

# SO SÁNH MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM KHÍ HÓA RDF TỪ CHẤT THẢI RẮN Ở NÔNG THÔN

## COMPARISON BETWEEN SIMULATION AND EXPERIMENT RESULTS ON GASIFICATION OF RDF FROM SOLID WASTE IN RURAL AREA

Bùi Văn Ga<sup>1\*</sup>, Võ Anh Vũ<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Phụng<sup>2</sup>, Triệu Đức Tông<sup>1</sup>, Lê Ngọc Đức<sup>1</sup>, Nguyễn Minh Tú<sup>1</sup>,  
Trần Đình Quang<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Thức<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

<sup>2</sup>Trường Cao đẳng Quảng Nam

\*Tác giả liên hệ: buivanga@ac.udn.vn

(Nhận bài: 05/12/2022; Chấp nhận đăng: 06/01/2023)

**Tóm tắt** - Khí hóa sinh khối cùng hệ số không khí dư ER thì nhiên liệu nào có tỉ số không khí/nhiên liệu thấp thì hàm lượng CO cao và hàm lượng CO<sub>2</sub> thấp. Nhiệt trị của syngas thu được từ khí hóa RDF chất thải rắn sinh hoạt, hỗn hợp sinh khối, gỗ và trấu với cùng hệ số không khí dư ER=0,35 lần lượt là 5,5; 6; 8,5 và 9 MJ/kg. ER tối ưu khi khí hóa sọ dừa nằm trong khoảng 0,3 đến 0,4. Khi khí hóa hỗn hợp RDF gỗ+RDF trấu thì ER tối ưu khoảng 0,4. RDF trấu cho thành phần CO và H<sub>2</sub> cao hơn gỗ nhưng thành phần CH<sub>4</sub> trong syngas RDF gỗ cao hơn trong syngas RDF trấu. Nhiệt trị của syngas từ khí hóa trấu là 6,82 MJ/kg còn nhiệt trị syngas từ khí hóa gỗ là 7,21 MJ/kg. Chênh lệch nồng độ CO<sub>2</sub> giữa thực nghiệm và mô phỏng không quá 15% còn chênh lệch nồng độ CO, CH<sub>4</sub> giữa thực nghiệm và mô phỏng không quá 10%. Điều này khẳng định độ tin cậy của mô hình tính toán khí hóa RDF.

**Từ khóa** – RDF; Syngas; Khí hóa; Điện - rác; Nhiên liệu tái tạo

### 1. Giới thiệu

Sinh khối là nguồn năng lượng tái tạo đầy hứa hẹn trong tương lai vì chúng có sẵn ở khắp mọi nơi. Sinh khối chiếm khoảng 10,6% nguồn cung cấp năng lượng sơ cấp toàn cầu. Chúng có thể ở dạng các chất thải trong sản xuất nông nghiệp, chất thải sinh hoạt... Mặc dù, năng lượng sinh khối có tiềm năng rất lớn nhưng việc cung cấp, lưu trữ và sử dụng chúng khó khăn hơn rất nhiều so với các loại năng lượng thông thường. Sinh khối phụ thuộc mùa vụ, dạng rắn, rời rạc, mật độ khối lượng thấp. Vì thế để có thể sử dụng hiệu quả và liên tục, việc chế biến sinh khối thành viên nén nhiên liệu (RDF) là giải pháp khả thi. Đây là giải pháp nhiều nước phát triển đã áp dụng trong xử lý chất thải sinh hoạt và sản xuất.

Chuyển đổi rác thải thành viên nén nhiên liệu để thu hồi năng lượng bằng khí hóa là giải pháp công nghệ nhiên liệu sinh học mới giúp xử lý hiệu quả chất thải rắn sinh hoạt [1]. Mật độ cao của RDF giúp cho sự lưu trữ, vận chuyển chúng đến nơi sử dụng dễ dàng hơn đồng thời nó làm tăng tính đồng nhất của nhiên liệu trong quá trình chuyển hóa năng lượng [2]. RDF từ rác thải sinh hoạt chứa những chất có nhiệt trị cao như giấy, nhựa, vải... nên chúng có thể thay thế các nguồn nhiên liệu truyền thống sử dụng trong công nghiệp [3].

Quá trình khí hóa có thể làm giảm 70% khối lượng và 90% thể tích chất thải rắn, giảm phát thải chất khí gây hiệu

**Abstract** - Simulation on gasification showed that biomass with low air/fuel ratio has high CO content and low CO<sub>2</sub> content. The heat value of syngas obtained from gasification of municipal solid waste, biomass, wood, and rice husk with the same excess air ratio ER=0.35 is 5.5; 6; 8.5 and 9 MJ/kg, respectively. The optimal ER is in the range from 0.3 to 0.4 for the coconut shell and is 0.4 for the mixture of RDF wood +RDF rice husk. Syngas from RDF rice husk has higher CO and H<sub>2</sub> contents but lower CH<sub>4</sub> content than those in syngas from RDF wood. The heat value of syngas from rice husk gasification is 6.82 MJ/kg and that from wood gasification is 7.21 MJ/kg. The gap in CO<sub>2</sub> concentration between experiment and simulation is lower than 15% and the difference in CO and CH<sub>4</sub> concentrations given by experiment and simulation is not larger than 10%. This confirms the reliability of the RDF gasification simulation model.

**Key words** – RDF; Syngas; Gasification; Waste to energy; Renewable fuels

ứng nhà kính, tiết kiệm đất sử dụng cho bãi chôn lấp [4]. Khí hóa chất thải rắn dựa trên nguyên lý tạo phản ứng cháy nhiên liệu trong môi trường thiếu oxy. Một loạt các phản ứng thuận nghịch diễn ra gồm phản ứng cháy và phản ứng hoàn nguyên sản phẩm cháy để tạo nên hỗn hợp khí gọi là syngas gồm các thành phần chính CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>. Hiệu suất khí hóa đạt cực đại khi hệ số không khí dư nằm trong khoảng 0,25-0,3 và nhiệt độ nằm trong khoảng 680-700°C [4]. Syngas từ khí hóa chất thải rắn là nhiên liệu tiềm năng để phát điện [5].

