

# ẢNH HƯỞNG CỦA EGR TỚI QUÁ TRÌNH CHÁY VÀ HÌNH THÀNH PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ LỬNG NHIÊN LIỆU DIESEL-HYDRO

INFLUENCE OF EGR ON COMBUSTION AND EMISSION FORMATION CHARACTERISTIC OF DUAL FUEL ENGINE DIESEL-HYDRO

Trịnh Xuân Phong<sup>1,2,\*</sup>, Hoàng Đình Long<sup>2</sup>,  
Nguyễn Thành Trung<sup>3</sup>, Nguyễn Phi Trường<sup>4</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.172>

## TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng ảnh hưởng của luân hồi khí thải (EGR) đến diễn biến áp suất và hình thành phát thải của động cơ lưỡng nhiên liệu diesel (DDF) sử dụng phần mềm AVL Boost. Động cơ nghiên cứu là động cơ diesel R180 được cải tạo thành động cơ lưỡng nhiên liệu diesel-hydro. Tỷ lệ EGR gia tăng là 10%, 20% và 30%. Kết quả cho thấy rằng sử dụng EGR sẽ khắc phục sự gia tăng NO<sub>x</sub> khi bổ sung hydro. Đối với động cơ lưỡng nhiên liệu diesel-hydro khi luân hồi với tỷ lệ hợp lý thì sẽ có thể giảm đồng thời cả phát thải Soot và NO<sub>x</sub> so với động cơ nguyên bản.

**Từ khóa:** Luân hồi khí thải, động cơ lưỡng nhiên liệu, bổ sung hydro, giảm phát thải, phát thải NO<sub>x</sub>, phát thải Soot, đặc tính cháy và phát thải.

## ABSTRACT

This paper presents the results of simulating the effects of exhaust gas recirculation (EGR) on pressure cylinder and emission formation of diesel dual-fuel engine (DDF) using AVL Boost software. The research engine is an R180 diesel engine modified to a dual fuel engine. The EGR ratio increases 10, 20 and 30%. Results showed that using EGR corrected the increase in NO<sub>x</sub> when adding hydrogen. For a diesel-hydrogen dual fuel engine when recirculating at a reasonable rate, both Soot and NO<sub>x</sub> emissions can be simultaneously reduced compared to the original engine.

**Keywords:** EGR, dual fuel engine, hydrogen addition, reduce emissions, NO<sub>x</sub> emission, Soot emission, combustion and emission characteristic.

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

<sup>2</sup>Đại học Bách khoa Hà Nội

<sup>3</sup>Trường Cao đẳng Cơ khí Nông nghiệp

<sup>4</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: txphong@nute.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/01/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/5/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2023

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, động cơ diesel là loại động cơ không thể thay thế trên các phương tiện giao thông vận tải đặc chủng, máy phát điện.... do tính tiết kiệm nhiên liệu, độ tin cậy, độ bền của nó nhưng lại phát thải nhiều các chất độc hại NO<sub>x</sub> và khói bụi (PM) [1]. Theo một thống kê thì lượng khí thải độc hại của động cơ diesel chiếm tỉ trọng lớn của phát thải trên thế giới, cụ thể là NO<sub>x</sub> 60%, PM 10% và CO 30% [2]. Với sự gia tăng ngày càng lớn của động cơ diesel, đây là sự đe dọa với môi trường bởi vì sự phát thải độc hại của nó và nguy cơ cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch toàn cầu. Điều này dẫn đến thúc đẩy việc phải tìm ra các nguồn nhiên liệu thay thế để đảm bảo phát triển bền vững. Các nhà nghiên cứu đang nghiên cứu rộng rãi về các lĩnh vực như: khí tự nhiên, hydro, nhiên liệu sinh học, điện, thu hồi nhiệt khí thải... để hạn chế phát thải. Việc ứng dụng hydro cho động cơ diesel được nghiên cứu nhiều trong những năm gần đây. Hydro được xem như là một nguồn nhiên liệu thay thế đầy tiềm năng vì phát thải không ô nhiễm, vô hạn trong tự nhiên. Tuy nhiên việc sử dụng nhiên liệu hydro như một loại nhiên liệu chính còn nhiều bất cập vì thế việc sử dụng nhiên liệu hydro như là một loại nhiên liệu bổ sung hỗ trợ cho nhiên liệu chính là một cách tiếp cận thực tế nhất đối với nhiều nhà khoa học [3]. Đặc tính của hai loại nhiên liệu này bổ sung cho nhau khắc phục nhược điểm của nhau. Hydro được phun vào đường ống nạp và hòa trộn với không khí sạch làm cho hỗn hợp không khí đồng nhất nhờ sự khuếch tán của nó, diesel phun vào buồng đốt sẽ tự cháy và trở thành nguồn lửa để đốt cháy hỗn hợp hòa khí diesel-hydro giúp quá trình cháy của nhiên liệu diesel triệt để hơn.

