

The Effect of Injector on Diesel Engine Characteristics Used Common-Rail System

Dinh Tan Ngoc*, Huynh Quoc Viet, Chau Quang Hai

Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam

* Corresponding author. Email: ngocdt@hcmute.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 23/12/2021
Revised: 19/1/2022
Accepted: 15/3/2022
Published: 28/4/2022

KEYWORDS

Nozzle diameter;
Power;
Simulation;
AVL – FIRE;
2KD-FTV.

ABSTRACT

Nowadays, Diesel engines are so popular, especially in the field of transportation and marine. It has also improved over the generations, from a mechanical control system to an electronic control system. The Common-rail fuel system is considered the best development system on Diesel engines today. The injection pressure is very high, however, to increase power, reduce consumption and emission, further improvement is necessary. In this research, AVL - FIRE software was used to studying the effect of injectors to combustion chamber, the injection hole diameter related to: power, torque as well as exhaust gas on Diesel engine (Toyota Hiace 2KD-FTV).

The results show that with $d=0.16\text{mm}$, the best power, low fuel consumption but high emissions, with $d=0.2\text{mm}$, the lowest emission. The results of this research improve fuel injectors and Diesel engine performance.

Nghiên Cứu Sự Ảnh Hưởng Của Kim Phun Đến Đặc Tính Động Cơ Diesel Sử Dụng Hệ Thống Nhiên Liệu Common-rail

Dinh Tân Ngọc*, Huỳnh Quốc Việt, Châu Quang Hải

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

* Tác giả liên hệ. Email: ngocdt@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 23/12/2021
Ngày hoàn thiện: 19/1/2022
Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2022
Ngày đăng: 28/4/2022

TỪ KHÓA

Đường kính lỗ tia;
Công suất;
Mô phỏng;
AVL-Fire;
2KD-FTV.

TÓM TẮT

Động cơ Diesel vẫn còn được sử dụng khá nhiều đặc biệt là trong lĩnh vực vận tải và hàng hải. Nó cũng đã cải tiến qua nhiều thế hệ, từ hệ thống điều khiển bằng cơ khí qua hệ thống điều khiển bằng điện tử. Hệ thống cung cấp nhiên liệu Common-rail được xem là sự phát triển cao nhất hiện nay trên động cơ Diesel. Mặc dù áp suất phun rất cao, dẫn đến công suất tăng lên, giảm suất tiêu hao nhiên liệu và giảm ô nhiễm môi trường. Tuy nhiên vẫn còn cần thiết để cải tiến thêm cho tối ưu. Trong bài báo này tác giả dùng phần mềm AVL – FIRE để nghiên cứu sự ảnh hưởng của kim phun nhiên liệu trong buồng đốt, cụ thể là đường kính lỗ tia phun đến: công suất, moment cũng như khí thải trên động cơ Diesel sử dụng hệ thống nhiên liệu Common-rail (động cơ Diesel Toyota Hiace 2KD-FTV).

Kết quả mô phỏng cho ta thấy được với đường kính $d=0,16\text{mm}$ thì công suất và moment tốt nhất và ngược lại với $d=0.2\text{mm}$ cho ra khí thải tốt nhất. Kết quả nghiên cứu trên làm cơ sở tìm ra những biện pháp cải tiến kim phun nhiên liệu, nâng cao hiệu suất và giảm khí thải động cơ Diesel sử dụng hệ thống nhiên liệu Common-rail.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.69.2022.1106>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

Từ khi ra đời đến nay động cơ Diesel không ngừng được cải tiến và phát triển để đáp ứng nhu cầu thị trường. Tuy nhiên vẫn còn tồn đọng một số vấn đề khó khăn trong việc nâng cao được công suất động cơ và giảm lượng khí thải. Để giải quyết vấn đề đó, động cơ Diesel sử dụng hệ thống nhiên liệu Common-

rail ra đời. Động cơ Diesel sử dụng hệ thống nhiên liệu Common-rail đòi hỏi việc nguyên tử hóa nhiên liệu - xảy ra chủ yếu do xâm thực và nhiễu loạn trong vùng lân cận của vòi phun phải thích hợp trong buồng đốt với thời gian cực ngắn. Một số thông số quan trọng bao gồm kích thước lỗ tia phun, xâm thực, độ côn của chum tia, vận tốc nhiên liệu, mật độ không khí mà nhiên liệu được phun vào ảnh hưởng đến việc tăng cường nguyên tử hóa nhiên liệu [1]. Dưới đây là một vài nghiên cứu trong lĩnh vực này:

Nghiên cứu “Đánh giá ảnh hưởng của các thông số làm việc đến công suất và khí thải NO_x của động cơ Diesel Common-rail” của tác giả Phạm Minh Hiếu và cộng sự, đây là một thuật toán mới để đánh giá tác động của tám thông số: (tốc độ, moment, áp suất chỉ thị trung bình (IMEP), áp suất cực đại trong xy-lanh, tỉ lệ không khí - nhiên liệu, thời điểm bắt đầu phun, thời gian phun và suất tiêu hao nhiên liệu có ích (BSFC) đến công suất và khí thải NO_x của động cơ. Kết quả nghiên cứu này rất có ích cho việc tối ưu hóa đặc tính công suất và khí thải của động cơ Diesel [2]. “Nghiên cứu xây dựng mô hình cháy động cơ Diesel Common-rail khi sử dụng Diesel và Biodiesel với một lần phun chính” của tác giả TS. Khổng Văn Nguyên và cộng sự, đã đánh giá chất lượng quá trình cháy trong xy-lanh động cơ Diesel 2.5 TCI-A lắp trên xe Hyundai Starex khi sử dụng Diesel (B0) và Biodiesel B20 [3]. Ngoài ra “Nghiên cứu phương pháp điều khiển cung cấp nhiên liệu trên động cơ Common-rail Diesel sử dụng nhiên liệu kép CNG-Diesel” của tác giả Huỳnh Phước Sơn [4].

