Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng NUCE 2019. 13 (1V): 11–24

PHÂN TÍCH THÀNH PHẦN TĨNH CỦA TẢI TRỌNG GIÓ CHO TÒA NHÀ BẰNG MÔ PHỎNG CFD

Nguyễn Văn Thông[a,*], Nguyễn Quốc Ý[b], Nguyễn Hữu Thành[c], Ngô Hữu Cường[b]

[a]*Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Giao thông Vận tải TP. Hồ Chí Minh, 2 Võ Oanh, quận Bình Thạnh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*
[b]*Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM, 268 Lý Thường Kiệt, quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*
[c]*Công ty TNHH Bureau Veritas Việt Nam, Tầng 4, Tòa nhà Etown1, 364 Cộng Hòa, quận Tân Bình, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

Nhận ngày 03/12/2018, Sửa xong 29/03/2019, Chấp nhận đăng 29/03/2019

Tóm tắt

Bài báo trình bày một ứng dụng của phương pháp mô phỏng tính toán động lực học lưu chất (CFD) trong việc xác định thành phần tĩnh của tải trọng gió tác dụng lên tòa nhà, đặc biệt trong các trường hợp nhà có hình dạng mặt bằng phức tạp và mặt đứng thay đổi theo chiều cao. Kết quả nghiên cứu cho thấy có sự chênh lệch đáng kể về thành phần tĩnh của tải trọng gió giữa mô phỏng CFD và tính toán theo TCVN 2737-1995. Đặc biệt, phương pháp CFD có thể dự đoán được thành phần lực ngang gió mà TCVN 2737-1995 chưa đề cập đến. Bài báo cũng nêu ra ảnh hưởng lớn của các công trình lân cận đến kết quả phân tích gió tĩnh, điều chưa thấy đề cập rõ trong các tiêu chuẩn thiết kế Việt Nam hiện hành.

Từ khoá: thành phần tĩnh của tải trọng gió; mô phỏng CFD; gió ngang; tòa nhà.

ANALYSIS OF STATIC WIND LOAD FOR BUILDINGS BY CFD SIMULATION

Abstract

This paper presents an application of Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation method in determination of static wind load on buildings, specially for buildings with complicated shape in plan and variable form in elevation. The research results show that the static wind loads from CFD simulation have significant difference with those calculated following TCVN 2737-1995. Especially, CFD simulation method can predict the cross wind component which has not been regulated by TCVN 2737-1995. The paper also presents significant effects of adjacent buildings to the analysis results of static wind loads, which have not been clearly mentioned in current Vietnam design standards.

Keywords: static wind load; CFD simulation; cross wind; building.

https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(1V)-02 © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Mở đầu

Tính toán tải trọng gió tác dụng lên công trình là đề tài luôn thu hút được rất nhiều sự quan tâm của các kỹ sư kết cấu, đặc biệt là đối với các công trình có hình dáng phức tạp. Hiện nay trên thế giới có nhiều tiêu chuẩn hướng dẫn cách tính toán tải trọng gió tác động lên tòa nhà. Tuy nhiên, các tiêu chuẩn chỉ áp dụng cho những tòa nhà với những giới hạn nhất định về chiều cao, hình dáng công trình và hướng gió.

*Tác giả chính. *Địa chỉ e-mail:* vanthonggtvt@gmail.com (Thông, N. V.)

Nhìn chung, các tiêu chuẩn trên thế giới và trong nước đều không đề cập đến việc tính toán những công trình có hình dáng phức tạp và chiều cao lớn. Các tiêu chuẩn chỉ hướng dẫn tính toán cho tòa nhà có hình dạng mặt bằng đơn giản như hình chữ nhật, hình tròn hay những hình đối xứng và có chiều cao hoặc tần số dao động riêng nằm trong giới hạn nhất định. Chỉ dẫn của Tiêu chuẩn TCVN 2737-1995 [1] chỉ đề cập đến công trình có mặt bằng là hình chữ nhật, hình thoi, tam giác đều, đa giác đều, hình tròn và mặt bằng không thay đổi theo chiều cao. Với sự phát triển mạnh mẽ của ngành xây dựng, các tòa nhà càng ngày càng có chiều cao và độ mảnh lớn. Bên cạnh đó, để đáp ứng yêu cầu thẩm mỹ của kiến trúc, hình dáng công trình theo mặt đứng và mặt bằng cũng đa dạng và phức tạp hơn. Do đó các công trình này thường nằm ngoài phạm vi áp dụng của các tiêu chuẩn tính toán tải trọng gió hiện hành. Vì vậy, việc tính toán tải trọng gió đối với các công trình nằm ngoài phạm vi xem xét của các tiêu chuẩn cần một phương pháp tin cậy khác.

Phân tích khí động học lưu chất (CFD) là công cụ mô phỏng số khá tin cậy nhằm dự đoán sự chuyển động của các dòng khí xung quanh công trình và tác động gió lên công trình, qua đó xác định được thành phần tĩnh của tải trọng gió tác dụng lên công trình.

Hiện nay có nhiều nghiên cứu sử dụng phương pháp CFD để phân tích các yếu tố khác nhau cho các công trình xây dựng, trong đó một trong những lĩnh vực được quan tâm nhiều là phân tích xác định tải trọng gió lên công trình. Huang cùng cộng sự [2] đã dùng kỹ thuật mô phỏng xoáy lớn (Large Eddy Simulation – LES) và phương pháp trung bình Reynolds cho phương trình Navier-Stockes (Reynolds Averaged Navier-Stockers – RANS) của phương pháp CFD để mô phỏng dòng gió quanh công trình và tác động gió lên công trình có dạng hình trụ chữ nhật. Kết quả nghiên cứu cho thấy có sự tương đồng về hệ số lực giữa mô phỏng số và thí nghiệm hầm gió. Ở trong nước, việc thực hiện thí nghiệm hầm gió phục vụ thiết kế công trình nhà khá tốn kém chi phí và thời gian nên việc mô phỏng số tác động gió lên công trình là điều hết sức cần thiết. Tuy nhiên, quy trình và kỹ thuật mô phỏng số cần được phát triển và kiểm chứng kỹ lưỡng để có thể có được kết quả phân tích tin cậy. Trong các mô hình rối, mô hình RANS được sử dụng rộng rãi nhất trong các mô phỏng do có khối lượng tính toán và độ chính xác hợp lý. Tác giả đã xây dựng mô hình số mô phỏng tác động gió tĩnh lên công trình bằng mô hình RANS và độ tin cậy của quy trình mô phỏng đã được kiểm chứng trong [3] qua các ví dụ số. Nghiên cứu này xây dựng mô hình mô phỏng một công trình nhà thực có hình dạng phức tạp với nhiều khối nhà bằng mô hình RANS và khảo sát ảnh hưởng của các khối nhà lân cận và sự thay đổi hình dáng công trình theo chiều cao đến kết quả phân tích. Phân tích cũng cho thấy sự sai khác của kết quả phân tích thành phần tĩnh của tải trọng gió trong mô phỏng so với kết quả tính toán theo Tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành.