Bổ sung hydro giúp giảm phát thải khói, CO, HC tuy nhiên phát thải NO<sub>x</sub> tăng. Để giảm NO<sub>x</sub> có thể sử dụng luân hồi khí thải EGR. EGR là một kỹ thuật xử lý NO<sub>x</sub> hiệu quả đã và đang được áp dụng, trong đó 1 phần khí thải được trộn với khí nạp mới và đưa vào buồng đốt. Nó được sử dụng như một phương

pháp để ngăn chặn tiếng gõ trong động cơ diesel-hydro [1, 4-6]. Các nghiên cứu [4-6] đều cho rằng động cơ có EHS sẽ giảm phát thải đồng thời NO<sub>x</sub> và khói, nhưng tỉ lệ hydro thay thế lớn sẽ gây tiếng gõ cho động cơ.

Dimitriou nghiên cứu đặc tính phát thải của động cơ diesel-hydro và thấy hiệu quả của EGR trong việc kiểm soát khí thải NO<sub>x</sub> ở mức tải trung bình [7]. Tuy nhiên, EGR có thể ảnh hưởng xấu tới độ bền và hiệu quả làm việc của động cơ [8]. Sự luân hồi khí thải làm giảm sự gia tăng áp suất và tốc độ tỏa nhiệt của hydro bổ sung phát thải NO<sub>x</sub> có sự giảm đáng kể với sự gia tăng tỉ lệ EGR do sự giảm nhiệt độ trong xi-lanh dẫn đến sự gia tăng chung của các phát thải khác như CO, HC và khói. Sự gia tăng các phát thải khác là do mức độ giảm của hàm lượng oxy khi tăng tỉ lệ luân hồi. EGR cũng làm tăng CO<sub>2</sub> do sự gia tăng nồng độ trước khi đốt để tăng cường tỉ lệ EGR [5].

Trong bài báo này, H5 có nghĩa là tỉ lệ hydro thay thế là 5% tổng khối lượng nhiên liệu cung cấp, E0H0 là động cơ thuần nhiên liệu diesel, E10 là tỉ lệ luân hồi 10%; DDF5, DDF20 là động cơ lưỡng nhiên liệu có tỉ lệ hydro thay thế lần lượt là 5% và 20%.

**2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU**

**2.1. Trình tự nghiên cứu**

- Thực nghiệm động cơ diesel R180 thuần nhiên liệu ở đặc tính ngoài để xác định tốc độ cho mô men lớn nhất (1500v/p) và công suất lớn nhất (2600v/p).

- Chọn tốc độ nghiên cứu thực nghiệm tại tốc độ cho mô men lớn nhất (1500v/p).

- Mô phỏng động cơ R180 sử dụng phần mềm AVL Boost với các tỉ lệ hydro thay thế là 5% và tỉ lệ luân hồi khí thải 5% ở đặc tính tải tại tốc độ 1500v/p.

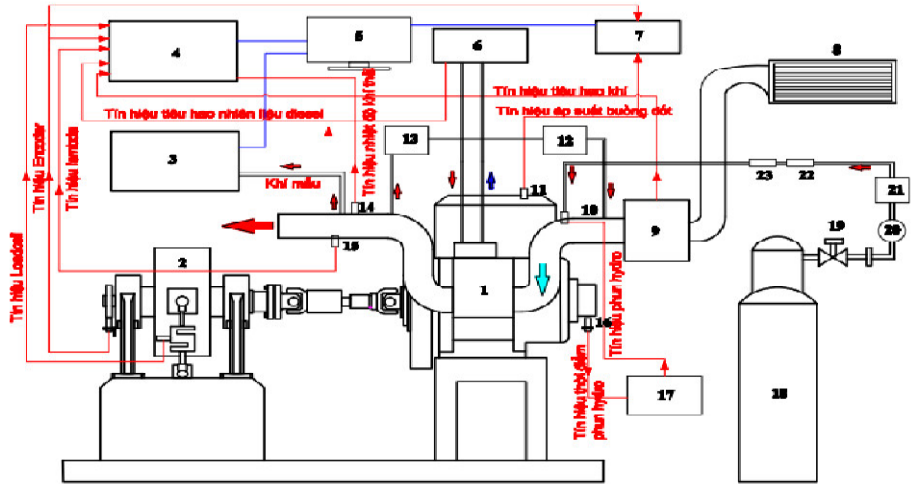
- Đánh giá độ tin cậy của mô hình.

- Khi có mô hình tin cậy, mô phỏng các tỉ lệ hydro thay thế và luân hồi khí thải lớn hơn để đánh giá sự ảnh hưởng của tỷ lệ EGR tới diễn biến áp suất và hình thành phát thải trong buồng đốt. Quá trình nghiên cứu thực nghiệm được diễn ra tại phòng Thí nghiệm Động cơ đốt trong, Đại học Bách khoa Hà Nội.

**2.2. Nghiên cứu thực nghiệm**

Sơ đồ bố trí nghiên cứu thực nghiệm được trình bày ở hình 1. Thông số động cơ thử nghiệm và mô phỏng được trình bày ở bảng 1.

