

DOI:10.22144/ctujos.2024.296

NGHIÊN CỨU SẢN XUẤT SYNGAS TỪ RDF VÀ MÔ PHỎNG ĐẶC TÍNH HÒA TRỘN NHIÊN LIỆU CỦA ĐỘNG CƠ DUAL FUEL SỬ DỤNG HỖN HỢP KHÍ LINH HOẠT

Phùng Minh Tùng^{1*}, Bùi Văn Hùng¹ và Võ Anh Vũ²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật-Đại học Đà Nẵng

²Trường Đại học Bách khoa-Đại học Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): pmtung@ute.udn.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 24/10/2023

Sửa bài (Revised): 26/11/2023

Duyệt đăng (Accepted): 04/06/2024

Title: Research of syngas production from RDF and simulation of fuel mixing characteristics of dual fuel engine using a flexible gas mixture

Author(s): Phùng Minh Tung*, Bui Van Hung and Vo Anh Vu

Affiliation(s): The University of Da Nang

TÓM TẮT

Việc sử dụng hiệu quả năng lượng tái tạo góp phần thúc đẩy thực hiện lộ trình Net Zero. Hệ thống năng lượng tái tạo hybrid solar-biomass khắc phục được nhược điểm của năng lượng tái tạo. Trong đó, động cơ đốt trong chạy bằng hỗn hợp các khí syngas, biogas và hydrogen cần được nghiên cứu phát triển. Chế biến chất thải rắn thành RDF (Refuse-Derived Fuel) rồi khí hóa chúng thành syngas cho phép lưu trữ biomass để sử dụng theo kế hoạch, góp phần ổn định công suất hệ thống năng lượng tái tạo. Nghiên cứu mô phỏng và thực nghiệm cho thấy hệ số không khí trong khoảng từ 0,3 đến 0,4 để đảm bảo khí hóa đạt hiệu suất cao nhất. Vì tỉ lệ không khí/nhiên liệu của syngas thấp nên động cơ sử dụng hỗn hợp khí cần có hệ thống điều khiển quá trình cung cấp linh hoạt. Nhiệt trị syngas thấp khiến công suất động cơ giảm đến 40% so với khi chạy bằng nhiên liệu truyền thống. Syngas được phun trực tiếp giúp cải thiện công suất động cơ syngas nói riêng và động cơ sử dụng nhiên liệu khí nghèo nói chung.

Từ khóa: Động cơ syngas, hệ thống năng lượng tái tạo hybrid, khí hóa RDF, năng lượng tái tạo, phun trực tiếp nhiên liệu khí

ABSTRACT

Efficient use of renewable energy contributes to promoting the implementation of the Net Zero roadmap. The solar-biomass hybrid renewable energy system overcomes the disadvantages of renewable energy. In particular, internal combustion engines running on a mixture of syngas, biogas and hydrogen need to be researched and developed. Processing solid waste into RDF (Refuse-Derived Fuel) and then gasifying them into syngas allows storing biomass for planned use, contributing to stabilizing the capacity of renewable energy systems. Simulation and experimental studies show that the air coefficient is between 0.3 and 0.4 to ensure the highest gasification efficiency. The air/fuel ratio of syngas is low, so engines using air mixtures need a flexible supply control system. Low syngas heating value reduces engine power by up to 40% compared to running on traditional fuel. Direct injection of Syngas helps improve the power of Syngas engines in particular and engines using lean gas fuel in general.

Keywords: Gaseous fuel direct injection, Hybrid renewable energy system, Renewable energy, RDF gasification, Syngas engine

1. GIỚI THIỆU

Tác động của hiện tượng ấm dần lên toàn cầu đã đến sớm hơn so với mốc thời gian mà các nhà khoa học dự báo. Các trung tâm theo dõi khí tượng thủy văn trên thế giới đã ghi nhận nhiệt độ của bầu khí quyển cao kỷ lục vào tháng 7 năm 2023. Nhiều hội nghị thượng đỉnh về biến đổi khí hậu đã kêu gọi các quốc gia trên toàn thế giới cắt giảm phát thải các chất khí gây hiệu ứng nhà kính ngay từ bây giờ để ngăn chặn nhiệt độ toàn cầu tăng hơn 1,5 °C so với

thời kỳ tiền công nghiệp. Theo Thỏa thuận chung Paris về biến đổi khí hậu năm 2015, lượng khí CO₂ toàn cầu phải giảm 45% vào năm 2030 và 100% vào năm 2050, so với mức năm 2010. Đến nay đã có hơn 120 quốc gia đã đề ra mục tiêu đạt cân bằng phát thải-thu hồi khí nhà kính (gọi là chiến lược Net Zero) vào năm 2050. Trọng tâm của chiến lược này là chuyển dần sang sử dụng năng lượng tái tạo (Sahar & Taraneh, 2023).



Hình 1. Biến thiên công suất hệ thống điện mặt trời 4kWp tại Đà Nẵng theo giờ trong ngày, ngày trong tháng và tháng trong năm

Trong lĩnh vực sản xuất điện năng, sản lượng điện từ các nguồn năng lượng tái tạo đã gia tăng mạnh mẽ, theo Cơ quan Năng lượng Quốc tế, các nguồn năng lượng tái tạo dự kiến sẽ chiếm 90% năng lượng sử dụng trên toàn thế giới vào năm 2050 (Paul, 2023). Việt Nam mới đây đã công bố quy hoạch điện VIII, trong đó tỉ trọng điện từ năng lượng

tái tạo sẽ chiếm trên 70% trong tổng nguồn điện quốc gia vào năm 2050. Trong lĩnh vực giao thông vận tải, ô tô sử dụng điện đang thay thế dần ô tô chạy bằng nhiên liệu hóa thạch. Một số các quốc gia đã đưa ra lộ trình chấm dứt sử dụng ô tô chạy bằng nhiên liệu hóa thạch để chuyển sang ô tô điện hay ô tô sử dụng nhiên liệu tái tạo. Việt Nam đã đặt ra lộ

trình đến năm 2040 dùng đăng ký ô tô mới chạy bằng nhiên liệu hóa thạch và đến năm 2050, tất cả ô tô phải chạy bằng điện hay năng lượng tái tạo. Khi chuyển ô tô và các phương tiện vận chuyển nói chung sang sử dụng điện thì vấn đề nguồn năng lượng để sản xuất điện mang ý nghĩa quan trọng. Việc đưa nồng độ các chất khí gây hiệu ứng nhà kính trong khí xả của ô tô, xe máy về mức thấp chỉ có ý nghĩa khi nguồn điện được sản xuất từ năng lượng tái tạo. Nếu nguồn điện vẫn còn sản xuất từ nhiên liệu hóa thạch thì vấn đề phát thải ô nhiễm và các chất khí gây hiệu ứng nhà kính chỉ chuyển từ nơi sử dụng ô tô đến nơi sản xuất điện năng.

