

Mô phỏng đặc tính khí động lực học mô hình xe buýt lắp ráp tại Việt Nam

Simulating the aerodynamic characteristics of the bus models assembled in Vietnam

Đặng Tiến Phúc^{1,*}, Nguyễn Tuấn Nghĩa², Nguyễn Hữu Mạnh³,
Nguyễn Minh Thái³, Nguyễn Xuân Ngọc¹, Võ Văn Lộc¹

¹Khoa Công nghệ Động lực, Trường Đại học Công nghiệp Tp. HCM,

²Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Khoa Công nghệ Động lực, Trường Cao đẳng Kỹ thuật Lý Tự Trọng,

*Email: dangtienphuc@iuh.edu.vn

Mobile: 0905297192

Tóm tắt

Từ khóa:

Mô phỏng CFD; Khí động lực học ô tô; Mô hình xe buýt; Hệ số cản; Rans.

Bài báo này trình bày nghiên cứu đặc tính khí động lực học xe buýt thông qua phân tích phân bố trường vận tốc và áp suất. Nghiên cứu được thực hiện trên mô hình xe buýt được lắp ráp tại Việt Nam. 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 xe buýt. Kết quả phân tích thể hiện sự phân bố áp suất, sự phân bố vận tốc quanh mô hình. 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 xe buýt đồng thời. Thông qua kết quả nghiên cứu là tiền đề cho các nghiên cứu tiếp theo tiến hành cải tiến hình dạng xe buýt nhằm giảm lực cản khí động cũng như giảm tiêu hao nhiên liệu.

Abstract

Keywords:

CFD simulation; Vehicle aerodynamics; Bus model; Drag coefficient; RANS.

This paper studies the aerodynamic characteristics of bus model through the analysis of the distribution of speed and pressure. Numerical investigations were conducted with the model. The bus's aerodynamic characteristics were simulated using Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) equations combined with Realizable $k - \varepsilon$ model and CFD software. The analysis results demonstrated time-averaged velocity field, magnitude of the velocity and static pressure magnitude of the flow fields around the bus model. The results obtained from the study are presented through graphics and calculation simulation value C_d , providing better understanding of aerodynamic characteristics around bus model. The results also serve as the basis for future studies on improving the bus exterior in order to reduce aerodynamics forces and bus fuel consumption.

Ngày nhận bài: 07/8/2018

Ngày nhận bài sửa: 05/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, khí động lực học ô tô 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, 2, 3, 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, 6, 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.

Trong nghiên cứu này, tác giả tập trung nghiên cứu mô phỏng đặc tính khí động lực học xe buýt lắp ráp tại Việt Nam. Mô hình xe buýt đã được các nhà khoa học trên thế giới nghiên cứu và đã công bố, cụ thể tác giả [8] đã 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. Kết quả, tác giả đã kết luận rằng với mô hình mô phỏng rối $k - \varepsilon$ Realizable, 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. Tác giả [9] đã nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng ảnh hưởng khí động lực học đối với hình dạng bên ngoài của xe buýt nhằm làm giảm lực cản khí động lực học cũng như giảm tiêu hao nhiên liệu. Kết quả, tác giả kết luận rằng khi điều chỉnh thiết kế hình dạng bên ngoài xe so với hình dạng gốc, lực cản khí động giảm khoảng 30% và giảm đáng kể lượng tiêu hao nhiên liệu. Tác giả [10,11] đã sử dụng công cụ CFD phân tích ảnh hưởng lực cản khí động học đến tiêu hao nhiên liệu trên xe buýt. Hai nghiên cứu này đã đưa ra các hình dạng xe sau khi điều chỉnh, các tác giả đều kết luận rằng lực cản khí động đều giảm khi điều chỉnh hình dạng của xe. Ngoài ra, tại Việt Nam tác giả [12] đã nghiên cứu thay đổi hình dạng bên ngoài xe buýt nhằm tối ưu lực cản khí động học với mô hình xe buýt đơn giản, tối giản gương chiếu hậu.