Chất lượng syngas phụ thuộc vào sinh khối đầu vào và điều kiện hóa. Sinh khối rất đa dạng với tính chất rất khác biệt. Ngay cùng một loại sinh khối cũng có thể có các thành phần và đặc điểm khác nhau. Trên thực tế, tính không đồng nhất của sinh khối là một trong những nhược điểm của quá trình khí hóa vì rất khó xác định các điều kiện vận hành tối ưu và các đặc tính của sản phẩm cuối cùng [6]. Evans và cộng sự chỉ ra rằng, hàm lượng H<sub>2</sub> và CO của khí tổng hợp tăng khi nhiệt độ trung bình tăng từ 700 đến 980°C [7]. Bingyan và cộng sự cho thấy, nhiệt độ khí hóa từ 400 đến 800°C ảnh hưởng mạnh đến năng suất sinh khối nhưng mức độ ảnh hưởng giảm khi nhiệt độ lớn hơn 800°C [8]. Narváez và cộng sự cho thấy, khi tăng lưu lượng không khí thì nhiệt trị của khí tổng hợp giảm [9]. Devi và cộng sự

<sup>1</sup> The University of Danang – University of Science and Technology (Bui Van Ga, Vo Anh Vu, Trieu Duc Tong, Le Ngoc Duc, Nguyen Minh Tu, Tran Dinh Quang, Nguyen Van Thuc)

<sup>2</sup> Quang Nam College (Nguyen Van Phung)

nhận thấy, các thông số vận hành lò khí hóa như nhiệt độ và hệ số không khí dư có ảnh hưởng rõ rệt đến sự hình thành hắc ín. Kiểm soát các thông số này được coi là một trong những phương pháp chính để giảm hàm lượng tạp chất trong khí tổng hợp [10].

Thông thường nếu sử dụng không khí làm chất oxy hóa trong lò khí hóa thì thành phần thể tích của syngas gồm 15-20% H<sub>2</sub>, 15-20% CO, 1-5% CH<sub>4</sub>, 10-15% CO<sub>2</sub>, còn lại là N<sub>2</sub> [11]. Nhiệt trị của syngas khoảng 4-7 MJ/Nm<sup>3</sup>. Nếu sử dụng oxy hay hơi nước làm chất oxy hóa thì nhiệt trị của syngas nằm trong khoảng 10-28 MJ/Nm<sup>3</sup>. Nhiệt trị của syngas còn phụ thuộc nhiều vào sinh khối sử dụng trong khí hóa [12].

Trong thiết bị khí hóa tầng cố định thì lò hút xuống có ưu điểm là lượng hắc ín thấp do dòng syngas đi qua vùng nhiệt độ cao (1000°C) [13]. Tuy nhiên, so với lò kiểu hút lên thì lò kiểu hút xuống ít linh hoạt hơn đối với các loại nhiên liệu, độ ẩm nhiên liệu và kích thước viên sinh khối. Khí hóa sinh khối là một quá trình nhiệt động hóa học phức tạp. Đó là sự tương tác giữa pha khí và pha rắn trong quá trình cháy. Nhiều mô hình đã cố gắng mô tả bản chất quá trình khí hóa với mức độ chính xác khác nhau. Mô hình đơn giản nhất dựa trên cân bằng vật chất trong quá trình khí hóa (còn được gọi là mô Hình 0D), được sử dụng rộng rãi để ước đoán chất lượng nhiên liệu. Mô hình này không đi sâu và về tương tác giữa pha khí và pha rắn trong quá trình khí hóa cũng như nhiệt độ và thành phần các chất bên trong thiết bị khí hóa. Mô hình động học phản ứng có xét đến ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự hình thành các chất trong nhiên liệu khí tổng hợp nhưng thiếu mối liên kết giữa môi trường khí và rắn để mô tả phản ứng diễn ra trên bề mặt sinh khối. Nghiên cứu quá trình khí hóa dựa trên các phần mềm động học thủy khí CFD là giải pháp hữu hiệu. Tuy nhiên, các phần mềm CFD thường mang tính tổng quát nên việc áp dụng chúng trường hợp khí hóa sinh khối đòi hỏi nhiều nỗ lực bổ sung.

Cùng với sự phát triển của các công cụ phần mềm hiện đại, phần mềm ANSYS FLUENT đã được sử dụng trong nghiên cứu mô phỏng quá trình khí hóa sinh khối từ những năm đầu thế kỷ 21. Các nghiên cứu này đặc biệt quan tâm đến ảnh hưởng của các yếu tố vận hành, thành phần sinh khối, tỉ lệ nhiên liệu/không khí đến chất lượng nhiên liệu nhận được từ quá trình khí hóa [14]. Bên cạnh đó, nhiều tác giả cũng quan tâm đến khía cạnh động học của các phản ứng hình thành CO, CH<sub>4</sub>, các thành phần chính trong khí tổng hợp.

Trong công trình này, nhóm tác giả nghiên cứu mô phỏng quá trình khí hóa nhiên liệu RDF từ chất thải sản xuất và sinh hoạt ở nông thôn bằng phần mềm ANSYS FLUENT. Kết quả mô phỏng được đánh giá bằng kết quả thực nghiệm trên lò khí hóa kiểu hút lên.

