

## NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP SUẤT PHUN NHIÊN LIỆU VÀ ÁP SUẤT CUỐI KỲ NÉN ĐẾN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ DIESEL MÁY CHÍNH TÀU CÁ

### A SIMULATION STUDY ON EFFECT OF FUEL INJECTION PRESSURE AND PRESSURE OF THE END COMPRESSION STROKE ON POWER OF FISHING VESSEL diesel engines

**Hồ Đức Tuấn<sup>1</sup>, Mai Đức Nghĩa<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Trường Đại học Nha Trang

<sup>2</sup>Trường Sĩ quan Không quân

Tác giả liên hệ: Hồ Đức Tuấn (Email: tuanhd@ntu.edu.vn)

Ngày nhận bài: 15/05/2020; Ngày phản biện thông qua: 02/06/2020; Ngày duyệt đăng: 22/06/2020

#### TÓM TẮT

Áp suất phun của hệ thống phun nhiên liệu động cơ diesel và áp suất cuối kỳ nén ảnh hưởng trực tiếp đến cấu trúc tia phun nhiên liệu, dẫn đến thay đổi quá trình hình thành hỗn hợp cháy và cháy nhiên liệu, làm ảnh hưởng đến công suất của động cơ. Do vậy, xác định mức giảm áp suất phun và áp suất cuối kỳ nén để kịp thời sửa chữa, bảo dưỡng hệ thống phun nhiên liệu, đặc biệt là bơm cao áp, vòi phun và nhóm bảo kín buồng cháy sẽ giúp nâng cao hiệu suất làm việc và ngăn ngừa các sự cố xảy ra đối với động cơ diesel máy chính tàu cá. Kết quả nghiên cứu mô phỏng trên phần mềm Matlab Simulink đối với động cơ diesel tàu cá 4CHE –Yanmar cho thấy, khi áp suất phun giảm đến 14% và áp suất cuối kỳ nén giảm đến 12% thì công suất giảm đến 17,2%.

**Từ khóa:** áp suất phun nhiên liệu, áp suất cuối kỳ nén, vòi phun nhiên liệu, cấu trúc tia phun nhiên liệu, công suất động cơ, động cơ diesel máy chính tàu cá.

#### ABSTRACT

Fuel injection pressure and pressure of the end compression stroke directly affect to spray structure, and change the process of combustion mixture formation and burning fuel, and affect on power of engine. Therefore, determining reduction level of fuel injection pressure and pressure of the end compression stroke to timely repair and maintenance of fuel injection systems, especially high-pressure pumps, injector, piston, segment, cylinder would help improve working efficiency and prevent incidents for main diesel engine. The simulation results by Matlab Simulink software for 4CHE-Yanmar main diesel engine of fishing vessels showed that, if the fuel injection pressure decreased by 14% and pressure of the end compression stroke decreased by 12%, the power decreased by 17.2%.

**Keywords:** fuel injection pressure, pressure of the end compression stroke, injector, fuel spray structure, power of diesel engine, diesel engine of fishing vessel.

#### I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thông số áp suất phun nhiên liệu ( $p_{inj}$ ) và áp suất cuối kỳ nén ( $p_c$ ) quyết định đến cấu trúc tia phun, đặc biệt đối với động cơ có buồng cháy thông nhất (4CHE-Yanmar), qua đó ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình hình thành hỗn hợp cháy và cháy nhiên liệu, dẫn đến thay đổi các chỉ tiêu công tác của động cơ diesel [2], [5]. Thực tế hiện nay ở nước ta, các động cơ diesel dùng làm máy chính trên tàu phần lớn là động cơ cũ (gồm cả động cơ ô tô). Điều đó dẫn đến giảm độ an toàn, tin cậy trong quá trình

khai thác; hiệu quả sử dụng thấp và đặc biệt là có thể hư hỏng đột ngột trên biển gây nguy hiểm cho người và tàu.

