

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA KẾT CẤU ĐƯỜNG ỐNG ĐẾN KHẢ NĂNG HÒA TRỘN CỦA DÒNG KHÔNG KHÍ BỔ SUNG TRÊN ĐƯỜNG THẢI

THE EFFECT OF PIPE STRUCTURE ON THE MIXABILITY OF THE SUPPLEMENTARY AIR
ON THE EXHAUST MANIFOLD: A SIMULATION RESEARCH

Đinh Xuân Thành¹, Nguyễn Huy Chiến¹,
Khổng Vũ Quảng², Lê Mạnh Tới², Nguyễn Duy Tiến^{2*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.173>

TÓM TẮT

Bổ sung không khí trên đường thải là phương pháp đã được sử dụng trên một số động cơ trang bị hệ thống nhiên liệu dùng bộ chế hòa khí. Đây là phương pháp tận dụng nhiệt khí thải để tăng cường các phản ứng oxy hóa trên đường thải. Ngoài ra việc bổ sung thêm không khí sẽ khắc phục những hạn chế khi trang bị bộ xử lý khí thải ba thành phần (BXT) trên loại động cơ này khi nó giúp cải thiện môi trường oxy hóa trong BXT, từ đó nâng cao hiệu suất chuyển đổi các thành phần phát thải CO, HC. Hiệu quả chuyển đổi các thành phần phát thải của BXT không chỉ phụ thuộc vào lượng không khí bổ sung mà còn phụ thuộc vào các thông số của vòi phun như: vị trí, góc nghiêng cũng như kết cấu hòa trộn giữa hai dòng khí. Nội dung bài báo sẽ trình bày kết quả mô phỏng sự hòa trộn giữa hai dòng khí trên phần mềm Ansys fluent. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi $\beta = 120^\circ$ kết hợp với bổ sung cánh hướng dòng dạng xoắn, mức độ hòa trộn giữa dòng không khí và dòng khí thải được cải thiện đáng kể với vùng hòa trộn hiệu quả φ_{kk} đạt tới 52,1%.

Từ khóa: Khí thải, CFD, bộ xúc tác ba thành phần, động cơ đốt trong.

ABSTRACT

Adding air to the exhaust is a method that has been used on engines equipped with carburetor fuel systems. This is an effective solution to utilize heat in the exhaust to enhance the oxidation reaction on the exhaust manifold. Moreover, the addition air will overcome the limited of equipping the three-way catalyst (TWC) on this engine because it helps to improve the oxidation environment in catalyst thereby enhancing the conversion efficiency of CO and HC. In fact, the efficiency of TWC is not only dependent on the amount of addition air, but also on the other parameters such as: the position and angle of the nozzle air as well as the mixing texture between the two streams gas. In this paper we will present the results of simulating the mixing between two air flows on Ansys fluent. Research results show that, when $\beta = 120^\circ$ combined with the addition of a spiral vane continuous, the effective mixing zone of two gas streams is improved significantly φ_{kk} by up to 52.1%.

Keywords: Exhaust, CFD, three-way catalyst, internal combustion engine.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: tien.nguyenduy@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/02/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/4/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2023

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với đặc thù là một nước đang phát triển, xe máy hiện là loại phương tiện đang được sử dụng phổ biến tại Việt Nam. Theo thống kê của cục đăng kiểm, hiện nay nước ta có trên 60 triệu xe máy, trong đó phần lớn là các xe trang bị hệ thống nhiên liệu sử dụng bộ chế hòa khí [1]. Bên cạnh những ưu điểm như giá thành phù hợp với thu nhập của đa số người dân, thuận tiện trong quá trình di chuyển đặc biệt là trong các đường, ngõ phố chật hẹp... Xe máy hiện cũng đang là tác nhân chính gây ô nhiễm môi trường không khí đặc biệt là tại các thành phố lớn như Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh [2]. Nhằm kiểm soát phát thải cho các phương tiện sản xuất và lắp ráp trong nước cũng như các phương tiện nhập khẩu nước ta hiện đang áp dụng tiêu chuẩn EURO5 cho ô tô và EURO4 cho xe máy [3].

