

Mô phỏng bảng quảng cáo tấm lớn bằng phần mềm Ansys Fluent

Simulate large billboards using Ansys Fluent

> **NGUYỄN LỆ THỦY, NGUYỄN HỒNG SƠN**

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Email: nlthuy.hau@gmail.com

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày việc xác định tác động của gió lên tấm bảng quảng cáo tấm lớn và hệ số cản khí động bằng phần mềm Ansys Fluent, thông qua kỹ thuật tính toán Động lực học chất lưu (CFD). Đồng thời, làm rõ ảnh hưởng của chất lượng chia lưới và kích thước vùng không gian mô phỏng, cũng như việc lựa chọn mô hình dòng rối và hàm tường đến giá trị hệ số cản khí động, từ đó làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo.

Từ khóa: Hệ số cản khí động; chất lượng lưới; mô hình dòng rối; Ansys Fluent

ABSTRACT:

This paper presents the determination of wind load on large billboards and aerodynamic drag coefficient using Ansys Fluent software through computational fluid dynamics (CFD). At the same time, it is necessary to clarify the influence of meshing quality and simulation space size, as well as the selection of turbulent flow and wall function models on the value of aerodynamic drag coefficient, thereby serving as a basis for further studies.

Keywords: Aerodynamic drag coefficient; mesh quality; turbulent flow model; Ansys Fluent

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc tính toán tải trọng gió lên kết cấu nói chung, tấm bảng quảng cáo nói riêng, cần có hệ số cản khí động (hệ số khí động hoặc hệ số lực). Các tiêu chuẩn ở các nước khác nhau quy định về hệ số cản khí động là khác nhau, chẳng hạn Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:1995 quy định ở sơ đồ 34 trong các Bảng 6.1, 6.2, 6.3 cho tấm bảng phụ thuộc vào tỷ lệ các cạnh của tấm bảng lấy tối thiểu $c = 2,1 \times 0,6 = 1,26$ (quy định k lấy từ 0,6 đến 0,95). Tiêu chuẩn châu Âu EN 1991-1-4, mục 7.4.3 Signboards lấy $C_f = 1,8$. Tiêu chuẩn ISO 4354:2009 (E), lấy $C_{fm} = 1,2$. Tiêu chuẩn Nhật Bản AIJ-2019, quy định cho hàng rào (fence), lấy $C_{p,n} = 1,2$; Tiêu chuẩn Trung Quốc GB 50009-2012, quy định ở mục 34 của Bảng 8.3.1 cho hàng rào (independent and fencing wall), lấy $\mu_s = 1,3$. Tiêu chuẩn Hoa Kỳ ASCE 7-10, quy định cho trường hợp A ở Hình 29.4-1 cho đèn tín hiệu hoặc hàng rào (solid sign or freestanding wall), lấy $C_f = 1,3$. Tiêu chuẩn Ấn Độ IS 875(Part 3):2015, không thấy quy định, nhưng

khi xem Ví dụ 21 ở tài liệu này, thấy $C_f = 1,2$. Tiêu chuẩn Úc và New Zealand AS/NZS 1170.2:2011 cho giá trị $C_{p,n}$ phụ thuộc vào tỷ lệ các cạnh của tấm bảng và chiều cao đặt tấm bảng (tối thiểu là 1,3 với tấm bảng thông thường). Như vậy, các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau sẽ cho giá trị hệ số khí động khác nhau.

Bên cạnh đó, khi gió hướng vào bề mặt tấm bảng quảng cáo, các kỹ sư Việt Nam thường tính toán hợp lực của tác động gió lên tấm bảng đặt tại trọng tâm hình học của tấm bảng. Tuy nhiên, các tiêu chuẩn của châu Âu, Hoa Kỳ thì có quy định rằng hợp lực của tác động gió đặt lệch tâm so với trọng tâm hình học của tấm bảng, chẳng hạn với tấm bảng quảng cáo có bề mặt đón gió hình chữ nhật, vị trí hợp lực cách tâm bảng quảng cáo là $0,2b$ hoặc $0,5L_2(1,5L_2)$ theo ASCE 7-10 hoặc $\pm 0,25b$ theo EN 1991-1-4, với b là chiều dài tấm bảng, L_2 là chiều cao tấm bảng.

Để có số liệu chính xác hơn dùng trong thiết kế, các nghiên cứu gần đây ở trong và ngoài nước về việc xác định hệ số lực cũng đã được tiến hành, nhưng phổ biến là thông qua việc thử nghiệm khí động trong hầm gió hoặc mô phỏng trong các phần mềm. Theo đó, tải trọng gió xác định dựa trên các giá trị đo được của hệ số áp suất từ các thử nghiệm hầm gió lớp biên cho các hình dạng và kiểu bảng quảng cáo khác nhau đã được xử lý, ví dụ bảng quảng cáo ba mặt hoặc hai mặt không song song. Một số hình dạng của các bảng quảng cáo không được liệt kê trong các tiêu chuẩn này, và dữ liệu thiết kế bị bỏ sót cần được thực hiện thông qua các thử nghiệm trong hầm gió. Tuy nhiên, các thử nghiệm trong hầm gió sẽ rất tốn kém và tốn nhiều công sức, thậm chí khó có thể tiếp cận được đối với phần lớn các kỹ sư, đồng thời rất khó để mô phỏng số Reynolds ở quy mô đầy đủ bằng thực nghiệm. Việc mô phỏng số tải trọng gió có lợi hơn so với việc sử dụng các mô hình tỷ lệ trong các thí nghiệm lớp biên. Để dàng mô phỏng bất kỳ số Reynolds nào, thay đổi các điều kiện biên và thực hiện nghiên cứu tham số. Do đó, mô phỏng số các vấn đề về gió sẽ bao phủ khoảng trống lớn tiềm ẩn của dữ liệu gió thiết kế và mở rộng các quy tắc thực hành cho bất kỳ hình dạng hình học nào của kết cấu.

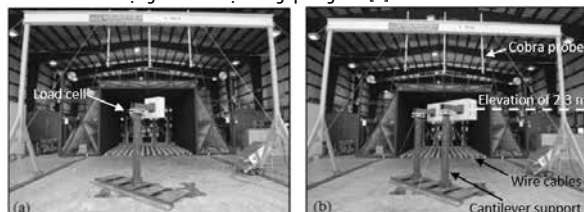
Xác định hệ số cản khí động (hệ số lực) khi gió thổi thẳng góc với mặt bảng quảng cáo, việc xác định trường dòng chảy và phân bố áp lực gió của các bảng quảng cáo là một trong những mục tiêu chính của một số nghiên cứu thử nghiệm.