Vấn đề cần khắc phục của các loại năng lượng tái tạo là tính không ổn định, phụ thuộc nhiều vào thời tiết, mùa vụ (Rogelj et al., 2021). Công suất của chúng thay đổi ngẫu nhiên và không liên tục. Do đó, để có thể sử dụng hệ thống năng lượng tái tạo, ta cần phải đi kèm với hệ thống lưu trữ năng lượng, làm tăng giá thành của thiết bị. Hình 1 minh họa biến thiên công suất cụm điện mặt trời 4kWp theo giờ trong ngày, ngày trong tháng và tháng trong năm.

Hệ thống năng lượng tái tạo hybrid (Hybrid Renewable Energy Systems) phối hợp sử dụng nhiều nguồn năng lượng khác nhau nên có thể hạn chế được những nhược điểm của hệ thống năng lượng tái tạo truyền thống (IEA, 2020). Nhờ vậy, HRES có thể loại trừ hay giảm nhẹ công suất của hệ thống lưu trữ năng lượng (Peker, 2019). Điều này có thể giảm chi phí năng lượng của HRES đến 30% so với hệ thống năng lượng tái tạo truyền thống (Sachs et al., 2016). Mặt khác, các cấu phần của HRES có thể được lựa chọn tối ưu để giảm giá thành thiết bị (Fuss et al., 2014). HRES là sự lựa chọn tối ưu để cung cấp điện cho những vùng xa xôi hẻo lánh, nơi chưa có điện lưới. Nước ta là một nước nông nghiệp và ở vùng nhiệt đới nên việc kết hợp năng lượng mặt trời và năng lượng biomass trong hệ thống HRES sẽ góp phần tích cực trong chiến lược chuyển đổi năng lượng, phát triển kinh tế xanh, kinh tế tuần hoàn trong bối cảnh thực hiện mục tiêu Net-Zero mà nước ta đã cam kết với cộng đồng thế giới.

Một số kết quả nghiên cứu hệ thống năng lượng tái tạo hybrid solar-biomass được thực hiện tại Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng được trình bày trong bài viết. Nghiên cứu tập trung công nghệ khí hóa RDF sinh khối và động cơ đốt trong sử dụng hỗn hợp nhiên liệu khí với các loại khí biogas-syngas-hydrogen có thành phần thay đổi (nhiên liệu khí linh hoạt).

2. THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết bị nghiên cứu

Sơ đồ ở Hình 2 biểu diễn HRES sử dụng solar-biomass. Chất thải rắn (CTR) được phân loại thành hai phần riêng biệt. Những chất dễ phân hủy thì được dùng để sản xuất biogas. Những chất khó phân hủy thì được dùng để sản xuất syngas thông qua quá trình khí hóa RDF. RDF là viên nén nhiên liệu được chế biến từ sinh khối khó phân hủy. Khi công suất của hệ thống điện mặt trời lớn hơn công suất phụ tải thì phần công suất thừa được dùng để điện phân nước sản xuất hydrogen. Biogas, syngas và hydrogen được chứa trong túi chứa nhiên liệu để cung cấp cho động cơ đốt trong. Khi công suất điện mặt trời thấp hơn công suất phụ tải hoặc khi không có bức xạ mặt trời thì động cơ đốt trong phát điện để đảm bảo nguồn điện liên tục. Như vậy, động cơ đốt trong đóng vai trò như hệ thống lưu trữ năng lượng. Do thành phần nhiên liệu thay đổi trong phạm vi rộng nên hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ đốt trong được điều chỉnh một cách linh hoạt.

Chuyển đổi sinh khối thành năng lượng thông qua khí hóa viên nén (RDF) là công nghệ hiệu quả để xử lý CTR sinh hoạt (Johari, 2014). Dưới dạng RDF, sinh khối có thể được vận chuyển, lưu trữ dễ dàng. RDF từ CTR sinh hoạt có thể là nguồn năng lượng thay thế. Nó chứa những chất có nhiệt trị cao như giấy, nhựa, vải... nên sử dụng công nghệ RDF ngày càng phát triển mạnh và thay thế các giải pháp đốt rác truyền thống (Dinesh & Romeela, 2011). Do những ưu điểm chính của RDF như giảm thể tích CTR và thu hồi nhiệt dễ dàng nên công nghệ này ngày càng được quan tâm. RDF hiện là nguồn nhiên liệu rẻ được sử dụng trong công nghiệp xi măng ở nhiều nước trên thế giới. Ở Châu Âu, có đến hơn 70% năng lượng tiêu thụ cho sản xuất xi măng sinh ra từ RDF (Hajinezhad et al., 2016).

