

# NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH CHÁY HCCI CỦA ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG BẰNG PHẦN MỀM AVL BOOST

STUDY ON HCCI COMBUSTION OF ENGINES INTERNAL COMBUSTION ENGINE BY AVL BOOST SOFTWARE

Nguyễn Văn Đạt<sup>1</sup>, Hồ Văn Tân<sup>1</sup>, Đào Duy Thông<sup>1</sup>,  
Nguyễn Đức Hòa<sup>1</sup>, Nguyễn Minh Thắng<sup>2,\*</sup>

## TÓM TẮT

Nghiên cứu chuyển đổi động cơ diesel truyền thống sang hoạt động theo nguyên lý cháy (HCCI). Nghiên cứu sử dụng nhiên liệu n-heptan trên động cơ diesel 5402 trên phần mềm AVL-Boos. Động cơ chuyển đổi hoạt động ổn định tại chế độ tốc độ và tải thấp từ 1600vòng/ph đến 2000vòng/ph và 10% tải đến 20% tải. Kết quả thông số chỉ thị và các phát thải của động cơ HCCI với động cơ diesel nguyên bản ta thấy phát thải NO<sub>x</sub>, HC, CO<sub>2</sub> của động cơ HCCI thấp hơn nhiều so với động cơ diesel do động cơ HCCI làm việc trong vùng nhiệt độ thấp nhỏ hơn 2000K.

**Từ khóa:** Cháy do nén hỗn hợp đồng nhất (HCCI); mô phỏng; n-heptane.

## ABSTRACT

Studying the conversion from traditional diesel engines to operating according to the combustion principle (HCCI). On the basis of research is using n-heptane fuel on 5402 diesel engine on AVL-Boost software. The converter motor operates stably at low speed and load mode from 1600rpm to 2000rpm and 10% load to 20% load. The results of the indicator parameters and emissions of the HCCI engine with the original diesel engine show that the NO<sub>x</sub>, HC, and CO<sub>2</sub> emissions of the HCCI engine are much lower than that of the diesel engine because the HCCI engine works in the hot zone. low level less than 2000K.

**Key words:** HCCI simulation; n-heptane.

<sup>1</sup>Lớp ĐH Kỹ thuật Ô tô 03 - K13, Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: thangcnn6688@gmail.com

## 1. GIỚI THIỆU

Trong thập niên đầu thế kỷ XXI, một lượng lớn các công trình nghiên cứu khoa học đã được xuất bản liên quan đến ứng dụng mô hình cháy HCCI cho nhiên liệu diesel và mô hình CAI (Control auto ignition - Tự cháy có điều khiển) cho nhiên liệu xăng trên động cơ đốt trong kiểu piston. Vài năm gần đây, nhiều nhà khoa học cũng đã nghiên cứu sử dụng nhiên liệu thay thế như DME, biodiesel, LPG, syngas, ethyl acetate, ethanol,... trên động cơ HCCI/CAI, tuy nhiên chưa thực sự phổ biến. Thực tế nguyên lý cháy này đã được ứng dụng trên động cơ bầu nhiệt (2 kỳ và 4 kỳ) từ hơn 100 năm trước. Trên động cơ này, dầu hỏa hoặc dầu thô được phun vào trong bầu nhiệt ngay từ đầu quá trình nén, hoàn toàn đủ thời gian để nhiên liệu bay hơi và hoà trộn với không khí. Trong quá trình khởi động, bầu nhiệt được sấy nóng trước

bằng cách dùng ngọn lửa đốt từ bên ngoài. Sau khi khởi động, bầu nhiệt vẫn giữ được nhiệt nhờ quá trình cháy nhiên liệu bên trong bầu. Nhiệt độ bầu lớn đến nỗi nhiên liệu bay hơi gần như ngay lập tức khi tiếp xúc với bề mặt của bầu. Do hỗn hợp được hoà trộn từ rất sớm, nên có thể tạo được hỗn hợp đồng nhất, kết quả dẫn đến hỗn hợp tự cháy khi piston tiến gần đến ĐCT.

