

MÔ PHỎNG TÍNH THÍCH ỨNG CỦA ĐỘNG CƠ TRONG HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO HYBRID SẢN XUẤT ĐIỆN-HYDROGEN

SIMULATION OF ENGINE ADAPTATION IN A HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM PRODUCING ELECTRIC AND HYDROGEN

Nguyễn Hữu Hiếu¹, Bùi Văn Ga¹,
Lê Khắc Bình^{2,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2025.071>

TÓM TẮT

Hệ thống năng lượng tái tạo hybrid gồm 15kWp pin mặt trời, 12kW turbine gió, 3,8kW máy phát điện syngas có thể cung cấp 9kWh/ngày và mỗi năm sản xuất được 977kg hydrogen, góp phần làm giảm phát thải 9892kg CO₂ vào bầu khí quyển. Công suất của động cơ syngas trong hệ thống năng lượng tái tạo lai thay đổi theo loại biomass được cấp vào lò khí hóa. Công suất động cơ GX200 chạy bằng syngas nhận được từ khí hóa trực tiếp biomass không đáp ứng được yêu cầu ổn định công suất hệ thống. Khi động cơ chạy bằng syngas nhận được từ khí hóa RDF biomass thì công suất chu trình của động cơ tăng khoảng 18% so với khi sử dụng syngas từ khí hóa trực tiếp biomass. Động cơ GX200 chạy bằng syngas nhận được từ khí hóa RDF sọ dừa, vỏ đậu và trấu có công suất xấp xỉ 3,8kW, đáp ứng yêu cầu làm việc trong hệ thống năng lượng tái tạo lai. Trong tất cả các trường hợp nhiên liệu syngas, phát thải NO_x của động cơ đều rất bé so với các loại nhiên liệu truyền thống.

Từ khóa: Nhiên liệu tái tạo; chuyển đổi năng lượng; hệ thống năng lượng tái tạo lai; Syngas; Hydrogen.

ABSTRACT

The hybrid renewable energy system comprises 15kW-peak solar panels, 12kW wind turbines, and 3.8kW syngas generators, delivering 9kWh/day of electricity and producing 977kg of hydrogen annually. This system contributes to a reduction of 9,892kg of CO₂ emissions per year. The output power of the syngas engine in the hybrid system varies depending on the type of biomass supplied to the gasifier. When using syngas derived from the direct gasification of biomass, the GX200 engine fails to maintain stable system capacity. However, when fueled by syngas from the gasification of refuse-derived fuel (RDF) biomass, the engine's indicated cycle work increases by approximately 18% compared to direct biomass gasification. Using RDF gasification of coconut shells, bean husks, and rice husks, the GX200 engine achieves a power output of around 3.8 kW, satisfying the hybrid system's operational requirements. Across all syngas fuel types, the engine's NO_x emissions are significantly lower than those of conventional fuels.

Keywords: Renewable fuels; energy transition; hybrid renewable energy system; Syngas; Hydrogen.

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

*Email: khacbinhktv@gmail.com

Ngày nhận bài: 04/01/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/3/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/3/2025

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, năng lượng toàn cầu vẫn phụ thuộc nhiều vào nhiên liệu hóa thạch, gây ra lượng lớn khí thải độc hại (CO₂, CO, NO_x) và các hạt bụi, dẫn đến nhiều vấn đề môi trường và nguy cơ cạn kiệt nguồn nhiên liệu trong vài thập kỷ tới. Sự nóng lên toàn cầu cũng diễn ra nhanh hơn dự đoán, với nhiệt độ bề mặt không khí toàn cầu đạt mức cao nhất vào tháng 7 năm 2023, gây ra thách thức lớn cho sức khỏe và môi trường [1-3].

Để ngăn nhiệt độ toàn cầu tăng quá 1,5°C so với thời kỳ tiền công nghiệp, hội nghị thượng đỉnh COP đã kêu gọi các quốc gia tăng cường cắt giảm phát thải khí nhà kính. Chuyển đổi sang nguồn năng lượng bền vững là giải pháp then chốt trong kế hoạch đạt mục tiêu net-zero mà Việt Nam đã cam kết [4]. Hydrogen được xem là nguồn nhiên liệu bền vững, có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong sản xuất điện năng, giao thông vận tải, các hoạt động sản xuất công nghiệp và đời sống. Các nhà khoa học dự báo năng lượng hydrogen sẽ đáp

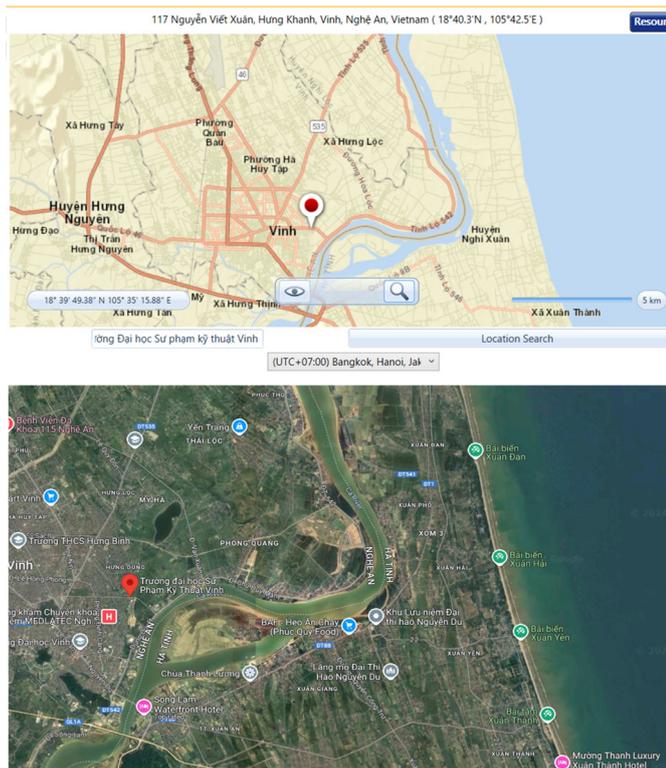
ứng 11% nhu cầu năng lượng toàn cầu vào năm 2025 và 34% vào năm 2050. Vì vậy, việc nghiên cứu phát triển công nghệ sản xuất hydrogen từ năng lượng tái tạo có ý nghĩa quan trọng trong quá trình chuyển đổi năng lượng. Nhược điểm của năng lượng tái tạo là tính không liên tục và việc kết hợp các nguồn năng lượng tái tạo khác nhau thành hệ thống năng lượng tái tạo lại (HRES) góp phần giải quyết bất cập này và làm tăng hiệu quả sản xuất hydrogen [1, 6].

Một trong những xu hướng nghiên cứu năng lượng tái tạo hiện nay là mở rộng HRES sang sản xuất hydrogen, không đơn thuần sản xuất điện năng như trước đây [6]. Tích hợp quá trình điện phân nước trong HRES để sản xuất hydrogen là giải pháp phổ biến đã được đề cập đến trong nhiều công trình nghiên cứu gần đây. Hydrogen sinh ra từ hệ thống có thể được dùng làm nhiên liệu cho phương tiện giao thông hay hòa trộn với các loại nhiên liệu tái tạo khác làm nhiên liệu cho động cơ kéo máy phát điện giúp giữ ổn định công suất HRES [7, 8].

Trong hệ thống SWB-H, cụm động cơ đốt trong-máy phát điện đóng vai trò như hệ thống lưu trữ năng lượng. Động cơ này chạy bằng syngas hoặc hỗn hợp syngas-hydrogen có thành phần thay đổi linh hoạt. Syngas là một loại hỗn hợp khí nhiên liệu chứa chủ yếu là hydrogen (H_2), cacbon monoxit (CO) và nhiều khi cả một chút cacbon dioxit (CO_2). Thành phần thể tích trung bình của syngas bao gồm 13 - 19% H_2 , 18 - 22% CO, 1 - 5% CH_4 , 9 - 12% CO_2 , với phần còn lại là N_2 [9]. Nhiệt trị của syngas khoảng 3,47 đến 6,28 MJ/Nm³ [10, 11], chỉ bằng 10% so với các loại nhiên liệu có nhiệt trị cao như khí thiên nhiên, LPG hoặc xăng dầu. Tỷ lệ không khí/nhiên liệu (A/F) lý tưởng để hỗn hợp syngas cháy hoàn toàn chỉ đạt 1,2, thấp hơn đáng kể so với A/F = 14,9 của xăng và A/F = 14,5 của diesel [12, 13]. Sự suy giảm công suất động cơ khi sử dụng syngas chủ yếu bắt nguồn từ việc giảm hệ số nạp do trọng lượng riêng của nhiên liệu thấp, thay vì chỉ do giá trị nhiệt trị. Vì tỷ lệ không khí/nhiên liệu (A/F) của syngas thấp hơn rõ rệt so với nhiên liệu hóa thạch, điều này gây ra khó khăn trong việc thiết kế hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ. Do đó, cần tìm phương án nạp liệu tối ưu nhằm tạo hỗn hợp nhiên liệu đồng nhất, đủ về chất và lượng để nâng cao chất lượng quá trình cháy khi sử dụng syngas làm nhiên liệu cho động cơ đốt trong. Phun trực tiếp nhiên liệu khí syngas vào buồng cháy là một giải pháp để khắc phục những nhược điểm của phương pháp tạo hỗn hợp trên đường nạp [14].