Nghề cá Việt Nam là nghề cá nhân dân, do vậy việc sử dụng máy chính hoàn toàn theo tập quán của ngư dân. Ngoài ra. Động cơ tàu cá thường làm việc ở các chế độ khai thác trong một thời gian dài, liên tục, trong môi trường thường xuyên có sự thay đổi về các điều kiện vật lý (nhiệt độ, độ ẩm...) và hóa học (tỉ lệ muối trong không khí). Công tác bảo dưỡng, sửa chữa không theo tiêu chuẩn, hư đầu sửa đó

[1]. Sự giám sát kỹ thuật máy chính hay công tác chẩn đoán trạng thái kỹ thuật máy chính chưa được chú trọng. Do đó, xác định ảnh hưởng của áp suất phun nhiên liệu và áp suất cuối kỳ nén để chẩn đoán tình trạng kỹ thuật của động cơ trước khi đưa xuống tàu để thực hiện chuyển hành trình dài ngày trên biển là một trong những yêu cầu cần thiết, góp phần làm cho quá trình khai thác động cơ được an toàn và kịp thời ngăn ngừa, khắc phục sự cố hư hỏng.

## II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

### 1. Cơ sở của quá trình mô phỏng

Đối với hệ thống phun nhiên liệu (HTPNL) động cơ diesel tàu cá, cụm bơm cao áp – vòi phun (BCA-VP) và nhóm bao kín buồng cháy (NBKBC) được coi là các cụm chi tiết quan trọng nhất. Việc đảm bảo HTPNL hoạt động tốt có thể đưa về việc đảm bảo trạng thái kỹ thuật của cụm BCA-VP và NBKBC đạt yêu cầu cho phép. Sự suy giảm áp suất phun nhiên liệu trong một phạm vi nhất định không có ảnh hưởng đến giai đoạn cháy trễ nhưng ảnh hưởng tới độ đồng đều của sự phun sương, do ảnh hưởng bởi cấu trúc tia phun nhiên liệu trong không gian buồng cháy. Chính điều này cũng dẫn đến quá trình cháy ở động cơ diesel bị suy giảm, khiến công suất của động cơ giảm theo [3], [4]. Ngoài ra lượng nhiên liệu thực tế được phun vào trong xy lanh động cơ trên mỗi chu trình công tác (mf) cũng chịu ảnh hưởng từ sự hao mòn của bộ đôi: Piston – xi lanh BCA; Kim phun – bộ VP, khe hở này tăng sẽ làm tăng lọt dầu hồi. Điều này làm cho lượng nhiên liệu phun vào động cơ giảm đi và đây cũng là yếu

tố ảnh hưởng đến công suất của động cơ [6].

Khi động cơ làm việc, tốc độ lưu lượng phun nhiên liệu trong 1 giờ ( $m_{inj}$ ) xác định được lượng tiêu hao nhiên liệu giờ Ge (g/h) của động cơ, khi đó.

$$G_e = m_{inj} = A_h \cdot v_l \cdot \rho_l \quad (1)$$

Mối quan hệ giữa  $p_{inj}$  với công suất động cơ ( $N_e$ ), suất tiêu hao nhiên liệu có ích thể hiện qua các công thức sau [10]:

$$g_e = \frac{G_e}{N_e} \text{ [g/kW.h]} \quad (2)$$

$$Ge = \frac{m_{inj}}{N_e} \quad (3)$$

$$g_e = \frac{A_h \cdot C_d}{N_e} \cdot (2\rho_l \cdot \Delta p)^{1/2} \quad (4)$$

Trong đó:

$$v_l = C_d \cdot (2\Delta p / \rho_l)^{1/2}, \quad \Delta p = (p_{inj} - p_c).$$

Chuyển đổi và đặt đại lượng:  $1/g_e = A_e$ , giá trị công suất được xác định:

$$N_e = \Delta p^{1/2} \cdot A_e \cdot A_h \cdot C_d \cdot 2\rho_l^{1/2} \quad (5)$$

Quá trình cháy được xác định từ phương trình của J. Abraham [7].

$$\frac{d\rho_m}{dt} = - \frac{\rho_m - \rho_m^*}{\tau_c} \quad (6)$$

Trong đó, nhân tố quan trọng của mô hình cháy là thời gian đặc trưng để đạt được sự cân bằng ( $\tau_c$ ), nó là tổng của thời gian cháy tầng và thời gian cháy rôi khi quá trình cháy diễn ra và phụ thuộc vào động năng rôi (k) được xác định theo Yogesh V [8], tốc độ tiêu tán rôi ( $\epsilon$ ) được tính theo Dent JC [9]. Khi đó mô hình cháy được viết lại.

