

MÔ PHỎNG ĐẶC TÍNH KHÍ ĐỘNG LỰC HỌC TRÊN DÒNG XE SUV

ĐẶNG TIỀN PHÚC

Khoa Công nghệ Động lực, Trường Đại học Công nghiệp Tp. HCM

dangtienphuc@iuh.edu.vn

Tóm tắt. Bài báo này trình bày nghiên cứu đặc tính khí động lực học ô tô thông qua phân tích mô hình ô tô SUV. Tác giả sử dụng phần mềm thương mại CFD với phương trình RANS kết hợp mô hình rối Realizable $k - \varepsilon$ để mô phỏng đặc tính khí động lực học mô hình ô tô SUV. Bài báo trình bày phương pháp và kết quả mô phỏng sự phân bố áp suất, sự phân bố vận tốc và vectơ vận tốc quanh mô hình. Khu vực đầu xe, nắp capo, mui xe và đuôi xe ảnh hưởng nhiều đến lực cản khí động lực học. Kết quả nghiên cứu được thể hiện thông qua các hình ảnh và giá trị mô phỏng tính toán C_d , đồng thời giúp hiểu rõ hơn đặc tính khí động lực học quanh mô hình ô tô SUV

Từ khóa: Mô phỏng CFD, khí động lực học ô tô, SUV, hệ số cản, RANS.

NUMERICAL SIMULATION AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF SUV MODEL

Abstract. This paper studies the aerodynamic characteristics of SUV model. Numerical investigations were conducted with the model. The results of the numerical simulations were obtained using Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) equations with Realizable $k - \varepsilon$ model. The Time-averaged velocity field, magnitude of the velocity, static pressure magnitude and velocity vectors of the flow fields around SUV model are presented in this paper. The results of this study elucidate the key aerodynamic characteristics around SUV model. The results obtained from the study are presented graphically and values of drag coefficient (C_d) were calculated and validated, which helps better understanding aerodynamic characteristics around SUV model.

Keyword: CFD simulation, Vehicle aerodynamics, SUV model, drag coefficient, RANS.

