

XÁC ĐỊNH TẢI TRỌNG GIÓ BẰNG THÍ NGHIỆM ỒNG THỐI KHÍ ĐỘNG CHO CÔNG TÁC THIẾT KẾ CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG TẠI VIỆT NAM

DETERMINATION OF WIND LOAD USING WIND TUNNEL TEST FOR BUILDING DESIGN IN VIETNAM

Vũ Thành Trung¹, Đỗ Văn Mạnh², Nguyễn Ngọc Huy³, Phan Đăng Dũng⁴

^{1,2,3,4}Viện Khoa học công nghệ xây dựng

¹Email: trungvuthanh1975@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses1-31>

TÓM TẮT: Các công trình xây dựng tại Việt Nam ngày càng cao và hình dạng phức tạp nên việc áp dụng các tiêu chuẩn gió hiện hành của Việt Nam và quốc tế nhiều trường hợp là không khả thi. Thí nghiệm ống thổi khí động là một phương pháp hiện đại và ngày càng được áp dụng để xác định tải trọng gió cho công tác thiết kế công trình xây dựng tại Việt Nam. Ngoài ra, thí nghiệm này còn có nhiều ý nghĩa trong việc nâng cao chất lượng thiết kế và giảm giá thành xây dựng vì tải trọng gió xác định theo phương pháp này thường nhỏ hơn khoảng từ 20% đến 30% so với tải trọng khi xác định bằng tiêu chuẩn. Bài báo này trình bày các kết quả áp dụng thí nghiệm ống thổi khí động trong hơn 10 năm qua tại Viện KHCN Xây dựng.

TỪ KHÓA: Thí nghiệm ống thổi khí động, tải trọng gió, nhà cao tầng.

ABSTRACTS: Buildings in Vietnam are increasingly tall and complex in shape, so it is not feasible to apply current Vietnamese and international wind standards in many cases. The wind tunnel test is a modern and increasingly applied method to determine wind loads for design work in Vietnam. In addition, this test has many meanings in improving design quality and reducing construction costs because the wind load determined by this method is usually about 20% to 30% smaller than the load when determined by the standard. This paper presents the results of applying wind tunnel test over the past 10 years at the Vietnam Institute of Building Science and Technology.

KEYWORDS: Wind tunnel test, Wind load, Highrise building.

1. GIỚI THIỆU

Trong ba mươi năm qua, Việt Nam có nhiều công trình cao tầng với hình dạng phức tạp đã được thiết kế và xây dựng như: Tổ hợp công trình Keangnam, Tòa nhà trung tâm thương mại Vietinbank, Landmark 81 Tải trọng gió tác dụng lên các công trình thường được tính toán dựa theo các tiêu chuẩn quốc gia như: tiêu chuẩn Nhật Bản AIJ-RFLB 2015 [1], tiêu chuẩn Mỹ ASCE 7-16 [2], tiêu chuẩn Úc/Newzealand AS/NZS 1170.2:2011 (R2016) [3], tiêu chuẩn Châu Âu EN 1991-1-4:2005 [4], tiêu chuẩn Trung Quốc GB 50009-2012 [5], tiêu chuẩn Ấn Độ IS: 875 [6], tiêu chuẩn Canada NBCC 2015 [7], tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737-1995 [8],.... Nhưng đối với các công trình nhà cao tầng với các hình dạng phức tạp và chiều cao lớn thì việc áp dụng thí nghiệm ống thổi khí động sẽ có kết quả chính xác hơn so với dùng các tiêu chuẩn này.

2. THÍ NGHIỆM ỒNG THỐI KHÍ ĐỘNG

Để xác định tải trọng gió bằng thí nghiệm trong

ống thổi khí động thì các luật mô hình hóa quan trọng (tương tự về hình học, tương tự về môi trường gió (profile vận tốc gió và độ rối), tương tự động lực của dòng gió xung quanh công trình v.v) cần được thực hiện, trong khi các tương tự khác ở trong thí nghiệm này được tuân thủ.

