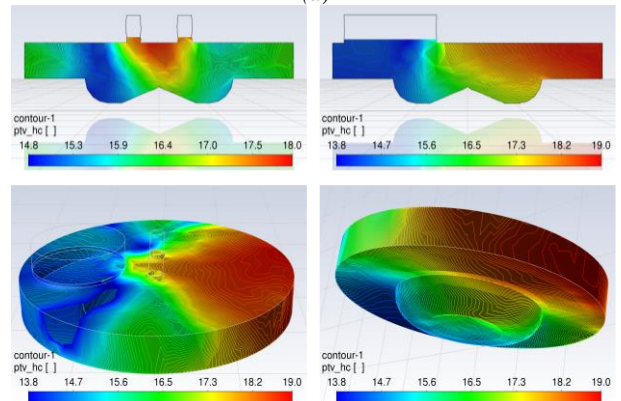
3.2. Tạo hỗn hợp syngas-diesel

Khi sử dụng giải pháp phun trực tiếp, nhiên liệu có thể tiếp tục được phun vào xi lanh sau khi xú páp nạp đã đóng. Hình 7a giới thiệu phân bố nồng độ nhiên liệu và trường tốc độ dòng khí trong xi lanh ở vị trí 240°TK. Chúng ta thấy trong giai đoạn đầu của quá trình nén, nồng độ nhiên

liệu hầu như phân bố đối xứng ở phần đáy xi lanh do động năng của tia phun đủ lớn để không chế sự vận động của dòng khí xung quanh. Tuy nhiên, ở phần đỉnh xi lanh thì nồng độ nhiên liệu thấp về phía nửa xi lanh có chứa xú páp nạp.



(a)



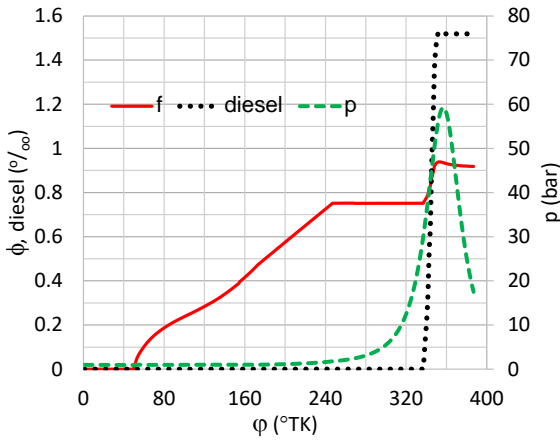
(b)

Hình 7. Phân bố nồng độ nhiên liệu trong xi lanh tại thời điểm 240°TK ($p_p=5$ bar, $\phi_{start}=30$ °TK)

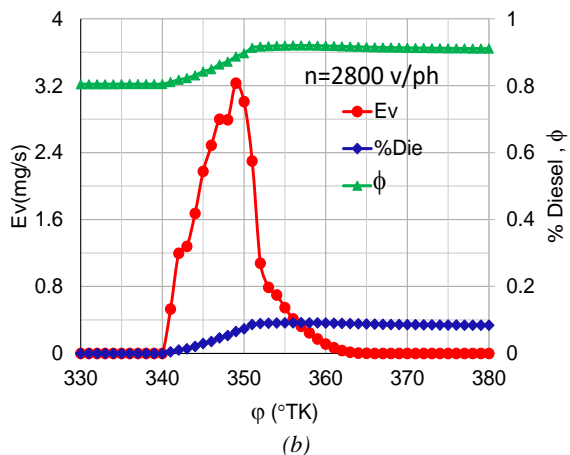
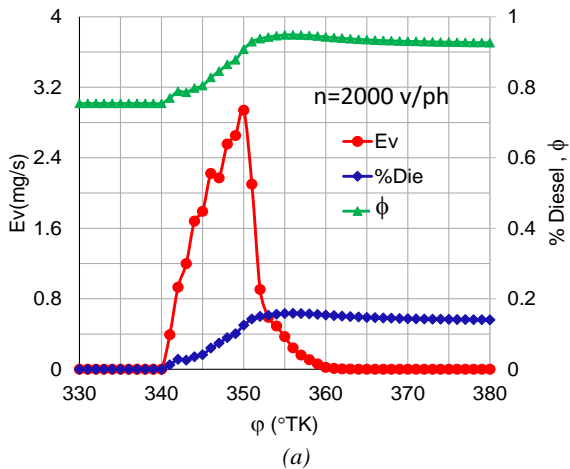
Tại thời điểm 330°TK, trước thời điểm bắt đầu phun mồi để đánh lửa, hỗn hợp giàu nhiên liệu dưới đáy buồng cháy được đẩy lên phía đỉnh theo xu hướng dồn về tâm của đỉnh buồng cháy. Tuy dòng khí vận động xoáy lốc mạnh nhưng nửa buồng cháy phía xú páp nạp vẫn tiếp tục chứa hỗn hợp nghèo so với nửa còn lại của buồng cháy (Hình 7b). Đây là điểm khác biệt đáng lưu ý của giải pháp phun trực tiếp syngas so với giải pháp hút.