2. Xây dựng mô hình mô phỏng

Trong mô hình rối RANS có các mô hình cụ thể là mô hình Spalart-Allmaras, mô hình k-ε chuẩn, mô hình k-ε chuẩn, và mô hình k-ε chuẩn với mô hình MMK (gọi tắt là mô hình MMK) được điều chỉnh từ mô hình k-ε chuẩn, như được trình bày bởi Murakami và cs. [4]. Những kết quả nghiên cứu được nêu trong [3] cho thấy mô hình MMK có kết quả tương đồng với thí nghiệm hầm gió và đáng tin cậy trong việc xác định thành phần tĩnh của tải trọng gió tác dụng lên công trình. Vì vậy trong nghiên cứu này với mô hình MMK được sử dụng cùng với các thông số miền tính toán, mật độ lưới và điều kiện biên được nêu trong [3] để thực hiện việc mô phỏng.

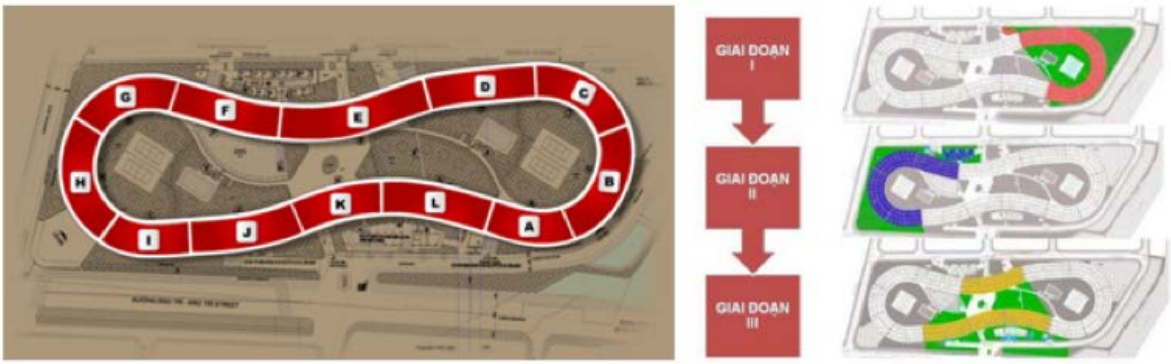
3. Áp dụng mô hình mô phỏng

3.1. Giới thiệu công trình

Công trình sử dụng để mô phỏng trong bài báo này là The Everrich 2 tọa lạc tại Quận 7, TP. Hồ Chí Minh, với 12 khối nhà được xây dựng liền kề nhau. Công trình có chiều dài xấp xỉ L = 450 m, chiều rộng lớn nhất là B = 140 m và chiều cao thay đổi h từ 30 m đến 127,2 m (Hình 1). Các giai đoạn thi công công trình được thể hiện trong Hình 2.



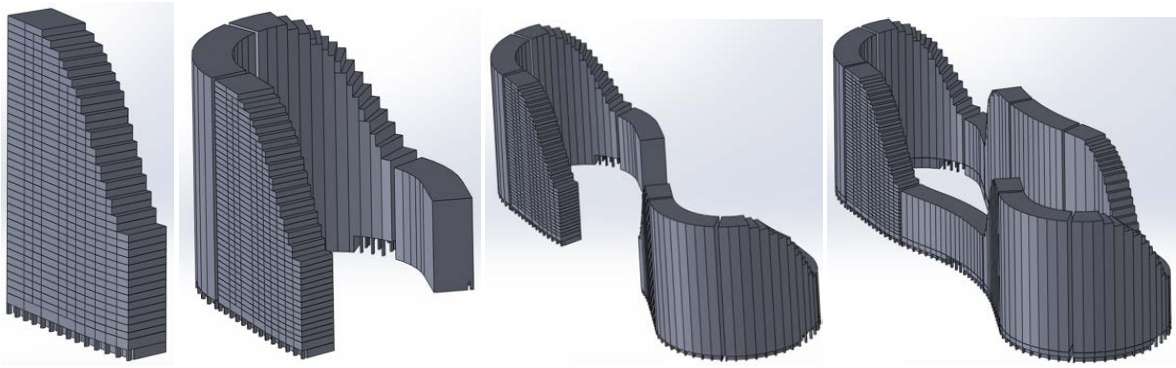
Hình 1. Phối cảnh The Everrich 2



Hình 2. Mặt bằng các giai đoạn xây dựng

Để đánh giá sự khác biệt giữa thành phần tĩnh của tải trọng gió xác định từ tiêu chuẩn và phân tích CFD, đồng thời cho thấy sự ảnh hưởng của các khối nhà lân cận trong quá trình thi công, nghiên cứu này thực hiện khảo sát khối D với bốn trường hợp mô phỏng đó là: (i) Trường hợp 1 khi chỉ có khối D (Hình 3(a)); (ii) Trường hợp 2 là giai đoạn 1 gồm các khối A, B, C, D (Hình 3(b)); (iii) Trường hợp 3 là giai đoạn 1 và giai đoạn 2 gồm các khối A, B, C, D, F, G, H và I (Hình 3(c)); (iv) Trường hợp 4 là hoàn thành công trình gồm 12 khối (Hình 3(d)).

Công trình The Everrich 2 có kích thước tương đối lớn. Vì vậy, để có thể áp dụng mô phỏng CFD trong Ansys, công trình được thu nhỏ với tỉ lệ 1:400. Các điều kiện biên được áp dụng theo tiêu chuẩn ASCE/SEI 49-12 [5] phù hợp với tỉ lệ thu nhỏ 1:400.



(a) Trường hợp 1 (b) Trường hợp 2 (c) Trường hợp 3 (d) Trường hợp 4

Hình 3. Các trường hợp mô phỏng CFD

3.2. Điều kiện biên

Công trình xây dựng tại Quận 7, TP.HCM, thuộc vùng áp lực gió II-A theo TCVN 2737-1995. Khu vực xây dựng có địa hình trống trải, không có hoặc có rất ít vật cản cao không quá 1,5 m nên thuộc dạng địa hình A. Từ đó, hàm vận tốc gió theo chiều cao và hàm cường độ rối được xác định như trong phương trình (1) và (2).

$$V(z) = 10\left(\frac{z}{0{,}625}\right)^{0{,}07} \tag{1}$$

$$I(z) = 2{,}45(r_t)^{0{,}5}\left(\frac{z}{10}\right)^{-m_t} = 2{,}45(0{,}002)^{0{,}5}\left(\frac{z}{10}\right)^{-0{,}07} \tag{2}$$

trong đó $V(z)$ là vận tốc tại chiều cao z; $I(z)$ là cường độ rối tại chiều cao z; r_t là độ nhám mặt đệm của dạng địa hình t, địa hình A có $r_t = 0{,}002$; m_t là số mũ ứng với dạng địa hình, địa hình A có $m_t = 0{,}07$ và z là độ cao tính toán tính từ mặt đất tự nhiên, tại mặt đất tự nhiên có $z = 0$.

