

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC LOẠI LƯỚI PHI CẤU TRÚC TRONG QUÁ TRÌNH MÔ PHỎNG ĐẶC TÍNH KHÍ ĐỘNG HỌC Ô TÔ

EVALUATING THE INFLUENCE OF DIFFERENT TYPES OF UNSTRUCTURED MESH IN THE SIMULATION AUTOMOTIVE AERODYNAMIC SIMULATION

Phan Thành Long*

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: ptlong@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 28/8/2023; Sửa bài / Revised: 24/4/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 25/4/2024)

Tóm tắt - Mô phỏng khí động học đóng vai trò quan trọng trong quá trình nghiên cứu, thiết kế ô tô, bên cạnh các thí nghiệm được thực hiện trong ống khí động. Trong đó, độ chính xác của kết quả mô phỏng và yêu cầu về tài nguyên tính toán phụ thuộc rất lớn vào quá trình chia lưới. Chất lượng lưới bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, trong đó có loại phần tử lưới được sử dụng. Trong nghiên cứu này, bốn loại lưới phi cấu trúc, bao gồm Poly-Hexcore, Hexcore, Polyhedral và Tetrahedral được sử dụng để đánh giá đặc tính khí động học của mô hình xe DriAer Fastback thông qua phương pháp mô phỏng số. Các thông số của quá trình chia lưới khi sử dụng bốn loại lưới trên được phân tích và đánh giá. Kết quả mô phỏng số cũng được so sánh với kết quả thực nghiệm để đánh giá độ chính xác giữa các loại lưới được sử dụng. Kết quả cho thấy, loại lưới Poly-Hexcore là phù hợp nhất để sử dụng cho quá trình mô phỏng khí động học ô tô.

Từ khóa - Khí động học ô tô; CFD; DriAer; Chia lưới.

1. Đặt vấn đề

Trong ngành công nghiệp ô tô hiện nay, động lực học chất lỏng tính toán (Computational Fluid Dynamics – CFD) đã trở thành công cụ không thể thay thế trong quá trình thiết kế ô tô. Công cụ này được sử dụng song song cùng với việc thí nghiệm trong hầm khí động, để đánh giá các đặc tính khí động học của xe. Phương pháp này đặc biệt có ý nghĩa trong giai đoạn đầu phát triển các mẫu xe mới, vì tại thời điểm này chưa có một mẫu xe thực tế nào thực sự được chế tạo phục vụ cho việc thử nghiệm. Đồng thời, tại giai đoạn này, có rất nhiều thiết kế mẫu xe được đề xuất và cần được đánh giá, do vậy việc sử dụng phương pháp CFD giúp các nhà sản xuất có thể rút ngắn chu kỳ phát triển của các mẫu xe mới, giảm chi phí, từ đó làm tăng tính cạnh tranh của sản phẩm [1].

Phương pháp CFD được thực hiện dựa trên việc rời rạc hóa các phương trình chủ đạo của dòng chảy, thu được hệ phương trình đại số của các đại lượng dòng chảy. Sau đó, hệ phương trình này được giải để xác định các giá trị cần thiết tại các điểm lưới cụ thể. Do vậy, để thực hiện việc mô phỏng CFD, miền tính toán cần được rời rạc hóa thành tập hợp các phần tử lưới. Độ chính xác của kết quả tính toán và khả năng hội tụ trong quá trình mô phỏng CFD phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng của lưới. Một lưới tính toán được gọi là tốt khi nó có thể bắt được chính xác các hiện tượng quan trọng của dòng chảy, nhưng thời gian tính toán phải chấp nhận được [2].

Abstract - Numerical study of aerodynamic characteristics plays an important role in the research and design process of automotive industry, along with the experimental study conducted in wind tunnels. The accuracy of the numerical results and the computational resource requirements depend largely on the meshing process. The quality of the mesh is influenced by many factors, including the type of mesh element used. In this study, four types of unstructured meshes, including Poly-Hexcore, Hexcore, Polyhedral and Tetrahedral, were used to evaluate the aerodynamic characteristics of the DriAer Fastback model using numerical simulation methods. The parameters of the meshing process using the four above types of meshes were analyzed and evaluated. The obtained numerical results were also compared with the experimental results to evaluate the accuracy between the types of meshes used. The results showed that, the Poly-Hexcore mesh type was most suitable for use in the automotive aerodynamics simulation process.

Key words - Automotive Aerodynamics; CFD; DriAer; Meshing.

