

XÁC ĐỊNH HỆ SỐ KHÍ ĐỘNG CỦA CÁC DẠNG NHÀ CAO TẦNG VỚI TIẾT DIỆN NGANG HÌNH CHỮ H, T, U, L THEO ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM

TS. VŨ THÀNH TRUNG, ThS. ĐỖ VĂN MẠNH, KS. NGUYỄN NGỌC HUY

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Các công trình nhà cao tầng với tiết diện ngang hình chữ H, T, U, L được thiết kế và xây dựng ngày càng phổ biến tại Việt Nam. Tuy nhiên, việc xác định tải trọng gió lên các công trình nhà cao tầng dạng này bằng các tiêu chuẩn về gió của thế giới là không đủ do thiếu các thông số về hệ số khí động. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu để xác định hệ số khí động của các dạng nhà cao tầng với tiết diện ngang hình chữ H, T, U, L trong ống thổi khí động theo điều kiện Việt Nam. Các kết quả này được kiến nghị sử dụng trong tiêu chuẩn tải trọng và tác động của Việt Nam.

Từ khóa: Tải trọng gió, ống thổi khí động, nhà cao tầng, hệ số khí động

Abstract: Highrise buildings with the plane section of shapes were designed and built popularly in Vietnam. However, determination of wind loading on these types of highrise buildings using wind loading standards is difficult because of a lack of wind pressure coefficients. This paper presents study results of wind pressure coefficients of highrise buildings with H-shaped, T-shaped, U-shaped and L-shaped cross sections in Vietnam wind conditions. These results are proposed for Vietnam loads and actions standard.

Keywords: Wind load, wind tunnel, highrise building, wind pressure coefficient

1. Đặt vấn đề

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 tiết diện hình chữ H, T, U, L thì khó dùng các tiêu chuẩn này để xác định tải trọng gió do:

- Các tiêu chuẩn AIJ-RFLB 2015, ASCE 7-16, AS/NZS 1170.2:2011, EN 1991-1-4:2005, IS: 875,

NBCC 2015, TCVN 2737-1995 không qui định hệ số khí động chính xác cho các công trình có hình chữ H, T, U, L;

- Tiêu chuẩn GB 50009-2012 có nhưng không đầy đủ.

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;.... Đây là các công trình có chiều cao lớn, hình dáng phức tạp nên việc xác định tải trọng gió bằng thí nghiệm trong ống thổi khí động đã được tiến hành. Ngoài ra, nhiều công trình cao tầng có hình dạng mặt bằng hình chữ H, T, U, L đã được thiết kế và xây dựng phổ biến tại Việt Nam, nhưng việc sử dụng tiêu chuẩn để xác định tải trọng gió cho các công trình có hình dạng loại này là không chính xác.

Ngoài ra, đối với các công trình nhà cao tầng với các tiết diện hình chữ H, T, U, L thì tác dụng của gió lên còn phức tạp hơn do tương tác giữa dòng gió tại các góc cạnh và hướng gió. Áp lực gió cục bộ sẽ bị ảnh hưởng nhiều và hình dạng về khí động học sẽ bất lợi hơn so với công trình nhà cao tầng với các tiết diện hình vuông, hình chữ nhật.

Thí nghiệm ống thổi khí động là một phương pháp tiên tiến và được áp dụng trong thực tế cho nhiều công trình xây dựng tại Việt Nam và trên thế giới. Bài báo này là 1 phần kết quả của 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 [12].

2. Thí nghiệm trong ống thổi 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,...) cần được thực hiện, trong khi các tương tự khác ở trong thí nghiệm này được tuân thủ.

Các thí nghiệm trong nghiên cứu 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.