Cuối quá trình nén, một lượng nhiên liệu diesel tối thiểu được phun vào buồng cháy để đánh lửa hỗn hợp syngas-không khí. Lượng phun diesel thường khoảng 10%-15% lượng phun định mức khi động cơ chạy hoàn toàn bằng diesel. Hình 8 biểu diễn biến thiên áp suất trong xi lanh, nồng độ diesel và hệ số tương đương trung bình của hỗn hợp theo góc quay trục khuỷu. Động cơ chạy ở tốc độ 2400 v/ph, áp suất phun 5 bar, vòi phun syngas mở ở 50°TK và đóng ở 250°TK. Trong điều kiện phun syngas đó thì hệ số tương đương của hỗn hợp do syngas tạo ra là 0,75. Diesel được phun vào buồng cháy ở vị trí 340°TK và kết thúc phun ở 350°TK. Chúng ta thấy, khi phun diesel thì

nồng độ diesel tăng dần đến hệ số tương đương trung bình của hỗn hợp tăng lên $\phi=0,9$. Như vậy, thành phần hệ số tương đương do diesel tạo nên là 0,15. Khác với trường hợp phun syngas, do diesel là nhiên liệu lỏng và tỉ lệ không khí/nhiên liệu cao hơn rất nhiều so với syngas nên khi cung cấp vào xi lanh nó không làm thay đổi đáng kể áp suất hỗn hợp khí.

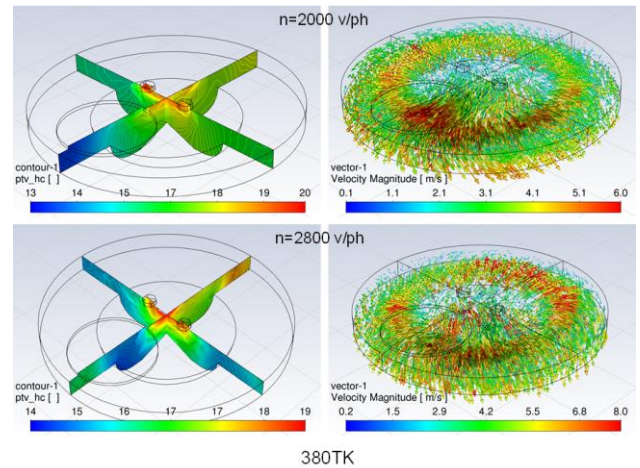


Hình 8. Biến thiên áp suất trong xi lanh, nồng độ diesel và hệ số tương đương theo góc quay trục khuỷu ($n=2400$ v/ph, $p_p=5$ bar, vòi phun syngas mở 50°TK -đóng 250°TK , vòi phun diesel mở 340°TK -đóng 350°TK)



Hình 9. So sánh biến thiên tốc độ bốc hơi nhiên liệu lỏng, nồng độ diesel và hệ số tương đương khi động cơ chạy ở tốc độ 2000 v/ph (a) và 2800 v/ph (b)