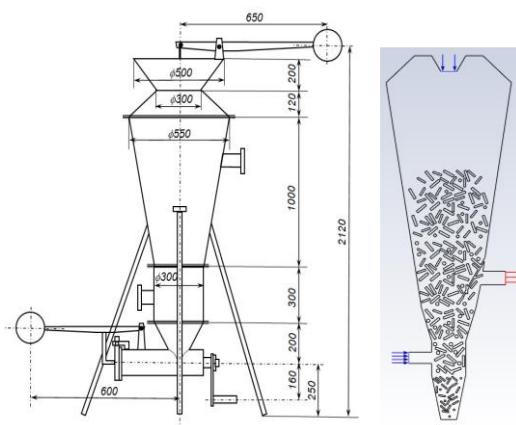
## 2. Phương pháp và trang thiết bị nghiên cứu

### 2.1. Nghiên cứu mô phỏng

Nghiên cứu được thực hiện trong lò khí hóa kiểu hút lên có kích thước cơ bản cho ở Hình 1. Buồng cháy hình trụ có đường kính 150mm, chiều cao 170mm. Khu vực hoàn nguyên hình côn, có chiều cao 150mm.

RDF sử dụng có dạng hình trụ, đường kính trung bình

10mm, chiều dài thay đổi. Giống như các loại nhiên liệu rắn khác, trước khi cháy các chất bay hơi trong RDF được bóc ra khỏi nhiên liệu và hòa trộn với không khí thành hỗn hợp cháy. Trong mô phỏng này các viên RDF được phân bố ngẫu nhiên trong lò khí hóa với nhiệt độ bề mặt thay đổi.



**Hình 1.** Lò khí hóa kiểu hút lên và mô phỏng phân bố RDF bên trong lò khí hóa

Để đơn giản hóa tính toán, nhóm tác giả mô phỏng trong không gian 2D như Hình 1. Không gian tính toán được chia thành các khu vực: Khu vực chứa tro, khu vực buồng cháy, khu vực hoàn nguyên, khu vực sấy và khu vực chứa nhiên liệu.

Nhờ phân chia các khu vực như vậy có thể cài đặt các thông số ban đầu để có thể khảo sát ảnh hưởng của chúng đến quá trình khí hóa.

Điều kiện biên được xác định như sau:

Đầu vào nhiên liệu: Chỉ có nhiên liệu, không cháy ( $f=1$ ,  $c=0$ ), lưu lượng nhiên liệu  $Q_f$ .

Đầu vào không khí: Chỉ có không khí và cháy khi không khí gặp nhiên liệu trong giới hạn cháy ( $f=0$ ,  $c=1$ ), lưu lượng không khí  $Q_a$ .

Trong đó,  $c$  là thông số diễn biến quá trình cháy;  $Q_a$  và  $Q_f$  được xác định theo hệ số không khí dư ER cho trước thông qua thành phần hỗn hợp  $f$ .

Hỗn hợp đầu tiên trong lò khí hóa có thành phần hỗn hợp  $f$  tổng quát theo ER cho trước. Nhiệt độ các khu vực của lò khí hóa được cài đặt để xem xét ảnh hưởng của chúng đến quá trình khí hóa. Thành phần nguyên tố C, H, O và N của nhiên liệu được cho ở Bảng 1. Sau khi có thành phần nhiên liệu, sử dụng công cụ Coal Calculator trong Fluent để xác định công thức phân tử nhiên liệu cũng như tỉ lệ khối lượng không khí/khối lượng nhiên liệu trong điều kiện cháy hoàn toàn lý thuyết  $r$ .

**Bảng 1.** Thành phần và đặc tính nhiên liệu sử dụng trong mô phỏng

Nhiên liệu	Thành phần nguyên tố (%wt)				Công thức phân tử	r
	C	H	O	N		
Trấu	0,46	0,06	0,475	0,005	C <sub>0,33</sub> H <sub>2,85</sub> O <sub>1,42</sub> N <sub>0,0171</sub>	1,59
Sinh khối	0,48	0,06	0,457	0,003	C <sub>0,41</sub> H <sub>2,85</sub> O <sub>1,37</sub> N <sub>0,0102</sub>	2,05
Sọ dừa	0,502	0,057	0,434	0,007	C <sub>0,50</sub> H <sub>2,71</sub> O <sub>1,30</sub> N <sub>0,0239</sub>	2,47
Gỗ	0,5324	0,0636	0,4028	0,0012	C <sub>0,62</sub> H <sub>3,02</sub> O <sub>1,20</sub> N <sub>0,0041</sub>	3,65
Rác thải	0,57	0,06	0,343	0,027	C <sub>0,77</sub> H <sub>2,85</sub> O <sub>1,02</sub> N <sub>0,0925</sub>	4,54

Các nhiên liệu lựa chọn trong tính toán mô phỏng là trấu, sinh khối, sọ dừa, gỗ và chất thải rắn sinh hoạt có hàm lượng H, hàm lượng C theo thứ tự tăng dần còn hàm lượng O theo thứ tự giảm dần. Do đó, tỉ lệ khối lượng không khí/khối lượng nhiên liệu của hỗn hợp cháy hoàn toàn lý thuyết ( $r$ ) của trấu, sinh khối, sọ dừa, gỗ, chất thải rắn theo thứ tự tăng dần như giới thiệu ở Bảng 1.

Ngoài các RDF cơ bản trên, trong nghiên cứu này nhóm tác giả sử dụng hỗn hợp nhiên liệu RDF gỗ và trấu để so sánh với trường hợp sử dụng các RDF riêng rẽ.