Kích thước xoáy là kích thước trung bình của các xoáy cuộn trong dòng gió rối. Thông số này là đặc trưng quan trọng trong phân tích gió và số liệu cần trong phân tích CFD. Tuy nhiên thông số này không được đề cập trong Tiêu chuẩn Việt Nam. Vì vậy tác giả tham khảo giá trị xác định từ thực nghiệm được đề cập trong [5], kích thước xoáy có dạng như trong phương trình (3).

$$l(z) = 2,543z^{0{,}331} \tag{3}$$

$$k(z) = \frac{3}{2}\left(U_{avg} I(z)\right)^2 \tag{4}$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4}\frac{k^{3/2}}{l} \tag{5}$$

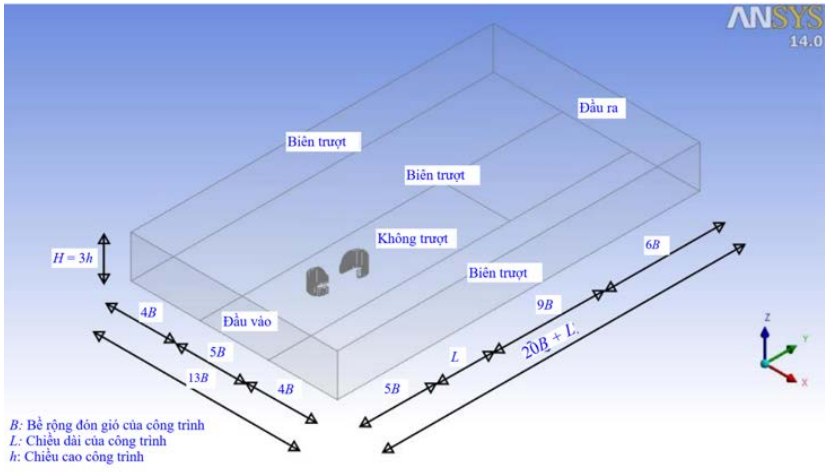
trong đó $l(z)$ là kích thước xoáy tại chiều cao z; $k(z)$ là động năng của dòng rối tại chiều cao z; ε là tốc độ tiêu tán năng lượng; U_{avg} là vận tốc trung bình đầu vào, $U_{avg} = 8{,}96$ m/s và $C_\mu = 0{,}09$ là hệ số tỉ lệ.

3.3. Mô hình rối

Tác giả sử dụng mô hình MMK được đề cập trong [6], mô hình được xây dựng dựa trên nền tảng của mô hình k-ε chuẩn, và đã được kiểm chứng trong [3].

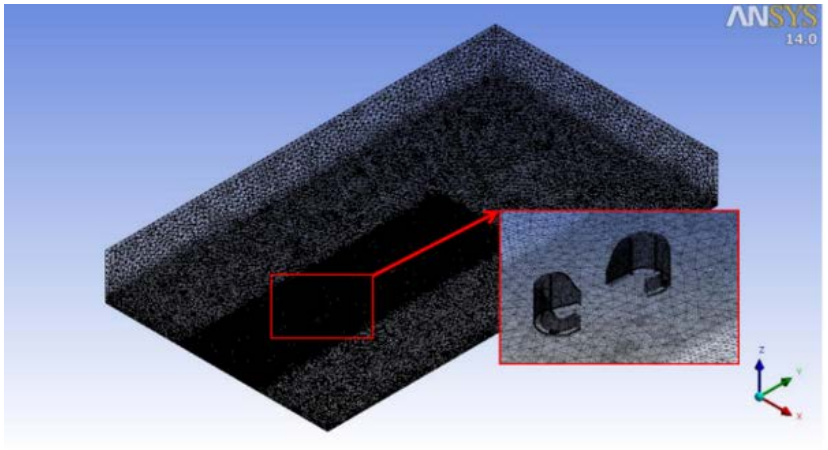
3.4. Miền tính toán và mật độ lưới

Miền tính toán và mật độ lưới là các thông số quan trọng trong các bài toán mô phỏng vì ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của kết quả, tác động đến thời gian phân tích và tài nguyên máy tính. Do đó tác giả tiến hành thực hiện các bài toán khảo sát để đưa ra miền tính toán và mật độ lưới hợp lý. Sau khi phân tích các kết quả, miền tính toán được tác giả sử dụng trong nghiên cứu này được thể hiện trong Hình 4. Kích thước miền tính toán theo phương X là $D_X = 13B$ (B là chiều rộng đón gió của công trình), phương Y là $D_Y = 20B + L$ (L là chiều dài của công trình) và chiều cao của miền tính toán là $H = 3h$ (h là chiều cao của công trình).



Hình 4. Miền tính toán và điều kiện biên

Mật độ lưới thiết lập trong mô phỏng được thể hiện trong Hình 5. Cụ thể mật độ lưới trên bề mặt công trình là $h/20$; bề mặt tường có kích thước $5B\,(14B + L)$ là $h/20$; bề mặt tường khu vực ngoài là $h/10$ và trên toàn bộ miền tính toán là $h/5$, với h là chiều cao công trình dưới tỉ lệ thu nhỏ 1/400, $h = 0,318$ m.



Hình 5. Mật độ lưới tính toán

4. Kết quả và bàn luận

Tác giả thực hiện mô phỏng gió tác dụng vào công trình theo hai hướng X và Y. Hướng gió X thổi vuông góc với cạnh dài của công trình và hướng gió Y vuông góc với hướng gió X. Qua các trường hợp mô phỏng, tác giả phân tích sự thay đổi phân bố vận tốc gió xung quanh công trình và phân bố áp suất trên bề mặt của khối D để có thể thấy sự ảnh hưởng của các khối nhà xung quanh đến kết quả phân tích.

4.1. Gió theo phương X

Hình 6 thể hiện phân bố vận tốc xung quanh công trình khi gió thổi theo hướng X tại hai cao độ $z = 0{,}3h$ đối với hình bên trái và $z = 0{,}7h$ đối với hình bên phải. Dòng không khí tiếp cận công trình từ bên trái và hai bên và đi ra khỏi công trình từ bên phải. Kết quả cho thấy vận tốc gió giảm dần từ xa đến gần vào bề mặt của công trình, trên bề mặt công trình có vận tốc bằng không. Vận tốc gió xung quanh lân cận công trình nằm trong khoảng từ 2 đến 5 m/s. Vận tốc gió lớn nhất nằm ở bên cạnh công trình vào khoảng 12 m/s. Tại $z = 0{,}3h$ (phần có mặt bằng không thay đổi theo chiều cao) có điểm tách dòng theo mặt bằng đối xứng tạo ra hai xoáy cuộn phía sau công trình khá rõ rệt và hầu như đối xứng. Trong khi đó tại $z = 0{,}7h$ do ảnh hưởng giật cấp công trình theo chiều cao dẫn đến thay đổi điểm tách dòng và tương tác của dòng không khí làm cho các xoáy cuộn phía sau công trình thay đổi.