Đã có các thí nghiệm trong hầm gió đối với bảng quảng cáo để xác định trường dòng chảy bề mặt và hệ số áp suất trung bình. Một bảng chỉ dẫn giao thông đơn lẻ với các tỉ lệ kích thước ba chiều và hướng gió theo các góc khác nhau đặt trên cùng độ cao được thử nghiệm bởi Meyer và cộng sự [1] để xác định hệ số cản khí động. C.W. Letchford [2], đã kiểm tra sự thay đổi hệ số cản khí động của bảng quảng cáo mỏng khi đặt ở các độ cao khác nhau.

Paraschiv A.A, Gavrilescu .I [3] cũng đã nghiên cứu phân bố hệ số cản khí động lên bề mặt tấm bảng quảng cáo ba mặt.

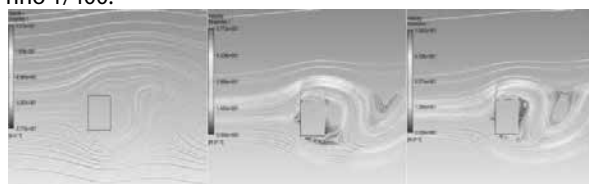


Hình 1. Gió tác động lên các mặt bảng quảng cáo [3]



Hình 2. Thí nghiệm gió tác động lên mặt bảng quảng cáo [1]

Freydoon R, Sayed Y.H.A (2018) [7], đã nghiên cứu áp lực gió lên kết cấu bao che nhà cao tầng bằng ANSYS thông qua mô hình thu nhỏ dài×rộng×cao = 0,1×0,1×0,75 m, tương ứng với nhà có kích thước mặt bằng dài×rộng×cao = 40×40×300 m, tức là với tỷ lệ thu nhỏ 1/400.



Hình 3. Mật bằng gió tác động lên bao che nhà cao tầng [4]

Theo đó, hướng nghiên cứu về tác động của gió lên kết cấu tấm bảng quảng cáo bằng phần mềm thương mại cũng là hướng nghiên cứu tốt, giảm được chi phí nghiên cứu và dễ dàng tiếp cận đối với đa số nhà nghiên cứu.

2. MÔ PHỎNG SỐ BẰNG PHẦN MỀM ANSYS FLUENT

2.1 Giới thiệu về phần mềm

Ansys Fluent là phần mềm tính toán động lực học chất lưu (Computational Fluid Dynamics - CFD) có khả năng mô hình hóa một cách rộng rãi các đặc tính vật lý cho mô hình dòng chảy chất lưu, rối, và trao đổi nhiệt. Do đó phần mềm Ansys Fluent được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về khí động của bảng quảng cáo với yêu cầu độ chính xác cao. Fluent thực hiện mô phỏng và tính toán bằng phương pháp thể tích hữu hạn dựa trên các phương trình bảo toàn khối lượng, phương trình bảo toàn động lượng và phương trình bảo toàn năng lượng. Để thực hiện tính toán trong Fluent cần thực hiện các trình tự sau:

- Xây dựng mô hình hình học;
- Xác định vùng không gian mô phỏng;
- Tạo lưới (rời rạc hóa vùng không gian tính toán);
- Lựa chọn mô hình dòng rối;
- Thiết lập thuật giải;
- Chạy chương trình mô phỏng;
- Xử lý kết quả.

Thấy rằng, vào những năm 1922, Lewis Fry Richardson (1881-1953) đã đặt nền móng đầu tiên cho CFD. Tuy nhiên, mãi đến năm 1967 thì những mô hình CFD 3 chiều (3D) đầu tiên cho mô phỏng cánh máy bay mới được công bố. Kể từ đó CFD được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu của NASA và Boeing. Nền móng cơ bản của hầu hết các vấn đề CFD đó là phương trình Navier-Stokes vốn dùng để định nghĩa các dòng chảy đơn pha (khí hoặc lỏng, nhưng không đồng thời khí và lỏng). Từ nền móng đó, bằng việc giả sử

đơn giản hóa các thành phần của phương trình Navier-Stokes ta có các phương trình khác như phương trình Euler, dòng Stokes, dòng Fanno, dòng Rayleigh, v.v. Hoặc ngược lại, bằng việc bổ sung các khái niệm như “nhiệt độ hạt” – năng lượng dao động của hạt rắn (*granular temperature – solids fluctuating energy*) thì các hệ đa pha khí-rắn được giải gần giống như dòng liên tục.

Cho đến ngày nay, các vấn đề cơ bản của CFD nếu phân loại theo dạng mô hình toán học thì bao gồm (1) Các dòng chảy cơ bản và dòng chảy rối bên trong và ngoài vật thể, (2) Dòng phản ứng đốt cháy, (3) Dòng nén được, (4) Truyền nhiệt, (5) Dòng đa pha có hạt phân tán trong pha liên tục, (6) Dòng đa pha liên tục và bề mặt phân riêng pha, (7) Tương tác qua lại giữa dòng chảy và vật thể chịu tác động, (8) Dòng đa cấu tử, và (9) Tương tác giữa động lực học dòng chảy và chuyển động phân tử hoặc từ trường.

2.2 Ứng dụng của phần mềm

Thấy rằng, các ứng dụng thực tiễn của mô phỏng CFD là khá rộng, thật khó để tìm các lĩnh vực công nghiệp mà không có sự góp mặt của mô phỏng CFD. Ứng dụng phổ biến nhất của mô phỏng CFD trong các ngành công nghiệp có thể phân loại thành các nhóm như sau:

- Công nghiệp hàng không và vũ trụ: Đây là một trong những ngành công nghiệp đầu tiên ứng dụng mô phỏng CFD. Một trong những ứng dụng nổi bật đó là dùng mô phỏng để tối ưu biên dạng cánh năng (*airfoil*).

- Công nghiệp sản xuất ô tô: Từ việc mô phỏng phản ứng đốt cháy trong động cơ đến mô phỏng lực cản tại vỏ xe, CFD đóng góp một phần rất lớn trong nghiên cứu và phát triển của các hãng xe nổi tiếng như: Mercedes, Tesla, hay BMW.

- Công nghiệp xây dựng: Mô phỏng đánh giá các chỉ số tiện nghi trong và ngoài tòa nhà. Mô phỏng và tối ưu hóa hệ thống sưởi ấm (*heating*), thông gió (*ventilation*), và điều hòa không khí (*air conditioning*) - HVAC, và hệ thống làm lạnh.