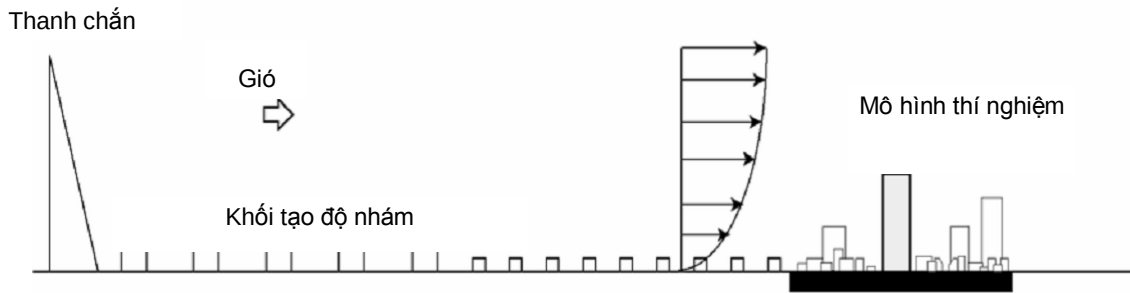
Kích thước tiết diện trong lòng ống thổi của nhánh dưới có kích thước 2 m x 2 m với phần mở rộng có bố trí bàn xoay đường kính 4 m, kích thước tiết diện ống thổi nhánh trên chiều cao 2 m với chiều rộng 8 m, tại vị trí bàn xoay có cửa kính lớn để quan sát.

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.

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 (hình 1 và hình 2). Trong nghiên cứu này, dạng địa hình loại B (địa hình tương đối trống trải, có một số vật cản thưa thớt cao không quá 10 m (vùng ngoại ô ít nhà, thị trấn, làng mạc, rừng thưa hoặc rừng non, vùng trồng cây thưa,...) của TCVN 2737:1995 là dạng địa hình chuẩn nên được chọn để tạo môi trường gió trong ống thổi khí động.



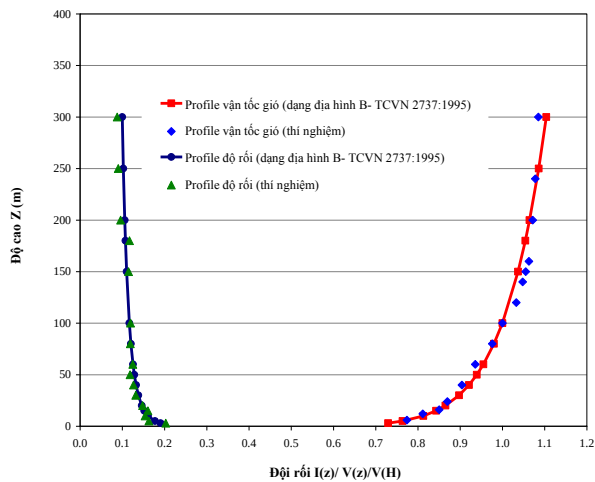
Hình 1. Sơ đồ tạo môi trường gió

Các thanh chắn được thay đổi độ vát để điều chỉnh profile vận tốc gió để đạt đến profile vận tốc gió của dạng địa hình loại B (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 B của TCVN 2737:1995) được thể hiện trong hình 3.



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 (dạng địa hình B của TCVN 2737:1995)

4. Mô hình thí nghiệm

4.1 Mô hình hóa

Tỉ lệ kích thước mô hình thí nghiệm được xác định theo phương trình 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 phương trình 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 phương trình 3:

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

4.2 Mô hình thí nghiệm

Bốn mô hình nhà cao tầng với các tiết diện hình chữ H, T, U, L với các kích thước thực (chiều cao H

= 100 m (khoảng 30 tầng), chiều dài D = 60 m và chiều rộng B = 60 m) đã được lựa chọn để tiến hành thí nghiệm. Hình dạng và kích thước của các mô hình được lựa chọn dựa trên khảo sát các mô hình nhà cao tầng phổ biến ở Việt Nam hiện nay. Các thông số về mô hình hóa như sau:

Tỉ lệ mô hình $\lambda_L = \frac{1}{200}$; Tỉ lệ vận tốc $\lambda_v = \frac{1}{5}$; Tỉ lệ