Quá trình khí hóa được mô phỏng thông qua mô hình cháy hòa trộn trước cục bộ (Partially Premixed Combustion) được đặc trưng thông qua hai đại lượng bảo toàn đó là thành phần hỗn hợp  $f$  và diễn biến quá trình cháy  $c$  có giá trị nằm trong khoảng 0 và 1. Lưu lượng không khí  $Q_a$  và lưu lượng nhiên liệu  $Q_f$  được thể hiện qua hệ số không khí dư ER (excess air ratio). Mối quan hệ giữa hệ số không khí dư ER, hệ số tương đương  $\phi$ , thành phần hỗn hợp  $f$  với lưu lượng không khí/lưu lượng nhiên liệu lý thuyết  $(Q_a/Q_f)_{lt}$ , lưu lượng không khí/lưu lượng nhiên liệu thực tế  $(Q_a/Q_f)_{tt}$  được thể hiện ở các biểu thức sau:

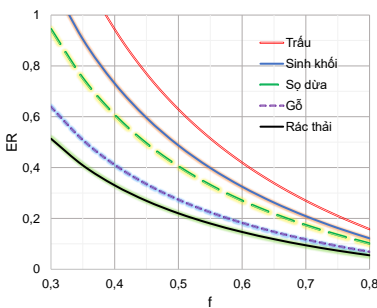
$$ER = \frac{1}{\phi} \tag{1}$$

$$f = \frac{\phi}{\phi + r} \tag{2}$$

$$r = \left(\frac{Q_a}{Q_f}\right)_{lt} \tag{3}$$

$$\phi = \frac{(Q_f/Q_a)_{tt}}{(Q_f/Q_a)_{lt}} \tag{4}$$

Từ các quan hệ này, xây dựng được các đường cong quan hệ ER(f) đối với trấu, sinh khối, sọ dừa, gỗ và rác thải như Hình 2.



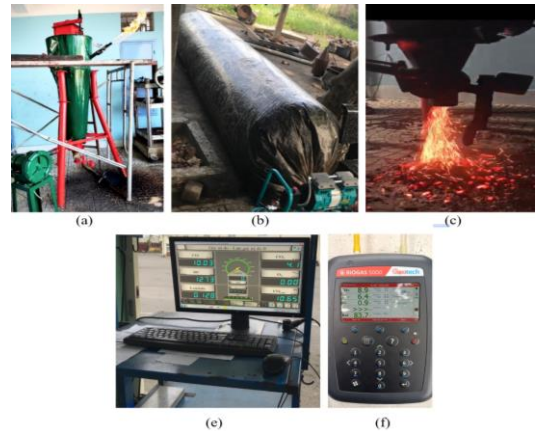
**Hình 2.** Quan hệ giữa hệ số không khí dư ER và thành phần hỗn hợp  $f$

Trong tính toán mô phỏng, chọn trước giá trị ER ứng với nhiên liệu khí hóa, từ đó xác định thành phần hỗn hợp  $f$  và tính toán tỉ số khối lượng không khí/khối lượng nhiên liệu để trên cơ sở đó xác định lưu lượng không khí  $Q_a$  và lưu lượng nhiên liệu  $Q_f$  cấp vào lò khí hóa.

**2.2. Trang thiết bị nghiên cứu thực nghiệm**

Thiết bị thí nghiệm được trình bày trên Hình 3. Lò ga thực nghiệm được chế tạo phù hợp với lò ga sử dụng trong tính toán mô phỏng. Cơ cấu xả tro có dạng guồng quay, có nắp đậy kín nhờ đôi trọng. Khí syngas thu được từ quá trình khí hóa RDF được nạp vào túi chứa khí sau khi qua lọc.

Syngas có chứa các chất chính là CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> và còn lại là N<sub>2</sub>. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả dùng 2 thiết bị phân tích khí khác nhau để đo cùng một mẫu khí: Máy đo Biogas 5000 để phân tích CH<sub>4</sub> và CO<sub>2</sub>; Máy đo MGT5 để đo CO, CO<sub>2</sub> và HC. Do dải đo của máy MGT5 thấp nên mẫu khí syngas được pha loãng với không khí theo tỷ lệ 1 thể tích syngas và 3 thể tích không khí.

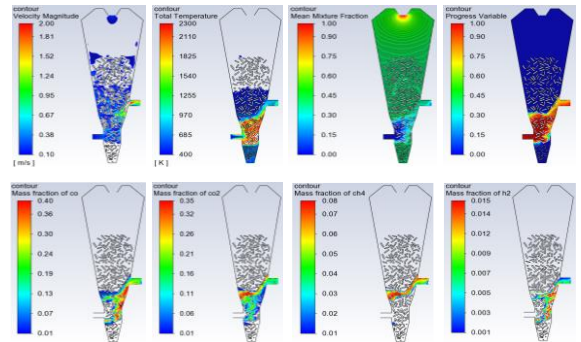


**Hình 3.** Trang thiết bị thí nghiệm (a. Lò khí hóa kiểu hút lên; b. Túi chứa syngas; c. Cơ cấu xả tro; e. Máy phân tích khí MGT5; f. Máy phân tích biogas 5000)

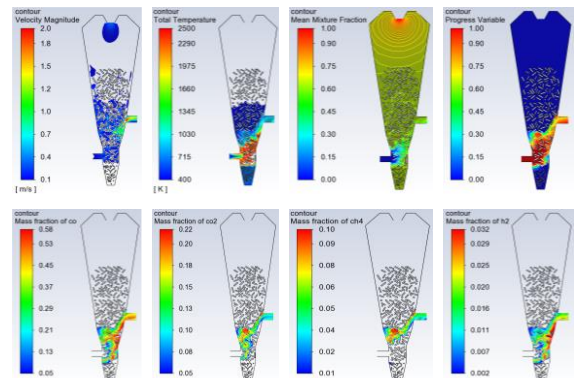
**3. Kết quả và bình luận**

**3.1. Kết quả mô phỏng**

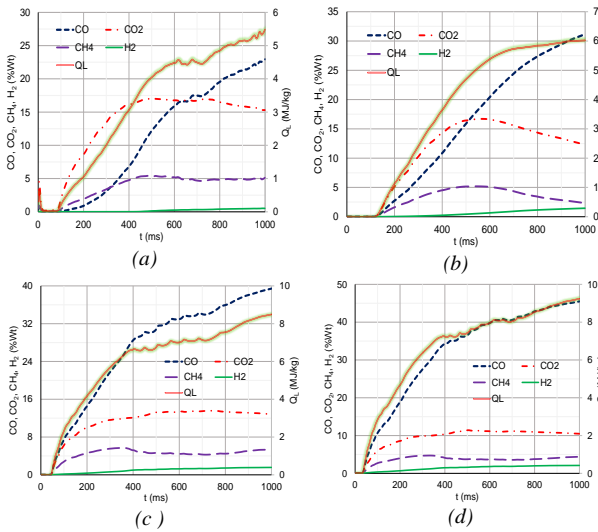
**- Ảnh hưởng của nhiên liệu đến chất lượng syngas**



