

MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH CHÁY ĐỘNG CƠ VIKYNO RV125-2 SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU KÉP CNG-DIESEL BẰNG PHẦN MỀM FLUENT

SIMULATION OF ENGINE COMBUSTION OF VIKYNO RV125-2 USING DUAL FUEL CNG-DIESEL WITH FLUENT SOFTWARE

Trần Thanh Hải Tùng¹, Huỳnh Phước Sơn², Nguyễn Đình Quý²

¹Đại học Đà Nẵng; haitungdng@gmail.com

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh; sonhp@hcmute.edu.vn; ndquybkc4@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu tính toán mô phỏng quá trình cháy động cơ Vikyno RV125-2 sử dụng nhiên liệu kép CNG-Diesel bằng phần mềm FLUENT 6.3. Kinh nghiệm mô phỏng này có thể được áp dụng trên các loại động cơ diesel khác khi chuyển đổi thành động cơ nhiên liệu kép CNG-diesel. Kết quả mô phỏng đã chỉ ra được sự biến thiên các thông số áp suất, nhiệt độ, nồng độ CH₄, O₂, CO trong quá trình cháy. Kết quả này giúp cho việc định hướng thiết kế, chế tạo hệ thống điều khiển cung cấp nhiên liệu kép CNG-diesel trên mô hình thực nghiệm. Nghiên cứu này cũng có ý nghĩa cho phép giảm bớt các thử nghiệm phức tạp, giảm chi phí cũng như tiết kiệm thời gian thử nghiệm. Kết quả so sánh với thực nghiệm cho thấy sự phù hợp giữa mô phỏng và thực nghiệm khẳng định tính chính xác và khoa học trong nghiên cứu.

Từ khóa - động cơ Vikyno RV125-2; khí thiên nhiên nén (CNG); nhiên liệu kép CNG-diesel; hệ thống common rail; Fluent.

Abstract - This paper presents the results of computational studies simulating combustion of engine Vikyno RV125-2 using CNG-diesel dual fuel with FLUENT 6.3 software. This simulation experience can be applied on all kinds of other diesel engines converted to dual-fuel CNG-diesel. The simulation results have shown the variation of the parameters of pressure, temperature, concentration of CH₄, O₂, CO during combustion. This result helps to orient the design and manufacturing control system to provide dual-fuel CNG-diesel in experimental models. This study also allows significant reduction in test complexity, reduces costs and save trial time. The results compared with experiments show that the agreement between simulation and experiment confirms the accuracy and scientific research.

Key words - Vikyno RV125-2; CNG; dual fuel CNG-diesel; CRDi; Fluent.

1. Đặt vấn đề

Khí thiên nhiên nén (CNG - Compressed Natural Gas) được đánh giá là nguồn nhiên liệu sạch, có trữ lượng lớn và có thể được sử dụng thay thế cho các nhiên liệu truyền thống (xăng và dầu diesel) trên các động cơ đốt trong. Trong đó, hướng nghiên cứu sử dụng nhiên liệu kép trên các động cơ hiện có được xem là có tính khả thi nhằm góp phần giảm tải nguồn nhiên liệu truyền thống và hạn chế ô nhiễm môi trường [4]. Động cơ Vikyno RV125-2 là động cơ diesel tĩnh tại 1 xi lanh được cải tạo từ hệ thống nhiên liệu diesel cơ khí thông thường thành hệ thống sử dụng nhiên liệu kép CNG-Diesel điều khiển bằng điện tử (CRDI - Common Rail Diesel Injection). Trong hệ thống nhiên liệu này CNG được phun trên đường nạp, diesel được phun trực tiếp vào buồng cháy với vai trò là tia lửa môi [3].

Động cơ dual fuel CNG-diesel khi vận hành cần một lượng nhiên liệu diesel phun mỗi tối thiểu để đánh lửa và làm mát vòi phun, cho phép giảm lượng diesel tiêu thụ so với động cơ nguyên thủy. Bên cạnh đó, chúng ta có thêm một phương án điều chỉnh công suất động cơ khi làm việc với CNG nghèo. Do lượng không khí dư của động cơ diesel lớn, nên khi chuyển sang làm việc chế độ dual fuel, hệ số tương đương của hỗn hợp có thể lớn hơn khi làm việc với nhiên liệu diesel. Điều này dẫn đến công suất động cơ dual fuel có thể lớn hơn công suất của động cơ này khi chạy hoàn toàn bằng diesel [4].