Đối với động cơ xăng sử dụng bộ chế hoà khí, hiện tượng tự cháy hỗn hợp đồng nhất thường xảy ra sau khi động cơ hoạt động một thời gian ở chế độ tải lớn dù bugi không còn đánh lửa do nhiệt độ các chi tiết rất cao và thời gian cháy trễ lớn khiến hoà khí tự cháy. Quá trình còn được gọi là “dieseling” do tính chất giai đoạn này giống với quá trình cháy trên động cơ diesel: cháy không cần tia lửa điện. Thực tế, những nghiên cứu đầu tiên về động cơ xăng cháy theo nguyên lý HCCI/CAI từ năm 1979 đã thúc đẩy các nhà khoa học sau này tiếp tục nghiên cứu nhằm điều khiển quá trình cháy không đồng đều giúp cho quá trình cháy nghèo trở nên ổn định hơn.

## 2. QUY TRÌNH MÔ PHỎNG

### 2.1. Cơ sở lý thuyết

Nhiệt lượng truyền qua thành vách bao gồm đỉnh piston, nắp máy, thân máy và xupap được tính toán theo công thức sau:  $Q_{wi} = A_i \cdot \alpha_i \cdot (T_c - T_{wi})$

Trong đó:

$Q_{wi}$	Nhiệt lượng truyền qua thành xy lanh;
$A_i$	Diện tích bề mặt truyền nhiệt;
$\alpha_w$	Hệ số truyền nhiệt;
$T_c$	Nhiệt độ môi chất cháy trong xy lanh;
$T_{wi}$	Nhiệt độ thành vách xy lanh.

Đối với mô hình cháy HCCI, thông số  $dQ_F/da$  được tính toán như sau:

$$\frac{dQ_F}{da} = \sum_{i=1}^{n_{SpGas}} u_i \cdot MW_i \cdot \dot{\omega}_i$$

Tỷ lệ khối lượng của các thành phần được tính như sau:

$$\rho \cdot \frac{dw_i}{da} = MW_i \cdot \dot{\omega}_i$$

Trong đó:

- $N_{spcGas}$  - Số phân tử trong hỗn hợp khí, [-];
- MW- Khối lượng mol của mỗi phân tử, [kg/kmol];
- u - Năng lượng thành phần của phân tử, [J/kg.K];
- w - Tỷ lệ khối lượng của mỗi phân tử, [-];
- $\rho$  - Khối lượng riêng của hỗn hợp, [kg/m<sup>3</sup>];
- $\omega$ - Tốc độ phản ứng của mỗi thành phần, [kmol/m<sup>3</sup>s].

**2.2. Đối tượng mô phỏng**

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của động cơ

Thông số	Giá trị
Tên động cơ	AVL 5402
Kiểu động cơ	1 xylanh, 4 kỳ
Đường kính xylanh	85 mm
Hành trình piston	90 mm
Dung tích xylanh	510,7 cm <sup>3</sup>
Tỷ số nén	17,3:1
Xupap nạp	Mở sớm 16°TK Đóng muộn 46°TK
Xupap thải	Mở sớm 53,5°TK Đóng muộn 16,5°TK

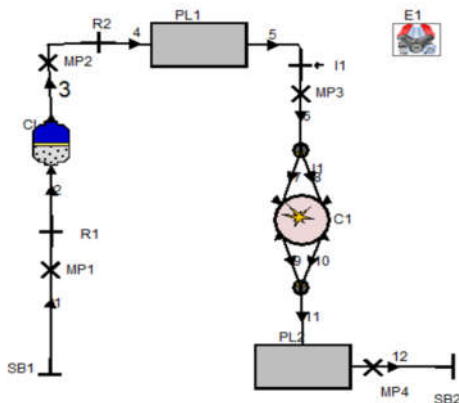
Động cơ mô phỏng là động cơ nghiên cứu một xylanh AVL 5402. Các thông số kỹ thuật của động cơ được cho trong bảng 1.