1. GIỚI THIỆU

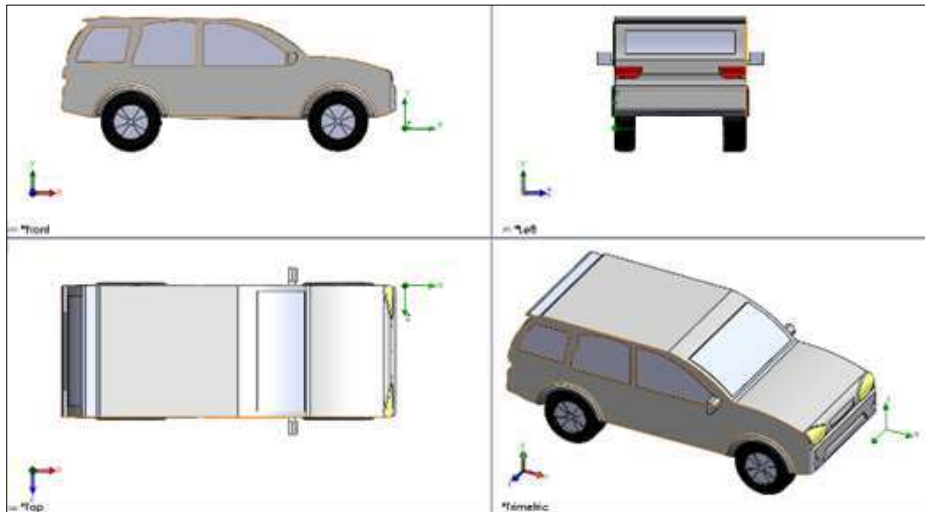
Khí động lực học ô tô đã phát triển trong nhiều thập kỷ qua và đã trở thành một yếu tố quan trọng đối với các dòng xe hơi nên rất nhiều các công trình khoa học trong lĩnh vực này được công bố [1-4]. Khi ô tô chuyển động trong môi trường không khí sẽ bị các lực và mô men khí động học tác dụng làm ảnh hưởng đến tính năng chuyển động của ô tô và lượng tiêu hao nhiên liệu. Tổng trọng lượng và hình dạng bên ngoài xe là một trong những yếu tố quan trọng nhằm cải tiến đặc tính khí động lực học của xe [5-7]. Để hiểu được sự tác động khí động lực học lên ô tô, các nhà nghiên cứu đã tiến hành nghiên cứu đặc tính khí động lực học quanh ô tô bằng hai phương pháp mô phỏng và thực nghiệm. Một số nghiên cứu mô phỏng về ảnh hưởng khí động lực học đến ô tô đã được thực hiện bởi các nhà khoa học. Cụ thể, nghiên cứu về hệ số cản xe buýt khi thay đổi thiết kế hình dạng xe buýt nhằm làm giảm tiêu hao nhiên liệu và khí xả gây ô nhiễm môi trường được trình bày trong [8]. Kết quả nghiên cứu đã kết luận rằng với mô hình mô phỏng rối Realizable $k - \varepsilon$, khi thay đổi hình dạng xe buýt so với hình dạng ban đầu, hệ số cản giảm 28% và tiết kiệm được 20% nhiên liệu khi xe di chuyển với vận tốc 80 km/h, nghiên cứu [9] đã tiến hành phân tích lực cản khí động học của xe du lịch và kết luận rằng kết cấu vùng đầu xe, đuôi xe có ảnh hưởng lớn đến lực cản khí động tác dụng lên vỏ xe. Nhiều nhóm nghiên cứu đã thực hiện các thí nghiệm thực tế, cụ thể nghiên cứu [10] đã tiến hành thực nghiệm PIV nhằm phân tích sự ảnh hưởng của góc nghiêng đuôi đến đặc tính dòng khí quanh mô hình Ahmed. Kết quả nghiên cứu đã trình bày các hình ảnh cấu trúc dòng khí ở phần đuôi mô hình tại mặt phẳng đối xứng của mô hình Ahmed. Đồng thời nghiên cứu cũng mô tả

các điểm tập trung và các điểm yên ngựa trong dòng khí ở sau đuôi mô hình. Nghiên cứu [11] đã tiến hành thực nghiệm để phân tích ứng xử khí động lực học của bộ tạo xoáy ứng với bốn vị trí khác nhau trên ô tô. Kết quả nghiên cứu đã trình bày các hệ số cản và hệ số nâng giảm nhiều nhất là 4,53% và 2,55% trong trường hợp bộ tạo xoáy có cạnh tiếp xúc của hai chi tiết nằm phía sau xe và một chi tiết nằm giữa và đuôi ô tô. Nghiên cứu [12] đã thực hiện thử nghiệm khí động lực học trên mô hình Mira với kết quả đạt được là làm rõ cấu trúc dòng rối sau mô hình và phát hiện cơ chế hình thành dòng khí tức thời trên mô hình. Nghiên cứu [13] đã tiến hành sử dụng các phần mềm CFD phân tích lực cản khí động đối với dòng xe SUV. Kết quả, nghiên cứu đã tính toán được hệ số áp suất trên bề xung quanh mô hình và mô tả các dòng khí cũng như sự phân bố áp suất và vận tốc quanh mô hình. Nghiên cứu đã đề xuất lắp thêm cánh đuôi cho mô hình với góc nghiêng 10^0 - 15^0 sẽ tối ưu giảm lực cản khí động. Nghiên cứu [14] đã tiến hành thực hiện mô phỏng CFD và thực nghiệm để phân tích dòng khí động quanh mô hình SUV với kết luận kết quả mô phỏng và thực nghiệm sai lệch trong 5%.

Trong báo này, tác giả tiến hành nghiên cứu đặc tính khí động lực học ô tô với dòng xe SUV nhằm cung cấp cho người đọc cái nhìn tổng quan và rõ nét hơn sự ảnh hưởng của khí động lực học. Đây cũng chính là một bước quan trọng trong quá trình thiết kế hình dạng ô tô. Kết quả mô phỏng được so sánh với nghiên cứu [15]. Để đạt được mục tiêu này, tác giả sử dụng phương trình Reynolds trung bình hóa cho dòng chảy rối (RANS) kết hợp với mô hình rối Realizable $k - \varepsilon$ để mô phỏng đặc tính khí động lực học dòng khí.