Lưới tính toán trong phương pháp CFD có thể là loại cấu trúc hoặc phi cấu trúc. Lưới cấu trúc có ưu điểm là chất lượng lưới tốt, dễ kiểm soát, giúp lời giải hội tụ nhanh hơn và tiêu tốn bộ nhớ ít hơn. Tuy nhiên, nó chỉ phù hợp với các bài toán có hình dạng đơn giản, vì rất khó để bắt chính xác các bề mặt cong trên các hình dạng vật thể phức tạp. Chính vì vậy, đối với mô phỏng khí động học ô tô, do hình dạng 3D phức tạp của nó, lưới phi cấu trúc thường được ưu tiên sử dụng. Lưới phi cấu trúc thường sử dụng loại phần tử lưới tứ diện hoặc lục diện. Trong các công cụ mô phỏng CFD, lưới phi cấu trúc thường được chia tự động, trong đó sử dụng các phần tử lăng trụ để bắt được đầy đủ dòng chảy ở lớp biên gần vật thể, phần còn lại của miền tính toán được lấp đầy bởi các phần tử lưới tứ diện. Mặc dù, phương pháp này đơn giản hóa việc chia lưới, tuy nhiên, độ chính xác của lời giải vẫn còn là một vấn đề đáng lo ngại. Để khắc phục hạn chế này, các nhà nghiên cứu đã tinh chỉnh và tăng mật độ lưới tại các khu vực quan trọng trong miền tính toán. Tuy nhiên, việc tăng số lượng phần tử lưới không chỉ tăng thời gian tính toán mà còn làm tăng chi phí tính toán [3].

Năm 2005, một kỹ thuật chia lưới mới đã được phát triển trong mô phỏng CFD, và được gọi là lưới Hexcore [4]. Loại lưới này sử dụng các phần tử lục diện để lấp đầy miền tính toán, trong khi các phần tử hình lăng trụ vẫn được sử dụng tại vùng lớp biên. Vùng chuyển tiếp giữa phần tử lục diện trong miền thể tích tính toán và lưới lăng trụ ở lớp

¹ The University of Danang – University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Phan Thanh Long)

biên được lấp đầy bằng các phần tử tứ diện. Loại lưới này làm tăng độ chính xác và tin cậy của lời giải số CFD.

Tuy nhiên, lưới Hexcore vẫn tồn tại một nhược điểm lớn, đó là việc sử dụng số lượng lớn phần tử tứ diện tại vùng chuyển tiếp, điều này làm tăng thời gian tính toán, số lượng bộ nhớ và dung lượng lưu trữ. Nhằm khắc phục vấn đề này, từ năm 2010, các phần tử đa diện (polyhedral) bắt đầu được sử dụng trong quá trình chia lưới trong phần mềm CFD [4]. Lưới đa diện có ưu điểm là giảm đáng kể số lượng phần tử, từ đó giảm việc sử dụng bộ nhớ và thời gian tính toán. Tuy nhiên, nó cũng có nhược điểm về độ chính xác của lời giải, tương tự như phần tử tứ diện, đòi hỏi chúng ta phải tăng mật độ lưới tại các vùng quan trọng hoặc vùng lớp biên, và do vậy làm tăng chi phí tính toán.

Để khắc phục những tồn tại của các loại lưới nói trên, gần đây hãng phần mềm ANSYS đã giới thiệu một kỹ thuật chia lưới hybrid mới, được gọi là lưới Poly-Hexcore hoặc lưới Mosaic [5]. Phương pháp này sử dụng các phần tử lục diện trong phần lớn miền tính toán, và các phần tử lăng trụ tại vùng lớp biên. Để tăng chất lượng lưới, các phần đa diện nhiều mặt được sử dụng tại vùng chuyển tiếp giữa hai loại lưới trên, do đó giảm được đáng kể số lượng phần tử lưới. Một số nghiên cứu trên các vật thể có hình dạng đơn giản đã cho thấy nhiều ưu điểm của lưới Poly-Hexcore so với các lưới phi cấu trúc khác.

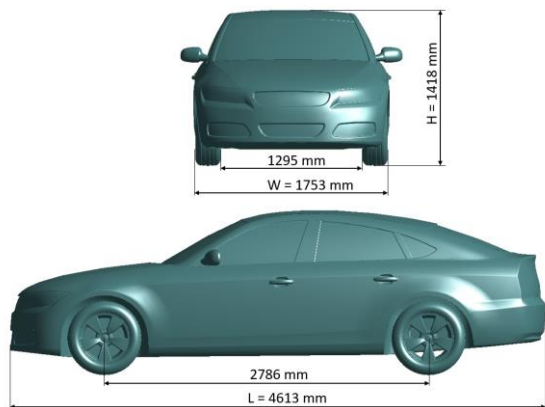
Từ các phân tích ở trên cho thấy, chi phí tính toán và kết quả của quá trình mô phỏng CFD nói chung, trong đó có mô phỏng khí động học ô tô phụ thuộc rất lớn vào loại lưới phi cấu trúc được sử dụng. Chính vì vậy, nghiên cứu này hướng đến việc đánh giá ảnh hưởng chi tiết của bốn loại lưới phi cấu trúc, gồm: lưới tứ diện (tetrahedral), lưới đa diện (Polyhedral), lưới Hexcore và lưới Poly-Hexcore đến quá trình đánh giá đặc tính khí động học mô phỏng thông qua phương pháp CFD. Các mô phỏng CFD được thực hiện trên mô hình xe DrivAer dạng đuôi lướt, bằng phần mềm thương mại ANSYS Fluent 2021. Các thông số của quá trình chia lưới, ví dụ như thời gian chia lưới, số lượng phần tử lưới, bộ nhớ RAM sử dụng... của từng loại lưới sẽ được thảo luận cụ thể. Bên cạnh đó, kết quả mô phỏng khí động học của xe mô hình khi sử dụng bốn kỹ thuật chia lưới nói trên cũng sẽ được trình bày chi tiết.