- Hệ thống công nghiệp hóa chất và dầu khí: Mô phỏng thiết bị phản ứng (khuấy trộn CSTR, tầng sôi, cột sủi bọt - *bubble column*, v.v), tháp chưng cất, tháp hấp thụ, hệ thống ống nối, hay hệ thống nổi hơi tận dụng nhiệt.

- Thiết bị công nghiệp: Bơm, quạt, máy nén, tua bin, và các thiết bị phân tách ly tâm (*cyclone*), phân tách pha, trao đổi nhiệt.

- Công nghệ y sinh và dược phẩm: Thiết kế các thiết bị vi dòng chảy (*microfluidics*), vi khuấy trộn (*micromixing*), mô phỏng dòng chảy trong mạch máu.

- Thời tiết và khí hậu: Mô hình phỏng đoán thời tiết và thiên tai.

- Hàng hải và đóng tàu: Mô hình tương tác giữa sóng và ứng suất vỏ tàu, mô hình phỏng đoán lực cản vỏ tàu.

Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ đánh giá ảnh hưởng của chất lượng lưới, mô hình dòng rối đến kết quả tính toán hệ số cản khí động đối với tấm bảng quảng cáo tấm lớn với mô hình thu nhỏ bằng phần mềm Ansys Fluent.

2.3 Quy trình mô phỏng CFD

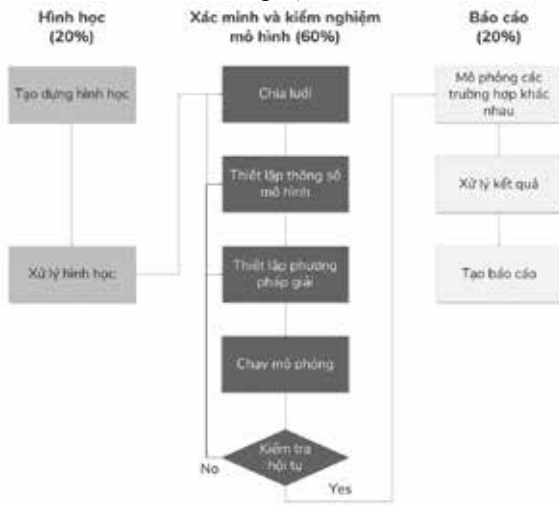
Tuy chưa có bất cứ tiêu chuẩn nào rõ ràng cho các quy trình mô phỏng CFD nhưng căn cứ vào kinh nghiệm và các tài liệu nội bộ của phòng thí nghiệm Los Alamos (USA), thì quy trình mô phỏng CFD có thể được chia ra hai loại chính:

a) Quy trình cơ bản cho người dùng:

Nhằm giúp cho người dùng dễ dàng làm theo các tác vụ của việc mô phỏng CFD, quy trình cơ bản của mô phỏng CFD chia ra làm các bước: (1) Tạo hình học, (2) Đơn giản hóa hình học, (3) Rời rạc hóa miền tính toán - được gọi là quá trình chia lưới, (4) Thiết lập thông số mô hình, (5) Chạy mô phỏng, (6) Kiểm tra tính hội tụ của phương pháp số, (7) Mô phỏng cho các trường hợp khác nhau, (8) Phân tích kết quả mô phỏng, và (9) Tạo báo cáo.

b) Quy trình nâng cao cho các kỹ sư:

Quy trình này được kết hợp bởi các quy trình cơ bản và thêm vào đó là quy trình đánh giá (assessment) mô hình CFD bao gồm: Kiểm tra (verification) và Kiểm nghiệm (validation).



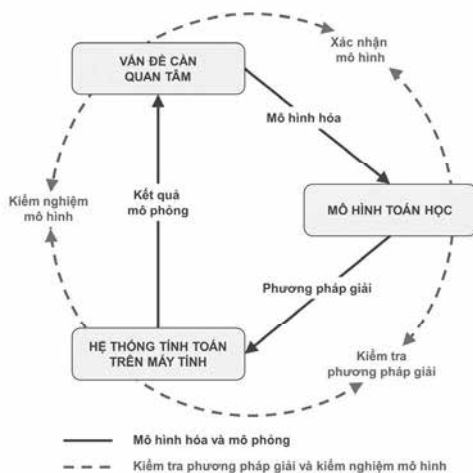
Hình 4. Quy trình cơ bản cho người sử dụng mô phỏng CFD

- Quy trình kiểm tra (verification) mô hình CFD:

Bản chất của các mô hình đều dựa vào các phương trình toán học (mathematical model), nhưng việc giải các mô hình trên máy tính lại bằng các phương pháp số (numerical method). Mục đích của quy trình kiểm tra mô hình CFD nhằm giảm thiểu các sai số do phương pháp số gây ra. Trong CFD thì kiểm tra mô hình CFD ám chỉ việc: (1) Kiểm nghiệm lưới (mesh-independent test), (2) Sàng lọc lỗi trong các thuật toán (bugs), và (3) Phương pháp tính (numerical scheme). Chi tiết của quy trình kiểm tra mô hình sẽ được mô tả chi tiết trong các bài viết sau này.

- Quy trình kiểm nghiệm (validation) mô hình CFD:

Nhằm mục đích so sánh kết quả từ mô hình CFD và kết quả đo đạc thực tế, quy trình kiểm nghiệm được sử dụng trong hầu hết các bước phát triển mô hình. Quy mô của kiểm nghiệm mô hình CFD có thể là: (1) Kiểm nghiệm một phần hệ thống trong điều kiện giới hạn tại điều kiện phòng thí nghiệm, (2) Kiểm nghiệm toàn bộ hệ thống trong điều kiện thực tế, (3) Kiểm nghiệm nhiều thông số khác nhau trong các dải điều kiện làm việc khác nhau, hoặc (4) Kiểm nghiệm thời gian thực. Quy mô càng toàn diện và càng nhiều thông số được kiểm nghiệm thì mức độ tin cậy của mô hình càng lớn.



Hình 5. Tóm lược về quy trình kiểm tra (verification) và kiểm nghiệm (validation) CFD

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

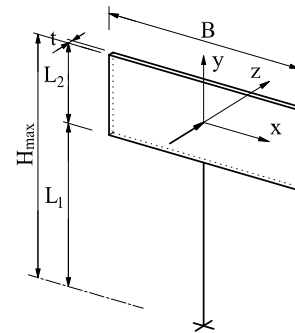
3.1 Bài toán mô phỏng

Ví dụ này nhằm kiểm chứng kết quả tính toán bằng phần mềm Ansys Fluent so với kết quả thí nghiệm để cập trong tài liệu [1]. Kiểm chứng thông qua mô phỏng tác động của gió lên tấm bảng quảng cáo với các kích thước thu nhỏ, kích thước $B \times L_2 \times t = 1,8 \times 0,6 \times 0,06$ m được đặt ở độ cao so với mặt đất $L_1 = 2,00$ m [1] (mô hình 3D như ở Hình 6).