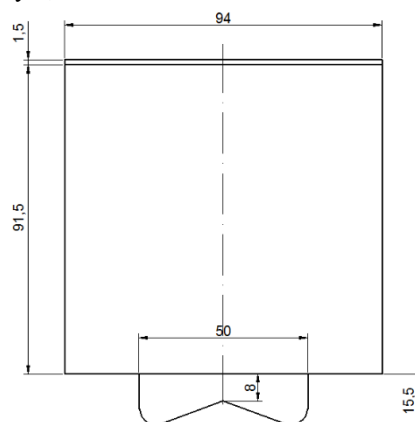
2. Phương pháp xây dựng mô hình mô phỏng

2.1. Thiết lập mô hình trên Gambit

2.1.1. Kích thước hình học của mô hình

Hình 1 giới thiệu sơ đồ kích thước xi lanh và buồng cháy động cơ Vikyno RV125-2. Động cơ có đường kính xi lanh 94 mm, hành trình piston 90 mm. Buồng cháy có dạng

omega. Điểm đánh lửa nằm trên trục xilanh, cách đỉnh buồng cháy 1,5 mm.



Hình 1. Sơ đồ xi lanh và buồng cháy động cơ

Phần mềm động học chất lỏng FLUENT bao quát trong một phạm vi rất rộng. Trong nội dung của nghiên cứu này, tác giả ứng dụng để xử lý bài toán về tính toán chu trình công tác động cơ đốt trong, bao gồm các công việc sau đây [5], [6]:

- Thiết kế 3D không gian tính toán, chia lưới và xác lập điều kiện biên;
- Áp dụng kỹ thuật lưới động để mô tả sự dịch chuyển của piston;
- Xây dựng mô hình cháy và thành phần nhiên liệu;
- Đặt điều kiện ban đầu và chạy chương trình;
- Kỹ thuật xử lý dữ liệu tính toán.

2.1.2. Phương pháp chia lưới mô hình

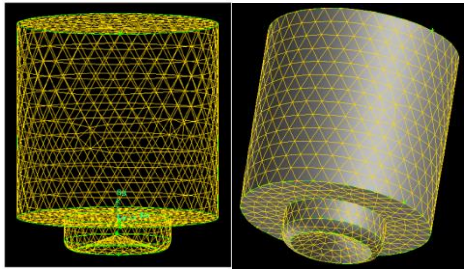
Chia lưới thực chất là quá trình xác định vị trí của các điểm sẽ tiến hành giải các phương trình cơ học chất lưu.

Một bài toán có thể giải chính xác hay không, phụ thuộc vào việc rời rạc hoá nó có phù hợp không. Việc phù hợp ở đây gồm: tạo số điểm chia hợp lý với từng yêu cầu bài toán, không bỏ sót tại các vùng nhạy cảm. Việc tạo lưới đóng vai trò then chốt trong độ chính xác của kết quả thu được khi giải trong phần mềm FLUENT [4], [5].

Tiến hành vẽ mô hình buồng cháy và xi lanh động cơ Vikyno RV125-2, chia lưới không gian tính toán trong đó mật độ lưới buồng cháy dày hơn lưới xi lanh (Hình 2). Sau đó kiểm tra chất lượng lưới và xác lập điều kiện biên cho mô hình (Hình 3).