Một đặc điểm đáng chú ý khác của syngas là khả năng cháy trong phạm vi rộng, nhờ vào sự có mặt của hydrogen. Điều này mang lại lợi ích lớn cho các ứng dụng động cơ, vì nó cho phép sử dụng các hỗn hợp khí có tỉ lệ nhiên liệu nghèo [15]. Kutcha [16] đã nghiên cứu giới hạn cháy của hỗn hợp syngas-không khí và thấy rằng khí tổng hợp dễ bắt lửa hơn so với khí tự nhiên và xăng. Trong nghiên cứu về động cơ biogas được làm giàu bằng hydrogen, Bùi Văn Ga và các cộng sự phát hiện rằng, khi hàm lượng hydrogen trong hỗn hợp nhiên liệu tăng lên, góc đánh lửa sớm giảm và phạm vi cháy của động cơ được mở rộng [17, 18]. Trong khi đó, góc đánh lửa sớm tối ưu của động cơ sử dụng syngas lớn hơn so với các nhiên liệu truyền thống. Sự hiện diện của H_2 trong syngas có xu hướng làm tăng nhiệt độ cháy và do đó làm tăng phát thải NO_x [19-21].

Nghiên cứu tổng quan trên đây cho thấy sản xuất hydrogen trong HRES là xu hướng phát triển của công nghệ ứng dụng năng lượng tái tạo hiện nay. Phần lớn các công trình đã công bố liên quan đến vấn đề này tập trung hệ thống năng lượng tái tạo lại điện mặt trời-điện gió, rất



Hình 1. Vị trí địa lý của địa điểm nghiên cứu

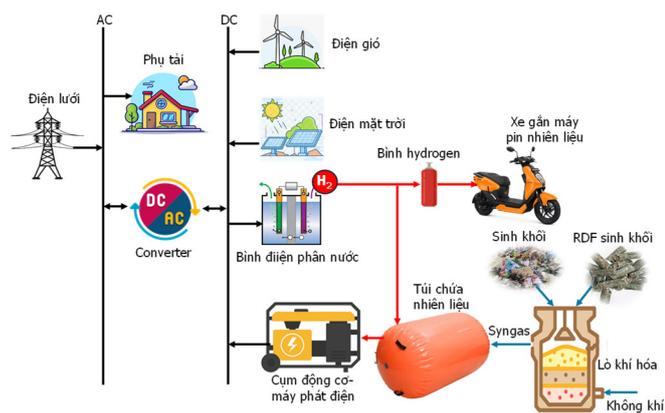
Trong công trình này, chúng tôi nghiên cứu mô phỏng hệ thống năng lượng tái tạo lại gồm điện mặt trời, điện gió và điện sinh khối. Hệ thống này vừa cung cấp điện cho phụ tải, vừa sản xuất hydrogen, gọi tắt là SWB-H, tại địa điểm giả định là Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh, tọa độ địa lý của địa điểm nghiên cứu là 18°40,3'N và 105°42,5'E (hình 1).

hiếm công trình tích hợp điện sinh khối vào hệ thống. Việc chuyển hóa sinh khối thành điện một mặt giúp thu hồi được năng lượng từ chất thải rắn, mặt khác giảm áp lực xử lý chất thải rắn, giảm phát thải khí gây hiệu ứng nhà kính. Động cơ đốt trong sử dụng nhiên liệu khí linh hoạt syngas-hydrogen đóng vai trò quan trọng trong hệ thống SWB-H. Sự suy giảm công suất của động cơ khi sử dụng syngas là thách thức đối với khả năng làm việc ổn định của hệ thống. Bài báo này trình bày kết quả mô phỏng tính năng động cơ đánh lửa cưỡng bức sử dụng nhiên liệu syngas khí hóa từ các loại sinh khối khác nhau và từ RDF các loại biomass khác nhau. Mục đích của công trình này là nghiên cứu khả năng đáp ứng công suất của động cơ đốt trong trong hệ thống SWB-H.

Hầu hết các công trình nghiên cứu về hệ thống năng lượng tái tạo hybrid đã được công bố thường chỉ tập trung vào năng lượng mặt trời và năng lượng gió. Rất hiếm công trình nghiên cứu tích hợp năng lượng biomass vào hệ thống năng lượng hybrid. Điều này là do việc chuyển đổi năng lượng biomass thành điện năng phức tạp hơn nhiều so với các loại năng lượng tái tạo khác. Vì vậy, mặc dù tiềm năng biomass rất lớn nhưng cho đến nay việc khai thác và sử dụng chúng vẫn còn rất hạn chế. Kết quả của nghiên cứu này góp phần xây dựng cơ sở cho sự phát triển của hệ thống năng lượng tái tạo lai SWB-H, đặc biệt là sử dụng biomass, một nguồn năng lượng tiềm năng của nước ta.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

2.1. Sơ đồ hệ thống năng lượng tái tạo lai SWB-H

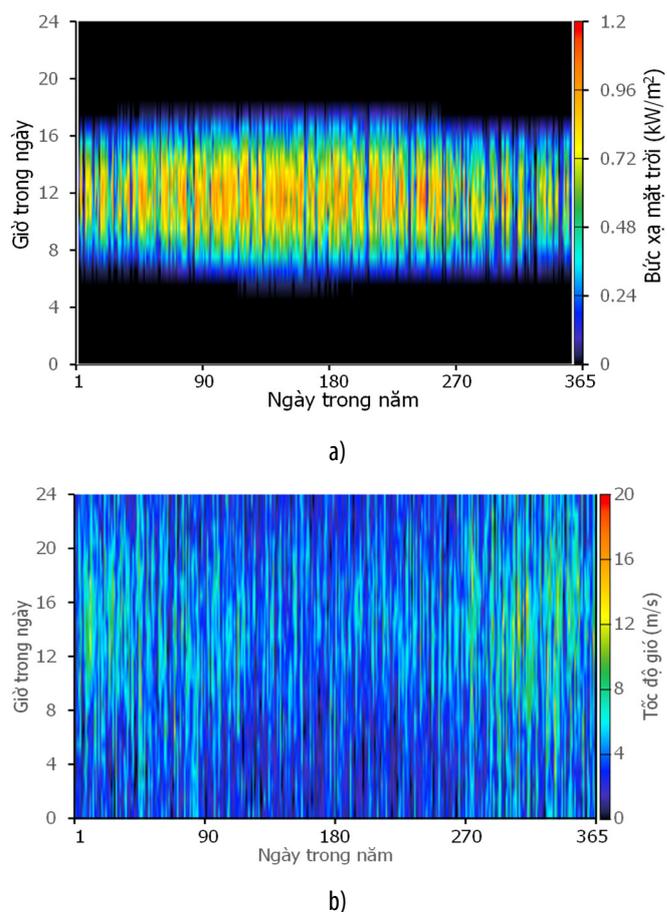


Hình 2. Sơ đồ hệ thống năng lượng tái tạo hybrid có sản xuất hydrogen SWB-H

Hình 2 trình bày sơ đồ hệ thống năng lượng tái tạo SWB-H gồm năng lượng gió, năng lượng mặt trời và năng lượng biomass. Việc chuyển hóa biomass thành điện được thực hiện thông qua cụm động cơ - máy phát điện chạy bằng syngas nhận được từ lò khí hóa. Trong nghiên

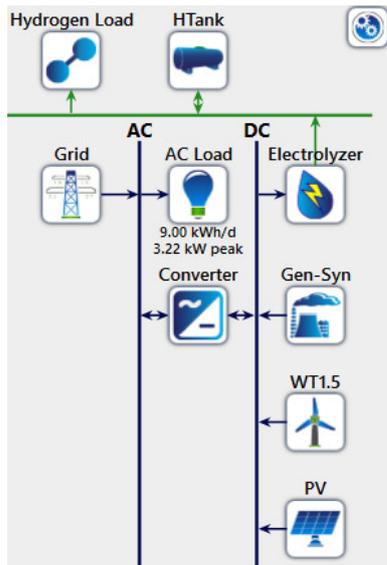
cứu này, chúng tôi so sánh hai trường hợp: biomass được khí hóa trực tiếp và biomass được chế biến thành viên nén nhiên liệu RDF trước khi khí hóa. Syngas sau khi qua hệ thống lọc được dẫn đến túi chứa khí. Khi công suất điện mặt trời, điện gió lớn hơn công suất phụ tải thì phần công suất thừa được cung cấp cho bình điện phân nước để sản xuất hydrogen. Hydrogen được nạp vào các bình chứa hydrua kim loại để làm nhiên liệu cho xe gắn máy chạy bằng pin nhiên liệu hydrogen. Phần hydrogen còn lại được dẫn đến túi chứa khí syngas để hòa trộn thành nhiên liệu cung cấp cho động cơ đốt trong kéo máy phát điện. Năng lượng điện thu được từ các nguồn khác nhau được hòa lưới điện và cung cấp cho phụ tải thông qua converter.

