

ỨNG DỤNG PHẦN MỀM COMSOL MULTIPHYSICS ĐỂ XÁC ĐỊNH TÁC ĐỘNG ÁP LỰC GIÓ LÊN CÔNG TRÌNH NHÀ CAO TẦNG

Phạm Trung Thành

Viện Khoa học công nghệ xây dựng

Email: phamthanh.ibst@gmail.com, 0966125286

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses2-29>

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu việc nghiên cứu ứng dụng phần mềm Comsol Multiphysics trong lĩnh vực xây dựng để mô phỏng tác động của gió tới kết cấu công trình. Thuật toán được sử dụng trong phần mềm này dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn FEM - Finite Element Method (PTHH). Dựa trên kết quả nghiên cứu này có thể xem xét áp dụng phần mềm trong tính toán các công trình phức tạp, đòi hỏi độ chính xác cao.

TỪ KHÓA: Comsol Multiphysics, Gió, Nhà cao tầng

ABSTRACT: This paper investigates the application of COMSOL Multiphysics software in the field of construction to simulate wind effects on building structures. The algorithm used in this software is based on the Finite Element Method (FEM). Based on the results of this study, the software can be considered for use in the analysis of complex structures that require high precision.

KEYWORDS: Comsol Multiphysics, FEM, Wind, High-rise Building.

1. GIỚI THIỆU

Dưới tác động của gió công trình sẽ sinh ra dao động lớn hoặc nhỏ tùy thuộc vào độ lớn của áp lực gió và có thể dao động theo phương bất kỳ tùy thuộc vào hướng gió và cách bố trí kết cấu công trình, nếu cách bố trí là hợp lý thì sẽ hạn chế được dao động dưới tác động của tải ngang và ngược lại sẽ gây nguy hiểm cho công trình.

Hiện nay có nhiều tiêu chuẩn tính toán loại tải trọng này, ví dụ như Tiêu chuẩn Châu Âu EN 1991 - 1 - 4, Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737, Tiêu chuẩn Mỹ ASE 7,...

Comsol Multiphysics là phần mềm mô phỏng và mô hình hóa dựa trên các nguyên lý vật lý đã được xây dựng sẵn. Phần mềm cung cấp một môi trường mô phỏng trực quan và mạnh mẽ, giúp giải quyết nhiều bài toán trong các lĩnh vực khác nhau như cơ điện, cơ khí, chất lỏng, sinh học, hóa học, y học, v.v. COMSOL Multiphysics được ra mắt vào tháng 7 năm 1986 bởi Svante Littmarck và Farhad Saeidi tại Viện Công nghệ Hoàng gia (KTH) ở Stockholm, Thụy Điển. Sau đó, hai nhà sáng lập đã thành lập công ty COMSOL AB, có trụ sở chính tại Stockholm và hiện nay COMSOL đã mở nhiều chi nhánh trên toàn cầu, bao gồm Hoa Kỳ, Pháp,

Đức, Anh, Ấn Độ, Trung Quốc, Nhật Bản và nhiều quốc gia khác.

COMSOL AB là công ty hàng đầu thế giới trong lĩnh vực phần mềm mô phỏng đa vật lý (multiphysics simulation), cung cấp các công cụ hỗ trợ nghiên cứu, thiết kế và tối ưu hóa cho các kỹ sư, nhà khoa học và nhà phát triển sản phẩm trong nhiều ngành công nghiệp.

Để giải quyết các bài toán về chất lỏng và nhiệt, Comsol có modul CFD (Computational Fluid Dynamics - Mô phỏng động lực học chất lưu) là mô-đun chuyên biệt để giải quyết các bài toán liên quan đến dòng chảy chất lỏng và khí, từ dòng chảy đơn giản đến dòng chảy rối, hỗn loạn và phức tạp.

Mô-đun này được tích hợp trực tiếp trong COMSOL Multiphysics, cho phép kết hợp nhiều vật lý (multiphysics) như nhiệt, áp lực, phản ứng hóa học và điện từ trong cùng một mô hình.

