

MÔ PHỎNG MỐI TƯƠNG QUAN GIỮA LƯỢNG PHÁT THẢI BÒ HÓNG VÀ ÁP SUẤT PHUN NHIÊN LIỆU CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU CÁ

SIMULATION OF THE CORRELATION BETWEEN SOOT EMISSIONS AND FUEL INJECTION PRESSURE OF FISHING VESSEL DIESEL ENGINES

Mai Đức Nghĩa¹, Hồ Đức Tuấn^{2,*}

1. Khoa Kỹ thuật Hàng không, Trường Sĩ quan Không quân

2. Khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường Đại học Nha Trang

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

Ngày nhận bài: 30/10/2023; Ngày phân biên thông qua: 02/12/2023; Ngày duyệt đăng: 15/12/2023

TÓM TẮT

Động cơ diesel dùng làm máy chính của tàu đánh cá thường phải kiểm tra, bảo dưỡng, sửa chữa trước khi tàu đánh bắt xa bờ để bảo đảm an toàn và hiệu quả khi hoạt động trên biển dài ngày. Trong đó, vòi phun được tháo để cân chỉnh áp suất phun nhiên liệu về giá trị tiêu chuẩn để các chỉ tiêu công tác của động cơ đạt yêu cầu. Một trong các thông số có thể giúp đánh giá sự suy giảm áp suất phun trong quá trình động cơ làm việc là lượng phát thải bồ hóng, thông qua nó có thể đánh giá tình trạng vòi phun nhiên liệu, góp phần đề ra giải pháp bảo dưỡng, sửa chữa phù hợp, hạn chế thời gian và kinh phí. Bài báo này trình bày nội dung nghiên cứu mô phỏng đối với động cơ Yanmar 4CHE của tàu cá bằng phần mềm AVL-Boost. Kết quả cho thấy khi áp suất phun nhiên liệu suy giảm 5-10% so với tiêu chuẩn, phát thải bồ hóng tăng trên 20%.

Từ khóa: động cơ diesel, tàu cá, bồ hóng, áp suất phun, AVL-Boost

ABSTRACT

Diesel engines used as main engines of fishing vessels often need to be inspected, maintained, and repaired before the boat goes offshore to ensure safety and efficiency when operating at sea for long periods. In particular, the nozzle is removed to calibrate the fuel injection pressure to the standard value so that the engine's performance criteria meet the requirements. One of the parameters that can help evaluate the decrease in injection pressure during engine operation is the amount of soot emission, through which the condition of the fuel injector can be assessed, contributing to appropriate maintenance and repair solutions, limiting time and expense. This article presents the content of simulation research using AVL Boost software on 4CHE Yanmar engines of fishing vessels. The results showed that the fuel injection pressure decreased by 5-10% compared to the standard, making for the soot emission increase of over 20%.

Keywords: diesel engines, fishing vessels, soot, injection pressure, AVL-Boost

I. GIỚI THIỆU

Động cơ diesel dùng làm máy chính trên tàu đánh cá rất phong phú, đa dạng và số lượng lớn tập trung vào các hãng có thương hiệu nổi tiếng lâu năm, được ngư dân lựa chọn [6]. Tại khu vực Duyên Hải Nam Trung Bộ bao gồm các tỉnh, thành phố: Đà Nẵng, Quảng Nam, Quảng Ngãi, Bình Định, Phú Yên, Khánh Hòa, Bình Thuận, Ninh Thuận với đặc điểm tự nhiên là có đường bờ biển dài, có ngư trường đánh bắt thủy hải sản rộng lớn ở Biển Đông, nên ngành đánh bắt thủy hải sản ở đây rất phát triển. Số liệu điều tra về chủng loại động cơ diesel làm máy chính lắp trên các tàu cá khu vực Duyên Hải Nam Trung

Bộ trình bày trong hình 1 [3, 6].

