

PHÁT THẢI NO_x TỪ PHƯƠNG TIỆN GIAO THÔNG ẢNH HƯỞNG SỨC KHỎE VÀ GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ SCR GIẢM NO_x TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL

NO_x EMISSIONS FROM TRANSPORTATION AFFECT THE HEALTH AND THE TECHNOLOGICAL SOLUTIONS SCR TO REDUCE NO_x ON DIESEL ENGINE

Nguyễn Mạnh Dũng

Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí - Ô tô, Đại học Công nghiệp Hà Nội

Email: dungnm@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Khí NO_x (NO , NO_2 , N_2O) là loại chất gây ô nhiễm không khí mà chúng ta thường xuyên gặp trong môi trường đô thị (phương tiện giao thông) và công nghiệp. Nó tác động tiêu cực đến hệ hô hấp, tiêu hóa và nội tiết. NO_2 có thể gây kích thích niêm mạc đường hô hấp, viêm nhiễm, đau ngực, hen suyễn, ảnh hưởng hệ tiêu hóa nhất là những người có nhiều bệnh nền. Để giảm thiểu tác động này, hiện đã và đang có nhiều biện pháp kiểm soát ô nhiễm môi trường, đồng thời khuyến khích sự chuyển đổi sang nguồn năng lượng sạch và bền vững. Việc áp dụng các giải pháp công nghệ tiên tiến là một trong những giải pháp quan trọng để giảm thiểu tác hại của khí NO_x , nhất là từ hoạt động giao thông vận tải. Trong nghiên cứu này, tác giả đề cập đến giải pháp khử NO_x thông qua bộ xử lý xúc tác SCR để giảm NO_x cho động cơ xe ô tô đang lưu hành. Kết quả giảm NO_x đáng kể đã góp phần chung vào giảm ô nhiễm môi trường, nâng cao sức khỏe con người.

Từ khóa: Ô nhiễm môi trường; NO_x ; Sức khỏe con người; SCR; Giảm phát thải NO_x .

ABSTRACT

The NO_x (NO , NO_2 , N_2O) is a common air pollutant in urban (transportation) and industrial environments. It negatively impacts the respiratory, digestive, and endocrine systems. NO_2 can irritate the respiratory tract lining, cause inflammation, chest pain, asthma, and affect the digestive system, especially in individuals with underlying health conditions. To mitigate these impacts, various measures are being implemented to control environmental pollution and encourage the transition to clean and sustainable energy sources. The application of advanced technological solutions is crucial for reducing the harmful effects of NO_x , particularly from transportation. This study examines a solution for NO_x removal using an SCR catalytic converter to reduce NO_x in operating vehicle engines. The significant NO_x reduction results contribute to overall environmental pollution reduction and improved human health.

Keywords: Environmental pollution; NO_x ; Human health; SCR; NO_x emission reduction.

1. TỔNG QUAN

Phát thải độc hại từ phương tiện giao thông như PM, CO, HC, NO_x đã và đang được nhiều nhà khoa học, Chính phủ quan tâm đặc biệt do sự tác hại của chúng gây ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người, môi sinh và nhiều nhất là ảnh hưởng đến chất lượng cuộc sống, nhất là nơi đô thị có nhiều phương tiện giao thông hoạt động. Theo thống kê, hiện tại Việt Nam có khoảng 70 triệu xe máy và hơn 5 triệu xe ô tô. So sánh với dân số Việt Nam được ghi nhận vào năm 2025 (khoảng 100 triệu), chúng ta có thể thấy số lượng phương tiện giao thông sử dụng nhiên liệu tại Việt Nam là rất lớn. Ô tô, xe máy chính là những tác nhân có lượng phát thải độc hại PM, NO_x, CO₂, HC,... lớn.