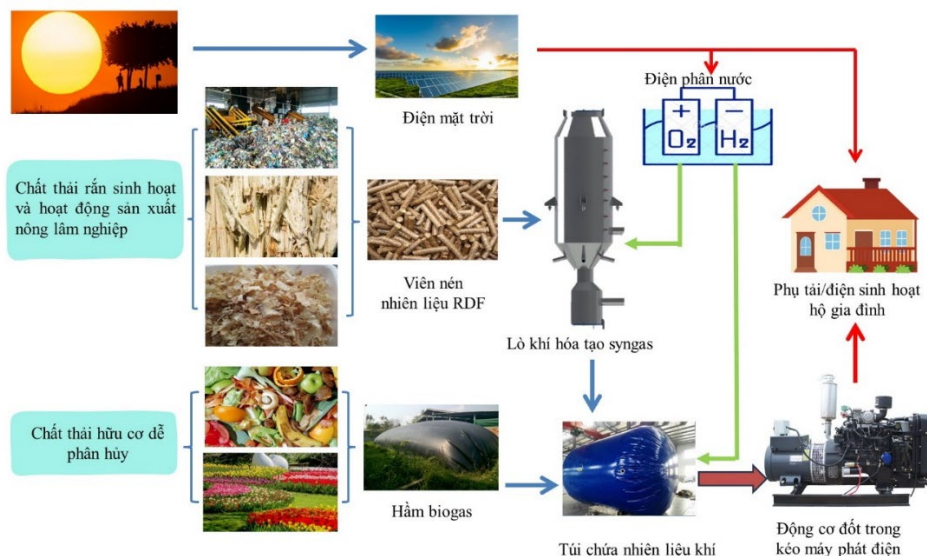
Trong sơ đồ Hình 2, HRES solar-biomass gồm phần lớn những mô-đun thiết bị năng lượng có sẵn trên thị trường. Riêng động cơ đốt trong chạy bằng nhiên liệu khí linh hoạt chưa được phổ biến nên cần có những nghiên cứu chuyên sâu. Trong dữ liệu khoa học có sẵn, phần lớn các công trình nghiên cứu về HRES tập trung phân tích tính kinh tế và xác định kích cỡ của chúng (Shaopeng et al., 2018). Để phát triển ứng dụng rộng rãi HRES thì điều quan trọng là hoàn thiện các cấu phần của chúng.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong công trình này, nghiên cứu mô phỏng và nghiên cứu thực nghiệm được kết hợp. Nghiên cứu

mô phỏng được thực hiện nhờ phần mềm Ansys Fluent. Quá trình khí hóa được giả định là quá trình cháy khuếch tán, trong đó nhiên liệu và không khí đến từ hai nguồn khác nhau. Điều kiện đầu vào của nhiên liệu gồm thành phần nhiên liệu, nhiệt độ nhiên liệu. Điều kiện đầu vào không khí gồm áp suất và nhiệt độ không khí. Hệ số không khí dư được xác định thông qua lưu lượng nhiên liệu và lưu lượng không khí cung cấp cho lò khí hóa.

Syngas ở đầu ra lò khí hóa được hòa trộn với biogas và hydrogen trước khi cung cấp cho động cơ đốt trong. Do thành phần nhiên liệu không ổn định nên hệ thống vòi phun kép được áp dụng để cung cấp nhiên liệu cho động cơ đốt trong. Nghiên cứu mô phỏng quá trình nạp và quá trình cháy của động cơ sử dụng hỗn hợp nhiên liệu syngas-biogas-hydrogen có thành phần thay đổi linh hoạt được thực hiện nhờ phần mềm Ansys Fluent.



Hình 2. Sơ đồ hệ thống năng lượng tái tạo HRES solar-biomass

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Mô phỏng quá trình khí hóa RDF sinh khối

3.1.1. Đặc tính syngas

Tùy thuộc vào nguyên liệu đầu vào và công nghệ khí hóa syngas sẽ có những đặc tính khác nhau, nhưng về cơ bản syngas là hỗn hợp khí gồm CO, H₂, CH₄, CO₂, N₂ và một lượng nhỏ các tạp chất khác như hơi nước, các loại khí trơ, ... Chúng là sản phẩm của quá trình khí hóa sinh khối. Sinh khối hay CTR thông qua quá trình khí hóa sẽ giảm được 90% về thể tích và 70% về khối lượng. Bên cạnh đó, còn tiết kiệm quỹ đất làm bãi chôn lấp và giảm các chất khí gây hiệu ứng nhà kính (Arena, 2014).

Thành phần syngas phụ thuộc vào chất lượng của sinh khối và điều kiện khí hóa (Yohanes et al., 2020). Nếu oxy hóa bằng không khí, syngas sinh ra thông thường bao gồm từ 15% đến 20% khí hydro, từ 15% đến khoảng 20% khí carbon monoxide, dưới 5% khí metan, từ 10% đến 15% khí carbon dioxide, còn lại là khí ni-tơ (Sridhar, 2005) với nhiệt trị thấp (Lower Heating Value) vào khoảng từ 4 đến 7 MJ/Nm³ (Hagos et al., 2014). Thành phần syngas

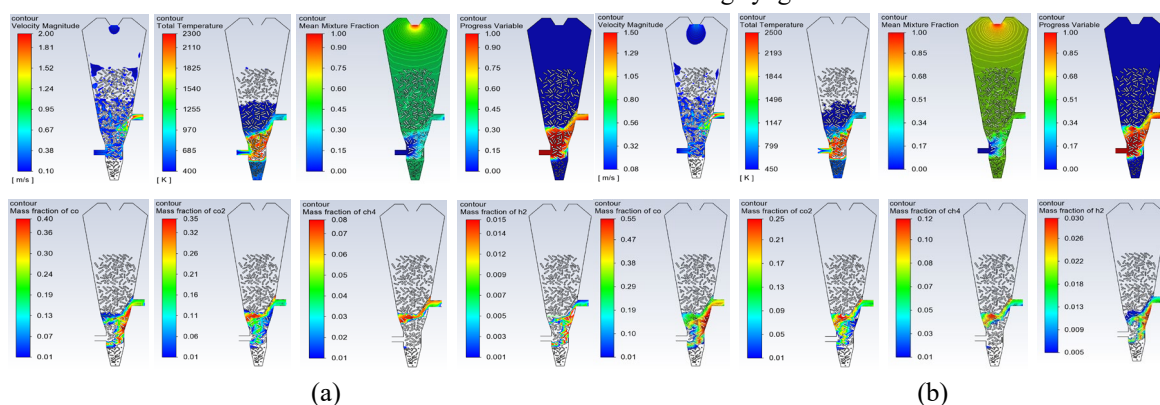
được cải thiện nếu sử dụng hơi nước hoặc là khí oxy làm chất oxy hóa. Khi đó LHV của syngas có thể đạt 10-28 MJ/Nm³. Giá trị LHV thấp là nguyên nhân làm giảm công suất động cơ. Khi chuyển động cơ xăng sang chạy bằng syngas thì động cơ bị giảm 30%-40% về công suất. Khi chuyển động cơ diesel sang chạy bằng syngas thì công suất động cơ giảm 15%-20%. Khi syngas có LHV lớn hơn 4,2 MJ/Nm³ (Shah et al., 2010) thì động cơ đốt trong mới có thể làm việc ổn định. Nghiên cứu mô phỏng quá trình khí hóa được thực hiện trong lò khí hóa kiểu hút, các viên RDF có dạng hình trụ tròn, đường kính trung bình 10 mm, chiều dài thay đổi. Giống như các loại nhiên liệu rắn khác, trước khi cháy các chất bay hơi trong RDF được bốc ra khỏi nhiên liệu và hòa trộn với không khí tạo thành hỗn hợp cháy f (mixture fraction). Trong mô phỏng này, các viên RDF được bố trí ngẫu nhiên trong lò khí hóa với nhiệt độ bề mặt thay đổi. Một trong những thông số quan trọng cần quan tâm khi đánh giá chất lượng của quá trình khí hóa là hệ số không khí dư (ER - Excess Air Ratio) được tính theo công thức như bên:

$$ER = \frac{\left(\frac{\text{Tốc độ không khí}}{\text{Tốc độ tiêu thụ sinh khối}} \right)_{\text{Thực tế}}}{\left(\frac{\text{Tốc độ không khí}}{\text{Tốc độ tiêu thụ sinh khối}} \right)_{\text{Lý thuyết}}}$$

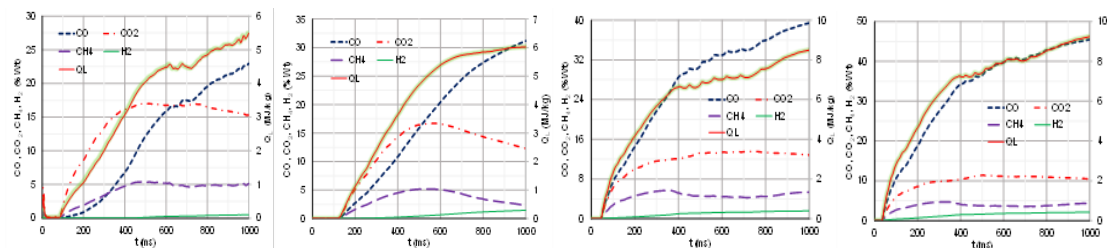
3.1.2. Kết quả mô phỏng quá trình khí hóa

Hình 3 giới thiệu các đường đồng mức của các đại lượng diễn ra trong buồng khí hóa ứng với RDF từ CTR và RDF từ sinh khối với cùng ER=0,35. Sinh khối ở đây chỉ hỗn hợp chất thải hữu cơ là các phụ phẩm trong hoạt động sản xuất nông lâm nghiệp. Trong điều kiện vừa nêu thì thành phần hỗn hợp f ứng với CTR và sinh khối lần lượt là 0,4 và 0,6. Kết quả này cho thấy với cùng ER thì việc phân

bổ các đại lượng lý hóa trong khu vực khí hóa không có sự khác biệt nào đáng kể. Tuy nhiên, giá trị cực đại của thành phần các chất khí ở khu vực cháy và khu vực hoàn nguyên có sự chênh lệch. Nồng độ cực đại của các chất CO, CH₄, H₂ ở khu vực cháy và hoàn nguyên của sinh khối đều lớn hơn các giá trị tương ứng đối với CTR sinh hoạt còn nồng độ CO₂ thì ngược lại. Điều này là do để đạt cùng hệ số ER thì tỉ lệ giữa tốc độ không khí cấp vào và tốc độ tiêu thụ nhiên liệu Q_a/Q_f của CTR sinh hoạt và sinh khối lần lượt là 3/2 và 2/3. Do lượng không khí cấp vào lò nhiều hơn trong trường hợp CTR sinh hoạt nên phản ứng cháy hoàn toàn để sinh khí CO₂ thuận lợi hơn phản ứng hoàn nguyên để tạo ra các thành phần khác trong syngas.



Hình 3. Các thông số f, c, V, T và nồng độ khối lượng các chất trong syngas khi khí hóa với tốc độ Q_s=2g/s, f=0,4 (a), ER=0,6 (b)



Hình 4. Nồng độ các chất và nhiệt trị từ quá trình khí hóa RDF (a), gỗ (b), sinh khối (c) và trấu (d) khi cùng điều kiện ER=0,35

Như trên đã trình bày, nguyên liệu đầu vào lò khí hóa ảnh hưởng lớn đến thành phần syngas. Với cùng điều kiện hệ số không khí ER=0,35, Hình 4 giới thiệu kết quả mô phỏng nhiệt trị và thành phần syngas khi khí hóa RDF từ trấu, gỗ, sinh khối và CTR sinh hoạt. Trong điều kiện đó, thành phần hỗn hợp f là 0,4, 0,45, 0,6 và 0,65 lần lượt ứng với RDF từ CTR sinh hoạt, sinh khối, gỗ và trấu, nghĩa là tỷ lệ Q_a/Q_f giảm dần. Khi Q_a/Q_f giảm, tức thiếu không khí thì nhiên liệu cháy không hoàn toàn và tăng khả năng hoàn nguyên, làm giảm hàm lượng CO₂ và làm tăng hàm lượng CO. Trong điều kiện này, nhiệt trị

của syngas là 5,5 MJ/kg, 6 MJ/kg, 8,5 MJ/kg và 9 MJ/kg lần lượt tương ứng với CTR sinh hoạt, sinh khối, gỗ và trấu.