Nghề đánh cá của Việt Nam là nghề truyền thống, do vậy việc sử dụng động cơ chính của tàu đánh cá chủ yếu theo tập quán (thói quen) của ngư dân. Công tác bảo dưỡng, sửa chữa không theo tiêu chuẩn, hư đâu sửa đó. Sự giám sát kỹ thuật máy chính của cơ quan Đăng kiểm chưa cụ thể, vì thiếu thiết bị kiểm tra [3]. Vì thế công tác chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ là hoàn toàn mới. Do đó, xác định mối liên hệ giữa phát thải khí xả, chủ yếu là hàm lượng phát thải bồ hóng với áp suất phun nhiên liệu tại vòi phun, để chẩn đoán trạng thái kỹ thuật của hệ thống phun nhiên liệu, trong đó có vòi

phun trước khi tàu 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 xảy ra. Vì áp suất phun nhiên liệu ảnh hưởng đến cấu trúc tia phun, đặc biệt đối với động cơ có buồng cháy thống nhất, 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, trong đó có hàm lượng phát thải khí xả (bồ hóng) [2, 4, 7]. Nhiều nghiên cứu xây dựng các mô hình toán học để dự đoán các thông số đặc trưng của bồ hóng, các mô hình tạo bồ hóng đơn giản, một chiều đã được thiết lập để tính toán ngọn lửa cháy bên ngoài khí quyển và bên trong buồng cháy động cơ. Các mô hình đa phương phức tạp hơn đã được xây dựng để mô phỏng và tính toán phát thải bồ hóng. Dù các mô hình đơn giản hay phức tạp cũng đều dựa trên lý thuyết tạo bồ hóng nền tảng, trong đó lý thuyết của Tesner-Magnussen được sử dụng rộng rãi [1, 9, 11]. Theo đó, phát thải bồ hóng nhận được sau van thải là hiệu số của lượng bồ hóng hình thành và lượng bồ hóng bị ô xy hóa. Quá trình ô xy hóa bồ hóng phụ thuộc lớn vào nồng độ bồ hóng (C_p), động năng rối (k) và tốc độ tiêu tán rối của ngọn lửa (ϵ), thời gian phun, áp suất phun và áp suất trong xy lanh tại thời điểm phun nhiên liệu [2]:

$$r_i = A \cdot c_s \cdot \left(\frac{\epsilon}{k} \right) \quad (1)$$

Với k và ϵ tính theo phương trình (2) [8].

$$k = \frac{3}{2} \cdot v_1^2 \text{ và } \epsilon = \frac{6\gamma \cdot p_{inj} \cdot n}{\rho_1 \cdot \Delta\theta} \quad (2)$$

Vận tốc v_1 của tia nhiên liệu qua miệng lỗ phun tính theo phương trình (3) [2]:

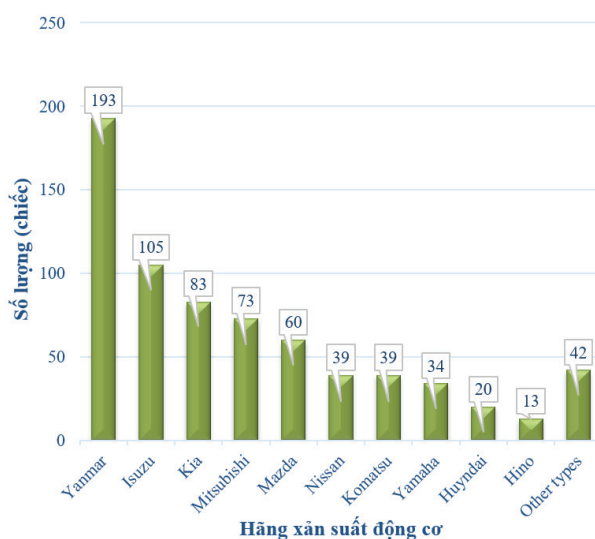
$$v_1 = C_d \sqrt{\frac{2(p_{inj} - p_c)}{\rho_1}} \quad (3)$$

Thông số phun liên quan đến quá trình ôxy hóa và phát thải bồ hóng được thể hiện qua phương trình (4):

$$r_i = A \cdot C_s \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{\gamma \cdot p_{inj} \cdot 6 \cdot n}{\Delta\theta \cdot C_d^2 \cdot (p_{inj} - p_c)} \quad (4)$$

Trong đó: A - hằng số; r_i - tốc độ ôxy hoá bồ hóng, [-]; γ - hằng số thể hiện phân năng lượng rối quá trình hình thành hỗn hợp, [-]; $\Delta\theta$ - thời gian phun nhiên liệu, [độ]; n - tốc độ động cơ, [v/ph]; C_d - hệ số xả vòi phun, [-]; p_{inj} - áp suất phun nhiên liệu, [bar]; p_c - áp suất cuối kỳ nén, [bar].