Hình 3a và 3b giới thiệu bức xạ mặt trời và tốc độ gió trung bình ở thành phố Vinh, tỉnh Nghệ An trích xuất từ cơ sở dữ liệu khí hậu của NASA. Bức xạ mặt trời cực đại vào buổi trưa mùa hè, khoảng 1,2kW/m². Tốc độ gió trung bình cực đại khoảng 20m/s vào những tháng cuối năm. Những tháng giữa năm, bức xạ mặt trời cao nhưng năng lượng gió thấp.



Hình 3. Bức xạ mặt trời (a) và tốc độ gió trung bình (b) tại địa điểm nghiên cứu

2.2. Công cụ nghiên cứu



Hình 4. Sơ đồ mô phỏng hệ thống năng lượng tái tạo SWB-H

Trong nghiên cứu này, chúng tôi dùng phần mềm HOMER để mô phỏng hoạt động của hệ thống SWB-H và dùng phần mềm Ansys Fluent để mô phỏng tính năng của động cơ sử dụng nhiên liệu khí tái tạo. Hình 4 là sơ đồ tính toán hệ thống SWB-H trong HOMER mô phỏng theo sơ đồ hình 2. Trong sơ đồ này điện mặt trời, điện gió và điện sinh ra từ máy phát điện đều là điện một chiều. Các nguồn điện này được chuyển thành điện xoay chiều để cung cấp cho phụ tải qua converter. Sơ đồ này giúp đơn giản hóa hệ thống đồng bộ điện lưới cho từng thành phần hệ thống SWB-HRES.

Mô phỏng quá trình cháy trong động cơ đốt trong được thực hiện nhờ phần mềm Ansys Fluent. Nghiên cứu được thực hiện trên một động cơ chạy bằng syngas được cải tạo từ động cơ Honda GX200 có các thông số kỹ thuật chi tiết được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số động cơ Honda GX200

Thông số kỹ thuật	Giá trị
Đường kính xi lanh	68mm
Hành trình piston	54mm
Tỉ số nén	8,5
Nhiên liệu	Xăng
Công suất tại tốc độ 3600 v/phút	4,8kW

Trong mô phỏng này, động cơ chạy bằng syngas nhận được từ khí hóa trực tiếp biomass và từ khí hóa biomass đã chế biến thành RDF. Bảng 2 giới thiệu thành phần syngas từ khí hóa trực tiếp 5 loại nguyên liệu khác nhau: gỗ, chất thải rắn sinh hoạt, bã mía, sinh khối nói chung, vỏ trấu nhận được từ các tài liệu tham khảo [22-26]. Bảng

3 giới thiệu thành phần syngas nhận được từ khí hóa RDF bã mía, sọ dừa, vỏ đậu, vỏ trấu và rơm nhận được từ tính toán mô phỏng.

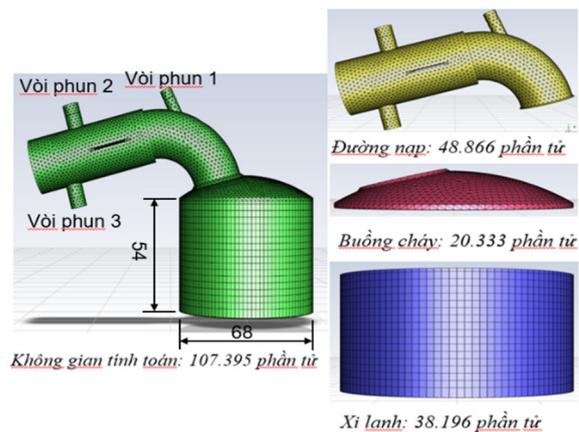
Bảng 2. Thành phần trung bình (%) của syngas khí hóa từ các nguyên liệu khác nhau

	H ₂ (%V)	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂
Vỏ trấu	13,6	14,9	12,9	2,3	46,1
Bã mía	16,43	22,61	10,5	0,67	43,34
Rác	8-23	22-24	6-15	0-3	Còn lại
Biomass	5-16	10-22	8-20	1-6	Còn lại
Gỗ	16-20	17-22	10-15	2-3	Còn lại

Bảng 3. Thành phần syngas khí hóa RDF biomass (%) theo tính toán mô phỏng

	H ₂ (%V)	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂
Bã mía	15	18	16	7	44
Sọ dừa	21	31	5	0,2	42,8
Vỏ đậu	16	26	9	4	45
Vỏ trấu	20	25	15	3	37
Rơm	18	24	11	4	43

Hình 5 giới thiệu không gian tính toán động cơ nghiên cứu. Đường nạp của động cơ được cải tạo để cung cấp syngas hoặc syngas-hydrogen qua các vòi phun khác nhau. Lưới động được áp dụng trong xi lanh động cơ do thể tích của nó thay đổi. Mô hình rối k-ε và mô hình cháy Partially Premixed Combustion được sử dụng trong tính toán mô phỏng. Việc thiết lập mô hình tính toán mô phỏng quá trình cháy của động cơ đánh lửa cưỡng bức đã được trình bày trong các công trình [17-21].



Hình 5. Chia lưới không gian tính toán động cơ syngas

3. KẾT QUẢ VÀ BÌNH LUẬN

3.1. Kết quả mô phỏng hệ thống SWB-H

Bảng 4 trình bày kết quả lựa chọn phương án các cấu phần của hệ thống SWB-H cho bởi HOMER để đảm bảo cung cấp điện cho phụ tải 9kWh/ngày, công suất cực đại

3,22kW và sản xuất khoảng 2,5kg hydrogen mỗi ngày. Công suất máy phát điện syngas (Gen-Syn) được lựa chọn để đảm bảo tối ưu hệ thống. Kết quả cho thấy trong điều kiện về phụ tải vừa nêu và thời tiết tại Vinh, cấu hình thiết bị tối ưu như sau:

- Pin mặt trời: công suất 15kWp;
- Turbine gió: công suất 12kW;
- Máy phát điện syngas: công suất 3,8kW;
- Bình điện phân: công suất 15kW;
- Converter: công suất 4kW.

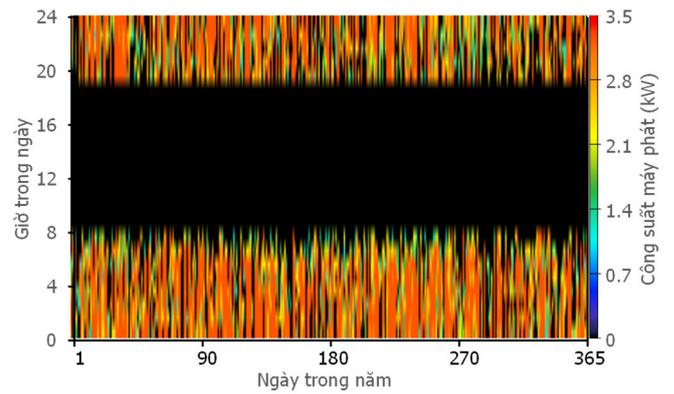
Với thông số các cấu phần của hệ thống SWB-H này thì sản lượng điện và hydrogen nhận được hằng năm theo các phương án phối hợp điện gió, điện mặt trời và điện biomass cho ở bảng 5. Kết quả này được tính toán ứng với trường hợp máy phát điện syngas chỉ hoạt động ban đêm từ 19:00 ngày hôm trước đến 7:00 sáng hôm sau (hình 6a). Năng lượng điện sinh ra một phần để cấp cho phụ tải, phần còn lại cấp cho bình điện phân để sản xuất hydrogen. Nếu chỉ có máy phát syngas hoạt động thì sản lượng hydrogen nhận được hằng năm là 351 kg (phương án 4). Nếu kết hợp với điện mặt trời, điện gió thì sản lượng hydrogen thu được hằng năm lần lượt là 688kg (phương án 2), 621kg (phương án 3). Nếu kết hợp điện gió và điện mặt trời thì sản lượng hydrogen thu được là 737kg/năm (phương án 5). Đối với hệ thống SWB-H kết hợp cả điện gió, điện mặt trời và điện biomass thì sản lượng hydrogen thu được là 977kg/năm (phương án 1). Biến thiên sản lượng hydrogen theo giờ trong ngày và theo ngày trong năm được trình bày trên hình 6b.