**Hình 4.** Đường đồng mức của tốc độ  $V$ , nhiệt độ  $T$ , thành phần hỗn hợp  $f$ , hệ số diễn biến quá trình cháy  $c$  và nồng độ khối lượng các chất CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> trong syngas khi khí hóa chất thải rắn sinh hoạt với  $Q_s=3g/s, f=0,43$



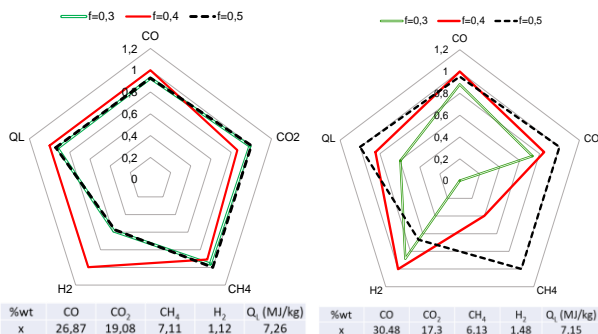
**Hình 5.** Đường đồng mức của tốc độ  $V$ , nhiệt độ  $T$ , thành phần hỗn hợp  $f$ , hệ số diễn biến quá trình cháy  $c$  và nồng độ khối lượng các chất CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> trong syngas khi khí hóa sinh khối với  $Q_s=3g/s, f=0,62$



**Hình 6.** So sánh nồng độ các chất trong syngas và nhiệt trị của nhiên liệu từ quá trình khí hóa RDF chất thải rắn sinh hoạt (a), gỗ (b), sinh khối (c) và trấu (d) cùng ER=0,35

Hình 6 so sánh thành phần và nhiệt trị syngas thu được từ khí hóa RDF chất thải rắn sinh hoạt, sinh khối, gỗ và trấu với cùng hệ số không khí dư ER=0,35. Để đảm bảo cùng hệ số không khí dư này thì thành phần hỗn hợp f của RDF chất thải rắn sinh hoạt, sinh khối, gỗ và trấu lần lượt là 0,4, 0,45, 0,6 và 0,65 nghĩa là tỉ lệ  $Q_a/Q_f$  giảm dần. Theo kết quả đã phân tích ở Hình 4 và Hình 5, khi  $Q_a/Q_f$  giảm thì khả năng cháy hoàn toàn giảm và khả năng hoàn nguyên tăng nên hàm lượng CO<sub>2</sub> giảm còn hàm lượng CO tăng. Hàm lượng các chất CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> trong syngas chỉ thay đổi nhẹ theo thành phần nhiên liệu. Nhiệt trị của syngas thu được từ khí hóa chất thải rắn sinh hoạt, sinh khối, gỗ và trấu với cùng hệ số không khí dư ER=0,35 lần lượt là 5,5; 6; 8,5 và 9 MJ/kg.

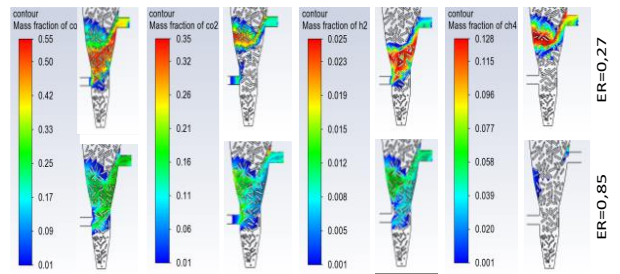
Hình 7a giới thiệu ảnh hưởng của thành phần hỗn hợp f đến thành phần và nhiệt trị syngas thu được từ quá trình khí hóa hỗn hợp RDF 90% gỗ+10% trấu. Khi f=0,4 thì thành phần CO và H<sub>2</sub> trong syngas cao hơn, còn thành phần CO<sub>2</sub> thì thấp hơn so với trường hợp f=0,3 và f=0,5. Như vậy, đối với hỗn hợp RDF này thì thành phần hỗn hợp tối ưu khoảng 0,4. Tương tự như vậy, Hình 7b giới thiệu ảnh hưởng của f đến thành phần và nhiệt trị của syngas khi khí hóa hỗn hợp RDF 70% gỗ và 30% trấu. Khi tỉ lệ RDF trấu trong hỗn hợp tăng thì thành phần CH<sub>4</sub> trong syngas giảm rất nhanh theo f, dẫn đến sự sụt giảm mạnh nhiệt trị của nhiên liệu.



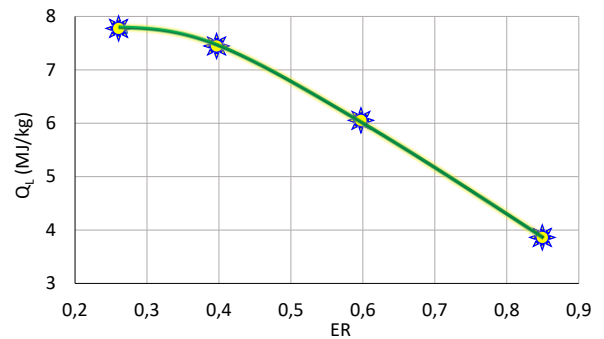
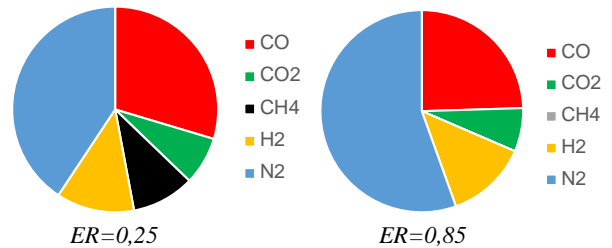
**Hình 7.** Ảnh hưởng của thành phần hỗn hợp f đến thành phần, nhiệt trị syngas khi khí hóa hỗn hợp (90% RDF gỗ+10% trấu) (a), hỗn hợp (70% RDF gỗ+30% trấu) (b)