- Thông số của gió, vận tốc gió phân bố đều theo chiều cao $V_0 = 40$ m/s, tỷ trọng không khí $1,225$ kg/m³.

Yêu cầu của bài toán:

- Đánh giá ảnh hưởng của kích thước không gian chia lưới và chất lượng chia lưới đến sự hội tụ và kết quả;
- Lựa chọn mô hình dòng rối và hàm tường thông qua kết quả hệ số khí động (so sánh với kết quả thực nghiệm trong tài liệu [1]);
- Tính toán nội lực chân cột (mô men, lực đẩy) và độ lệch tâm của lực gió.



Hình 6. Mô hình kích thước bằng quảng cáo

3.2 Xây dựng mô hình 3D

Khi thực hiện mô phỏng, để phù hợp với khả năng tính toán của máy tính nhưng vẫn đảm bảo được tính đúng đắn, độ tin cậy và sự tương thích của bài toán nghiên cứu với thực tiễn, bài báo sử dụng các giả thiết sau:

- Mô hình tấm bảng quảng cáo là tuyệt đối cứng, không xảy ra sự biến dạng của tấm bảng quảng cáo trong suốt quá trình mô phỏng.

- Bề mặt tấm bảng quảng cáo là bề mặt nhẵn, được bọc phẳng (không xét đến các yếu tố khác của bảng như: dầm đỡ, cột chống đỡ...).

3.3 Đánh giá ảnh hưởng của chất lượng chia lưới

Chia lưới thực chất là việc rời rạc hóa vùng không gian mô phỏng thành các phần tử để thực hiện việc tính toán gần đúng bằng phương pháp số (trong Fluent là phương pháp thể tích hữu hạn). Việc chọn kiểu lưới, số lượng phần tử, kích thước lưới, mật độ lưới phụ thuộc vào các yếu tố sau: tính chất của bài toán mô phỏng, độ chính xác cần thiết của kết quả mô phỏng, cấu hình máy tính hiện có và thời gian để thực hiện mô phỏng bài toán.

a) Kiểu lưới

Với mô hình 3D hiện nay, các dạng phần tử cơ bản đang được sử dụng để hình thành nên lưới để phục vụ mô phỏng là phần tử dạng tứ diện (tetrahedral), phần tử dạng lăng trụ (prisms), phần tử dạng kim tự tháp (pyramids), phần tử dạng lục diện (hexahedral) và phần tử dạng đa diện, trong đó dạng lưới lăng trụ, lưới kim tự tháp là một dạng lưới chuyển tiếp giữa hai dạng lưới cơ bản là lưới tứ diện và lưới lục diện [3].

Lưới tứ diện có ưu điểm so với lưới lục diện là khả năng đáp ứng đối với các mô hình có cấu trúc phức tạp phù hợp với mô hình 3D của bảng quảng cáo cỡ lớn. Vì vậy, trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng kiểu lưới tứ diện trong quá trình mô phỏng.

b) Chỉ tiêu đánh giá độ hội tụ

Chất lượng lưới ảnh hưởng rất lớn đến sự hội tụ cũng như độ chính xác của bài toán mô phỏng. Để đánh giá chất lượng lưới theo phương pháp thể tích hữu hạn trong Fluent đưa ra các chỉ số: Element Quality, Aspect Ration, Jacobian Ratio (MAPDL), Jacobian Ratio (Corner Nodes), Jacobian Ratio (Gaus Points), Warping Factor, Parallel Deviation, Maximum Corner Angle, Skewness, Orthogonal Quality, Characteristic Length. Tuy nhiên, phần mềm Fluent quan tâm nhiều nhất đến 2 chỉ số là: Orthogonal Quality và Skewness.

Chỉ số Orthogonal Quality đánh giá độ lệch của phần tử lưới với phần tử tiêu chuẩn. Chỉ số Skewness đánh giá độ lệch góc của phần tử lưới so với phần tử tiêu chuẩn. Phổ giá trị của chỉ số Orthogonal Quality và Skewness theo hướng dẫn của Ansys Fluent được minh họa trên Hình 7.

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Hình 7. Phổ giá trị đánh giá chỉ số Orthogonal Quality và Skewness

Để đảm bảo yêu cầu hội tụ của bài toán mô phỏng, Fluent khuyến cáo người sử dụng chia lưới theo yêu cầu: Min Orthogonal Quality > 0,1 và Max Skewness < 0,95 [4].

Trong quá trình mô phỏng của bài báo, các kết quả về chỉ số đánh giá độ hội tụ được trình bày trong Bảng 1.

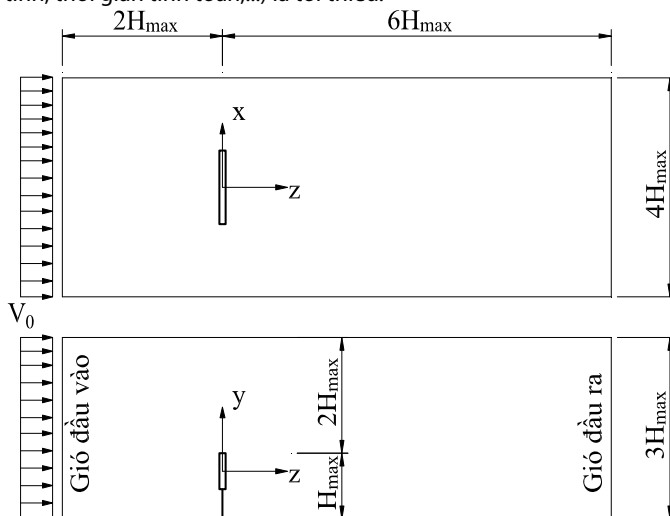
Bảng 1. Chỉ số Skewness và Orthogonal Quality trong quá trình mô phỏng

Parameters	Min	Max	Average
Skewness	9,00e-5	0,80	0,26
Orthogonal quality	0,23	1,00	0,84

