NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP SUẤT PHUN ĐẾN TÍNH NĂNG KỸ THUẬT VÀ PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ NHIÊN LIỆU KÉP DIESEL/ETHANOL

SIMULATION STUDY TO ASSESS THE INFLUENCE OF INJECTION PRESSURE ON TECHNICAL PERFORMANCE AND EMISSIONS OF DIESEL/ETHANOL DUAL FUEL ENGINE

Nguyễn Văn Nhỉnh[1,*], Nguyễn Tường Vi[2], Bùi Văn Chinh[3], Nguyễn Thành Trung[4]

DOI: http://doi.org/10.57001/huih5804.2025.129

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng đánh giá ảnh hưởng của áp suất phun đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ ở chế độ toàn tải khi chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel/ethanol. Động cơ diesel ban đầu là đông cơ D4BB với hệ thống nhiên liệu diesel điều khiển cơ khí dùng loại bơm cao áp phân phối VE. Nhóm tác giả thực hiện mô phỏng với các áp suất phun là 220bar, 170bar và 150bar khi sử dụng nhiên liệu diesel và lưỡng nhiên liệu 10% ethanol (DE10) ở chế độ 100% tải (áp suất phun của động cơ diesel nguyên bản ở chế độ này là 220bar). Ảnh hưởng của áp suất phun đến công suất, mô men và nồng độ các thành phần phát thải của động cơ lưỡng nhiên liệu diesel/ethanol được phân tích để xác định áp suất phun hợp lý. Kết quả nghiên cứu cho thấy, áp suất phun hợp lý khi sử dụng lưỡng nhiên liệu 10% ethanol (DE10) ở chế độ 100% tải được xác định là 170bar, giảm 50bar so với áp suất phun ban đầu.

Từ khóa: *Nhiên liệu kép ethanol/diesel, tính năng và phát thải, áp suất phun.*

ABSTRACT

This paper presents the results of a simulation study to evaluate the influence of injection pressure on the performance and emissions of the engine at full load when converting a diesel engine to use diesel/ethanol dual fuel. The original diesel engine was a D4BB engine with a mechanically controlled diesel fuel system using a VE distribution high-pressure pump. The authors performed simulations with injection pressures of 220bar, 170bar and 150bar when using diesel fuel and 10% ethanol dual fuel (DE10) at 100% load (the injection pressure of the original diesel engine at this mode is 220bar). The influence of injection pressure on the power, torque and emission component concentrations of the diesel/ethanol dual fuel engine was analyzed to determine the appropriate injection pressure. The research results show that the reasonable injection pressure when using dual fuel 10% ethanol (DE10) at 100% load mode is determined to be 170bar, a decrease of 50bar compared to the initial injection pressure.

Keywords: *Ethanol/diesel dual fuel, performance and emissions, injection pressure.*

[1]Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên
[2]Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp
[3]Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội
[4]Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
[*]Email: huynhinhutehy@gmail.com
Ngày nhận bài: 08/01/2025
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 24/02/2025
Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. GIỚI THIỆU

Các nhiên liệu thay thế được ưu tiên nghiên cứu sử dụng là các loại nhiên liệu có trữ lượng lớn và có thể sử dụng dễ dàng cho các động cơ đang tồn tại mà không cần thay đổi nhiều về kết cấu, đồng thời có mức độ ô nhiễm khí thải thấp [1, 2].

Ethanol, một loại nhiên liệu có nguồn gốc từ sinh khối, đã được nghiên cứu rộng rãi nhờ khả năng tái tạo và khả năng đốt cháy sạch hơn so với truyền thống nhiên liệu hóa thạch [3]. Trong số này, ethanol là nhiên liệu thay thế có tiềm năng hơn cả vì đáp ứng được các tiêu chí trên và có trữ lượng lớn, trên thế giới ước tính có trên 250 tỷ lít một năm.