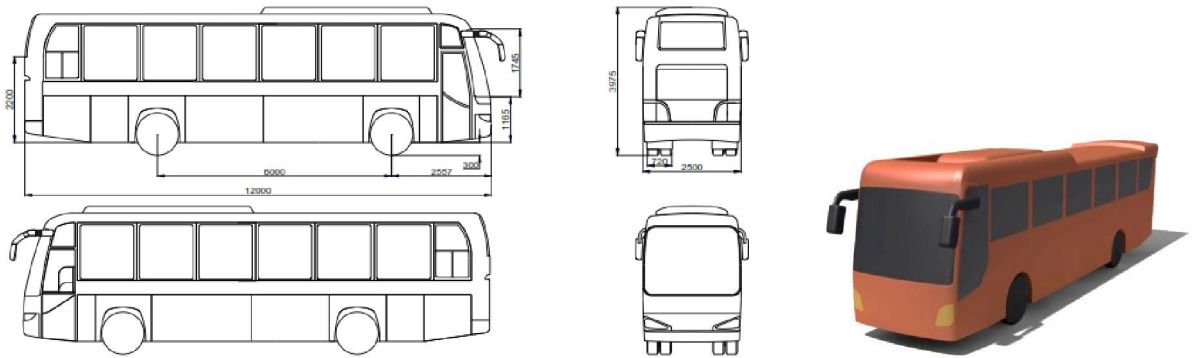
Mặc dù khí động lực học đã được nghiên cứu từ lâu trên thế giới nhưng đây vẫn là lĩnh vực nghiên cứu mà tại Việt Nam chưa được sự quan tâm của các nhà khoa học cũng như các công ty sản xuất, lắp ráp ô tô. Hầu như rất ít hoặc không tìm thấy các nghiên cứu chuyên sâu về khí động lực học ô tô được công bố trên các tạp chí chuyên ngành và các kỷ yếu hội nghị khoa học. Vì vậy, tác giả tiến hành nghiên cứu đặc tính khí động lực học ô tô với mô hình xe buýt nhằm cung cấp cho người đọc cái nhìn tổng quan và rõ nét hơn sự ảnh hưởng của khí động lực học đối với mẫu xe buýt lắp ráp tại Việt Nam. Đây cũng chính là một bước quan trọng trong quá trình thiết kế hình dạng ô tô. 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 XE BUÝT VÀ MIỀN TÍNH TOÁN

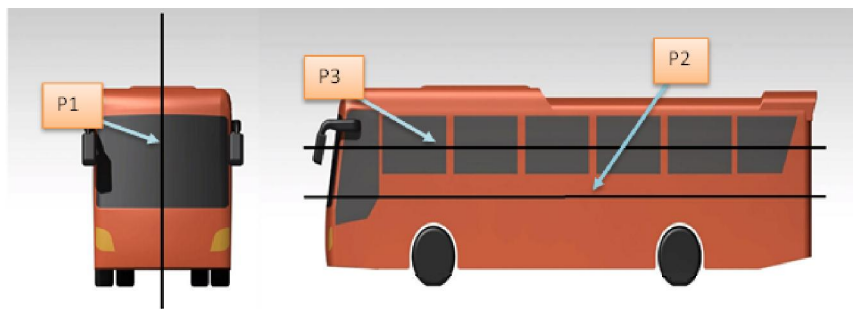
2.1. Mô hình xe buýt

Mô hình xe buýt 2D và 3D được mô tả chi tiết như hình 1 với chiều dài toàn bộ $L = 12000$ mm, chiều cao $H = 3975$ mm, bề rộng toàn bộ $W = 2500$ mm trên 3 trục của hệ tọa độ x, y, z .

Trong quá trình mô phỏng đặc tính khí động lực học xe buýt sẽ thể hiện sự phân bố áp suất, vận tốc quanh mô hình nghiên cứu theo các mặt phẳng mô tả ở hình 2. Cụ thể, mặt phẳng đối xứng dọc của mô hình được ký hiệu P1, hai mặt phẳng song song với mặt đáy mô hình được ký hiệu lần lượt là P2 và P3.



