

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA THIẾT BỊ KHUẾCH TÁN GIÓ CẢN SAU ĐẾN ĐẶC TÍNH KHÍ ĐỘNG LỰC HỌC Ô TÔ

STUDY ON THE INFLUENCE OF THE REAR DIFFUSER ON SUVs' AERODYNAMIC CHARACTERISTICS

Đặng Tiến Phúc^{1,*},
Nguyễn Xuân Ngọc¹, Lê Hoàng Tú¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.048>

TÓM TẮT

Bộ khuếch tán gió cản sau là một trong những thiết bị làm thay đổi tốc độ dòng khí phía dưới xe, đồng thời ảnh hưởng đến đặc tính khí động lực học ô tô. Bài báo này trình bày nghiên cứu mô phỏng ảnh hưởng của thiết bị khuếch tán gió cản sau trên dòng xe SUV. Phần mềm mô phỏng CFD được sử dụng để mô phỏng đặc tính khí động lực học trong trường hợp ô tô có lắp và không lắp thiết bị khuếch tán gió. Kết quả mô phỏng được trình bày bởi hình ảnh và kết quả tính toán hệ số cản, hệ số nâng lần lượt trường hợp ô tô không lắp thiết bị khuếch tán gió là $C_{d1} = 0,447$; $C_{l1} = 0,107$ và trường hợp ô tô lắp thiết bị khuếch tán gió là $C_{d2} = 0,473$; $C_{l2} = -0,181$. Ô tô lắp thiết bị khuếch tán gió có khả năng bám đường tốt hơn và chuyển động ổn định hơn so với ô tô không lắp thiết bị khuếch tán gió. Nghiên cứu này giúp hiểu rõ hơn ảnh hưởng của thiết bị khuếch tán gió cản sau đến đặc tính khí động lực học ô tô cũng như làm cơ sở để cải tiến hình dạng thiết bị khuếch tán gió.

Từ khóa: Mô phỏng CFD; hệ số nâng; khuếch tán; hệ số cản; RANS.

ABSTRACT

The rear diffuser is one of the devices that alters the airflow speed beneath the vehicle, simultaneously affecting the aerodynamic characteristics of an automobile. This paper presents a numerical simulation study on the effects of the rear diffuser on an SUV's aerodynamics. Computational Fluid Dynamics (CFD) software is implemented to simulate the aerodynamic characteristics with and without the rear diffuser installed. The results are presented through images and calculated drag coefficients and lift coefficients. For the case without the rear diffuser, the coefficients are $C_{d1} = 0.447$ and $C_{l1} = 0.107$, while with the rear diffuser, the values are $C_{d2} = 0.473$ and $C_{l2} = -0.181$. The SUV equipped with the rear diffuser demonstrates better road grip and stability than the one without the rear diffuser. This study contributes to a deeper comprehension of the rear diffuser's impact on the SUV's aerodynamic characteristics and serves as a basis for improving the design of the rear diffuser.

Keywords: CFD; lift coefficient; diffuser; drag coefficient; RANS.

¹Khoa Công nghệ Động lực, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

*Email: dangtienphuc@tuh.edu.vn

Ngày nhận bài: 02/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

DANH MỤC KÝ HIỆU

P: Áp suất (N/m²)

ρ : Khối lượng riêng không khí (kg/m³)

V: Vận tốc dòng khí (m/s)

A: Diện tích mặt cắt ngang (m²)