Khi xét công trình đơn (trường hợp 1, Hình 6(a)) thì các xoáy khác biệt đáng kể so với khi xét đến các công trình lân cận (trường hợp 2, 3 và 4). Cụ thể, khi dòng không khí đi qua công trình đơn có xu hướng tạo ra các xoáy cuộn tại khu vực hai biên phía sau công trình nhưng đối với trường hợp cụm thì các xoáy cuộn lại xuất hiện trong lòng công trình, từ đó sinh ra lực ngang lớn cho trường hợp mô phỏng nhiều khối. Đồng thời, qua sự phân bố vận tốc của các trường hợp có thể thấy trường hợp 2 và 3 tại có sự tách dòng khá rõ rệt hơn các trường hợp khác, có thể vì các mặt tiếp xúc gió sắc hơn các trường hợp còn lại.

Hình 7 thể hiện phân bố áp suất trên bề mặt công trình khi gió tác dụng theo phương X. Kết quả cho thấy áp suất bề mặt tăng dần theo chiều cao. Trong các trường hợp 1, 2 và 3 áp suất phía trước và phía sau công trình là tương đương, tuy có sự khác biệt nhưng không đáng kể. Giá trị áp suất phía trước công trình nằm trong khoảng từ 45 Pa đến 70 Pa và phía sau công trình từ -51 Pa đến -15 Pa. Trong khi đó, ở trường hợp 4 vì mặt bằng đón gió của công trình hơi cong nên dòng gió được giữ lại ở giữa, điểm tách dòng nằm xa về hai bên dẫn đến áp suất phía trước và sau công trình có sự chênh lệch đáng kể so với các trường hợp khác. Giá trị áp suất của trường hợp 4 khoảng 70 Pa ở phía trước và lên đến 100 Pa phía sau tại khu vực giật cấp.

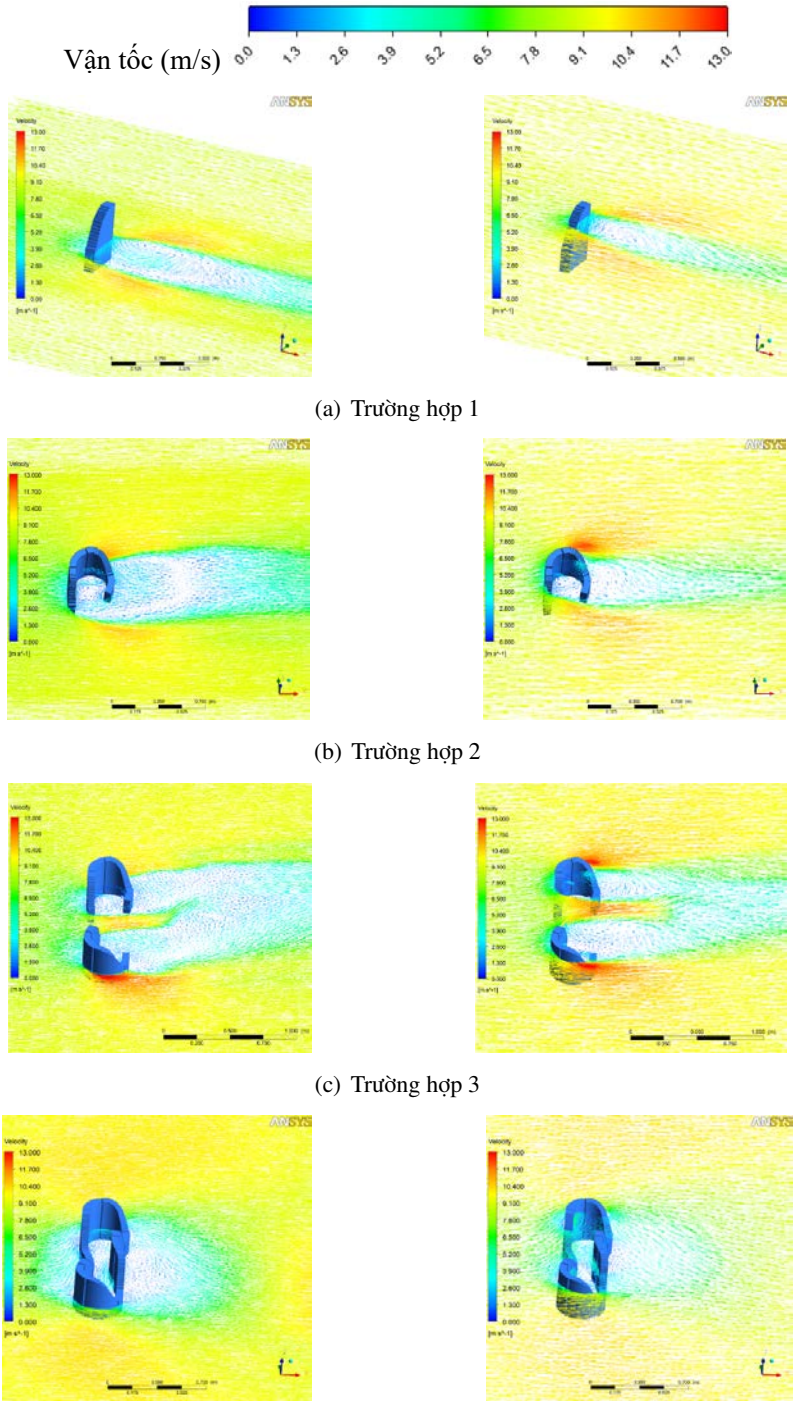
Để thể hiện rõ sự thay đổi áp suất khi mô phỏng cụm công trình so với công trình đơn và sự chênh lệch của kết quả thành phần tĩnh của tải trọng gió giữa mô phỏng CFD với tính toán theo TCVN 2737-1995, tác giả tiến hành phân tích phân bố hệ số lực theo chiều cao của khối D, với C_{Di} và C_{Li} là hệ số lực dọc theo hướng gió và vuông góc với hướng gió tác dụng tại phần thứ i của công trình theo chiều cao và được xác định theo công thức (6) và (7):

$$C_{Di}(z) = \frac{F_{Di}(z)}{\frac{1}{2}\rho B_i h_i [U(z_i)]^2} \tag{6}$$

$$C_{Li}(z) = \frac{F_{Li}(z)}{\frac{1}{2}\rho B_i h_i [U(z_i)]^2} \tag{7}$$

trong đó $F_{Di}(z)$ và $F_{Li}(z)$ là thành phần lực dọc theo hướng gió và vuông góc với hướng gió tại phần thứ i của công trình; ρ là khối lượng riêng của không khí; B_i và h_i lần lượt là bề rộng và chiều cao

đón gió của phần thứ i của công trình; $U\,(z_i)$ là vận tốc của gió tại z_i và z_i là cao độ tại phần thứ i của công trình.