Để giảm thiểu ô nhiễm môi trường cũng như đáp ứng các tiêu chuẩn khí thải ngày càng cao đòi hỏi ngoài những cải tiến công nghệ liên quan tới động cơ thì việc trang bị thêm hệ thống xử lý khí thải gần như là yêu cầu bắt buộc. Trên động cơ sử dụng hệ thống nhiên liệu dùng bộ chế hòa khí thì việc trang bị hệ thống xử lý khí thải mà cụ thể là bộ xúc tác ba thành phần (BXT) là tương đối khó khăn. Trong quá trình vận hành hệ số dư lượng không khí λ của động cơ có biên độ thay đổi lớn và động cơ thường làm việc ở vùng có hệ số dư lượng không khí λ nhỏ hơn 1. Do đó hiệu quả của BXT không cao dẫn tới hàm lượng phát thải độc hại của động cơ sau BXT vẫn rất lớn [4].

Nhiều nghiên cứu cho thấy phun bổ sung không khí trên đường thải là giải pháp không chỉ tăng cường các phản ứng oxy hóa trên đường thải mà còn cải thiện môi trường oxy hóa do đó cải thiện hiệu suất chuyển đổi các thành phần CO, HC trong BXT [4, 5]. Tuy nhiên hiệu suất chuyển hóa của BXT với các thành phần phát thải ngoài phụ thuộc vào nhiệt độ, hệ số dư lượng không khí còn phụ thuộc vào mức độ đồng nhất trong quá trình hòa trộn giữa dòng không khí bổ sung và dòng khí thải. Vì vậy, trong nội dung bài báo này nhóm tác giả hướng tới mô phỏng xác định góc đặt vòi phun không khí trên

đường ống thải (β) phù hợp nhằm đạt được hiệu quả hòa trộn tốt giữa hai dòng khí. Quá trình mô phỏng được thực hiện trên phần mềm Ansys fluent. Quá trình thử nghiệm xác định các thông số đầu vào của mô hình được tiến hành tại trung tâm nghiên cứu Các nguồn động lực và Phương tiện tự hành, Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội.

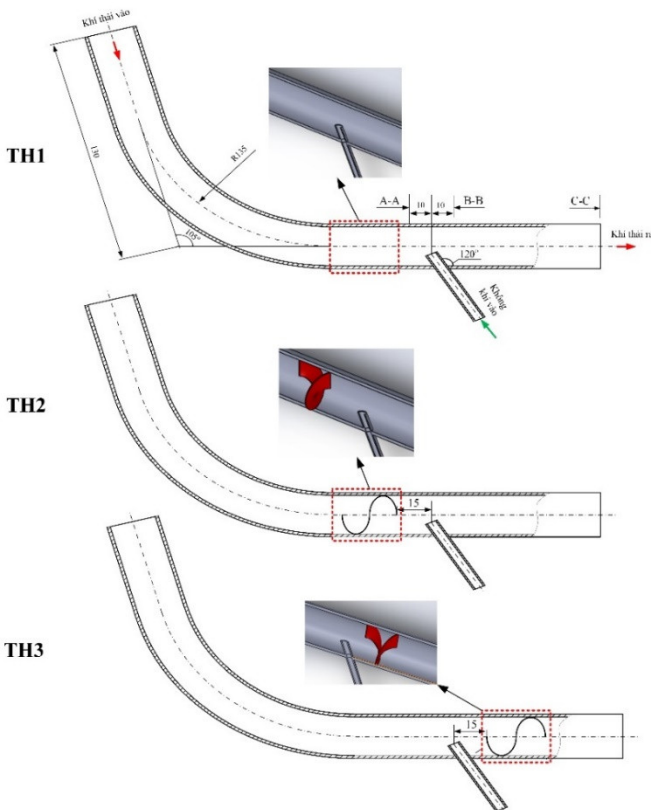
2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Xây dựng mô hình mô phỏng

Mô hình mô phỏng là 1 đoạn đường thải của xe Zip 100 của hãng piaggio Việt Nam (từ cửa thải đến trước vị trí lắp BXT). Trong bài báo này nhóm tác giả sẽ tiến hành thay đổi kết cấu ống với hai trường hợp như sau: Trường hợp 1 (TH1) góc bổ sung không khí nghiêng với phương ngang một góc $\beta = 120^\circ$. Trường hợp 2 (TH2) và trường hợp 3 (TH3) giữ nguyên góc bổ sung không khí $\beta = 120^\circ$, bổ sung thêm cánh hướng dòng dạng xoắn ốc đặt phía trước (+), sau (-) và cách với phun 15mm (hình 1 và bảng 1).