Bên cạnh đó còn có một số nghiên cứu ngoài nước: “Research on Effect of Nozzle Structure Parameters on Performance of Common-rail Diesel Engine” của tác giả Zi Lai Luo, Han Bao Chang và Li Min Shao, nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của các thông số cấu tạo kim phun đến đặc tính cháy và phát thải của động cơ Diesel Common-rail áp suất cao [5]. “Effects of Fuel Injection Pressure on CRDI Diesel Engine Performance and Emissions using CCD” của tác giả C. Syed Aalam, C.G. Saravanan. Ảnh hưởng của các thông số phun như áp suất phun và thời gian phun đến hiệu suất [6]. “A Study of Effect of Biodiesel on Common-Rail Injection Nozzle” của tác giả Patamaporn Chaikool, Kemwat Intravised, Prapan Patsin and Teerawat Laonapakul. Nghiên cứu này đã nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng Diesel sinh học trên các kim phun Common-rail [7]. “Reduction of Emissions from Common-rail Diesel Engine using Mahua and Pongamia Methyl Esters” của tác giả C. Syed Aalam. Trong nghiên cứu này, hiệu suất, đặc tính phát thải và cháy của hai hỗn hợp Diesel sinh học khác nhau được sản xuất từ metyl este Mahua và Pongamia được so sánh với nhiên liệu Diesel thông thường [8].

2. Cơ sở lý thuyết

Quá trình hòa trộn hỗn hợp trong lòng xy-lanh là một quá trình rối loạn giữa không khí có áp suất cao và nhiên liệu có động năng lớn ở dạng sương trong thời gian rất ngắn từ 1,6 đến 60 μs. Quá trình cháy và các thông số của quá trình cháy phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng và thời gian chuẩn bị hỗn hợp nhiên liệu.

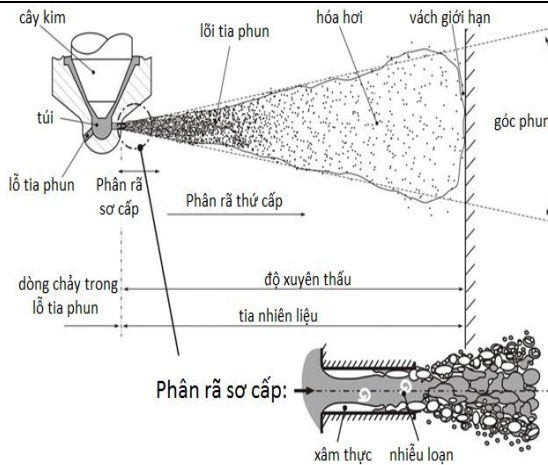
Quá trình phun nhiên liệu ảnh hưởng rất nhiều đến công suất của động cơ, tuy nhiên trong quá trình phun không thể tránh khỏi hiện tượng xâm thực, nó làm giảm hiệu suất phun và làm xói mòn kim phun [9].

Khi nhiên liệu đi vào của lỗ tia phun, sẽ hình thành một vùng áp suất thấp, khi điều này xảy ra tuần hoàn nó sẽ làm giảm diện tích nhiên liệu đi vào, nơi đó được gọi là “vena contracta” (đường kính dòng nhỏ nhất) [9].

Thông lượng khối \dot{m}_f và động lượng \dot{M}_f qua lỗ kim phun có thể được xác định thông qua vận tốc u , mật độ ρ và diện tích dòng A :

$$\dot{m}_f = \int_{A_{geo}} u \cdot \rho \cdot dA \quad (1)$$

$$\dot{M}_f = \int_{A_{geo}} u^2 \cdot \rho \cdot dA \quad (2)$$



Hình 1. Tổng quan về các quá trình xảy ra trong kim phun nhiên liệu [9]

Một hệ số Ca được xác định để liên kết diện tích lỗ tia phun thực tế với diện tích lỗ tia phun toàn phần mà không có lớp biên.

$$C_a = \frac{A \cdot \rho}{A_{geo} \cdot \rho_1} \quad (3)$$

Trong đó A và ρ là các giá trị cho trường hợp thực tế và A_{geo} và ρ_1 là các giá trị lý tưởng không có lớp biên.

Khu vực có diện tích nhỏ nhất (tại "vena Contracta") được đánh dấu là c trong hình 4 theo định nghĩa Nurick [9]. Hệ số co C_c đc xác định như sau:

$$C_c = \frac{A_c}{A_{geo}} \quad (4)$$

Trong đó A_c là diện tích lỗ tia phun tại vị trí c trong hình 4 và A_{geo} là diện tích lỗ tia phun lý thuyết. Vận tốc thực tế hoặc có ích qua lỗ kim phun được xác định bằng cách sử dụng thông lượng khối và động lượng:

$$u_{ef} = \frac{\dot{M}_f}{\dot{m}_f} \quad (5)$$

Vận tốc tổn thất lý thuyết được tính từ phương trình Bernoulli:

$$u_{th} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_1}} \quad (6)$$

Cường độ của xâm thực được gọi là số xâm thực. Điều này có thể được định nghĩa theo nhiều cách. Số xâm thực được định nghĩa theo Nurick là:

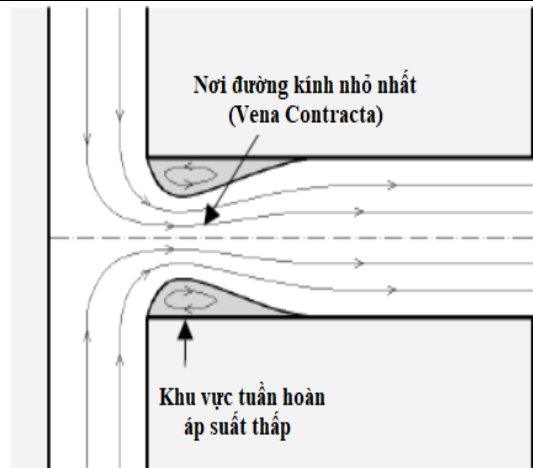
$$K = \frac{P_1 - P_{vapor}}{P_1 - P_2} \quad (7)$$

Trong đó P là áp suất, số 1 là đầu vào lỗ tia phun và 2 là đầu ra lỗ tia phun, P_{vapor} là áp suất hơi của nhiên liệu.

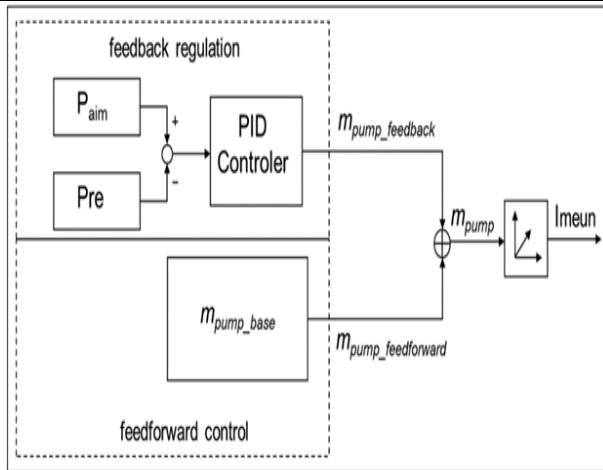
Trong một vòi phun, hệ số phun C_d là tỷ lệ của lưu lượng thực tế với lưu lượng lý thuyết. Hệ số phun C_d được tính bằng các phương trình hiện tượng. Ngoài các điều kiện như lưu lượng dòng chảy, các đặc điểm hình học của lưu lượng vòi phun, thì bán kính đầu vào lỗ tia phun và tỉ lệ chiều dài với đường kính của lỗ vòi phun cũng ảnh hưởng đến hệ số phun C_d . Được xác định thông qua các tham số đầu vào C_1 và C_2 . Bằng cách này, ta có thể ước tính áp suất đầu vào p_1 cho dòng chảy rời như sau:

$$p_1 = p_2 + \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{U_{geo}}{C_d}\right)^2 \quad (8)$$

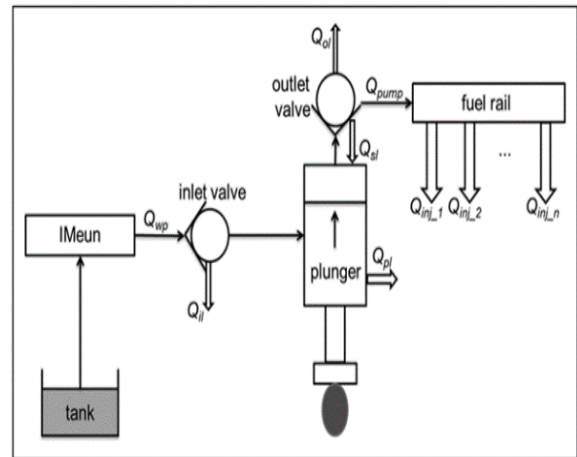
Hệ thống nhiên liệu Common-rail được mô hình hóa. Trong mô hình này, hệ thống nhiên liệu Common-rail đơn giản được coi là hệ thống gộp [10].



Hình 2. Vị trí xảy ra xâm thực trong kim phun nhiên liệu [9]



Hình 3. Điều khiển dự đoán và điều khiển phản hồi [10]



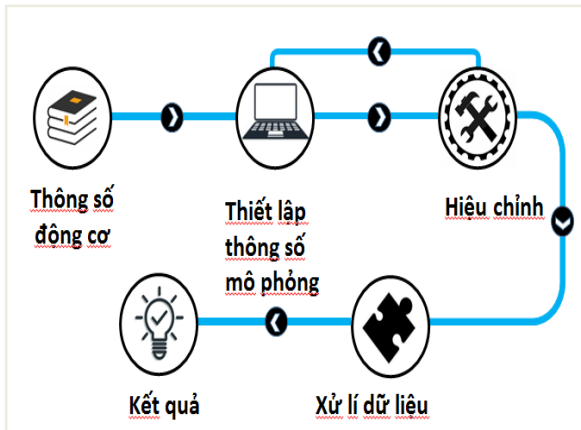
Hình 4. Mô hình đơn giản hóa của hệ thống nhiên liệu Common-rail [10]

Lấy hệ thống Common-rail áp suất cao làm đối tượng nghiên cứu, phân nạp lấy nhiên liệu từ bơm nhiên liệu, phần xả là nhiên liệu từ các kim phun nhiên liệu (bao gồm phun và rò rỉ) và rò rỉ tĩnh của van ra [10].