Lưu ý:

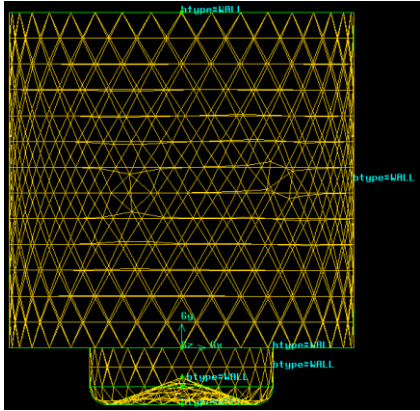
- Khi chia lưới, cần chọn khoảng cách lưới phù hợp để không xuất hiện phần tử xấu, nếu có phần tử xấu (thể tích âm hay Skewness > 0,97 chương trình sẽ không chạy được).
- Do buồng cháy có dạng omega phức tạp, nên nếu ta chọn mật độ lưới của toàn thể tích là như nhau thì chương trình cũng sẽ không chạy được.



Hình 2. Kết quả chia lưới mô hình ở dạng 3D

Xác lập điều kiện biên cho mô hình với quy ước tên gọi các biên như sau:

- culasse: nắp máy;
- xilanh: mặt trụ xi lanh;
- pis_xuyen: phần hình xuyến của piston;
- pis_tru: phần hình trụ của piston;
- pis_phang: phần đỉnh bằng của pis_ton.



Hình 3. Xác lập điều kiện biên cho mô hình

2.2. Tính toán mô phỏng với phần mềm Fluent

2.2.1. Cài đặt các thông số cho mô hình

a. Chọn phương pháp giải (Solver)

- Solver Type: Pressure Based.
- Velocity Formulation: Absolute.
- Time: Unsteady.

b. Chọn và thiết lập các mô hình toán

Mô hình độ nhớt rối k-ε: là mô hình đơn giản có thể áp dụng với hầu hết các bài toán thông thường với độ chính xác khá tốt.

Kích hoạt phương trình năng lượng (Energy).

Chọn mô hình cháy và tạo bảng thành phần nhiên liệu:

- Chọn mô hình cháy:
 - + Partially Premixed Combustion (Cháy hòa trộn trước cục bộ);
 - + Thiết lập mô hình đánh lửa dual-fuel: Chọn hình dạng tia lửa (Shape): Hình trụ; Góc đánh lửa sớm (Start time); Năng lượng tia lửa (Energy); Thời gian đánh lửa (Duration); Thời gian tiêu tán (Diffusion time).

- Tạo bảng thành phần nhiên liệu PDF với hai luồng là CNG và không khí được xác định thông qua hệ số tỉ lệ hỗn hợp (mixture fraction). Do hàm lượng CH₄ trong CNG lên đến 96,5%, nên trong nghiên cứu này giả định CNG chứa 100% CH₄.

c. Chọn vật liệu Materials: là hỗn hợp PDF Table vừa tạo ra ở trên.

d. Thiết lập lưới động Dynamic Mesh

- Mesh Methods: Chọn và thiết lập các thẻ Smoothing, Layering, Remeshing.
- Thiết lập tùy chọn In-Cylinder:
 - + Crank Shaft Speed (rpm): Tốc độ động cơ mô phỏng.
 - + Starting Crank Angle (deg): Vị trí góc trục khuỷu bắt đầu.
 - + Crank Angle Step Size (deg): Bước góc trục khuỷu.
 - + Crank Radius (mm): Hành trình piston.
 - + Connecting Rod Length (mm): Chiều dài thanh truyền.

2.2.2. Chạy chương trình tính toán và xử lý kết quả

- Điều chỉnh các thông số theo dõi quá trình tính toán và hội tụ.
- Khởi động bộ thông số ban đầu.
- Thiết lập các thủ tục quay phim diễn biến theo thời gian của các biến.
- Chọn bước thời gian và bước lặp tính toán.
- Tiến hành tính toán và xử lý kết quả tính toán.