Bảng 1. Thông số kết cấu ống hòa trộn khí thải và không khí

Thông số	TH1	TH2	TH3
Tổng chiều dài ống (mm)	280		
Đường kính ống thải (mm)	$\varnothing 21/24$		
Đường kính vòi phun không khí (mm)	$\varnothing 3,5/5$		
Góc phun bổ sung không khí β ($^\circ$)	120 $^\circ$		
Chiều dài cánh hướng dòng (mm)	-	20	
Khoảng cách cánh hướng dòng so với vòi phun không khí (mm)	-	(-) 15	(+) 15



Hình 1. Bản vẽ kết cấu đoạn ống thải ứng với 3 trường hợp

Đối tượng sử dụng trong quá trình thử nghiệm xác định các thông số đầu vào của mô hình mô phỏng là xe máy Zip 100 của hãng Piaggio, đây là một trong những dòng xe máy hiện nay sử dụng hệ thống nhiên liệu dùng bộ chế hòa khí nhưng đã được trang bị bộ xúc tác ba thành phần trên đường thải. Các thông số kỹ thuật của động cơ trang bị trên xe được thể hiện trong bảng 1.

2.2. Xây dựng mô hình mô phỏng trên Ansys fluent

Ansys Fluent là phần mềm bậc cao dùng để mô phỏng, khảo sát rất nhiều ứng dụng, hiện tượng ngoài thực tế dựa trên việc chia lưới theo phương pháp thể tích hữu hạn. Ansys Fluent được thiết lập dựa trên các phương trình cơ bản của cơ học chất lỏng như các phương trình liên tục, phương trình bảo toàn động lượng và năng lượng [7]:

+ Phương trình liên tục

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

+ Phương trình động lượng

$$\rho U_i \frac{\partial U_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u_i u_j} \right] \tag{2}$$

+ Phương trình năng lượng

$$\rho c_p U_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{u_i T} \right] \tag{3}$$

Trong đó: U_j và T là vận tốc và nhiệt độ trung bình của môi chất; u_i' ; u_j' và T' là các thành phần dao động theo thời gian; $\rho \overline{u_i u_j}$ và $\rho c_p \overline{u_i T}$ là ứng suất Reynolds và ứng suất nhiệt. Các phương trình trên tính toán dựa theo giả thiết Boussinesq nhằm mô hình hóa ứng suất Reynolds:

$$\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial U_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \tag{4}$$

Tương tự đối với nhiệt độ, cũng thu được phương trình sau:

$$\rho c_p \overline{u_i T} = \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \tag{5}$$

Theo [10], mô hình động năng rối k và động năng rối tiêu tán ϵ (mô hình $k-\epsilon$) thường được sử dụng để xác định σ (velocity scale) và ℓ (length scale) như sau:

$$\sigma = k^{1/2}; \ell = \frac{k^{3/2}}{\epsilon}; \mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \tag{6}$$

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho U_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - \rho \epsilon \tag{7}$$

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \rho U_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_1 \mu_t \frac{\epsilon}{k} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k} \tag{8}$$