Không ít các đề tài nghiên cứu được thực hiện hàng năm nhằm tìm ra các biện pháp giúp cải thiện vấn đề phương tiện giao thông gây ô nhiễm không khí tại nước ta. Từ ứng dụng các phương tiện sử dụng nguồn nhiên liệu sạch cho đến phát triển hệ thống giao thông công cộng, thậm chí đã có kế hoạch cấm xe đi vào khu vực nội thành. Tuy nhiên, hoặc vì chưa đủ nguồn lực, hoặc vì cần thêm thời gian, các biện pháp vẫn chưa cho thấy những kết quả tích cực. Dù đã có các phương tiện sử dụng năng lượng điện để thay thế nhưng lại chưa đủ sức thuyết phục để người dân sẵn lòng từ bỏ xe xăng chuyển sang xe điện. Phương tiện công cộng cũng là một phương pháp được nhiều nước phát triển trên thế giới tin dùng để hạn chế ô nhiễm không khí từ giao thông. Các quốc gia có hệ thống giao thông công cộng phát triển như Nhật Bản hay Hàn Quốc, chất lượng không khí tại đây cũng rất tốt. Tuy nhiên, hệ thống giao thông công cộng tại nước ta chưa đủ phát triển về chất lẫn lượng, để người dân sẵn lòng từ bỏ xe cá nhân chuyển sang sử dụng xe công cộng. Những biện pháp trên đều là những biện pháp được áp dụng và mang lại hiệu quả tại

nhều quốc gia trên toàn thế giới. Tuy nhiên, tất cả biện pháp đều cần thời gian để thực hiện cũng như cho ra kết quả tốt.

Khí NO_x đóng góp nhiều vào ô nhiễm không khí, đặc biệt là trong các thành phố và khu vực công nghiệp. NO_x tương tác với các chất khác trong không khí, tạo ra các hạt bụi mịn và các chất gây ô nhiễm khác. Ô nhiễm không khí có thể gây ra nhiều vấn đề sức khỏe như bệnh phổi, đau đầu, và có thể dẫn đến các bệnh lý nghiêm trọng như ung thư phổi. NO_x còn đóng vai trò quan trọng trong hiệu ứng nhà kính. NO_x tác động với các chất khác như hydrocarbon để tạo ra ozone ở tầng thấp của không khí, là một thành phần chính của smog. Ozone không chỉ gây hại cho sức khỏe mà còn là một khí nhà kính mạnh mẽ, ảnh hưởng đến biến đổi khí hậu toàn cầu. Khí NO_x có thể bị hòa tan trong nước mưa, tạo thành axit nitric. Axit nitric sau đó rơi vào mặt đất, tạo ra ô nhiễm nước và đất đai. Ảnh hưởng tiêu cực này có thể gây ra tình trạng axit hóa đất, làm giảm chất lượng nước và gây hại cho hệ sinh thái nước ngầm và nước mặt. Tác hại của khí NO_x đến môi trường là một vấn đề đa chiều, ảnh hưởng không chỉ đến không khí mà còn đến nước và đất đai. Để giảm thiểu tác động này, cần thiết lập và thực hiện các biện pháp kiểm soát ô nhiễm môi trường, đồng thời khuyến khích sự chuyển đổi sang nguồn năng lượng sạch và bền vững [3].

Một số công nghệ giảm phát thải NO_x tiên tiến:



Hình 1. Các giải pháp giảm phát thải PM và NO_x nhằm hướng tới các tiêu chuẩn Châu Âu [4]

Để giảm thiểu tác hại của khí NO_x đối với sức khỏe con người và môi trường, cần triển khai các biện pháp kiểm soát và giảm thiểu hiệu quả. Trên đây là một số biện pháp quan trọng mà các tổ chức và Chính phủ có thể thực hiện như: áp dụng công nghệ xe ô tô tiên tiến là một trong những biện pháp quan trọng nhất để giảm thiểu tác hại của khí NO_x từ giao thông vận tải, động cơ hiệu suất cao và hệ thống xử lý khí thải có thể giúp giảm phát thải NO_x. Chính phủ và các nhà sản xuất xe hơi cần hợp tác để đặt ra các tiêu chuẩn cao về tiêu thụ năng lượng và chất lượng không khí. Nhất là các dòng xe đã qua sử dụng hay còn niên hạn sử dụng có lượng phát thải NO_x lớn. Áp dụng các công nghệ xử lý khí thải hiện đại, chẳng hạn như hệ thống SCR (Selective Catalytic Reduction) và EGR (Exhaust Gas Recirculation), có thể được tích hợp vào các nhà máy điện, nhà máy sản xuất và các nguồn phát thải lớn khác để giảm thiểu phát thải NO_x [5].