Bảng 4. Các phương án cấu phần hệ thống SWB-H mô phỏng theo HOMER

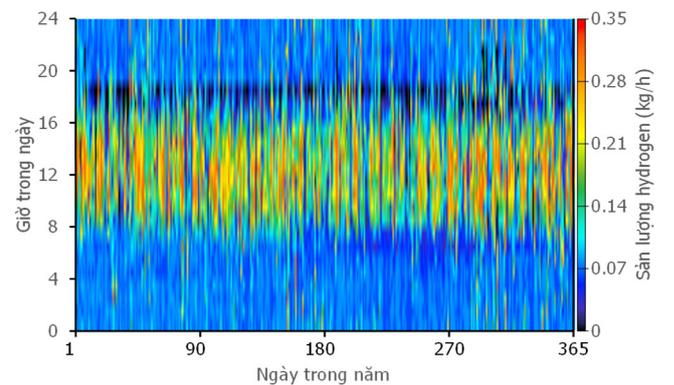
Architecture	Architecture						
	PV (kW)	WT1.5	Gen-Syn (kW)	Electrolyzer (kW)	HTank (kg)	Converter (kW)	
PA1	15.0	8	3.80	15.0	3.00	4.00	
PA2	15.0		3.80	15.0	3.00	4.00	
PA3		8	3.80	15.0	3.00	4.00	
PA4			3.80	15.0	3.00	4.00	
PA5	15.0	8		15.0	3.00	4.00	

Bảng 5. Sản lượng điện và hydrogen do hệ thống SWB-H sinh ra hàng năm

PA	Cấu phần	Điện (kWh/năm)	Hydrogen (kg/năm)	Điện bán (kWh/năm)	Điện mua (kWh/năm)	Điện dư (kWh/năm)
PA1	SWB	49.366	977	423	32	142
PA2	SB	35.375	688	0	224	0
PA3	WB	32.312	621	39	245	0
PA4	B	19.649	351	0	1618	0
PA5	SW	38.203	737	390	362	141



a)



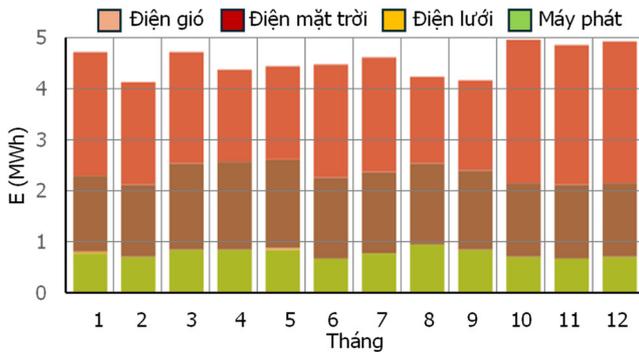
b)

Hình 6. Biến thiên công suất máy phát điện syngas (a) và biến thiên sản lượng hydrogen thu được (b) theo giờ trong ngày và theo ngày trong năm

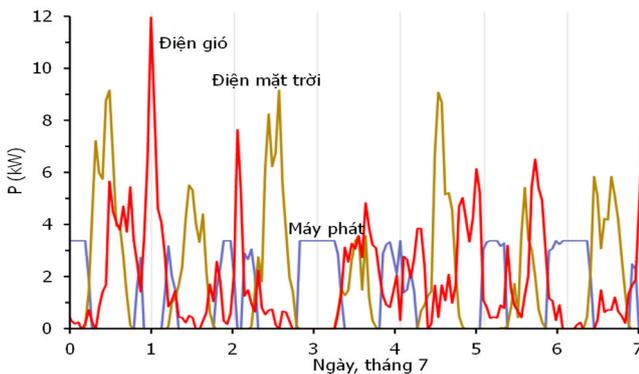
Trên phương diện phát thải ô nhiễm, nếu dùng điện lưới để cung cấp cho phụ tải, không sản xuất hydrogen thì HOMER cho kết quả mức độ phát thải CO₂ hằng năm là 2076kg. Khi hệ thống SWB-H có sản xuất hydrogen thì ngoài giảm được lượng phát thải CO₂ này còn giúp giảm một lượng phát thải CO₂ do thay thế nhiên liệu hóa thạch bằng hydrogen. Về mặt năng lượng, 1kg hydrogen tương đương với 3kg xăng. Khi sử dụng xăng trên động cơ thì mức độ phát thải CO₂ trung bình 2kg/lít. Vì vậy, khi dùng 1 kg hydrogen để thay thế cho xăng thì cắt giảm được 8kg CO₂ vào khí quyển. Nếu theo phương án 1 của hệ thống SWB-H (sản lượng hydrogen 977kg/năm) thì mức độ cắt giảm phát thải CO₂ hằng năm là 9892kg. Lượng hydrogen do hệ thống này sản xuất mỗi ngày tương đương 1 lít xăng, có thể cung cấp nhiên liệu cho 10 xe gắn máy hoạt động bình thường trong 1 ngày. Hiệu quả kinh tế của hệ thống năng lượng tái tạo hybrid đã được phân tích trong công trình của Nguyễn Hữu Hiếu và cộng sự [27].

Hình 7 giới thiệu biến thiên cấu phần năng lượng do hệ thống SWB-H sinh ra theo các tháng trong năm. Trong hệ thống này công suất của máy phát điện syngas được điều chỉnh theo yêu cầu của phụ tải nên sản lượng điện

sinh ra thay đổi nhẹ theo các tháng trong năm. Hình 8 giới thiệu biến thiên công suất điện gió, điện mặt trời và điện máy phát syngas trong hệ thống SWB-H trong tuần đầu tháng 7. Do máy phát điện chỉ hoạt động ban đêm nên khi có điện mặt trời, công suất máy phát điện bằng 0. Ban đêm những lúc điện gió giảm thì công suất máy phát điện tăng nhưng không vượt quá 3,8kW.



Hình 7. Biến thiên cấu phần năng lượng của hệ thống SWB-H theo các tháng trong năm



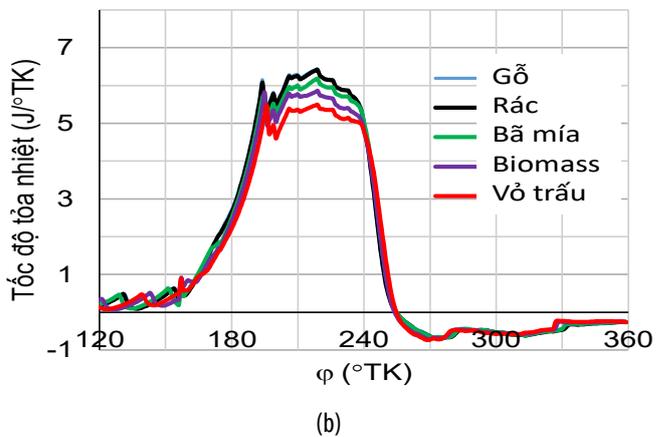
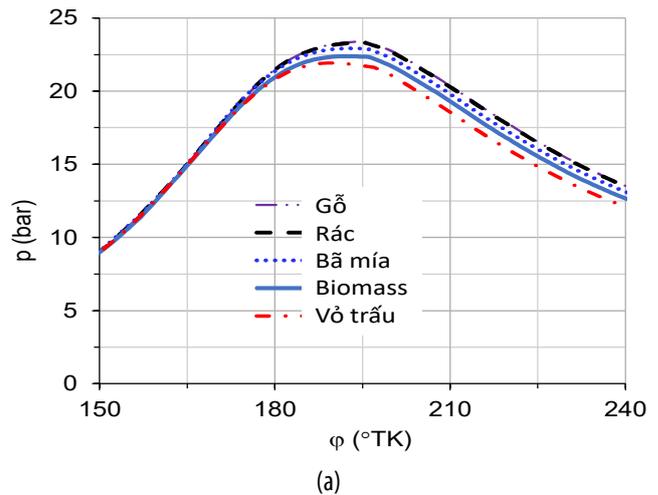
Hình 8. Biến thiên công suất điện gió, điện mặt trời và điện máy phát syngas trong hệ thống SWB-H trong tuần đầu tháng 7

Kết quả nghiên cứu mô phỏng hệ thống SWB-H cho thấy động cơ syngas đóng vai trò quan trọng trong ổn định công suất hệ thống. Động cơ chạy bằng syngas thu được từ khí hóa nhiều loại biomass khác nhau nên công suất cực đại của động cơ thay đổi. Do đó, việc nghiên cứu tính năng của động cơ khi sử dụng syngas từ các nguồn khác nhau là cần thiết.