Việc chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng nhiên liệu kép diesel/ethanol không chỉ tận dụng được các ưu điểm của ethanol mà còn giảm lượng phát thải các khí gây ô nhiễm nhiễm bẩn, như ôxít nito (NO_x) và hạt bụi (PM), góp phần cải thiện chất lượng không khí và bảo vệ sức khỏe con người [4].

Tuy nhiên, khi chuyển đổi từ nhiên liệu diesel đơn thuần sang nhiên liệu kép diesel/ethanol, do tính chất của hỗn hợp diesel - ethanol và diesel là tương đối khác nhau động cơ đòi hỏi phải có sự điều chỉnh các thông số cơ bản để đảm bảo tính năng kỹ thuật ổn định và hiệu quả [5]. Những thông số như thời điểm phun nhiên liệu, áp suất phun nhiên liệu... có ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình cháy, hiệu suất nhiệt động lực học và năng lượng có ích của động cơ. Do đó, nhóm tác giả đi sâu nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của áp suất phun tới các tính năng của động cơ, từ đó lựa chọn áp suất phun phù hợp nhất cho động cơ ở 100% tải, tỉ lệ ethanol 10%, kết quả này làm tài liệu tham khảo cho những nghiên cứu tiếp theo.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện mô phỏng bằng phần mềm AVL-Boost trên động cơ D4BB có hệ thống nhiên liệu diesel điều khiển cơ khí truyền thống dùng loại bơm cao áp phân phối VE, thông số kỹ thuật của động cơ thể hiện như bảng 1. Mô phỏng với nhiên liệu diesel truyền thống và hỗn hợp nhiên liệu diesel - ethanol. Áp suất phun của động cơ ban đầu ở toàn tải là 220bar được tra theo yêu cầu của nhà sản xuất [5]. Thực hiện mô phỏng với các áp suất phun sớm 220bar, 170bar và 150bar khi sử dụng nhiên liệu diesel và nhiên liệu kép 10% ethanol (DE10) ở chế độ 100% tải.

Sau khi có kết quả mô phỏng, tác giả phân tích công suất, mô men và nồng độ các thành phần phát thải của động cơ khi sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel/ethanol ở các áp suất phun như trên với động cơ sử dụng thuần diesel.

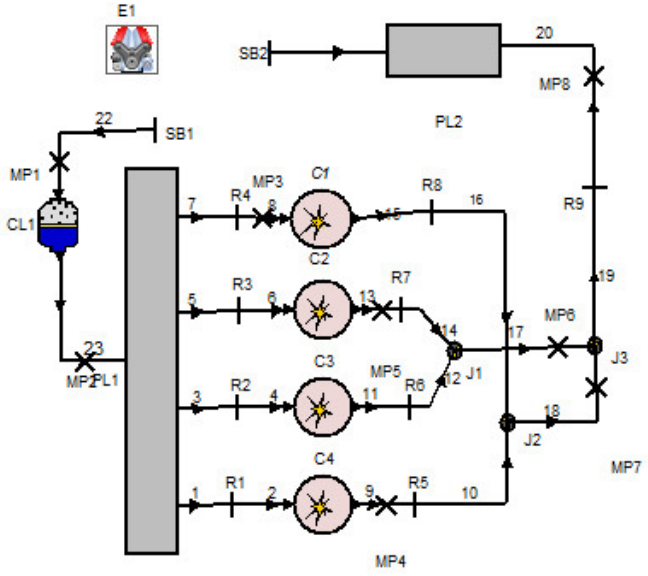
Bảng 1. Thông số cơ bản của động cơ D4BB

STT	Tên thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Kiểu động cơ	D4BB		Thẳng hàng
2	Số kỳ	τ	4	kỳ
3	Số xy lanh	I	4	_
4	Thứ tự nổ	-	1-3-4-2	_
5	Thể tích công tác	-	2,607	lít
6	Hành trình piston	S	100	mm
7	Đường kính xy lanh	D	91,1	mm
8	Thể tích công tác	V_h	20	độ
9	Chiều dài thanh truyền	L_{tt}	158	mm
10	Công suất định mức/tốc độ động cơ	$N_{edm}/n_{đc}$	59/4000	kW/v/ph
11	Mômen lớn nhất/tốc độ động cơ	$M_{eMax}/ n_{đc}$	165/2200	Nm/v/ph
12	Tỷ số nén	ε	22	_
13	Góc phun sớm	-	20	Độ
14	Áp suất phun tiêu chuẩn	-	220	pa