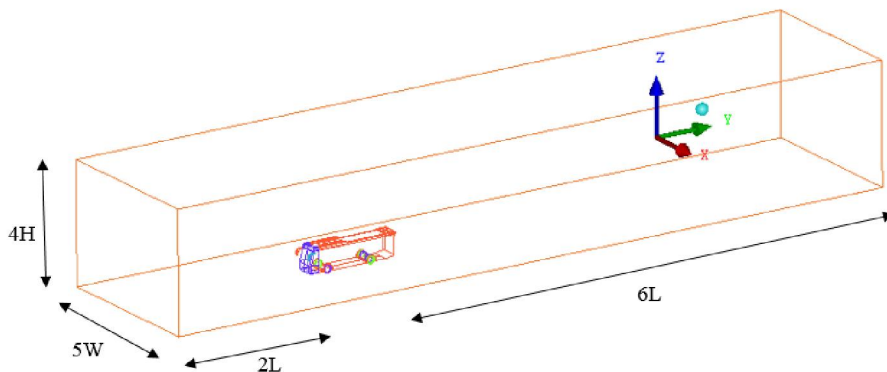
Hình 1. Mô hình 2D xe buýt lắp ráp tại Việt Nam[12] và xây dựng mô hình 3D



Hình 2. Các mặt phẳng thể hiện sự phân bố áp suất và vận tốc quanh xe buýt

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 công trình nghiên cứu của các tác giả [13-16], tác giả tiến hành xây dựng miền tính toán với các thông số được mô tả ở hình 3. Trong đó, H là chiều cao xe buýt, W là bề rộng xe buýt, L là chiều dài xe buýt.



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 [12,19].

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\partial_i u_i + u_j \partial_j u_i = -\frac{1}{\rho} \partial_i p + \nu \partial_j \partial_j u_i \quad (2)$$

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:

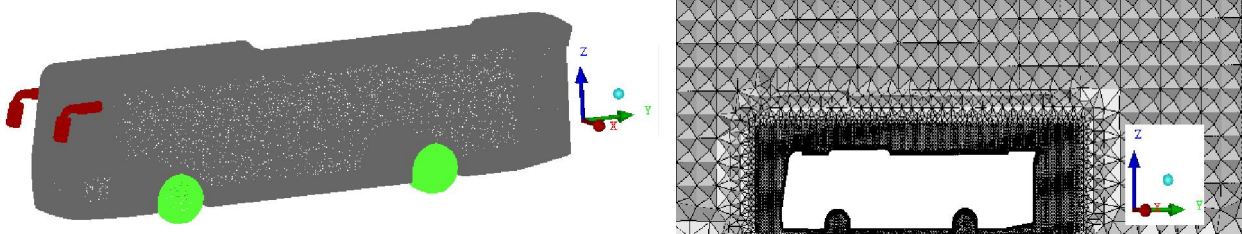
$$\partial_i \bar{u}_i = 0 \quad (3)$$

$$\partial_i \bar{u}_i + \bar{u}_j \partial_j \bar{u}_i = -\frac{1}{\rho} \partial_i \bar{p} + \frac{1}{\rho} \partial_j (\tau_{ij} - \rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (4)$$

Ngoài ra, để giải phương trình RANS tác giả kết hợp với mô hình rối Realizable $k - \varepsilon$.

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. Lưới có hai dạng đó là lưới có cấu trúc và lưới không có cấu trúc và mỗi loại đều có những điểm mạnh riêng. Trong bài nghiên cứu này sẽ sử dụng lưới 3. tứ diện không có cấu trúc 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, 17], trong khi các vùng xa vùng biên và mô hình phân tích kích thước của phần tử lưới lớn hơn nhằm tiết kiệm tài nguyên của máy tính cũng như thời gian tính toán. Mô hình xe buýt đã chia lưới hoàn chỉnh được mô tả ở hình 4.



Hình 4. Mô hình xe buýt đã chia lưới với dạng tứ diện không có cấu trúc

Để xác định số lượng phần tử trong miền tính toán, tác giả tiến hành thực hiện kiểm tra lưới dựa vào kết quả tính toán C_d rồi so sánh với kết quả được nghiên cứu công bố trong [18] kết