1. GIỚI THIỆU

Hình dạng ô tô là nguyên nhân chính ảnh hưởng đến đặc tính khí động lực học khi ô tô di chuyển [1, 2]. Khí động lực học ô tô nghiên cứu ảnh hưởng của dòng khí bao gồm yếu tố như lực cản và lực nâng tác động vào ô tô gây ảnh hưởng đến các yếu tố như hiệu suất, mức độ ổn định và an toàn của ô tô [3, 4]. Chính vì vậy thiết kế về hình dạng ô tô không chỉ tạo nên kiểu dáng bên ngoài mà còn liên quan mật thiết đến đặc tính khí động học của ô tô. Ngoài việc thiết kế hình dạng ô tô đáp ứng đặc tính khí động lực học, các nhà nghiên cứu còn sử dụng các thiết bị hỗ trợ gắn lên ô tô là một trong những giải pháp thay đổi đặc tính khí động lực học. Cụ thể, cánh gió là một thiết bị hữu hiệu để thay đổi lực khí động học tác dụng lên ô tô khi chuyển động. Cánh gió giúp khuếch tán luồng không khí đi qua xe, giúp giảm thiểu sự hỗn loạn ở phía sau, tăng thêm lực ép xuống phía sau [5]. Nghiên cứu [6], tác giả đã nghiên cứu mô phỏng ảnh hưởng của thiết bị khuếch tán gió đến dòng khí tác động lên khả năng chuyển động của ô tô. Tác giả sử dụng phương trình RANS và mô hình rối K- ω để mô phỏng với bốn hình dạng khác nhau. Kết quả, với thiết bị khuếch tán gió với góc nghiêng 70 làm hệ số lực hướng xuống đạt giá trị $Cl = -0,887$, tăng 1780% so với hình dạng ban đầu, ô tô bám đường tốt hơn khi di chuyển với tốc độ 25m/s. Nghiên cứu về ảnh hưởng của chiều dài và góc khuếch tán đối với xe du lịch được thực hiện bởi tác giả [7]. Kết quả thể hiện các dòng xoáy bắt nguồn từ các bánh sau có tác động lớn đến tính khí động học của bộ khuếch tán gầm xe, dẫn đến tăng lực cản và lực nâng của xe. Tuy nhiên xe cũng có thể đạt lực cản tối thiểu bằng cách chọn kết hợp bộ khuếch tán phù hợp. Nghiên cứu [8, 9] đã thực hiện mô phỏng của luồng không khí trên mẫu xe du lịch đơn giản có hoặc không có cánh gió. Kết quả tính toán chỉ ra rằng cánh gió sau được thiết kế làm giảm đáng kể lực cản và tăng lực nâng. Sự hiện diện của cánh gió sau làm giảm khoảng 80% hệ số nâng và tăng khoảng 3% hệ số cản. Ngoài ra, áp suất tĩnh tối thiểu giảm 48% và áp suất tĩnh tối đa trên bề mặt xe tăng 14% do gắn cánh gió sau.

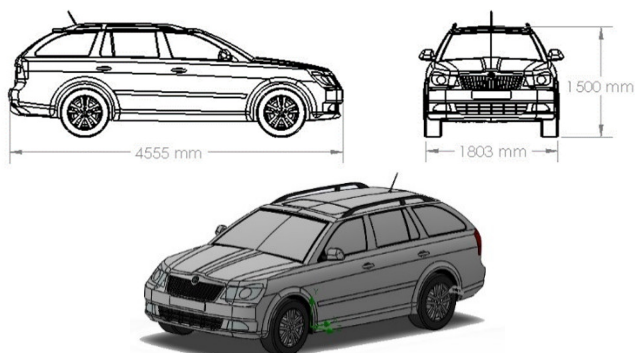
Gần đây, nghiên cứu [10] đã kết luận rằng hình dạng của bộ khuếch tán rất quan trọng vì thay đổi tốc độ dòng chảy và giảm áp suất giúp hạn chế các dòng chảy rối.

Hiện nay, việc lắp thêm một số thiết bị phụ kiện bên ngoài ô tô như thanh giá nóc, tấm chắn bùn, cánh lướt gió, thùng chứa đồ nóc xe rất phổ biến. Ngoài công dụng giúp ngoại hình xe trở nên cường tráng và cá tính hơn, các thiết bị này còn có thể ảnh hưởng đến đặc tính khí động học ô tô. Bài báo này trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của thiết bị khuếch tán gió cản sau đến đặc tính khí động học trên dòng xe SUV. Phương trình RANS kết hợp với mô hình rối Realizable k-ε để mô phỏng dòng khí xung quanh mô hình [4, 6, 11, 12]. Từ đó, tác giả phân tích trường áp suất và vận tốc xung quanh mô hình đồng thời xác định giá trị hệ số lực cản và lực nâng tương ứng cũng như cấu trúc dòng xoáy được tạo ra phía sau ô tô.