3.2. Tính năng động cơ khi chạy bằng syngas khí hóa trực tiếp từ các loại biomass khác nhau

Hình 9a giới thiệu diễn biến áp suất trong xi lanh động cơ khi sử dụng syngas nhận được từ khí hóa trực tiếp các nguyên liệu khác nhau. Mô phỏng được thực hiện tại số vòng quay 3000 vòng/phút, góc đánh lửa sớm $\varphi_s = 23^\circ\text{TK}$ và hệ số tương đương của hỗn hợp $\phi = 1$. Kết quả cho thấy khi sử dụng syngas từ khí hóa gỗ và rác thải nói chung ta nhận được đường cong biến thiên áp suất xấp

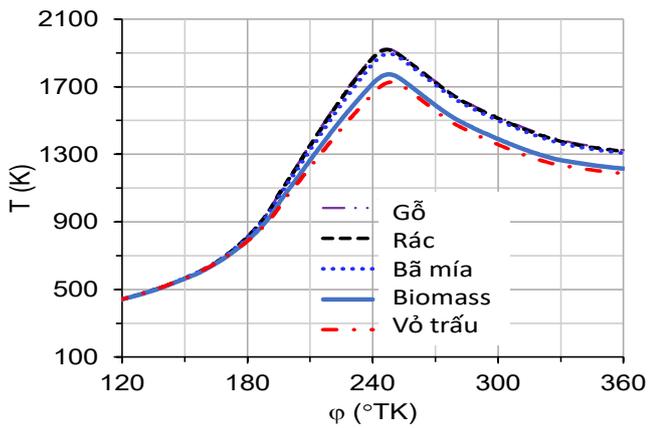
xi như nhau. Đường cong áp suất của syngas từ khí hóa hai nguyên liệu đầu vào này cao hơn đường cong áp suất ứng với syngas của những chất còn lại. Tốc độ tỏa nhiệt của hai nhiên liệu này cũng cao hơn các loại nhiên liệu còn lại (hình 9b). Điều này là do gỗ có mật độ vật chất cao hơn, khí hóa ổn định hơn, còn rác thải có chứa những chất như ni lông, carton, giấy... có nhiệt trị cao hơn những biomass khác. Vỏ trấu có mật độ vật chất thấp, rời rạc nên syngas nhận được có năng lượng thấp dẫn đến đường cong áp suất cũng như nhiệt độ cháy thấp (hình 9a).



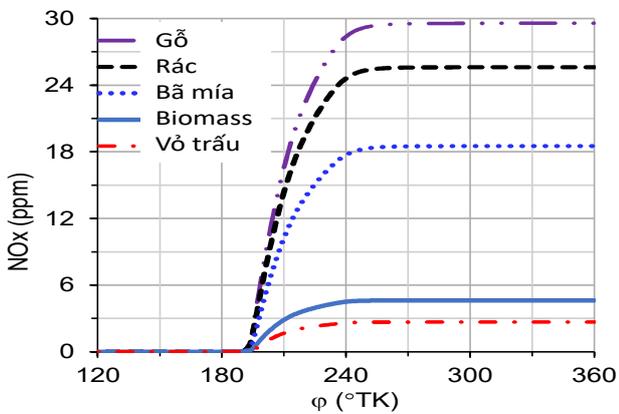
Hình 9. Đồ thị biến thiên áp suất (a) và tốc độ tỏa nhiệt (b) của syngas từ khí hóa biomass khác nhau theo góc quay trục khuỷu ($n = 3000\text{v/ph}$, $\phi = 1$, $\varphi_s = 23^\circ\text{TK}$)

Nồng độ NO_x trong khí thải động cơ chạy bằng syngas rất thấp, gần như không đáng kể do nhiệt độ cháy của nhiên liệu thấp. Tuy giá trị tương đối của nồng độ NO_x của syngas từ khí hóa gỗ có cao hơn giá trị tương ứng của những chất khác nhưng giá trị tuyệt đối chỉ đạt 30ppm so với hàng nghìn ppm NO_x trong khí thải của động cơ chạy bằng nhiên liệu truyền thống (hình 10b). Nhiên liệu syngas có chứa CH_4 , CO , H_2 và tỉ lệ thể tích không khí/thể tích nhiên liệu của CH_4 gấp 4 lần giá trị này đối với CO và

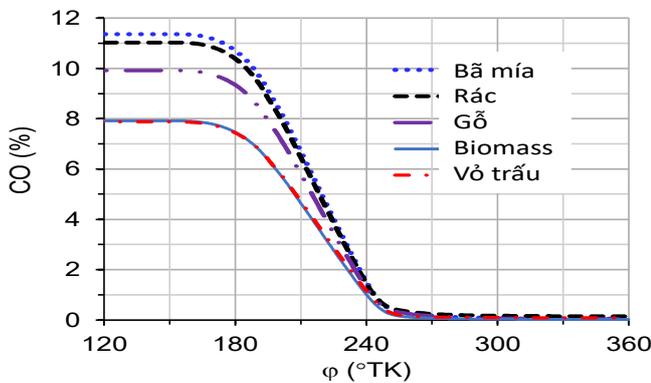
H₂. Do đó nồng độ HC (tổng nồng độ CH₄, CO và H₂) trong hỗn hợp khí cháy có $\phi = 1$ phụ thuộc vào thành phần syngas. Nếu syngas chứa nồng độ cao CH₄ thì nồng độ HC ban đầu thấp còn nếu syngas chứa nồng độ cao H₂, CO thì nồng độ HC ban đầu cao. Hình 10c cho thấy nồng độ HC của bã mía là cao nhất, còn nồng độ HC trong trường hợp biomass nói chung là nhỏ nhất. Hình 10d cho thấy nồng độ CO giảm tương tự như nồng độ HC, nghĩa là tốc độ phát sinh CO trong quá trình cháy không đáng kể so với tốc độ cháy CO (do CO là nhiên liệu, đồng thời cũng là sản phẩm cháy).



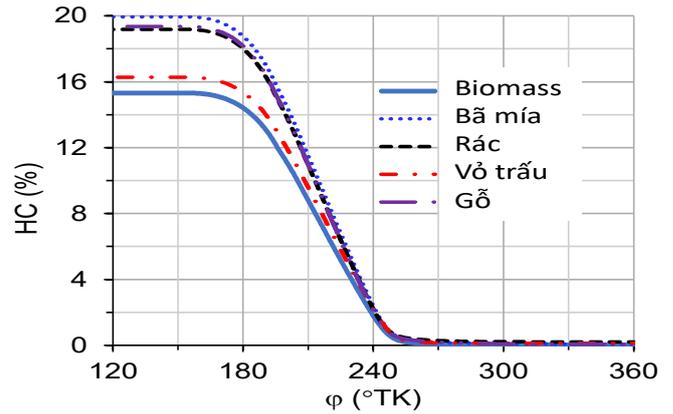
(a)



(b)

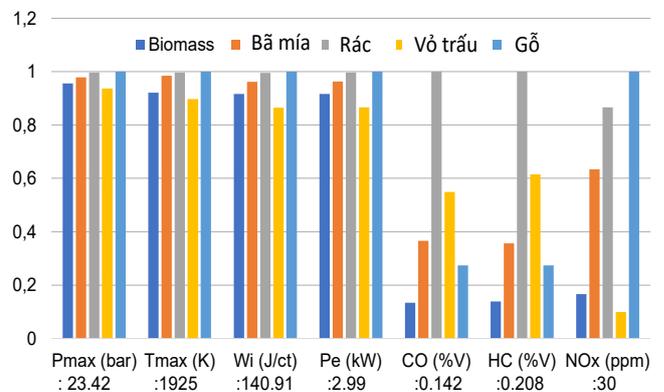


(c)



(d)

Hình 10. So sánh biến thiên nhiệt độ (a) và nồng độ các chất ô nhiễm (b, c, d) theo góc quay trục khuỷu khi động cơ chạy bằng syngas khí hóa trực tiếp từ các loại biomass khác nhau ($n = 3000\text{v/ph}$, $\phi = 1$, $\phi_s = 23^\circ\text{TK}$)