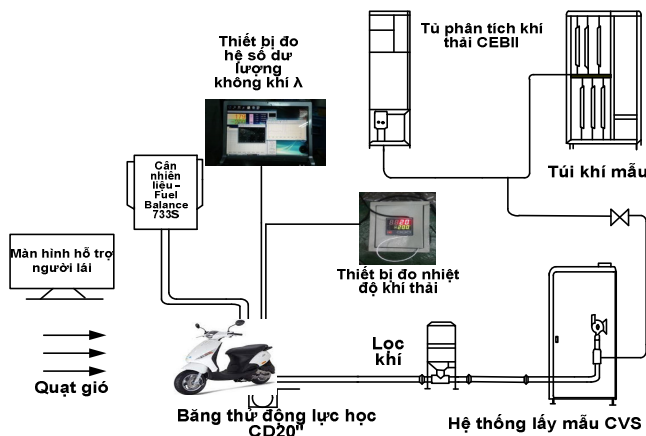
Trong đó, các hằng số thực nghiệm sử dụng trong mô hình k-ε tiêu chuẩn có giá trị như sau: $C_\mu = 0,09$; $\sigma_k = 1,00$; $\sigma_\epsilon = 1,30$; $C_1 = 1,44$; $C_2 = 1,92$ và $\sigma_t = 0,85$

Với điều kiện biên không trượt được áp dụng trên thành của mô hình mô phỏng. Vận tốc là cực đại khi ở xa thành tường và giảm mạnh ở khu vực gần thành tường. Quá trình chia lưới được thực hiện sao cho số điểm lưới gần thành tường đầu tiên P, nằm trong khoảng $30 < y_p^+ < 500$ nhằm thỏa mãn định luật log-law [8], do đó khi sử dụng giả định này và (6) sẽ xác định được mối liên hệ giữa ứng suất cắt cực bộ của thành tường (thông qua u_τ) với vận tốc trung bình, k và ε:

$$u^+ = \frac{U}{u_\tau} = \frac{1}{K} \ln(Ey_p^+); k = \frac{u_\tau^2}{\sqrt{C_\mu}}; \epsilon = \frac{u_\tau^3}{ky} \tag{9}$$

$$T^+ = Pr_t \left[\frac{1}{K} \ln(Ey^+) + P \right] \tag{10}$$

Trong đó, K là hằng số Von Karman's, $K = 0,41$; E là độ nhám của tường, đối với tường nhẵn thì $E = 9,8$; Pr_t là hằng số Prandtl rối ($Pr_t = 0,85$ đối với không khí); P là hàm của số Prandtl và số Prandtl rối.



Hình 2. Sơ đồ thử nghiệm xác định thông số điều kiện biên của mô hình

2.3. Xác định điều kiện biên của mô hình

Các thông số điều kiện biên, đầu vào của mô hình mô phỏng trong Ansys Fluent, như nhiệt độ, hệ số dư lượng không khí và lưu lượng khí thải được xác định bằng thực nghiệm trên băng thử CD20 tại Trung tâm nghiên cứu động cơ, nhiên liệu và khí thải, Đại học Bách khoa Hà Nội. Sơ đồ hệ thống thử nghiệm được thể hiện như trên hình 2. Trong đó, lượng nhiên liệu tiêu thụ được đo bởi thiết bị fuel balance 733S, nhiệt độ khí thải được đo bởi cảm biến loại K (0 - 800°C) kết nối với thiết bị hiển thị. Hệ số dư lượng không khí được xác định bởi cảm biến λ dải rộng Bosch LSU 4.9. Lưu lượng khí thải sẽ được xác định gián tiếp thông qua lưu lượng nhiên liệu và hệ số dư lượng không khí theo công thức (11).

$$G_{kt} = G_{kn} + G_{nl} = G_{nl} \cdot \lambda \cdot (A/F) + G_{nl} = G_{nl} \cdot (\lambda \cdot (A/F) + 1) \tag{11}$$

Trong đó: G_{kt} - lưu lượng khí thải; G_{kn} - lưu lượng khí nạp; G_{nl} - lưu lượng nhiên liệu; λ - hệ số dư lượng không khí. Theo Juan E. Tibaquirá [9] hệ số A/F của nhiên liệu RON95 là 14,49.