Hình 9 cho thấy, khi nhiên liệu diesel được phun vào khối không khí nóng bên trong buồng cháy thì bốc hơi ngay. Đường cong bốc hơi tăng mạnh từ lúc bắt đầu phun (340°TK) đến khi kết thúc phun (350°TK). Nhiên liệu hầu như bốc hơi hoàn toàn ở vị trí 360°TK khi tốc độ động cơ 2000 v/ph và ở vị trí 365°TK khi tốc độ động cơ 2800 v/ph. Khi tốc độ động cơ tăng thì quá trình bốc hơi kéo dài hơn vì thời gian tính theo 1 góc quay trục khuỷu giảm. Cùng điều kiện phun khi tốc độ động cơ tăng thì lượng diesel cung cấp vào buồng cháy giảm, tương ứng với sự sụt giảm hệ số tương đương. Cùng điều kiện áp suất phun 5 bar, góc phun 10°TK thì hệ số tương đương do nhiên liệu diesel tạo ra trong trường hợp $n=2000$ v/ph là 0,15 trong khi đó, nó chỉ đạt 0,1 khi tốc độ động cơ là 2800 v/ph. Do đó, lượng phun mỗi diesel cần được điều chỉnh theo tốc độ định mức của động cơ để đạt giá trị tối thiểu đảm bảo đánh lửa hỗn hợp và bôi trơn vòi phun.



Hình 10. So sánh trường nồng độ nhiên liệu và trường tốc độ tại vị trí 380°TK khi động cơ chạy ở tốc độ 2000 v/ph và 2800 v/ph

Hình 10 so sánh phân bố nồng độ nhiên liệu và tốc độ dòng khí trong xi lanh tại thời điểm 38°TK ứng với tốc độ động cơ 2000 v/ph và 2800 v/ph với cùng hệ số tương đương do diesel tạo ra là 0,15. Chúng ta thấy, khi tốc độ động cơ tăng thì mức độ chênh lệch nồng độ nhiên liệu trong buồng cháy giảm. Cụ thể trên Hình 10, mức chênh lệch nồng độ nhiên liệu cực tiểu và cực đại khi $n=2000$ v/ph là 13%-20% còn trong trường hợp $n=2800$ v/ph thì mức chênh lệch nồng độ nhiên liệu cực đại và cực tiểu là 14%-19%.

4. Kết luận

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

Phun nhiên liệu trực tiếp là giải pháp hữu hiệu để khắc phục sự sụt giảm công suất động cơ sử dụng nhiên liệu khí nghèo. Do tỉ số không khí/nhiên liệu của syngas thấp hơn nhiều so với các loại nhiên liệu truyền thống nên động cơ sử dụng nhiên liệu khí tái tạo linh hoạt cần sử dụng vòi phun kép với góc đóng mở vòi phun thay đổi theo thành phần nhiên liệu, chế độ tải và tốc độ động cơ.

- Để giữ ổn định công suất cực đại của động cơ dual fuel phun trực tiếp nhiên liệu khí, lượng nhiên liệu cung cấp vào động cơ được điều chỉnh bằng cách thay đổi thời điểm bắt đầu phun. Thời điểm bắt đầu phun được cài đặt

ban đầu ứng với công suất tối đa của động cơ và tốc độ định mức.

- Khi thay giảm áp suất phun từ 5 bar xuống 3 bar thì góc bắt đầu phun sớm hơn 20°TK và áp suất dư trong xi lanh giảm 0,1 bar. Trong tất cả các trường hợp phun trực tiếp, vào cuối kỳ nén, hỗn hợp trong buồng cháy không đồng nhất với bộ phận hỗn hợp nghèo nằm về phía xử nạp.

- Để đạt được $\phi=0,75$ tại vị trí góc quay trục khuỷu 250°TK thì góc bắt đầu mở vòi phun lần lượt là 80°TK , 50°TK và 25°TK ứng với tốc độ động cơ 2000 v/ph, 2400 v/ph và 2800 v/ph, áp suất dư trong xi lanh lần lượt là 0,77 bar, 0,85 bar và 0,89 bar; so với giải pháp cung cấp nhiên liệu kiểu hút thì áp suất dư tăng tương ứng 100%, 97% và 79%.