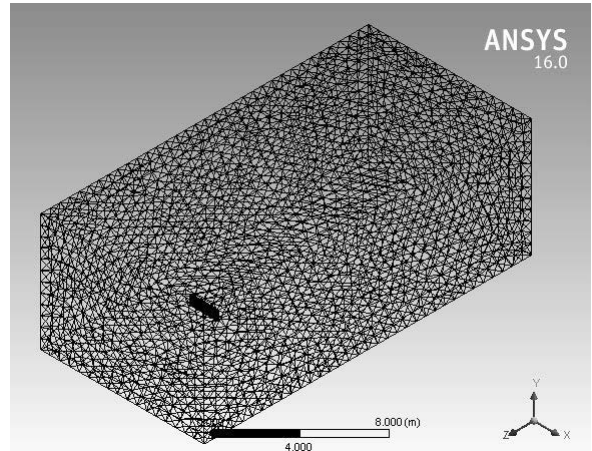
Với kết quả như Bảng 1 thỏa mãn khuyến cáo của Fluent. Do đó quá trình mô phỏng trong bài báo này luôn hội tụ.

c) Không gian chia lưới

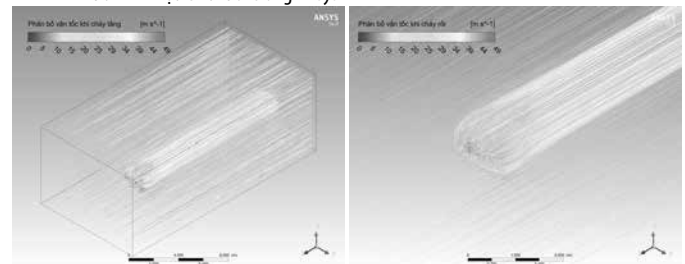
Vùng không gian chia lưới là không gian bao quanh vật thể, được giới hạn trong quá trình mô phỏng (Hình 8). Việc lựa chọn các kích thước của vùng không gian này được thực hiện sao cho bài toán mô phỏng sát với điều kiện vận hành thực tế nhằm đạt được kết quả có độ chính xác và độ tin cậy cao đồng thời khối lượng tính toán (như cấu về dung lượng bộ nhớ, cấu hình máy tính, thời gian tính toán,...) là tối thiểu.



Hình 8. Vùng không gian tính toán trong Ansys



Hình 9. Minh họa chia lưới trong Ansys



Hình 10. Phân bố vận tốc chảy tầng và chảy rối trong vùng không gian tính toán trong Ansys

Trong tự nhiên, không khí chuyển động quanh vật thể đứng yên hoặc vật thể chuyển động và đương nhiên, vùng không gian quanh vật thể đó sẽ có giới hạn ở vô cùng (hay nói cách khác là không có giới hạn). Khi mô phỏng trên máy tính, không thể lựa chọn một vùng không gian có giới hạn ở vô cùng để thực hiện tính toán vì sẽ không có máy tính nào đủ mạnh để có thể thực hiện được điều này.

Trên thực tế, vùng không khí bao quanh vật thể chịu sự nhiễu động với các vùng chảy rối, vùng chảy tầng,... phân bố một cách ngẫu nhiên. Nhưng càng xa vật thể thì không khí chuyển động càng ổn định hơn và đến một khoảng cách nào đó đủ lớn thì có thể xem như dòng chuyển động của không khí là dòng chảy tầng và không chịu ảnh hưởng của vật thể cũng như chuyển động của nó. Đây chính là cơ sở để xác định kích thước của vùng không gian mô phỏng. Nghĩa là, vùng không gian mô phỏng được giới hạn bởi các mặt phẳng mà ở đó dòng chảy không khí là dòng chảy tầng và không chịu ảnh hưởng của vật thể cũng như chuyển động của nó [5].

Để đánh giá mức độ phù hợp của việc lựa chọn vùng không gian mô phỏng Fluent đưa ra tiêu chí cụ thể là: trong quá trình chạy mô hình để giải bài toán không có hiện tượng dòng chảy ngược, tức là dòng vào vùng không gian mô phỏng - inlet bị xoáy ngược ra hoặc dòng ra khỏi vùng không gian mô phỏng.

Bảng 2. Kích thước các vùng không gian mô phỏng

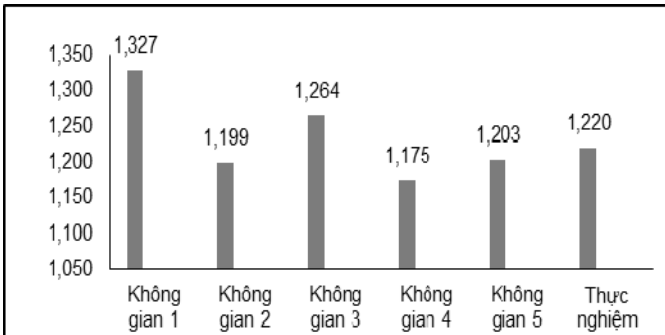
TT	Dài (m)	Rộng (m)	Cao (m)
Không gian 1	10,46	5,20	4,90
Không gian 2	20,86	10,40	7,50
Không gian 3	31,26	15,60	10,10
Không gian 4	41,66	20,80	12,70
Không gian 5	52,06	26,00	15,30

Trong bài báo này sử dụng vùng không gian mô phỏng có dạng hình hộp chữ nhật với các kích thước khác nhau như Bảng 2

để mô phỏng. Nhóm tác giả tính toán hệ số cản khí động trong 5 vùng không gian chia lưới khác nhau (xét trong cùng điều kiện mô hình dòng rối, thiết lập thuật giải). Kết quả tính toán được so sánh với kết quả thực nghiệm của Meyer et al. (được thực hiện trong ống khí động) [1], kết quả ghi ở Bảng 3.

Bảng 3. Kích thước các vùng không gian mô phỏng (TL 1/10)

TT	Dài (m)	Rộng (m)	Cao (m)	C _x	Sai khác (%)
Không gian 1	10,46	5,20	4,90	1,327	8,8
Không gian 2	20,86	10,40	7,50	1,199	-1,7
Không gian 3	31,26	15,60	10,10	1,264	3,6
Không gian 4	41,66	20,80	12,70	1,175	-3,6
Không gian 5	52,06	26,00	15,30	1,203	-1,4



Hình 11. Hệ số cản khí động trong các vùng không gian mô phỏng khác nhau

Từ đồ thị ở Hình 11 và số liệu ở Bảng 3 cho thấy vùng không gian chia lưới càng lớn, chất lượng lưới càng “mịn” thì kết quả càng chính xác. Với các vùng không gian đủ lớn (vùng không gian số 2, 3, 4, 5) thì sai khác giữa kết quả mô phỏng bằng phần mềm và kết quả thực nghiệm nhỏ hơn 4%. Với vùng không gian nhỏ nhất (vùng không gian số 1) thì sai khác giữa kết quả mô phỏng bằng phần mềm và kết quả thực nghiệm xấp xỉ 9%. Do vậy, với các tính toán khí động học yêu cầu độ chính xác không quá cao (sai lệch so với kết quả thí nghiệm < 5%) và cần thời gian tính toán thì nên lựa chọn vùng không gian số 2.