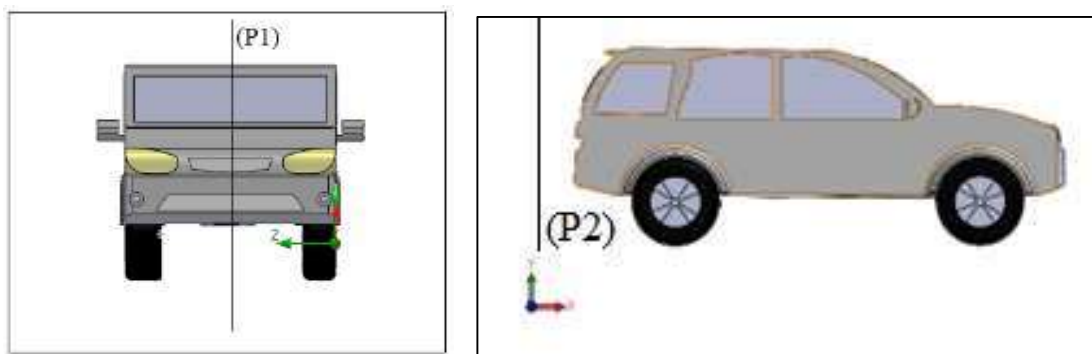
2. MÔ HÌNH HÌNH HỌC Ô TÔ DÒNG SUV VÀ MIỀN TÍNH TOÁN

2.1 Xây dựng mô hình 3D



Hình 1 Mô hình ô tô dòng SUV

Trong bài báo này, tác giả đã thiết kế mô hình ô tô dòng xe SUV được tham khảo từ xe Toyota Fortuner với kích thước lần lượt là chiều dài toàn bộ $L = 4795$ mm, chiều cao $H = 1835$ mm, bề rộng toàn bộ $W = 1855$ mm trên 3 trục của hệ tọa độ x, y, z .

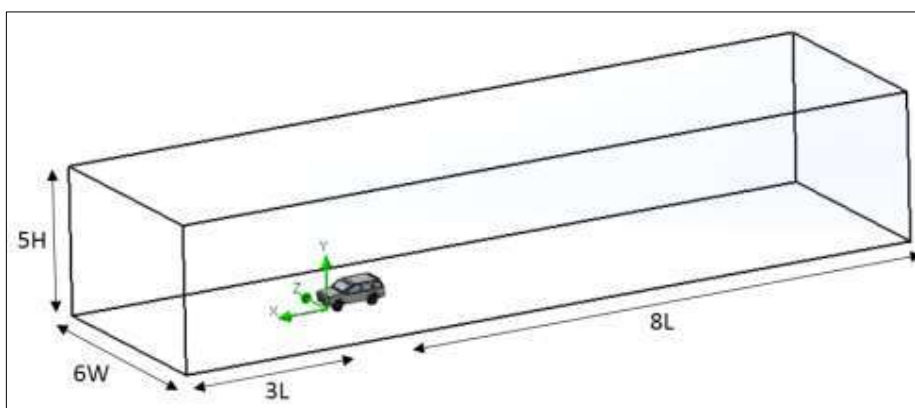


Hình 2. Mặt phẳng thể hiện sự phân bố áp suất, vận tốc và vector vận tốc

Trong quá trình mô phỏng phân tích sẽ thể hiện sự phân bố áp suất, vận tốc và vector vận tốc tại mặt phẳng (P1) và mặt phẳng (P2) mô tả ở hình 2.

2.2 Miền tính toán.

Miền tính toán là vùng không gian bao quanh vật thể được giới hạn trong quá trình mô phỏng. Miền tính toán phải có kích thước đủ lớn được giới hạn bởi các mặt phẳng để đảm bảo dòng không khí không chịu ảnh hưởng của mô hình nghiên cứu. Tuy nhiên cũng không thể lựa chọn miền tính toán quá lớn dẫn đến làm lãng phí tài nguyên máy tính, tăng thời gian mô phỏng tính toán. Vì vậy, kết hợp với các nghiên cứu [4, 16, 17], tác giả tiến hành xây dựng miền tính toán với các thông số được mô tả ở hình 3.