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng trên AVL-Boost

Dựa vào các thông số kỹ thuật của nhà sản xuất cũng như các thông số đo đạc trên thực tế, mô hình mô phỏng động cơ được xây dựng như thể hiện trên hình 1. Bằng phần mềm chuyên dùng mô phỏng động cơ đốt trong AVL-Boost [6].



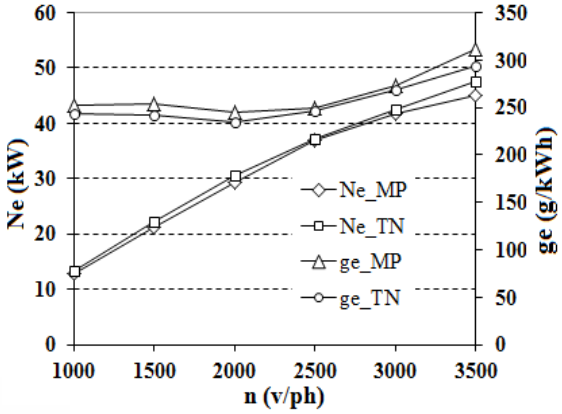
Hình 1. Mô hình động cơ D4BB trên AVL-Boost

3.2. Đánh giá độ tin cậy của mô hình

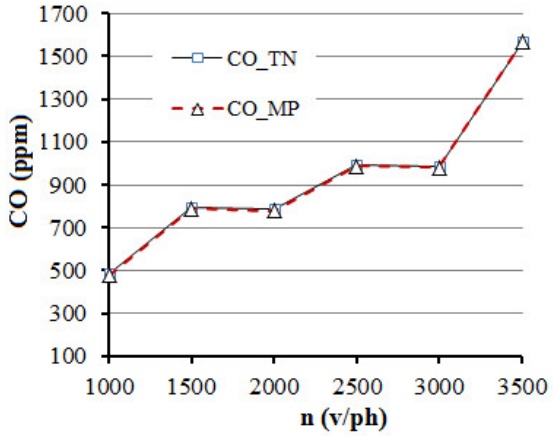
Để đảm bảo độ tin cậy của mô hình, động cơ diesel D4BB khi sử dụng diesel được thử nghiệm trên băng thử [4]. Kết quả thử nghiệm này được sử dụng để hiệu chuẩn mô hình động cơ. Sau khi mô hình động cơ được hiệu chuẩn, kết quả mô phỏng và thực nghiệm theo đường

đặc tính ngoài động cơ được mang ra so sánh. Sai lệch trung bình về công suất là 3,41%, suất tiêu hao nhiên liệu là 3,50% (hình 2). Sai lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm về phát thải CO, NO_x, Soot trung bình là 0,82%; 2,68%; 4,72% theo đường đặc tính ngoài (hình 3, 4, 5).

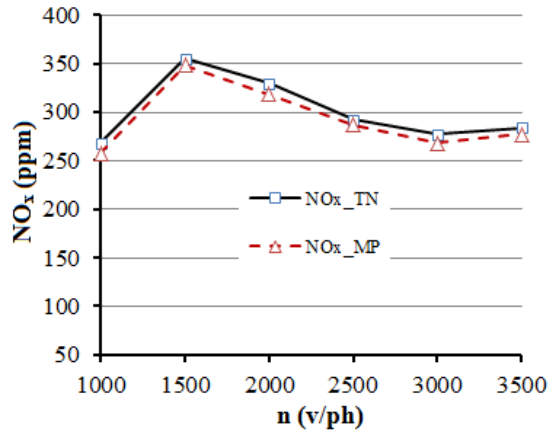
Kết quả này cho thấy sai lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm < 5%, mô hình đảm bảo độ tin cậy đáp ứng yêu cầu cho các nghiên cứu mô phỏng tiếp theo.