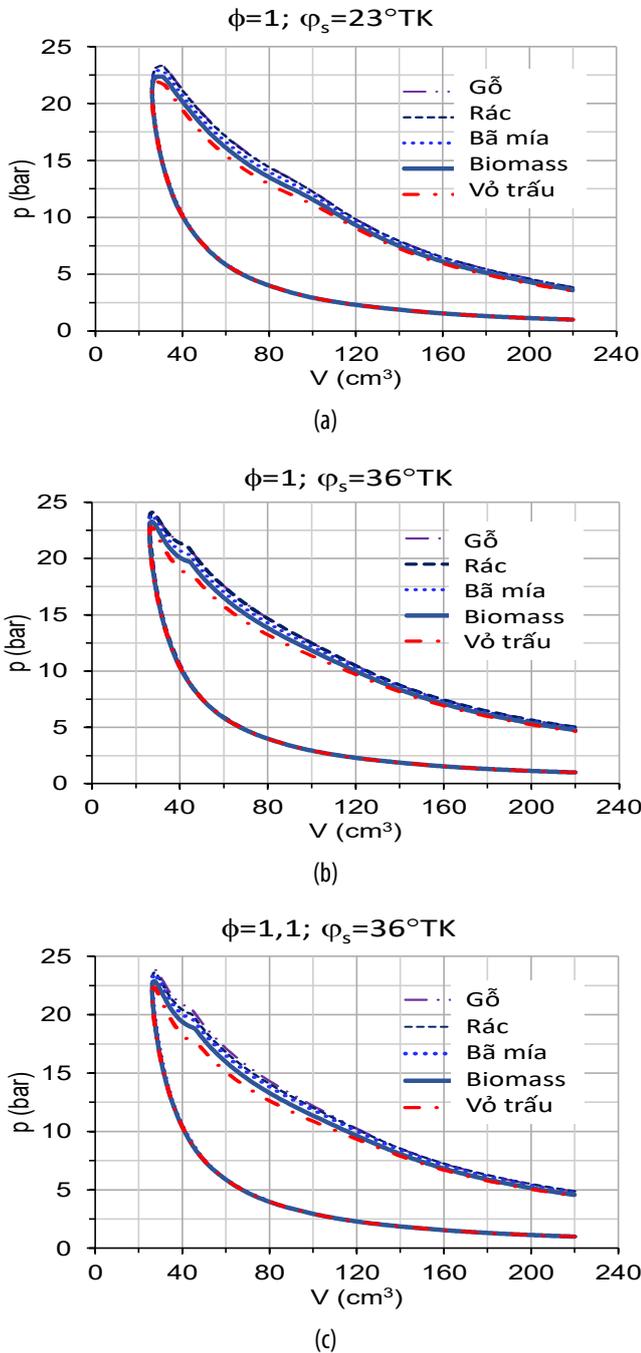


Hình 11. Đồ thị diễn biến các thông số đặc trưng quá trình cháy khi động cơ sử dụng syngas được khí hóa trực tiếp từ các loại biomass khác nhau ($n = 3000\text{v/ph}$, $\phi = 1$, $\phi_s = 23^\circ\text{TK}$)

Hình 11 trình bày tổng quan các đặc trưng quá trình cháy nhiên liệu syngas nhận được từ khí hóa trực tiếp các loại sinh khối khác nhau. Trong điều kiện hệ số tương đương $\phi = 1$, nồng độ phát thải ô nhiễm CO, HC, NO_x rất thấp, có thể bỏ qua so với các nhiên liệu hóa thạch. Đây là ưu điểm nổi bật khi sử dụng syngas làm nhiên liệu cho động cơ đốt trong. Trong cùng điều kiện vận hành, công suất chu trình $W_i = 140,91\text{J/ct}$ đối với syngas khí hóa từ gỗ và giảm dần theo thứ tự đối với syngas từ chất thải sinh hoạt, bã mía, biomass nói chung và vỏ trấu. Công suất động cơ chạy bằng syngas khí hóa từ vỏ trấu giảm 14% so với công suất động cơ sử dụng syngas từ khí hóa gỗ. So với công suất động cơ khi chạy bằng xăng là $4,8\text{kW}/3600\text{v/ph}$ (tương đương $4\text{kW}/3000\text{v/ph}$) thì công suất động cơ giảm 25% khi chạy bằng syngas gỗ và giảm 36% với syngas vỏ trấu.

Kết quả mô phỏng ở hình 11 cho thấy công suất động cơ GX200 đạt lớn nhất 2,99kW ứng với biomass chất thải

rắn và biomass gỗ. Do đó để có đáp ứng được yêu cầu khi sử dụng trong hệ thống SWB-H có cấu hình như hình 2, chúng ta phải chọn công suất động cơ xăng lớn hơn để cải tạo hoặc tăng thành phần hydrogen trong hỗn hợp nhiên liệu.

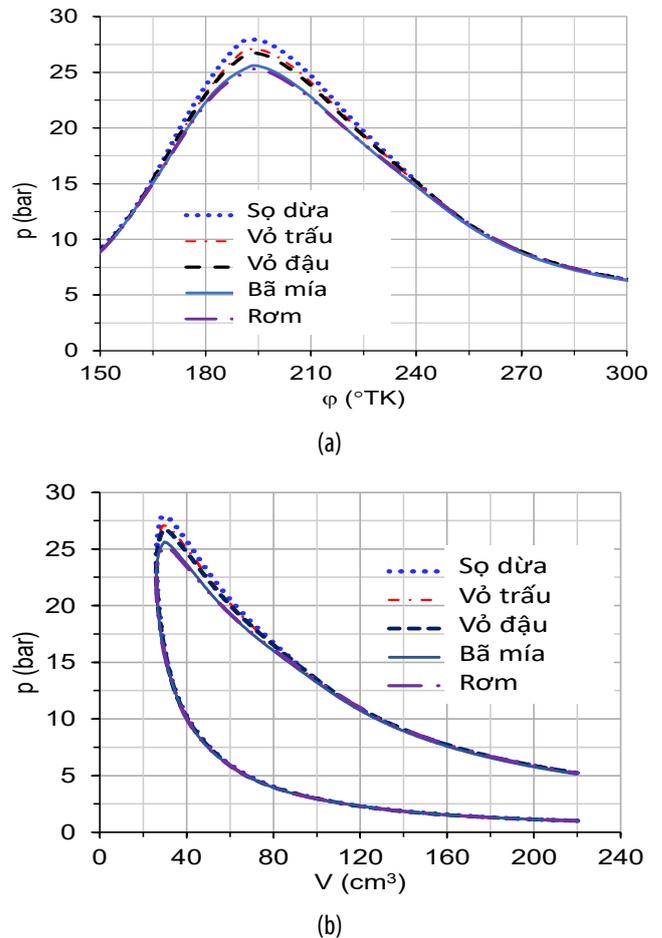


Hình 12. Ảnh hưởng của nguyên liệu đầu vào khác nhau đến đồ thị công khi thay đổi góc đánh lửa sớm và thay đổi hệ số tương đương

Góc đánh lửa sớm tăng từ 23°TK lên 36°TK thì áp suất cực đại trong xi lanh tăng, dẫn đến công chỉ thị chu trình tăng 8% tương ứng với tất cả các syngas khi cùng hệ số tương đương ϕ và điều kiện nhiên liệu (hình 12a và 12b).

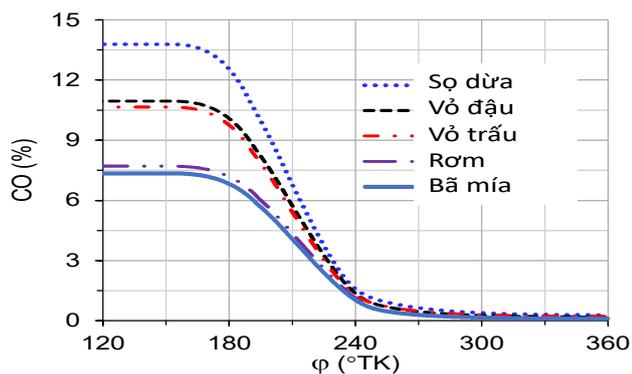
Cùng góc đánh lửa sớm nhưng tăng hệ số tương đương ϕ từ 1 lên 1,1 thì áp suất cực đại hầu như thay đổi rất nhỏ (hình 12b và 12c). Kết quả này cho thấy góc đánh lửa sớm tối ưu của động cơ khi chạy bằng syngas lớn hơn so với khi chạy bằng các loại nhiên liệu thông thường.

3.3. Tính năng động cơ khi chạy bằng syngas khí hóa RDF từ các loại biomass khác nhau

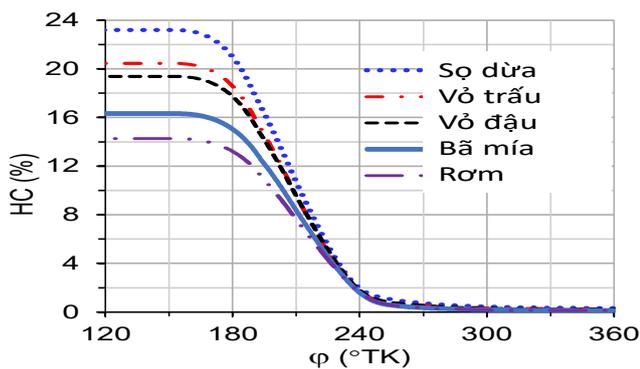


Hình 13. Biến thiên áp suất theo góc quay trục khuỷu (a) và đồ thị công (b) khi động cơ chạy ở tốc độ 3000v/ph, $\phi = 1$, $\phi_s = 25^\circ\text{TK}$ với syngas từ khí hóa RDF các nguyên liệu khác nhau

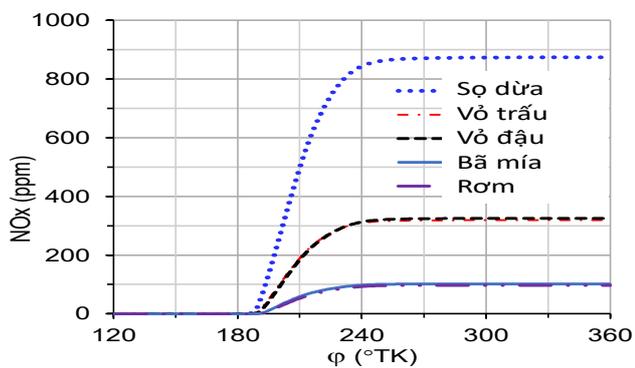
Hình 13a và 13b so sánh biến thiên áp suất theo góc quay trục khuỷu và đồ thị công khi động cơ chạy bằng syngas thu được từ khí hóa RDF của các nguyên liệu đầu vào khác nhau. Kết quả cho thấy sọ dừa có áp suất cực đại và đồ thị công lớn nhất trong các loại nhiên liệu khảo sát. Điều này là do syngas nhận được từ khí hóa RDF sọ dừa có hàm lượng CO và H_2 cao hơn các loại nhiên liệu khác giúp cải thiện nhiệt trị nhiên liệu. Syngas từ RDF vỏ trấu và vỏ đậu cho hiệu quả qua trình cháy tương đương nhau. Syngas từ khí hóa RDF rơm và bã mía tương đương nhau về áp suất cực đại và đồ thị công. Các syngas này có chất lượng thấp hơn các loại nhiên liệu còn lại.