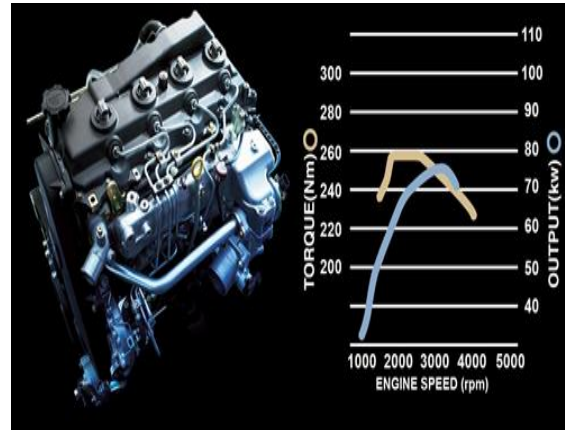
3. Thiết lập mô phỏng

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của đường kính lỗ tia phun đến công suất động cơ Diesel Toyota Hiace 2KD-FTV được thực hiện bằng phần mềm AVL Fire [11].

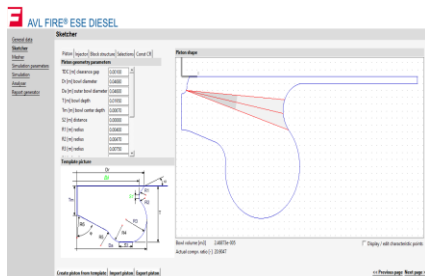
Công cụ tính toán mô phỏng động cơ Diesel (ESE Diesel) của AVL Fire có giao diện tương đối đơn giản và dễ sử dụng nhưng vẫn đảm bảo kết quả tính toán tin cậy và chính xác [10].



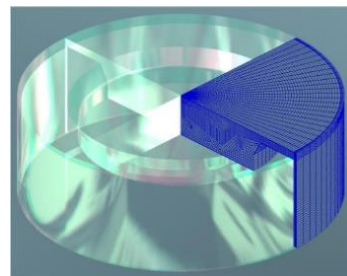
Hình 5. Sơ đồ tiến hành thực nghiệm



Hình 6. Đặc tính moment - công suất động cơ 2KD-FTV



Hình 7. Biên dạng thiết kế piston của động cơ Toyota Hiace 2KD-FTV sau khi thiết lập



Hình 8. Phần được chia lưới mô phỏng

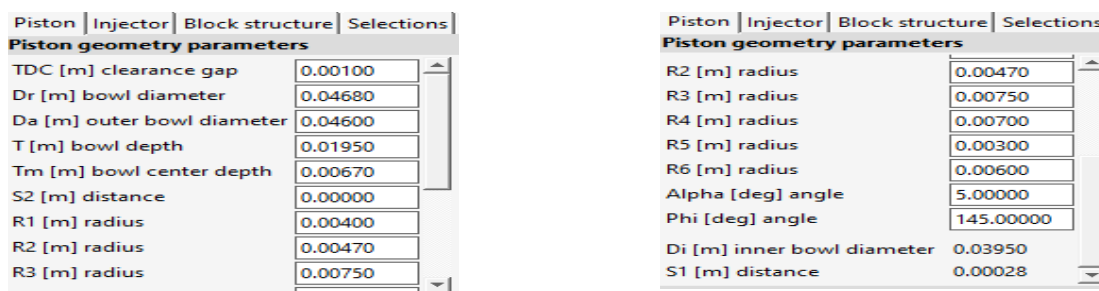
3.1. Tạo lưới và thông số mô phỏng

Bảng 1. Trình bày các thông số chính của động cơ Diesel Toyota Hiace 2KD-FTV [12].

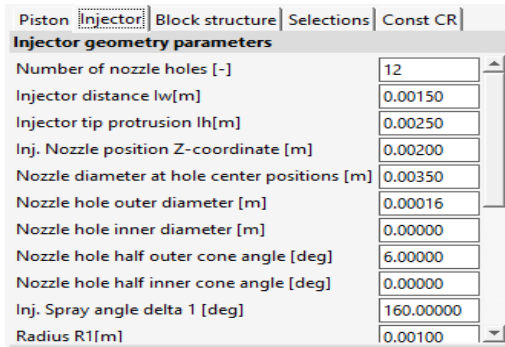
Thông số	Giá trị
Nhiên liệu	Diesel
Số xy lanh	4
Đường kính x Hành trình piston (mm)	92 x 93.8
Dung tích (cc)	2492
Tỷ số nén	18.5
Số lượng xu páp	8
Công suất cực đại - Nemax	75(kW)/3600(v/p)
Moment cực đại - Memax	260(Nm)/1600-2600(v/p)
Thời điểm phối khí	
Góc mở sớm xupap nạp (⁰)	2
Góc đóng muộn xupap nạp (⁰)	31
Góc mở sớm xupap thải (⁰)	30
Góc đóng muộn xupap thải (⁰)	0
Kim phun	
Kiểu kim phun	Đa lỗ tia
Số lỗ tia	12



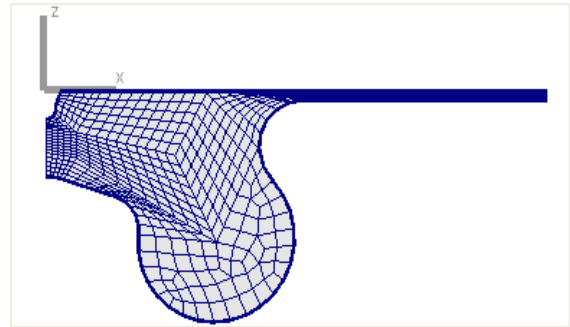
Hình 9. Thiết lập các thông số của động cơ