2. MÔ PHỎNG PHÁT THẢI NO_x VÀ CÔNG NGHỆ SCR GIẢM PHÁT THẢI NO_x

2.1. Cơ sở lý thuyết mô phỏng nguồn phát thải NO_x

Trong động cơ diesel, cơ chế hình thành

NO_x diễn ra nhanh do hỗn hợp cháy không đồng nhất. Thành phần chính của NO_x là NO, NO₂. Trong đó, NO là khí không mùi, không màu còn NO₂ có màu nâu đỏ và mùi gắt. Cả hai loại khí đều rất độc nhưng NO₂ độc gấp 5 lần so với NO, phần lớn NO₂ hình thành từ việc ôxy hóa NO. Thành phần NO_x phụ thuộc rất nhiều vào hệ số dư lượng không khí λ và nhiệt độ của quá trình cháy, trên 2000K. Nồng độ NO_x đạt giá trị cực đại tại λ = 1,05 ÷ 1,1. Tại đây, nhiệt độ của quá trình cháy đủ lớn để ôxy và nitơ phân hủy thành nguyên tử có tính năng hoạt hóa cao và nồng độ ôxy đủ lớn cho phản ứng ôxy hóa, do đó NO_x đạt cực đại.

Do đặc điểm của động cơ diesel là hình thành hỗn hợp bên trong nên hệ số dư lượng không khí λ nằm trong một giới hạn rất rộng, cụ thể là 1,2 đến 10. Khi λ tăng, nhiệt độ cháy giảm nên thành phần NO_x giảm. So với động cơ xăng thì động cơ diesel có thành phần NO_x thấp hơn. Tuy nhiên, thành phần NO₂ trong NO_x lại cao hơn, chiếm 5 ÷ 15% trong khi tỷ lệ này ở động cơ xăng là 2 ÷ 10%.

Cơ chế hình thành NO_x trong mô phỏng AVL-Boost dựa trên cơ sở Pättas và Häfner [6]. Quá trình hình thành của chúng được thể hiện qua 06 phương trình phản ứng theo cơ chế Zeldovich được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Chuỗi phản ứng hình thành NO_x [7]

TT	Phản ứng	Phản ứng thuận			Phản ứng nghịch		
		A (cm ³ /mol s)	B (-)	E (kcal/mol K)	A (cm ³ /mol s)	B (-)	E (kcal/mol K)
1	N ₂ + O ↔ NO + N	4,93 × 10 ¹³	0,0472	- 75,59	1,6 × 10 ¹³	0	0
2	O ₂ + N ↔ NO + O	1,48 × 10 ⁸	1,5	- 5,68	1,25 × 10 ⁷	1612	- 37,69
3	OH + N ↔ NO + H	4,22 × 10 ¹³	0	0	6,76 × 10 ¹⁴	- 0,212	- 49,34
4	N ₂ O + O ↔ NO + NO	4,58 × 10 ¹³	0	- 24,1	7,39 × 10 ⁸	0,89	- 58,93
5	O ₂ + N ₂ ↔ N ₂ O + O	2,25 × 10 ¹⁰	0,825	- 102,5	3,82 × 10 ¹³	0	- 24,1
6	OH + N ₂ ↔ N ₂ O + H	9,14 × 10 ⁷	1,148	- 71,9	2,95 × 10 ¹³	0	- 10,8

Hệ số tốc độ của mô hình [7]:

$$k = AT^B \exp(-E/T) \quad (1)$$

Trong đó: A – Hệ số tốc độ phản ứng (cm³/mol s); E – Năng lượng hoạt hóa của phản ứng (kcal/molK); B – Hằng số nhiệt độ của phản ứng (-); T – Nhiệt độ của phản ứng (K).

Sự hình thành của NO_x được tính toán theo thông số nhập đầu vào như tốc độ động cơ, nhiên liệu cũng như áp suất, nhiệt độ, hệ số dư lượng không khí λ, thể tích và khối lượng, thời gian cũng như số vùng cháy. Quá trình tính toán được bắt đầu lúc thời điểm cháy ban đầu. Mặc dù trong khí thải NO_x của động cơ, NO chiếm phần lớn (90 ÷ 98%) nhưng việc tính toán NO cũng không thể bỏ qua. Lượng NO sinh ra có mối quan hệ như sau:

$$\frac{N_2O}{N_2\sqrt{O_2}} = 1,1802 \cdot 10^{-6} T_1^{0,6125} \exp\left[\frac{-18,71}{RT}\right] \quad (2)$$