Bảng 1. Các thông số tiêu biểu của mô hình mô phỏng

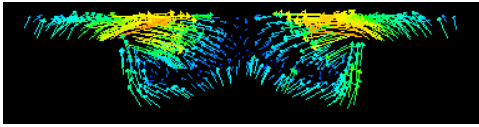
STT	Thông số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Đường kính xi-lanh	D	94	mm
2	Hành trình piston	S	90	mm
3	Chiều dài thanh truyền	l	145	mm
4	Số vòng quay định mức	n	2200	v/p
5	Năng lượng phun môi	E _{nl}	143	J
6	Góc phun sớm	φ _s	20	Độ
7	Thành phần hỗn hợp	f	0,054	
8	Nhiệt độ cuối quá trình nạp	T	380	độ K

3. Kết quả mô phỏng

3.1. Phân tích các thông số

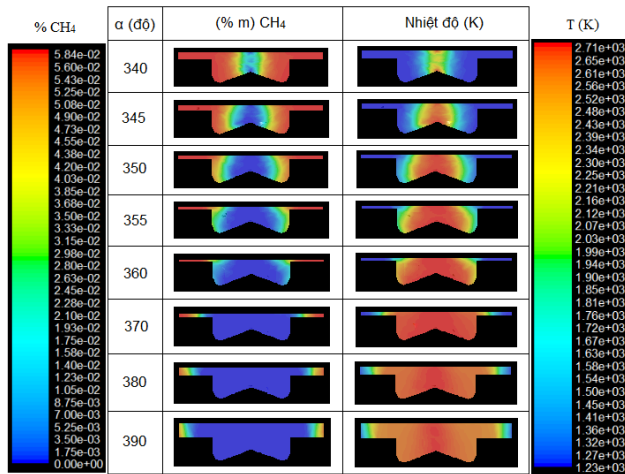
Kết quả mô phỏng quá trình cháy động cơ nhiên liệu

kép CNG-diesel ở điều kiện hoạt động theo Bảng 1 được phân tích như sau:



Hình 4. Trường tốc độ của hỗn hợp trong buồng cháy động cơ Vikyno RV125-2 ở vị trí 338° ($n=2200$ v/p; $\varphi_s=20^\circ$; $\phi=1$)

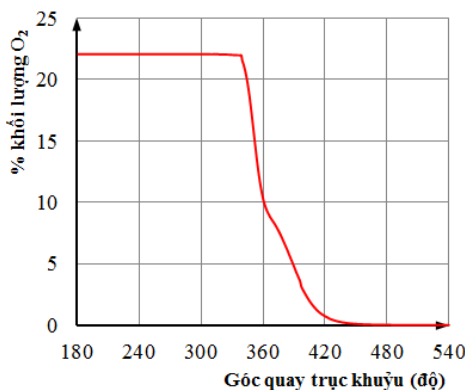
Hình 4 thể hiện trường tốc độ của hỗn hợp dưới dạng véc tơ trong buồng cháy ở gần cuối quá trình nén. Do buồng cháy dạng omega, vận động xoáy lốc của dòng khí rất mạnh. Điều này giúp cho hỗn hợp CNG–không khí cháy tốt với tia phun môi Diesel.



Hình 5. Diễn biến nồng độ CH₄ và nhiệt độ trong buồng cháy động cơ Vikyno RV125-2 ($n = 2200$ vòng/phút; $\varphi_s = 20^\circ$; $\phi = 1$)

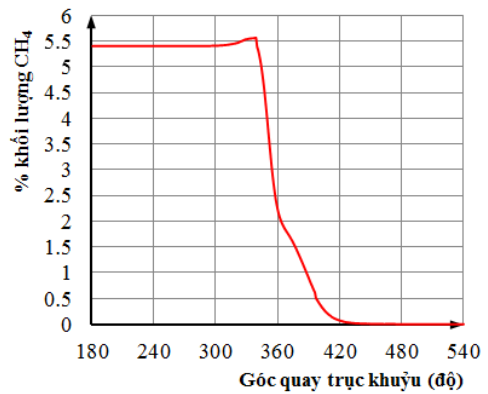
Hình 5 thể hiện biến thiên của hai thông số tiêu biểu trong quá trình cháy là nồng độ khối lượng CH₄ và nhiệt độ.

Kết quả tính toán mô phỏng cho thấy màng lửa có dạng hình trụ, lan dần từ vị trí đánh lửa đến khu vực xa nhất của buồng cháy. Do buồng cháy có dạng omega nên cuối quá trình cháy vẫn còn một bộ phận hỗn hợp ở khu vực xa trục buồng cháy nằm dọc thành xi lanh chưa cháy hết. Tuy nhiên, do vận động xoáy lốc mạnh của hỗn hợp trong buồng cháy, nên màng lửa lan tràn rất nhanh.