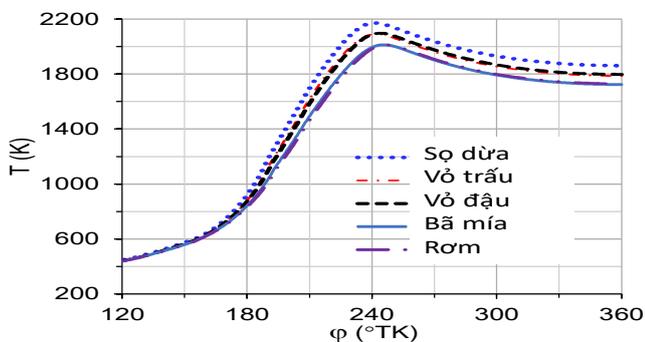
(a)



(b)



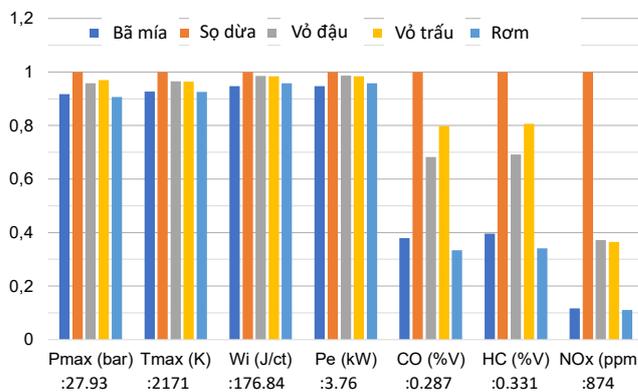
(c)



(d)

Hình 14. Biến thiên CO (a), HC (b), NO_x(c) và T (d) theo góc quay trục khuỷu với syngas từ khí hóa RDF các nguyên liệu khác nhau (3000v/ph, $\phi = 1$, $\varphi_s = 25^\circ\text{TK}$)

Hình 14a, b, c, d so sánh biến thiên các chất ô nhiễm và nhiệt độ cháy theo góc quay trục khuỷu khi động cơ chạy bằng syngas thu được từ khí hóa các loại biomass khác nhau. Kết quả cho thấy khi bắt đầu quá trình cháy, nồng độ nhiên liệu giảm dần. Nồng độ CO cũng là một thành phần trong syngas nên cũng cháy như các thành phần nhiên liệu có mặt trong syngas. Trong quá trình cháy, CO sinh ra do cân bằng phản ứng khí - nước nên tốc độ giảm CO chậm hơn tốc độ giảm nhiên liệu nói chung. Hình 14c giới thiệu biến thiên của nồng độ NO_x theo góc quay trục khuỷu và cho thấy nồng độ NO_x khi sử dụng syngas từ khí hóa bã mía và rơm tương đương nhau và thấp nhất là 100 ppm. Mức độ phát thải NO_x trong động cơ chạy bằng syngas từ khí hóa RDF vỏ trấu và vỏ đậu tương đương nhau, bằng khoảng 310ppm. Syngas từ khí hóa RDF sọ dừa cho nồng độ NO_x cao nhất. Điều này là do nhiệt độ cháy của syngas từ sọ dừa cao nhất (hình 14d).

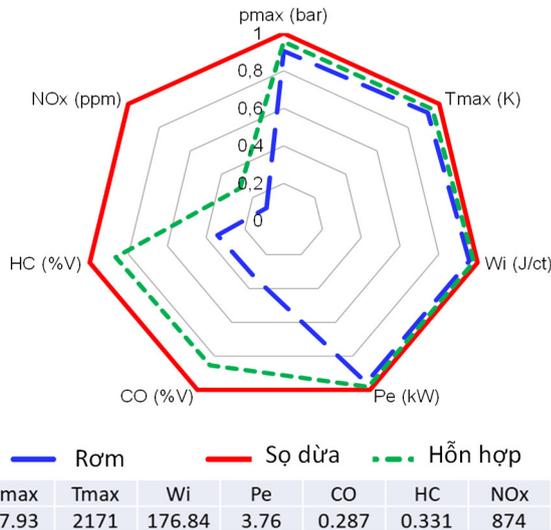


Hình 15. Ảnh hưởng khí hóa RDF từ nguyên liệu đầu vào khác nhau đến các thông số đặc trưng quá trình cháy trong động cơ sử dụng syngas ($n = 3000\text{v/ph}$, $\phi = 1$, $\varphi_s = 23^\circ\text{TK}$)

Hình 15 cho thấy công chỉ thị chu trình W_i của syngas từ RDF vỏ trấu và vỏ đậu thấp hơn công chỉ thị chu trình của RDF sọ dừa 2%. W_i của RDF rơm và của bã mía nhỏ hơn W_i sọ dừa lần lượt 5% và 6%. Phát thải CO, HC, NO_x của syngas từ khí hóa sọ dừa đạt giá trị cao nhất. Đặc biệt, phát thải NO_x của syngas từ RDF sọ dừa gấp 2,5 lần vỏ trấu, vỏ đậu và gấp 10 lần NO_x từ syngas khi khí hóa RDF bã mía hay rơm.

Hình 16 so sánh các giá trị tương đối của quá trình cháy hỗn hợp syngas và syngas thành phần. Syngas từ khí hóa RDF sọ dừa cho giá trị cao nhất về W_i , nhiệt độ cũng như nồng độ các chất ô nhiễm. Khi sử dụng syngas từ khí hóa rơm thì W_i giảm 4%, phát thải NO_x giảm 90%, phát thải HC giảm 60% so với động cơ sử dụng syngas khí hóa RDF sọ dừa. Động cơ sử dụng hỗn hợp syngas thì W_i giảm 1%, NO_x giảm 70%, HC giảm 18% so động cơ sử dụng syngas khí hóa RDF sọ dừa. Như vậy, trong thực tế chúng

ta có thể trộn lẫn các chất thải trong sản xuất nông nghiệp để sản xuất RDF rồi khí hóa thành syngas chạy động cơ đốt trong để nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu tái tạo. Tính năng của syngas hỗn hợp này có mức giảm công suất chu trình W_i thấp, mức giảm NO_x rất lớn so với syngas từ khí hóa RDF sọ dừa.



Hình 16. Đồ thị tổng hợp các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình cháy của hỗn hợp syngas và syngas từ sọ dừa, rơm ($n = 3000v/ph$, $\phi = 1$, $\varphi_s = 23^\circ TK$)

Kết quả mô phỏng cho thấy khi khí hóa biomass đã được chế biến thành RDF thì chất lượng syngas được cải thiện làm tăng công suất động cơ so với khi nó được cung cấp bởi syngas thu được từ khí hóa biomass trực tiếp. Hình 15 cho thấy khi động cơ GX200 chạy bằng syngas nhận được từ khí hóa RDF sọ dừa, vỏ đậu và trấu có công suất xấp xỉ 3,8kW, đáp ứng yêu cầu làm việc trong hệ thống SWB-H cung cấp 9kWh/ngày cho phụ tải và sản xuất 977kg hydrogen mỗi năm. Sản lượng hydrogen này đủ để cung cấp cho 10 xe gắn máy hoạt động bình thường ở Việt Nam, góp phần làm giảm 9892kg CO_2 vào bầu khí quyển.

Kết quả của công trình này mở ra một hướng nghiên cứu mới về hệ thống năng lượng tái tạo đa nguồn phát (multi generation energy system), vừa sản xuất điện năng, vừa sản xuất hydrogen, góp phần thực hiện chiến lược chuyển đổi năng lượng ở nước ta.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu bài báo cho phép chúng ta rút ra những kết luận sau đây:

- Hệ thống SWB-H gồm 15kWp pin mặt trời, 12kW turbine gió, 3,8kW máy phát điện syngas có thể cung cấp 9kWh/ngày cho phụ tải và sản xuất 977kg hydrogen/năm, góp phần làm giảm phát thải 9892kg CO_2 vào bầu khí quyển mỗi năm.