Các thiết bị để phục vụ nghiên cứu thí nghiệm bao gồm: phanh điện động cơ DW-16, tủ phân tích khí thải AVL Digas 4000. AVL Digas 4000 để đo lượng phát thải CO và THC bằng phương pháp hồng ngoại trong khi phát thải NO<sub>x</sub> đạt được bằng phương pháp điện hóa. Mặt khác, các giá trị phát thải CO thu được là trên cơ sở % khối lượng trong khi các giá trị phát thải NO<sub>x</sub> và THC thu được được tính theo ppm, độ khối



Hình 1. Sơ đồ bố trí thử phục vụ thử nghiệm

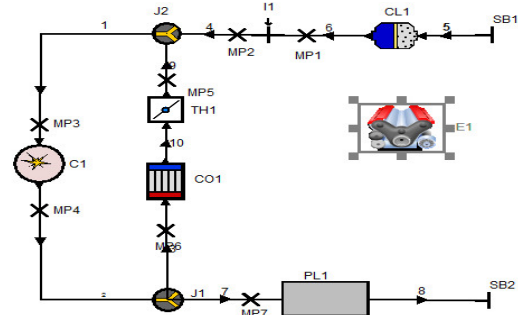
1. Động cơ thực nghiệm; 2. Bộ thử công suất; 3. Thiết bị phân tích khí thải; 4. Bộ thu thập dữ liệu; 5. Màn hình hiển thị; 6. Cảm biến đo tiêu hao nhiên liệu diesel; 7. Thiết bị đo áp suất buồng đốt; 8. Lọc khí; 9. Cảm biến lưu lượng khí nạp; 10. Vòi phun hydro; 11. Cảm biến đo áp suất buồng đốt; 12. Van EGR; 13. Bộ làm mát khí luân hồi; 14. Cảm biến nhiệt độ khí thải; 15. Cảm biến lambda; 16. Cảm biến thời điểm phun hydro; 17. ECU điều khiển vòi phun hydro; 18. Bình hydro; 19. Van khóa cơ khí; 20. Bộ giảm áp; 21. Cảm biến lưu lượng hydro; 22. Van 1 chiều; 23. Van chống cháy ngược

được đo bằng tủ thiết bị AVLdismoke4000, thiết bị đo áp suất buồng đốt AVL 620 Indiset, thiết bị đo tiêu hao nhiên liệu diesel AVL Fuel Balance 733S, thiết bị đo tiêu hao không khí Hot-Film-Air-Mass meter (HFM5), thiết bị đo lambda, thiết bị đo nhiệt độ khí thải, đo tiêu hao hydro.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật động cơ nghiên cứu

Thông số kỹ thuật	Giá trị	Đơn vị
Hành trình pít-tông	80	mm
Đường kính xilanh	80	mm
Dung tích công tác	0,402	Lít
Công suất cực đại	5,15 tại 2600v/p	kW
Tỷ số nén	20±1	
Suất tiêu hao nhiên liệu g <sub>e</sub>	278	g/kW.h

**2.3. Xây dựng mô hình mô phỏng động cơ nghiên cứu**



Hình 2. Mô hình mô phỏng trên AVL Boost

C1 là động cơ diesel R180; CO1 là bộ làm mát khí luân hồi; TH1 là van EGR; I1 là vòi phun H<sub>2</sub>; SB1, SB2 là các điều kiện biên; MP1 đến MP6 là các điểm đo; J1, J2 là các điểm nối giữa các đường ống; E1 là các tủ đặt các thông số chung.

Động cơ R180 được mô hình hóa trên phần mềm AVL Boost. Sơ đồ mô hình mô phỏng được trình bày ở hình 2.

Các thông số cơ bản được nhập vào mô hình như đường kính xilanh, hành trình piston, kiểu loại động cơ... Mô hình cho quá trình cháy của động cơ lưỡng nhiên liệu là mô hình cháy AVL MCC. Mô hình này có thể sử dụng cho nhiên liệu diesel hoặc đa nhiên liệu giữa diesel và một loại nhiên liệu khác. Mô hình có khả năng dự đoán tốc độ giải phóng nhiệt trong động cơ hình thành hỗn hợp không đồng nhất, sự ảnh hưởng quá trình luân hồi và dự đoán được sự hình thành NO<sub>x</sub>, CO và Soot [9].

$$\frac{d(m_c \cdot u)}{da} = -p_c \cdot \frac{dV}{da} + \frac{dQ_F}{da} - \sum \frac{dQ_w}{da} - h_{BB} \frac{dm_{BB}}{da}$$

Trong đó:

$$\frac{d(m_c \cdot u)}{da} \text{ - Biến đổi nội năng bên trong xilanh;}$$

$$-p_c \cdot \frac{dV}{da} \text{ - Công chu trình thực hiện;}$$

$$\frac{dQ_F}{da} \text{ - Nhiệt lượng cấp vào;}$$

$$\sum \frac{dQ_w}{da} \text{ - Tổn thất nhiệt qua vách;}$$

$$h_{BB} \cdot \frac{dm_{BB}}{da} \text{ - Tổn thất enthalpy do lọt khí;}$$

m<sub>c</sub> - Khối lượng môi chất bên trong xilanh;

u - Nội năng;

p<sub>c</sub> - Áp suất bên trong xilanh;

V - Thể tích xilanh;

Q<sub>F</sub> - Nhiệt lượng của nhiên liệu cung cấp;

Q<sub>w</sub> - Nhiệt lượng tổn thất cho thành;