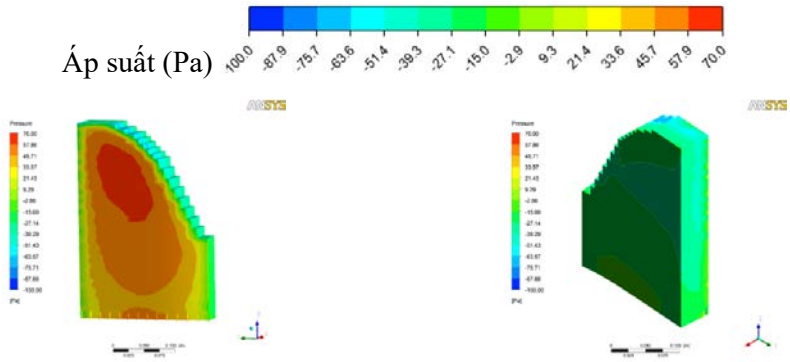
(a) Trường hợp 1

(b) Trường hợp 2

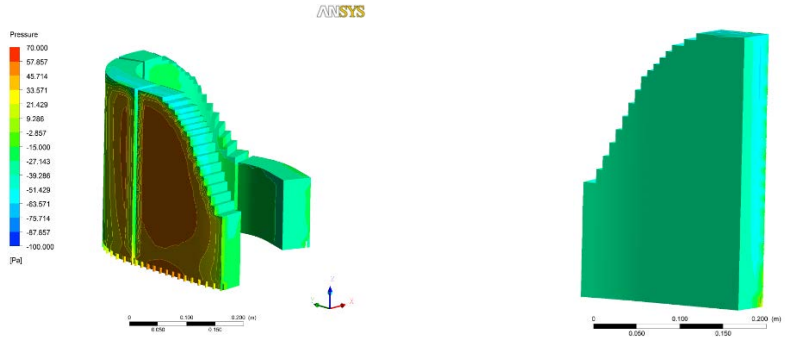
(c) Trường hợp 3

(d) Trường hợp 4

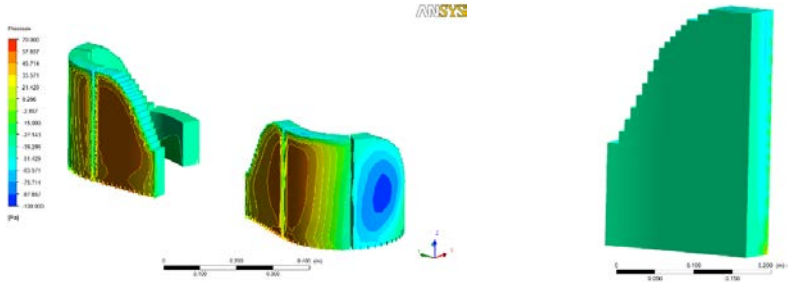
Hình 6. Phân bố vận tốc tại cao độ $z = 0{,}3h$ và $z = 0{,}7h$