2. Mô hình mô phỏng số

2.1. Mô hình xe DrivAer

Mô hình xe DrivAer được đề xuất bởi Trường Đại học Kỹ thuật Munich [6]. Khác với những mô hình xe tham chiếu khác thường được đơn giản hóa để thuận lợi cho quá trình nghiên cứu, mô hình xe DrivAer này có bề mặt ngoài gần giống với xe thực tế, vì nó được xây dựng dựa trên hai loại xe hạng trung điển hình là Audi A4 và BMW 3 series, với ba kiểu đuôi xe khác nhau (Fastback, Notchback và Estateback). Các kiểu đuôi xe này đặc trưng cho các mẫu xe du lịch thường gặp trong thực tế. Các thí nghiệm trong đường hầm gió trên mẫu xe này được thực hiện và được công bố rộng rãi. Sau khi được giới thiệu, mẫu xe tham chiếu DrivAer nhanh chóng trở thành tiêu chuẩn mới cho việc nghiên cứu khí động học ô tô du lịch, và dần thay thế cho việc sử dụng các mô hình đơn giản hóa, ví dụ mô hình xe Ahmed hoặc MIRA.

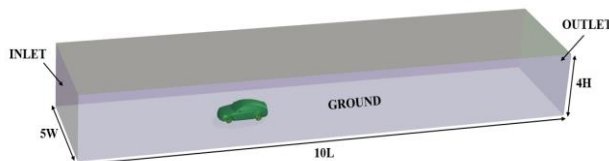
Trong nghiên cứu này, mô hình xe DrivAer dạng đuôi lướt (Fastback), với găm xe tron nhẵn được sử dụng. Kích thước của xe được giới thiệu trên Hình 1, với chiều dài (L), chiều rộng (W) và chiều cao (H) tương ứng là 4613 x 1753 x 1418 mm.



Hình 1. Kích thước mô hình xe DrivAer Fastback

2.2. Miền tính toán

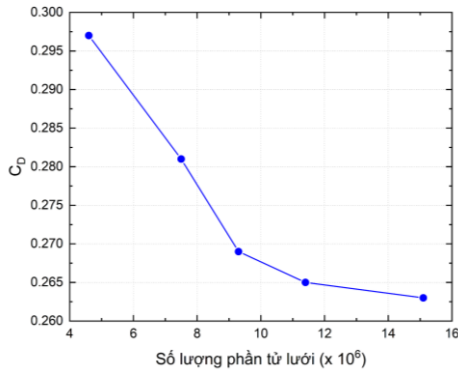
Miền tính toán của dòng chảy qua mô hình xe DrivAer được giới thiệu trên Hình 2. Kích thước miền tính toán này phải được xem xét cẩn thận, để có thể mô phỏng chính xác các hiện tượng dòng chảy, đồng thời đảm bảo một chi phí tính toán phù hợp. Mặt trước của vùng tính toán được xem như điều kiện biên vận tốc đầu vào (velocity inlet), mặt sau của nó là điều kiện biên áp suất đầu ra (pressure outlet). Mặt dưới của miền tính toán được xem như mặt đất, với điều kiện biên là tường rắn (wall). Điều kiện biên này cũng được áp dụng cho bề mặt mô hình xe, và các mặt bên của miền tính toán.



Hình 2. Miền tính toán của bài toán mô phỏng

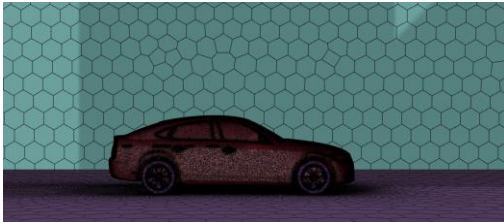
2.3. Phương pháp chia lưới

Như đã trình bày trong phần trước, mô hình xe DrivAer có bề mặt hình dạng phức tạp, đòi hỏi phải sử dụng các loại lưới phi cấu trúc khi thực hiện mô phỏng CFD. Để đánh giá ảnh hưởng của các loại lưới phi cấu trúc đến quá trình mô phỏng khí động học của xe, bốn loại lưới phi cấu trúc khác nhau, gồm: lưới tứ diện (Tetrahedral), lưới đa diện (Polyhedral), lưới Hexcore và lưới Poly-Hexcore được sử dụng thông qua phần mềm ANSYS Fluent [7]. Để lựa chọn các thông số thiết lập cho quá trình chia lưới, cũng như đánh giá sự chính xác của mô hình mô phỏng, việc kiểm tra sự phụ thuộc kết quả mô phỏng vào số lượng lưới sẽ được thực hiện. Lưới Poly-Hexcore với các thiết lập khác nhau để tạo ra 05 trường hợp với các số lượng lưới lần lượt là 4,6; 7,5; 9,3; 11,4 và 15,1 triệu phần tử. Hình 3 cho thấy, sự phụ thuộc hệ số cản khí động C_D của xe DrivAer Fastback, thu được từ mô phỏng thông qua phần mềm ANSYS Fluent, vào số lượng phần tử lưới. Kết quả trên Hình 3 cho thấy, sự thay đổi hệ số cản C_D của xe là không đáng kể khi số lượng lưới vượt quá 9,3 triệu phần tử.