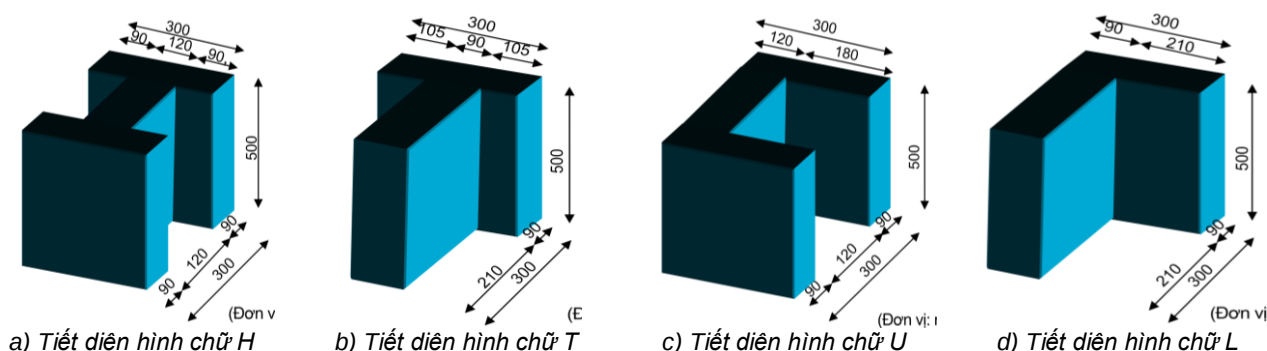
$$\text{thời gian } \lambda_T = \frac{\lambda_L}{\lambda_v} = \frac{1/200}{1/5} = \frac{1}{40}$$

Vận tốc trung bình 10 phút thực tại độ cao đỉnh (H = 100 m) là $V^{H, 10 \text{ phút}}_{FS} = 39$ (m/s).

Vận tốc gió trung bình 10 phút trong ống thổi khí động tại độ cao đỉnh mô hình (H = 500 mm):

$$V^{H, 10 \text{ phút}}_{WT} = \lambda_v \cdot V^{H, 10 \text{ phút}}_{FS} = \frac{1}{5} \cdot 39 = 7,8 \text{ (m/s)}$$

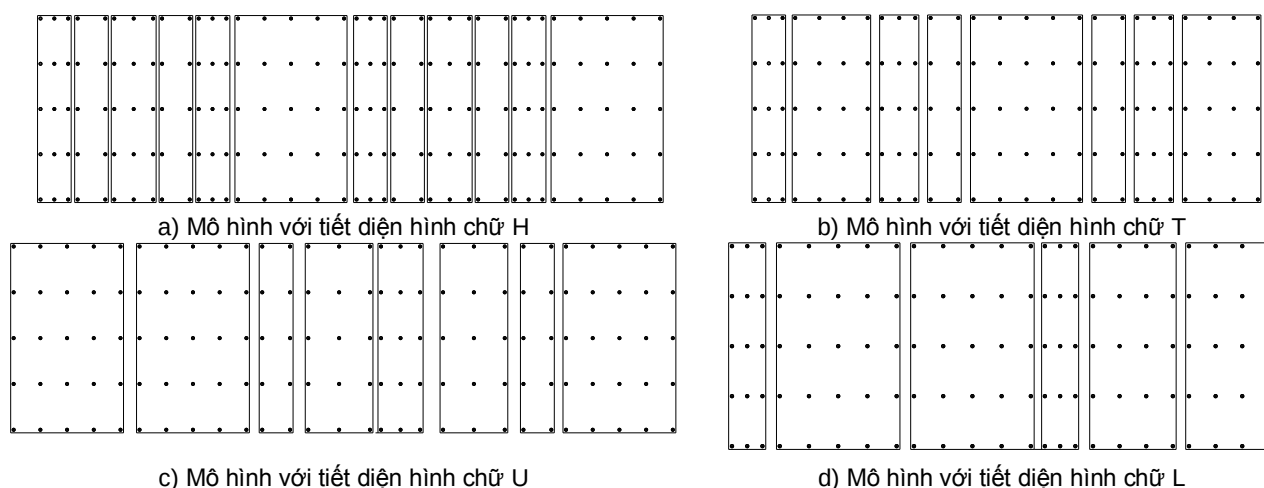
Loại mô hình là mô hình cứng (mô hình đo áp lực). Vật liệu bằng Mica. Sơ đồ các mô hình thí nghiệm được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Mô hình thí nghiệm nhà cao tầng (đơn vị: mm)