Tốc độ hình thành NO_x được tính như sau:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2(1 - \alpha^2) \left[\frac{R_{2E}}{1 + \alpha K_2} + \frac{R_{4E}}{1 + K_4} \right] \frac{P}{RT} \quad (3)$$

Tốc độ phân huỷ NO [mol/cm³] được tính toán như sau:

$$r_{NO} = C_{PostProcMulti} \cdot C_{kineticMulti} \cdot 2,0 \cdot (1 - \alpha_2) \cdot \frac{r_1}{1 + \alpha \cdot AK_2} \cdot \frac{r_4}{1 + AK_4} \quad (4)$$

2.2. Mô phỏng giảm phát thải NO_x bằng công nghệ SCR cho động cơ diesel sử dụng AVL-Boost

Dựa trên các phương trình thủy khí động lực học, Pranit S. Metkar và cộng sự [10] đã xây dựng mô hình mô phỏng bộ xúc tác SCR (phun urê vào bộ xúc tác SCR). Theo đó, các phương trình được diễn giải như sau:

Phương trình liên tục của pha khí:

$$\frac{\partial \rho_g}{\partial t} = \frac{\partial \rho_g \cdot v_g}{\partial z} \quad (6)$$

Phương trình bảo toàn động năng được cho bởi phương trình Steady State Darcy:

$$\frac{\partial p_g}{\partial z} = -A_D \cdot v_g \quad (7)$$

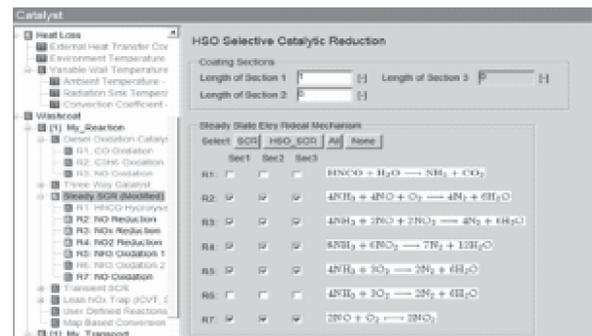
Phương trình bảo toàn năng lượng:

$$\begin{aligned} \varepsilon_g \frac{\partial \rho_g \cdot w_{k,g}}{\partial t} &= \varepsilon_g \frac{\partial \rho_g \cdot w_{k,g} \cdot v_g}{\partial z} + \varepsilon_g \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho_g \cdot D_{eff} \cdot \frac{\partial w_{k,g}}{\partial z} \right) \\ &+ MG_{k,g} \cdot \sum_i v_{i,k} \cdot \dot{r}(c_K^L, T_S) \end{aligned} \quad (8)$$

Phương trình cân bằng năng lượng chất rắn:

$$\begin{aligned} (1 - \varepsilon_g) \cdot \rho_s \cdot \frac{\partial (c_{p,s} T_s)}{\partial T} &= (1 - \varepsilon_g) \cdot \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_s \cdot \frac{\partial T_s}{\partial z} \right) \\ -a_{trans} k_h (T_s - T_g) &+ \sum_i \Delta h_i \cdot \dot{r}(c_k^L, T_s) + \dot{q}_{rad} \end{aligned} \quad (9)$$

Các phản ứng được lựa chọn để mô phỏng trên phần mềm AVL [9]:



Hình 2. Giao diện khai báo thông số cơ bản của bộ SCR

Trên đây, tác giả trình bày tổng quan cơ sở lý thuyết của phần mềm AVL-Boost như

tính toán được chu trình công tác, các mô hình điều kiện biên bao gồm mô hình trao đổi chất qua cửa nạp và thải, mô hình truyền nhiệt với hệ số truyền nhiệt được xác định theo mô hình Woschi 1978, mô hình cháy MCC cho động cơ hình thành hỗn hợp bên trong. Những cơ chế này được sử dụng để xây dựng các mô hình tính toán phát thải độc hại trong phần mềm AVL-Boost.