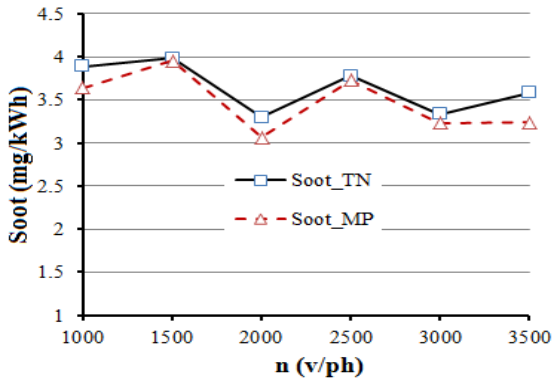
Hình 2. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm về công suất, suất tiêu thụ nhiên liệu



Hình 3. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm về phát thải CO



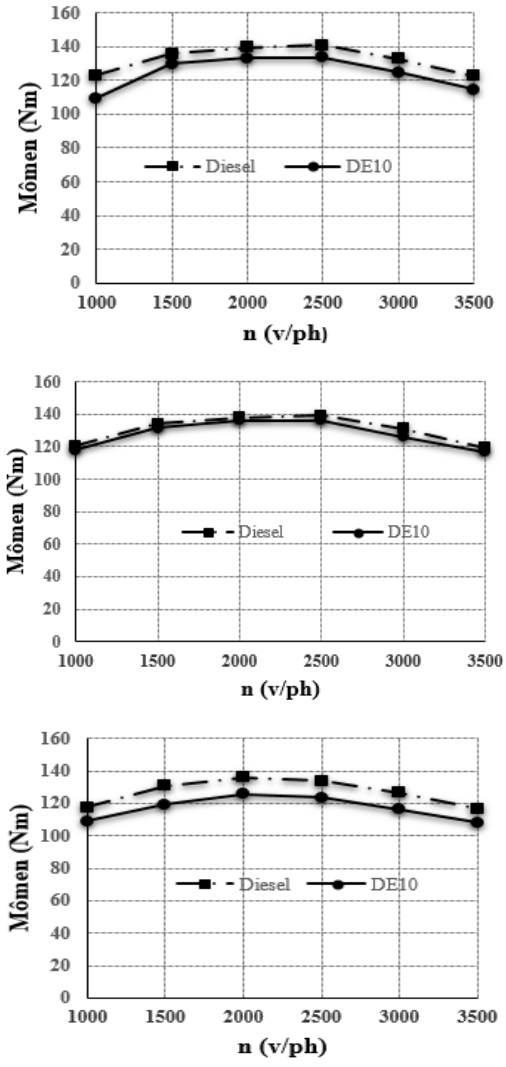
Hình 4. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm về phát thải NO_x



Hình 5. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm về phát thải Soot

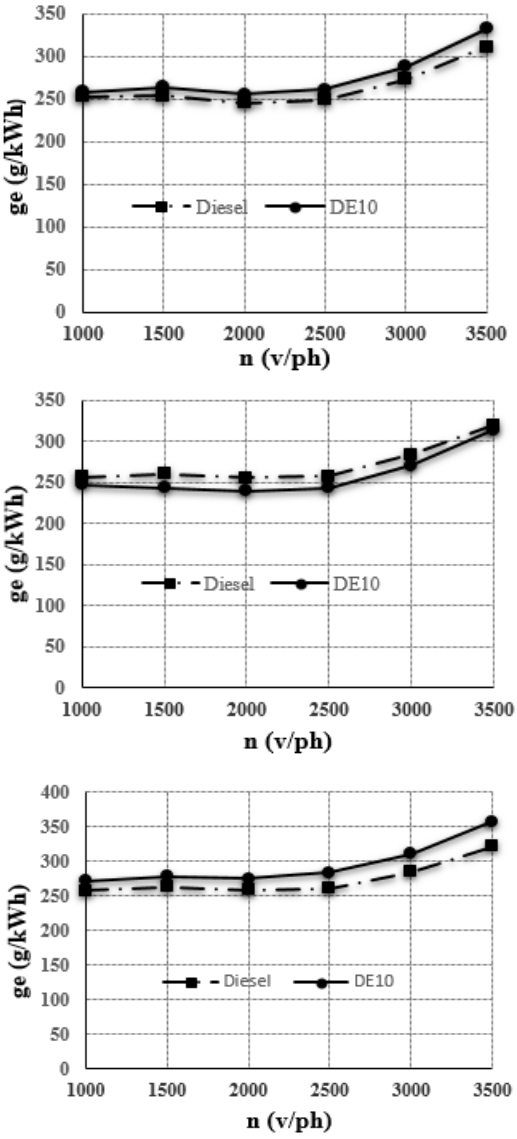
3.3. Ảnh hưởng của áp suất phun tới tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel-ethanol