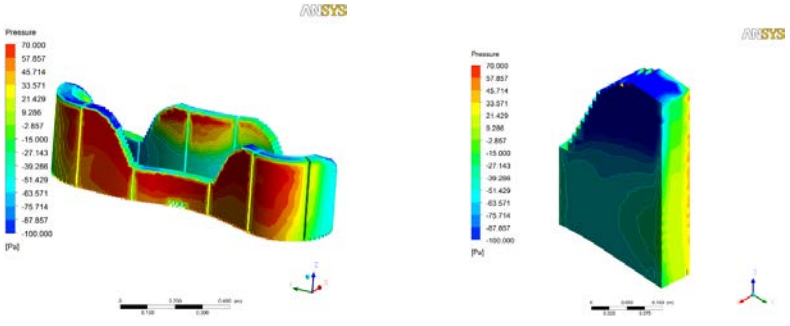
(a) Trường hợp 1



(b) Trường hợp 2

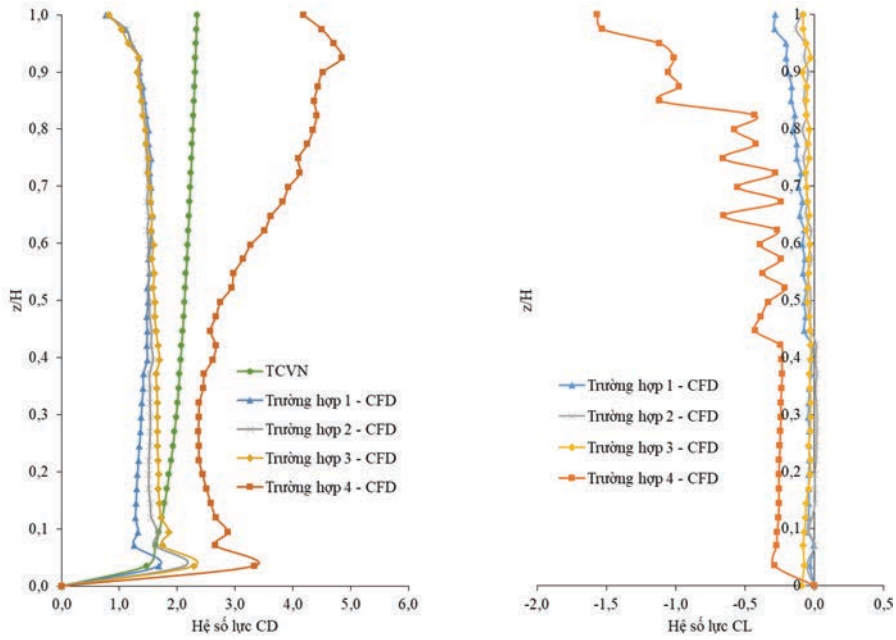


(c) Trường hợp 3



(d) Trường hợp 4

Hình 7. Phân bố áp suất trên mặt trước và mặt sau công trình



Hình 8. Phân bố hệ số lực gió tĩnh theo chiều cao – Gió theo phương X

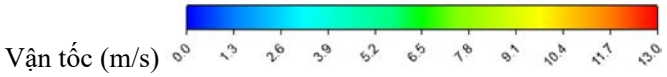
Hình 8 cho thấy phân bố hệ số lực theo chiều cao của các trường hợp 1, 2 và 3 có hình dạng tương tự nhau và có giá trị tương đương. Sự chênh lệch là không đáng kể. Giá trị lớn nhất của hệ số lực của ba trường hợp lần lượt là $C_D = 1{,}68$; 2,12 và 2,29 đều ở tại tầng lửng có thể vì khu vực này có hình dạng giật vào để tạo lối đi và lối để đi vào bên trong công trình nên dòng không khí được giữ lại tạo nên các khu vực có áp suất lớn. Hệ số lực trung bình theo phương tác dụng gió của các trường hợp 1, 2 và 3 lần lượt là $C_D = 1{,}35$; 1,45 và 1,57, chênh lệch với nhau khoảng 6,7%. Theo phương vuông góc với tác dụng của gió, hệ số lực ngang trung bình cho trường hợp 1 là $C_L = -0{,}83$; trường hợp 2 là $C_L = -0{,}03$ và trường hợp 3 là $C_L = -0{,}05$. Hệ số lực ngang của trường hợp 1 lớn hơn đáng kể so với hai trường hợp còn lại. Sự chênh lệch này có thể do khối D đã được các khối khác che chắn trong trường hợp 2 và 3. Hơn thế nữa sự phân bố này khác biệt rất lớn so với khi mô phỏng trường hợp 4. Các khối cạnh nhau tạo thành hình khối kín và chặn các dòng không khí bên trong không thoát ra ngoài từ đó gây ra hệ số lực tại cao độ $z = 0{,}9245h$ lên đến $C_D = 4{,}85$ và giá trị trung bình theo chiều cao là $C_D = 3{,}31$ và $C_L = -0{,}48$. Vì sự che chắn của các khối khác sinh ra các xoáy cuộn trong cụm công trình tạo nên lực ngang lớn, kết quả mô phỏng của trường hợp 4 lớn hơn trường hợp 1 và 2 lần lượt là 145% và 128%. Phần dưới của công trình khi chưa giật cấp được sự che chắn toàn bộ bởi các khối lân cận nên áp suất có sự thay đổi không đáng kể. Tuy nhiên, khi lên phần trên sự giật cấp tạo nên các khoảng trống, do không còn sự che chắn, dòng gió thay đổi tạo nên giá trị hệ số lực rất lớn.

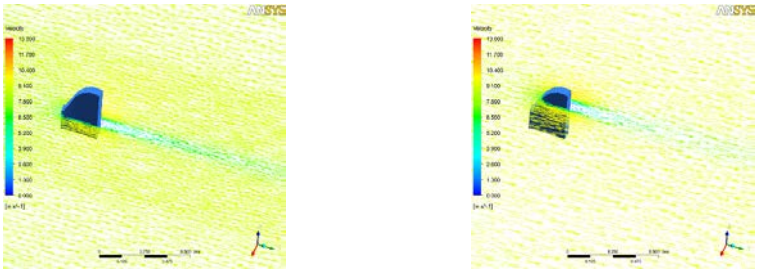
Trong trường hợp 1, 2 và 3 hệ số lực hầu như không thay đổi theo chiều cao, chỉ có sự đột biến ở tầng lửng vì sự thay đổi hình dáng công trình. Đồ thị hệ số lực theo TCVN 2737-1995 thể hiện trong Hình 8 cho thấy hệ số lực đều theo chiều cao và giá trị trung bình của hệ số lực $C_D = 2{,}03$. Hệ số lực khi tính toán theo TCVN 2737-1995 cho giá trị lớn hơn giá trị trung bình khi mô phỏng của trường hợp 1, 2 và 3 lần lượt là xấp xỉ 50%, 40% và 29,3%. Tuy nhiên ở Trường hợp 4, hệ số lực dọc theo hướng gió lớn hơn so với tính toán theo tiêu chuẩn, nhất là ở phần giật cấp nơi có sự chênh lệch này lên đến 63%. Điều này gây nguy hiểm cho công trình khi thiết kế kết cấu chịu lực chính. Đồng thời, hệ số lực theo phương vuông góc hướng gió khi tính toán theo tiêu chuẩn không được xét đến. Tuy nhiên, trong thực tế, giá trị này vẫn xuất hiện đáng kể và gây không an toàn cho kết cấu. Thành phần

lực ngang này là do các xoáy cuộn phía sau công trình gây ra. Trong công trình đang xét, hệ số lực ngang phần giật cấp có giá trị lớn và cần phải được xét đến trong tính toán thiết kế kết cấu.

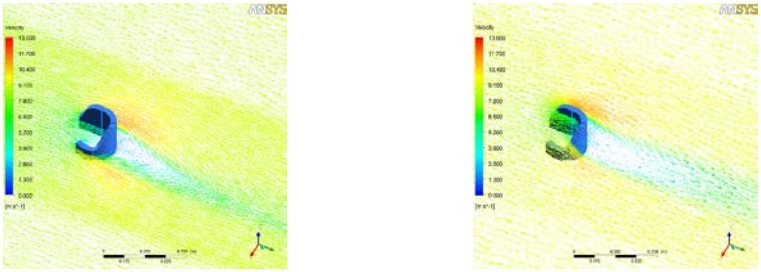
4.2. Gió theo phương Y

Hình 9 thể hiện sự phân bố vận tốc xung quanh công trình của các trường hợp mô phỏng. Kết quả cho thấy đối với trường hợp 1 sự phân bố các xoáy và độ lớn vận tốc tại hai cao độ là tương đương

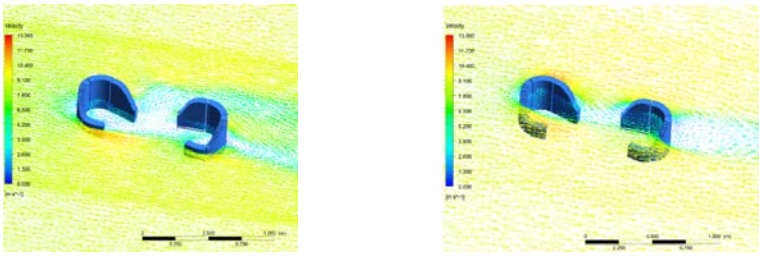




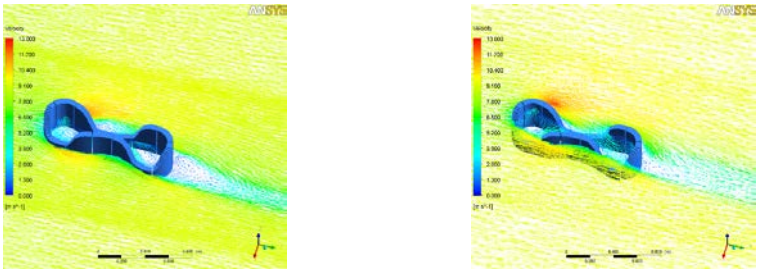
(a) Trường hợp 1



(b) Trường hợp 2



(c) Trường hợp 3



(d) Trường hợp 4

Hình 9. Phân bố vận tốc tại cao độ $z = 0{,}3h$ và $z = 0{,}7h$

nhau và không có sự khác biệt rõ. Tuy nhiên khi có các khối công trình lân cận như trong trường hợp 2, 3 và 4, sự phân bố các xoáy có thay đổi đáng kể, có thể vì khi dòng lưu chất chảy qua công trình được sự che chắn của các khối nhà xung quanh làm thay đổi hướng và độ lớn vận tốc từ đó tạo nên sự xuất hiện các xoáy phía sau và cả bên trong cụm công trình. Đồng thời, Hình 9 cũng cho thấy khả năng tách dòng và tái nhập dòng của cụm công trình là dễ dàng hơn so với công trình đơn. Giá trị vận tốc bên trong cụm công trình của trường hợp 3 khoảng 3,6 m/s nhưng đối với trường hợp 2 vì dòng lưu chất chảy trực tiếp vào bên trong nên vận tốc lớn đến 7,8 m/s.