3. MÔ HÌNH MÔ PHÒNG ĐỘNG CƠ D4BB TRÊN PHẦN MỀM AVL-BOOST

3.1. Tính toán chu trình công tác của động cơ trên phần mềm AVL-Boost

Tác giả sử dụng phần mềm AVL-Boost để đánh giá khả năng làm việc của động cơ khi sử dụng bộ xúc tác chọn lọc SCR làm giảm phát thải NO_x. Kết quả mô phỏng cho phép đánh giá, lựa chọn được phương án giảm phát thải tối ưu cho động cơ diesel, giảm thời gian và chi phí khi thực nghiệm. Chương trình chính gồm các thuật toán mô phỏng được tối ưu hoá cho tất cả các phân tử. Dòng khí trong ống được coi như chuyển động theo một phương. Điều đó có nghĩa là áp suất, nhiệt độ, tốc độ dòng khí thu được từ những phương trình khí động học là giá trị trung bình trên toàn bộ đường ống. Tổn thất dòng khí do hiệu ứng ba chiều, tại những vị trí cụ thể của động cơ được thể hiện bằng hệ số cản.

Mô hình cháy AVL-MCC dự đoán được tỷ lệ lượng nhiệt trao đổi và lượng NO_x hình thành trong động cơ diesel dựa vào khối lượng nhiên liệu và động năng rối của tia phun nhiên liệu. Mô hình đòi hỏi số lượng lỗ phun, đường kính lỗ phun, hệ số bóp dòng của các lỗ phun và áp suất đường ống phun để tính hiệu suất phun hiệu dụng, tốc độ và từ đó tính động năng của tia nhiên liệu. Các thông số sau dùng để điều khiển tốc độ truyền nhiệt và hình thành NO_x [8]:

Có nhiều phương trình mô phỏng tính toán chu trình công tác của động cơ trên AVL-Boost như phương trình nhiệt động học thứ nhất, phương trình trạng thái. Các mô hình điều kiện biên: Mô hình trao đổi nhiệt, truyền nhiệt trong xy lanh, trao đổi nhiệt trên thành xy lanh, trao đổi nhiệt tại cửa nạp, thải, phương trình mô hình cháy AVL-MCC. Các phương trình này có trong AVL-Boost nhưng do khuôn khổ bài báo mà tác giả chỉ nêu lên tên các phương trình mà không tiện trình bày.

Dưới đây là phương trình tổng quát nhiệt động học thứ nhất [7]:

$$\frac{d(m_c u)}{d\alpha} = -P_c \frac{dV}{d\alpha} + \frac{dQ_F}{d\alpha} - \sum \frac{dQ_w}{d\alpha} - h_{BB} \frac{dm_{BB}}{d\alpha} \quad (10)$$

Trong đó:

$\frac{d(m_c u)}{d\alpha}$: Biến đổi nội năng bên trong xy lanh (J/độ);

$-P_c \frac{dV}{d\alpha}$: Công chu trình thực hiện (J/độ);

$\frac{dQ_F}{d\alpha}$: Nhiệt lượng cấp vào (J/độ);

$\sum \frac{dQ_w}{d\alpha}$: Tổn thất nhiệt qua vách (J/độ);

$h_{BB} \frac{dm_{BB}}{d\alpha}$: Tổn thất enthalpy do lọt khí (J/độ).

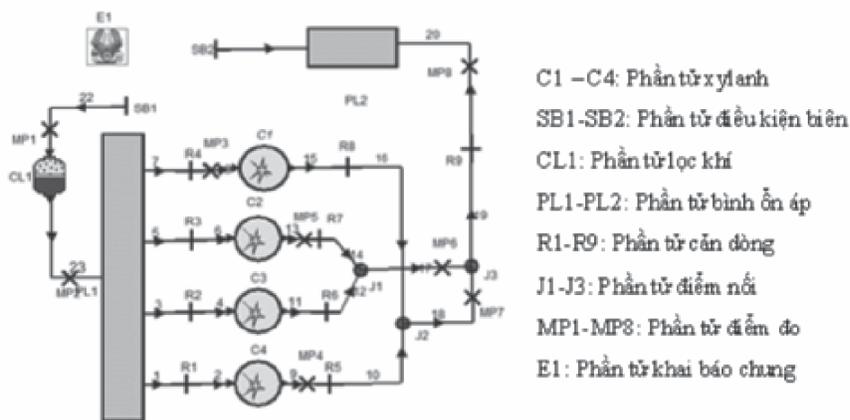
3.2. Thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ để mô phỏng

Thông số kết cấu cơ bản của động cơ được lựa chọn nghiên cứu như thể hiện trong Bảng 2, mô hình động cơ D4BB được xây dựng bao gồm các bộ phận và thông số như sau: Động cơ diesel 4 xy lanh thẳng hàng, thứ tự làm việc của các xy lanh 1-3-4-2, kết cấu đường nạp bao gồm thông số đường kính và chiều dài các đường ống nạp, bình lọc khí nạp, ống góp và các phân tử cản của kết cấu đường ống.