Sơ đồ bố trí các đầu đo áp lực cho các mô hình thí nghiệm được thể hiện trong hình 5.

Các mô hình thí nghiệm trong ống thổi khí động của Viện KHCN Xây dựng được thể hiện trong hình 6.



Hình 5. Sơ đồ bố trí các cảm biến áp lực cho mô hình thí nghiệm (• là vị trí đầu đo áp lực)



a) Mô hình với tiết diện hình chữ H



b) Mô hình với tiết diện hình chữ T



c) Mô hình với tiết diện hình chữ U



d) Mô hình với tiết diện hình chữ L

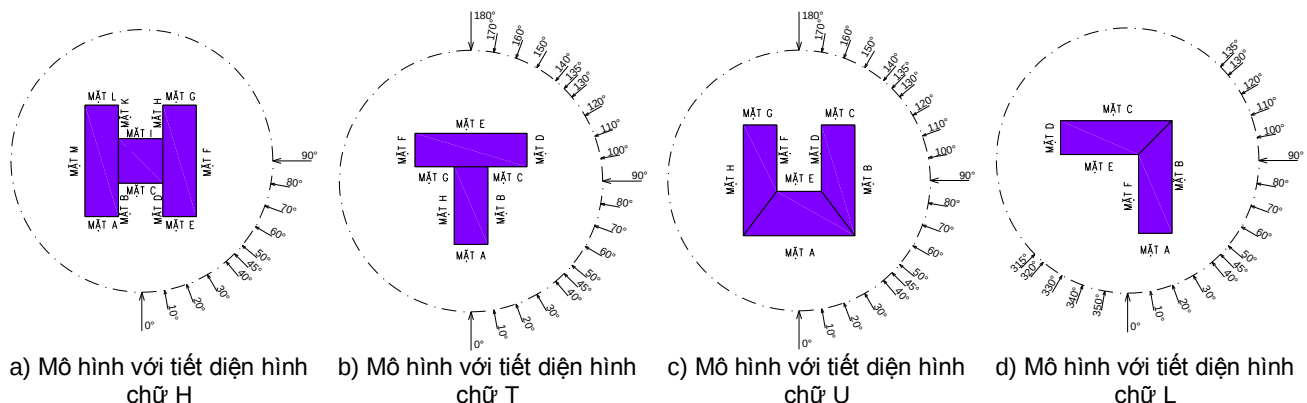
Hình 6. Mô hình thí nghiệm nhà cao tầng trong ống thổi khí động

5. Các hướng gió thí nghiệm

Các hướng gió thí nghiệm cho từng loại mô hình được thể hiện trong bảng 1 và hình 7.

Bảng 1. Các hướng gió thí nghiệm cho từng loại mô hình

STT	Loại mô hình	Hướng gió	Tổng các hướng gió
1	Mô hình có tiết diện hình chữ H	$0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ (hình 7a)	11
2	Mô hình có tiết diện hình chữ T	$0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ, 135^\circ, 140^\circ, 150^\circ, 160^\circ, 170^\circ, 180^\circ$ (hình 7b)	21
3	Mô hình có tiết diện hình chữ U	$0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ, 135^\circ, 140^\circ, 150^\circ, 160^\circ, 170^\circ, 180^\circ$ (hình 7c)	21
4	Mô hình có tiết diện hình chữ L	$0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ, 135^\circ, 140^\circ, 150^\circ, 160^\circ, 170^\circ, 180^\circ, 315^\circ, 320^\circ, 330^\circ, 340^\circ, 350^\circ$ (hình 7d)	21