3.4 Lựa chọn mô hình dòng rối và hàm tường

Trong nghiên cứu khí động học bằng quang cầu, để mô tả dòng chảy không khí bao quanh bằng quang cầu các nhà nghiên cứu sử dụng phương trình Navier - Stoke. Với vận tốc dòng khí không lớn (hệ số M < 0,3) nên có thể coi dòng khí chảy xung quanh quang cầu là dòng không nén, khi đó ta có hệ phương trình vi phân sau:

$$\begin{cases} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \\ \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\rho \partial x_i} + \frac{\partial^2 u_i}{\text{Re} \cdot (\partial x_j)^2} + f_i \end{cases} \quad (1)$$

trong đó: u , p , t và Re tương ứng biểu thị vận tốc, áp suất, thời gian và số Reynolds.

Có thể nhận thấy rằng, hệ trên gồm 4 phương trình vi phân đạo hàm riêng với 4 ẩn: áp suất p và 3 thành phần vận tốc theo 3 phương (u , v , w). Về nguyên tắc, đây là bài toán khép kín vì hệ có 4 phương trình và 4 ẩn số. Tuy nhiên, cho đến nay hệ phương trình này vẫn chưa có lời giải lý thuyết đầy đủ và các nhà nghiên cứu vẫn phải sử dụng các phương pháp và công cụ gần đúng để tính toán dòng khí động bao quanh quang cầu.

Khó khăn chính của bài toán khí động học bằng quang cầu là việc giải hệ phương trình vi phân đạo hàm riêng. Tuy nhiên, trong

thực tế vấn đề còn phức tạp hơn nữa do dòng chảy không khí bao quanh quang cầu là dòng rối. Trong điều kiện này, các thông số của dòng chảy (u, v, w và p) tại một điểm bất kì trong không gian biến thiên liên tục theo thời gian. Mức độ phức tạp của bài toán phụ thuộc vào kích thước của dòng rối, thời gian tồn tại và tốc độ biến thiên của các thông số của nó. Để giải quyết các vấn đề trên, trong phần mềm Fluent sử dụng mô hình gần đúng để mô tả các dòng rối này.

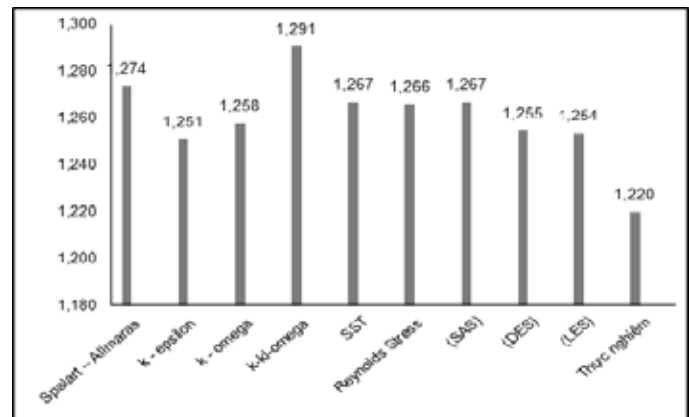
Các mô hình dòng rối được sử dụng trong Fluent bao gồm:

- Spalart – Allmaras (1 eqn);
- k - epsilon (2 eqn);
- k - omega (2 eqn);
- Transition k-kl-omega (3eqn);
- Transition SST (4 eqn);
- Reynolds Stress (7 eqn);
- Scale - Adaptive Simulation (SAS);
- Detached Eddy Simulation (DES);
- Large Eddy Simulation (LES).

Kết quả hệ số cản của 9 mô hình dòng rối và kết quả thực nghiệm (giá trị thực nghiệm là 1,22) được ghi ở Bảng 4, minh họa kết quả ghi ở Hình 12.

Bảng 4. Hệ số cản theo các mô hình dòng rối

Mô hình dòng rối	Hệ số khí động	Sai số (%)
- Spalart – Allmaras (1 eqn)	1,274	4,4
- k - epsilon (2 eqn)	1,251	2,5
- k - omega (2 eqn);	1,258	3,1
- Transition k-kl-omega (3eqn)	1,291	5,8
- Transition SST (4 eqn)	1,267	3,8
- Reynolds Stress (7 eqn)	1,266	3,8
- Scale - Adaptive Simulation (SAS)	1,267	3,8
- Detached Eddy Simulation (DES)	1,255	2,9
- Large Eddy Simulation (LES)	1,254	2,8

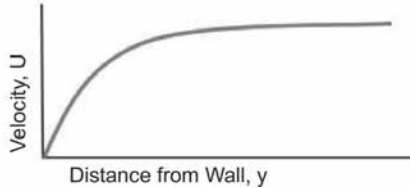


Hình 12. Hệ số cản theo các mô hình dòng rối

Từ đồ thị Hình 12 và số liệu ở Bảng 4 cho thấy việc lựa chọn mô hình dòng rối ảnh hưởng đáng kể đến giá trị của hệ số cản khí động (sai khác so với giá trị thực nghiệm từ 2,5% đến 5,8%). Mô hình dòng rối k - epsilon có kết quả phù hợp nhất với kết quả thí nghiệm (sai khác nhỏ hơn 3%). Các mô hình dòng rối còn lại có sự sai khác đáng kể với kết quả thực nghiệm (sai khác từ 3,1 đến

5,8%). Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu đã công bố về khí động học trên bảng quảng cáo [6, 7].

Trong quá trình gió thổi vào bảng quảng cáo, giá trị vận tốc tại bề mặt bảng quảng cáo bằng 0. Càng gần bề mặt bảng quảng cáo, giá trị vận tốc thay đổi càng nhanh như Hình 13.