2. MÔ HÌNH Ô TÔ VÀ THIẾT BỊ KHUẾCH TÁN GIÓ CẢN SAU

2.1. Xây dựng mô hình 3D

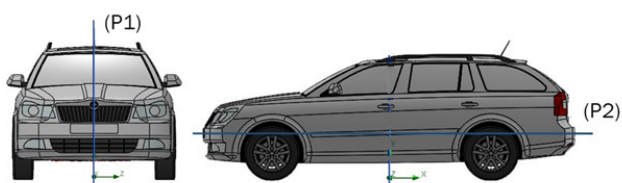
Bài nghiên cứu này sử dụng mô hình xe SUV có các kích thước dài (L), rộng (W) và cao (H) tương ứng như sau: L = 4555mm, H = 1500mm, W = 1803mm được thể hiện trong hình 1.



Hình 1. Kích thước và mô hình nghiên cứu



Hình 2. Mô hình xe SUV trước và sau khi lắp thiết bị khuếch tán gió cản sau



Hình 3. Vị trí mặt phẳng (P1) và (P2) trên mô hình

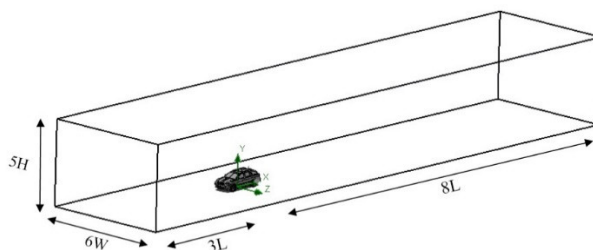
Tác giả tiến hành lắp thiết bị thiết bị khuếch tán gió cản sau vào phần đuôi mô hình nghiên cứu. Thiết bị khuếch tán gió làm thay đổi đặc tính của dòng khí phân bố tại phần đuôi

ô tô từ đó ảnh hưởng đến đặc tính khí động học ô tô. Hình 2 mô tả phần đuôi khi trước và sau khi lắp thiết bị khuếch tán gió.

Trong nghiên cứu này, tác giả thực hiện mô phỏng đặc tính khí động học trên ô tô qua hai mặt phẳng được mô tả ở hình 3. Trong đó, (P1) là mặt phẳng cắt dọc mô hình và (P2) là mặt phẳng cắt ngang.

2.2. Miền không gian tính toán

Kích thước miền không gian tính toán là nguyên nhân chính ảnh hưởng đến chi phí và độ chính xác trong mô phỏng CFD [13]. Tác giả xây dựng miền không gian tính toán là hình hộp chữ nhật và khoảng cách từ các mặt của hình chữ nhật đến mô hình ô tô đủ lớn để đảm bảo không ảnh hưởng đến đặc tính dòng khí tác dụng lên mô hình ô tô cũng như các thiết lập điều kiện biên trong mô phỏng. Trường hợp kích thước miền không gian tính toán quá lớn sẽ ảnh hưởng đến chi phí và thời gian tính toán. Từ các nghiên cứu [11, 12, 14], tác giả xây dựng miền không gian mô phỏng với các kích thước được mô tả trong hình 4.



Hình 4. Miền không gian tính toán

3. MÔ PHỎNG SỐ

3.1. Phương trình điều khiển

Phương trình Navier-Stokes được dùng để mô tả chuyển động của dòng khí xung quanh mô hình, giả thiết dòng khí không nén được bao gồm các phương trình liên tục, phương trình bảo toàn động lượng như sau:

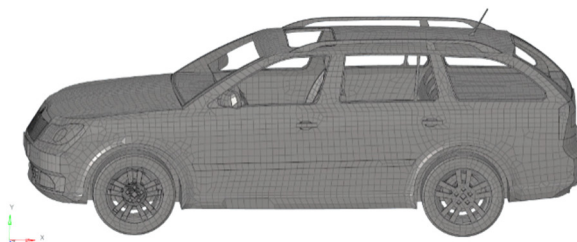
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \tag{1}$$

Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) \\ &= -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_j u_i}) \end{aligned} \tag{2}$$

Trong nghiên cứu này, mô hình rối Realizable k-ε được sử dụng để giải phương trình RANS.