Chế độ thử nghiệm được thực hiện ở tốc độ xe 50km/h, độ mở bướm ga 50%. Các thông số đo được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Các thông số đo

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Nhiệt độ khí thải	901	K
2	Hệ số dư lượng không khí λ	0,88	-
3	Lượng nhiên liệu tiêu thụ	1,2	kg/h

Lưu lượng không khí bổ sung được tính toán nhằm đảm bảo hệ số dư lượng không khí trên đường thải bằng 1 và được xác định theo công thức sau:

$$G_{kk} = G_0(1-\lambda_0) = G_{nl} \cdot (A/F) \cdot (1-\lambda_0) \tag{12}$$

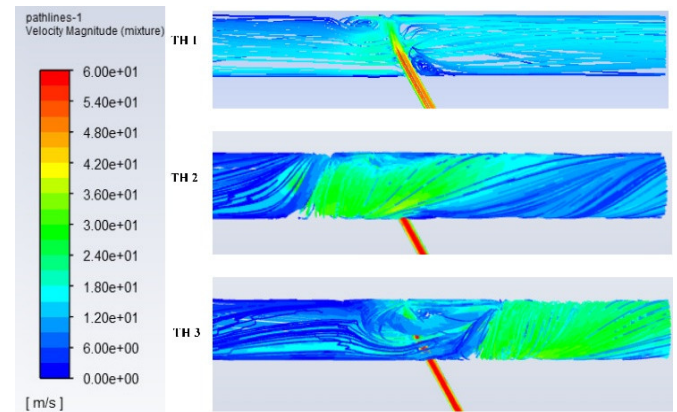
Tổng hợp các thông số khác của dòng không khí bổ sung và dòng khí thải được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Các thông số điều kiện biên khác [10, 11]

STT	Thông số	Không khí	Khí thải
1	Nhiệt độ đầu vào (K)	300	901
2	Khối lượng riêng (kg/m³)	1,225	0,367
3	Nhiệt dung riêng (J/kg.K)	1006,430	1117,715
4	Hệ số dẫn nhiệt (W/m.K)	0,0242	0,0626
5	Độ nhớt (kg/m.s)	$1,789 \cdot 10^{-5}$	$3,973 \cdot 10^{-5}$
6	Lưu lượng (kg/h)	2,09	16,50
7	Hệ số Reynold	6027,4	12455,1

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

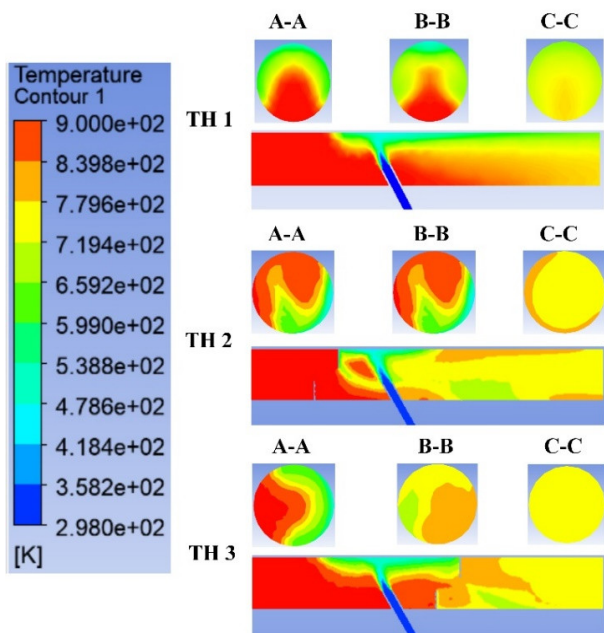
3.1. Phân bố vận tốc của khí thải và không khí trong đường ống



Hình 3. Phân bố vận tốc khí thải và không khí khi có và không có cánh hướng dòng

Hình 3 thể hiện sự phân bố vận tốc của hỗn hợp khí thải và không khí bổ sung lưu động trong ống ứng với 3 kết cấu ống khác nhau. Có thể nhận thấy dòng không khí bổ sung với vận tốc cao khi đi vào sẽ gây ra hiện tượng rối xoáy và làm tăng mức độ hòa trộn giữa hai dòng khí. Ngoài ra, nhìn trên hình 3 có thể thấy trong hai trường hợp TH2 và TH3 khi ống thải có bố trí thêm cánh hướng dòng thì mức độ xoáy rối của dòng khí lớn hơn so với TH1, điều này có thể làm tăng mức độ hòa trộn giữa khí thải và dòng khí bổ sung, qua đó