Các thí nghiệm trong bài báo này được thực hiện trong ống thổi khí động của Viện KHCN Xây dựng. Đây là ống thổi khí động có dạng kín (Closed Circuit Wind Tunnel) theo phương đứng, có hai nhánh và có tổng chiều dài là 35,5 m, chiều cao là 9,1 m.

Kích thước tiết diện trong lòng ống thổi của nhánh dưới có kích thước 2 m x 2 m với phần mở rộng có bố trí bàn xoay đường kính 4 m, kích thước tiết diện ống thổi nhánh trên chiều cao 2 m với chiều rộng rộng 8 m, tại vị trí bàn xoay có cửa kính lớn để quan sát.

Ống thổi khí động có hệ thống động cơ tạo gió công suất lớn gồm 4 động cơ và bộ điều khiển. Ống thổi đi kèm với bàn tạo nhám bề mặt, hệ thống các

loại đầu đo, hệ thống máy tính nối mạng nội bộ, hệ thống thu thập và xử lý số liệu cùng các phần mềm chuyên dụng kèm theo.

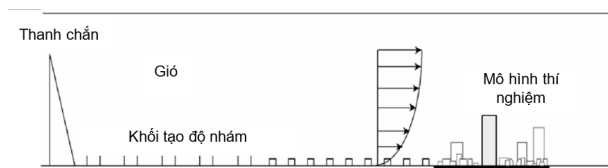
Các kết quả thí nghiệm thường có được cho áp dụng cho công tác thiết kế:

- Chuyển vị đỉnh của công trình và gia tốc tương ứng với chu kỳ lặp khác nhau (với các độ cản 1%, 1,5% và 2%).

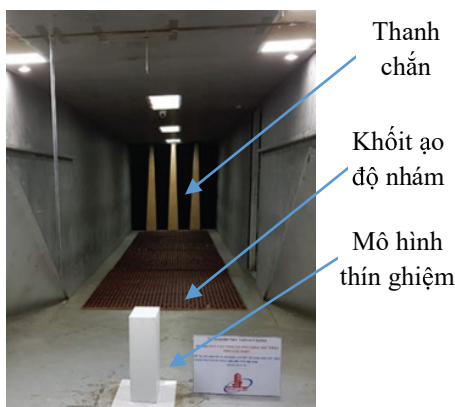
- Lực gió tĩnh tương đương phân bố tại các tầng (với các độ cản 1%, 1,5% và 2%) dùng cho thiết kế kết cấu.

- Gia tốc dao động tại đỉnh công trình ứng với các chu kỳ lặp khác nhau (0,1 năm, 1 năm và 10 năm).

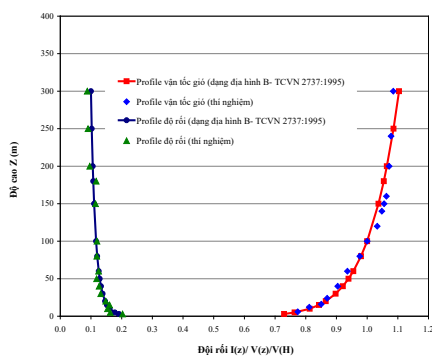
- Các hệ số áp lực lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình và lệch chuẩn dùng cho thiết kế hệ bao che.



Hình 1. Sơ đồ tạo môi trường gió



Hình 2. Mô phỏng môi trường gió trong ống thổi khí động



Hình 3. Profile vận tốc gió và profile độ rối theo thí nghiệm và theo tiêu chuẩn

3. ĐIỀU KIỆN TRƯỜNG GIÓ

Điều kiện môi trường gió được mô phỏng bằng các khối tạo nhám và thanh chắn được đặt trên sàn của ống thổi khí động (xem Hình 1 và Hình 2). Các thanh chắn được thay đổi độ vát để điều chỉnh profile vận tốc gió để đạt đến profile vận tốc gió của theo các dạng địa hình loại A, B, C (TCVN 2737:1995). Chiều dài bố trí các khối tạo nhám và độ cao của khối tạo nhám sẽ được điều chỉnh để đến khi đạt được profile độ rối theo yêu cầu. Profile vận tốc gió và profile độ rối theo tiêu chuẩn và theo thí nghiệm (dạng địa hình loại A, B, C của TCVN 2737:1995) được thể hiện trong Hình 3.

4. MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM

4.1. Các thông số mô hình hóa

Tỉ lệ kích thước mô hình thí nghiệm được xác định theo Công thức 1:

$$\lambda_L = \frac{L_{WT}}{L_{FS}} \quad (1)$$

Trong đó:

λ_L : tỉ lệ kích thước.

L_{WT} : kích thước mô hình.

L_{FS} : kích thước thực.

Tỉ lệ vận tốc gió giữa vận tốc gió trong ống thổi khí động và vận tốc gió thực được xác định theo Công thức 2:

$$\lambda_V = \frac{V_{WT}}{V_{FS}} \quad (2)$$

Trong đó:

λ_V : tỉ lệ vận tốc.

V_{WT} : vận tốc gió trong ống thổi khí động (lấy theo điều kiện của ống thổi khí động và khả năng của thiết bị).

V_{FS} : vận tốc gió thực.

Tỉ lệ thời gian lấy số liệu thí nghiệm trong ống thổi khí động được xác định theo Công thức 3:

$$\lambda_T = \frac{\lambda_L}{\lambda_V} \quad (3)$$

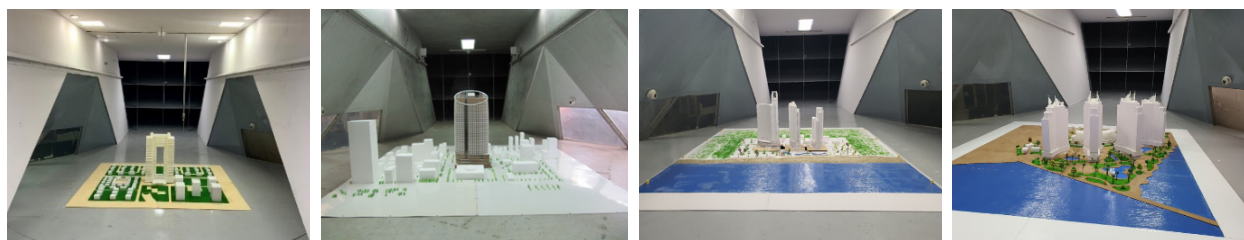
4.2. Mô hình thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm là loại mô hình cứng, được chế tạo từ vật liệu nhựa bằng công nghệ in 3D.

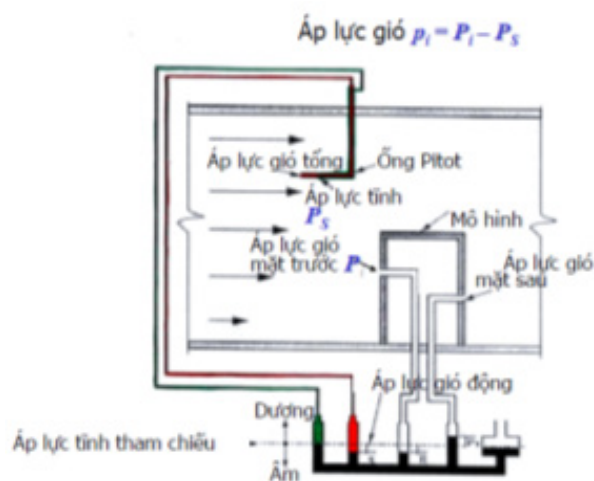
Với tỉ lệ mô hình thông thường là:

$$\lambda_L = \frac{1}{100} \div \frac{1}{500}; \text{ Tỉ lệ vận tốc } \lambda_V = \frac{1}{3} \div \frac{1}{7};$$