α - Góc quay trục khuỷu;

h<sub>BB</sub> - Trị số enthalpy;

$$\frac{dm_{BB}}{da} \text{ - Biến thiên khối lượng dòng chảy.}$$

Quá trình truyền nhiệt từ trong buồng cháy qua thành buồng cháy như nắp xilanh, piston và lót xilanh được tính dựa vào phương trình truyền nhiệt sau:

$$Q_{wi} = A_i \cdot \alpha_w \cdot (T_c - T_{wi})$$

Q<sub>wi</sub> - Nhiệt lượng truyền cho thành (nắp xilanh, pít-tông, lót xilanh);

A<sub>i</sub> - Diện tích truyền nhiệt (nắp xilanh, pít-tông, lót xilanh);

α<sub>w</sub> - Hệ số truyền nhiệt;

T<sub>c</sub> - Nhiệt độ môi chất trong xilanh;

T<sub>wi</sub> - Nhiệt độ thành (nắp xilanh, pít-tông, lót xilanh);

Tỉ lệ luân hồi được xác định bằng công thức:

$$EGR(\%) = \frac{m_{EGR}}{m_i} \times 100 \tag{1}$$

Lambda được tính như sau:

$$\lambda = \frac{m_i + m_{KKT}}{m_D \left(\frac{A}{F}\right)_D + m_H \left(\frac{A}{F}\right)_H} \tag{2}$$

Trong đó: m<sub>i</sub>, m<sub>KKT</sub>, m<sub>D</sub> và m<sub>H</sub> lần lượt là lượng không khí nạp mới, lượng không khí trong khí luân hồi, lượng nhiên liệu diesel và lượng khí H<sub>2</sub> (g/chu trình); (A/F)<sub>D</sub> và (A/F)<sub>H</sub> là tỷ lệ không khí/nhiên liệu lý thuyết của diesel và hydro, (A/F)<sub>D</sub> = 14,5 (kgkk/kgnl) và (A/F)<sub>H</sub> ≈ 34,5 (kgkk/kgnl).

$$\text{Tỉ lệ H}_2 \text{ thay thế} = \frac{m_{Dtt}}{m_{Dbd}} \times 100\% \tag{3}$$

$$\text{Lượng H}_2 \text{ thay thế} = m_{Dtt} \times \frac{LHV_D}{LHV_H} = m_{Dtt} \times \frac{42,8}{119,7} \tag{4}$$

Trong đó, m<sub>Dtt</sub> là lượng diesel bị thay thế, m<sub>Dbd</sub> là lượng diesel ban đầu, LHV<sub>D</sub> và LHV<sub>H</sub> là nhiệt trị thấp của diesel và hydro (MJ/kg). LHV<sub>D</sub> = 42,8 (MJ/kg) và LHV<sub>H</sub> = 119,7 (MJ/kg).

Trong trường hợp sử dụng lưỡng nhiên liệu, tính năng kinh tế của động cơ được đánh giá bằng suất tiêu hao năng lượng có ích BSEC (Brake Specific Energy Consumption) xác định theo công thức:

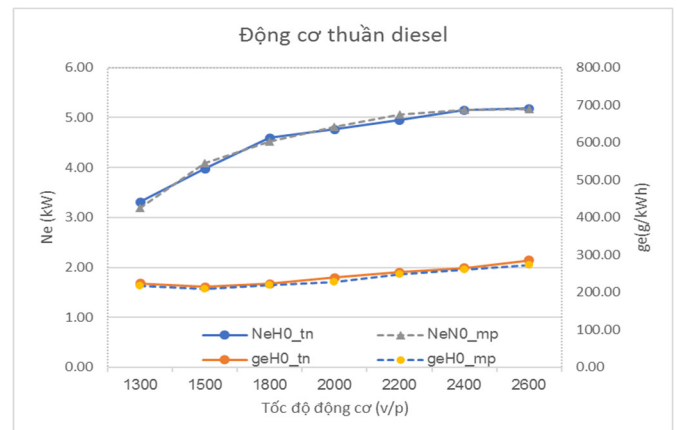
$$BSEC = \frac{m_D LHV_D + m_H LHV_H}{BP} \tag{5}$$

BP (Brake Power) là công suất có ích của động cơ

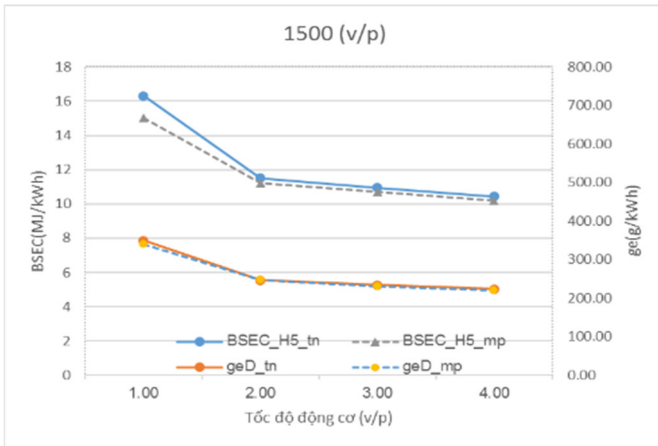
### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Đánh giá độ tin cậy của mô hình