làm tăng hiệu quả làm việc của BXT. Hình 4 thể hiện phân bố nhiệt độ của hỗn hợp khí trong đường ống thải. Kết quả cho thấy sự phân bố nhiệt độ của hỗn hợp dọc theo đường ống trong ba trường hợp là khác nhau, tuy nhiên nhiệt độ trung bình tại đầu ra của dòng khí thải (mặt cắt C-C) vẫn nằm trong phạm vi làm việc hiệu quả của BXT ($t > 350^{\circ}\text{C}$), do đó quá trình bổ sung không khí vào khí thải không ảnh hưởng đến nhiệt độ làm việc hiệu quả của BXT.



Hình 4. Phân bố nhiệt độ của khí thải và không khí khi có và không có cánh hướng dòng

3.2. Đánh giá mức độ hòa trộn giữa không khí và khí thải

Mức độ hòa trộn giữa không khí và khí thải được đánh giá thông qua hệ số lưu lượng ϕ_{kk} (Air Volume Fraction) và được tính toán theo công thức:

$$\phi_{kk} = \frac{G_{kk}}{G_{kk} + G_{kt}} \quad (13)$$

Trong đó G_{kk} : lưu lượng không khí bổ sung ở phân tố khảo sát, G_{kt} lưu lượng khí thải ở phân tố khảo sát. Áp dụng công thức (11) và (12), công thức (13) được biến đổi như sau:

$$f_{kk} = \frac{G_{kk}}{G_{kk} + G_{kt}} = \frac{G_{nl}(\lambda - \lambda_0)(A/F)}{G_{nl}(\lambda - \lambda_0)(A/F) + G_{nl}(\lambda_0(A/F) + 1)} = \frac{(\lambda - \lambda_0)(A/F)}{\lambda(A/F) + 1} \quad (14)$$

Trong đó λ_0 là hệ số dư lượng không khí khi không có bổ sung không khí ($\lambda_0 = 0,88$ - tại chế độ mô phỏng); λ là hệ số dư lượng không khí trên đường thải khi có bổ sung không khí. Theo [12], bộ xúc tác hoạt động hiệu quả khi $\lambda \approx 1$ ($0,975 \leq \lambda \leq 1,025$), thay giá trị λ và λ_0 vào (14), hệ số lưu lượng không khí (ϕ_{kk}) được xác định như sau:

+ Với $\lambda = 0,975$

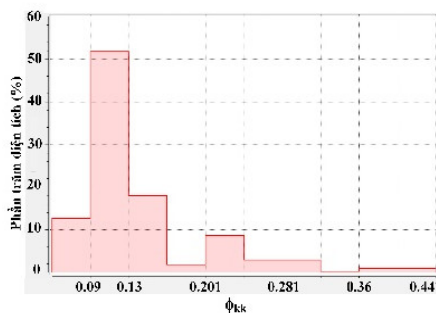
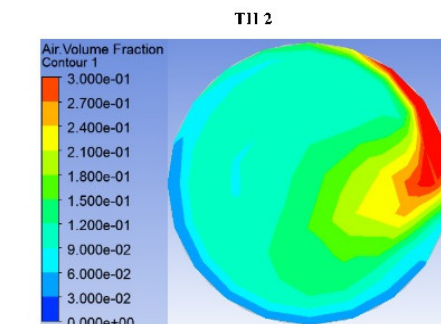
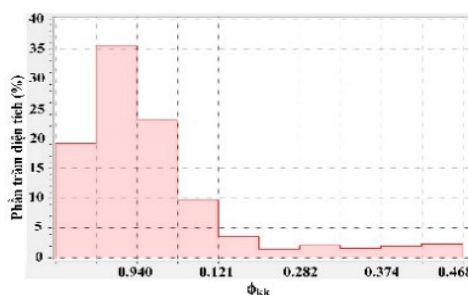
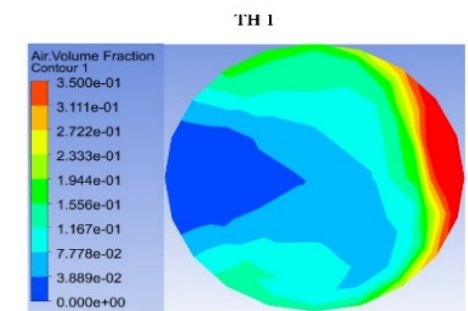
$$\phi_{kk} = \frac{(\lambda - \lambda_0)(A/F)}{\lambda(A/F) + 1} = \frac{(0,975 - 0,88).14,49}{0,975.14,49 + 1} = 0,091$$