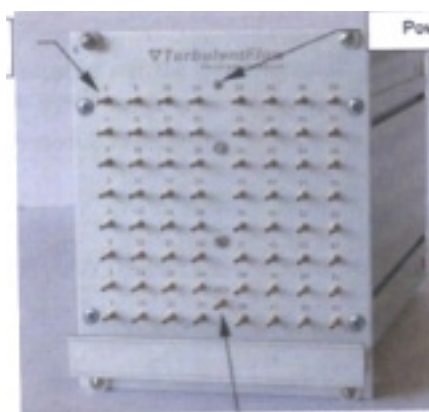
Các mô hình thí nghiệm trong ống thổi khí động



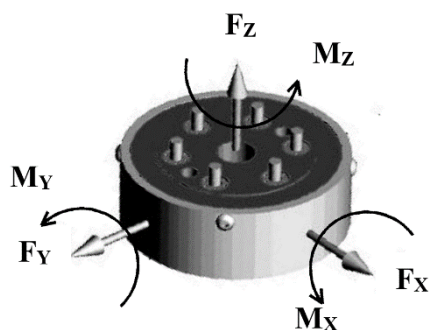
Hình 4. Hình ảnh mô hình của một số công trình trong ống thổi khí động của Viện KHCN Xây dựng



Hình 5. Sơ đồ đo áp lực cho mô hình thí nghiệm trong trong ống thổi khí động



Hình 6. Hệ thống thu nhận áp lực động DPMS



Hình 7. Thiết bị cân lực tần số cao JR3 (High Frequency Force Balance JR3) và ký hiệu chiều cho 6 thành phần lực của thiết bị

của Viện KHCN Xây dựng được thể hiện trong Hình 4.

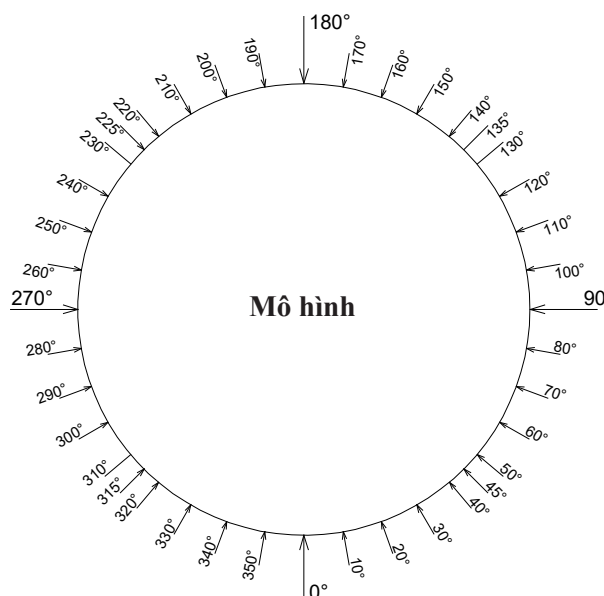
Mô hình thí nghiệm có 2 loại mô hình: (1) Mô hình đo áp lực bề mặt và (2) Mô hình đo tổng lực

Đối với mô hình đo áp lực bề mặt thì các đầu đo áp lực được bố trí trên bề mặt các mô hình thí nghiệm (xem Hình 5) và được nối bằng các ống có chiều dài 1 m và đường kính trong 1,2 mm được nối với hệ thống thu nhận áp lực động DPMS (xem Hình 6). Các số liệu đo từ các cảm biến áp lực được thu nhận đồng thời với tần số lấy mẫu là 500 Hz.

Mô hình đo tổng lực thì mô hình được gắn trên thiết bị cân lực tần số cao JR3 (High Frequency Force Balance JR3) (xem Hình 7). Đây là thiết bị đặc chủng với 6 thành phần lực ($F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$) (xem Hình 7) được đo đồng thời với tần số cao (tần số lấy mẫu từ 500 Hz đến 1000 Hz).