Nhiên liệu được sử dụng trong mô phỏng là n-heptane với một số tính chất hóa lý cơ bản như trong bảng 2.

Bảng 2. Tính chất lý hóa của nhiên liệu

Tính chất	Giá trị
Công thức hoá học	n-C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>
Khối lượng mol	100,16g/mol
Khối lượng riêng	0,692g/ml
Nhiệt trị thấp	11,125Kcal/kg
Nhiệt ẩn hóa hơi	0,317MJ/kg
Chỉ số cetane	56
Hệ số A/F	15,132

**2.3. Mô hình mô phỏng trong AVL Boost**



Hình 1. Mô hình động cơ AVL 5402 khi lắp tua bin tăng áp

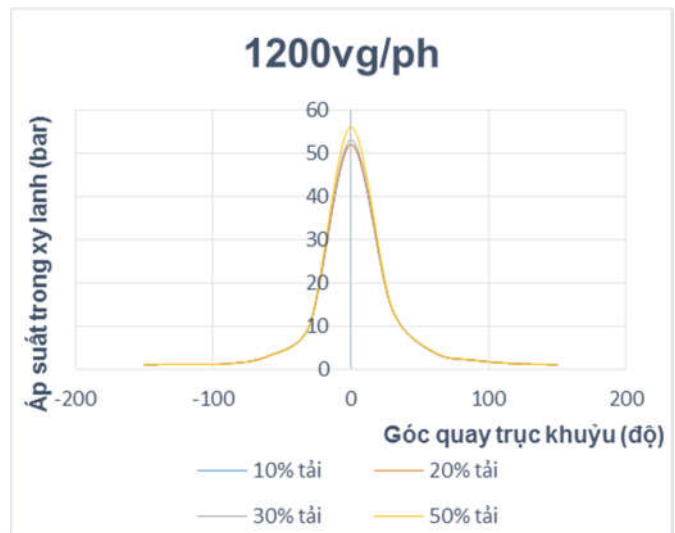
Mô hình động cơ AVL 5402 được xây dựng trên phần mềm AVL Boost cho nghiên cứu ảnh hưởng của áp suất và nhiệt độ khí nạp tương ứng trong hình 1.

Bảng 3. Số lượng các phân tử sử dụng trong mô hình

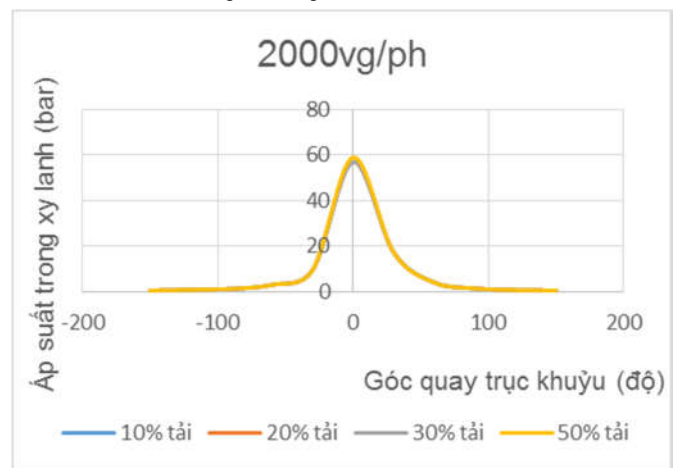
TT	Tên các phân tử	Ký hiệu	Số lượng
1	Xylanh	C1	1
2	Đường ống nạp, thải	-	12
3	Phân tử biên	S--B	2
4	Lọc khí nạp	CL	1
5	Làm mát	CO	2
6	Bình ổn áp	PL	2
7	Điểm đo	MP	4