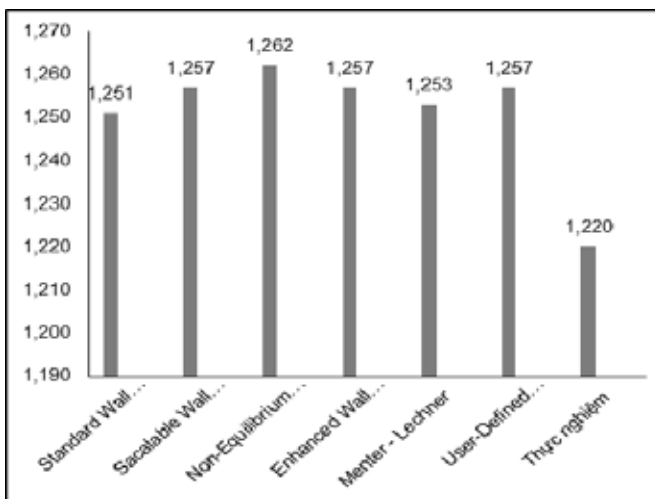
Hình 13. Giá trị vận tốc theo khoảng cách đến lớp biên

Để có thể mô tả chính xác giá trị vận tốc tại vị trí gần lớp biên, cách đơn giản nhất là chia lưới thật mịn tại các vị trí này. Tuy nhiên, khi chia lưới rất mịn như vậy sẽ làm tăng khối lượng tính toán cũng như thời gian tính toán. Để giảm khối lượng tính toán mà vẫn đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu, các mô hình dòng rối trong Fluent sử dụng các mô tả "hàm tường". Các hàm tường này sẽ mô tả gần đúng giá trị vận tốc tại các vị trí gần lớp biên nhưng số lượng lưới giảm đi rất nhiều

Bảng 5. Hệ số cản theo các mô tả hàm tường

Hàm tường	Hệ số khí động	Sai số (%)
Standard Wall Functions	1,251	2,5
Sacalable Wall Functions	1,257	3,0
Non-Equilibrium Wall Functions	1,262	3,4
Enhanced Wall Treatment	1,257	3,0
MenterLechner	1,253	2,7
User-Defned Wall Functions	1,257	3,0

Trong mô hình dòng rối k - epsilon (2 eqn) của Fluent cung cấp 6 cách mô tả "hàm tường" là Standard Wall Functions, Sacalable Wall Functions, Non-Equilibrium Wall Functions, Enhanced Wall Treatment, Menter - Lechner, User-Defined Wall Functions (như ở Bảng 5). Chênh lệch kết quả tính toán hệ số cản ứng với các mô hình hàm tường so với kết quả thí nghiệm ghi ở Hình 14. Trong bài báo này, nhóm tác giả tính toán hệ số cản theo mô hình dòng rối k-epsilon theo cả 6 cách mô tả hàm tường này.



Hình 14. Hệ số cản theo các mô tả hàm tường

Dựa vào đồ thị Hình 14 cho thấy, mô hình hàm tường Standard Wall Functions có sự phù hợp nhất đối với kết quả hệ số khí động giữa mô phỏng số và thực nghiệm.

3.5 Tính toán lực gió tác động lên bảng quảng cáo (mô men xoắn, lực đẩy)

Kết quả tính toán ngoại lực (lực đẩy và lực hút, mô men xoắn theo phương x và phương y) và độ lệch tâm (theo phương x và y) cho trường hợp chảy tầng ghi ở Bảng 6 và cho trường hợp chảy rối (sử dụng mô hình dòng rối k-omega) ghi ở Bảng 7.

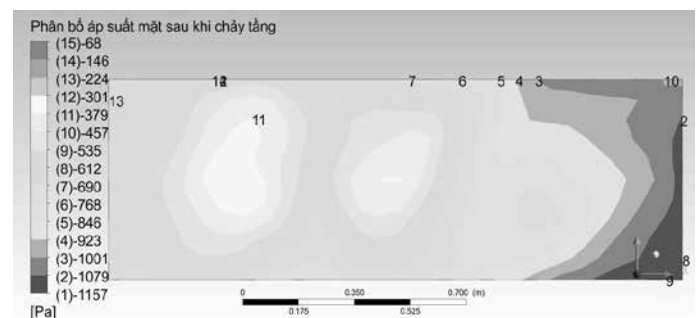
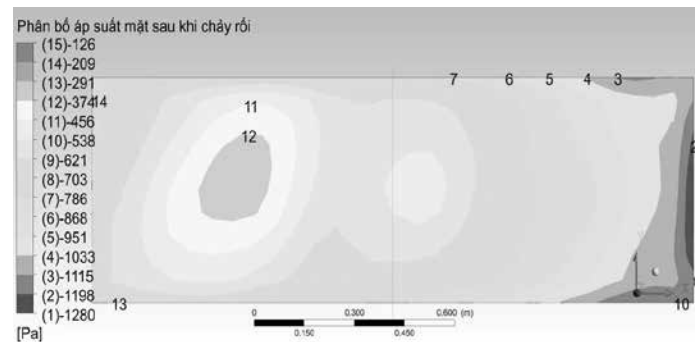
Bảng 6. Kết quả lực đẩy, mô men xoắn và độ lệch tâm (trường hợp chảy tầng)

Đại lượng	Mặt trước	Mặt sau	Tổng thể
Lực z (N)	755	738	1493
Xoắn x (N.m)	6,288	3,155	9,443
Xoắn y (N.m)	8,110	94,193	102,303
e_x (m)	0,008	0,004	0,006
e_y (m)	0,011	0,128	0,069

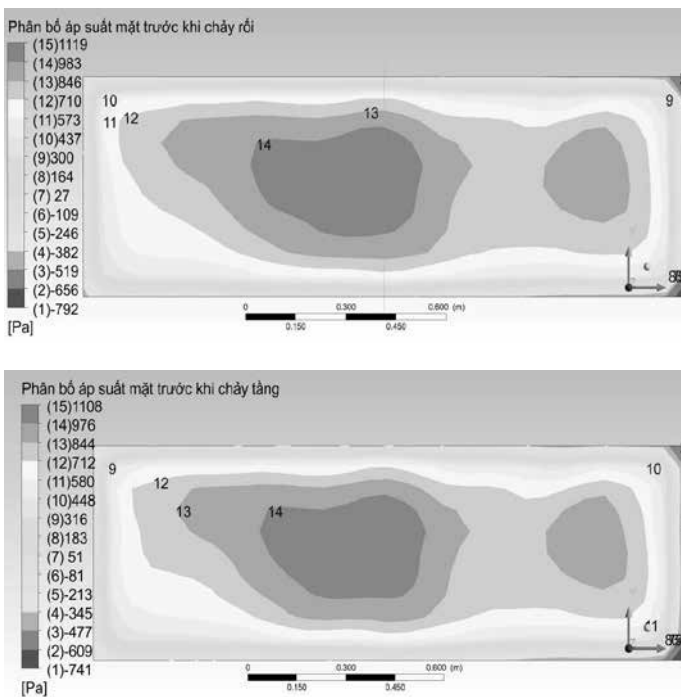
Bảng 7. Kết quả lực đẩy, mô men xoắn và độ lệch tâm (trường hợp chảy rối)