3.3.1. Kết quả tính toán mô phỏng tính năng kỹ thuật động cơ



Hình 6. Momen của động cơ khi sử dụng nhiên liệu Diesel và DE10 tại P_a = 220bar, P_a = 170bar, P_a = 150bar

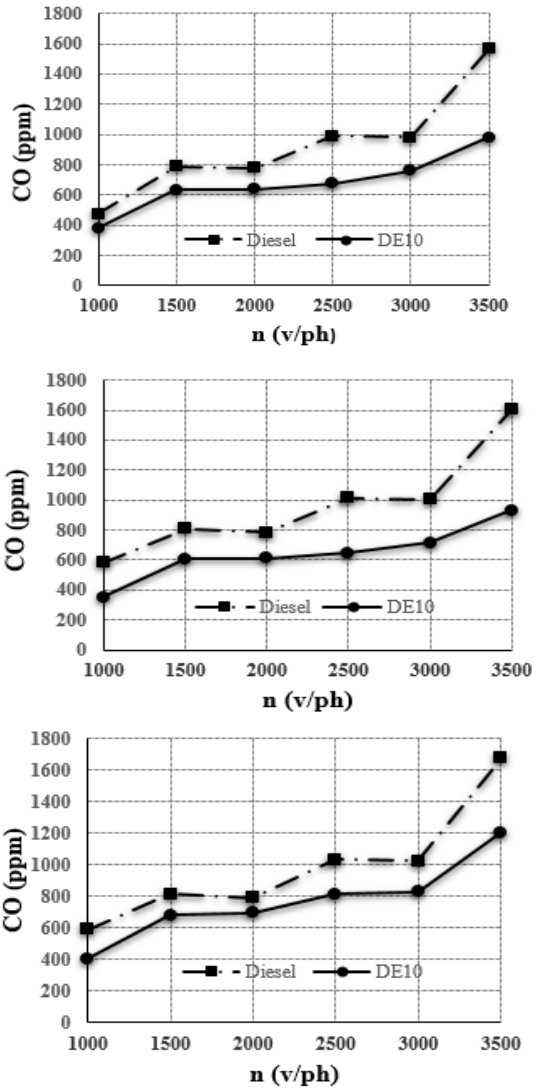
Mômen và suất tiêu hao nhiên liệu động cơ khi sử dụng DE10 thay đổi như sau: mômen động cơ lưỡng nhiên liệu giảm tại P_a = 220bar, P_a = 170bar và P_a = 150bar lần lượt là 6,32%; 4,57% và 7,70% (hình 6). Suất tiêu hao nhiên liệu tăng/giảm trung bình lần lượt là: 4,66%; -4,57% và 7,70% (hình 7). Theo kết quả mô phỏng ta thấy với áp suất phun P_a = 170bar khi sử dụng nhiên liệu DE10 thì kết quả về mômen và suất tiêu hao nhiên liệu thay đổi ít nhất.