- Khi tăng tốc độ động cơ thì quá trình bốc hơi tia diesel phun mồi kéo dài nhưng làm tăng độ đồng đều của hỗn hợp. Cùng điều kiện phun, mức chênh nồng độ nhiên liệu cực tiểu và cực đại khi $n=2000$ v/ph là 13%-20% còn trong trường hợp $n=2800$ v/ph là 14%-19%.

- Phun trực tiếp thông qua hệ thống vòi phun kép cho phép nâng cao công suất động cơ dual fuel, cải thiện tính năng điều tốc, giúp động cơ có thể sử dụng nhiên liệu khí tại tạo syngas, biogas, hydrogen có thành phần thay đổi linh hoạt phù hợp với hệ thống năng lượng tái tạo hybrid.

Lời cảm ơn: Công trình này được thực hiện nhờ tài trợ của Quỹ NAFOSTED thông qua đề tài "Mô-đun sản xuất điện hòa lưới công suất nhỏ từ chất thải sinh hoạt và sản xuất ở nông thôn", Mã số: NCUĐ.02-2019.22.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Việt Nam News, "Việt Nam strives to achieve 'net zero' by 2050, with international support: PM", *Copyrights Viet Nam News*, 2021 [online] <https://vietnamnews.vn/environment/1071075/viet-nam-strives-to-achieve-net-zero-by-2050-with-international-support-pm.html>, November, 02/2021 - 06:41
- [2] Shaopeng Guo, Qibin Liu, Jie Sun, Hongguang Jin, "A review on the utilization of hybrid renewable energy", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 91, 2018, 1121-1147. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.105>
- [3] Ifegwu Eziyi, Anjaneyulu Krothapalli, "Sustainable Rural Development: Solar/Biomass Hybrid Renewable Energy System", *Energy Procedia* 57, 2014, 1492-1501. doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.141
- [4] Katharina Bär, Stefanie Wagender, Felix Solka, Abdessamad Saidi, Wilfried Zörner, "Flexibility Potential of Photovoltaic Power Plant and Biogas Plant Hybrid Systems in the Distribution Grid", *Chemical Engineering & Technology* 2020: 1-12. <https://doi.org/10.1002/ceat.202000025>
- [5] Y.S. Mohammed, M.W. Mustafa, N. Bashir, "Hybrid renewable energy systems for off-grid electric power: Review of substantial issues", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 35, 2014: 527-539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.022>.
- [6] Krishna KS, Kumar KS, "A review on hybrid renewable energy systems", *Renew Sustain Energy Rev* 52, 2015, 907-16. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.187>
- [7] Bùi Văn Ga, Võ Anh Vũ, Huỳnh Văn Thanh, Nguyễn Xuân Thịnh, Ngô Thành Tín, Huỳnh Quốc Bảo, "Thiết kế máy ép viên nén nhiên liệu RDF từ chất thải sinh hoạt", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 19(2), 2021, 13-17.
- [8] Van Ga Bui, Trung Hung Vo, Thi Minh Tu Bui, Le Bich Tram Truong, and Thanh Xuan Nguyen Thi, "Characteristics of Biogas-Hydrogen Engines in a Hybrid Renewable Energy System", *International Energy Journal* 21(4), 2021, 467-480.
- [9] Van Ga Bui, Thi Minh Tu Bui, Hwai Chyuan Ong, Sandro Nizetic, Van Hung Bui, Thi Thanh Xuan Nguyen, A.E. Atabani, Libor Stěpanec, Le Hoang Phu Pham, Anh Tuan Hoang, "Optimizing operation parameters of a spark-ignition engine fueled with biogas-hydrogen blend integrated into biomass-solar hybrid renewable energy system", *Energy*, 2022, 124052. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124052>.
- [10] Trần Văn Nam, Bùi Văn Ga, Phan Minh Đức, Bùi Thị Minh Tú, "Cung cấp nhiên liệu biogas-hydrogen cho động cơ đánh lửa cưỡng bức kéo máy phát điện trong hệ thống năng lượng tái tạo hybrid" *Tuyển tập Công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 21*, Quinhon 19-21/7/2018, 448-458.