- Công suất của động cơ syngas trong hệ thống SWB-H thay đổi theo loại biomass được cấp vào lò khí hóa. Công suất động cơ GX200 chạy bằng syngas gỗ khí hóa trực tiếp có công suất giảm 25% so với khi động cơ chạy bằng xăng, và giảm 36% khi chạy bằng syngas từ vỏ trấu.

- Syngas thu được từ khí hóa RDF biomass có chất lượng tốt hơn syngas thu được từ khí hóa trực tiếp biomass. Công suất chu trình của động cơ khi chạy bằng syngas nhận được từ khí hóa trực tiếp biomass nhỏ hơn khi chạy bằng syngas khí hóa qua RDF khoảng 18%.

- Động cơ GX200 chạy bằng syngas nhận được từ khí hóa RDF sọ dừa, vỏ đậu và trấu có công suất xấp xỉ 3,8kW, đáp ứng yêu cầu làm việc trong hệ thống SWB-H cung cấp 9kWh/ngày cho phụ tải và sản xuất 977kg hydrogen mỗi năm. Khi hệ thống này khí hóa biomass trực tiếp thì phải chọn công suất động cơ xăng trước khi cải tạo lớn hơn hoặc làm giàu syngas bằng hydrogen.

- Trong tất cả các trường hợp nhiên liệu syngas, phát thải NO_x đều rất bé so với các loại nhiên liệu truyền thống. Nồng độ CO, HC chỉ có giá trị đáng kể khi sử dụng hỗn hợp cháy có hệ số tương đương $\phi > 1$.

LỜI CẢM ƠN

Công trình này được thực hiện nhờ tài trợ của Bộ Giáo dục và Đào tạo thông qua đề tài "Bộ điều khiển thông minh cho động cơ sử dụng nhiên liệu khí linh hoạt trong hệ thống năng lượng tái tạo lai" - mã số: B2024.DNA.12

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Na Li, Yunlin Zhang, Yibo Zhang, Kun Shi, et al., "The unprecedented 2022 extreme summer heatwaves increased harmful cyanobacteria blooms," *Science of The Total Environment*, 896, 165312, 2023. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165312.
- [2]. Roberto Serrano-Notivoli, Ernesto Tejedor, Pablo Sarricolea, Oliver Meseguer-Ruiz, et al., "Unprecedented warmth: A look at Spain's exceptional summer of 2022," *Atmospheric Research*, 293, 106931, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106931>.
- [3]. *July 2023 confirmed as hottest month on record*. World Meteorological Organization, 2023.
- [4]. *For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action*. United Nations, 2022.
- [5]. M. I. Taipabu, K. Viswanathan, W. Wu, N. Hattu, A. E. Atabani, "A critical review of the hydrogen production from biomass-based feedstocks: Challenge, solution, and future prospect," *Process Saf. Environ. Prot.*, 164, 384-407, 2022.

- [6]. Sridhar G, Sridhar HV, Dasappa S, Paul PJ, Rajan NKS, Mukunda HS, "Development of producer gas engines," *Proc Inst Mech Eng Part D: J Automobile Eng*, 219 (3), 423-38, 2005.
- [7]. M. Fiore, V. Magi, A. Viggiano, "Internal combustion engines powered by syngas: A review," *Applied Energy*, 276, 115415-115441, 2020.
- [8]. E.V. Jithin, G.K.S. Raghuram, T.V. Keshavamurthy, R.K. Velamati, C. Prathap, R.J. Varghese, "Review on fundamental combustion characteristics of syngas mixtures and feasibility in combustion devices," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 2021.
- [9]. A. Paykani, H. Chehrmonavari, A. Tsolakis, T. Alger, W.F. Northrop, R.D. Reitz, "Synthesis gas as a fuel for internal combustion engines in transportation," *Progress in Energy and Combustion Science*, 90, 2022.
- [10]. 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 (10), 2924-2938, 2008.
- [11]. Christensen M., Hultqvist A., Johansson B., "Demonstrating the Multi Fuel Capability of a Homogeneous Charge Compression Ignition Engine with Variable Compression Ratio," *SAE transactions*, 2099-2113, 1999.
- [12]. Wood BD, *Applications of thermo-dynamics*. Addison-Wesley Publisher, 1982.
- [13]. Ftwi Yohannes Hagos, A. Rashid A. Aziz, Shaharin A. Sulaiman, "Syngas (H₂/CO) in a sparkignition direct-injection engine. Part 1: Combustion, performance and emissions comparison with CNG," *International Journal of Hydrogen Energy*, 39, 17884-17895, 2014.
- [14]. Ho Lung Yip, Aleš Srna, Anthony Chun Yin Yuen, Sanghoon Kook, Robert A. Taylor, Guan Heng Yeoh, Paul R. Medwell, Qing Nian Chan, "A Review of Hydrogen Direct Injection for Internal Combustion Engines: Towards Carbon-Free Combustion," *Applied Sciences*, 9, 4842, 2019.
- [15]. V. G. Bui, T. M. T. Bui, V. N. Tran, Z. Huang, A. T. Hoang, W. Tarelko, V. H. Bui, X. M. Pham, P. Q. P. Nguyen, "Flexible syngas-biogas-hydrogen fueling spark-ignition engine behaviors with optimized fuel compositions and control parameters," *Int. J. Hydrogen Energy*, 2022. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.09.133>
- [16]. Kuchta JM, *Investigation of fire and explosion accidents in the chemical, mining, and fuel-related industries-a manual*. Bulletin. Technical report, Bureau of Mines, Washington, DC (USA), 1986.
- [17]. Bùi Văn Ga, Bùi Thị Minh Tú, Lê Minh Tiến, Bùi Văn Hùng, Nguyễn Lê Châu Thành, "Điều chỉnh góc đánh lửa sớm động cơ chạy bằng hỗn hợp biogas-syngas-hydrogen trong hệ thống năng lượng tái tạo hybrid," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 20, 3, 1-6, 2022.
- [18]. Bùi Văn Ga, Cao Xuân Tuấn, Phạm Quốc Thái, Lê Minh Tiến, Nguyễn Văn Đông, "Ảnh hưởng của thành phần hydrogen làm giàu biogas đến công chu trình và phát thải NO_x của động cơ đánh lửa cưỡng bức," *Tuyển tập Công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 21*, Quy Nhơn, 175-184, 2018.
- [19]. Bùi Văn Ga, Nguyễn Văn Đông, Bùi Văn Tấn, Nguyễn Quang Trung, "Ảnh hưởng của thành phần H₂ làm giàu biogas đến tính năng công tác và mức độ phát thải ô nhiễm của động cơ dual fuel biogas-diesel," *Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học Thủy khí Toàn quốc lần thứ 20*, Cần Thơ, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp. HCM, 238-245, 2018.
- [20]. V. G. Bui, T. M. T. Bui, V. G. Nguyen, V. N. Tran, L. B. T. Truong, L. H. P. Pham, "Concept of twining injector system for spark-ignition engine fueled with syngas-biogas-hydrogen operating in solar-biomass hybrid energy system," *Int. J. Hydrogen Energy*, 2022. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.076>
- [21]. V. G. Bui, T. H. Vo, T. M. T. Bui, L. B. T. Truong, T. X. N. Thi, "Characteristics of biogas-hydrogen engines in a hybrid renewable energy system," *Int. Energy J.*, 21, 4, 467-480, 2021.
- [22]. S. J. Yoon, Y. Il Son, Y. K. Kim, J. G. Lee, "Gasification and power generation characteristics of rice husk and rice husk pellet using a downdraft fixed-bed gasifier," *Renew. Energy*, 42, 163-167, 2012.
- [23]. N. P. Pérez, E. B. Machin, D. T. Pedroso, J. S. Antunes, J. L. Silveira, "Fluid-dynamic assessment of sugarcane bagasse to use as feedstock in bubbling fluidized bed gasifiers," *Appl. Therm. Eng.*, 73, 1, 236-242, 2014.
- [24]. Niu M, Huang Y, Jin B, Wang X, "Simulation of syngas production from municipal solid waste gasification in a bubbling fluidized bed using aspen plus," *Ind Eng Chem Res*, 52:14768-75, 2013. <https://doi.org/10.1021/ie400026b>
- [25]. Couto N, Rouboa A, Silva V, Monteiro E, Bouziane K, "Influence of the biomass gasification processes on the final composition of syngas," *Energy Procedia*, 36:596-606, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.068>.
- [26]. Solar Energy Research Institute (SERI), *Generator Gas-The Swedish Experience from 1939-1945*. SERI, Golden, Colorado, 1979, Chap. 2.
- [27]. Nguyễn Hữu Hiếu, Phạm Văn Quang, Bùi Văn Ga, "Tối ưu hóa mô-đun sản xuất điện tái tạo hòa lưới kết hợp mặt trời-gió-sinh khối ở Đảo Cù Lao Chàm," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 22, 11A, 25-31, 2024.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Huu Hieu¹, Bui Van Ga¹, Le Khac Binh²

¹University of Science and Technology - The University of Danang, Vietnam

²Vinh University of Technology Education, Vietnam