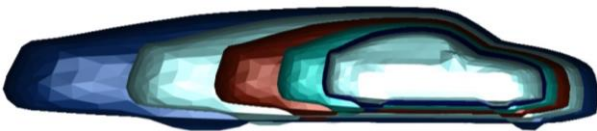


Hình 3. Sự phụ thuộc của hệ số cản C_D vào số lượng phần tử lưới dạng Poly-hexcore

Từ kết quả thu được trên Hình 3, các thông số thiết lập cho việc chia lưới Poly-hexcore tương ứng với trường hợp 9,3 triệu phần tử sẽ được sử dụng chung có các loại lưới còn lại, gồm lưới Hexcore, Polyhedral và Tetrahedral. Trong tất cả các trường hợp, lưới thể tích được tạo ra dựa trên lưới bề mặt ban đầu. Các loại lưới Tetrahedral, Hexcore và Poly-Hexcore đều được tạo ra từ các phần tử lưới bề mặt dạng tam giác bậc cao, trong khi đó lưới Polyhedral lại sử dụng các phần tử lưới bề mặt dạng đa giác. Kích thước lớn nhất của các phần tử lưới trên bề mặt thân xe và bánh xe lần lượt là 50 mm và 30 mm, và kích thước tối thiểu của phần tử lưới là 1,5 mm (Hình 4). Trong khi đó, các phần tử lưới tại các bề mặt bao quanh vùng tính toán có kích thước tối đa là 500 mm.



Hình 4. Lưới bề mặt được tạo ra trong miền tính toán

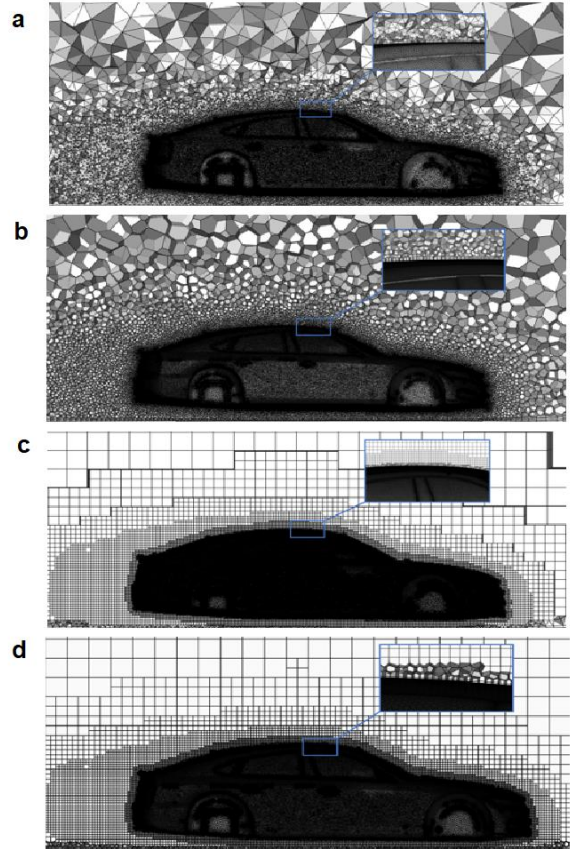


Hình 5. Các vùng làm mịn lưới xung quanh thân xe được tạo thành từ bề mặt ngoài của nó

Để mô phỏng chính xác các hiện tượng dòng chảy, đặc biệt là vùng gần mô hình xe và vệt hút sau xe, lưới tại các khu vực này thường được làm mịn. Trong nghiên cứu này, các vùng lưới mịn xung quanh thân xe được tạo ra thông qua công cụ chia lưới của phần mềm ANSYS Fluent, với phương pháp offset từ bề mặt thân xe (Hình 5). Phương pháp này tạo ra các vùng không gian bám sát hình dạng ngoài của xe, và được phóng to theo những tỷ lệ nhất định. Cụ thể, bốn vùng lưới mịn quanh xe được tạo ra, với kích thước phần tử lưới lần lượt là 12 mm, 24 mm, 48 mm và 96 mm. Vùng lớp biên xung quanh bề mặt xe bao gồm 05 lớp, với chiều cao của lớp thứ nhất bám sát bề mặt xe có độ lớn là 0,01 m, tương ứng với giá trị $y^+ \approx 200$. Trong thực tế, để mô phỏng chính xác các đặc tính dòng chảy, mô hình rối $k-\omega$ SST đòi hỏi giá trị $y^+ < 1$. Tuy nhiên, điều này sẽ làm tăng đáng kể số lượng lưới, dẫn đến tăng thời gian

và tài nguyên tính toán. Trong khi đó, nghiên cứu này tập trung chủ yếu vào việc so sánh ảnh hưởng của các loại lưới khác nhau đến đặc tính khí động học của ô tô, do vậy giá trị y^+ như trên có thể chấp nhận được.