Từ phương trình (4) cho thấy quá trình hình thành và phát thải bồ hóng trong khí xả động cơ phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó có áp suất phun nhiên liệu. Khi tình trạng kỹ thuật của hệ thống phun nhiên liệu không đảm bảo, sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình phun, hình



Hình 1. Các loại động cơ dùng cho máy chính tàu đánh cá.

thành hỗn hợp cháy, làm cho quá trình cháy kém hiệu quả, mức phát thải khí xả tăng lên, đặc biệt là bồ hóng.

II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Đối tượng nghiên cứu

Từ hình 1, chọn đối tượng nghiên cứu là động cơ diesel 4CHE của hãng Yanmar sản xuất, đây là động cơ thường dùng làm máy chính tàu đánh cá, các thông số động cơ cho trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số động cơ nghiên cứu

Tên các thông số	Đơn vị	Giá trị
Kiểu động cơ		4CHE
Kiểu buồng cháy		Thống nhất dạng ω
Số xilanh		4
Đường kính xilanh x hành trình piston	mm(in)	105 x 125(4.13 x 4.92)
Công suất định mức	HP/rpm	70/2300
Tỷ số nén		16.4:1
Thứ tự nổ		1-2-4-3
Áp suất cháy cực đại	kG/cm ²	85
Hệ thống nhiên liệu	Bơm cao áp	Kiểu bosch - bơm cụm
	Bộ điều tốc	Điều tốc ly tâm nhiều chế độ
	Lỗ phun	Lỗ phun nửa dài
	Bộ điều tốc	Kiểu ly tâm
	Số lỗ tia phun x đường kính (mm) x hướng phun	4 x 0,32 x 140 ^o
	Thời điểm phun TĐCT	18 ^o
	Áp suất phun (bar)	220
Các góc đóng mở xú páp: IVC, EVO		
IVO; IVC		16 ^o BTDC; 52 ^o ABDC
EVO; EVC		52 ^o BBDC; 16 ^o ATDC
Chiều dài thanh truyền		215mm
Khe hở piston và nắp máy khi piston ở ĐCT		0,9÷1,1mm

2. Nghiên cứu mô phỏng

Trong nghiên cứu này, bài báo sử dụng phương pháp nghiên cứu mô phỏng bằng phần mềm AVL Boost của hãng AVL, Cộng hòa Áo, đây là phần mềm chuyên dùng để tính toán mô phỏng các quá trình nhiệt động và hình thành

phát thải trong động cơ đốt trong. Cơ sở tính toán mô phỏng được thực hiện bởi các phương trình cơ bản sau [10]:

- Phương trình nhiệt động học thứ nhất:

Định luật nhiệt động học thứ nhất thể hiện mối quan hệ giữa sự biến thiên nội năng hay enthalpy với sự biến thiên của nhiệt và công:

$$\frac{d(m_c \cdot u)}{dt} = -p_c \cdot \frac{dV}{d\alpha} + \frac{dQ_F}{d\alpha} - \sum \frac{dQ_w}{d\alpha} - h_{BB} \frac{dm_{BB}}{d\alpha} \quad (5)$$

- Mô hình cháy:

Mô hình cháy AVL MCC được dùng để dự đoán các chỉ tiêu của quá trình cháy trong động

cơ phun nhiên liệu trực tiếp. Quá trình giải phóng nhiệt được xác định bởi việc điều chỉnh chất lượng nhiên liệu và mật độ chuyển động

rời, thể hiện qua phương trình (6):

$$\frac{dQ}{d\alpha} = C_{Mod} \cdot \left(M_F - \frac{Q}{LVC} \right) \cdot \exp\left(C_{rate} \cdot \frac{\sqrt{k}}{\sqrt[3]{V}} \right) \quad (6)$$