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

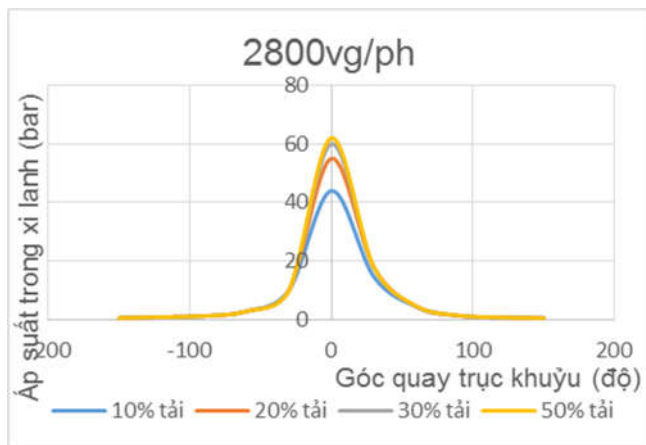
Áp suất trong xy lanh của động cơ HCII được thể hiện trên hình trên, tại chế độ tốc độ nhỏ hơn 2400vg/ph và chế độ tải nhỏ hơn 30% thì diễn biến áp suất ổn định, tại chế độ tốc độ cao hơn 2400vg/ph và tải cao động cơ HCII có xu hướng cháy sớm, áp suất không ổn định thay đổi ở từng chế độ tải.



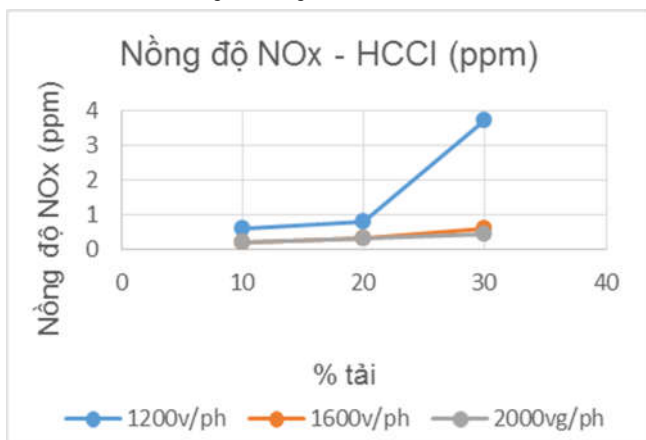
Hình 2. Chế độ tốc độ góc 1200vg/ph



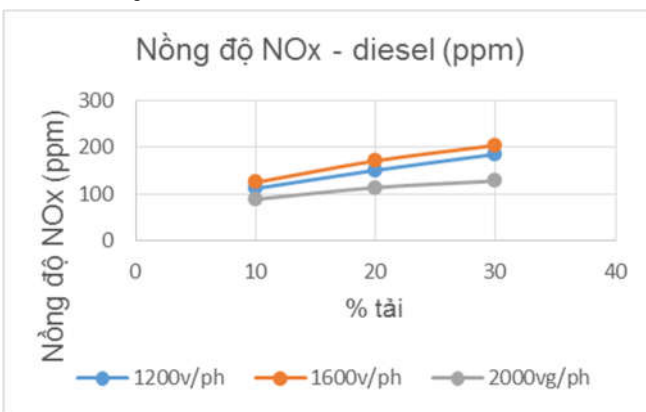
Hình 3. Chế độ tốc độ góc 2000vg/ph



Hình 4. Chế độ tốc độ góc 2800v/ph

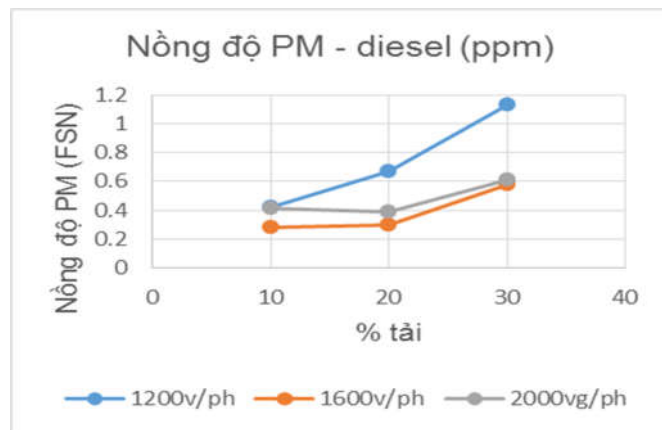


Hình 5. Nồng độ NO<sub>x</sub> - HCCI (ppm)