Hình 10. Thông số hình dạng của piston động cơ Toyota Hiace 2KD-FTV

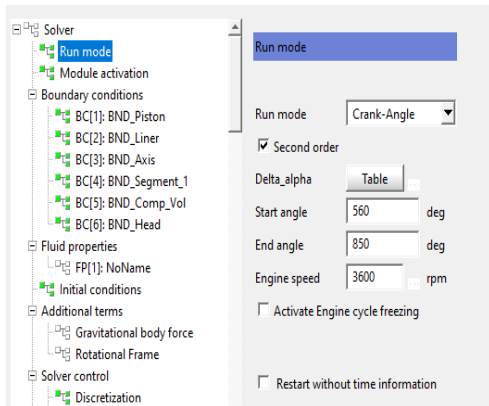


Hình 11. Thông số hình dạng của kim phun động cơ Toyota Hiace 2KD-FTV

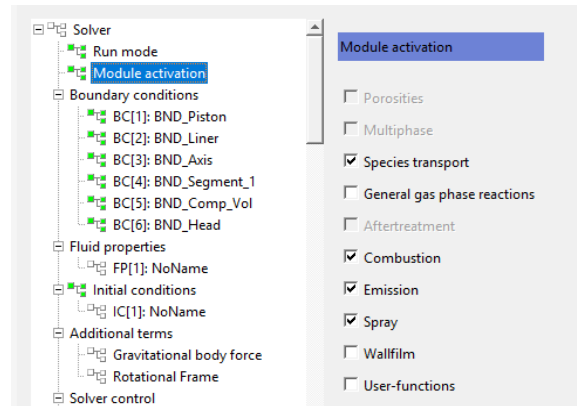


Hình 12. Mô hình lưới piston động cơ Toyota Hiace 2KD-FTV

3.2. Thiết lập các tham số mô hình hóa (Simulation Parameters)



Hình 13. Thiết lập chế độ mô phỏng

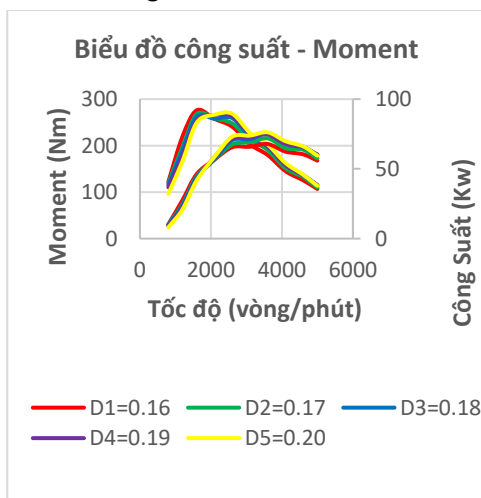


Hình 14. Thiết lập các mô đun tính toán

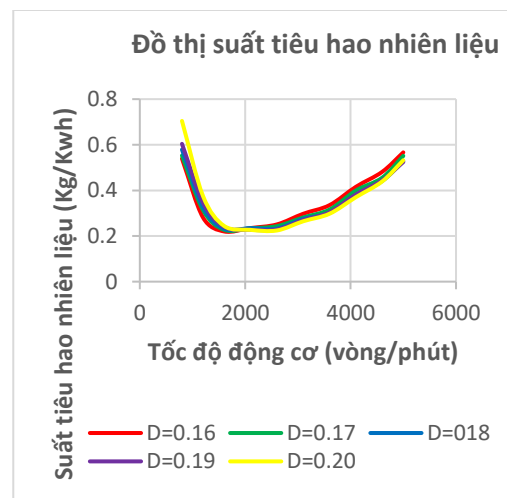
Sau khi thiết lập các thông số ta tiến hành thực hiện chạy mô phỏng, thời gian trung bình hoàn tất một lần mô phỏng là khoảng 4 giờ trên máy vi tính trang bị vi xử lý Core i5 - 4500U.

4. Kết quả và thảo luận

Thực hiện quá trình mô phỏng, tốc độ động cơ thay đổi từ 800 đến 5000 (vòng/phút) tương ứng với 5 đường kính lỗ tia khác nhau là $D_1=0,16\text{mm}$; $D_2=0,17\text{mm}$; $D_3=0,18\text{mm}$; $D_4=0,19\text{mm}$; $D_5=0,2\text{mm}$ cho mỗi tốc độ động cơ.



Hình 15. Sự ảnh hưởng của đường kính lỗ tia phun đến công suất và moment động cơ



Hình 16. Sự ảnh hưởng của đường kính lỗ tia phun đến suất tiêu hao nhiên liệu

Nhìn tổng quan về các đường moment thì khoảng từ vòng quay 1600 vòng/phút đến 2600 vòng/phút thì moment xoắn đạt giá trị gần cực đại, cho thấy sức kéo của động cơ rất tốt ở dải tốc độ khác nhau. Về công suất, chúng ta có thể dễ dàng nhìn thấy đồ thị của công suất tăng dần từ 800 và đạt cực đại tại 3600 vòng/phút và giảm dần về tốc độ 5000 vòng/phút.