Nghiên cứu tác động của tải trọng gió ví dụ như vận tốc và hướng gió có thể được tiến hành với các thử nghiệm hầm gió tuy nhiên việc áp dụng hầm gió để nghiên cứu ảnh hưởng này có nhiều khó khăn như giới hạn về áp suất, chiều gió,... Trong khi đó việc tính toán số học để đưa ra giá trị áp lực tác động lên kết cấu bằng cách thiết lập mô hình 3D gán các giá trị về tốc độ gió, hướng gió bằng phương pháp phần tử hữu hạn được cho là tối ưu hơn. Để làm rõ vấn đề

này tác giả lựa chọn phần mềm Comsol Multiphysics chạy mô hình CFD để mô phỏng, kiểm tra tác động của gió lên bề mặt công trình.

2. KHÁI NIỆM CÁC LOẠI DÒNG CHẢY

2.1 Dòng chảy rối (Turbulence Flow)

Bề mặt tiếp xúc của vật chất môi trường với chất lỏng (khí) luôn có độ nhám nhất định, phần chất lỏng (khí) chảy sát biên sẽ có vận tốc thay đổi tạo thành các xoáy. Do chất lỏng (khí) có tính nhớt nên khi vận tốc dòng chảy đủ lớn các xoáy lan truyền vào trong lòng chất lỏng (khí) giao thoa với nhau làm cho các phần tử chất lỏng (khí) chuyển động rối loạn và hình thành dòng chảy rối.

2.2 Hệ số Reynolds và chế độ chảy

Osborne Reynolds (1842–1912) tìm ra hệ số không thứ nguyên đặc trưng cho chế độ chuyển động của dòng chất lưu và được gọi là trị số Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \times w \times d_{td}}{\mu} = \frac{w \times d_{td}}{\nu}$$

Trong đó:

ρ : Khối lượng riêng của lưu chất, ở điều kiện tiêu chuẩn (0 °C, 1 atm) bằng 1,293kg/m³;

μ : Độ nhớt động lực học lưu chất (kg/ms);

ν : Độ nhớt động học ở điều kiện tiêu chuẩn bằng 17.1×10^{-6} m²/s;

w : Vận tốc dòng chảy lưu chất chuyển động trong ống (m/s);

d_{td} : Đường kính tương đương (m).

Osborne Reynolds đã chứng minh được rằng nếu:

$Re \leq 2320$: dòng chảy tầng;

$Re = 2320 \div 10000$: dòng chảy quá độ;

$Re \geq 10000$: dòng chảy rối.

3. CÁC ĐIỀU KIỆN BIÊN VÀ SỐ LIỆU ĐẦU VÀO TRONG MÔ HÌNH COMSOL

3.1 Gán thông số đầu vào

Công trình được nghiên cứu giả định có kích thước mặt bằng 6 m × 8 m, cao 15 m (bao gồm phần đỉnh mái) xây dựng tại nội thành Hà Nội.

Theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737-2023 công trình giả định được xây dựng tại Hà Nội thuộc vùng gió II địa hình B có áp lực gió cơ sở $W_o = 95$ (daN/m²). Cũng theo mục 10.2.3 của TCVN 2737-2023 quy đổi áp lực gió về vận tốc theo công thức:

$$W_o = 0,0613 \times v_o^2$$

Trong đó:

v_o : vận tốc gió ở độ cao 10m so với mốc chuẩn (vận tốc trung bình trong khoảng thời gian 3s bị vượt một lần trong 20 năm) tương ứng với địa hình dạng B, tính bằng (m/s).

$$v_o = \sqrt{\frac{W_o}{0,0613}} = \sqrt{\frac{95}{0,0613}} = 39,36 \text{ (m/s)}$$

Kiểm tra hệ số Reynolds phân loại dòng chảy trên bề mặt công trình.

$$Re = \frac{\rho \times w \times d_{td}}{\mu} = \frac{w \times d_{td}}{\nu}$$

$$\rightarrow Re = 4,14.10^7 > 10000$$

3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của độ cứng tới kết quả mô hình

Tiến hành xây dựng 03 mô hình dạng khối đặc hình hộp chữ nhật có kích thước theo chiều dài, rộng, cao và modun đàn hồi lần lượt là:

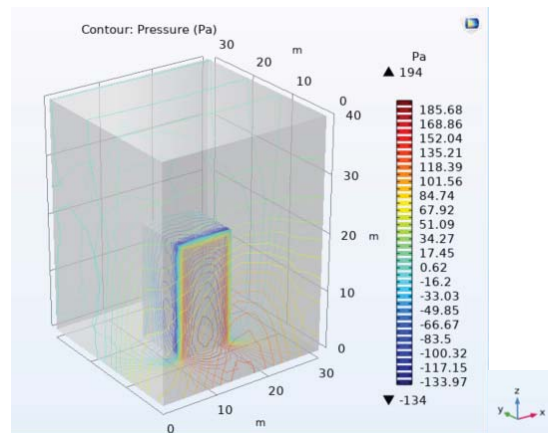
+ M1: X = 10 (m), Y = 10 (m), H = 20 (m), E = 25.10⁹ (Pa)

+ M2: X = 10 (m), Y = 05 (m), H = 20 (m), E = 25.10⁹ (Pa)

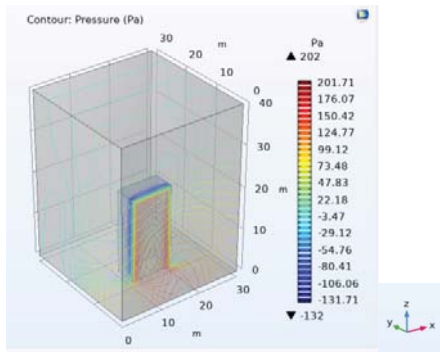
+ M3: X = 10 (m), Y = 10 (m), H = 20 (m), E = 2,5.10⁹ (Pa)

Chú ý: Cả 03 mô hình đều chịu tác động gió theo phương Y là như nhau với $v_o = 10$ (m/s).

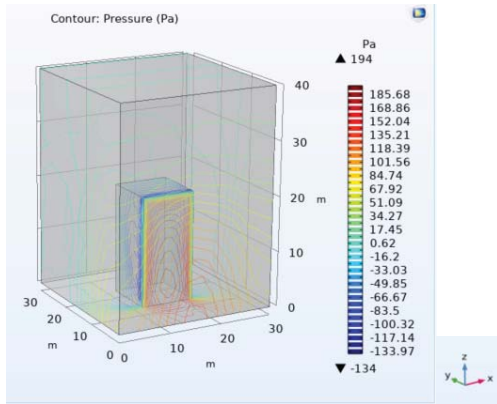
Kết quả chạy mô hình cho giá trị áp lực gió trên bề mặt khối hình hộp và giá trị chuyển vị đỉnh như sau:



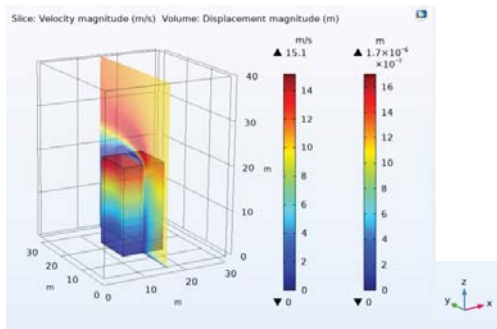
Hình 1: Giá trị áp lực gió tác động lên bề mặt khối hộp mô hình M1



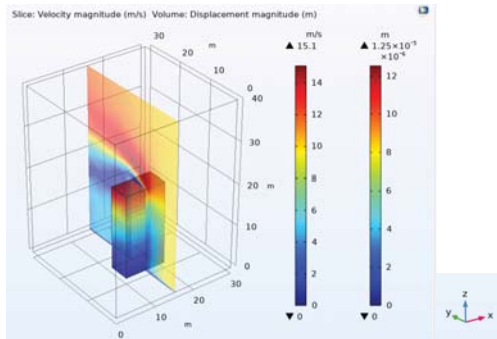
Hình 2: Giá trị áp lực gió tác động lên bề mặt khối hộp mô hình M2



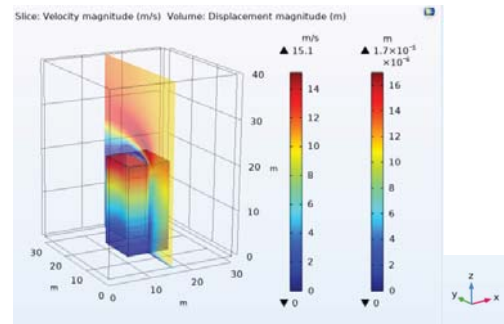
Hình 3: Giá trị áp lực gió tác động lên bề mặt khối hộp mô hình M3