3.2. Chia lưới mô hình và thiết lập điều kiện biên



Hình 5. Kết quả chia lưới mô hình ô tô

Mô hình được chia lưới theo dạng lưới cấu trúc hexa được thể hiện trong hình 5 với tổng phần tử lưới 3.825.617, giá trị trung bình "Aspect ratio" là 3,822 và "Orthogonal quality" là 0,867. Điều kiện biên đầu vào được thiết lập với vận tốc không đổi $V = 20\text{m/s}$ và đầu ra được thiết lập là áp suất và gradient vận tốc bằng 0.

4. KẾT QUẢ

4.1. Phân bố trường áp suất

Hình 6 và 7 mô tả trường áp suất xung quanh ô tô trong trường hợp không lắp và lắp thiết bị khuếch tán gió. Quan sát hình và thang màu sắc có thể thấy áp suất tập trung lớn nhất tại khu vực đầu xe. Áp suất tại đầu xe lên mức cao nhất, sau đó giảm khi di chuyển dọc theo nắp capo nhưng lại tăng khi tiếp xúc với kính chắn gió, cuối cùng giảm khi di chuyển dọc theo mũi xe và đuôi xe. Khu vực đầu xe là nơi dòng khí tiếp xúc với xe đầu tiên, vận tốc dòng khí bị giảm đột ngột và không khí bị nén lại, tạo ra vùng áp suất cao nhất. Tiếp theo, dòng khí di chuyển dọc theo nắp capo do không bị cản nên áp suất phân bố trên khu vực này giảm. Tuy nhiên khi tiếp xúc với kính chắn gió, dòng khí bị cản lại và làm cho áp suất tăng lên. Áp suất tiếp tục giảm khi dòng khí di chuyển đến mũi xe. Tại khu vực đuôi xe do sự tương tác giữa dòng khí trên mũi và dưới gầm xe đã làm vận tốc giảm do đó áp suất tăng lên. Ngay tại vị trí lắp và không lắp thiết bị khuếch tán gió trong hình 6 và 7 có khác biệt về phân bố áp suất được thể hiện qua sự khác nhau của phổ màu.

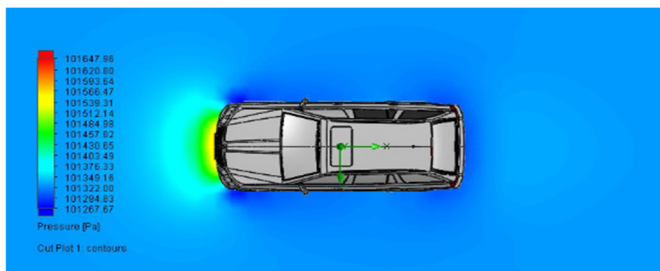


(a) Trường hợp không lắp thiết bị khuếch tán gió

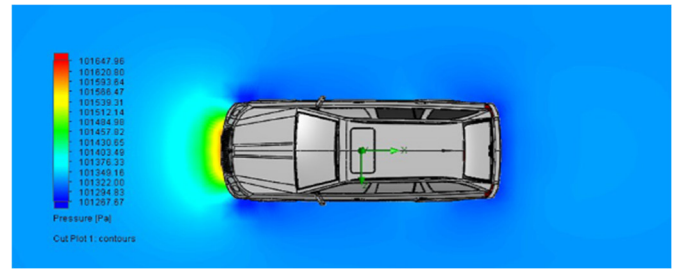


(b) Trường hợp lắp thiết bị khuếch tán gió

Hình 6. Áp suất phân bố trên mặt phẳng (P1)