Để có thể có bộ thông số đầu vào nhập mô hình trên phần mềm ALV Boost thì cần phải nghiên cứu thực nghiệm. Hình 3 trình bày diễn biến công suất và suất tiêu hao nhiên liệu tại đặc tính ngoài của động cơ thuần diesel khi thực nghiệm và mô phỏng. Hình 4 trình bày suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ thuần diesel và tiêu hao năng lượng của động cơ lưỡng nhiên liệu (thay thế 5% tổng năng lượng cung cấp) tại tốc độ 1500v/p. Kết quả cho thấy sai số giữa thực nghiệm và mô phỏng nhỏ hơn 5%. Vì vậy, kết quả mô phỏng từ mô hình này có thể được sử dụng làm số liệu tham chiếu khi nghiên cứu ảnh hưởng của các tỉ lệ EGR và tỉ lệ hydro thay thế khác nhau trên động cơ DDF ở tốc độ 1500v/p.



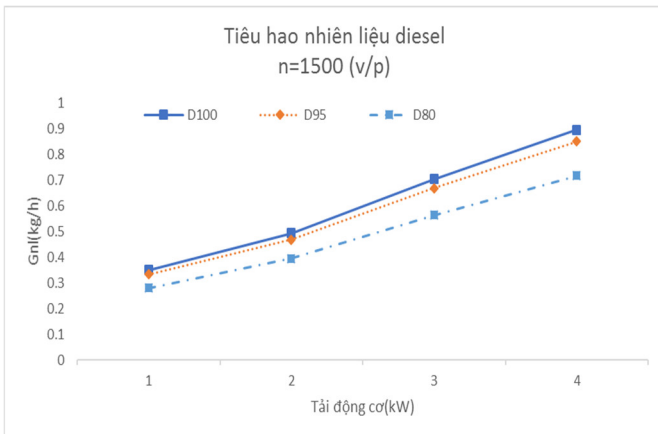
Hình 3. Đồ thị đánh giá độ tin cậy của mô hình thuần diesel ở toàn tải



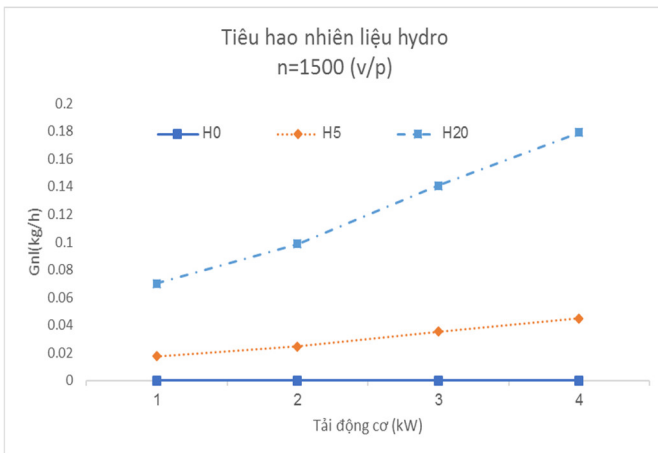
Hình 4. Đồ thị đánh giá độ tin cậy của mô hình khi HES 5% ở tốc độ 1500v/p

### 3.2. Lượng nhiên liệu cung cấp với các tỉ lệ thay thế khác nhau khi mô phỏng

Hình 5 và 6 trình bày về lượng tiêu hao nhiên liệu diesel và lượng tiêu hao hydro nhập vào mô hình AVL Boost ở tốc độ 1500v/p với các tải trọng khác nhau. Các thông số nhập vào đảm bảo không đổi về tổng năng lượng cung cấp. Việc đánh giá ảnh hưởng của các tỉ lệ EGR tới đặc tính làm việc và phát thải của động cơ DDF dựa trên các thông số như: lambda, áp suất buồng cháy, tốc độ hình thành Soot và NO<sub>x</sub>. Sự so sánh được so sánh với động cơ thuần diesel.