- Tốc độ động cơ từ 2600 ÷ 5000 (vòng/phút):

+ Công suất: Thiết lập có đường kính lỗ tia lớn nhất là D5 (0,2 mm) nhận được công suất lớn hơn các đường kính khác, công suất tăng cực đại khi ở 3600 vòng/phút và giảm dần khi tới 5000 vòng/phút.

+ Moment: giá trị moment nhận được của thiết lập D5 (0,2 mm) cũng cho lớn nhất so với các thiết lập còn lại và sự chênh lệch giảm dần giữa đường kính khác khi có tốc độ động cơ càng lớn. Theo đồ thị, giá trị moment có xu hướng ngày càng giảm khi tốc độ động cơ lớn hơn 2600 vòng/phút.

Bảng 2. So sánh moment cực đại tại 2600 v/p.

Tốc độ động cơ (rpm)	Đường kính lỗ tia phun (mm)	Công suất động cơ (kW)	Moment động cơ (Nm)	Moment cực đại chuẩn (Nm)	Sai số Moment (%)
2600	D1 = 0,16	65.55	240.75	260	0.074
	D2 = 0,17	67.52	247.98	260	0.046
	D3 = 0,18	70.60	259.29	260	0.003
	D4 = 0,19	71.70	263.35	260	0.013
	D5 = 0,20	73.14	268.61	260	0.033

Bảng 3. So sánh công suất cực đại tại 3600 v/p.

Tốc độ động cơ (rpm)	Đường kính lỗ tia phun (mm)	Công suất động cơ (kW)	Moment động cơ (Nm)	Công suất cực đại chuẩn (kW)	Sai số công suất (%)
3600	D1 = 0,16	67,80	179,86	75	0.096
	D2 = 0,17	71,91	190,73	75	0.041
	D3 = 0,18	75,34	199,83	75	0.005
	D4 = 0,19	74,69	198,11	75	0.004
	D5 = 0,20	76,24	202,24	75	0.017

Từ kết quả mô phỏng đạt được, ta thấy sai số của kết quả mô phỏng so với thực tế là rất nhỏ, điều này chứng tỏ kết quả mô phỏng trên phần mềm AVL - fire là khá tin cậy.

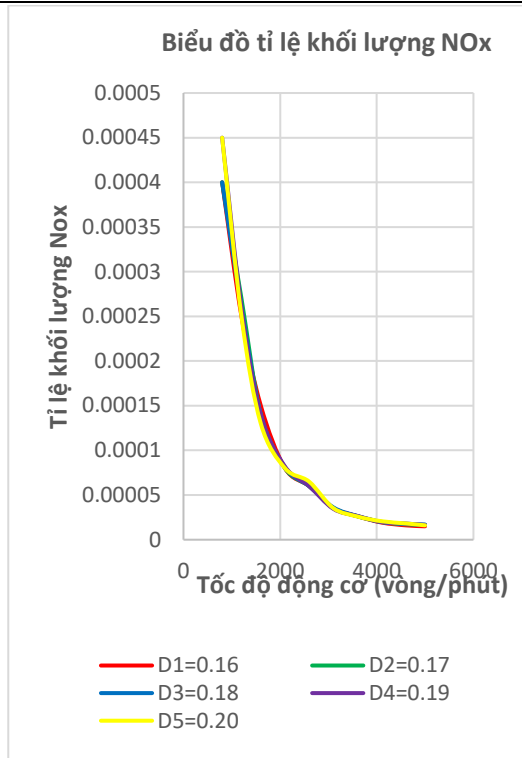
Với biểu đồ suất tiêu hao nhiên liệu theo tốc độ động cơ thì đường cong thấp nhất đạt tại 1600 (vòng/phút), nếu tốc độ nhỏ hơn thì suất tiêu hao nhiên liệu tăng. Nếu tốc độ lớn hơn 1600 (vòng/phút) càng làm tăng suất tiêu hao nhiên liệu.

- Tại tốc độ động cơ từ 800 ÷ 1600 (vòng/phút): Suất tiêu hao nhiên liệu có xu hướng giảm. Các thiết lập có đường kính lỗ tia lớn hơn sẽ tiêu hao nhiều hơn.

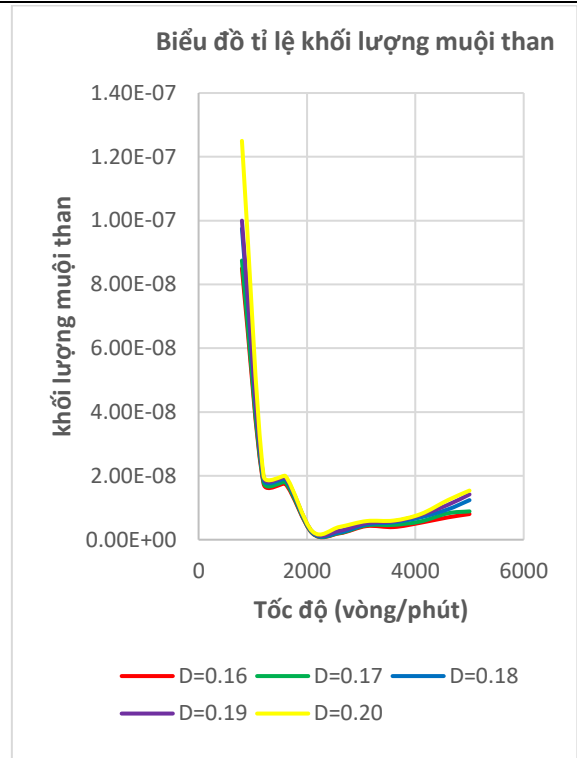
- Tại tốc độ động cơ 1600 ÷ 2600 (vòng/phút): Suất tiêu hao nhiên liệu ở giá trị thấp nhất và giá trị của nó tăng rất ít khi tốc độ tăng. Thể hiện được khi động cơ hoạt động ở dải tốc độ này thì tiêu hao nhiên liệu ít nhất.