Hình 4: Giá trị chuyển vị đỉnh mô hình M1



Hình 5: Giá trị chuyển vị đỉnh mô hình M2



Hình 6: Giá trị chuyển vị đỉnh mô hình M3

Giá trị áp lực gió và chuyển vị đỉnh được thống kê theo bảng dưới đây:

Bảng 1: So sánh ảnh hưởng của độ cứng tới áp lực bề mặt và chuyển vị đỉnh

Mô hình	Vận tốc V_0 (m/s)	Áp lực bề mặt (Pa)	Chuyển vị đỉnh (m)
M1	10	194	$1,70.10^{-6}$
M2	10	202	$1,25.10^{-5}$
M3	10	194	$1,70.10^{-5}$

Căn cứ vào 03 mô hình thử nghiệm sơ bộ trên đưa ra kết luận ban đầu về ảnh hưởng của độ cứng tới kết quả khảo sát áp lực gió và chuyển vị như sau:

- Về áp lực giá tác động lên bề mặt: coi mô hình M1 là mô hình gốc để đối chiếu, khi giảm kích thước khối hộp theo phương Y xuống 50% tương ứng với giảm b xuống 50% thì áp lực gió tác dụng lên bề mặt khối hộp tăng 04% (ở mô hình M2), COMSOL CFD tính áp lực vật lý thực tế theo điểm, khác với C_p tiêu chuẩn tính toán trung bình, có thể thấy áp lực tăng ở các điểm cục bộ, nhất là khi tòa nhà hẹp, dòng chảy tập trung và xoáy mạnh hơn; khi giảm modun đàn hồi của vật liệu 90% thì áp lực gió bề mặt khối hộp là không đổi (ở mô hình M3). Như vậy kiểm nghiệm được trong mô hình ảnh hưởng của độ cứng EJ tới áp lực gió tác động lên bề mặt công trình là không đáng kể là hợp lý.

- Về giá trị chuyển vị đỉnh: Coi mô hình M1 là mô hình gốc để đối chiếu, khi giảm kích thước khối hộp theo phương Y xuống 50% tương ứng với giảm b xuống 50% thì chuyển vị đỉnh tăng 7,4 lần (ở mô hình M2), khi giảm modun đàn hồi của vật liệu 90% thì chuyển vị đỉnh tăng 10 lần (ở mô hình M3). Như vậy kiểm nghiệm trong mô hình ảnh hưởng của độ cứng EJ tới giá trị chuyển vị đỉnh là rất đáng kể.

- Căn cứ vào các kiểm tra sơ bộ với các mô hình đơn giản về ảnh hưởng của độ cứng tới kết quả khảo sát, từ ấy rút ra được những lưu ý khi tiến

hành nghiên cứu tính toán với các bài toán cần nghiên cứu cụ thể.

4. ÁP DỤNG MÔ PHỎNG TĨNH ĐỐI VỚI CÔNG TRÌNH MINH HỌA

4.1. Mô phỏng gió theo phương X

Công trình giả định được khảo sát là một tòa nhà cao tầng có mái chéo nghiêng 1 bên, kích thước theo mặt bằng $x = 20$ m; $y = 15$ m; cao độ đỉnh mái $z_1 = 40$ m; cao độ phía chân mái $z_2 = 30$ m.

Để thực hiện việc gán giá trị vận tốc gió theo cao độ cần phải thiết lập một hàm toán học và gán cho mô hình, trong nghiên cứu này tác giả lựa chọn hàm số mũ theo AS/NZS 1170.2

$$\bar{V}_{(z)} = \bar{V}_o \times \bar{E}_{(z)} = \bar{V}_o \times \bar{b} \times \left(\frac{z}{10} \right)^{\bar{\alpha}}$$

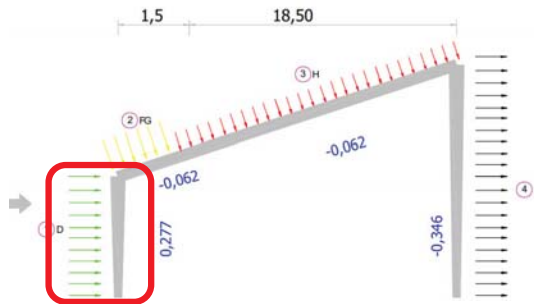
Trong đó:

$\bar{V}_o$: Vận tốc gió cơ bản trung bình;

E: Hệ số ảnh hưởng theo độ cao của vận tốc gió;

$\bar{b}$; $\bar{\alpha}$: Các hằng số phụ thuộc dạng địa hình.