- Mô hình truyền nhiệt:

Quá trình truyền nhiệt từ trong buồng cháy qua thành xylanh và ra ngoài được tính toán dựa vào phương trình truyền nhiệt (7):

$$Q_{wi} = A_i \cdot \alpha_i \cdot (T_c - T_{wi}) \quad (7)$$

Để xác định hệ số truyền nhiệt trong phương trình (7) đối với động cơ diesel, mô hình Woschni 1978 thường được sử dụng để tính [5]:

$$\alpha_i = 130 \cdot D^{-0.2} \cdot p_c^{0.8} \cdot T_c^{-0.53} \cdot [C_1 \cdot C_m + C_2 \cdot \frac{V_D T_{cl}}{P_{cl} \cdot V_{cl}} (p_c - p_{c0})]^{0.8} \quad (8)$$

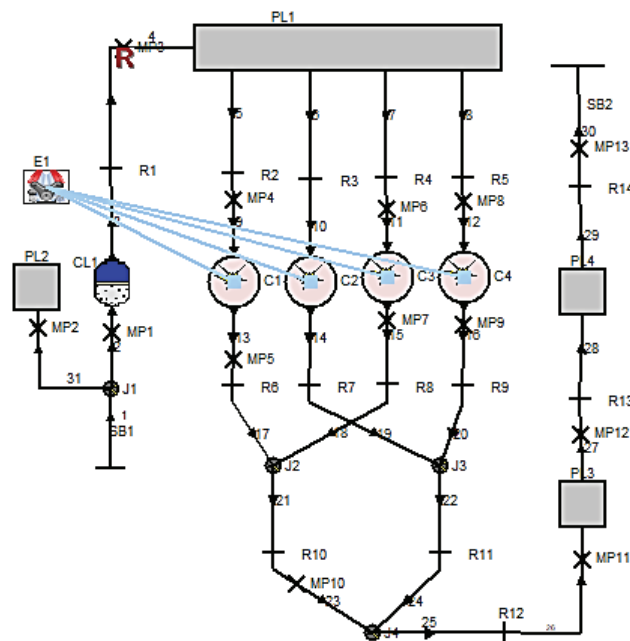
Trong các phương trình trên: m_c - khối lượng môi chất bên trong xylanh, [kg]; u - nội năng, [kJ]; V - thể tích xylanh, [m³]; Q_F - nhiệt lượng của nhiên liệu cung cấp, [kJ]; Q_w - nhiệt lượng tổn thất cho thành vách, [kJ]; h_{BB} - trị số enthalpy; m_{BB} - lượng lọt khí, [kg]; C_{Mod} - mô hình không đổi, [kJ/kg.°TK]; C_{rate} - hằng số tốc độ hòa trộn, [s]; k - mật độ của động năng chuyển động cục bộ, [m²/s²]; M_F - khối lượng nhiên liệu phun, [kg]; LVC - nhiệt trị thấp, [kJ/kg]; Q - sự tỏa nhiệt tích lũy, [kJ]; α - góc quay trục khuỷu, [°TK]; Q_{wi} - nhiệt lượng truyền cho thành xylanh, piston, nắp máy, [kJ]; A - diện tích truyền nhiệt piston, xylanh, nắp máy, [m²];

α_i - hệ số truyền nhiệt; T_c - nhiệt độ môi chất trong xylanh, [K]; T_{wi} - nhiệt độ thành vách, [K]; $C_1 = 2,28 + 0,308 \cdot C_m$; $C_2 = 0,00324$ đối với động cơ phun trực tiếp; D - đường kính xylanh, [m]; C_m - tốc độ trung bình của piston, [m/s]; $C_u = \pi \cdot D \cdot n / 60$; V_D - thể tích công tác, [m³]; P_{co} - áp suất khí trời, [bar]; T_{cl} - nhiệt độ cuối quá trình nạp, [K]; p_{cl} - áp suất cuối quá trình nạp, [K].