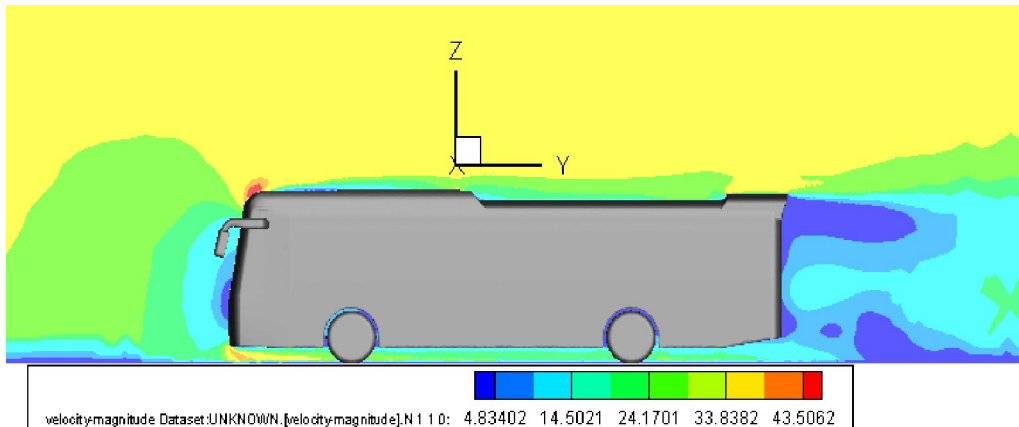
hợp với thời gian tính toán. Sau khi chia lưới xong, tiến hành đặt các điều kiện biên để mô phỏng tính toán kết quả. Vận tốc dòng khí được thiết lập là 30m/s, thuật toán SIMPLEC được sử dụng để giải bài toán liên kết giữa thành phần vận tốc và áp suất trong phương trình RANS. Các thông số môi trường mà tác giả sử dụng bao gồm nhiệt độ là 27⁰C, khối lượng riêng không khí là 1,225(kg/m³), độ nhớt động học của không khí là 1,7894 x10⁻⁵. Kết quả, số lượng các phần tử trong miền tính toán thuộc trường hợp 3 được lựa chọn là khoảng 5,596x10⁵ phần tử vì giá trị C_d được tính toán xấp xỉ với giá trị C_d tham chiếu và thời gian tính toán nhanh hơn. Quan sát bảng 1, ta thấy có sự chênh lệch hệ số cản và thời gian tính giữa các trường hợp. Nguyên nhân do số phần tử lưới thay đổi theo xu hướng tăng dần dẫn đến kích thước phần tử lưới càng nhỏ nên kết quả mô phỏng càng chính xác và thời gian tính cũng tăng. Tuy nhiên cần phải lưu ý cấu hình máy tính với số lượng phần tử lưới [12, 20].

Bảng 1. Bảng lựa chọn số phần tử lưới ứng với giá trị tính toán hệ số cản C_d

Dữ liệu	Trường hợp 1	Trường hợp 2	Trường hợp 3	Trường hợp 4
Số phần tử	3,532 x10 ⁵	4,318x10 ⁵	5,596x10 ⁵	6,248x10 ⁵
C _d	0,366	0,398	0,420	0,430
Thời gian(h)	3	4	4,5	7