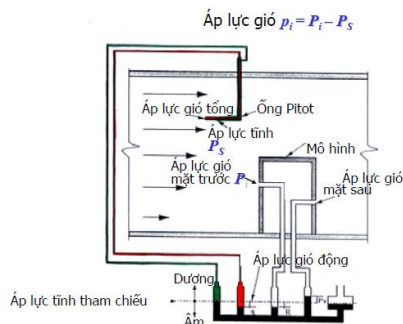


Hình 7. Sơ đồ các hướng gió thí nghiệm cho mô hình thí nghiệm

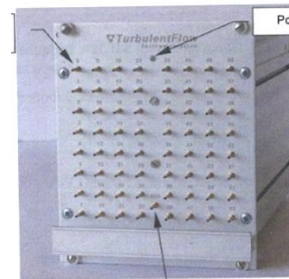
6. Sơ đồ thí nghiệm

Sơ đồ thí nghiệm đo áp lực khí động được thể hiện trong hình 8. Các đầu đo áp lực được bố trí trên bề mặt các mô hình thí nghiệm và được nối

bằng các ống có chiều dài 2 m và đường kính trong 1,2 mm được nối với hệ thống thu nhận áp lực động DPMS (hình 9). Các số liệu đo từ các cảm biến áp lực được thu nhận đồng thời với tần số lấy mẫu là 500 Hz



Hình 8. Sơ đồ đo áp lực cho mô hình thí nghiệm trong ống thổi khí động



Hình 9. Hệ thống thu nhận áp lực động DPMS

7. Xử lý số liệu

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

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

trong đó:

$C_p(i, t)$ - hệ số khí động 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 khí động (trung bình, lệch chuẩn, lớn nhất, nhỏ nhất) được tính từ các phương trình 4, 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 khí động trung bình của chuỗi số liệu thứ n ;

$\tilde{C}_p(n)$ - hệ số khí động 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, trong đó phân bố cực trị của các hệ số khí động được giả thiết theo phân bố Fisher-Tippett loại 1 (FT1).

Phương trình 7 được dùng tính hệ số khí động lớn nhất $\hat{C}_p$ và cũng được dùng cho tính hệ số khí động nhỏ nhất $\tilde{C}_p$.

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

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] (Phương trình 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 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 bảng 2.

Bảng 2. Các hệ số BLUE cho phân bố Fisher-Tippett loại 1 (đối với 10 mẫu số liệu)[10]

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a_i	0,22	0,16	0,13	0,11	0,096	0,081	0,067	0,054	0,042	0,029
b_i	-0,35	-0,091	-0,019	0,022	0,049	0,066	0,077	0,083	0,084	0,078

8. Kết quả thí nghiệm

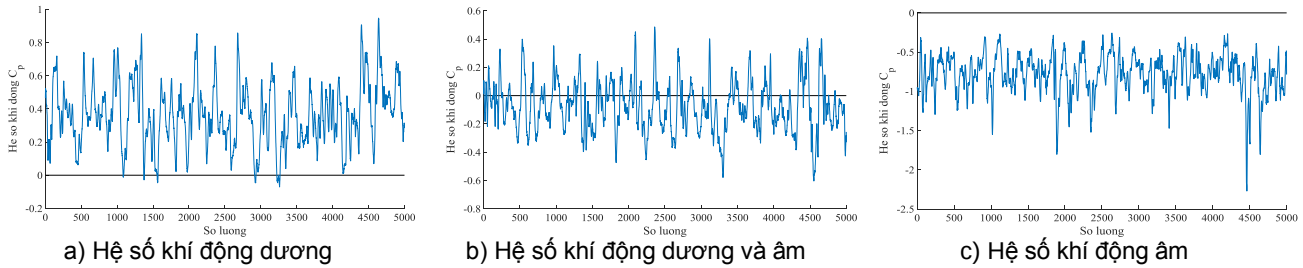
Các kết quả thí nghiệm cho các hướng gió khác nhau đã được xử lý và thể hiện dưới các hình vẽ

đường đồng mức.