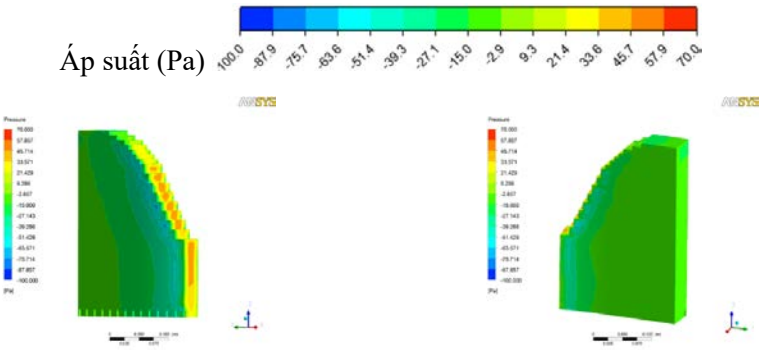
Hình 10 thể hiện sự phân bố áp suất trên bề mặt của công trình khi gió tác dụng theo phương Y. Kết quả cho thấy áp suất của mặt đón gió của trường hợp 1 và 2 tăng dần theo độ cao và tăng dần từ trước ra sau (dương sang âm) vì dòng không khí tác dụng trực tiếp lên khối D. Tuy nhiên, đối với trường hợp 3 và 4, áp suất không thay đổi đáng kể theo chiều cao có thể vì khối D bị che chắn bởi các khối khác.

Sự phân bố áp suất trên bề mặt công trình của các trường hợp cho thấy dù bị các khối khác che chắn nhưng áp suất trên bề mặt của khối D vẫn khá lớn (trường hợp 3, 4). Áp suất của mặt đón gió có giá trị dương và hai mặt bên có giá trị âm. Đối với trường hợp 1 và 2, áp suất trên mặt trước và mặt bên ngoài có sự phân bố và trị số là tương tự nhau, tuy nhiên trên mặt bên trong có sự khác nhau rõ rệt; trường hợp 1 áp suất mang giá trị âm trong khi trường hợp 2 mang giá trị dương, và trị số vào khoảng từ 19 Pa đến 36 Pa. Sự khác nhau lớn này là vì hình dạng lõm và hứng gió của trường hợp 2 làm cho dòng gió bị giữ lại bên trong không thoát ra ngoài, từ đó dẫn đến gia tăng áp suất. Kết quả mô phỏng trường hợp 3 và 4 cho thấy áp suất trên bề mặt của khối D là tương đối nhỏ so với hai trường hợp trước vì khối D bị che chắn toàn bộ bởi các khối khác. Sự khác biệt của áp suất trên khối D trong trường hợp này có thể do sự thay đổi hình dạng theo chiều cao và các xoáy phía trong công trình gây ra.

Hình 11 thể hiện hệ số lực C_D và C_L của khối D phân bố theo chiều cao khi gió tác dụng theo phương Y của các trường hợp mô phỏng và tính toán theo tiêu chuẩn TCVN 2737-1995.

Trong Hình 11, hệ số lực theo chiều cao theo phương tác dụng gió C_D được thể hiện phía bên trái và theo phương vuông góc với phương tác dụng gió C_L thể hiện phía bên phải. Kết quả cho thấy hệ số lực gió dọc khi mô phỏng cho trường hợp 1 và 2 là khá tương đồng. Hệ số lực C_D trung bình theo chiều cao của hai trường hợp 1 và 2 lần lượt là 1,17 và 1,14. Các giá trị này hầu như không thay đổi theo chiều cao vì các trường hợp này khối D đón gió trực tiếp. Đối với trường hợp 3 và 4, giá trị lực theo hướng gió có giá trị nhỏ hơn. Giá trị trung bình hệ số lực C_D theo chiều cao cho trường hợp 3 là 0,32 và trường hợp 4 là 0,41 vì trong trường hợp này khối D bị che chắn bởi các khối khác làm cho dòng không khí không tác dụng trực tiếp vào công trình. Khi lên cao khối D bắt đầu giật cấp nên dòng không khí tác dụng trực tiếp vào bề mặt và giá trị lực gió trong trường hợp này tăng đáng kể từ cao độ $z = 0{,}4214h$ đến mái. Tất cả các trường hợp mô phỏng theo hướng gió Y đều cho hệ số lực nhỏ hơn khi tính toán theo tiêu chuẩn. Giá trị hệ số lực trung bình theo chiều cao khi tính toán theo tiêu chuẩn là $C_D = 2{,}03$; giá trị này lớn hơn 73,5% đối với trường hợp 1, 78% đối với trường hợp 2, 534% đối với trường hợp 3 và 395% đối với trường hợp 4.

Đối với hệ số lực ngang C_L, tuy công trình khối D mô phỏng là tương đối đối xứng, nhưng hệ số lực ngang vẫn có giá trị đáng kể. Các lực ngang này phần lớn được tạo ra do các xoáy xung quanh công trình. Đối với trường hợp công trình đơn (trường hợp 1) các xoáy này chỉ xuất hiện ở phía sau, nhưng trong trường hợp cụm công trình, do tương tác với các công trình lân cận, các xoáy được tạo ra ở xung quanh. Hệ số lực ngang của trường hợp 1, 3 và 4 lần lượt là $C_L = -0{,}83$; $C_L = -3{,}0$ và $C_L = -1{,}12$. Giá trị hệ số lực C_L lớn nhất ở trường hợp 2 vì dòng lưu chất tác dụng trực tiếp và hình dạng cụm công trình có hình dạng lõm hứng gió nên hệ số lực C_L trung bình lên đến $-5{,}37$.