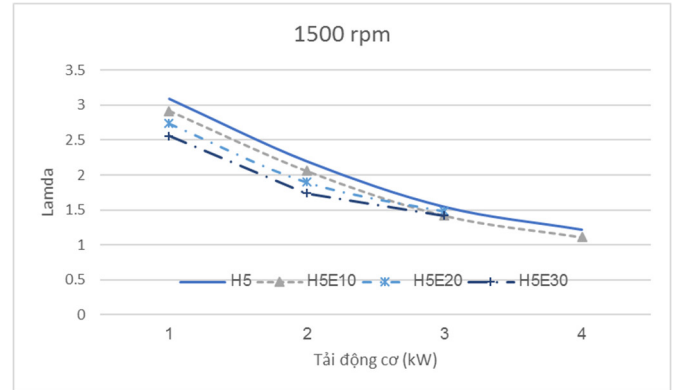
Hình 5. Đồ thị tiêu hao diesel mô phỏng



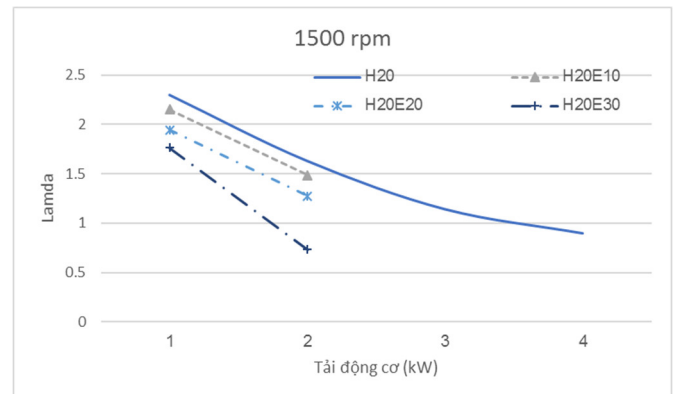
Hình 6. Đồ thị tiêu hao hydro khi mô phỏng

### 3.3. Ảnh hưởng của EGR tới lambda

Hình 7 và 8 trình bày ảnh hưởng của EGR tới lambda của động cơ DDF với các tỉ lệ hydro thay thế là 5% và 20%. Luân hồi khí thải cho động cơ DDF sẽ làm cho lambda giảm xuống vì thế nếu giảm quá nhiều sẽ làm cho động cơ cháy không hoàn hảo, nhiên liệu không cháy hết, áp suất buồng đốt giảm và hình thành các chất độc hại.



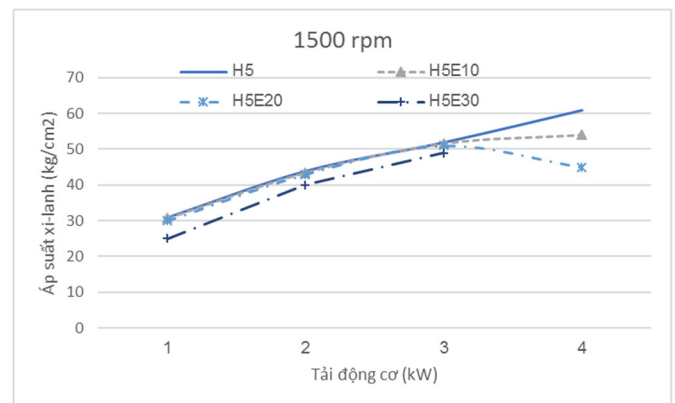
Hình 7. Ảnh hưởng của EGR tới lambda của động cơ DDF5



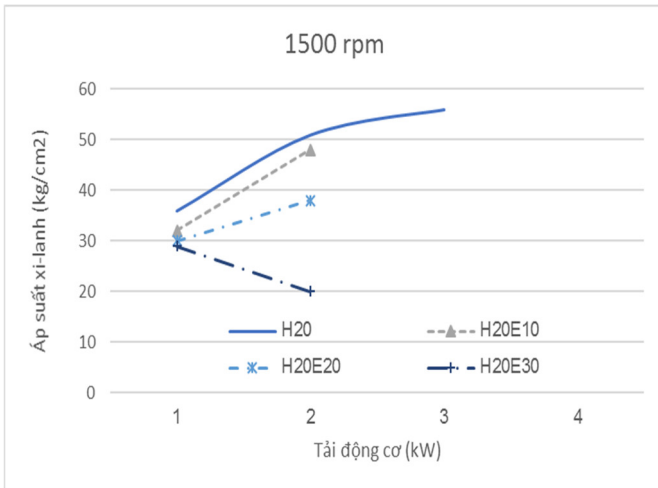
Hình 8. Ảnh hưởng của EGR tới lambda của động cơ DDF20

### 3.4. Áp suất trong xilanh

Hình 9 và 10 trình bày ảnh hưởng của EGR tới áp suất buồng cháy của động cơ DDF có các tỉ lệ hydro thay thế là 5% và 20%. Đối với động cơ DDF5 khi tải trọng động cơ tăng thì áp suất buồng đốt tăng mặc dù có luân hồi khí thải. Vùng tải trọng này từ 1kW đến 3kW. Tại tải trọng 4kW áp suất buồng đốt giảm với mọi tỉ lệ luân hồi



Hình 9. Ảnh hưởng của EGR tới áp suất buồng đốt của động cơ DDF5



Hình 10. Ảnh hưởng của EGR tới áp suất buồng đốt của động cơ DDF20

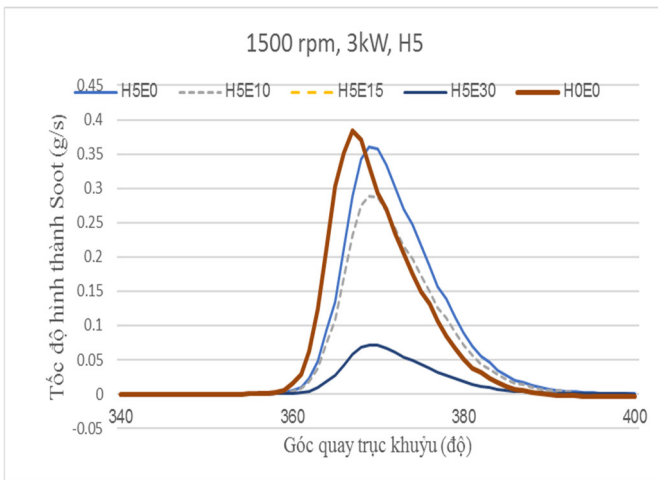
Đối với động cơ DDF20 khi có luân hồi E10 và E20 áp suất buồng đốt vẫn tăng trong vùng tải trọng 1kW đến 2kW, còn khi có E30 áp suất giảm mạnh. Việc áp suất tăng và giảm theo EGR là do EGR làm tăng CO<sub>2</sub>, giảm bớt lượng khí nạp vào trong buồng đốt, giảm nhiệt độ cháy vì thế áp suất cũng giảm.