Hình 3 Kích thước của miền tính toán.

3. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỐ

3.1 Phương trình điều chỉnh

Để mô tả chuyển động của lưu chất thường sử dụng phương trình Navier-Stokes là hệ các phương trình bảo toàn khối lượng (phương trình liên tục), phương trình bảo toàn động lượng và phương trình bảo toàn năng lượng. Trong nghiên cứu về khí động lực học ô tô đặt giả thiết rằng chất khí không chịu nén, do đó, bài toán khí động lực học chỉ còn lại hai phương trình là phương trình liên tục và phương trình bảo toàn động lượng.

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\partial_t u_i + u_j \partial_j u_i = -\frac{1}{\rho} \partial_i p + \nu \partial_j \partial_j u_i \quad (3.2)$$

Trong bài nghiên cứu này, tác giả sử dụng phương trình Reynolds Navier – Stokes trung bình hóa (RANS) để giải bài toán khí động học:

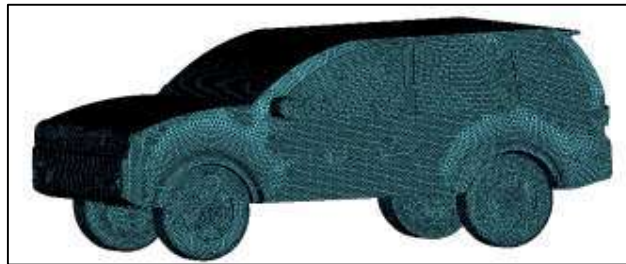
$$\partial_t \bar{u}_i = 0 \quad (3.3)$$

$$\partial_t \bar{u}_i + \bar{u}_j \partial_j \bar{u}_i = -\frac{1}{\rho} \partial_i \bar{p} + \frac{1}{\rho} \partial_j (\tau_{ij} - \rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (3.4)$$

Ngoài ra, để giải phương trình RANS tác giả sử dụng mô hình rối Realizable $k - \varepsilon$, đây là mô hình rối đã được nhiều tác giả sử dụng trong nghiên cứu khí động lực học ô tô.

3.2 Chia lưới và điều kiện biên.

Chia lưới chính là rời rạc hóa vùng không gian mô phỏng thành các phần tử để thực hiện tính toán gần đúng bằng phương pháp số. Số lượng phần tử của mô hình ảnh hưởng đến độ chính xác kết quả cũng như thời gian tính toán. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng lưới tứ diện do mô hình mô phỏng phức tạp. Miền tính toán được chia lại với kích thước của phần tử lưới ở vùng biên và gần mô hình phân tích phải đủ nhỏ để đảm bảo độ chính xác của kết quả khi mô phỏng tính toán [3,18], trong khi các vùng xa vùng biên và mô hình phân tích có kích thước của phần tử lưới lớn hơn nhằm tiết kiệm tài nguyên của máy tính cũng như thời gian tính toán. Mô hình ô tô dòng xe SUV đã chia lưới hoàn chỉnh được mô tả ở hình 4 với tổng phần tử lưới 4.816.671, chỉ số “Aspect ratio” có giá trị trung bình là 3,946, chỉ số “Orthogonal quality” có giá trị 0,843.