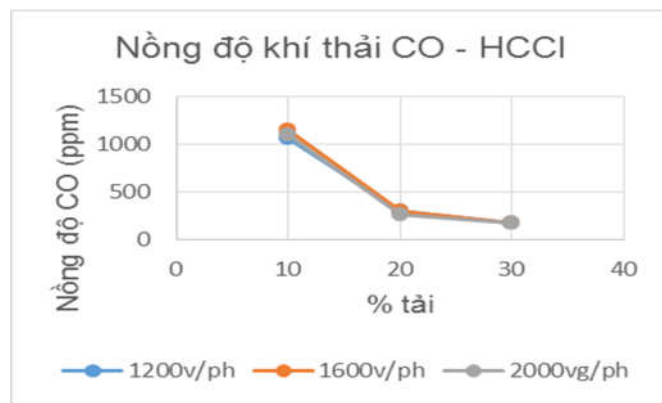
Hình 6. Nồng độ NO<sub>x</sub> - diesel (ppm)

Hình 2-6 thể hiện phát thải NO<sub>x</sub> của động cơ diesel nguyên bản và động cơ HCCI. Phát thải NO<sub>x</sub> của động cơ HCCI thấp hơn so với động cơ diesel rất nhiều, tính trung bình tại chế độ tải từ 10% đến 30% cho tất cả các tốc độ tỷ lệ phát thải NO<sub>x</sub> của động cơ nguyên bản cao hơn động cơ HCCI lần lượt là 88, 454 và 348 lần. Nguyên nhân xảy ra phát thải NO<sub>x</sub> của động cơ HCCI thấp hơn rất nhiều so với động cơ diesel là do NO<sub>x</sub> hình thành trong điều kiện nhiệt độ cao trong khi quá trình cháy HCCI xảy ra hiện tượng có nhiều tâm cháy cùng lúc, điều đó có nghĩa là nhiệt độ cục bộ tại các điểm cháy sẽ thấp hơn so với động cơ diesel.

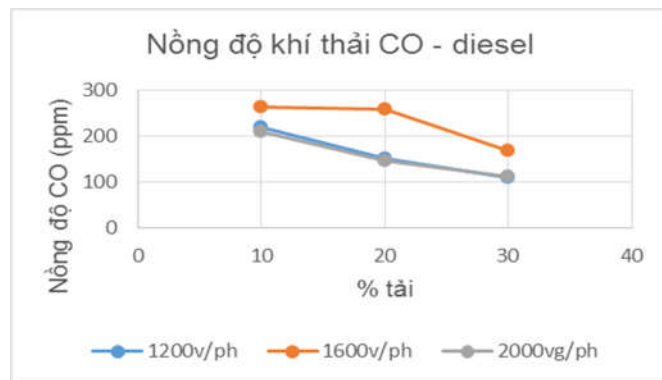


Hình 7. Nồng độ PM - diesel (ppm)

Trong quá trình thực nghiệm không đo được thành phần phát thải PM của động cơ HCCI. Trong khí xả của động cơ HCCI không có thành phần PM là do hỗn hợp n-heptan và không khí đã được hòa trộn trước ở bên ngoài đường ống nạp nhằm tạo hỗn hợp đồng nhất bên ngoài xy lanh của động cơ, khi hỗn hợp này được đưa vào xy lanh là n-heptan quá trình cháy gần như hoàn toàn nên không có PM.