$$\frac{d\rho_m}{dt} = - \frac{\rho_m - \rho_m^*}{\left[ \frac{\left(1 - e^{-(\rho_{CO_2} + \rho_{H_2O} + \rho_{CO} + \rho_{H_2}) / (1 - \rho_{N_2})}\right)}{0.632} \right] \left[ \frac{10^{-1} \cdot \Delta \theta \cdot C_d^2 \cdot \Delta p}{2n \cdot \gamma \cdot p_{inj}} \right] + \left[ A^{-1} [\text{Fuel}]^{0.75} [\text{O}_2]^{-1.5} \exp\left(\frac{E_A}{RT_{cyl}}\right) \right]} \quad (7)$$

Lượng cung cấp nhiên liệu chu trình là tổng khối lượng nhiên liệu phun qua vòi phun trong một hành trình của piston BCA, cũng là khối

lượng nhiên liệu được phun vào xy lanh trong một chu kỳ.

Lượng nhiên liệu cấp chu trình:

$$m_f = C_d \cdot A_n \cdot 2\rho_1^{1/2} \cdot \Delta p^{1/2} \cdot \frac{\Delta\theta}{360n} \quad (8)$$

Tốc độ tỏa nhiệt được xác định:

$$\text{Trong đó: } \frac{dx_b(\varphi)}{\Delta\varphi_{CD}} = \frac{a(m+1)}{\Delta\varphi_{CD}} \left( \frac{\varphi - \varphi_{SOC}}{\Delta\varphi_{CD}} \right)^m e^{-a \left( \frac{\varphi - \varphi_{SOC}}{\Delta\varphi_{CD}} \right)^{m+1}} \quad (10)$$

$$\text{Hoặc } \frac{dQ_f}{d_\varphi} = Q_{f,\text{total}} a(m+1) \left( \frac{\varphi - \varphi_{SOC}}{\Delta\varphi_{CD}} \right)^m e^{-a \left( \frac{\varphi - \varphi_{SOC}}{\Delta\varphi_{CD}} \right)^{m+1}} \quad (11)$$

$Q_{f,\text{total}} = m_f \cdot Q_H$ : tổng năng lượng tỏa ra;  $Q_H$ : nhiệt trị thấp nhiên nhiên liệu:

$$\frac{dQ_f}{d_\varphi} = Q_H \cdot C_d \cdot A_n \cdot 2\rho_1^{1/2} \cdot \Delta p^{1/2} \cdot \frac{\Delta\theta}{360n} \cdot a(m+1) \left( \frac{\varphi - \varphi_{SOC}}{\Delta\varphi_{CD}} \right)^m e^{-a \left( \frac{\varphi - \varphi_{SOC}}{\Delta\varphi_{CD}} \right)^{m+1}} \quad (12)$$

Trong các công thức trên,  $\varphi_{SOC}$ : góc bắt đầu cháy [độ];  $\Delta\varphi_{CD}$ : thời gian cháy;  $\varphi$ :  $\varphi_{SOC} < \varphi < \varphi_{SOC} + \Delta\varphi_{CD}$ ;  $\Delta p$ : độ chênh áp suất qua lỗ phun, [bar];  $A_n$ : diện tích mặt cắt lỗ phun, [m<sup>2</sup>];  $\rho_1$ : khối lượng riêng nhiên liệu, [g/m<sup>3</sup>];  $C_d$ : hệ số giãn dòng của vòi phun, [-];  $p_c$ : áp suất cuối kỳ nén, [bar];  $p_{inj}$ : áp suất phun nhiên liệu, [bar];  $v_f$ : vận tốc phun, [m/s];  $\Delta\theta$ : thời gian phun [độ];  $n$ : tốc độ động cơ [vòng/phút];  $a, m$ : hệ số của phương trình;  $\rho_m$ : khối lượng riêng phân của chất m;  $\rho_m^*$ : giá trị cân bằng nhiệt động lực học tức thời và cục bộ của khối lượng riêng phân;  $E_f$ : năng lượng kích hoạt;  $\gamma$ : hằng số thể hiện phân năng lượng rớt.