**- Ảnh hưởng của thành phần hỗn hợp f**

Thành phần hỗn hợp f và hệ số không khí dư ER có quan hệ với nhau như trên Hình 2. Hình 8 giới thiệu đường đồng mức nồng độ các chất CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> khi khí hóa sọ dừa là với hệ số không khí dư ER=0,27 và ER=0,85. Vùng diễn ra quá trình cháy nhiên liệu tập trung ở khu vực cấp không khí. Vùng đang phản ứng gồm cả khu vực cháy và khu vực hoàn nguyên (vùng thông số diễn biến quá trình cháy có màu đỏ). Kết quả mô phỏng cũng cho thấy, CO có nồng độ cao nhất tập trung ở vùng cháy không hoàn toàn (thiếu không khí) và vùng hoàn nguyên ở đó CO<sub>2</sub> chuyển thành CO. Một bộ phận CO<sub>2</sub> còn sót lại tập trung ở phần trên của khu vực hoàn nguyên. Cũng như CO, H<sub>2</sub> hình thành ở khu vực nhiệt độ cao, trong khi đó H<sub>2</sub> hình thành ở khu vực hoàn nguyên. Kết quả so sánh hai trường hợp này cho thấy, khi hỗn hợp nghèo (ER lớn) thì nồng độ các chất CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> đều thấp hơn trường hợp hỗn hợp giàu. Đặc biệt là khi hỗn hợp nghèo thì vùng sản sinh CO<sub>2</sub> mở rộng và vùng khí hóa thu hẹp do lượng không khí cung cấp nhiều làm phần lớn nhiên liệu cháy hoàn toàn.



**Hình 8.** So sánh đường đồng mức CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> và CH<sub>4</sub> trong syngas khi khí hóa sọ dừa là với hệ số không khí dư ER=0,27 và ER=0,85



**Hình 9.** Biến thiên nhiệt trị nhiên liệu theo ER khi khí hóa sọ dừa

Hình 9 giới thiệu ảnh hưởng của ER đến biến thiên nồng độ CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> trong syngas và nhiệt trị của nhiên liệu khi khí hóa RDF sọ dừa. Khi ER=0,85 thì nồng độ CO trong syngas đạt khoảng 20%, nồng độ H<sub>2</sub> đạt khoảng 2% còn nồng độ CH<sub>4</sub> rất thấp, gần như có thể bỏ qua. Khi ER=0,25 thì nồng độ CO đạt khoảng 37%, nồng

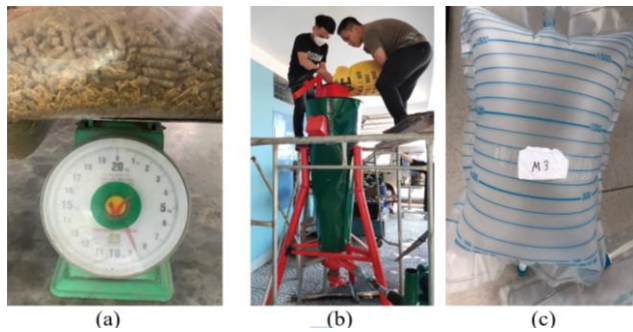
độ H<sub>2</sub> hầu như không thay đổi còn thành phần CH<sub>4</sub> tăng lên 10%. Kết quả này cho thấy, khi hỗn hợp đậm thì nồng độ CO tăng một phần là do quá trình cháy không hoàn toàn, một phần là do hoàn nguyên sản phẩm cháy. Khi khí hóa trong điều kiện khô thì H<sub>2</sub> sinh ra chủ yếu do phân giải các chất trong sản vật cháy. Một bộ phận H<sub>2</sub> hình thành trong quá trình cháy nhưng ngay sau đó nó tác dụng với CO hay C và hình thành CH<sub>4</sub>. Trong điều kiện cân bằng nhiệt động học phản ứng thì nồng độ H<sub>2</sub> tăng khi nồng độ các chất CO, CH<sub>4</sub> giảm.

Khi giảm ER thì hàm lượng CH<sub>4</sub> trong syngas tăng còn hàm lượng H<sub>2</sub> giảm. Nhiệt trị nhiên liệu tăng nhanh khi giảm ER từ 0,9 đến 0,4. Nếu tiếp tục giảm ER thì nhiệt trị syngas hầu như thay đổi không đáng kể do giảm H<sub>2</sub> và tăng CO<sub>2</sub>. Vì vậy để đảm bảo hiệu quả khí hóa, chọn ER nằm trong khoảng 0,3 đến 0,4. Tương tự như vậy, đối với RDF trấu và gỗ. Mô phỏng cho thấy, nhiệt trị của syngas từ khí hóa trấu là 6,82 MJ/kg còn nhiệt trị syngas từ khí hóa gỗ là 7,21 MJ/kg. Khi pha trộn RDF gỗ và trấu với thành phần RDF trấu nhỏ hơn 20% thì ER tối ưu khoảng 0,4.