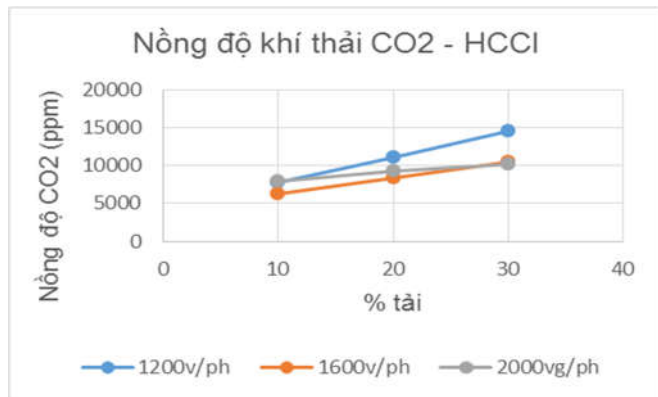
Hình 8. Nồng độ CO - HCCI



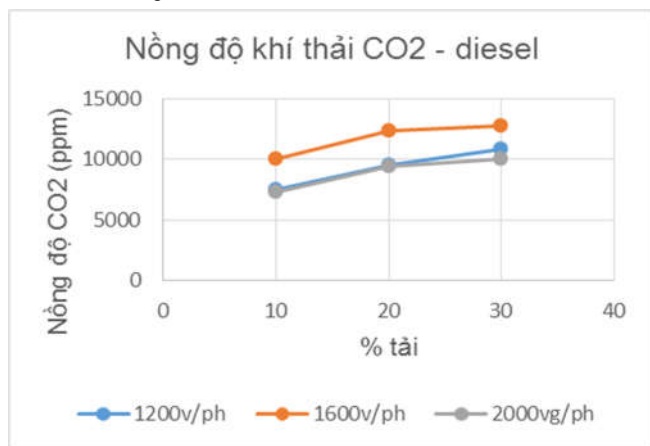
Hình 9. Nồng độ CO - diesel

Ta thấy rằng phát thải CO của động cơ HCCI rất cao tại chế độ tải thấp và giảm dần khi tăng tải. Khi tính trung bình tại chế độ tải từ 10% đến 30% cho tất cả các tốc độ tỷ lệ HC của động cơ HCCI tăng so với động cơ diesel là: 3,2; 2,4 và 3,3 lần. Do hình thành hỗn hợp bên ngoài xy lanh nên n-heptan đã chiếm chỗ của không khí nên trong quá trình

cháy HCCI lượng ô xy sẽ ít hơn diesel, đây là một nguyên nhân dẫn đến tăng lượng CO ở động cơ HCCI. Bên cạnh đó trong quá trình cháy của động cơ HCCI sẽ có nhiều tâm cháy cùng lúc, khi đó thời gian cháy sẽ ngắn lại cho nên lượng CO không kịp ô xi hóa thành CO<sub>2</sub> tăng.