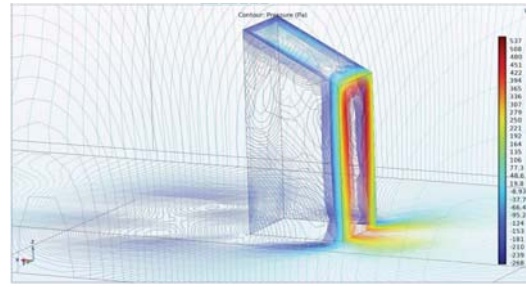
Dưới đây là những kết quả nghiên cứu bằng phần mềm Comsol đối với mô hình giả định. Và kết quả tính toán theo TCVN 2737-2023



Hình 7: Sơ đồ hướng tác động và vùng gió trên bề mặt công trình theo phương X (hướng 0° theo TCVN 2737-2023)

Vùng	Chú thích	Z (m)	b (m)	h (m)	Z _e (m)	k(Z _e)	C _e	C _{i1, i2}	C	B (m)	w ₀ (daN/m ²)
D	Tường trái	30,0	15,0	40,0	40,0	1,34	0,80	-0,20	0,60	5,0	55
G	Mái trái - Giữa	30,2	15,0	40,0	40,0	1,34	0,07	-0,20	-0,13	5,0	-12
F	Mái trái - Hồi	30,2	15,0	40,0	40,0	1,34	0,07	-0,20	-0,13	5,0	-12
H	Mái trái - Đỉnh	40,0	15,0	40,0	40,0	1,34	0,07	-0,20	-0,13	5,0	-12
E	Tường phải	40,0	15,0	40,0	40,0	1,34	-0,55	-0,20	-0,75	5,0	-69
A	Tường hồi	30,4	15,0	40,0	40,0	1,34	-1,20	-0,20	-1,40	5,0	-129
B	Tường hồi	31,7	15,0	40,0	40,0	1,34	-0,80	-0,20	-1,00	5,0	-92
C	Tường hồi	40,0	15,0	40,0	40,0	1,34	-0,50	-0,20	-0,70	5,0	-65

Hình 8: Giá trị áp lực gió trên bề mặt công trình theo phương X (hướng 0° theo TCVN 2737-2023)



Hình 9: Giá trị áp lực gió trên bề mặt D công trình theo phương X

So sánh kết quả của phần mềm Comsol Multiphysics và TCVN 2737-2023:

- Theo Comsol Multiphysics giá trị áp lực gió trên bề mặt D là 537 Pa.

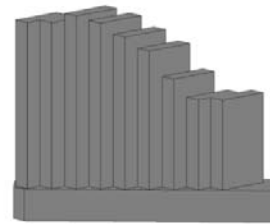
- Theo TCVN 2737-2023 giá trị áp lực gió trên bề mặt D là 550 Pa.

Kết quả tính toán theo TCVN 2737-2023 lớn hơn so với mô phỏng bằng phần mềm Comsol Multiphysics khoảng 2,4%.

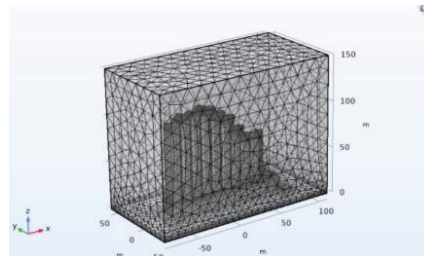
4.2. Áp dụng công trình SCENIA Nha Trang Bay

Công trình SCENIA Nha Trang Bay được xây dựng và thiết kế dựa theo tiêu chuẩn TCVN 2737-1995, do đó phần nghiên cứu mở rộng tính thực tiễn khi áp dụng phần mềm Comsol Multiphysics được truy hồi tính toán theo TCVN 2737-1995.