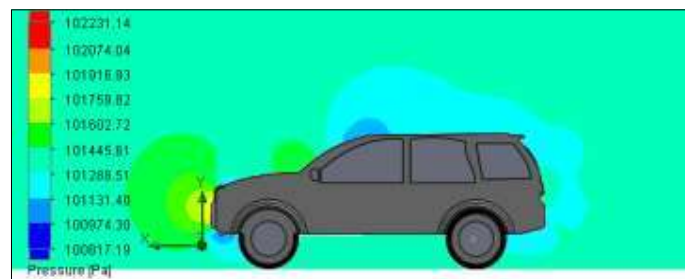


Hình 4. Mô hình ô tô SUV đã chia lưới với dạng lưới tứ diện không có cấu trúc

Sau khi chia lưới xong, tiến hành đặt các điều kiện biên để mô phỏng tính toán kết quả. Vận tốc dòng khí được thiết lập là 30m/s, đầu vào thiết lập “velocity inlet”, đầu ra thiết lập “pressure outlet” bằng giá trị áp suất khí trời, thuật toán SIMPLEC được sử dụng để giải bài toán liên kết giữa thành phần vận tốc và áp suất trong phương trình RANS.

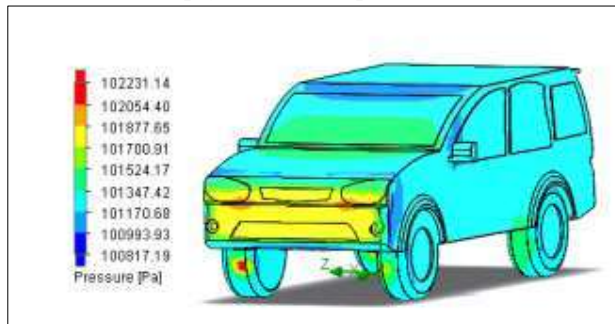
4. KẾT QUẢ

4.1 Phân bố trường áp suất quanh mô hình SUV.



Hình 5. Phân bố áp suất tại mặt phẳng dọc (P1) đối xứng quanh mô hình SUV

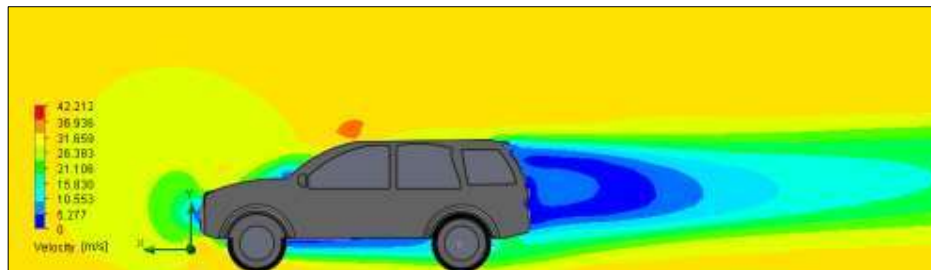
Hình 5 thể hiện sự phân bố áp suất tại mặt phẳng đối xứng dọc (P1) quanh mô hình SUV. Quan sát thang màu sắc xung quanh mô hình từ xanh da trời đến màu đỏ thể hiện độ lớn áp suất tại những vùng khác nhau quanh mô hình. Áp suất tại nắp capo giảm nhưng áp suất tăng tại vùng tiếp nối giữa nắp capo và kính chắn gió, sau đó áp suất giảm trên mui xe đến khu vực đuôi xe. Hiện tượng này xảy ra do dòng khí bị phân tách khi tác dụng lên bề mặt mô hình làm xuất hiện các điểm tách rời, điểm ngưng tụ và các vùng xoáy xung quanh mô hình. Vùng trước mô hình tiếp xúc trực tiếp với dòng khí luôn có áp suất lớn hơn so với những vùng khác trên mô hình do vận tốc dòng khí tại khu vực này giảm. Cụ thể, áp suất tại khu vực trước mô hình lớn hơn nhiều so với áp suất tại khu vực đuôi mô hình. Như vậy, sự phân bố áp suất quanh mô hình luôn tuân theo định luật Bernoulli. Chính sự chênh lệch áp suất ở các khu vực khác nhau xung quanh mô hình là yếu tố cơ bản tạo nên lực cản khí động khi ô tô di chuyển. Sự chênh lệch giữa khu vực trước mô hình và khu vực đuôi mô hình càng lớn làm cho lực cản khí động càng tăng. Như vậy, để làm giảm lực cản khí động cần giảm sự chênh lệch áp suất giữa khu vực phía trước và sau mô hình.