5. CÁC HƯỚNG GIÓ THÍ NGHIỆM

Thí nghiệm được thực hiện với nhiều hướng gió khác nhau (Thông thường thí nghiệm với 36 hướng gió khác nhau (10° một hướng)) (xem Hình 8). Từ kết quả thí nghiệm theo các hướng gió từ đó ta xác định được tải trọng gió bất lợi nhất để thiết kế công trình, đây là việc sẽ không xác định được từ tiêu chuẩn.



Hình 8. Sơ đồ các hướng gió thí nghiệm

6. XỬ LÝ SỐ LIỆU

6.1 Xử lý số liệu cho áp lực

Chuỗi số liệu theo thời gian của các cảm biến áp lực được xác định theo Công thức sau:

$$C_p(i, t) = p(i, t) / p_H \quad (4)$$

trong đó:

$C_p(i, t)$: hệ số áp lực tại cảm biến áp lực i tại thời gian t ;

$p(i, t)$: áp lực tại cảm biến áp lực i tại thời gian t ;

p_H : áp lực tham chiếu tại độ cao đỉnh mô hình thí nghiệm H.

Các hình vẽ đường đồng mức của các giá trị hệ số áp lực (trung bình, lệch chuẩn, lớn nhất, nhỏ nhất) được tính từ các Công thức 5, 6 và 7. Các giá trị này được tính từ 10 chuỗi số liệu.

$$\bar{C}_p = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} \bar{C}_p(n) \quad (5)$$

$$\tilde{C}_p = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} \tilde{C}_p(n) \quad (6)$$

trong đó:

$\bar{C}_p(n)$: hệ số áp lực trung bình của chuỗi số liệu thứ n ;

$\tilde{C}_p(n)$: hệ số áp lực lệch chuẩn của chuỗi số liệu thứ n ;

Các giá trị cực hạn (lớn nhất và nhỏ nhất) được xác định theo phương pháp Cook & Mayne[10], trong đó phân bố cực trị của các hệ số áp lực được giả thiết theo phân bố Fisher-Tippett loại 1 (FT1).

Công thức 7 được dùng tính hệ số áp lực lớn nhất \hat{C}_p và cũng được dùng cho tính hệ số áp lực nhỏ nhất \hat{C}_p .

$$\hat{C}_p = U_{\hat{C}_p} + \frac{1,4}{a_{\hat{C}_p}} \quad (7)$$

Trong đó:

$U_{\hat{C}_p}$: mô hình của phân bố Fisher-Tippett loại 1.

$\frac{1}{a_{\hat{C}_p}}$: độ phân tán của phân bố Fisher-Tippett

loại 1.

và được tính theo phương pháp Best Linear

Unbiased Estimators (BLUE)[9, 10, 11] (các Công thức 8 và 9)

$$U_{\hat{C}_p} = \sum_{i=1}^{10} a_i X_i \quad (8)$$

$$\frac{1}{a_{\hat{C}_p}} = \sum_{i=1}^{10} b_i X_i \quad (9)$$

Trong đó:

X_i : giá trị thứ i của chuỗi giá trị tăng dần của các giá trị lớn nhất của 10 chuỗi số liệu;

a_i và b_i được xác định từ [10].

6.2 Xử lý số liệu cho lực

Số liệu về 5 thành phần lực (F_X, F_Y, M_X, M_Y, M_Z) tại chân của mẫu thí nghiệm theo thời gian được thu nhận (đối mô hình công trình nhà thi thường không cần xác định thành phần lực dọc theo chiều cao công trình do gió gây ra, F_Z). Các lực này sẽ được xử lý cùng với các đặc trưng động lực của công trình như: tần số dao động riêng, dạng dao động, độ cản, khối lượng...

Giá trị trung bình của F_X được xác định theo công thức sau:

$$\bar{F}_X = \frac{\sum F_X(t)}{n} \quad (10)$$

trong đó:

$F_X(t)$: lực theo phương X theo thời gian;

n : tổng số các giá trị đo.