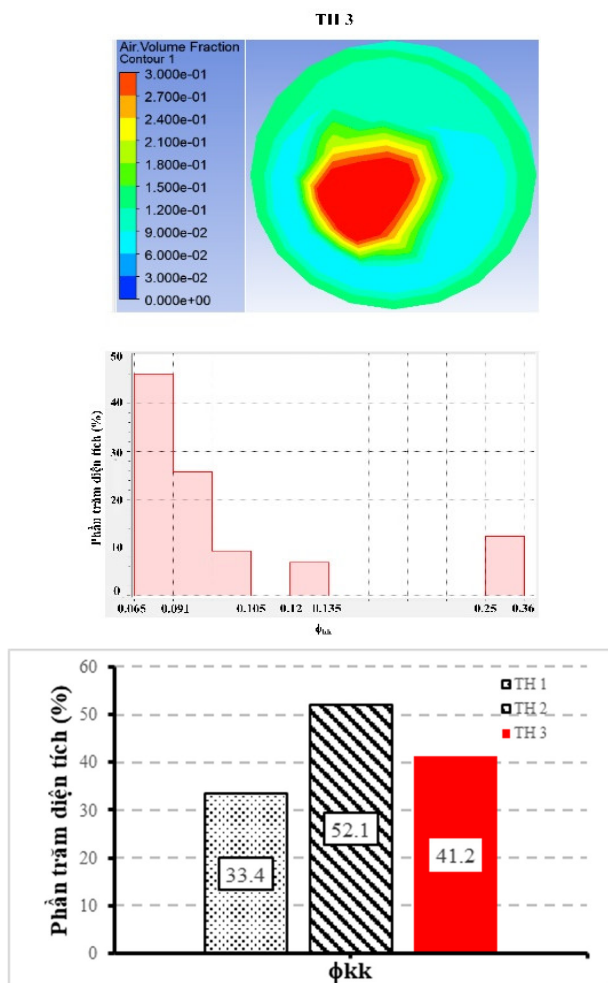
+ Với $\lambda = 1,025$

$$\phi_{kk} = \frac{(\lambda - \lambda_0)(A/F)}{\lambda(A/F) + 1} = \frac{(1,025 - 0,88).14,49}{1,025.14,49 + 1} = 0,133$$

Như vậy, vùng hòa trộn hiệu quả trong đường thải là các vùng có hệ số lưu lượng ϕ_{kk} nằm trong khoảng $0,091 \div 0,133$.

Mức độ hòa trộn giữa không khí và khí thải được thể hiện trên hình 5. Kết quả tổng hợp cho thấy diện tích vùng có hệ số đồng nhất ϕ_{kk} trong giới hạn đề ra ($0,091 \div 0,133$) tăng khi có thêm cánh hướng dòng và đạt giá trị lớn nhất trong TH2 với $\phi_{kk} = 52,1\%$. Nguyên nhân của hiện tượng này là do khi lắp thêm cánh hướng dòng dạng xoắn thì sẽ làm tăng sự rối xoáy của dòng khí, từ đó làm cải thiện mức độ hòa trộn giữa 2 dòng môi chất.