Việc chia lưới được thực hiện trên máy tính với 20 nhân tính toán CPU và 16 GB RAM. Bốn trường hợp lưới phi cấu trúc được tạo ra trong phần mềm ANSYS Fluent và được biểu diễn như trên Hình 6.



Hình 6. Các loại lưới: (a) Lưới Tetrahedral; (b) Lưới Polyhedral; (c) Lưới Hexcore; (d) Lưới Poly-Hexcore

Các đặc điểm của quá trình chia lưới cho bốn loại lưới được biểu diễn trong Bảng 1. Các kết quả cho thấy, trong trường hợp sử dụng lưới đa diện (Polyhedral), số phần tử lưới tạo ra là ít nhất (8.523.087 phần tử); sử dụng lưới tứ diện (Tetrahedral), số phần tử lưới nhiều hơn gấp 4 lần (35.489.829 phần tử); sử dụng lưới Poly-Hexcore, số phần tử lưới ít hơn ~50% so với việc sử dụng lưới dạng Hexcore. Điều này là do lưới Poly-Hexcore sử dụng các phần tử lưới đa diện tại vùng chuyển tiếp, do vậy có thể giúp giảm được khoảng 60% số phần tử lưới so với việc sử dụng phần tử tứ diện tại vùng chuyển tiếp trong lưới Hexcore. Tương tự, các phần tử lưới lăng trụ trong vùng lớp biên của lưới Poly-Hexcore cũng ít hơn khoảng 40% so với lưới Hexcore.

Xét về mức độ sử dụng bộ nhớ RAM trong quá trình chia lưới, kết quả cho thấy, lưới Poly-Hexcore tiêu tốn ít bộ nhớ RAM nhất (13,08 GB), trong khi đó lưới tứ diện (Tetrahedral) là nhiều nhất (14,03 GB). Tuy nhiên, mức độ tiêu tốn RAM của bốn phương pháp chia lưới kể trên không có sự khác biệt quá lớn. Ngược lại, nếu xét về thời gian chia lưới, loại lưới Hexcore cần ít thời gian nhất (88,35 phút), nhanh hơn khoảng 20% so với lưới Poly-Hexcore. Điều này

là do việc tạo ra các phần tử lưới đa diện nhiều mặt tại vùng chuyển tiếp trong lưới Poly-Hexcore cần tiêu tốn nhiều thời gian hơn. Trong khi đó, hai loại lưới đa diện (Polyhedral) và lưới tứ diện (Tetrahedral) lại tiêu tốn nhiều thời gian chia lưới nhất, đặc biệt lưới Tetrahedral cần thời gian gấp khoảng ba lần so với lưới Hexcore (216,95 phút).

Bảng 1. So sánh quá trình chia lưới với các kiểu lưới khác nhau

Loại lưới	Số lõi CPU	Bộ nhớ RAM sử dụng (GB)	Thời gian chia lưới (phút)	Tổng số phần tử
Poly-Hexcore	20	13,08	106,75	9.351.069
Hexcore	20	13,20	88,35	19.446.950
Polyhedral	20	13,5	153,55	8.523.087
Tetrahedral	20	14,03	216,95	35.489.829

2.4. Thiết lập các thông số mô phỏng

Đặc tính khí động học của mô hình DrivAer Fastback với bốn trường hợp lưới phi cấu trúc khác nhau được mô phỏng thông qua bộ giải ANSYS Fluent 2021. Mô hình rối k - ω SST được sử dụng vì nó cân bằng được giữa độ chính xác của lời giải và thời gian tính toán. Mô hình rối này bổ sung thêm phương trình động năng rối k và tiêu tán rối ω để khép kín hệ phương trình [8].

Phương trình động năng rối k và tốc độ tiêu tán riêng ω có dạng như sau:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k + S_k \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + S_\omega + D_\omega \tag{2}$$

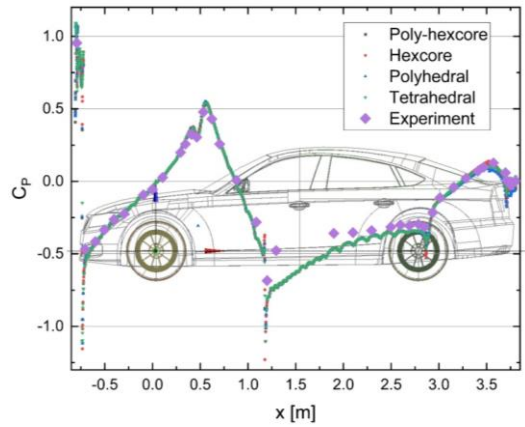
Trong đó, ρ, u_i lần lượt là khối lượng riêng và các thành phần vận tốc của không khí; G_k, Y_k là tốc độ hình thành và tiêu tán của động năng rối k, và ω; S_k là các số hạng nguồn; μ và μ_t lần lượt là hệ số nhớt động lực của chất lỏng và hệ số nhớt rối; σ_k là số Prantl rối.