Hệ số khí động 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 khí động 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 khí động 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

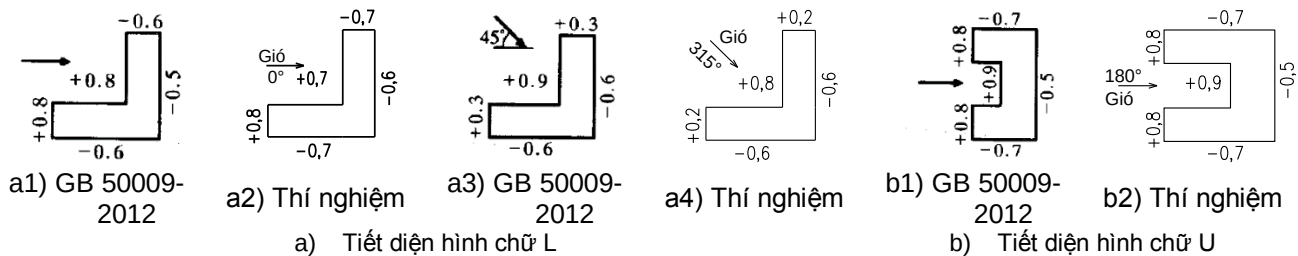
hệ số khí động thay đổi nhiều với phân bố áp lực thay đổi nhanh theo các mặt và theo hướng gió tác dụng. Sự thay đổi hệ số khí động C_p thay đổi theo thời gian của một số vị trí trên mô hình (hệ số khí động dương (hình 10a), hệ số khí động dương và âm (hình 10b), hệ số khí động âm (hình 10c).



Hình 10. Sự thay đổi hệ số khí động C_p của một vị trí (hệ số khí động âm)

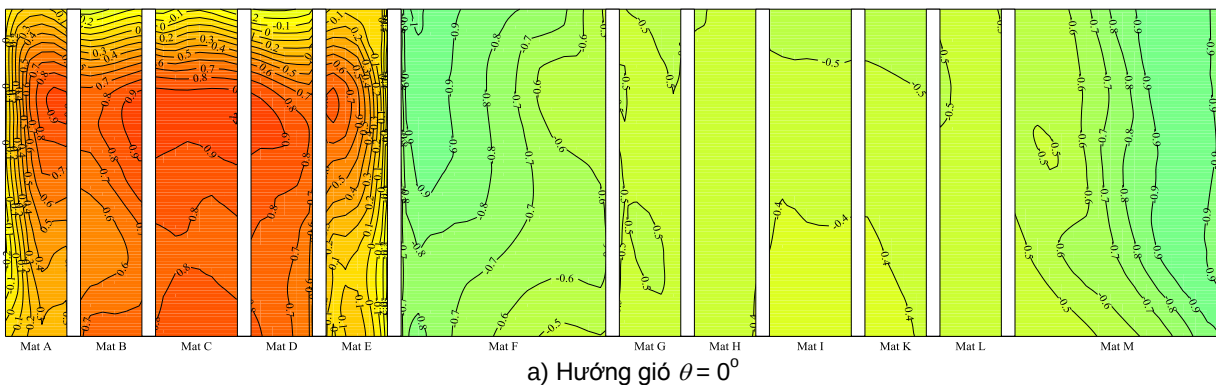
Các kết quả $\bar{C}_p$ cho các mô hình thí nghiệm với tiết diện ngang hình chữ L và chữ U được so sánh với hệ số khí động $\bar{C}_p$ của tiêu chuẩn Trung Quốc GB 50009-2012 (hình 11). Đối với mô hình thí nghiệm với tiết diện ngang hình chữ L, tại hướng gió 0° , giá trị $\bar{C}_p$ của thí nghiệm tại các mặt là +0,7, -0,7, -0,6, -0,7 và +0,8 so với tiêu chuẩn GB 50009-2012 là +0,8, -0,6, -0,5, -0,6 và +0,8. Còn tại hướng gió 315° , các giá trị này là