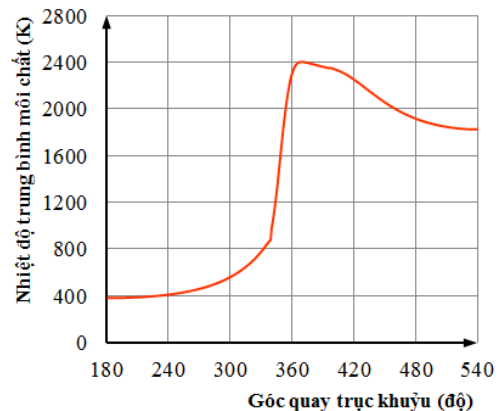
Hình 6. Biến thiên nồng độ O₂ ($n=2200$ v/p; $\varphi_s = 20^\circ$; $\phi = 1$)

Kết quả đó cũng cho thấy khả năng xoáy lốc có sẵn trong động cơ diesel nguyên thủy làm tăng tốc độ cháy, khi chuyển sang chạy bằng nhiên liệu kép CNG-Diesel.

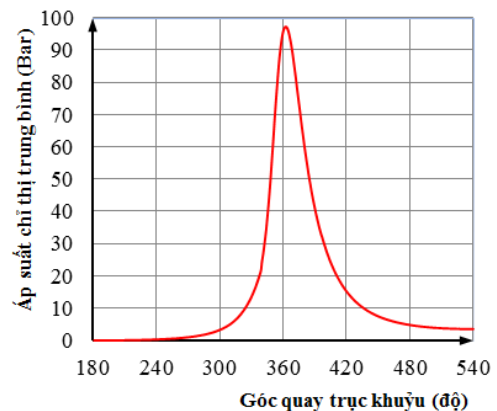


Hình 7. Biến thiên nồng độ CH₄ ($n=2200$ v/p; $\varphi_s = 20^\circ$; $\phi = 1$)

Tốc độ tiêu thụ hỗn hợp thể hiện qua tốc độ giảm nồng độ O₂ và CH₄ trong quá trình cháy. Hình 6 và 7 giới thiệu biến thiên nồng độ của chất oxy hóa và nhiên liệu khi động cơ chạy ở tốc độ 2200 vòng/phút. Đường cong càng dốc thì tốc độ tiêu thụ hỗn hợp càng cao. Kết quả này cho thấy tốc độ tiêu thụ hỗn hợp của động cơ khá cao. Điều này dẫn đến tốc độ tỏa nhiệt trong buồng cháy cao làm cho nhiệt độ cực đại của môi chất trong buồng cháy lớn [1] (Hình 8).

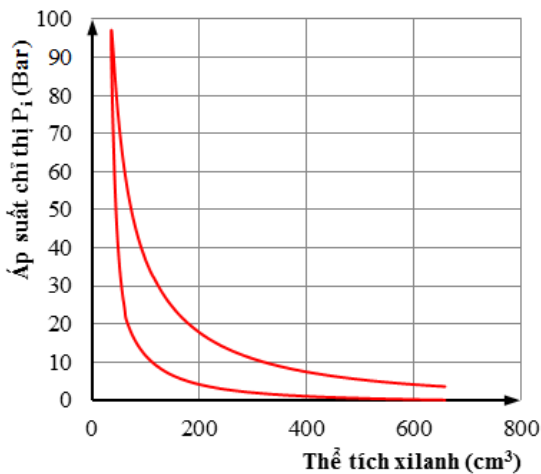


Hình 8. Biến thiên nhiệt độ trung bình ($n=2200$ v/p; $\varphi_s = 20^\circ$; $\phi = 1$)