3. Kết quả và bàn luận

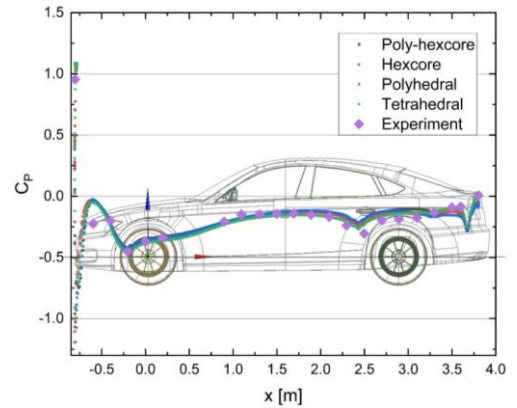
Mô hình rối k-ω SST được sử dụng ở chế độ dừng để mô phỏng dòng chảy qua ô tô. Giá trị vận tốc đầu vào được thiết lập là 16 m/s, dựa trên giá trị được sử dụng trong thực nghiệm tại tài liệu [6]. Điều này cho phép so sánh các kết quả đạt được từ mô phỏng trong nghiên cứu này với các kết quả thu được từ thực nghiệm trong tài liệu [6]. Hình 7 cho thấy phân bố hệ số áp suất C_p giữa bốn loại lưới và kết quả thực nghiệm được trích xuất từ tài liệu [6] tại mặt phẳng đối xứng của xe. Về cơ bản, sự phân bố hệ số áp suất C_p của bốn loại lưới là gần như tương đồng với nhau. So với kết quả thực nghiệm, hệ số áp suất C_p giữa mô phỏng và thực nghiệm có sự sai lệch đáng kể tại vị trí chuyển tiếp giữa nắp capot và kính chắn gió (Hình 7a). Trong khi đó, sự phân bố hệ số C_p ở mặt dưới thân xe gần như giống nhau giữa mô phỏng và thực nghiệm (Hình 7b).

Hình 8 biểu diễn hệ số cản C_D được xác định từ bốn trường hợp lưới khác nhau và được so sánh với kết quả thực

thực nghiệm từ tài liệu [6]. Kết quả chỉ ra rằng, trường hợp mô phỏng sử dụng lưới Poly-Hexcore cho hệ số cản gần khớp với giá trị thực nghiệm nhất. Trong khi đó, độ chênh lệch hệ số cản giữa mô phỏng và thực nghiệm khi sử dụng lưới Tetrahedral là lớn nhất.

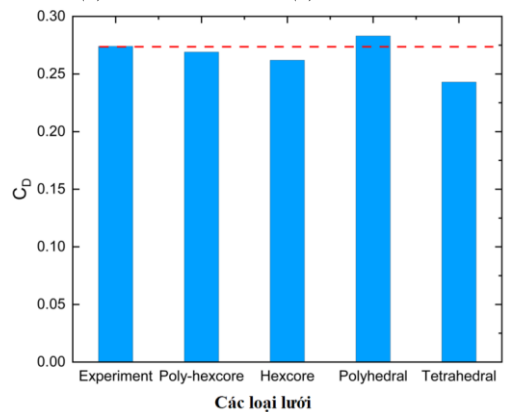


(a)



(b)

Hình 7. Phân bố hệ số áp suất C_p tại mặt phẳng đối xứng của ô tô: (a) mặt trên của ô tô; (b) mặt dưới của ô tô