Hình 5. Tỷ lệ % theo ϕ_{kk} (0,091 ÷ 0,133) tại mặt cắt C-C

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng phương pháp CFD để mô phỏng quá trình phun không khí trên đường thải của xe máy, từ đó đánh giá mức độ hòa trộn giữa không khí và khí thải. Kết quả mô phỏng cho thấy việc bố trí hướng dòng khí bổ sung ngược chiều kết hợp với cánh dẫn hướng dạng xoắn sẽ làm tăng chuyển động xoáy rối qua đó làm tăng mức độ hòa trộn giữa hai dòng khí. Cụ thể với việc bổ sung cánh hướng dòng dạng xoắn đã giúp cải thiện vùng có hệ số dư lượng không khí λ từ 0,975 đến 1,025 (vùng hoạt động hiệu quả của BXT) so với trường hợp không có cánh hướng dòng là 55,1% (ϕ_{kk} từ 33,4% lên tới 52,1%). Tuy nhiên việc bố trí cánh xoắn có thể làm tăng cản trở trên đường thải do đó có thể ảnh hưởng tới các tính năng kinh tế và kỹ thuật của xe. Từ kết quả này sẽ là cơ sở quan trọng để nhóm nghiên cứu tiến hành thiết kế và xây dựng hệ thống bổ sung không khí vào đường thải động cơ.

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã hỗ trợ kinh phí nghiên cứu thông qua đề tài số 09-2021-RD/HĐ-ĐHCN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ministry of natural resources and environment, 2020. *Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia 2019*. Dan Tri Publisher, Hanoi.
- [2]. Phạm Minh Tuấn, 2006. *Động cơ đốt trong*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.
- [3]. Phạm Minh Tuấn, 2008. *Lý thuyết động cơ đốt trong*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.
- [4]. Nguyễn Duy Tiên, Khổng Vũ Quang, Nguyễn Thế Lương, Phạm Hữu Tuyền, Nguyễn Thế Trúc, Bùi Văn Chính, 2019. *Effect of air injection into exhaust manifold to specifications, emissions and efficiency of three way catalyst equipped in motorcycle engine using carburetor*. Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry, Vol. 55.
- [5]. Nguyễn Duy Tiên, Khổng Vũ Quang, Nguyễn Thế Lương, Phạm Hữu Tuyền, Nguyễn Đức Khanh, 2020. *Study on improving emission conversion efficiency of three-way catalyst equipped in carburetor motorcycle by air supplement system*. International Journal of Ambient Energy.
- [6]. Nguyễn Duy Tiên, Khổng Vũ Quang, Phạm Hữu Tuyền, Nguyễn Thế Lương, 2019. *Research the Emission Reduction and Improve the Efficiency of Three Way Catalyst Equipped on Motorcycles using Carburetor by Air Injection on the Exhaust*. Journal of Science and Technology - Technical Universities, Vol.137, ISSN 2354-1083.
- [7]. Khổng Vũ Quang, Nguyễn Duy Tiên, Vũ Minh Diện, Lê Mạnh Toại, Lê Đăng Duy, 2021. *Developing a waste heat recovery tube used in the seawater distillation system*. Applied Thermal Engineering, Vol. 195.
- [8]. H.K. Versteeg, W. Malalasekera, 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics the Finite Volume Method*. Second edition published.
- [9]. Juan E. Tibaquirá, 2018. *The Effect of Using Ethanol-Gasoline Blends on the Mechanical, Energy and Environmental Performance of In-Use Vehicles*. Energies, vol 11, 221.
- [10]. Launder B. E., Spalding D. B. 1974. *The Numerical Computation of Turbulent Flows*. Comput. Methods Appl. Mech. Eng., Vol. 3, pp. 269-289.
- [11]. Bùi Hải, Trần Thế Sơn, 2015. *Kỹ thuật nhiệt*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.
- [12]. Ed. BodeEd, 2002. *Materials Aspects in Automotive Catalytic Converters*. Wiley/VCH, Weinheim, Germany, pages 1-281.

AUTHORS INFORMATION

**Dinh Xuan Thanh¹, Nguyen Huy Chien¹,
Khong Vu Quang², Le Manh Toi², Nguyen Duy Tien²**
¹Hanoi University of Industry, Vietnam
²Hanoi University of Science and Technology, Vietnam