Bảng 2. Các thông số kết cấu của động cơ D4BB [7]

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Hành trình piston	S	100	mm
2	Đường kính xylanh	D	91,1	mm
3	Số xylanh	i	4	-
4	Chiều dài thanh truyền	L	230	mm
5	Công suất định mức (4000v/ph)	N_e	59	kW
6	Mô-men định mức (2200v/ph)	$M_{e\max}$	170	Nm
7	Suất tiêu hao nhiên liệu nhỏ nhất	g_e	200	g/kW.h
8	Tỷ số nén	ϵ	22:1	-
9	Góc mở sớm xupáp nạp	φ_1	16	độ
10	Góc đóng muộn xupáp nạp	φ_2	36	độ
11	Góc mở sớm xupáp thải	φ_3	46	độ
12	Góc đóng muộn xupáp thải	φ_4	14	độ
13	Góc phun sớm	φ_s	16	độ
14	Đường kính nắm xupáp nạp	D_n	50	mm
15	Đường kính nắm xupáp thải	D_t	46	mm
16	Thứ tự làm việc		1-3-4-2	
17	Hệ thống nhiên liệu diesel thông thường, sử dụng bơm phân phối			

3.3. Mô hình mô phỏng động cơ D4BB trên AVL-Boost

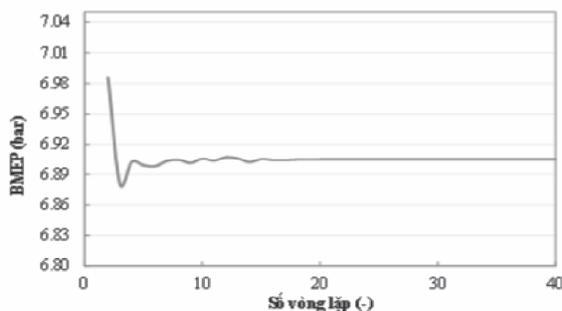


Hình 3. Mô hình động cơ D4BB trên phần mềm mô phỏng AVL-Boost

Mô hình động cơ D4BB được xây dựng trên phần mềm AVL-Boost dựa trên thông số kết cấu đo đặc trực tiếp trên động cơ như được thể hiện trên Bảng 2 được sử dụng để xây dựng mô hình. Ngoài ra, các mô hình điều kiện biên như mô hình cháy, mô hình truyền nhiệt, mô hình trao đổi chất đã được lựa chọn phù hợp với động cơ diesel D4BB nói riêng và động cơ diesel nói chung.

3.4. Đánh giá độ chính xác của mô hình

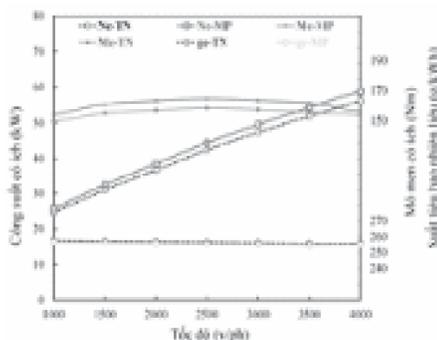
Kết quả mô phỏng thể hiện diễn biến áp suất có ích trung bình BMEP (Brake mean effective pressure) theo số vòng lặp. Kết quả cho thấy, kể từ chu trình thứ 20 trở đi, sự thay đổi của BMEP nhỏ hơn 0,01%, điều này chứng tỏ kết quả mô phỏng đã hội tụ. Để đảm bảo độ chính xác của mô hình, các thông số làm việc của động cơ được xác định qua thực nghiệm tại Trung tâm Nghiên cứu động cơ, nhiên liệu và khí thải, Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Trên cơ sở so sánh giữa kết quả mô phỏng và đo đặc thực nghiệm sẽ hiệu chỉnh các hệ số trong mô hình điều kiện biên như mô hình tổn hao cơ giới, mô hình cháy, mô hình phát thải. Độ chính xác của mô hình mô phỏng được đánh giá thông qua so sánh kết quả công suất và suất tiêu hao nhiên liệu (Hình 4) và thành phần phát thải ở hai chế độ công suất lớn nhất và mô-men lớn nhất (Hình 5, 6) giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN).