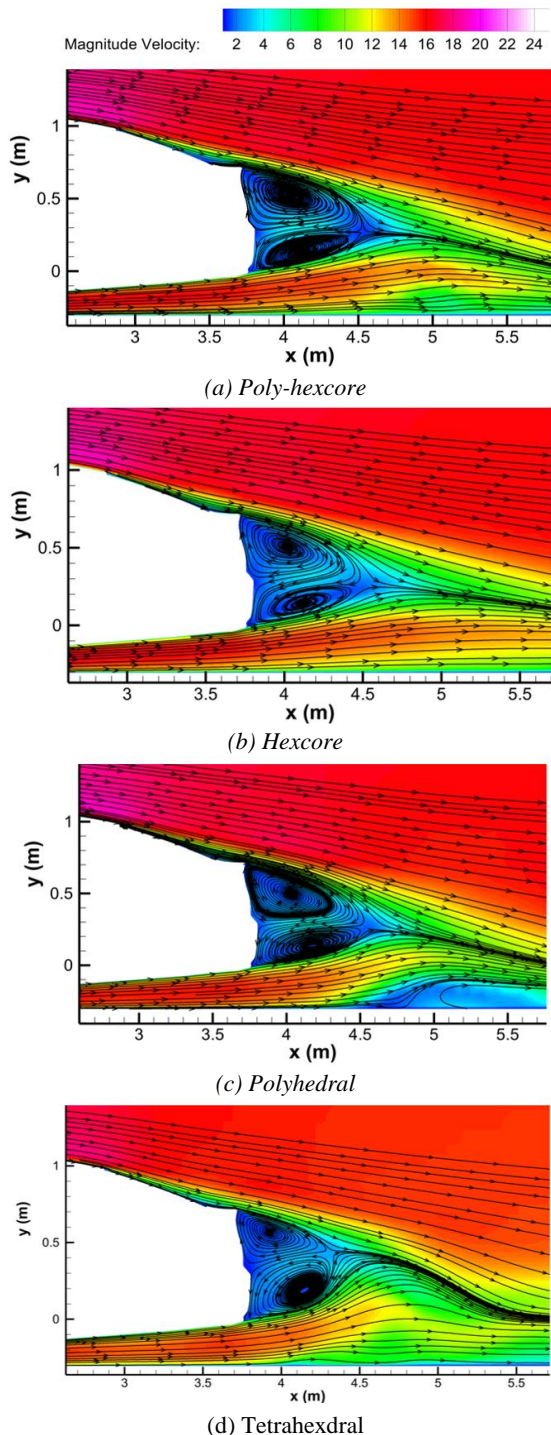


Hình 8. Hệ số cản C_D khi sử dụng các loại lưới khác nhau

Hình 9 biểu diễn phân bố vận tốc và đường dòng tại vùng vệt hút phía sau xe trong bốn trường hợp lưới khác nhau. Kết quả cho thấy, trong tất cả các trường hợp lưới, một cặp xoáy quay ngược chiều xuất hiện trong vùng vệt hút phía sau xe. Khi các loại lưới Poly-hexcore, Hexcore và Polyhedral được sử dụng, các xoáy này khá tương đồng với nhau. Trong đó, hai xoáy gần như đối xứng nhau, xoáy trên lớn hơn so với xoáy dưới (Hình 9a-c). Trong khi đó,

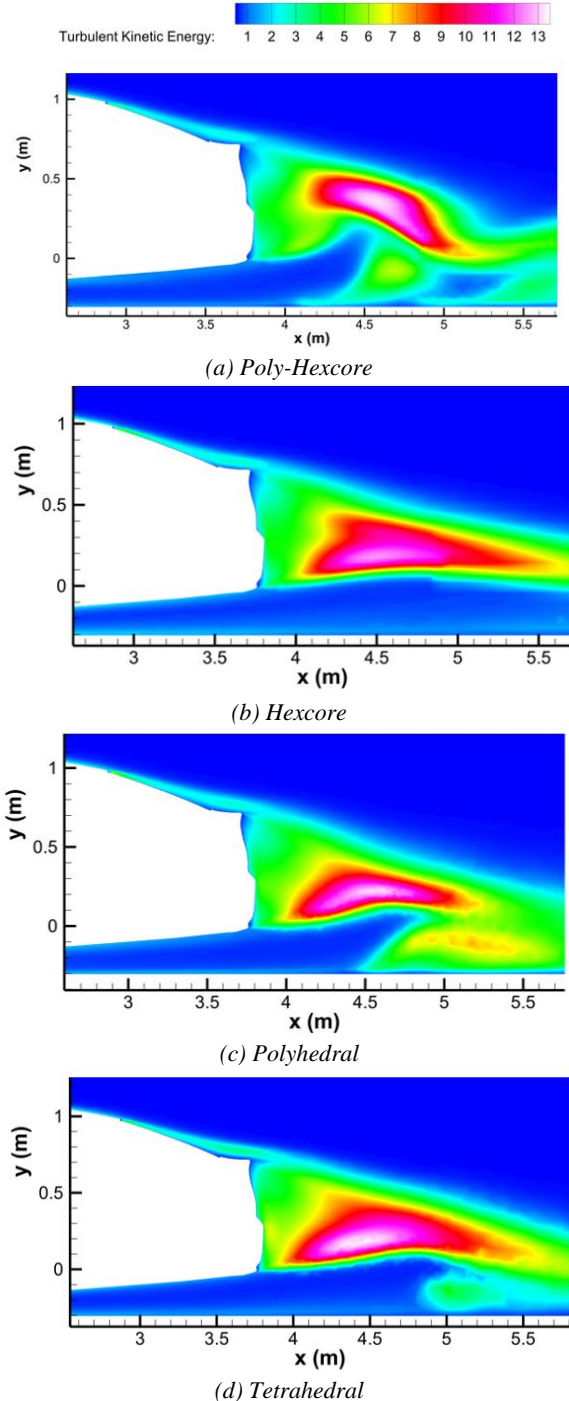
với trường hợp lưới Tetrahedral, xoáy dưới lớn hơn xoáy trên và có xu hướng dịch chuyển ra xa hơn so với mặt sau của xe. Chiều dài vệt hút trong trường hợp này cũng ngắn hơn so với các trường hợp lưới khác (Hình 9d). Điều này có thể là nguyên nhân dẫn đến hệ số cản khí động của xe trong trường hợp sử dụng lưới Tetrahedral thấp hơn đáng kể so với các trường hợp còn lại.

vùng động năng rối có cường độ lớn hình thành tại phần dưới trong vùng vệt hút khí sử dụng lưới Tetrahedral (Hình 10d). Điều này tương đương với một xoáy lớn tại vùng này (Hình 9d). Trong khi đó, sự phân bố động năng rối với lưới Poly-hexcore và Polyhedral khá tương đồng nhau (Hình 10a, 10c), cường độ của nó cũng giảm khi so sánh với hai trường hợp lưới còn lại (Hình 10b, 10d).