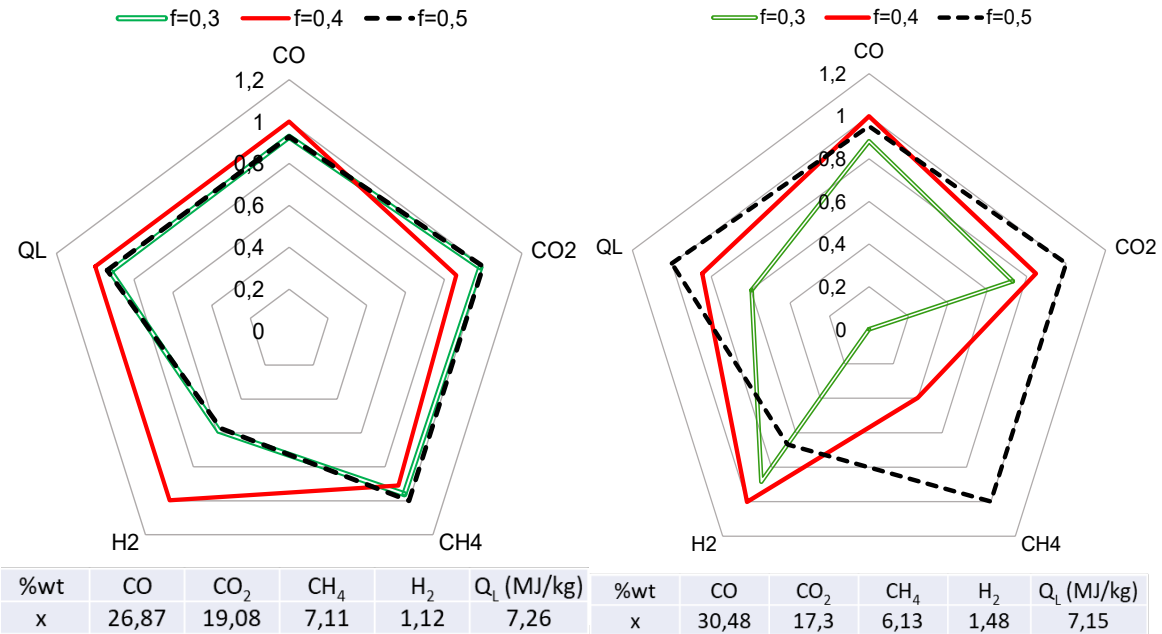
Thành phần và nhiệt trị của syngas có thể điều chỉnh bằng cách pha trộn biomass cung cấp cho lò khí hóa. Kết quả mô phỏng khí hóa hỗn hợp RDF 10% trấu và 90% gỗ được trình bày trên hình 5a. So với trường hợp f bằng 0,3 và f bằng 0,5, thành phần khí carbon monoxide và hydrogen trong syngas cao hơn còn thành phần carbon dioxide thì thấp hơn giá trị tương ứng của chúng trong trường hợp f bằng 0,4. Do đó, f bằng 0,4 có thể xem là giá trị tối ưu khi khí

hóa hỗn hợp RDF với thành phần là 10% trấu và 90% gỗ. Hình 5b trình bày kết quả mô phỏng khí hóa hỗn hợp RDF với thành phần là 30% trấu và 70% gỗ. Kết quả cho thấy khi tăng thành phần RDF trấu thì thành phần CH_4 trong syngas giảm mạnh làm giảm nhiệt trị của syngas.

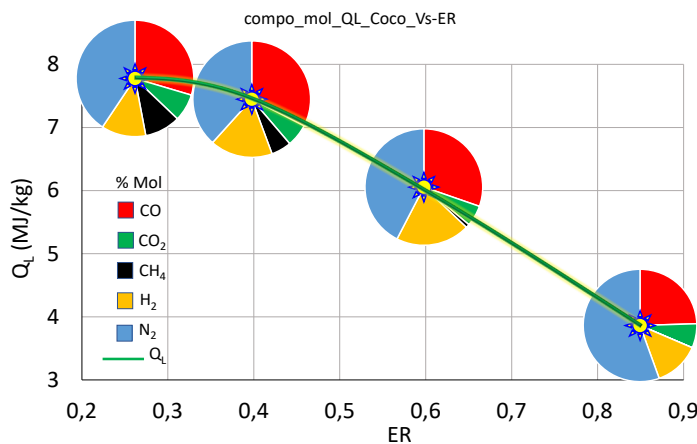
Ngoài chất lượng sinh khối, trong khí hóa, hệ số không khí dư ảnh hưởng lớn đến thành phần và nhiệt trị syngas.

Hình 6 trình bày kết quả mô phỏng ảnh hưởng của ER đến thành phần và nhiệt trị nhận được từ khí hóa RDF sọ dừa. Khi $\text{ER}=0,85$ thì hàm lượng CO chiếm khoảng 20%, hàm lượng H_2 đạt khoảng 2%

còn hàm lượng CH_4 có thể bỏ qua. Khi $\text{ER}=0,25$ thì hàm lượng CH_4 đạt khoảng 10%, H_2 thay đổi nhẹ còn nồng độ CO đạt khoảng 37%. Như vậy, khi ER giảm, nghĩa là hỗn hợp đậm thì hàm lượng CO trong syngas tăng. Điều này một mặt do nhiên liệu thiếu oxy để cháy hoàn toàn, và mặt khác do các tăng cường các phản ứng hoàn nguyên sản phẩm cháy. Hydrogen sinh ra chủ yếu từ phân giải các chất trong sản vật cháy sau đó phản ứng với CO hay C để tạo thành CH_4 . Vì vậy, trong điều kiện cân bằng nhiệt động học phản ứng thì khi tăng hàm lượng H_2 , hàm lượng các chất CO, CH_4 giảm.



Hình 5. Ảnh hưởng của thành phần hỗn hợp f đến nhiệt trị và thành phần syngas khi khí hóa hỗn hợp (10% trấu và 90% RDF gỗ) (a), hỗn hợp (30% trấu và 70% RDF gỗ) (b)

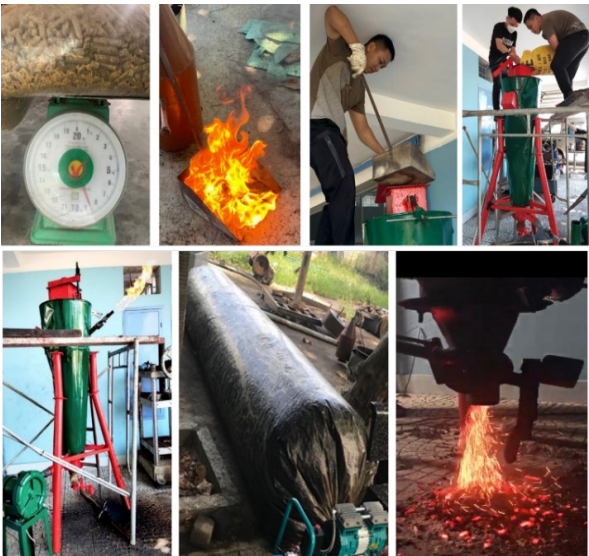


Hình 6. Biến thiên thành phần syngas và nhiệt trị nhiên liệu theo ER khi khí hóa sọ dừa