Hình 6. Phân bố áp suất trên mô hình SUV

Quan sát hình 6 thể hiện sự phân bố áp suất trên mô hình SUV. Tại khu vực đầu xe và phần trước của hai bánh xe trước ta thấy xuất hiện phổ màu đậm vì tại các khu vực này tiếp xúc trực tiếp với dòng không khí tác động lên xe. Tại các khu vực còn lại trên mô hình SUV không tiếp xúc trực tiếp với dòng khí nên tại khu vực này sự phân bố phổ màu nhạt hơn. Hình 6 cũng giúp mô tả rõ hơn sự phân bố áp suất xung quanh mô hình đã được đề cập trong hình 5.

4.2 Phân bố trường vận tốc quanh mô hình SUV

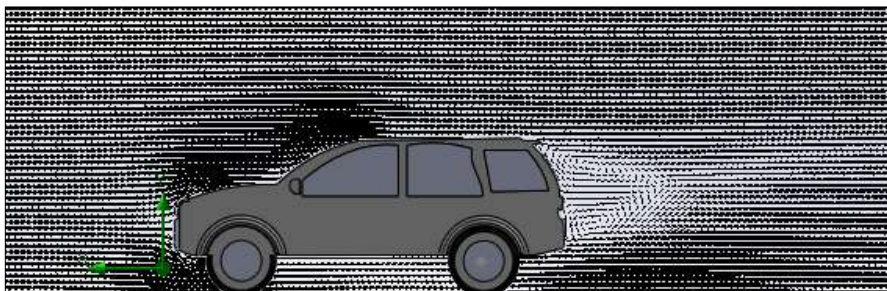


Hình 7. Phân bố vận tốc tại mặt phẳng đối xứng (P1) đối xứng quanh mô hình SUV

Hình 7 thể hiện trường vận tốc tại mặt phẳng đối xứng (P1) quanh mô hình SUV. Quan sát thấy dòng khí bị cản lại tại khu vực trước mô hình. Thang màu sắc từ xanh da trời đến màu đỏ thể hiện độ lớn vận tốc tại những vùng khác nhau quanh mô hình. Tại vùng đầu mô hình luôn luôn có vận tốc nhỏ hơn ở những vùng khác do dòng khí khi di chuyển đến vùng này sẽ xuất hiện một điểm dừng. Ngay tại điểm dừng, vận tốc dòng khí bằng không và dòng khí sẽ chia làm hai phần, một phần đi dọc theo phía trên thân mô hình và một phần đi dọc theo phía dưới thân mô hình. Bên cạnh đó, biên dạng mô hình thay đổi (các góc bo tròn, góc nghiêng) dẫn đến sự phân bố vận tốc tại những vùng đó cũng thay đổi. Tại những khu vực có biên dạng thay đổi đột ngột, dòng khí bị tách rời đây là một trong những nguyên nhân làm thay đổi

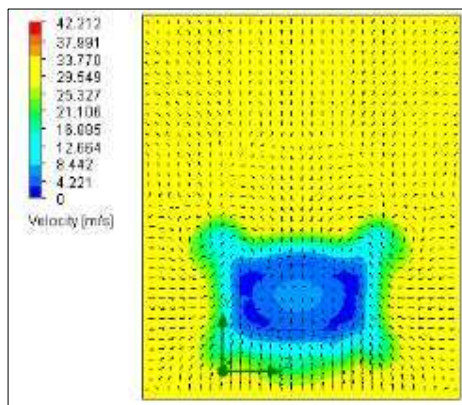
sự phân bố vận tốc quanh mô hình. Cụ thể, tại khu vực phía trước mũi xe xuất hiện vùng màu nâu chứng tỏ tại khu vực này vận tốc dòng khí tăng lên đáng kể do sự thay đổi biên dạng mô hình đột ngột.

Quan sát hình 5 và hình 7 ta thấy có mối liên hệ giữa phân bố áp suất và phân bố vận tốc tại các khu vực tiếp xúc với dòng khí xung quanh mô hình. Tại khu vực trước xe, khu tiếp giáp giữa nắp capo và kính chắn gió, khu vực mũi xe quan sát rõ nhất sự thay đổi tương quan giữa phân bố áp suất và vận tốc. Khu vực phân bố áp suất cao mô tả trên hình 5 chính là khu vực phân bố vận tốc thấp được mô tả trên hình 7.