- Xây dựng mô hình trong phần mềm AVL

Boost:

Mô hình mô phỏng động cơ diesel Yanmar 4CHE được xây dựng trong phần mềm AVL Boost với các phần tử tương ứng, mô tả các cụm chi tiết của động cơ. Thông số đầu vào cho



SB1- điều kiện biên; PL- vị trí khoang, miện; CL-lọc không khí; MP- điểm đo;
R- điểm hạn chế, giới hạn; J- điểm nối

Hình 2. Mô hình mô phỏng động cơ diesel Yanmar 4CHE.

mô hình động cơ bao gồm kích thước hình học các chi tiết, điều kiện làm việc, thông số điều khiển quá trình làm việc của động cơ. Mô hình

được xây dựng như trên hình 2, thông số chính của chế độ mô phỏng trình bày trong bảng 2.

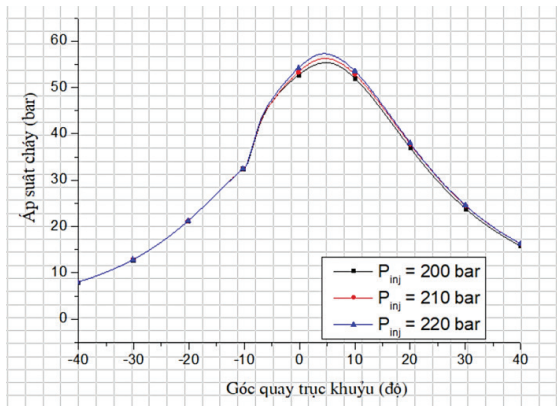
Bảng 2. Thông số chính của chế độ mô phỏng

TT	Thông số chính	Giá trị	Đơn vị
1	Nhiệt độ môi trường	28	°C
2	Áp suất môi trường	1	bar
3	Nhiệt trị thấp của nhiên liệu (DO)	10915	Kcal/kg
4	Tải	60	%
5	Tốc độ	1800	v/p

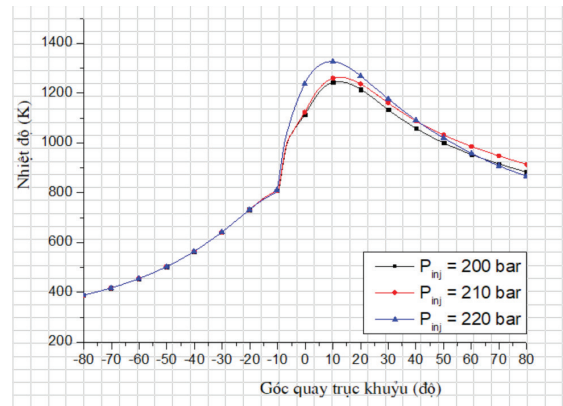
3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Sự thay đổi áp suất phun nhiên liệu sẽ ảnh hưởng tới độ đồng đều của quá trình phun (phun sương), quá trình phun ảnh hưởng đến sự phân bố các hạt nhiên liệu trong không gian buồng cháy. Nếu sự phân bố nhỏ (góc nón tia phun nhỏ, độ xuyên sâu tia phun ngắn) sẽ dẫn đến quá trình hình thành bồ hóng ra tăng. Trên hình 3 và hình 4 thể hiện áp suất và nhiệt độ cháy khác nhau của động cơ khi có sự thay đổi áp suất

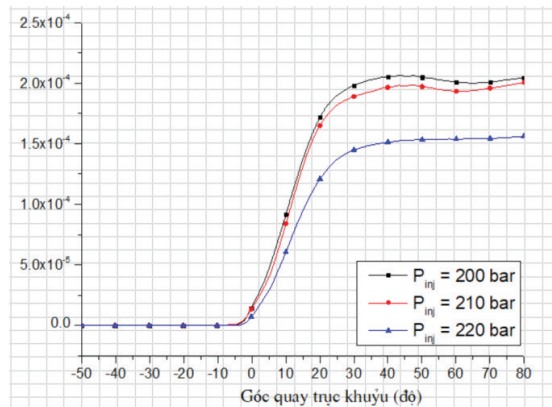
phun. Áp suất phun giảm, sự hình thành hỗn hợp cháy kém hiệu quả, nhiệt độ cháy thấp, dẫn đến quá trình ô xy hóa bồ hóng giảm. Hệ quả là phát thải bồ hóng gia tăng, vì lượng bồ hóng đi ra khỏi van xả là hiệu số của lượng bồ hóng hình thành với lượng bồ hóng bị ô xy hóa. Điều này thấy rõ sự gia tăng bồ hóng như trên hình 5 khi áp suất phun nhiên liệu của vòi phun giảm đi 5% và 10% so với tiêu chuẩn (220 bar) và ngược lại ở áp suất phun tiêu chuẩn, bồ hóng giảm xuống.