Giá trị lệch chuẩn của F_X được xác định theo công thức sau:

$$\tilde{F}_X = \sqrt{\frac{\sum (F(t) - \bar{F}_X)^2}{n-1}} \quad (11)$$

Giá trị lớn nhất (\hat{F}_X) và nhỏ nhất (\tilde{F}_X) của F_X được xử lý theo lý thuyết giá trị cực trị theo phương pháp Cook & Mayne[10]:

Xử lý tương tự như vậy với các thành phần lực còn lại F_Y, M_X, M_Y và M_Z .

Các giá trị của F_X, F_Y, M_X, M_Y và M_Z của mô hình (model scale) sẽ được quy đổi sang các giá trị của F_X, F_Y, M_X, M_Y và M_Z của tỉ lệ thực (full scale) theo các công thức sau:

$$(F_X)_{full} = (F_X)_{model} \left(\frac{1}{\lambda_L} \right)^2 \left(\frac{1}{\lambda_V} \right)^2 \quad (12)$$

$$(F_Y)_{full} = (F_Y)_{model} \left(\frac{1}{\lambda_L} \right)^2 \left(\frac{1}{\lambda_V} \right)^2 \quad (13)$$

$$(M_X)_{full} = (M_X)_{model} \left(\frac{1}{\lambda_L} \right)^3 \left(\frac{1}{\lambda_V} \right)^2 \quad (14)$$

$$(M_Y)_{full} = (M_Y)_{model} \left(\frac{1}{\lambda_L} \right)^3 \left(\frac{1}{\lambda_V} \right)^2 \quad (15)$$

$$(M_Z)_{full} = (M_Z)_{model} \left(\frac{1}{\lambda_L} \right)^3 \left(\frac{1}{\lambda_V} \right)^2 \quad (16)$$

7. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Các kết quả thí nghiệm cho các hướng gió khác nhau đã được xử lý và thể hiện dưới các hình vẽ đường đồng mức.

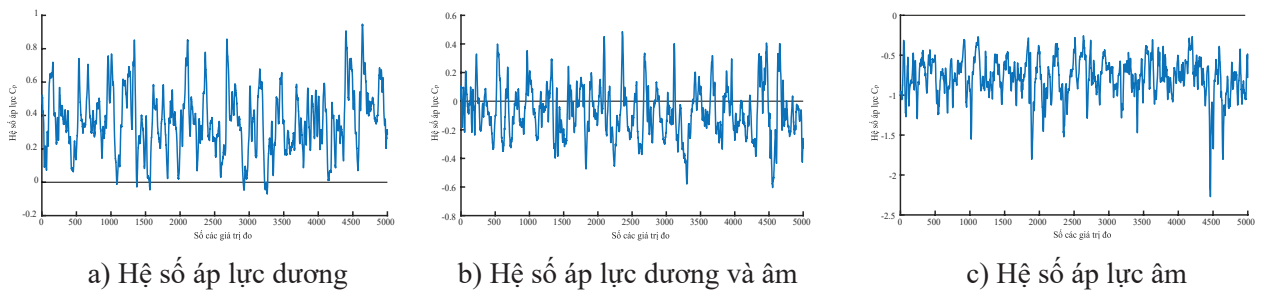
Hệ số áp lực C_p đã được thể hiện cho tất cả mặt của các mô hình thí nghiệm và cho tất cả các hướng gió. Qua các kết quả thí nghiệm cho thấy, các hệ số áp lực có giá trị dương tại các mặt đón gió và giá trị âm tại các mặt bên và khuất gió. Tại các vị trí cạnh, các hệ số áp lực thay đổi nhanh theo thời gian

và không gian do sự tương tác giữa gió và mô hình (hiện tượng tách xoáy). Các hình có hình dạng phức tạp thì giá trị của các hệ số áp lực thay đổi nhiều với phân bố áp lực thay đổi nhanh theo các mặt và theo hướng gió tác dụng. Sự thay đổi hệ số áp lực C_p thay đổi theo thời gian của một số vị trí trên mô hình (hệ số áp lực dương (xem Hình 9 (a)), hệ số áp lực dương và âm (xem Hình 9 (b)), hệ số áp lực âm (xem Hình 9 (c)).