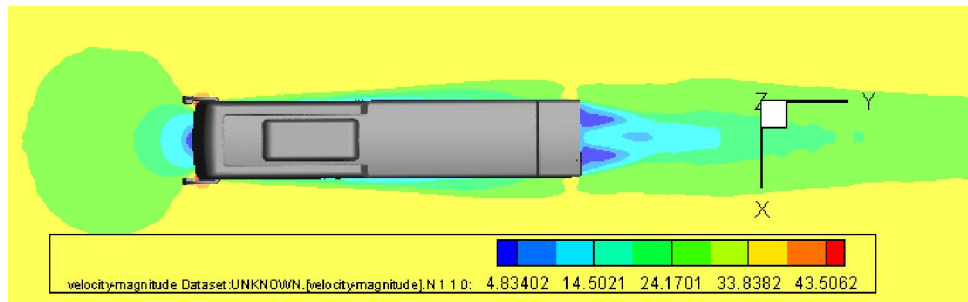
4. KẾT QUẢ

4.1. Phân bố trường vận tốc quanh xe buýt theo thời gian trung bình

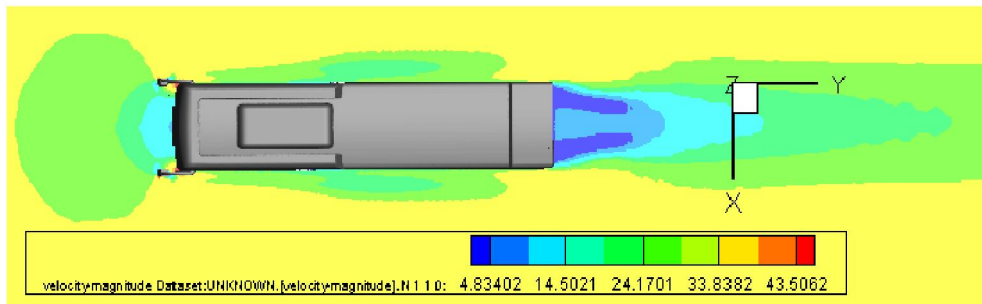


Hình 5. Phân bố vận tốc tại mặt phẳng dọc đối xứng của mô hình xe buýt

Hình 5 thể hiện trường vận tốc tại mặt phẳng dọc đối xứng của mô hình xe buýt với bước lặp thời gian là 2x10⁵. 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 xe buýt luôn có vận tốc nhỏ hơn ở những vùng khác do dòng khí khi di chuyển đến vùng này sẽ xuất hiện một điểm đình trệ (stagnation point). Ngay tại điểm đình trệ vận tốc dòng khí bằng không và dòng khí sẽ chia làm hai phần, một phần đi dọc theo phía trên xe và một phần đi dọc theo phía dưới xe. Bên cạnh đó, biên dạng xe thay đổi (các góc bo tròn, góc nghiêng) dẫn đến sự phân bố vận tốc tại những vùng đó cũng thay đổi. Vùng sau đuôi xe buýt hình thành xoáy thấp áp ảnh hưởng đến lực cản khí động của xe, vậy để giảm lực cản khí động cần phải loại bỏ hoặc giảm kích thước vùng xoáy.



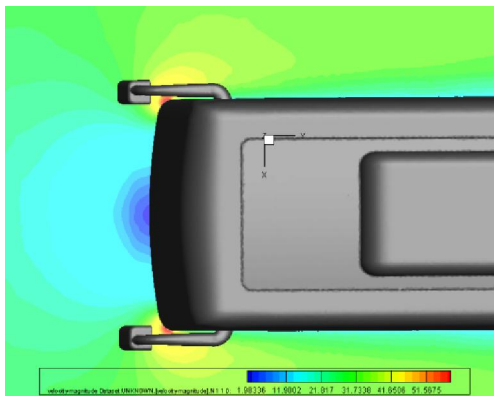
a. Mặt phẳng P2



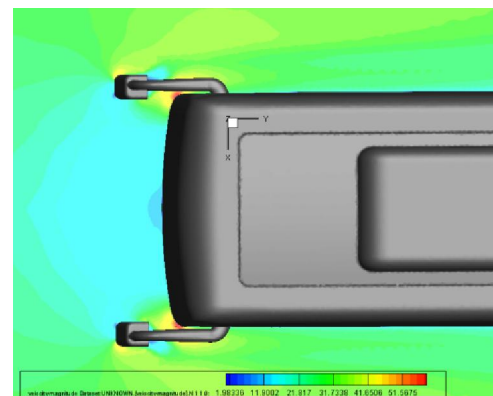
b. Mặt phẳng P3

Hình 6. Phân bố vận tốc tại mặt phẳng tại mặt phẳng cắt ngang xe buýt

Hình 6 thể hiện hiện trường vận tốc tại mặt phẳng cắt ngang đi qua điểm giữa của xe buýt lần lượt là mặt phẳng P2 và P3. Quan sát trường vận tốc phân bố trên hai mặt phẳng này, ta thấy có sự khác nhau rõ rệt. Cụ thể, tại mặt phẳng P3 đi qua gương chiếu hậu, khu vực phần đầu xe, thân xe và vùng sau xe so với mặt phẳng P2 không đi qua gương chiếu hậu, phân bố trường vận tốc khác nhau về độ lớn vận tốc cũng như độ lớn vùng ảnh hưởng (thể hiện thông qua sự phân bố màu sắc quanh xe). Quan sát hình 7 mô tả rõ hơn về sự phân bố trường vận tốc tại đầu và gương chiếu hậu của xe. Tại vùng đầu xe và gương chiếu hậu trên mặt phẳng P2 phân bố trường vận tốc có độ lớn nhỏ hơn so với vùng đầu xe trên mặt phẳng P3.