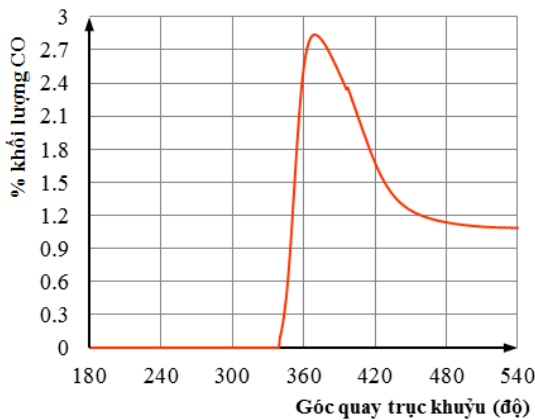


Hình 9. Biến thiên áp suất chỉ thị ($n=2200$ v/p; $\varphi_s = 20^\circ$; $\phi = 1$)

Do tốc độ tỏa nhiệt và nhiệt độ tăng cao, nên áp suất cực đại trong buồng cháy cao [2] (Hình 9). Điều này dẫn đến áp suất trên đường giãn nở của động cơ cao, do đó công chỉ thị của chu trình được tính trên diện tích đồ thị công sẽ lớn, trong trường hợp này tính được $W_i=1235J$ (theo công thức 1).



Hình 10. Đồ thị công chỉ thị ($n=2200$ v/p; $\varphi_s = 20^\circ$; $\phi = 1$)



Hình 11. Sự hình thành nồng độ CO
($n=2200$ v/p; $\varphi_s = 20^\circ$; $\phi = 1$)

Hình 10 giới thiệu đồ thị công chỉ thị tương ứng với đồ thị áp suất chỉ thị ở Hình 9. Các đồ thị này giúp ta tính toán được công chỉ thị chu trình thể hiện bằng diện tích giới hạn giữa đường nén và đường giãn nở. Ở đây không thể hiện phần công “bơm” giới hạn giữa đường nạp và đường thải. Phần công này sẽ được tính chung vào hiệu suất cơ giới.

Sự phát sinh CO trong quá trình cháy động cơ nhiên liệu kép bắt đầu khi có tia lửa trong buồng cháy, tùy theo độ đậm đặc hỗn hợp mà lượng CO sinh ra trong quá trình cháy nhiều hay ít [1]. Từ Hình 11 ta nhận thấy hàm lượng CO tạo ra trong quá trình cháy CNG-Diesel là rất nhỏ.

3.2. Thực nghiệm đo công suất động cơ

Sau khi có kết quả mô phỏng tiến hành so sánh với kết quả đã thực nghiệm tại phòng nghiên cứu và phát triển Công ty VIKYNO nhằm mục đích đánh giá kết quả nghiên cứu mô hình hóa với kết quả thực nghiệm.

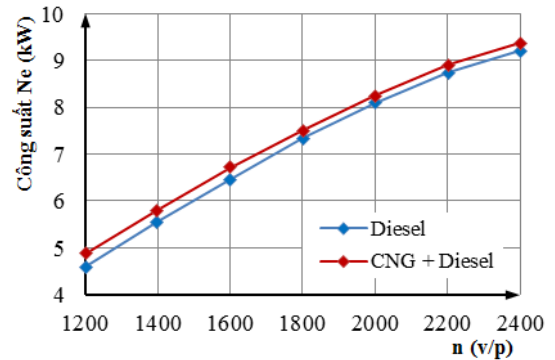
Giá trị đặc tính ngoài của động cơ Vikyno RV125-2 sử dụng nhiên liệu kép CNG-Diesel đo bằng thực nghiệm được thể hiện trong Bảng 2 [5].

Bảng 2. Giá trị đặc tính ngoài của động cơ Vikyno RV125-2[5]

n (v/p)	Diesel		CNG – Diesel	
	Me (N.m)	Ne (kW)	Me (N.m)	Ne (kW)
1200	36,61	4,6	38,75	4,87
1400	37,88	5,55	39,63	5,81

1600	38,65	6,47	40,12	6,72
1800	38,9	7,33	39,8	7,50
2000	38,65	8,09	39,43	8,26
2200	37,88	8,73	38,65	8,90
2400	36,61	9,2	37,27	9,37

Kết quả thử nghiệm cho thấy, khi động cơ Vikyno RV125-2 chạy nhiên liệu kép có các kết quả công suất cực đại được bảo toàn như trường hợp sử dụng hoàn toàn diesel (9,37/9,2 kW).