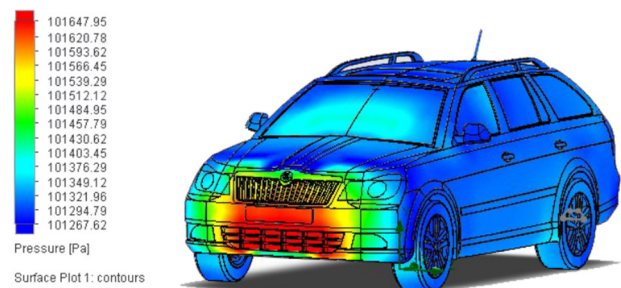
(a) Trường hợp không lắp thiết bị khuếch tán gió



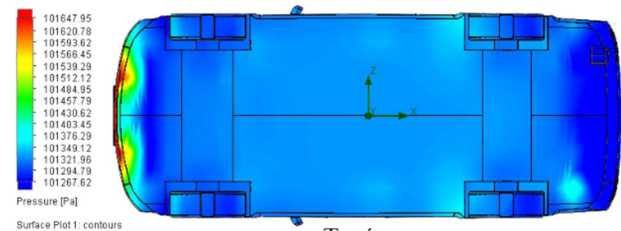
(b) Trường hợp lắp thiết bị khuếch tán gió

Hình 7. Áp suất phân bố trên mặt phẳng (P2)

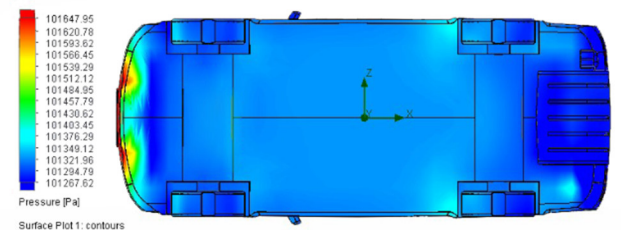
Đối với dòng khí dưới gầm xe, do bị giới hạn bởi mặt đường nên áp suất cao hơn dòng khí trên mũi xe. Tuy nhiên khi lắp bộ khuếch tán, dòng khí sẽ được hướng dòng và thoát ra với vận tốc cao hơn. Áp suất tại đuôi xe sau khi lắp thiết bị khuếch tán gió nhỏ hơn so với áp suất tại đuôi không lắp thiết bị khuếch tán. Điều này được thể hiện rõ trên hình 7 thông qua sự phân bố thang màu sắc tại khu vực đuôi xe.



(a) Phân bố áp suất trên mô hình



Trước



Sau

(b) Phân bố áp suất khu vực gầm mô hình

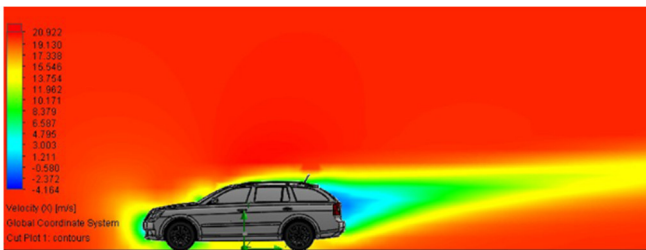
Hình 8. Áp suất phân bố trên mô hình nghiên cứu

Hình 8 (a) và 8 (b) mô tả phân bố áp suất trên bề mặt và áp suất khu vực gầm ô tô. Hình 8 (a) mô tả sự phân bố áp suất trên bề mặt ô tô trong cả hai trường hợp không lắp và lắp thiết bị khuếch tán gió không có sự khác biệt do biên dạng ô tô không thay đổi. Tuy nhiên, hình 8 (b) cho thấy sự khác nhau về phân bố áp suất ngay tại khu vực đuôi xe được thể hiện qua cường độ phổ màu và vùng xuất hiện phổ màu.