Đại lượng	Mặt trước	Mặt sau	Tổng thể
Lực z (N)	773	732	1505
Xoắn x (N.m)	5,828	2,231	8,059
Xoắn y (N.m)	7,516	90,744	98,260
e_x (m)	0,008	0,003	0,005
e_y (m)	0,010	0,124	0,065

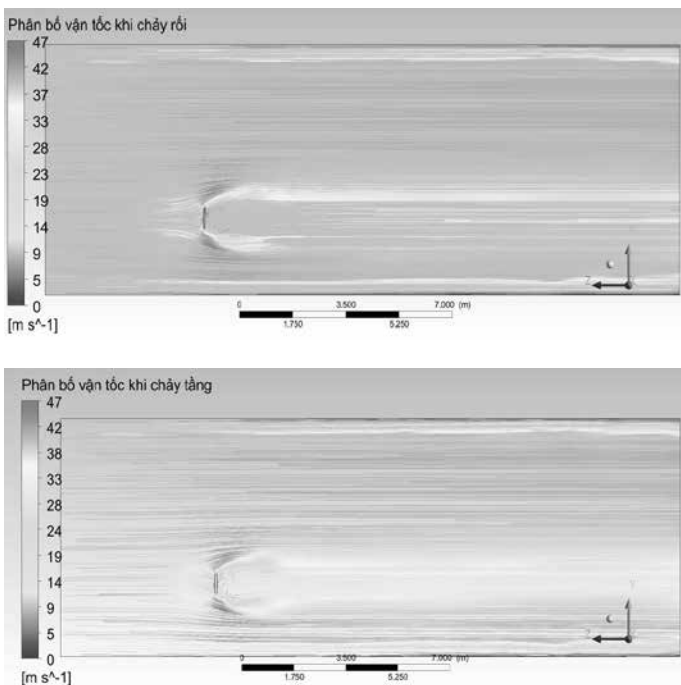
Minh họa kết quả tính theo mô phỏng tấm bảng quảng cáo trong phần mềm Ansys Fluent ghi ở các Hình 15 đến Hình 17.



Hình 15. Phân bố áp suất mặt sau khi chảy tầng và chảy rối



Hình 16. Phân bố áp suất mặt trước khi chảy tầng và chảy rối



Hình 17. Phân bố vận tốc khi chảy tầng và chảy rối

3.6. Nhận xét kết quả tính

- Hệ số khí động ghi ở Bảng 5 là giá trị trung bình của các giá trị hệ số khí động trên bề mặt tấm bảng quảng cáo ở mặt trước và mặt sau, giá trị này khá phù hợp với TCVN 2737:1995, ISO 4354:2009, ASCE 7-10, AIJ, GB 50009-2012, IS 875 (chênh lệch dưới 5%), và chênh lệch khá lớn so với EN 1991-1-4.

- Kết quả lực xoắn quanh trục x-x và y-y, thể hiện gió tác động vào tấm bảng gây mô men xoắn cho tấm bảng, và cả cho cột đỡ, có nghĩa tổng hợp lực tác động vào tấm bảng sẽ đặt lệch tâm so

với trọng tâm của tấm bảng, điều này phù hợp với các quy định trong tiêu chuẩn ASCE 7-10 và EN 1991-1-4 (hợp lực đặt lệch tâm tấm bảng).

4. KẾT LUẬN

Phần mềm Ansys Fluent được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu khí động học vì ưu điểm dễ sử dụng, thời gian mô phỏng nhanh và kết quả có độ chính xác cao.

Bài báo đã nghiên cứu và lựa chọn được vùng không gian mô phỏng trong nghiên cứu khí động học bằng quang cảnh cỡ lớn. Vùng không gian có kích thước $8H_{\max} \times 4H_{\max} \times (2H_{\max} + h)$ với $H_{\max} = \max(B, L_2, h)$ ($h = L_1 + L_2$), kết quả tính hệ số khí động có chênh lệch nhỏ so với kết quả thí nghiệm của D. Meyer và cộng sự (giá trị < 5%), đồng thời có thời gian tính toán phù hợp với các tài nguyên máy tính thông dụng.

Bài báo cũng đã lựa chọn được mô hình dòng rối k - epsilon (2 eqn) với điều kiện hàm tường Standard Wall Functions là mô hình phù hợp nhất khi tính toán mô phỏng khí động học của bảng quảng cáo tấm lớn trong phần mềm Ansys Fluent. Đồng thời cũng đã xác định được giá trị và độ lệch tâm của hợp lực gió tác động lên tấm bảng, kết quả này có thể dùng trong tính toán thực hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. Meyer, I. Zisis, B. Hajra, A. G. Chowdhury and P. Irwin (2017), *An Experimental Study on the Wind-Induced Response of Variable Message Signs*, Frontiers in Built Environment doi: 10.3389/fbuil.2017.00066
- [2] C. W. Letchford (2001), *Wind loads on rectangular signboards and hoardings*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89 (2001) 135-151
- [3] S. Ruia, A (2015), *Dixit, CFD study of aerodynamic performance of a popular vehicle's outer body shape and analysis of the effect of aerodynamic AIDS*, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, Volume 6, Issue 10, 171-193.
- [4] *Introduction to ANSYS Fluent*, Release 14.5, November 15 (2012).
- [5] M. Lanfrit (2005), *Best practice guidelines for handling Automotive External Aerodynamics with FLUENT*, Version 1.2.
- [6] Zhihao Li, Dahai Wang, Xinzong Chen, Shuguo Liang, Jie Li (2018), *Wind load effect of single-column-supported two-plate billboard structures*, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 179 (2018) 70-79 <http://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.05.013>
- [7] Dahai Wang, Xinzong Chen, Jie Li and Hao Cheng (2016), *Wind load characteristics of large billboard structures with two-plate and three-plate configurations*, Wind and Structures, Vol. 22, No. 6 (2016) 000-000 doi: <http://dx.doi.org/10.12989/was.2016.22.6.000>
- [7] Freydoon Rezaie*, and Sayed Youness Hossieny Akhgar ** (2018), *Evaluation of Wind Effects on Super-Tall Buildings using CFD Simulation and 3D Visualization*, Numerical Methods in Civil Engineering, nmce.kntu.ac.ir on 2022-12-09.