Hình 7. Suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ với nhiên liệu Diesel và DE10 tại P_a = 220bar, P_a = 170bar và P_a = 150bar

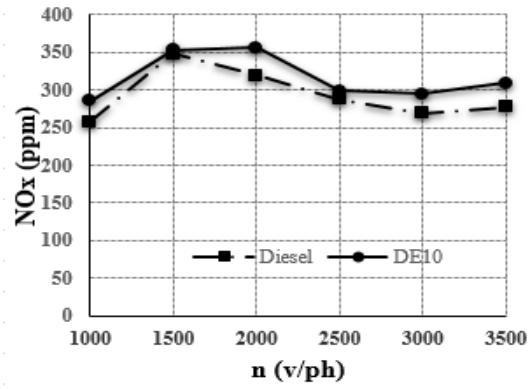
3.3.2. Kết quả tính toán mô phỏng phát thải động cơ

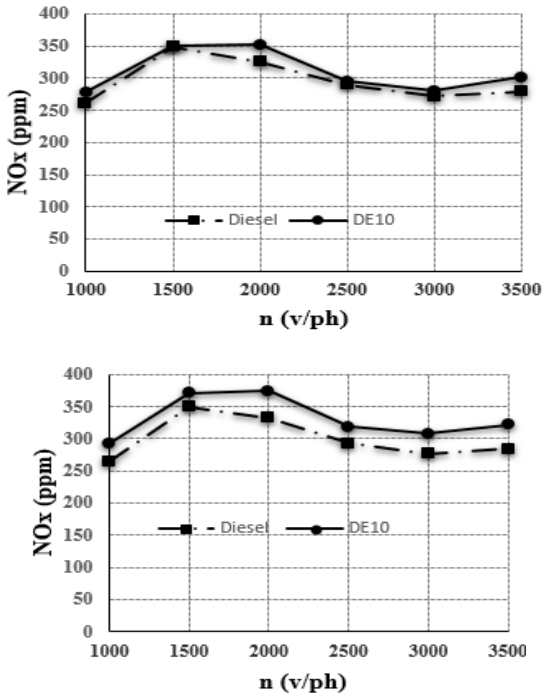
Kết quả tính toán phát thải CO với hỗn hợp nhiên liệu cho thấy phát thải CO giảm lần lượt là 24,96%; 32,31%; 21,47% (hình 8) tương ứng với áp suất phun P_a = 220bar, P_a = 170bar và P_a = 150bar. Như vậy, với P_a = 170bar thì lượng phát thải CO giảm đáng kể so với P_a = 220bar. Trong khi P_a = 150bar phát thải CO tăng hơn so với P_a = 220bar.



Hình 8. Phát thải CO của động cơ với nhiên liệu Diesel và DE10 tại P_a = 220bar, P_a = 170bar và P_a = 150bar

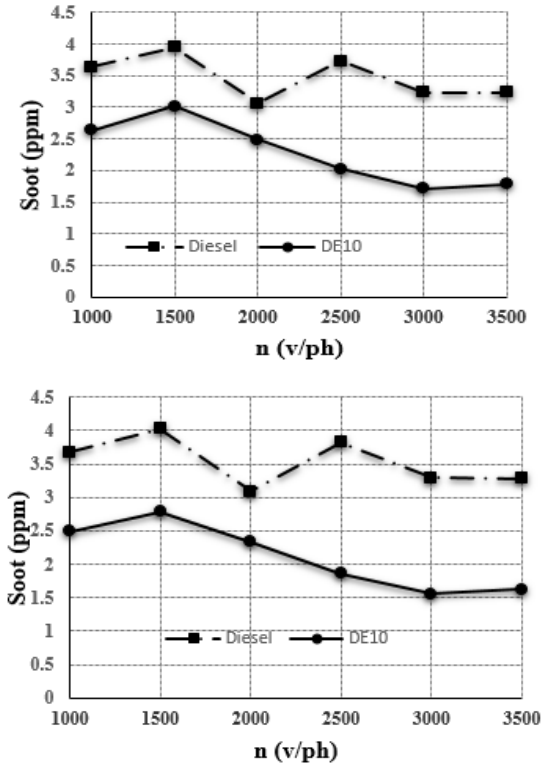
Kết quả tính toán phát thải NO_x cho thấy phát thải NO_x tăng lần lượt là 8,14%; 4,75%; 10,27% (hình 9) tương ứng với áp suất phun P_a = 220bar, P_a = 170bar và P_a = 150bar. Như vậy, với P_a = 170bar thì lượng phát thải NO_x giảm đáng kể so với P_a = 220bar. Trong khi P_a = 150bar phát thải NO_x tăng hơn so với P_a = 220bar.