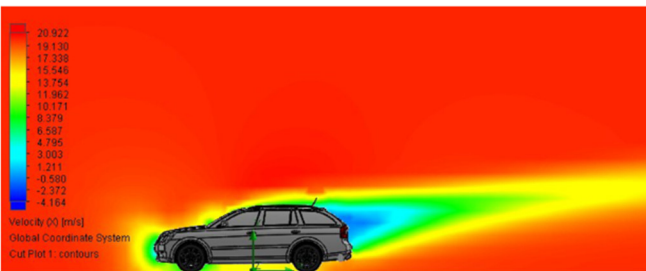
Tại vị trí lắp thiết bị khuếch tán gió, áp suất có giá trị thấp tương ứng với phổ màu xanh đậm xuất hiện nhiều hơn. Điều này làm tăng lực hướng xuống giúp xe bám đường tốt hơn, cải thiện khả năng chuyển động ổn định của xe.

4.2. Phân bố trường vận tốc

Hình 9 và 10 mô tả sự phân bố vận tốc dòng khí xung quanh mô hình xe SUV với sự thay đổi màu sắc từ xanh dương đến màu đỏ tương ứng với độ lớn vận tốc phân bố xung quanh mô hình. Dòng khí tiếp xúc trực diện phần đầu ô tô bị cản lại nên luôn có vận tốc nhỏ (phổ màu nhạt). Khi dòng khí tác động vào phần đầu ô tô sẽ tách rời thành hai hướng di chuyển của dòng khí bao gồm phía trên và phía dưới mô hình. Bởi vì mô hình có thay đổi biên dạng khi lắp thêm thiết bị khuếch tán nên trường vận tốc phân bố xung quanh mô hình cũng thay đổi. Ngay tại khu vực đuôi xe giữa hình 9 (a) và 9 (b) xuất hiện sự phân bố phổ màu khác nhau do có sự ảnh hưởng của việc lắp thiết bị khuếch tán gió làm thay đổi đặc tính khí động lực học ô tô.



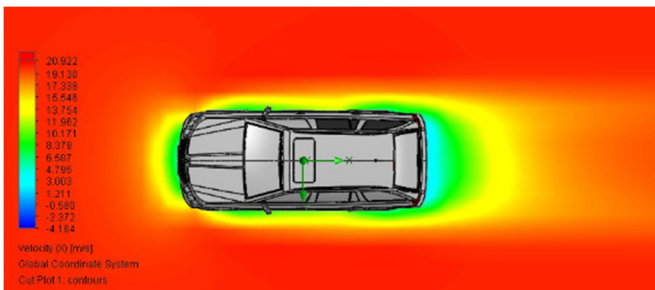
(a) Trường hợp không lắp thiết bị khuếch tán gió



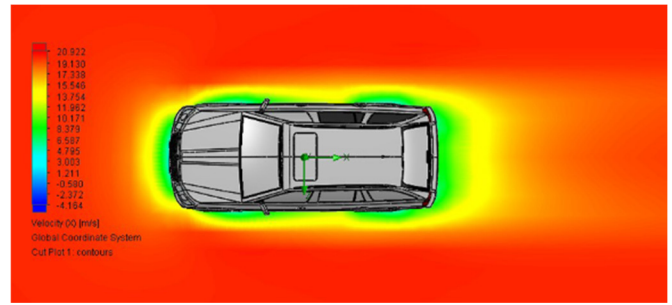
(b) Trường hợp lắp thiết bị khuếch tán gió

Hình 9. Vận tốc phân bố trên mặt phẳng (P1)

Quan sát hình 10 (a) và 10 (b), phân bố phổ màu vận tốc tại khu vực đuôi xe khác nhau. Vùng màu xanh dương thể hiện tốc độ dòng khí thấp trên xe lắp thiết bị khuếch tán gió giảm nhiều so với xe không lắp thiết bị khuếch tán gió. Nguyên nhân do góc thoát đuôi xe cao và dòng khí dưới gầm xe được hướng dòng nên ảnh hưởng đến sự phân bố vận tốc.