Hình 8. Phân bố vector vận tốc tại mặt phẳng dọc (P1) đối xứng quanh mô hình SUV

Quan sát vùng trước đầu xe với bánh xe, nắp capo, phía trước mũi xe, phía dưới sau đuôi xe trên hình 8 thể hiện cường độ vector tại các khu vực này lớn hơn so với các khu vực còn lại chứng tỏ vận tốc tại các khu vực này lớn hơn vận tốc tại các khu vực còn lại. Khu vực phía sau đuôi mô hình SUV, hình thành hai tâm xoáy thấp áp ảnh hưởng đến lực cản khí động của mô hình và sẽ tăng lên nhiều khi vận tốc chuyển động ô tô tăng lên. Vậy để giảm lực cản khí động cần phải loại bỏ hoặc giảm kích thước cũng như số lượng vùng xoáy.



Hình 9. Phân bố vector vận tốc tại mặt phẳng (P2) cách phần sau xe 100 cm mô hình SUV

Hình 9 thể hiện sự phân bố vector vận tốc tại mặt phẳng cách phần sau xe 100 cm. Quan sát phổ màu sắc trên mặt phẳng (P2) ta thấy tại vùng sau đuôi xe vận tốc dòng khí là nhỏ nhất (xanh da trời) vì tại khu vực này dòng khí bị vỏ xe chặn lại. Tại khu vực phía sau đuôi mô hình trên mặt phẳng (P2) xuất hiện các tâm xoáy do sự thay đổi đột ngột hình dạng của mô hình và các tâm xoáy này là một trong những nguyên nhân làm ảnh hưởng tới sự chuyển động ổn định của ô tô. Để giảm sự ảnh hưởng này, các nhà thiết kế khí động lực học cần điều chỉnh làm giảm tối đa độ lớn cũng như số lượng tâm xoáy xuất hiện sau đuôi ô tô.

4.3 Lực khí động lực học

Theo kết quả tính toán hệ số cản mô hình ô tô SUV trong hầm gió của nghiên cứu [13] là 0,4, trong khi đó giá trị hệ số cản C_d được tính toán mô phỏng trong nghiên cứu là 0,419. Giá trị C_d được tính toán từ kết

quả mô phỏng sai số 4,76 % giá trị C_d tham khảo từ kết quả thực nghiệm. Vậy kết quả tính toán đáng tin cậy. Từ giá trị C_d tiến hành tính được lực cản khí động thông qua công thức:

$$\text{Lực cản không khí: } F_d = \frac{1}{2} C_d A \rho U_\infty^2 \quad (3.5)$$

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả tính toán mô phỏng đặc tính khí động lực học cho mô hình ô tô SUV, sử dụng phương trình RANS kết hợp với mô hình rối Realizable $k - \varepsilon$ đối với mô phỏng CFD. Sai số giữa kết quả tính toán mô phỏng giá trị C_d với giá trị thực nghiệm là 4,76%. Bên cạnh đó, bài báo này cũng đã minh họa rõ bằng hình ảnh sự phân bố áp suất, vận tốc và vectơ vận tốc trên mặt phẳng đối xứng quanh mô hình SUV. Khu vực đầu xe, nắp capo, mui xe và đuôi xe ảnh hưởng nhiều đến lực cản khí động lực học. Kết quả nghiên cứu là tiền đề để thực hiện tính toán mô phỏng trên mô hình ô tô thực tế, thông qua mô phỏng số CFD sẽ giải quyết được vấn đề thí nghiệm khí động lực học ô tô khi hiện nay phòng thí nghiệm khí động lực học ô tô ở nước ta còn rất hạn chế.