- [11] Bùi Văn Ga, Võ Anh Vũ, Bùi Thị Minh Tú, Bùi Văn Hùng, Trương Lê Bích Trâm, Phạm Văn Quang, "Kiểm soát tỉ lệ không khí/nhiên liệu của động cơ đánh lửa cưỡng bức chạy bằng biogas nghèo pha HHO", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 17(3), 2019, 1-6.
- [12] Trương Lê Bích Trâm, Bùi Văn Ga, Nguyễn Thị Thanh Xuân, Phạm Văn Quang, "Mô phỏng quá trình cung cấp nhiên liệu Biogas-HHO cho động cơ đánh lửa cưỡng bức", *Tuyển tập Công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 22*, Hải Phòng, 25-27/7/2019, 772-783.
- [13] Van Ga Bui, Van Nam Tran, Anh Tuan Hoang, Thi Minh Tu Bui & Anh Vu Vo, "A simulation study on a port-injection SI engine fueled with hydroxy-enriched biogas". *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2020, 15567230 <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1804487>
- [14] Bùi Văn Ga, Bùi Thị Minh Tú, Trương Lê Bích Trâm, Nguyễn Đức Hoàng, Phạm Văn Quang, "Thiết lập giàn đồ cung cấp nhiên liệu cho động cơ biogas-xăng", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 17(9), 2019, 33-39.
- [15] Bùi Văn Ga, Lê Minh Tiến, Bùi Văn Tấn, Võ Như Tùng, "Mô phỏng Engine Map của động cơ được cung cấp nhiên liệu kiểu hybrid biogas-xăng", *Tuyển tập Công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 22*, Hải Phòng, 25-27/7/2019, 250-259.
- [16] Bui Van Ga, Bui Thi Minh Tu, Truong Le Bich Tram, Bui Van Hung, "Technique of Biogas-HHO Gas Supply for SI Engine", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 8(5), May-2019, 669-674.
- [17] Bùi Thị Minh Tú, Bùi Văn Hùng, Trương Lê Bích Trâm, "Nghiên cứu công nghệ phun Biogas-HHO trên động cơ tĩnh tại đánh lửa cưỡng bức", *Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học thủy khí toàn quốc lần thứ 23*, tháng 11-2020, 636-647.
- [18] Bùi Văn Ga, Trần Thanh Hải Tùng, Lê Minh Tiến, Bùi Thị Minh Tú, Đặng Văn Nghĩa, Tôn Nguyễn Thành Sang, "Tính năng kỹ thuật và phát thải ô nhiễm động cơ phun biogas - HHO trên đường nạp", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 18(1), 2020, 43-48.
- [19] Van Ga Bui, Thi Minh Tu Bui, Van Giao Nguyen, Van Nam Tran, Le Bich Tram Truong, Le Hoang Phu Pham, "Concept of twining injector system for spark-ignition engine fueled with syngas-biogas-hydrogen operating in solar-biomass hybrid energy system", *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.076>
- [20] Bùi Văn Ga, Nguyễn Văn Đông, Cao Xuân Tuấn, Võ Anh Vũ, "Mô phỏng quá trình cung cấp nhiên liệu linh hoạt syngas-biogas-hydrogen cho động cơ tĩnh tại đánh lửa cưỡng bức/Simulation of syngas-biogas-hydrogen flexible fuel supply for a stationary SI engine". *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng* 20(9), 2022.
- [21] Rakopoulos C, Michos N., "Development and validation of a multi-zone combustion model for performance and nitric oxide formation in syngas fueled spark ignition engine", *Energy Conversion and Management*, 49, 2008, 2914-24.
- [22] Hagos F, Aziz A, Sulaiman S., "Trends of syngas as a fuel in internal combustion engines", *Advances in Mechanical Engineering*, 2014;1-10. Article id: 401587.
- [23] Van Ga Bui, Thi Minh Tu Bui, Van Nam Tran, Zuohua Huang, Anh Tuan Hoang, Wieslaw Tarelko, Van Hung Bui, Xuan Mai Pham, Phuoc Quy Phong Nguyen, "Flexible syngas-biogas-hydrogen fueling spark-ignition engine behaviors with optimized fuel compositions and control parameters", *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022, doi./10.1016/j.ijhydene.2022.09.133.