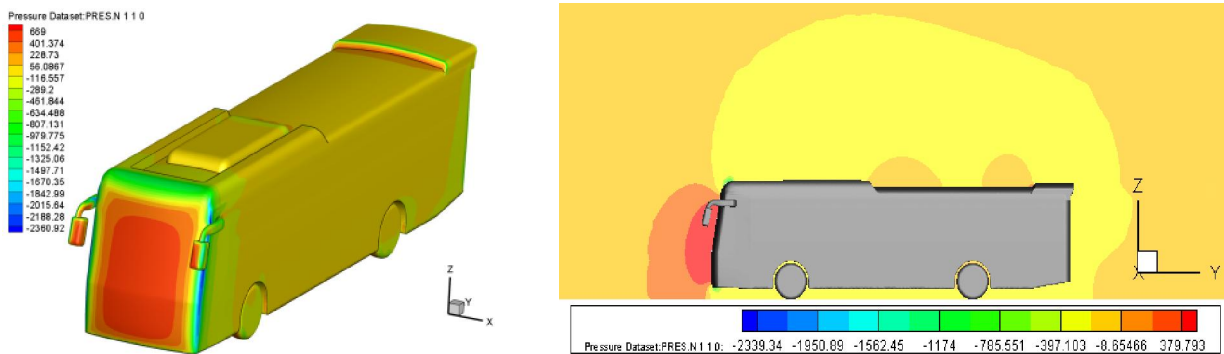
a. Mặt phẳng P2



b. Mặt phẳng P3

Hình 7. Phân bố vận tốc tại vùng đầu và gương chiếu hậu trên mặt phẳng P2 và P3

4.2. Phân bố áp suất quanh xe buýt



Hình 8. Phân bố áp suất trên mô hình xe buýt và tại mặt phẳng đối xứng dọc

Hình 8 thể hiện sự phân bố áp suất trên xe buýt và tại mặt phẳng đối xứng dọc quanh mô hình. Thang màu sắc từ xanh da trời đến màu đỏ thể hiện độ lớn áp suất tại những vùng khác nhau quanh mô hình. Tại phía trước mô hình luôn có áp suất lớn hơn ở những vùng khác trên mô hình do sự tách rời của dòng khí, chính sự chênh áp này là yếu tố cơ bản tạo nên lực cản khí động khi ô tô di chuyển về phía trước. Sự chênh áp càng lớn thì lực cản khí động càng tăng và để làm giảm lực cản khí động thì cần tăng áp suất phía sau mô hình.

4.3 Lực khí động lực học

Theo kết quả tính toán mô phỏng mô hình xe buýt trong ống khí động, kết quả tính toán giá trị C_d được trình bày ở bảng 1. Từ giá trị C_d tiến hành tính được lực cản khí động thông qua công thức:

$$\text{Lực cản không khí [1]:} \quad F_d = \frac{1}{2} C_d A \rho U_\infty^2 = 2086,502 \text{ (N)} \quad (5)$$

Trong đó: $C_d = 0,420$; $A = 9,021\text{m}^2$ (từ kết quả mô phỏng); $\rho = 1,225(\text{kg/m}^3)$; $U_\infty = 30(\text{m/s})$

Giá trị C_d , F_d được tính toán từ kết quả mô phỏng nằm trong khoảng giá trị tham khảo từ công trình nghiên cứu trước [12,18]. Như vậy, kết quả tính toán mô phỏng của tác giả cho kết quả phù hợp và tin cậy.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả tính toán mô phỏng đặc tính khí động lực học cho mô hình xe buýt, sử dụng phương trình RANS kết hợp với mô hình rối Realizable $k - \varepsilon$ đối với mô phỏng CFD. Kết quả tính toán mô phỏng giá trị C_d nằm trong khoảng giá trị tham khảo. Bên cạnh đó, bài báo này cũng đã minh họa rõ bằng hình ảnh sự phân bố áp suất, vận tốc quanh mô hình trên các mặt phẳng khác nhau. Kết quả nghiên cứu là tiền đề để thực hiện tính toán mô phỏng đặc tính khí động lực học 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. Thông qua kết quả tính toán giúp cho các nghiên cứu tiếp theo tiến hành cải tiến hình dạng xe buýt để giảm lực cản khí động cũng như giảm tiêu hao nhiên liệu.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Công nghiệp Tp. HCM, mã số: 171.1031. Tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của trường.