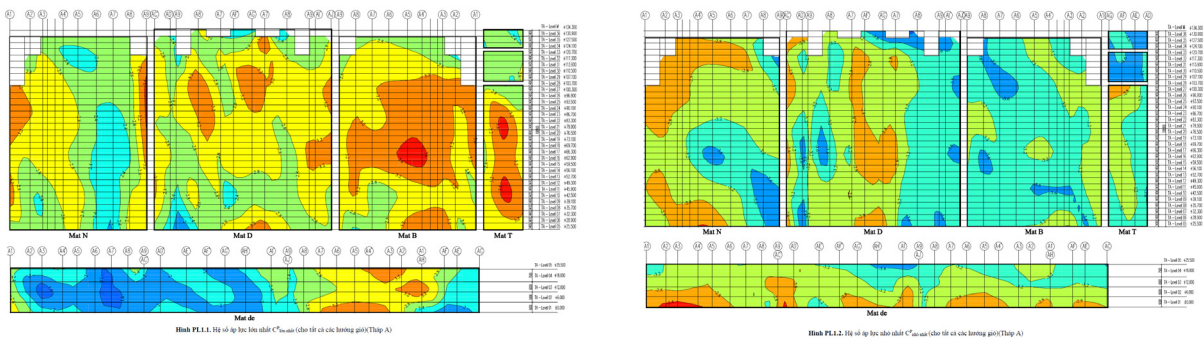
Phân bố hệ số áp lực trên các mặt của mô hình thí nghiệm cho tất cả các hướng gió được thể hiện ở Hình 10.

5 thành phần lực (F_X, F_Y, M_X, M_Y, M_Z) sau khi được xử lý sẽ được thể hiện cùng hướng gió (xem Hình 11). F_X là lực dọc luồng gió (theo phương X), F_Y là lực ngang luồng gió (theo phương Y), M_X là mô men quanh trục X, M_Y là mô men quanh trục Y, M_Z là mô men xoắn quanh trục Z (trục đứng).

Qua kết quả của Bảng 1 cho thấy kết quả lực cắt đáy do gió gây ra từ thí nghiệm thường chỉ bằng từ 61% đến 81% kết quả lực cắt đáy do gió gây ra



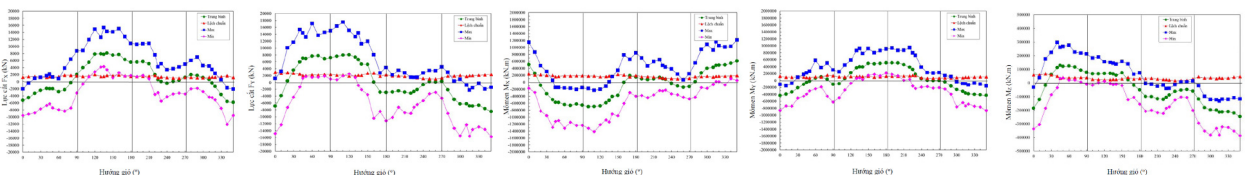
Hình 9. Sự thay đổi hệ số áp lực C_p theo thời gian [12]



a) Hệ số áp lực lớn nhất

b) Hệ số áp lực nhỏ nhất

Hình 10. Phân bố hệ số áp lực trên các mặt của mô hình thí nghiệm cho tất cả các hướng gió [13]



a) Lực cắt đáy theo phương X (F_x)

b) Lực cắt đáy theo phương Y (F_y)

c) Mômen đáy theo quanh trục X (M_x)

d) Mômen đáy theo quanh trục Y (M_y)

e) Mômen đáy theo quanh trục Z (M_z)

Hình 11. Sự thay đổi của các lực cắt đáy và mômen đáy với hướng gió [13]

Bảng 1. Lực cắt đáy lớn nhất cho một số công trình được xác định từ thí nghiệm ống thổi khí động [13]