- Tại tốc độ động cơ 2600 ÷ 5000 (vòng/phút): Các thiết lập có đường kính lỗ tia nhỏ hơn bây giờ có suất tiêu hao nhiên liệu nhiều hơn những giá trị có thiết lập đường kính lớn hơn. Xếp từ thiết lập có giá trị tiêu hao lớn nhất đến nhỏ nhất lần lượt là D1, D2, D3, D4 và cuối cùng là D5. Nhìn chung suất tiêu hao nhiên liệu có xu hướng tăng khi tốc độ động cơ lớn hơn.

Phát thải NO_x có xu hướng giảm khi tốc độ động cơ càng cao và NO_x tăng cực đại ở tốc độ 800 (vòng/phút). Khi vượt qua tốc độ 1200 (vòng/phút) lượng NO_x giảm như trên các thiết lập đường kính lỗ tia nhỏ hơn. Theo tốc độ tăng dần lượng NO_x sinh ra giảm lần lượt theo các đường kính lỗ tia phun.



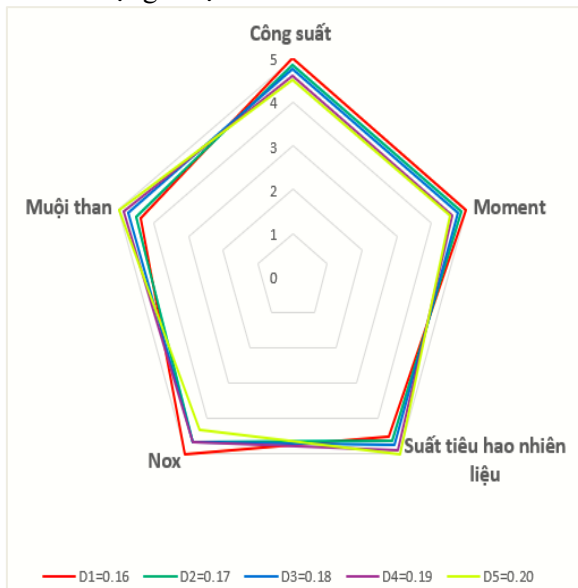
Hình 17. Sự ảnh hưởng của đường kính lỗ tia phun đến phát thải NOx



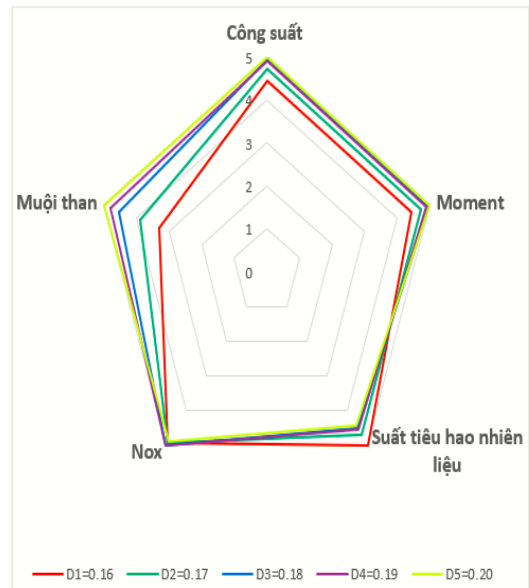
Hình 18. Sự ảnh hưởng của đường kính lỗ tia phun đến phát thải muội than

Đồ thị tỉ lệ khối lượng muội than cho thấy có xu hướng giảm khi tốc độ tăng lên. Đặc biệt ở giai đoạn đầu từ 800 đến 1200 vòng/phút là giai đoạn giảm mạnh của lượng muội than sinh ra. Giai đoạn tiếp theo từ 1200 đến khoảng 1600 vòng/phút thì có sự tăng nhẹ về lượng muội than. Từ tốc độ 1600 đến khoảng 2200 vòng/phút thì tiếp tục là sự giảm về lượng muội than sinh ra. Từ 2200 đến 5000 vòng/phút thì có sự tăng nhẹ nhưng không đáng kể so với lượng ban đầu tại tốc độ 800 vòng/phút.

Nhìn chung thì lượng muội than tăng lên khi tăng đường kính lỗ tia phun, sắp xếp theo thứ tự tăng dần về lượng muội than là D1 D2 D3 D4 D5.



Hình 19. Biểu đồ so sánh các đặc tính ngoài động cơ tại vận tốc 1600 (vòng/phút)



Hình 20. Biểu đồ so sánh các đặc tính ngoài động cơ tại vận tốc 3600 (vòng/phút)

Tại tốc độ động cơ 1600 (vòng/phút):

Công suất, moment và suất tiêu hao nhiên liệu của các đường kính lỗ tia phun khác nhau cho giá trị gần bằng nhau.

Phát thải NO_x thì với đường kính D5 cho phát thải nhỏ nhất so với các đường kính còn lại, đường kính càng giảm thì lượng phát thải NO_x càng tăng lên.

Muội than thì với đường kính D1 cho phát thải nhỏ nhất so với các đường kính còn lại, đường kính càng tăng thì lượng phát thải muội than càng tăng lên.