DANH MỤC DANH PHÁP/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 (kg.m/s^{-1}).
C_d	: Hệ số cản.
C_l	: Hệ số nâng.
$\overline{\rho u_i' u_i'}$: Ứng suất Reynolds.
τ_{ij}	: Ten sơ ứng suất
A	: Diện tích cân chỉnh diện (m^2)
U_∞	: Vận tốc chuyển động (m/s)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Kim, S. C., Hong, K.S. and Kim, M. J., 2005. Critical heat flux of water in pool boiling. *Applied Physics Letters*, 13 (6), 789-803.
- [2]. Chandel, U. P. and Bela, S. R., 1986. An experimental investigation of heat transport capability in oscillating heat pipe. *Proc. of Heat and Mass Transfer Conference*, Gatlinburg, Tennessee, USA, 479-385.
- [3]. Carey, V. P., 2008. *Liquid-vapor phase-change phenomena*. Second Ed., Taylor & Francis, 107-112.
- [1]. Hucho, W.H., 1990. *Aerodynamics of Road Vehicles*, Butterworth and Co. Publishing, Boston, MA.
- [2]. Katz, J., 1995. *Race Car Aerodynamics: Designing for Speed*, Bentley Publishers, Philadelphia, PA. [2]. Katz, J., 1995. *Race Car Aerodynamics: Designing for Speed*, Bentley Publishers, Philadelphia, PA.
- [3]. Halil, S.H., Rami, S.E., Murat, A. and Ibrahim, 2014. Effects of rear spoilers on ground vehicle aerodynamic drag", *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 24(3): 627-642.
- [4]. Tien Phuc Dang, Zhengqi Gu, Zhen Chen, 2015. Numerical simulation of flow field around the race car in case, *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 25(8): 896- 1911.
- [5]. Heft, A., Indinger, T., and Adams, N., 2012. Introduction of a New Realistic Generic Car Model for Aerodynamic Investigations, *SAE Technical Paper*, doi:10.4271/2012-01-0168.
- [6]. M. Desai, S. A. Channiwala and H. J. Nagarsheth, 2008. A Comparative assessment of two experimental methods for aerodynamics performance evaluation of car, *Journal of scientific and industrial Research*, 67: 518-522.

- [7]. C. Rajsinh B. and T. K. Raj R., 2012 Numerical investigation of external flow around the ahmed reference body using computational fluid dynamics, *Research Journal of Recent Sciences*, 1(9): 1-5.
- [8]. Siddhesh Kanekar, Prashant Thakre and E Rajkumar, 2017. Aerodynamic study of state transport bus using computational fluid dynamics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 263. 062052
- [9]. A.Muthuvel, M.K.Murthi, Sachin.N.P và cộng sự, 2013. Aerodynamic exterior body design of bus. *International journal of scientific & engineering research*, 4 (7), 2453-2457
- [10]. J Abinesh và J Arunkumar, 2014. Cfd analysis of aerodynamic drag reduction and improve fuel economy. *International journal of mechanical engineering and robotics research*, 3(4), 430-440.
- [11]. Devesh Yadav, Sumit Chauhan, Shashank Karki và cộng sự, 2017. Cfd analysis for drag force reduction in inter-city buses. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(5), 350-355.
- [12]. Tô Hoàng Tùng, 2016. Nghiên cứu cải thiện dạng khí động học vỏ xe khách lắp ráp tại Việt Nam. *Luận án tiến sĩ, Đại học Bách Khoa Hà Nội*
- [13]. M. Corallo , J. Sheridan, M.C. Thompson, Effect of aspect ratio on the near-wake flow structure of an Ahmed body, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2015, 147:95-103.
- [14]. 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.
- [15]. D. Tienphuc, Gu zhengqi, Chenzhen, Numerical Simulation of the Flow Field around Generic Formula One, *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 2016, 9(1):443-450.
- [16]. Lê Hồng Quân, Nguyễn Anh Ngọc, 2014. Ứng dụng CFD trong khí động lực học để xác định lực cản không khí và lực nâng của xe du lịch tải trọng nhẹ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*, số 23, 43-47
- [17]. 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.
- [18]. W.H. Hucho, 1998. *Aerodynamics of Road Vehicles: From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering*. SAE International
- [19]. ANSYS Fluent Theory Guide, Release 15.0 November 2013
- [20]. ANSYS Fluent User's Guide, Release 13.0 November 2010