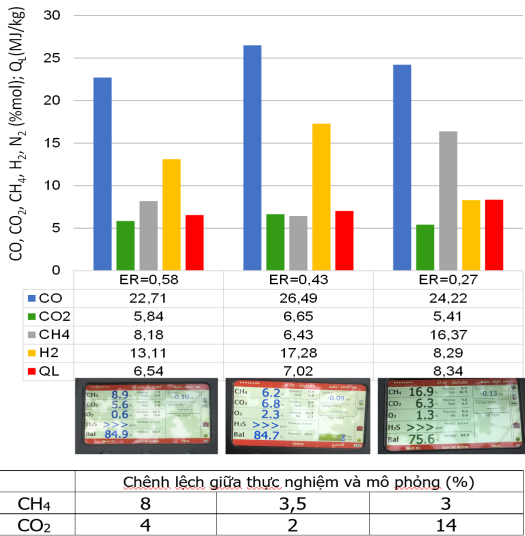
Khi giảm ER thì hàm lượng khí hydrogen giảm còn hàm lượng khí metan trong syngas sẽ tăng lên. Khi giảm ER từ 0,9 đến 0,4 thì nhiệt trị syngas tăng nhanh. Nếu tiếp tục giảm ER thì nhiệt trị syngas hầu như không thay đổi do giảm khí hydrogen và tăng carbon dioxide. Vì vậy, cần phải chọn ER nằm trong khoảng 0,3 đến 0,4 để đảm bảo khí hóa đạt hiệu quả cao nhất.

3.2. Nghiên cứu thực nghiệm lò khí hóa

Hình 7a giới thiệu thí nghiệm lò khí hóa RDF được thực hiện tại Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng. Đây là lò khí hóa kiểu hút lên. Nhiên



liệu sử dụng là RDF gỗ. Buồng cháy của lò được bọc một lớp cách nhiệt để giữ ổn định nhiệt độ vùng phản ứng. Chất oxy hóa là không khí được cấp bằng một quạt thổi. Lưu lượng không khí, lượng RDF tiêu thụ trong một giờ, thành phần syngas và nhiệt độ các khu vực của lò khí hóa được đo trong quá trình thí nghiệm. Syngas sau khi ra khỏi lò khí hóa được dẫn đến hệ thống lọc gồm lọc cyclone, lọc nước, lọc tạp chất lưu huỳnh rồi chứa vào túi lưu trữ cùng với biogas và hydrogen. So sánh nồng độ các chất trong syngas cho bởi mô hình và thực nghiệm được trình bày trên hình 7b. Khác biệt giữa giá trị mô phỏng và thực nghiệm nhỏ hơn 14% đối với hàm lượng carbon dioxide và nhỏ hơn 10% đối với khí metan.



Hình 7. Thí nghiệm khí hóa RDF (a), so sánh mô phỏng và thực nghiệm với hệ số ER khác nhau (b)

3.3. Động cơ đốt trong trong hệ thống HRES Solar-Biomass

3.3.1. Cung cấp hỗn hợp syngas-biogas-hydrogen trên đường nạp

Động cơ đốt trong trong HRES solar-biomass sử dụng hỗn hợp nhiên liệu các khí hydrogen, biogas, và syngas bao gồm các thành phần CH₄, CO, H₂, CO₂, N₂. Trong hỗn hợp này, hydrogen có nhiệt trị thể tích thấp nhất nhưng tốc độ cháy cao nhất còn CH₄ thì ngược lại. Biogas, syngas chứa hàm lượng lớn CO₂, N₂ nên tốc độ cháy thấp và làm giảm tính ổn định của quá trình cháy. Chất lượng quá trình cháy được cải thiện khi làm giàu biogas bằng hydrogen (Shah et al., 2010). Khi làm giàu nhiên liệu truyền thống bằng hydrogen thì hệ số tương đương của hỗn hợp có thể giảm làm giảm phát thải các chất ô nhiễm CO, HC (Xuân và ctv., 2023). Tuy nhiên, khi hàm lượng hydrogen trong nhiên liệu tăng thì nhiệt độ cháy tăng làm tăng nồng độ NO_x trong

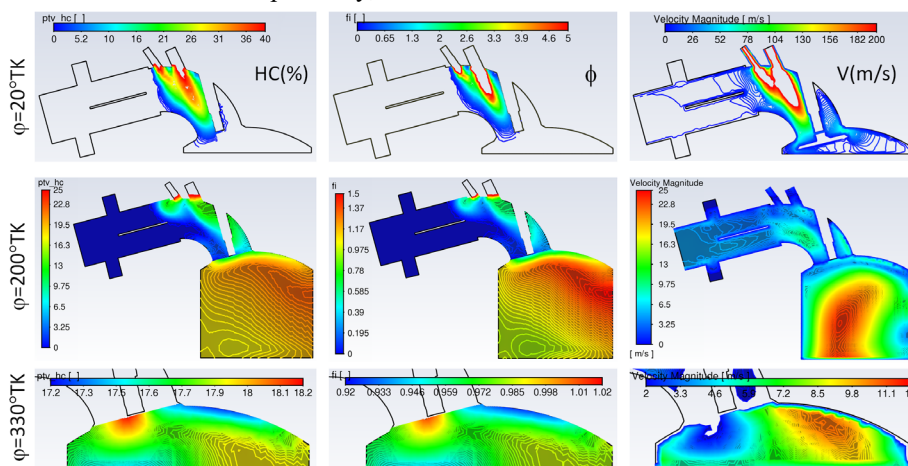
khí thải (Ga và ctv., 2021). Khi thành phần nhiên liệu thay đổi thì qui luật cung cấp nhiên liệu cũng cần phải được điều chỉnh để đảm bảo hiệu quả quá trình cháy (Tung et al., 2023). Do thành phần hỗn hợp nhiên liệu các khí hydrogen, biogas, và syngas cung cấp cho động cơ trong hệ thống HRES solar-biomass thay đổi trong phạm vi rộng nên hệ thống điều khiển động cơ cần linh hoạt. Vì vậy, việc cải tạo động cơ theo kỹ thuật truyền thống không đáp ứng được yêu cầu đối với động cơ làm việc trong HRES solar-biomass.