## 2. Xây dựng mô hình mô phỏng trên phần mềm Matlab Simulink

Simulink là một phần mở rộng của phần mềm Matlab hay còn gọi là Matlab Simulink để mô hình hóa và mô phỏng hệ thống. Trong Simulink, xây dựng mô hình là tập hợp các khối đại diện cho một hệ thống. Nó bao gồm khối và đường: Khối được dùng để tạo, chỉnh sửa, kết hợp đầu ra và hiển thị dữ liệu. Đường sử dụng để truyền dữ liệu từ khối này sang khối khác theo chiều mũi tên. Các khối chỉnh sử dụng trong mô hình như:

Sources: được sử dụng để tạo các dữ liệu (giá trị áp suất phun, áp suất nén và các hằng số).

Sinks: dùng để biểu diễn dữ liệu (giá trị công suất, biến thiên tốc độ tỏa nhiệt).

Continuous: biểu diễn các yếu tố hệ thống liên tục theo thời gian (phần trăm áp suất phun và áp suất nén để xác định trạng thái tính toán cho đầu ra)

Operation math: chứa các biểu thức toán học (công thức 5, 7, 12).

Thông số động cơ 4CHE-Yanmar, thông số đầu vào và thông số sai lệch (hư hỏng) thay đổi khi mô phỏng được trình bày như trong bảng 1 và bảng 2 với giá trị áp suất cuối kỳ nén được đo từ động cơ ở chế độ tốc độ nhỏ nhất, mà tại đó động cơ có thể nổ (720 v/p) [1]. Lưu đồ tính toán trong Matlab thể hiện như trên hình 1.

## 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Ảnh hưởng của áp suất phun đến công suất động cơ diesel 4CHE-Yanmar thể hiện trên hình 2. Khi áp suất phun nhiên liệu giảm không đáng kể và áp suất cuối kỳ nén trong xy lanh không giảm, độ xuyên sâu tia phun có xy hướng ngắn lại do do ảnh hưởng của vận tốc phun bị giảm, dẫn đến suy giảm quá trình hình thành hỗn hợp cháy, khiến công suất giảm theo. Áp suất phun càng giảm thì quá trình hình thành hỗn hợp cháy càng giảm, dẫn đến công suất động cơ giảm mạnh.

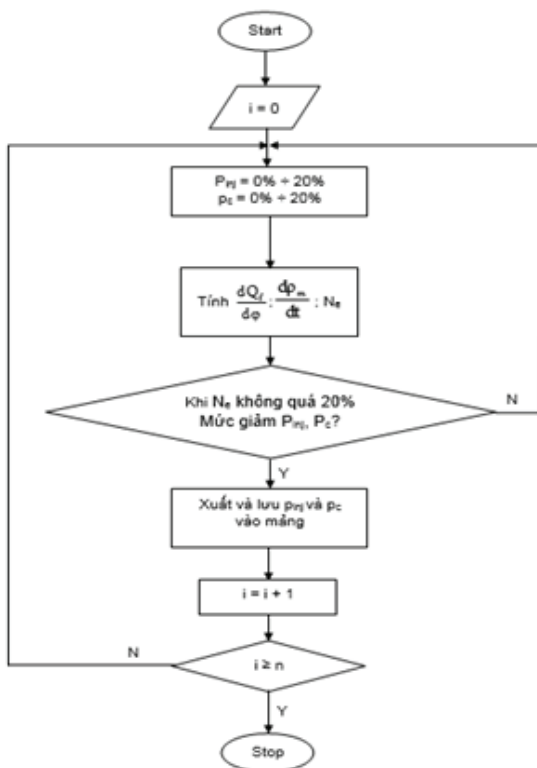
Tương tự như trên, ảnh hưởng của áp suất cuối kỳ nén đến công suất động cơ diesel 4CHE-Yanmar thể hiện trên hình 3. Khi áp suất cuối kỳ nén giảm không đáng kể và áp suất phun nhiên liệu không giảm, độ xuyên sâu tia phun và góc nón chùm tia bị ảnh hưởng không