**3.2. So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm**

**- Quy trình thí nghiệm**

Trước tiên lót một lớp tro mịn dưới đáy lò. Sau đó đổ một lớp RDF lót lên trên lớp tro mịn. Đốt khoảng 0,5kg RDF cho vào lò để làm môi khởi động lò. Sau đó cho lượng RDF thí nghiệm vào lò (Hình 10). Bật quạt cấp không khí, điều chỉnh van cấp gió ở vị trí mở lớn nhất để gió vào với tốc độ lớn giúp cho viên RDF môi dễ dàng cháy lan ra RDF chính trong buồng cháy của lò. Sau khi đóng nắp lò, điều chỉnh van cấp không khí để đạt chất lượng syngas tốt nhất (ngọn lửa xanh, cháy ổn định). Khi syngas đã cháy ổn định thì nạp syngas vào túi chứa nhiên liệu và trích một bộ phận syngas vào túi nhỏ để phân tích khí, định kỳ xả tro 30 phút 1 lần.



**Hình 10.** Chuẩn bị nhiên liệu, chuẩn bị RDF môi, nạp RDF môi vào lò và nạp nhiên liệu vào lò

Trong quá trình thí nghiệm, ta điều chỉnh lưu lượng quạt cấp gió ở 3 vị trí khác nhau và đo thời gian nạp đầy túi chứa khí có thể tích 960 lít. Nhiệt độ không khí cấp vào lò và nhiệt độ syngas trong túi chứa được xác định nhờ nhiệt kế. Từ đó tính được lưu lượng syngas Q<sub>s</sub>. Và tính được lưu lượng nhiên liệu tham gia vào quá trình khí hóa:

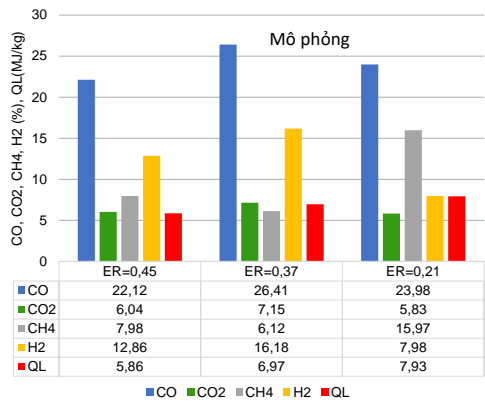
$$Q_f = Q_s - Q_a \tag{5}$$

Khi có Q<sub>f</sub> và Q<sub>a</sub>, tính được hệ số không khí dư ER ứng với mỗi trường hợp thí nghiệm.

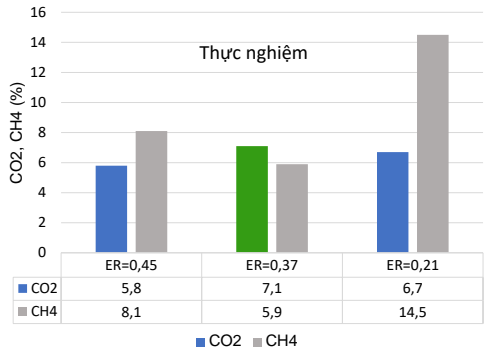
Hình 11 so sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm phân tích CH<sub>4</sub> và CO<sub>2</sub> trong syngas khí hóa RDF chất thải rắn sinh hoạt ứng với 3 hệ số không khí dư khác nhau từ nhạt

đến đậm. Trong cả 3 trường hợp, chênh lệch nồng độ CO<sub>2</sub> giữa thực nghiệm và mô phỏng không quá 14% còn sai lệch nồng độ CH<sub>4</sub> giữa thực nghiệm và mô phỏng không quá 10%.

**- So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm**



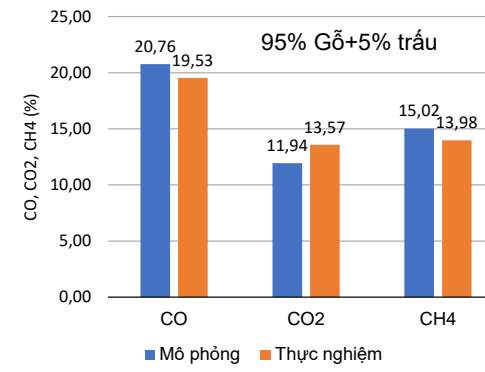
(a)



(b)

**Hình 11.** So sánh kết quả mô phỏng (a) và thực nghiệm (b) khi khí hóa RDF chất thải rắn sinh hoạt với các hệ số không khí dư ER khác nhau

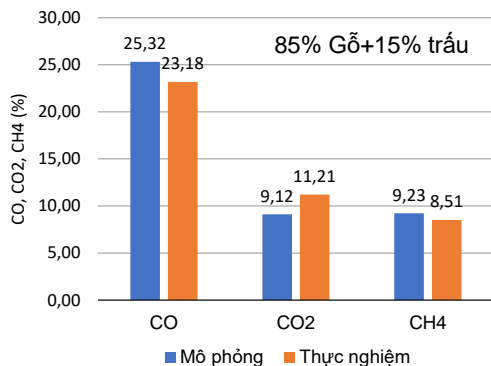
Hình 12 so sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm thành phần các chất CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> trong syngas từ khí hóa hỗn hợp RDF 95% gỗ+5% trấu với lưu lượng syngas 2g/s và hệ số tương đương φ=0,5.



**Hình 12.** So sánh nồng độ CO, CO<sub>2</sub> và CH<sub>4</sub> cho bởi mô phỏng và thực nghiệm khi khí hóa RDF 95% gỗ+5% trấu với lưu lượng syngas 2g/s và thành phần hỗn hợp f=0,5

Các giá trị nồng độ CO và CH<sub>4</sub> cho bởi thực nghiệm thấp hơn giá trị mô phỏng còn nồng độ CO<sub>2</sub> cho bởi thực nghiệm lớn hơn mô phỏng. Trong trường hợp này, chênh lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm nằm trong khoảng 10% đối với CO và CH<sub>4</sub> và khoảng 15% đối với CO<sub>2</sub>.

Hình 13 so sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm khi khí hóa hỗn hợp RDF 85% gỗ+15% trấu trong cùng điều kiện như trường hợp khí hóa RDF gỗ. Chênh lệch giữa giá trị mô phỏng và thực nghiệm về nồng độ các chất CO, CO<sub>2</sub> và CH<sub>4</sub> trong syngas trong trường hợp này cũng tương tự như trong trường hợp khí hóa gỗ.