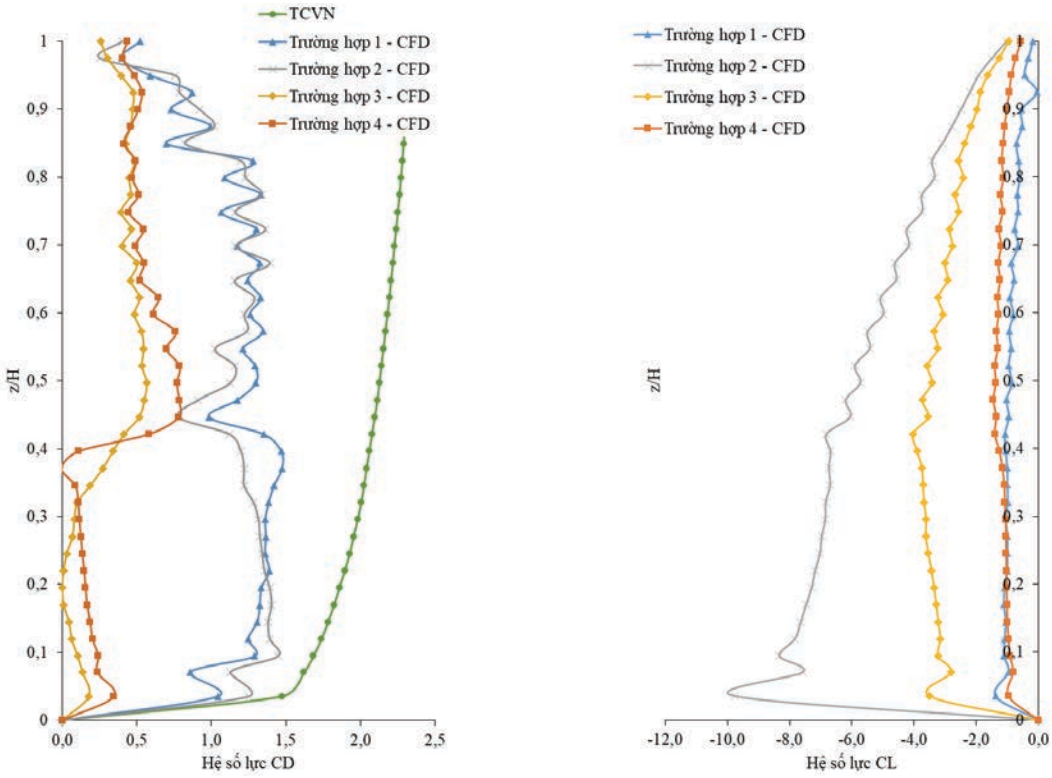
(a) Trường hợp 1

(b) Trường hợp 2

(c) Trường hợp 3

(d) Trường hợp 4

Hình 10. Phân bố áp suất trên mặt trước và mặt sau công trình



Hình 11. Phân bố hệ số lực gió tĩnh theo chiều cao – Gió theo phương *Y*

5. Kết luận

Nội dung của nghiên cứu tập trung vào khả năng ứng dụng của phương pháp CFD trong việc xác định thành phần tĩnh của tải trọng gió cho công trình nhà, cũng như ảnh hưởng của các khối công trình lân cận đến kết quả phân tích. Đồng thời, kết quả thu được từ phân tích CFD cũng được so sánh với kết quả tính toán theo TCVN 2737-1995 [1]. Qua khảo sát tác động tĩnh của gió lên một công trình thực, nghiên cứu này rút ra được một số kết luận như sau:

- Khi mô phỏng có xét đến ảnh hưởng của các công trình lân cận, dòng không khí xung quanh công trình bị thay đổi vì vậy trong nhiều trường hợp có lực ngang và lực dọc lớn hơn so với mô phỏng công trình đơn, gây nguy hiểm đến hệ chịu lực công trình. Ở mỗi giai đoạn thi công, sự phân bố dòng không khí xung quanh công trình là hoàn toàn khác nhau và làm thay đổi tác động của gió lên công trình. Vì vậy khi thiết kế nên xem xét tất cả các trường hợp làm thay đổi dòng không khí trong quá trình thi công đến khi hoàn thiện công trình để xác định trường hợp gây nguy hiểm nhất cho hệ kết cấu.

- Việc xác định thành phần tĩnh của tải trọng gió cho công trình nhà bằng phương pháp CFD cho kết quả hệ số lực chênh lệch khá lớn so với giá trị tính toán theo tiêu chuẩn. Tùy thuộc vào từng trường hợp và hình dạng công trình mà kết quả phân tích CFD lớn hơn hoặc nhỏ hơn giá trị tính toán khi áp dụng tiêu chuẩn. Cụ thể trong nghiên cứu này, khi mô phỏng công trình đơn (trường hợp 1), kết quả hệ số lực dọc theo hướng gió nhỏ hơn tiêu chuẩn xấp xỉ 50% cho hướng gió *X* và 73,5% cho hướng gió *Y*. Trong khi đó, với mô phỏng cụm công trình, trường hợp 4 cho hệ số lực dọc theo hướng gió *X* lớn hơn tiêu chuẩn lên đến 63%.

- Nghiên cứu này cũng cho thấy phương pháp CFD có thể thể hiện kết quả một cách trực quan về phân bố vận tốc gió, dòng gió và các xoáy xung quanh công trình, áp suất trên bề mặt của công trình, đồng thời còn có thể xét được ảnh hưởng của quá trình thi công và các công trình xung quanh, điều mà tính toán theo tiêu chuẩn không thể thực hiện được. Hơn nữa, mô phỏng CFD xác định được thành phần tĩnh của tải trọng gió tác dụng lên công trình theo phương tác động và phương vuông góc với phương tác động của gió trong khi thành phần vuông góc không được đề cập trong TCVN 2737-1995. Đặc biệt, tác động của gió theo chiều cao khi công trình có mặt bằng và mặt đứng phức tạp có thể được phân tích đầy đủ và theo hướng gió bất kỳ bằng phương pháp CFD.

Những kết quả trên cho thấy phương pháp CFD có thể kết hợp hoặc kiểm chứng kết quả với thí nghiệm hầm gió trong xác định thành phần tĩnh của tải trọng gió tác dụng vào công trình, từ đó bổ sung cho những điểm khuyết trong việc xác định thành phần tĩnh của tải trọng gió theo TCVN 2737-1995.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số C2018-20-31.

Tài liệu tham khảo

[1] TCVN 2737-1995 (1996). *Tải trọng và tác động – Tiêu chuẩn thiết kế*. Nhà Xuất bản Xây dựng.

[2] Huang, S., Li, Q. S., Xu, S. (2007). Numerical evaluation of wind effects on a tall steel building by CFD. *Journal of Constructional Steel Research*, 63(5):612–627.

[3] Thông, N. V., Ý, N. Q., Cường, N. H., Thành, N. H. (2018). So sánh các mô hình rối RANS trong việc tính toán thành phần tĩnh của tải trọng gió tác dụng lên công trình. *Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 21, Quy Nhơn, 19-21/7/2018*.

[4] Tsuchiya, M., Murakami, S., Mochida, A., Kondo, K., Ishida, Y. (1997). Development of a new k-ε model for flow and pressure fields around bluff body. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 67:169–182.

[5] ASCE/SEI 49-12 (2012). *Wind tunnel testing for buildings and other structures*. American Society of Civil Engineers.

[6] Simiu, E., Scanlan, R. H. (1996). *Wind effects on structures – Fundamentals and applications to design*. Third edition, John Wiley & Sons, New York.