- Tại tốc độ động cơ 2600 (vòng/phút):

Công suất, moment và suất tiêu hao nhiên liệu của các đường kính lỗ tia phun khác nhau cho thấy sự chênh lệch rõ ràng. Với đường kính lỗ tia phun càng nhỏ thì càng công suất, moment càng tăng và suất tiêu hao nhiên liệu càng giảm.

Phát thải NO_x thì với đường kính D5 cho phát thải nhỏ nhất so với các đường kính còn lại, với đường kính càng giảm thì lượng phát thải NO_x càng tăng lên.

Muội than thì với đường kính D5 cũng cho phát thải nhỏ nhất so với các đường kính còn lại, với đường kính càng giảm thì lượng phát thải muội than càng tăng lên.

- Tại tốc độ động cơ 3600 (vòng/phút):

Công suất, moment và suất tiêu hao nhiên liệu của các đường kính lỗ tia phun khác nhau càng cho thấy sự chênh lệch rõ ràng hơn so với các tốc độ thấp hơn. Với đường kính lỗ tia phun càng nhỏ thì càng công suất, moment càng tăng và suất tiêu hao nhiên liệu càng giảm.

Phát thải NO_x thì với đường kính D5 cho phát thải nhỏ nhất so với các đường kính còn lại, với đường kính càng giảm thì lượng phát thải NO_x càng tăng lên.

Muội than thì với đường kính D5 cũng cho phát thải nhỏ nhất so với các đường kính còn lại, với đường kính càng giảm thì lượng phát thải muội than càng tăng lên.

5. Kết luận

Nhìn chung, qua kết quả mô phỏng ta thấy với đường kính nhỏ cho công suất và moment lớn, tiêu hao nhiên liệu nhỏ. Tuy nhiên, ở đường kính nhỏ thì cho lượng khí xả NO_x và muội than lớn. Ngược lại, đường kính lỗ tia lớn cho khí xả thấp nhưng công suất lại giảm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] [Phạm Đình Thọ, Nghiên cứu quá trình phun nhiên liệu trong động cơ Diesel, 2006.
- [2] Trần Quang Vinh, Mô phỏng quá trình phun nhiên liệu và quá trình cháy trong động cơ D1146TiS sử dụng phần mềm CFD AVL-FIRE, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2007.
- [3] TS. Không Văn Nguyên; TS. Anh Vũ; TS. Trần Văn Thoan; TS. Trần Anh Trung; PGS. TS. Nguyễn Hoàng Vũ, Nghiên cứu xây dựng mô hình cháy động cơ diesel Common-rail khi sử dụng diesel và biodiesel với một lần phun chính. 2019, Tạp chí Giao thông Vận tải.
- [4] Huỳnh Phước Sơn, Nghiên cứu phương pháp điều khiển cung cấp nhiên liệu trên động cơ Common-rail Diesel sử dụng nhiên liệu kép (CNG-Diesel). 2018.
- [5] Zi Lai Luo, Han Bao Chang, Li Min Shao, Research on Effect of Nozzle Structure Parameters on Performance of Common-rail Diesel Engine. 2011. [6] Design of Direct Injection Fuel Injector Nozzle.
- [6] C. Syed Aalam, C.G. Saravanan, Effects of Fuel Injection Pressure on CRDI Diesel Engine Performance and Emissions using CCD. 2015.
- [7] Patamaporn Chaikool, Kemwat Intravised, Prapan Patsin and Teerawat Laonapakul, A Study of Effect of Biodiesel on Common-Rail Injection Nozzle. 2016.
- [8] C. Syed Aalam, Reduction of Emissions from Common-rail Diesel Engine using Mahua and Pongamia Methyl Esters. 2019.
- [9] Rolf D Diwakar Reitz, Structure of high-pressure fuel sprays. SAE transactions, 1987: p. 492-509.
- [10] Guangzhao Yue, Tao Qiu, Hefei Dai, Yan Lei and Ning Zhao, Rail pressure control strategy based on pumping characteristics for the Common-rail fuel system. 2018.
- [11] www.avl.com.
- [12] www.toyota.com



Ngoc Dinh Tan, received the Engineer Degree, major "Automotive Engineering" in 2011, Master Degree, major "Vehicle Engineering" in 2014 at HCM University of Technology and Education. In 2015, received Certified SOLIDWORKS Associate - Academic (CSWA - Academic). In 2018, joined in Training Course On Wind Turbine Technology And Applications In India. From 2011 to now, Lecturer, Dept. Internal Combustion Engine – Faculty of Vehicle and Energy Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology and Education (HCMUTE).
Research interests: Gasoline, Diesel Engine, Hybrid Vehicle and Renewable Energy.



Hai Chau Quang, Senior lecturer. Received Engine Degree, major "Automotive Engineering" at HCM UTE in 1987. In 2002, received Master Degree, major "Aeronautical Engineering" Liege University. Fields of expertise are internal combustion engine, Diesel engine, vehicle diagnosis.
Until now, he is a lecturer at HCMUTE.



Viet Huynh Quoc, received Engine degree, major Vehicle Engineering in 2002. In 2005, he got Master degree, major Automotive Engineering at HCMUTE. His field of expertises are engine management system, alternative energy. He also had a lot experience related to Hybrid vehicle, EV. Now, he is a lecturer at Dept. Internal Combustion Engine – Faculty of Vehicle and Energy Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology and Education (HCMUTE).