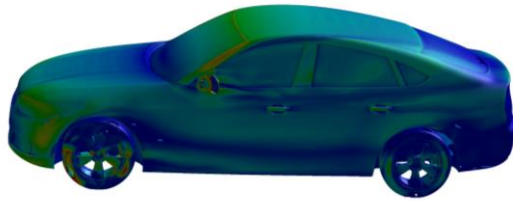
Hình 9. Cấu trúc vùng vệt hút phía sau xe *DrivAer Fastback* trong các trường hợp lưới khác nhau

Hình 10 biểu diễn động năng rối thu được trong vùng vệt hút phía sau xe trong bốn trường hợp lưới khác nhau. Cường độ của động năng rối liên quan đến việc hình thành các vùng xoáy bên trong vệt hút. Kết quả cho thấy, một

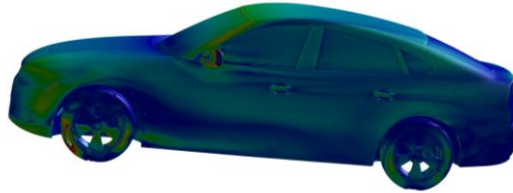


Hình 10. Phân bố động năng rối phía sau xe với các trường hợp lưới khác nhau

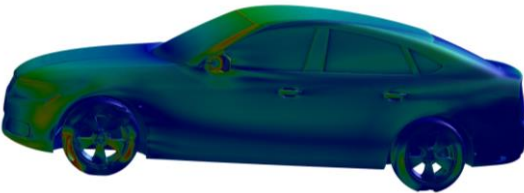
Cuối cùng, sự phân bố hệ số ma sát trên bề mặt xe *DrivAer* khi sử dụng bốn loại lưới khác nhau được biểu diễn trên Hình 11. Kết quả cho thấy không có sự khác nhau đáng kể về sự phân bố hệ số ma sát bề mặt trên xe khi mô phỏng với bốn loại lưới khác nhau.



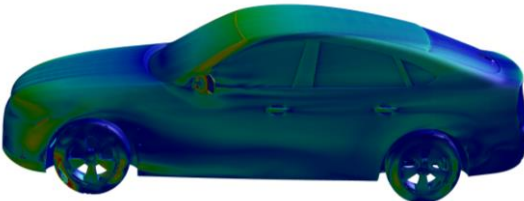
(a) Poly-hexcore



(b) Hexcore



(c) Polyhedral



(d) Tetrahedral

Hình 11. Phân bố hệ số ma sát bề mặt trên xe với các trường hợp lưới khác nhau

4. Kết luận

Bốn loại lưới phi cấu trúc là Poly-Hexcore, Hexcore, Polyhedral và Tetrahedral được sử dụng để đánh giá đặc tính khí động học của mô hình xe DrivAer Fastback. Các kết quả chia lưới và mô phỏng thông qua phần mềm ANSYS Fluent chỉ ra rằng, loại lưới Poly-Hexcore là phù hợp nhất, vì có thời gian chia lưới, dung lượng sử dụng RAM và số phần tử lưới tốt hơn khi so với các loại lưới còn lại. Hệ số cản C_D của mô hình xe khi sử dụng loại lưới này cũng gần với giá trị thu được từ thực nghiệm nhất. Việc phân tích trường dòng chảy tại vùng vệt hút phía sau xe cũng chỉ ra sự tương đồng giữa ba loại lưới Poly-Hexcore, Hexcore và Polyhedral. Trong khi đó, loại lưới Tetrahedral tiêu tốn nhiều tài nguyên chia lưới nhất, số lượng lưới tạo ra cũng lớn nhất và kết quả mô phỏng thu được chênh lệch khá lớn với kết quả thực nghiệm. Chính vì vậy, loại lưới này không phù hợp để sử dụng trong việc đánh giá đặc tính khí động học của ô tô.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Schuetz, *Aerodynamics of Road Vehicles*, SAE International, Warrendale, PA, 2016.
- [2] H. Versteeg, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*, 2nd edition, Pearson Publisher, 2008.
- [3] M. Lanfrit, *Best practice guidelines for handling automotive external aerodynamics with Fluent*, Fluent Inc, 2005.
- [4] M. Turner, “High-Order Mesh Generation For CFD Solvers”, PhD dissertation, Imperial College London, 2017.
- [5] K. Zone, B. Sasanupuri, G. Parkhi, and A. Varghese, “Ansys mosaic poly-hexcore mesh for high-lift aircraft configuration”, in *Proc. 21st Annual CFD Symposium*, Bangalore, 2019, pp. 1-12.
- [6] A. I. Heft, T. Indinger, and N. A. Adams, “Introduction of a New Realistic Generic Car Model for Aerodynamic Investigations”. *SAE Technical Paper*, 2012-01-0168, 2012. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0168>
- [7] Ansys, “Ansys Software”, Ansys, [Online]. Available: <https://www.ansys.com> [Accessed August 20, 2023].
- [8] F. R. Menter, “Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications” *AIAA*, vol 32, pp 1598 – 1605, 1994. <https://doi.org/10.2514/3.12149>