Hình 12. Biểu đồ công suất động cơ [4]

3.3. So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm

Trong nghiên cứu này tác giả chỉ dựa vào kết quả đo công suất động cơ thông qua mô men và tốc độ, không đo áp suất chỉ thị trong buồng cháy. Vì vậy, so sánh kết quả cho bởi mô phỏng và thực nghiệm chỉ được thực hiện đối với công suất có ích của động cơ.

Công suất có ích cho bởi mô phỏng được tính toán dựa trên đồ thị công chỉ thị và hiệu suất cơ giới. Công chỉ thị chu trình W_i được tính theo biểu thức [2]:

$$W_i = - \int_{180^\circ}^{540^\circ} p dV (J) \quad (1)$$

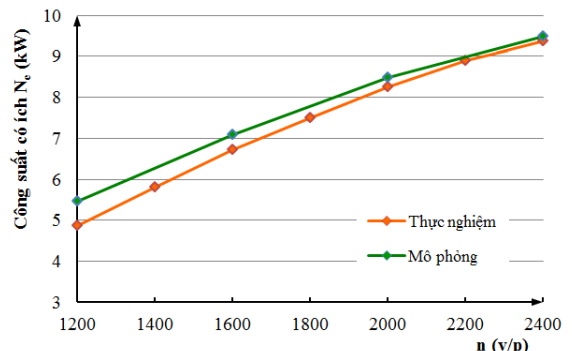
Công suất chỉ thị N_i của động cơ:

$$N_i = W_i \cdot \frac{n}{120} (W) \quad (2)$$

Công suất có ích của động cơ:

$$N_e = N_i \cdot \eta_m (W) \quad (3)$$

Trong đó η_m là hiệu suất cơ giới. Hiệu suất cơ giới bao gồm tổn thất công do phần công bơm (giữa đường thải và đường nạp) gây ra và hiệu suất truyền động từ piston đến băng thử. Trong tính toán công suất có ích chọn $\eta_m = 0,73$ [2].



Hình 13. So sánh công suất giữa mô phỏng và thực nghiệm
($\varphi_s = 20^\circ$; $\phi = 1$)

Từ kết quả so sánh cho thấy, qui luật biến thiên đường đặc tính công suất có ích theo tốc độ động cơ cho bởi mô hình phù hợp với thực nghiệm. Kết quả mô phỏng cho giá trị công suất lớn hơn kết quả thực nghiệm. Ở khu vực tốc độ thấp, sự khác biệt lớn nhất khoảng 10% tại vị trí 1200 v/p. Nhưng ở khu vực tốc độ định mức, công suất cho bởi tính toán mô phỏng chỉ lớn hơn công suất cho bởi thực nghiệm khoảng $2 \div 4 \%$.

4. Kết luận

Từ kết quả tính toán mô phỏng quá trình cháy nhiên liệu kép CNG-diesel bằng phần mềm tính toán động lực học thủy khí FLUENT 6.3 trên đây cho phép rút ra một số kết luận:

Có thể thiết lập mô hình tính toán mô phỏng quá trình cháy động cơ nhiên liệu kép CNG-Diesel dựa trên phần mềm tính toán động lực học thủy khí FLUENT 6.3 với mô hình rối k- ϵ tiêu chuẩn, mô hình quá trình cháy hòa trộn trước cục bộ. Tia phun môi có thể chọn gần đúng theo dạng hình trụ với năng lượng đánh lửa bằng năng lượng do tia phun diesel cung cấp. Thành phần nhiên liệu và đặc trưng nhiệt động học của hỗn hợp được thiết lập và lưu trữ dưới dạng file PDF đã được tính toán trước theo nhiệt độ và áp suất để truy xuất nhanh trong quá trình tính toán nhằm rút ngắn thời gian tính.