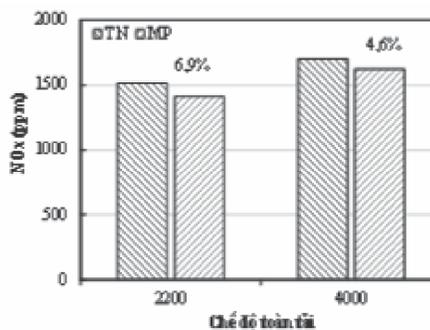
Hình 4. Đánh giá độ hội tụ của kết quả mô phỏng

3.5. Kết quả mô phỏng đánh giá N_e , M_e , G_e giữa mô phỏng và thực nghiệm

Mục đích để đánh giá hiệu quả hoạt động của động cơ trước và sau khi lắp bộ xử lý NO_x . Từ đó rút ngắn thời gian triển khai và là cơ sở để tiến hành thực nghiệm mà ít tốn kém nhất.



Hình 5. So sánh công suất, mô-men và suất tiêu hao nhiên liệu ở đặc tính ngoài giữa mô phỏng và thực nghiệm

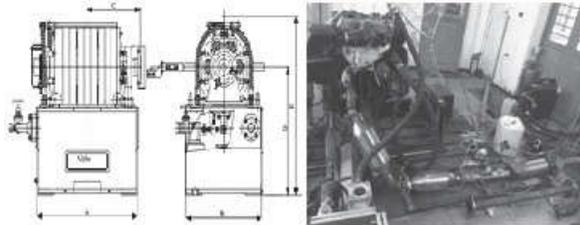


Hình 6. So sánh thành phần phát thải NO_x giữa mô phỏng và thực nghiệm

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

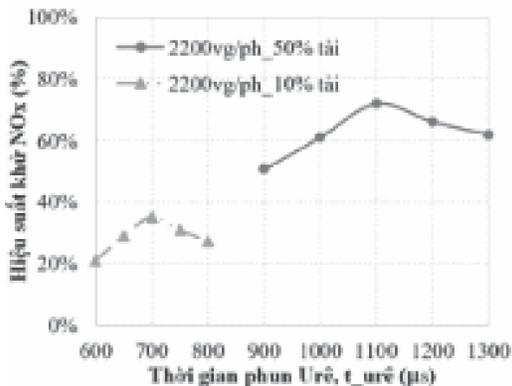
Thông số về tốc độ, công suất và mô-men của động cơ được xác định qua các thiết bị trên băng thử Alpha 160 và thông qua phần mềm PUMA (hình 7). Lượng nhiên liệu tiêu thụ được đo đặc bằng thiết bị cân nhiên liệu AVL

733S. Các thành phần phát thải dạng khí NO_x và một số khí khác được xác định qua hệ thống phân tích khí thải CEB (Combustion emission bench).

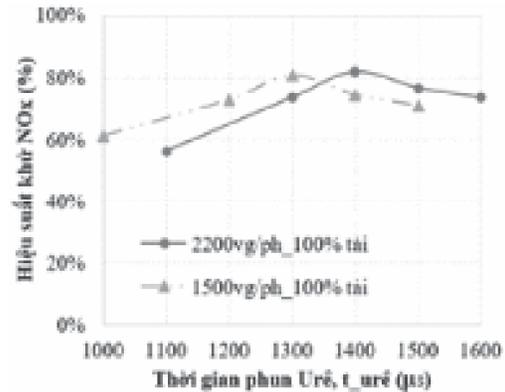


Hình 7. Sơ đồ bộ thử Alpha 160 và chạy thực nghiệm bộ SCR khử NO_x tại xưởng AVL Boost

Kết quả thử nghiệm trên Hình 8, 9 cho thấy, hiệu suất khử NO_x phụ thuộc vào lưu lượng phun urê (thời gian phun urê) đi vào bộ SCR với áp suất phun urê là 3 bar. Khi tăng thời gian phun urê thì hiệu suất khử NO_x tăng lên và đạt giá trị cực đại, sau đó hiệu suất khử NO_x sẽ giảm xuống do lượng urê thừa. Tại hai chế độ 1500 vg/ph, 100% tải (ứng với chế độ phát thải NO_x nhỏ nhất, 1160,32 ppm) và chế độ 2200 vg/ph, 100% tải (ứng với chế độ phát thải NO_x lớn nhất, 1348,81 ppm) cho thấy thời gian phun urê tối ưu lần lượt là 1300 μs (lưu lượng phun urê là 93,76 g/h) và 1400 μs (lưu lượng phun urê là 102,24 g/h).