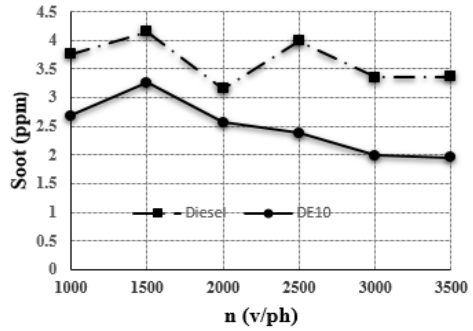




Hình 9. Phát thải NO_x của động cơ với nhiên liệu Diesel và DE10 tại P_a = 220bar, P_a = 170bar và P_a = 150bar

Kết quả tính toán phát thải Soot cho thấy phát thải Soot giảm lần lượt là 34,56%; 40,24%; 31,96% (hình 10) tương ứng với áp suất phun P_a = 220bar, P_a = 170bar và P_a = 150bar. Như vậy, với P_a = 170bar thì lượng phát thải Soot giảm đáng kể so với P_a = 220bar. Trong khi P_a = 150bar phát thải Soot tăng hơn so với P_a = 220bar.





Hình 10. Phát thải Soot của động cơ với nhiên liệu Diesel và DE10 tại P_a = 220bar, P_a = 170bar và P_a = 150bar

4. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu ảnh hưởng của áp suất phun tới tính năng kỹ thuật và phát thải tại chế độ toàn tải khi chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel/ethanol, nhóm tác giả đưa ra kết luận sau:

- Khi chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel - ethanol cần thay đổi áp suất phun cho phù hợp theo hướng giảm áp suất phun để đảm bảo tính năng kỹ thuật và phát thải giảm nhỏ nhất.

- Đối với tỉ lệ ethanol trong hỗn hợp là 10% (DE10), ở chế độ toàn tải, cần giảm áp suất phun (từ 220bar xuống 170bar).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phạm Minh Tuấn, *Khí thải động cơ và ô nhiễm môi trường*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2008.

[2]. Nguyễn Tường Vi, "Ảnh hưởng của việc sử dụng LPG/diesel đến đặc tính phát thải của động cơ diesel," Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên Trường Đại học Thủy lợi, 2020.

[3]. Nguyễn Khánh Tùng, *Nghiên cứu sử dụng nhiên liệu sinh học có tỷ lệ cồn ethanol tới 100% cho động cơ xăng.* Luận án Tiến sĩ, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2018.

[4]. Nguyễn Thành Bắc, *Nghiên cứu chuyển đổi động cơ diesel thành động cơ lưỡng nhiên liệu diesel-ethanol*. Luận án Tiến sĩ Đại học Bách khoa Hà Nội, 2017.

[5]. Lê Anh Tuấn, *Thử nghiệm nhiên liệu gasohol E5 và E10 trên ôtô và xe máy*. Báo cáo kết quả đề tài nghiên cứu khoa học hợp đồng số: 05-7 HĐ ĐHBK-PTN ĐCĐT, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2009.

[6]. AVL-List GmbH, Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz, *BOOST v.2009 Users Guide & Theory*. Austria, 2009.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Van Nhinh[1], Nguyen Tuong Vi[2], Bui Van Chinh[3], Nguyen Thanh Trung[4]

[1]Hung Yen University of Technology and Education, Vietnam

[2]University of Economics - Technology for Industries, Vietnam

[3]Hanoi University of Industry, Vietnam

[4]University of Transport Technology, Vietnam