**3.5. Phát thải Soot**

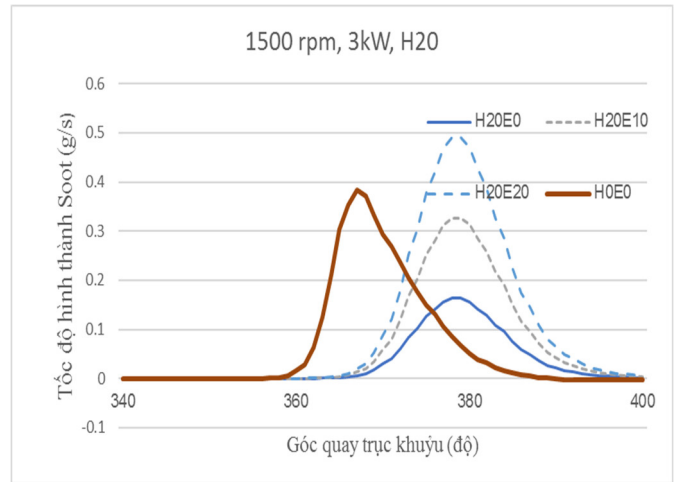
Để đánh giá ảnh hưởng của phát thải Soot và NO<sub>x</sub> trên động cơ DDF có EGR. Ở đây nhóm tác giả nghiên cứu tại tốc độ 1500 v/p và tải trọng 3kW.

Hình 11 và 12 trình bày ảnh hưởng của EGR tới động cơ DDF có các tỉ lệ thay thế lần lượt là 5% và 20%. Có thể thấy rằng với H5 việc EGR luân hồi tới 30% thì tốc độ phát thải Soot vẫn thấp hơn động cơ nguyên bản. Với H10 thì tại H10E30 tốc độ phát thải Soot tăng hơn so với động cơ nguyên bản.

Với H20 thì khi có luân hồi E10 thì tốc độ phát thải Soot vẫn nhỏ hơn động cơ nguyên bản, nhưng khi E20 thì tốc độ phát thải Soot lại tăng. Điều này có thể giải thích là khi có EGR lượng khí thải luân hồi sẽ quay lại buồng cháy mà trong khí thải luân hồi có sản vật cháy, các phát thải dạng hạt vì thế lượng Soot sẽ tăng lên.

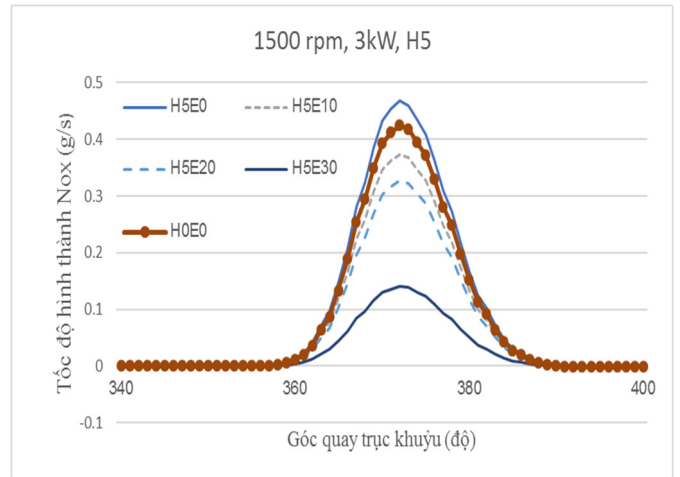


Hình 11. Ảnh hưởng của EGR tới tốc độ hình thành Soot của động cơ DDF10

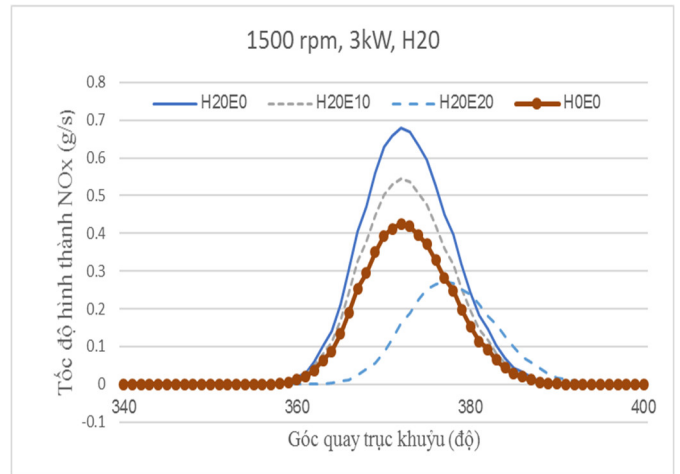


Hình 12. Ảnh hưởng của EGR tới tốc độ hình thành Soot của động cơ DDF20

**3.6. Phát thải NO<sub>x</sub>**



Hình 13. Ảnh hưởng của EGR tới tốc độ hình thành NO<sub>x</sub> của động cơ DDF10