Hình 8. Hiệu suất khử NO_x theo thời gian phun urê với chế độ 10% và 50% tải tại tốc độ 2200 vg/ph



Hình 9. Hiệu suất khử NO_x ứng với chế độ 100% tải tại tốc độ 1500 và 2200 vg/ph

Ngoài ra, kết quả thử nghiệm cũng cho thấy, với giá trị NO_x nằm trong giới hạn từ NO_x nhỏ nhất đến NO_x lớn nhất theo đường đặc tính ngoài từ tốc độ 1000 vg/ph đến 2200 vg/ph thì hiệu xuất khử NO_x lớn nhất khi thời gian phun urê từ 1300 đến 1400 μs . ❖

Ngày nhận bài: 08/12/2025

Ngày phản biện: 18/12/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Bộ Tài nguyên và Môi trường, “Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia”.
- [2]. Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, “Số liệu quan trắc chất lượng không khí”.
- [3]. Green Innovation and Development Centre (GreenID) (2017), “Báo cáo chất lượng không khí năm”.
- [4]. DieselNet Technology Guide, <http://www.dieselnet.com/tg.php>.
- [5]. T. Balamurugan and R. Nalini (2014), “Experimental investigation on performance, combustion and emission characteristics of four stroke diesel engine using diesel blended with alcohol as fuel”. Energy, 78, 356-363.
- [6]. Pattas K, Häfner G (1973), “Stickoxidbildung bei der ottomotorischen Verbrennung”. MTZ Nr. 12.

- [7]. Nguyễn Mạnh Dũng, Luận án tiến sĩ, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2020.
- [8]. AVL-List GmbH, “*BOOST v.2009 Users Guide & Theory*”. Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz, Austria.
- [9]. Wurzenberger J. C. and Wanker R. ‘*Multi-Scale SCR Modeling (2005), “1D Kinetic Analysis and 3D System Simulation”*’. SAE 2005-01
- [10]. Metkar, P. S., Salazar, N., Muncrief, R., Balakotaiah, V., & Harold, M. P. (2011), “*Selective catalytic reduction of NO with NH₃ on iron zeolite monolithic catalysts: Steady-state and transient kinetics*”. Applied Catalysis B: Environmental, 104(1-2), 110-126.
- [11]. Koltsakis G. C., Konstantinidis, P.A. and Stamatelos A. M. (1997), “*Development and application range of mathematical models for 3-way catalysts*”. Applied Catalysis B. Environmental 12, 1997, 161-191.
- [12]. Đinh Xuân Thành, Lê Anh Tuấn, Phạm Văn Thê, Khổng Vũ Quảng (2011), “*Nghiên cứu giải pháp giảm phát thải NO_x và khói đen cho động cơ diesel lắp trên xe buýt*”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, số 05, 03/2011, tr. 40-45.
- [13]. Isabella Nova, Enrico Tronconi Editors (2014), “*Urea-SCR Technology for deNO_x After Treatment of Diesel Exhausts*”. Fundamental.
- [14]. Kai Deppenkemper, Markus Ehrly Ing, Markus Schoenen, Matthias Koetter (2019), “*Super Ultra-Low NO_x Emissions under Extended RDE Conditions - Evaluation of Light-Off Strategies of Advanced Diesel Exhaust Aftertreatment Systems*”. SAE, 2019-01-0742.
- [15]. Carl-Adam Torbjohnsson (2002), “*Modelling of a Venturi in a Heavy Duty Diesel Engine*”. Master’s thesis reg nr: LiTH-ISY-EX-3368-2002, Vehicular system, Dept. of Electrical Engineering, Linkoping Universitet.
- [16]. Dinh Xuan Thanh, Pham Minh Hieu, Khuong Thi Ha, Le Anh Tuan, Pham Van The (2009), “*Simulation of exhaust gas recirculation retrofitting for turbocharged diesel engines – A case study on NO_x emission reduction for diesel buses*”. The 15th Asia Pacific Automotive engineering conference (APAC 2009), Hanoi, October 26-28, 2009, Volume 1, page 168.