**Bảng 1. Thông số kỹ thuật động cơ 4CHE-Yanmar**

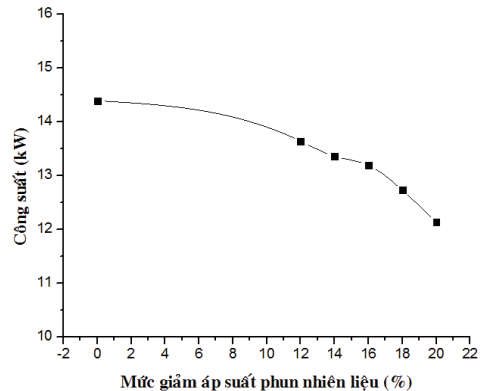
Tên các thông số	Đơn vị	Giá trị
Kiểu buồng cháy		Buồng cháy thống nhất, $\omega$
Số xy lanh $\times$ Đường kính xy lanh $\times$ hành trình piston	mm	$4 \times 105 \times 125$
Công suất	HP/rpm	H: 70/2300
Tỷ số nén	-	16.4:1
Hệ thống nhiên liệu	Bơm cao áp	Kiểu bosch - bơm cùm
	Số lỗ tia phun $\times$ đường kính (mm) $\times$ góc phun ( $^{\circ}$ )	$4 \times 0,32 \times 140^{\circ}$
	Góc phun sớm (TĐCT)	$18^{\circ}$
	Áp suất phun tiêu chuẩn (bar)	210

**Bảng 2. Các thông số đầu vào và thông số sai lệch (hur hỏng) thay đổi khi mô phỏng**

TT	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị	Ghi chú
1	$p_c$	21,31	bar	Mức giảm so với tiêu chuẩn (%): 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20
2	$p_{inj}$	210	bar	Mức giảm so với tiêu chuẩn (%): 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20
3	$n$	1600	v/p	Theo quy trình thử nghiệm của Nhật Bản
4	$G_c$	4454,20	g/h	Theo thực nghiệm khi $p_{inj}$ và $p_c$ ở trạng thái tiêu chuẩn

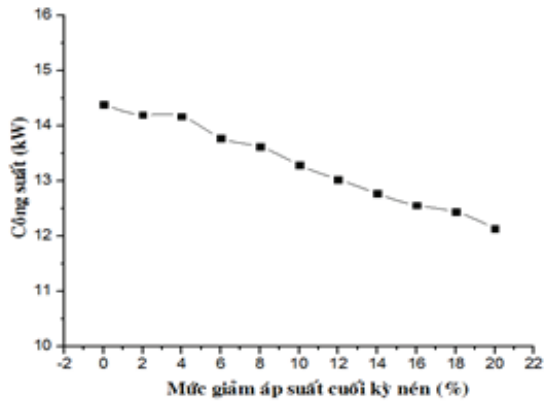


**Hình 1. Lưu đồ tính toán trong Matlab.**



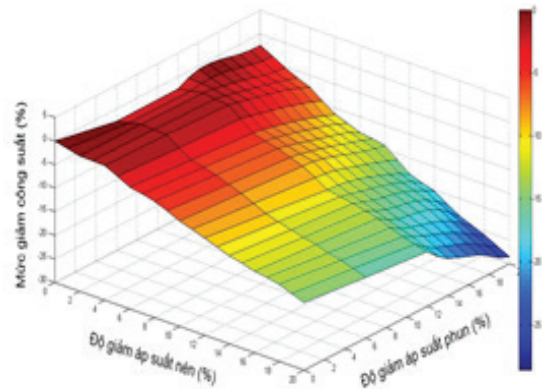
**Hình 2. Ảnh hưởng của áp suất phun nhiên liệu đến công suất động cơ.**

nhiều, vì thế công suất gần như ít thay đổi. Khi áp suất cuối kỳ nén giảm trên 4% trở lên, sẽ khiến tia phun có xu hướng dài hơn, góc nón chùm tia nhỏ lại, vì lúc này lực cản khí động trong không gian buồng cháy giảm, quá trình cháy diễn ra không hoàn toàn, dẫn đến công suất giảm mạnh. Mô tả ảnh hưởng của áp suất phun và áp suất cuối kỳ nén đến công suất động cơ được thể hiện trên đồ thị hình 4.



**Hình 3. Ảnh hưởng của áp suất cuối kỳ nén đến công suất động cơ.**

Trên hình 4 chỉ rõ, áp suất phun chỉ ảnh hưởng nhiều đến công suất khi giảm vượt quá 14% và áp suất cuối kỳ nén suy giảm vượt quá



**Hình 4. Đồ thị mô tả ảnh hưởng của áp suất phun và áp suất cuối kỳ nén đến công suất động cơ.**

12%. Công suất giảm mạnh khi hai thông số trên cùng đồng thời xảy ra. Kết quả cụ thể trình bày trong bảng 3.