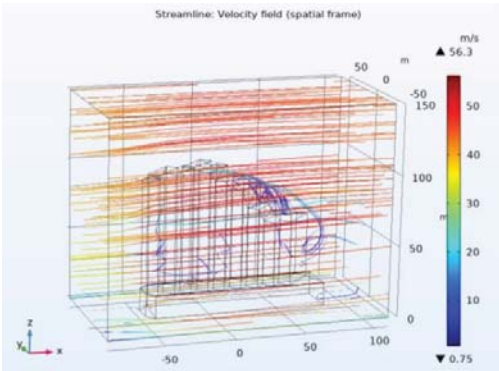
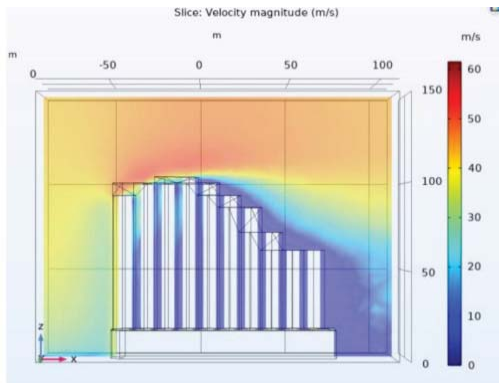
Comsol hoàn toàn cho phép liên kết với các phần mềm khác để tạo mô hình tính toán cho các khối hình phức tạp, do đó ở đây tác giả sẽ thiết lập mô hình 3D bằng phần mềm Revit sau đó import vào Comsol để tiến hành phân tích tính toán.



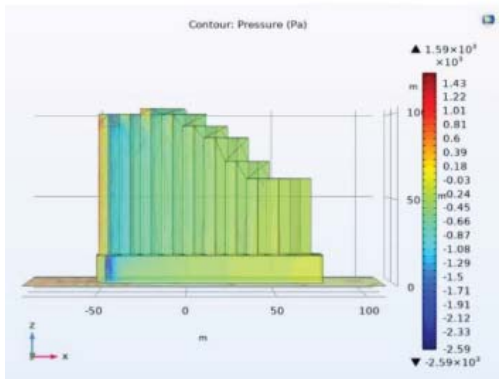
Hình 10: Mô hình 3D được tạo trên Revit



Hình 11: Mô hình được chia lưới tính toán theo phương pháp PTHH



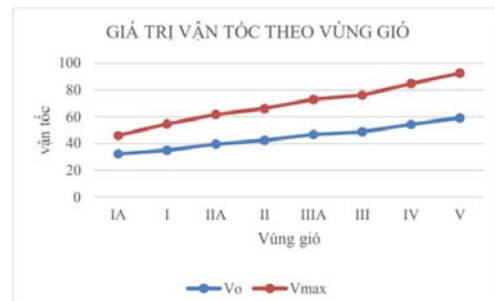
Hình 12: Giá trị vận tốc gió theo hướng X được tính toán bằng Comsol Multiphysics



Hình 13: Giá trị áp lực gió được tính toán bằng Comsol Multiphysics

Bảng 2: Kết quả mô phỏng bằng Comsol Multiphysics đối với công trình SCENIA Nha Trang Bay, theo hướng gió X

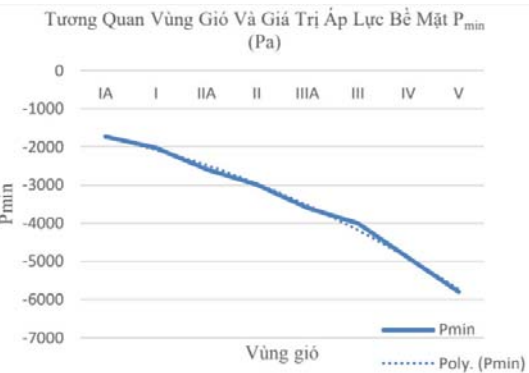
	VÙNG GIÓ							
	IA	I	IIA	II	IIIA	III	IV	V
W_0 (daN/m ²)	55	65	83	95	115	125	155	185
V_0 (m/s)	32,27	35,00	39,50	42,40	46,67	48,70	54,20	59,20
V_{max} (m/s)	46,00	54,50	61,60	66,10	72,80	76,00	84,60	92,40
ρ_a	0,00	18,48	33,91	43,70	58,26	65,22	83,91	100,87
P_{max} (Pa)	1060	1250	1590	1830	2200	2400	3000	3600
%	0,00	17,92	50,00	72,64	107,55	126,42	183,02	239,62
P_{min} (Pa)	-1730	-2030	-2590	-2990	-3600	-4000	-4900	-5800
%	0,00	17,34	49,71	72,83	108,09	131,21	183,24	235,26
f (mm)	7,53	8,85	10,00	10,00	20,00	20,00	20,00	30,00
%	0,00	17,53	32,80	32,80	165,60	165,60	165,60	298,41