Nghiên cứu cho thấy để chuyển đổi động cơ cơ truyền thống thành động cơ sử dụng hỗn hợp các khí hydrogen, biogas và syngas có thành phần thay đổi linh hoạt; chúng ta cần một hệ thống điều khiển quá trình phun nhiên liệu và quá trình đánh lửa “thông minh”. Hệ thống này có thể nhận biết các thành phần nhiên liệu cơ bản và điều chỉnh thời gian phun cũng như góc đánh lửa sớm thích ứng với sự thay đổi

thành phần nhiên liệu. Đối với động cơ tĩnh tại, việc điều chỉnh quá trình phun nhiên liệu và đánh lửa dựa vào thành phần nhiên liệu và chế độ tải của động cơ do tốc độ động cơ chỉ thay đổi trong phạm vi rất hẹp.

Để có thể cung cấp hỗn hợp nhiên liệu trong trường hợp tỉ số không khí trên nhiên liệu (A/F) của nhiên liệu thành phần thay đổi trong phạm vi rộng, phương án sử dụng 2 vòi phun: vòi phun Vp3 có đường kính lỗ phun 4 mm và vòi phun Vp4 có đường kính lỗ phun 6 mm được đưa ra. Góc phun của vòi phun Vp3 là 130°TK còn góc phun của vòi phun Vp4 là 115°TK. Với điều kiện phun này, cuối

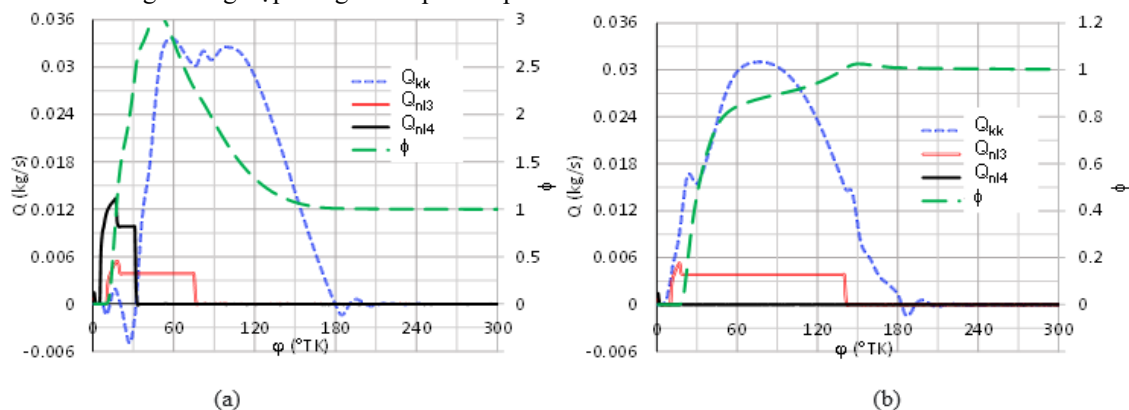
quá trình nén, hệ số tương đương ϕ trong buồng cháy thay đổi trong phạm vi 0,98 đến 1,02 (Hình 8). Cuối quá trình nạp nồng độ HC còn sót lại trên đường nạp quanh vòi phun khoảng 6%, khá nhỏ so với nồng độ HC trong buồng cháy khoảng 25%. Vì thế trong trường hợp động cơ chạy hoàn toàn bằng syngas, hệ thống hai vòi phun có đường kính 6 mm và 4 mm có thể chấp nhận được. Trong kỳ nén, khu vực nồng độ nhiên liệu cao tập trung trên đầu xi lanh về phía đối diện với cửa nạp. Tuy nhiên tại thời điểm 330°TK, nhiên liệu gần như được phân bố đồng đều trong buồng cháy.



Hình 8. Đường đồng mức nhiên liệu, hệ số tương đương và tốc độ khí cung cấp nhiên liệu syngas qua vòi phun Vp3 ($\phi_p=130^\circ\text{TK}$) và Vp4 ($\phi_p=115^\circ\text{TK}$), áp suất phun 1 bar, $n=3000$ v/ph

Hình 9 biểu diễn biến thiên lưu lượng nhiên liệu, lưu lượng không khí qua các vòi phun và hệ số tương đương theo góc quay trục khuỷu. Chúng ta thấy khi sử dụng 2 vòi phun với góc phun $\phi_p = 65^\circ\text{TK}$ (Vp3) và $\phi_p = 26^\circ\text{TK}$ (Vp4) và áp suất phun 1 bar thì hệ số tương đương trong buồng cháy đạt $\phi=1$ vào cuối quá trình nén. Trong trường hợp dùng 1 vòi phun Vp3

thì hệ số tương đương $\phi=1$ đạt được khi góc phun $\phi_p = 130^\circ\text{TK}$. Khi phun 2 vòi phun thì lưu lượng nhiên liệu ban đầu lớn làm cho hệ số tương đương trong xi lanh tăng mạnh lên đến $\phi=3$, sau đó giảm dần và trở về giá trị ổn định $\phi=1$. Khi sử dụng 1 vòi phun thì lượng nhiên liệu vào xi lanh tăng từ từ, ϕ trong xi lanh tăng dần đến giá trị ổn định.