Hình 3. Áp suất cháy trong xy lanh động cơ.



Hình 4. Nhiệt độ cháy trong xy lanh động cơ.



Hình 5. Phát thải bồ hóng của động cơ.

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Trên cơ sở kết quả mô phỏng cho thấy, áp suất phun nhiên liệu giảm khiến cho cấu trúc tia phun giảm, sự hình thành hỗn hợp cháy trong buồng đốt không đồng đều, điều này làm gia tăng sự hình thành bồ hóng. Trong nghiên cứu này, khi áp suất phun nhiên liệu suy giảm 5-10% so với tiêu chuẩn, phát thải bồ hóng tăng trên 20%. Điều này không chỉ gây ô nhiễm môi trường mà hệ quả là hiệu suất cháy của động cơ thấp, dẫn đến giảm công suất, tăng tiêu hao nhiên liệu, có thể gây ra các sự cố cho máy chính tàu, ảnh hưởng nhiều đến hiệu quả khai thác, tính kinh tế và đặc biệt là sự an toàn của

người và tàu khi đánh bắt cá trên biển. Do đó, việc đo phát thải bồ hóng của động cơ sau thời gian làm việc dài ngày trên biển sẽ góp phần hỗ trợ chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ, trong đó có tình trạng vòi phun nhiên liệu, từ đó có biện pháp sửa chữa, bảo dưỡng kịp thời, hiệu quả.

2. Kiến nghị

Kế thừa nghiên cứu mô phỏng này, tổ chức thực nghiệm và thiết lập mối quan hệ giữa áp suất phun nhiên liệu với phát thải khí xả để chẩn đoán trạng thái kỹ thuật vòi phun và quá trình hình thành hỗn hợp cháy trong động cơ diesel Yanmar 4CHE dùng làm máy chính tàu cá.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. B.Desantes J. M, Payri R, Salvador F. J, 2003, Measurements of Spray Momentum for the Study of Cavitation in Diesel Injection Nozzles, SAE -01.
2. Carsten Baumgarten, 2006, Mixture Formation in Internal Combustion Engines, Springer - Verlag Berlin Heidelberg.
3. Dang Quang Huy, Fishing vessel accident and immediate solutions, Information Science, Technology and Economics of Fisheries. Seafood Research Institute, 2019.
4. Elamin. F, Fan. Y, Gu. F và Ball. A, Detection of Diesel Engine Injector Faults Using Acoustic Emission, Advances in Maintenance and Condition Diagnosis Technologies towards Sustainable Society: Proceedings of the 23rd, 2010.
5. G.Woschni, 1967, A Universally Applicable Equation for the Instantaneous Heat Transfer Coefficient in Internal Combustion Engines. SAE paper No. 6700931.
6. Ho Duc Tuan, Tran Thanh Hai Tung, Mai Duc Nghia, 2019, Experimental study on the effect of the end-compression pressure on the power and fuel consumption of the fishing vessel's main engine diesel engine. Vietnam Mechanical Engineering Journal.
7. K.Mollenhauer, H. Tschoeke, 2010, Handbook of Diesel Engines, DOI 10.1007/978-3-540-89083-6, Springer - Verlag Berlin Heidelberg.
8. Kazimierz Lejda and Pawel Woschi, 2012, Internal Combustion Engines, Intech, chapters published.
9. Stasys Slavinskas G.L., Irena Kanapkiene, Tomas Mickevicius, 2016, Numerical model of common rail electromagnetic fuel injector, Engineering for rural development. Intech, chapters published.
10. Users guide- AVL Boost version 2013.1
11. G. D'Errico, et al, 2002, Modeling the Pollutant Emissions from a s.l, Engine, SAE paper No.2002-01-0006.