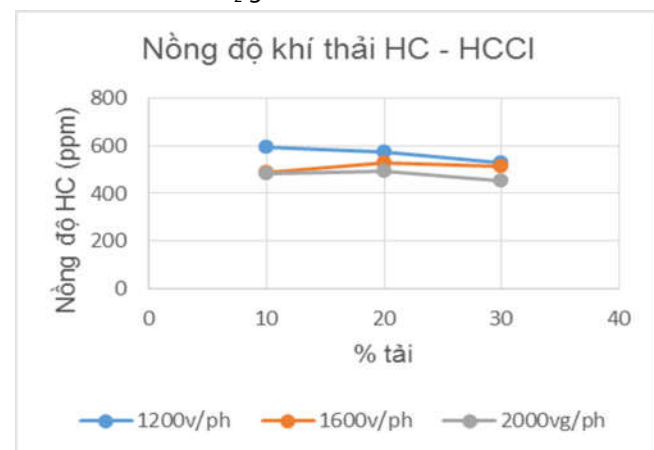


Hình 10. Nồng độ CO - HCCI

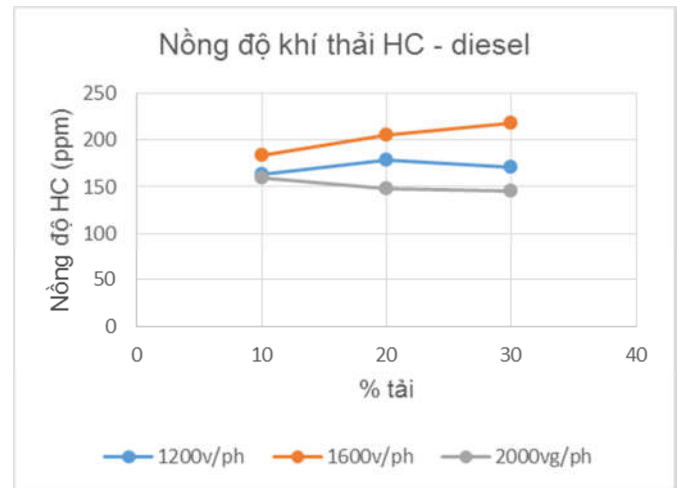


Hình 11. Nồng độ CO<sub>2</sub> - diesel

Ta thấy rằng phát thải CO<sub>2</sub> của động cơ HCCI so với động cơ nguyên bản ít hơn. Khi tính trung bình tại chế độ tải từ 10% đến 30% cho tất cả các tốc độ tỷ lệ giảm phát thải CO<sub>2</sub> của động cơ HCCI so với động cơ diesel lần lượt là: 1,2; 0,7 và 1,02 lần. Phát thải CO<sub>2</sub> giảm là do lượng CO ô xi hóa thành thành CO<sub>2</sub> giảm.



Hình 12. Nồng độ khí thải HC - HCCI



Hình 13. Nồng độ khí thải HC - diesel

Phát thải HC của động cơ HCCI lớn hơn so với động cơ diesel. Do quá trình cháy xảy ra gần như đồng thời nên phần hòa khí ở ngoài rìa tâm cháy sẽ không kịp cháy dẫn đến HC tăng cao. Khi tính trung bình tại chế độ tải từ 10% đến 30% cho tất cả các tốc độ tỷ lệ tăng HC của động cơ HCCI so động cơ diesel lần lượt là: 3,3; 2,5 và 3,1 lần.

#### 4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả về đặc tính cháy, thời điểm bắt đầu cháy, áp suất và hiệu suất chỉ thị, phát thải của động cơ thử nghiệm có thể thấy động cơ chuyển đổi từ diesel sang hoạt động theo nguyên lý cháy HCCI làm việc ổn định tại tốc độ 1600 vg/ph - 2000vg/ph và 10% tải - 20% tải.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Can Cinar, Özer Can, Fatih Sahin, H. Serdar Yucesu, 2010. *Effects of premixed diethyl ether (DEE) on combustion and exhaust emissions in a HCCI-DI diesel engine*. Applied Thermal Engineering, (30), pp360–365.
- [2]. P Moulali, T H Prasad, B D Prasad, 2019. *Influence of EGR and Inlet Temperature on Combustion and Emission Characteristics of HCCI Engine with Micro Algae Oil*. Journal of Scientific & Industrial Research Vol. 78, pp. 317-322.
- [3]. AVL-List GmbH, BOOST v.2009. *Users Guide & Theory*, Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz, Austria.
- [4]. Hampson GJ, 2005. *Heat release design method for HCCI in diesel engines*, SAE paper 2005-01-3728.
- [5]. S. Swami Nathan, J.M. Mallikarjuna, A. Ramesh, 2010. *An experimental study of the biogas–diesel HCCI mode of engine operation*. Energy Conversion and Management 51, 1347–1353.
- [6]. Suyin Gan, Hoon Kiat Ng, Kar Mun Pang, 2011. *Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) combustion: Implementation and effects on pollutants in direct injection diesel engines*. Applied Energy 88, 559–5.
- [7]. Can Cinar, Özer Can, Fatih Sahin, H. Serdar Yucesu, 2010. *Effects of premixed diethyl ether (DEE) on combustion and exhaust emissions in a HCCI-DI diesel engine*. Applied Thermal.