Hình 14: Tương quan giữa vùng gió và vận tốc theo phương X



Hình 15: Tương quan vùng gió và áp lực bề mặt Pmax theo phương X



Hình 16: Tương quan vùng gió và áp lực bề mặt Pmin theo phương X

Kiểm tra giá trị áp lực gió tại một vị trí bất kỳ của công trình cho kết luận như sau:

- Theo TCVN 2737-1995 với công trình cụ thể trong bài báo này xét với hướng gió dọc nhà tại độ cao 40,5 (m) cho áp lực tại mặt đón gió là 950 (Pa) và theo tính toán của Comsol áp lực này là 880 (Pa) chênh lệch khoảng 8%.

- Cũng theo TCVN 2737-1995 tại các hốc gió đều nhận giá trị áp lực hút là 503 (Pa) và áp lực đẩy là 672 (Pa) nhưng theo tính toán của Comsol thì áp lực tại các hốc gió là khác nhau ở đầu và cuối công trình. Các hốc gió đều chịu áp lực hút do tại các hốc nhà gió bị xoáy và giá trị áp lực hút ở đầu công trình là 623 (Pa), cuối công trình là 433 (Pa). Giá trị tính toán theo TCVN 2737-1995 lớn

hơn khoảng 25% so với phân tích bằng Comsol Multiphysics.

5. KẾT LUẬN

Từ những nghiên cứu của tác giả về tính ứng dụng của phần mềm Comsol Multiphysics vào ngành xây dựng, cụ thể trong báo cáo này là tác động của tải trọng gió lên công trình xây dựng, bước đầu đưa ra những kết luận cơ bản như sau:

- Giá trị chênh lệch giữa TCVN 2737 thường cao hơn giá trị tính toán mô phỏng bằng phần mềm Comsol Multiphysics, điều đó là hoàn toàn hợp lý, bởi TCVN 2737 thường có các hệ số an toàn cao hơn để đảm bảo tính bền vững cho công trình trong mọi điều kiện bất lợi nên giá trị tính toán theo tiêu chuẩn thường bảo thủ hơn và lý giải tại sao giá trị thường lớn hơn so với mô phỏng, trong khi đó phần mềm Comsol Multiphysics thường có giá trị thấp hơn do các phân tích vì mô được tính toán kỹ lưỡng bởi thuật toán máy tính như dòng xoáy tách hợp, vùng hút sau công trình,...

- Đối với các dạng mặt bằng phức tạp như đối với công trình SCENIA Nha Trang Bay, có dạng cấu trúc hình xương cá, yếu tố cộng hưởng giao thoa giữa các hốc gió chưa được đề cập cụ thể theo TCVN 2737 do đó áp dụng mô phỏng tính toán bằng phần mềm Comsol Multiphysics giúp cho đơn giản hóa việc tính toán và cho kết quả với độ tin cậy chính xác cao.

- Ngoài ra Comsol Multiphysics có thể ứng dụng tính toán nhiều yếu tố khác liên quan tới tác động của tải trọng gió lên công trình như tải trọng gió thay đổi theo thời gian, chuyển vị, vận tốc gió, áp lực gió lên công trình và các công trình lân cận trong phạm vi ảnh hưởng... với giới hạn và phạm vi của báo cáo này tác giả chỉ trình bày đối với mô phỏng tĩnh của tải trọng gió.

- Kiến nghị: dựa trên nghiên cứu mô phỏng bằng phần mềm Comsol Multiphysics, kết hợp với thí nghiệm hầm gió và các đo đạc thực tiễn để tăng độ tin cậy với những công trình đòi hỏi tính chính xác cao và các công trình phức tạp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737-1995.
- [2] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737-2023.
- [3] ASCE/SEI 7-16 (2017). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers - Structural Engineering Institute.
- [4] AS/NZS 1170.2:2011. Australian/New Zealand Standard. Structural Design Actions - Part 2 - Wind Actions.
- [5] An Experimental Investigation of the Circumstances Which Determine Whether the Motion of Water Shall Be Direct or Sinuous, and of the Law of Resistance in Parallel Channels.