Hình 14. Ảnh hưởng của EGR tới tốc độ hình thành NO<sub>x</sub> của động cơ DDF20

Hydro có tác dụng giảm Soot mạnh khi tham gia vào quá trình cháy của động cơ diesel nhưng nó lại làm tăng hàm lượng NO<sub>x</sub> vì thế phải sử dụng EGR để giảm hàm lượng NO<sub>x</sub> nhưng EGR lại làm gia tăng sự phát thải Soot. Có thể thấy khi có EGR hàm lượng Soot tăng nhưng không nhiều. Điều này có thể giải thích là khi có EGR lượng khí thải luân hồi sẽ quay

lại buồng, trong khí thải luân hồi có sản vật cháy, các phát thải dạng hạt vì thế lượng Soot sẽ tăng lên.

Hình 13 và 14 trình bày tốc độ hình thành  $\text{NO}_x$  khi thực hiện EGR cho động cơ DDF với các tỉ lệ hydro thay thế là 5% và 20%. Có thể thấy rằng với H5 khi EGR thì  $\text{NO}_x$  giảm xuống và giảm càng nhiều khi tăng tỉ lệ EGR. Đối với H20 khi tăng EGR thì tại E10 tốc độ hình thành  $\text{NO}_x$  vẫn lớn hơn động cơ thuần diesel, còn các trường hợp khác tốc độ phát thải  $\text{NO}_x$  đều giảm.

#### 4. KẾT LUẬN

Ảnh hưởng của EGR lên đặc tính cháy và phát thải của động cơ lưỡng nhiên liệu diesel-hydro đã được nghiên cứu. Các thông số nghiên cứu là tỉ lệ hydro bổ sung, tỉ lệ EGR, áp suất buồng cháy, phát thải  $\text{NO}_x$  và phát thải Soot ở tốc độ 1500v/p, tải trọng 3kW.

Việc có EGR có thể giảm đáng kể lượng khí thải  $\text{NO}_x$  trong khi chỉ có ảnh hưởng nhỏ tới sự gia tăng Soot và áp suất xilanh. Nhìn chung việc sử dụng EGR cho động cơ DDF là một biện pháp khả thi để có thể giảm đồng thời phát thải  $\text{NO}_x$  và Soot

#### AUTHORS INFORMATION

**Trinh Xuan Phong<sup>1,2</sup>, Hoang Dinh Long<sup>2</sup>,**

**Nguyen Thanh Trung<sup>3</sup>, Nguyen Phi Truong<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Namdingh University of Technology Education, Vietnam

<sup>2</sup>Hanoi University of Science and Technology, Vietnam

<sup>3</sup>Vocational College of Agricultural Mechanics, Vietnam

<sup>4</sup>Hanoi University of Industry, Vietnam

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. R. Banerjee, S. Roy, P. K. Bose, 2015. *Hydrogen-EGR synergy as a promising pathway to meet the PM-NO<sub>x</sub>-BSFC trade-off contingencies of the diesel engine: A comprehensive review*. International Journal of Hydrogen Energy, vol. 40, pp. 12824-12847.

[2]. I. OECD, 2016. *Energy and Air Pollution*. World Energy Outlook Special Report 2016.

[3]. P. Sharma, A. Dhar, 2018. *Effect of hydrogen supplementation on engine performance and emissions*. International Journal of Hydrogen Energy, vol. 43, pp. 7570-7580.

[4]. P. K. Bose, D. Maji, 2009. *An experimental investigation on engine performance and emissions of a single cylinder diesel engine using hydrogen as inducted fuel and diesel as injected fuel with exhaust gas recirculation*. International Journal of Hydrogen Energy, vol. 34, pp. 4847-4854.

[5]. V. SinghYadav, S. L. Soni, D. Sharma, 2012. *Performance and emission studies of direct injection C.I. engine in dual fuel mode (hydrogen-diesel) with EGR*. International Journal of Hydrogen Energy, vol. 37, pp. 3807-3817.

[6]. H. W. Wu, Z. Y. Wu, 2012. *Investigation on combustion characteristics and emissions of diesel/hydrogen mixtures by using energy-share method in a diesel engine*. Applied Thermal Engineering, vol. 42, pp. 154-162.

[7]. P. Dimitriou, M. Kumar, T. Tsujimura, Y. Suzuki, 2018. *Combustion and emission characteristics of a hydrogen-diesel dual-fuel engine*. International Journal of Hydrogen Energy, vol. 43, pp. 13605-13617.

[8]. D. Agarwal, S. K. Singh, A. K. Agarwal, 2011. *Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance, emissions, deposits and durability of a constant speed compression ignition engine*. Applied energy, vol. 88, pp. 2900-2907.

[9]. A. Boost, 2011. *AVL Boost Combustion Model*. Austria.