(a) Trường hợp không lắp thiết bị khuếch tán gió



(b) Trường hợp lắp thiết bị khuếch tán gió

Hình 10. Vận tốc phân bố trên mặt phẳng (P2)

Quan sát phổ màu áp suất và vận tốc giữa hình 6, 7 và hình 9, 10 thể hiện mối liên hệ sự hình thành áp suất và vận tốc tại các vùng xung quanh mô hình đúng theo định luật Bernoulli (1) và phương trình liên tục (2). Khi vận tốc đạt giá trị thấp thì áp suất đạt giá trị cao và ngược lại

Phương trình Bernoulli:

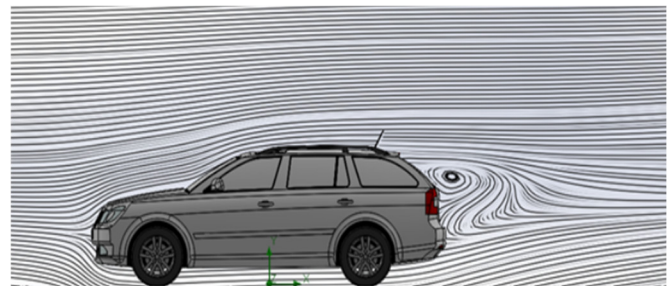
$$P + \frac{1}{2} \rho V^2 = \text{Constant} \tag{3}$$

Phương trình liên tục:

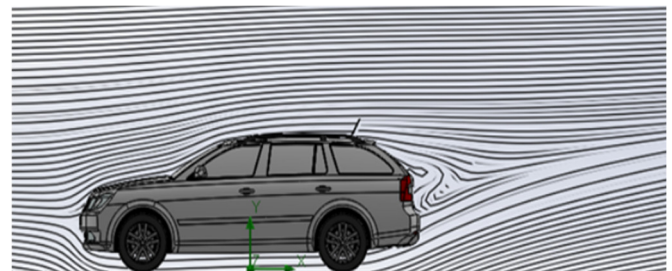
$$\rho A V = \text{constant} \tag{4}$$

4.3. Phân bố dòng khí quanh mô hình

Hình 11 cho thấy sự phân bố dòng khí tại phía sau đuôi xe cũng như cấu trúc của dòng khí thay đổi trong trường hợp không lắp và có lắp thiết bị khuếch tán gió cản sau. Quan sát hình có thể thấy dòng khí trên mũ và dưới gầm xe sau khi tiếp xúc đã bị cuốn vào nhau, tạo thành dòng chảy rối. Sự cuốn vào nhau xảy ra là do dòng khí từ nơi có áp suất cao có xu hướng di chuyển về nơi có áp suất thấp. Hình 11 (b) thể hiện mức độ chảy rối của dòng khí khu vực phía sau đuôi xe ít hơn do có sự thay đổi biên dạng khi lắp thiết bị khuếch tán gió làm thay đổi vận tốc hướng chuyển động của dòng khí.



(a) Trường hợp không lắp thiết bị khuếch tán gió



(b) Trường hợp lắp thiết bị khuếch tán gió

Hình 11. Vận tốc phân bố trên mặt phẳng (P1)

4.4. Lực khí động lực học

Lực cản và lực nâng khí động ô tô chủ yếu phụ thuộc vào vận tốc, diện tích cản chính diện và hệ số cản của ô tô được mô tả qua phương trình:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2 \quad (5)$$