Công trình	Chiều cao (m)	Lực cắt đáy lớn nhất \bar{F}_x / nhỏ nhất \bar{F}_x (kN)			Chênh lệch
		Phương tác dụng	TCVN 2737:1995	Thí nghiệm	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (5)/(4)
A	152	X	16.729 (-13.547)	12.547 (-9.889)	75% (73%)
		Y	19.043 (-20.127)	13.711 (-14.894)	72% (74%)
B	188	X	13.490 (-8.938)	8.364 (-5.810)	62% (65%)
		Y	13.135 (-17.668)	9.063 (-11.131)	69% (63%)
C	130	X	30.933 (-26.138)	22.581 (-20.910)	73% (80%)
		Y	20.857 (-18.188)	16.477 (-14.732)	79% (81%)
D	159	X	24.683 (-22.925)	18.759 (-16.735)	76% (73%)
		Y	10.503 (-13.455)	7.457 (-10.360)	71% (77%)

CHÚ THÍCH: Giá trị ngoài () là lực cắt đáy lớn nhất \bar{F}_x , giá trị trong () là lực cắt đáy nhỏ nhất \bar{F}_x

từ tính toán theo tiêu chuẩn TCVN 2737:1995. Kết quả này cũng phù với các kết quả thí nghiệm ống thổi khí động được thực hiện bởi một số đơn vị thí nghiệm của nước ngoài cho các công trình tại Việt Nam. Các kết quả này nhỏ hơn do tải trọng gió lên công trình là tải trọng áp lực, lực gió bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như: hình dạng công trình, hướng gió, ảnh hưởng của các công trình xung quanh, sự tương tác theo không gian, sự tương tác theo thời gian... Mà các yếu tố này không được xét đến hoặc có xét đến nhưng không chính xác khi tính toán bằng tiêu chuẩn. ích.ua Qu

8. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày các kết quả áp dụng thí nghiệm ống thổi khí động tại Viện KHCN Xây dựng cho các công trình nhà cao tầng tại Việt Nam trong hơn 10 năm qua. Các kết quả từ thí nghiệm đã giúp rất nhiều cho công tác thiết kế như: xác định lực gió tác dụng lên kết cấu công trình, ảnh hưởng của các

hướng gió, áp lực gió lên các bề mặt bao che. Các tải trọng gió này thường bằng 70% đến 80% khi tính toán theo tiêu chuẩn TCVN 2737:1995.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *AIJ Recommendations for Loads on Buildings* (2015), Architectural Institute of Japan.
- [2] American Society of Civil Engineers (2017). *ASCE/SEI 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.
- [3] Australian/New Zealand Standard (2016). *AS/NZS 1170.2: Australian/New Zealand Standard, Structural design actions, Part 2 : Wind actions*.
- [4] European Standard (2005). *BS EN 1991-1-4:2005: Eurocode 1. Actions on structures - General actions - Wind actions*.
- [5] GB 50009-2012 (2012), *Load Code for the Design of building Structures*.
- [6] IS: 875 (Part3) (1987), *Wind Loads on Buildings and Structures*.
- [7] National Building Code of Canada (2015). *NBCC 2015: National Building Code of Canada*.
- [8] TCVN 2737: 1995 (1995), *Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế*.
- [9] J. D. Holmes, *Wind Loading of Structures*, Spon Press, London, UK, 2001.
- [10] N. J. Cook, J. R. Mayne, *A refined working approach to the assessment of wind loads for equivalent static design*, J. of Wind Eng. & Ind. Aerody., 125-137, 1980.
- [11] J. Lieblein, *Efficient methods of extreme-value methodology*, Natl. Bur. Stand. (U.S.) Rep. NBSIR 74602,1974.
- [12] Vũ Thành Trung và cộng sự, *Báo cáo tổng kết đề tài “Xác định hệ số khí động của một số dạng nhà cao tầng trong ống thổi khí động theo điều kiện Việt Nam”*, mã số RD 73 – 16, 2018.
- [13] *Các báo cáo kết quả thí nghiệm ống thổi khí động cho một số công trình được thực hiện tại Viện KHCN Xây dựng*.