**Bảng 3. Kết quả tính toán công suất khi áp suất phun và áp suất nén thay đổi**

Áp suất cuối kỳ nén	Độ giảm (%)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
		21,31	20,88	20,45	20,03	19,60	19,17	18,75	18,32	17,90	17,47	17,04	
Áp suất phun	Công suất (kW)												
	Độ giảm (%)	Giá trị (bar)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	0	210	14,39	14,20	14,17	13,78	13,62	13,29	13,03	12,77	12,56	12,44	12,14
	12	182,56	13,64	13,43	13,33	12,78	12,57	12,34	11,90	11,75	11,56	11,30	11,13
	14	177,43	13,36	13,05	12,90	12,39	12,18	11,99	11,59	11,30	11,00	10,78	10,36
	16	173,23	13,19	12,75	12,59	12,08	11,83	11,64	11,25	11,04	10,78	10,45	10,07
	18	168,83	12,73	12,14	12,00	11,48	11,20	11,04	10,68	10,47	10,20	9,77	9,39
	20	166,31	12,14	11,49	11,21	10,75	10,51	10,40	9,89	9,67	9,26	9,01	8,66

**IV. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ**

Từ kết quả mô phỏng trên cho thấy, khi áp suất phun giảm đến 14%, áp suất cuối kỳ nén không giảm (21,31 bar) thì công suất động cơ giảm so với công suất ở trạng thái khi áp suất phun chưa giảm (210 bar) là 7,12%. Khi áp suất cuối kỳ nén suy giảm đến 12%, áp suất phun không giảm thì công suất động cơ giảm so với công suất ở trạng thái khi áp cuối kỳ nén chưa giảm là 9,45%. Nếu đồng thời cả hai giá trị áp suất trên đều giảm đến 14% và

12% thì công suất giảm đến 17,2%. Do vậy, có thể đo áp suất phun và áp suất cuối kỳ nén và đối chiếu với tiêu chuẩn của nhà sản xuất hoặc đối chiếu với giá trị ban đầu của hệ thống nhiên liệu động cơ lúc bảo dưỡng (sửa chữa) trước khi đưa xuống tàu, để chẩn đoán tình trạng kỹ thuật động cơ là rất cần thiết, vì động cơ máy chính tàu cá đa phần sau chuyển làm việc dài ngày trên biển đều phải kiểm tra, bảo dưỡng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tiếng Việt

1. Hồ Đức Tuấn, Trần Thanh Hải Tùng, Mai Đức Nghĩa (2019). “Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của áp suất cuối kỳ nén đến công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ diesel máy chính tàu cá”. *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*.

### Tiếng Anh

2. Carsten Baumgarten, 2006, “Mixture Formation in Internal Combustion Engines”, *Springer - Verlag Berlin Heidelberg*.

3. K.Mollenhauer, H. Tschoeke, 2010, “Handbook of Diesel Engines”, DOI 10.1007/978-3-540-89083-6, *Springer - Verlag Berlin Heidelberg*.

4. Kazimierz Lejda and Pawel Woschi (2012), “Internal Combustion Engines”, *Intech*, chapters published.

5. Stasys Slavinskas G.L., Irena Kanapkiene, Tomas Mickevicius, (2016), “Numerical model of common rail electromagnetic fuel injector”, *Engineering for rural development*.

6. Kazimierz Lejda, “Fuel Injection in Automotive Engineering”, ISBN 978-953-51-0528-2, 144 pages, Publisher: Intech, chapters published April 20, 2012 under CC BY 3.0 license, DOI: 10.5772/2553.

7. J. Abraham, F. V. Bracco, and R. D. Reitz, 1985, “Comparison of Computed and Measured Premixed Charged Engine Combustion”, *Combustion and Flame*, Vol. 60, pp 309-322.

8. P.A.Lakshminarayanan, Yogesh V. Aghav, 2010, “Modelling Diesel Combustion”, *Springer Science + Business Media B.V.*

9. Dent JC, 1980, “Turbulent Mixing rate - Its Effect on Smoke and Hydrocarbon Emissions from Diesel Engines”. SAE 800092.