Kết quả mô phỏng đã chỉ ra được các diễn biến về trường nhiệt độ, áp suất, biến thiên nồng độ O_2 và CH_4 trong buồng cháy, công chỉ thị của động cơ khi sử dụng nhiên liệu kép CNG-diesel. Ở chế độ tiêu biểu, khi động cơ hoạt động ở tốc độ ổn định $n=2200$ v/p (*góc phun sớm dầu diesel $\phi_s = 20$; hệ số tương đương độ đậm đặc $\phi = 1$*) cho thấy các thông số trong quá trình cháy của động cơ diễn ra phù hợp cả về quy luật và giá trị.

Kết quả tính toán trên mô hình mô phỏng bằng phần mềm Fluent cho thấy nồng độ O_2 và CH_4 ở cuối quá trình cháy giảm nhanh, gần như cháy sạch hoàn toàn, cùng với đó là mức độ phát thải CO giảm $< 1,1\%$ khối lượng. Điều này cho thấy CNG là nguồn nhiên liệu sạch, có ý nghĩa và ảnh hưởng lớn trong việc sử dụng làm nguồn nhiên liệu thay thế cho các động cơ nhiệt, góp phần giảm thiểu ô

nhiễm môi trường.

Công suất có ích của động cơ xác định dựa trên kết quả mô phỏng so sánh với kết quả thực nghiệm là phù hợp, điều này cho thấy động cơ Vikyno RV125-2 khi chuyển sang sử dụng nhiên liệu kép CNG-diesel công suất của động cơ được bảo toàn.

Kết quả nghiên cứu mô phỏng có thể định hướng cho công việc thiết kế, chế tạo hệ thống điều khiển cung cấp nhiên liệu kép CNG-diesel trên mô hình thực nghiệm. Sự phù hợp giữa mô phỏng và thực nghiệm đã khẳng định tính chính xác và khoa học trong nghiên cứu.

Thực tế nghiên cứu cho thấy triển vọng ứng dụng CNG trên động cơ nhiệt là rất lớn, cần được quan tâm và phát triển nhằm góp phần giảm tải nguồn nhiên liệu truyền thống, tiết kiệm nhiên liệu và giảm thiểu nguồn phát thải gây ô nhiễm môi trường. Từ việc mô phỏng quá trình cháy động cơ Vikyno RV125-2 sử dụng hệ thống nhiên liệu kép, ta có thể mở rộng để nghiên cứu các động cơ khác khi sử dụng nhiên liệu kép.

Ngoài ra, để có thể so sánh chính xác hơn kết quả mô phỏng và thực nghiệm, áp suất chỉ thị trong xi lanh động cơ cần được tiến hành đo bằng thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Văn Ga, *Quá trình cháy trong Động cơ đốt trong*, NXB KHK 1997.
- [2] Nguyễn Tất Tiến, *Nguyên lý động cơ đốt trong*, Nhà xuất bản Giáo dục, 2000.
- [3] Trần Thanh Hải Tùng, Đỗ Văn Dũng, Huỳnh Phước Sơn, Nguyễn Văn Long Giang, Thái Huy Phát, Nghiên cứu, lắp đặt hệ thống cung cấp nhiên liệu kép CNG-diesel trên động cơ Vikyno RV125-2, *Tuyển tập công trình Hội nghị Khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc*, 2013.
- [4] Bùi Văn Ga, Trần Văn Nam, Lê Xuân Thạch, Lê Minh Tiến, Trương Lê Bích Trâm, Trần Thanh Hải Tùng, Nguyễn Thị Thanh Xuân, *Động cơ biogas*, NXB Giáo dục Việt Nam, 2013.
- [5] Trần Thanh Hải Tùng, Đỗ Văn Dũng, Huỳnh Phước Sơn, Thực nghiệm đánh giá công suất và mức độ phát thải của động cơ Vikyno RV125 sử dụng nhiên liệu kép CNG-diesel, *Báo cáo tại Hội nghị Khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc*, 2014.
- [6] Ansys, FLUENT 6.3 User's Guide, Fluent.Inc. 2006.
- [7] Ansys, GAMBIT 2.4 - Tutorial's Guide. 2007.

(BBT nhận bài: 07/05/2015, phản biện xong: 14/05/2015)