Các ký hiệu

- u, v, w : Vận tốc của phần tử lưu chất theo 3 trục tọa độ x, y, z .
- $\partial_t u_i$: Đạo hàm riêng theo thời gian của u .
- ρ : Khối lượng riêng của không khí (kg/m^3).
- p : Áp suất (N/m^2).
- ν : Độ nhớt động học của không khí ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$).
- C_d : Hệ số cản.
- $\overline{\rho u_i' u_i'}$: Ứng suất Reynolds.
- τ_{ij} : Ten sơ ứng suất
- A : Diện tích cản chính diện (m^2)
- U_∞ : Vận tốc chuyển động (m/s)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hucho, W.H., Aerodynamics of Road Vehicles, Butterworth and Co. Publishing, Boston, MA, 1990.
- [2] Katz, J., Race Car Aerodynamics: Designing for Speed, Bentley Publishers, Philadelphia, PA, 1995.
- [3] Halil, S.H., Rami, S.E., Murat, A. and Ibrahim, D, Effects of rear spoilers on ground vehicle aerodynamic drag”, International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, 2014, 24(3): 627-642.
- [4] Tien Phuc Dang, Zhengqi Gu, Zhen Chen, Numerical simulation of flow field around the race car in case, International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, 2015, 25(8): 896- 1911.
- [5] Heft, A., Indinger, T., and Adams, N., Introduction of a New Realistic Generic Car Model for Aerodynamic Investigations, SAE Technical Paper 2012, doi:10.4271/2012-01-0168.
- [6] M. Desai, S. A. Channiwala and H. J. Nagarsheth, A Comparative assessment of two experimental methods for aerodynamics performance evaluation of car, Journal of scientific and industrial Research, 2008, 67: 518-522.
- [7] C. Rajsinh B. and T. K. Raj R., Numerical investigation of external flow around the ahmed reference body using computational fluid dynamics, Research Journal of Recent Sciences, 2012, 1(9): 1-5.
- [8] Siddhesh Kanekar, Prashant Thakre and E Rajkumar, Aerodynamic study of state transport bus using computational fluid dynamics. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 263. 062052

- [9] Đỗ Tiến Quyết, Nghiên cứu lực cản khí động học của xe du lịch bằng phần mềm Ansys, Tạp chí Nghiên cứu khoa học - Đại học Sao Đỏ, 2019, 1(64).
- [10] Tural Tunay , Bulent Yaniktepe, Besir Sahin, Computational and experimental investigations of the vortical flow structures in the near wake region downstream of the Ahmed vehicle model, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2016, 159:48-64.
- [11] G. Shankar and G. Devaradjane, Experimental and Computational Analysis on Aerodynamic Behavior of a Car Model with Vortex Generators at Different Yaw Angles, Journal of Applied Fluid Mechanics, 2018, 11(1), 285-295, 2018.
- [12] Aerodynamic Characteristics of Mira Fastback Model in Experiment and CFD, International Journal of Automotive Technology, 2019, 20(4), 723–737.
- [13] Pramod Nari Krishnani, Dongmei Zhou, CFD Analysis of Drag Reduction For A Generic SUV, Proceedings of the ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, November 13-19, Lake Buena Vista, Florida, USA
- [14] Bahram Khalighi, Shailesh Jindal, Gianluca Iaccarino, Aerodynamic Flow Around a Sport Utility Vehicle- Computational and Experimental Investigation, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2012, 107–108, 140–148.
- [15] Jeff Howell, Chris Sherwin, Martin Passmore, Geoff Le Good, Aerodynamic Drag of a Compact SUV as Measured On-Road and in the Wind Tunne, SAE Technical Paper, 2002, 2002-01-0529.
- [16] M. Corallo , J. Sheridan, M.C. Thompson, Effect of aspect ratio on the near-wake flow structureof an Ahmed body, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2015, 147,95-103.
- [17] Tural Tunay, Besir Sahin, Veli Ozbolat, Effects of rear slant angles on the flow characteristics of Ahmed body, Experimental Thermal and Fluid Science, 2014, 57, 165–176.
- [18] Katarzyna, S., Gabriel, W. and Derek, B.I., CFD modelling of air and oxy-coal combustion, International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, 2014, 24(4):825 -844.

Ngày nhận bài: 12/02/2019

Ngày chấp nhận đăng: 26/02/2020