Hình 9. Biến thiên lưu lượng không khí, lưu lượng nhiên liệu và hệ số tương đương trong xi lanh khi phun biogas qua 2 vòi phun và qua 1 vòi phun, áp suất phun 1 bar, $n=3000$ v/ph

4. KẾT LUẬN

Những kết luận sau đây có thể được rút ra từ những kết quả nghiên cứu:

Hệ thống HRES solar-biomass với phương án khí hóa các RDF và sinh khối đề xuất có thể khắc phục được nhược điểm khi sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo riêng rẽ, phù hợp ứng dụng ở Việt Nam. Khí hóa RDF tạo syngas cho phép lưu trữ sinh khối để sử dụng theo kế hoạch, góp phần ổn định công suất hệ thống năng lượng tái tạo hybrid solar-biomass. Động cơ đốt trong sử dụng linh hoạt hỗn hợp các khí hydrogen, syngas và biogas đóng vai trò như hệ thống lưu trữ và cân bằng năng lượng.

Khi Q_a/Q_f giảm làm giảm hàm lượng CO_2 và làm tăng hàm lượng CO. Trong điều kiện này, nhiệt trị của syngas là 5,5 MJ/kg, 6 MJ/kg, 8,5 MJ/kg và 9 MJ/kg lần lượt tương ứng với CTR sinh hoạt, sinh khối, gỗ và trấu.

Thành phần và nhiệt trị của syngas có thể điều chỉnh bằng cách pha trộn sinh khối cung cấp cho lò khí hóa. Khi khí hóa, giảm ER thì hàm lượng khí

hydrogen giảm còn hàm lượng khí metan trong syngas sẽ tăng lên. ER nằm trong khoảng 0,3 đến 0,4 để đảm bảo khí hóa đạt hiệu quả cao nhất.

Đối với thành phần khí syngas, so sánh kết quả giữa giá trị mô phỏng và thực nghiệm thì hàm lượng khí CO_2 nhỏ hơn 14% và hàm lượng khí CH_4 nhỏ hơn 10%.

Động cơ sử dụng syngas hay syngas-biogas-hydrogen cần được bố trí 2 vòi phun trên đường ống nạp để có thể cung cấp nhiên liệu trong trường hợp tỉ số A/F của nhiên liệu thay đổi trong phạm vi rộng cho động cơ đánh lửa cưỡng bức cũng như động cơ dual fuel trong hệ thống năng lượng tái tạo hybrid solar-biomass.

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

- Sahar, A., & Taraneh, S. (2023). The attractiveness of syngas production from forest-based biomass for pulp mills considering carbon pricing and government regulations. *Renewable Energy Focus*, 45, 287-306.
<https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.04.007>
- Paul, S. (2023). The 2022 energy crisis: Fuel poverty and the impact of policy interventions in Australia's National Electricity Market. *Energy Economics*, 121, 106660.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106660>
- Rogelj, J., Geden, O., Cowie, A., & Reisinger, A. (2021). *Net-zero emissions targets are vague: three ways to fix*. *Nature* 591, 365-368.
- Peker, E. (2019). *In the Wall Street Journal* (Brussels).
- Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., & Williams, J. (2016). *Pathways to zero emissions*. *Nat. Geosci.* 9, pp 799-801.
- Fuss, S., Canadell, J. G., Peters, G. P., Tavoni, M., Andrew, R. M., Ciais, P., Jackson, R. B., Jones, C. D., Kraxner, F., Nakicenovic, N., Quéré, C. L., Raupach, M. R., Sharifi, A., Smith, P., & Yamagata, Y. (2014). Betting on negative emissions. *Nature Climate Change*, 4(10), 850–853.
<https://doi.org/10.1038/nclimate2392>
- Johari, A., Mat, R., Alias, H., Hashim, H., Hassim, M.H., Zakaria, Z.Y. & Rozainee, M. (2014). *Combustion characteristics of refuse derived fuel (RDF) in a fluidized bed combustor*. *Sains Malaysiana*, 43(1), 103–109.
- Dinesh, S., & Romeela, M. (2011). Power generation from refuse derived fuel. *2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications*.
- Hajinezhad, A., Halimehjani, E.Z., Tahani, M. (2016). Utilization of refuse-derived fuel (RDF) from urban waste as an alternative fuel for cement factory: a case study. *International Journal of Renewable Energy Research*, 6(2), 702-714.
- Shaopeng, G., Qibin, L., Jie, S., & Hongguang, J. (2018). A review on the utilization of hybrid renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 1121–1147.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.105>
- Arena, U. (2014). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification: A review. *Waste Management*, 32, 625- 639.
- Yohanes, S., Zhongkai, Z., Akihiro, Y., Abuliti, A., & Guoqing, G. (2020). Small-scale biomass gasification systems for power generation (<200 kW lass): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109486.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109486>
- Sridhar, G., Sridhar, H. V., Dasappa, S., Paul, P. J., Rajan, N. K. S., & Mukunda, H. S. (2005). Development of producer gas engines. *Proc Inst*

- Mech Eng*, 219(3), 423–38.
doi:10.1243/095440705X6596
- Hagos, F., Aziz, A., & Sulaiman, S. (2014). *Trends of syngas as a fuel in internal combustion engines*, pp 1-10. Article id: 401587.
<https://doi.org/10.1155/2014/401587>
- Shah, A., Srinivasan, R., & Columbus, E. P. (2010). Performance and emissions of a spark-ignited engine driven generator on biomass based syngas. *Bioresour Technol*, 101, 4656-4661.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.049>
- Xuân, N. T. T., Tú, B. T. M. T., & Ga, B. V. (2023). Simulation and experimental study of refuse-derived fuel gasification in an updraft gasifier. *Int. J. Renew. Energy Dev*, 12(3), 601-614.
<https://doi.org/10.14710/ijred.2023.53994>
- Ga, B. V., Tú, B. T. M., Tùng, T. T. H., & Long, P. Đ. (2021). Mô phỏng quá trình khí hóa viên nén nhiên liệu RDF trong lò khí hóa kiểu hút xuống. *Tuyển tập Công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 24, Hà Nội-Đà Nẵng-Thành phố Hồ Chí Minh ngày 18-12-2021, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ*, ISBN: 978-604-357-045-8, pp. 120-134.
- Tung, P. M., Ga, B. V., Son, T. T., Tien, N. M., & Quoc, T.D. (2023). Simulation and Experimental Study on Refuse Derived Fuel Gasification in a Downdraft Gasifier. *14th Asia-Pacific Conference on Combustion, Kaohsiung Exhibition Center, Kaohsiung, Taiwan, 14th-18th May 2023*.