$$F_l = \frac{1}{2} \rho C_l A V^2 \quad (6)$$

Trong nghiên cứu này, hệ số cản và hệ số nâng trong trường hợp không lắp và lắp thiết bị khuếch tán gió lần lượt là $C_{d1} = 0,447$; $C_{l1} = 0,107$ và $C_{d2} = 0,473$; $C_{l2} = -0,181$ được tính toán thông qua phần mềm mô phỏng CFD. Giá trị hệ số cản C_{l2} mang dấu âm thể hiện lực hướng xuống. Kết quả chứng minh khi lắp thiết bị khuếch tán gió sẽ làm tăng lực cản khí động lực học do hình thành lực hướng xuống. Hệ số cản tăng lên chủ yếu do sự hình thành áp suất có giá trị lớn tại khu vực đuôi xe.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích sự ảnh hưởng của thiết bị khuếch tán gió cản sau đến đặc tính khí động lực học ô tô. Các kết quả nghiên cứu mô phỏng được minh họa trực quan bằng hình ảnh trên các mặt phẳng (P1) và (P2). Kết quả tính toán hệ số cản, hệ số nâng trong trường hợp ô tô không lắp thiết bị khuếch tán gió là $C_{d1} = 0,447$; $C_{l1} = 0,107$ và trường hợp ô tô lắp thiết bị khuếch tán gió là $C_{d2} = 0,473$; $C_{l2} = -0,181$. Lực cản và lực nâng khí động lực học thay đổi khi lắp thiết bị khuếch tán đuôi gió. Ô tô lắp thiết bị khuếch tán gió có khả năng bám đường tốt hơn và chuyển động ổn định hơn so với ô tô không lắp thiết bị chắn gió. Kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở để nghiên cứu tối ưu hóa hình dạng khí động lực học ô tô.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hucho W., Sovran G., "Aerodynamics of road vehicles," *Annu. Rev. Fluid Mech.* 25, 485–537, 1993.
- [2]. Wang Y., Wu C., Tan G., Deng Y., "Reduction in the aerodynamic drag around a generic vehicle by using a non-smooth surface," in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 231(1), 130-144, 2017.
- [3]. Armagan Altinisik, Emre Kutukceken, Habib Umur, "Experimental and numerical aerodynamic analysis of a passenger car influence of the blockage ratio on drag coefficient," *Journal of Fluids Engineering* 137(8), 2015.
- [4]. Devang S. Nath, Prashant Chandra Pujari, Amit Jain, Vikas Rastogi, "Drag reduction by application of aerodynamic devices in a race car," *Advances in Aerodynamics* 3(4), 2021.
- [5]. Shashank Arya, Pankaj Goud, Vishal Sharma, Shubham Mathur, Sourabh Tripathi, Vishal Shukla, "Simulation of passenger car by attaching add-on device to reduce drag force by CFD approach," *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(4), 2017.
- [6]. Guerrero A., Castilla R., Eid G., "A numerical aerodynamic analysis on the effect of rear underbody diffusers on road cars," *Appl. Sci.* 12(8), 3763, 2022.

[7]. Huminic A., Huminic G., "Aerodynamic study of a generic car model with wheels and underbody diffuser," *Int.J Automot. Technol.* 18, 397–404, 2017.

[8]. Hu X. X., Wong E. T. T., "A numerical study on rear-spoiler of passenger vehicle," *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* 5 (9), 1800-1805, 2011.

[9]. Kodali S. P., Bezavada S., "Numerical simulation of air flow over a passenger car and the Influence of rear spoiler using CFD," *International Journal of Advanced Transport Phenomena* 01 (01), 2012.

[10]. Haris M.N., Sapit A., Mohamed N.H.N., "Study of Airflow Due to Rear Diffuser of Supercar," *J. Complex Flow*, 2, 32-36, 2020.

[11] D. Tien Phuc, G. Zhengqi, C. Zhen, "Numerical simulation of the flow field around generic formula one," *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 9, 1, 443-450, 2016.

[12]. Dang Tien Phuc, "Numerical simulation aerodynamic characteristics of SUV model," *Journal of Science and Technology - IUH*, 40, 2019.

[13]. Yousef Abu-Zidan, Priyan Mendis, Tharaka Gunawardena, "Optimising the computational domain size in CFD simulations of tall buildings," *Heliyon*, 7(4), e06723, 2021.

[14]. Read Callum, Viswanathan Harish, "An aerodynamic assessment of vehicle-side wall interaction using numerical simulation," *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 17 (1), 7587-7598, 2020.

AUTHORS INFORMATION

Dang Tien Phuc, Nguyen Xuan Ngoc, Le Hoang Tu

Faculty of Automotive Engineering Technology, Industrial University of Ho Chi Minh City, Vietnam