**Hình 13.** So sánh nồng độ CO, CO<sub>2</sub> và CH<sub>4</sub> cho bởi mô phỏng và thực nghiệm khi khí hóa RDF 85% gỗ+15% trấu với lưu lượng syngas 2g/s và thành phần hỗn hợp  $f=0,5$

Trong cả hai trường hợp, hàm lượng CO, CH<sub>4</sub> trong syngas cho bởi thực nghiệm nhỏ hơn giá trị mô phỏng còn hàm lượng CO<sub>2</sub> thì cao hơn. Điều này có thể được giải thích do quá trình hoàn nguyên trong thực tế không diễn ra lý tưởng như trong mô phỏng do đó lượng CO<sub>2</sub> còn lại trong syngas lớn hơn giá trị tính toán.

#### 4. Kết luận

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

- Cùng hệ số không khí dư, khi  $Q_a/Q_f$  của nhiên liệu giảm thì khả năng cháy hoàn toàn giảm và khả năng hoàn nguyên tăng nên hàm lượng CO<sub>2</sub> giảm còn hàm lượng CO tăng. Hàm lượng các chất CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> trong syngas chỉ thay đổi nhẹ theo thành phần nhiên liệu. Nhiệt của syngas khi khí hóa RDF chất thải rắn sinh hoạt, sinh khối, gỗ và trấu với cùng hệ số không khí dư ER=0,35 lần lượt là 5,5; 6; 8,5 và 9 MJ/kg.

- Khi khí hóa sọ dừa, nếu giảm hệ số không khí dư ER thì hàm lượng CH<sub>4</sub> trong syngas tăng còn hàm lượng H<sub>2</sub> giảm. Nhiệt trị nhiên liệu tăng nhanh khi giảm ER từ 0,9 đến 0,4. Nếu tiếp tục giảm ER thì nhiệt trị syngas hầu như thay đổi không đáng kể do giảm H<sub>2</sub> và tăng CO<sub>2</sub>. Vì vậy, để đảm bảo hiệu quả khí hóa sọ dừa thì ER nằm trong khoảng 0,3 đến 0,4.

- Khi tỉ lệ RDF trấu trong hỗn hợp với gỗ tăng thì thành phần CH<sub>4</sub> trong syngas giảm rất nhanh theo  $f$  dẫn đến sự sụt giảm mạnh nhiệt trị của nhiên liệu. RDF trấu cho thành phần CO và H<sub>2</sub> cao hơn gỗ nhưng thành phần CH<sub>4</sub> trong syngas RDF gỗ cao hơn trong syngas RDF trấu.

- Chênh lệch nồng độ CO<sub>2</sub> giữa thực nghiệm và mô phỏng không quá 15% còn chênh lệch nồng độ CO, CH<sub>4</sub>

giữa thực nghiệm và mô phỏng không quá 10%. Điều này khẳng định độ tin cậy của mô hình tính toán khí hóa RDF.

**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: NCUD.02-2019.22.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Johari A, Mat R, Alias H, Hashim H, Hassim MH, Zakaria ZY & Rozainee M, "Combustion characteristics of refuse derived fuel (RDF) in a fluidized bed combustor", *Sains Malaysiana*, Vol. 43(1), 2014, pp. 103–109.
- [2] 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*, Vol. 19, No. 2, 2021, pp. 13-17.
- [3] Dinesh Surroop and Romeela Mohee, "power generation from refuse derived fuel", *2011 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications*
- [4] U. Arena, "Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review", *Waste Management*, vol. 32, April 2012, pp. 625- 639.
- [5] H. A. Arafat and K. Jijakli, "Modeling and comparative assessment of municipal solid waste gasification for energy production", *Waste Management*, vol. 33, August 2013, pp. 1704-1713.
- [6] Yohanes Andre Situmorang, Zhongkai Zhao, Akihiro Yoshida et al., "Small-scale biomass gasification systems for power generation (<200 kW lass): A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 2020, 109486. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109486>.
- [7] Evans, R.J., Knight, R.A., Onischak, M., Babu, S.P., "Development of Biomass Gasification to produce Substitute Fuels". *Richland, WA Pacific Northwest Laboratory, PNL-6518*.
- [8] Bingyan, X., Chuangzhi, W., Zhengfen, L., Xiguang, Z., "Kinetic study of biomass gasification", *Solar Energy*, 49, 1992, 199–204.
- [9] Narváez I., Orio A., Aznar M.P., Corela, J., "Biomass gasification with air in an atmospheric bubbling fluidized bed. Effect of six operational variables on the quality of produced raw gas", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 35, 1996: 2110–2120.
- [10] Devi, L., Ptasinski, K.J., and Janssen, F.J.J.G., "A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes", *Biomass and Bioenergy*; 24, 2003, 125–140.
- [11] 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* 2005; 219(3), 423–38. DOI:10.1243/095440705X6596.
- [12] Bùi Văn Ga, Nguyễn Văn Đông, Trương Lê Bích Trâm, Huỳnh Ngọc Thành, "So sánh hiệu quả khí hóa các loại chất thải rắn trong sản xuất nông nghiệp", *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, năm 2022, pp. 135-147.
- [13] Phùng Minh Tùng, Bùi Văn Ga, Trần Thanh Sơn, Hồ Trần Anh Ngọc, "Ảnh hưởng của vị trí cấp khí trên lò khí hóa đến thành phần và nhiệt trị của khí tổng hợp/Effect of air supply location of a gasifier on composition and heating value of syngas", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, Vol. 20, No. 10.2, 2022.
- [14] Bùi Văn Ga, Bùi Thị Minh Tú, Trần Thanh Hải Tùng, Phạm Đình Long, "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, năm 2022, pp. 120-134.