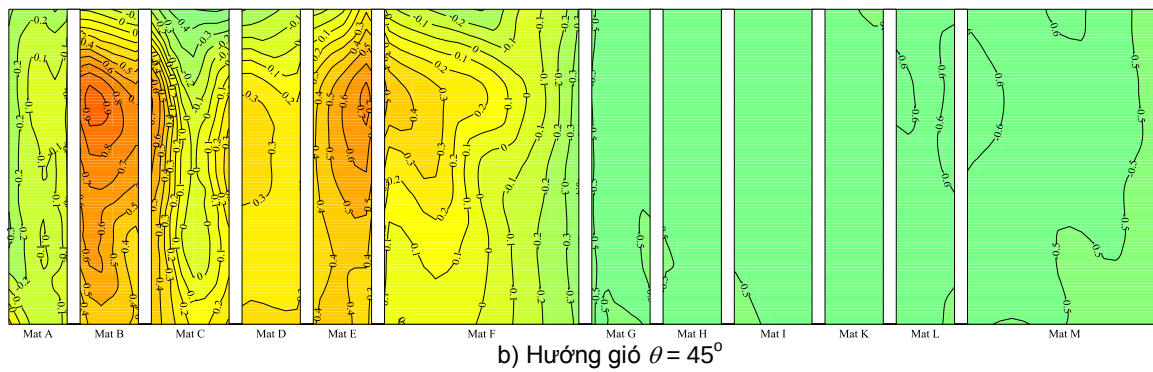
+0,8, +0,2, -0,6, -0,6 và +0,2 so với +0,9, +0,3, -0,6, -0,6 và +0,3 của GB 50009-2012. Các sự sai khác của thí nghiệm và GB 50009-2012 là không lớn và là do kích thước mô hình và điều kiện môi trường gió khác nhau (profile vận tốc gió, profile độ rối, phổ gió) giữa hai tiêu chuẩn TCVN 2737:1995 và GB 50009-2012. Còn đối với mô hình thí nghiệm với tiết diện ngang hình chữ H, thì các giá trị này là tương tự nhau.



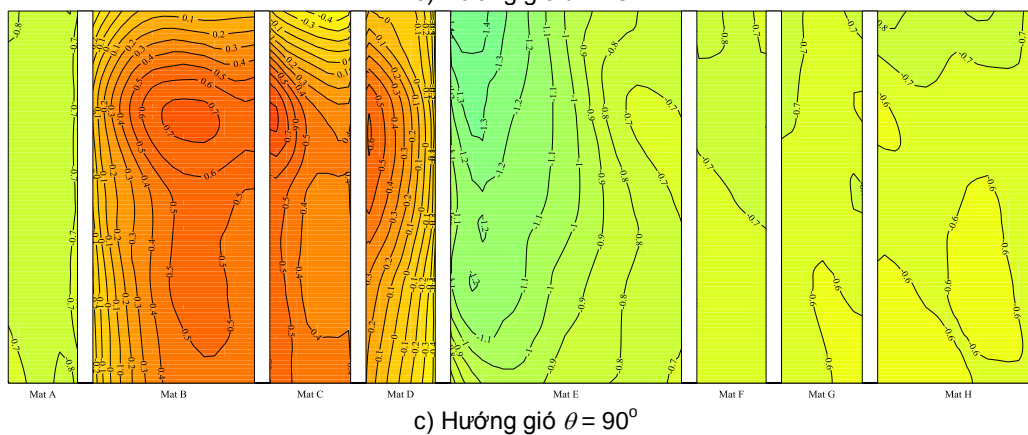
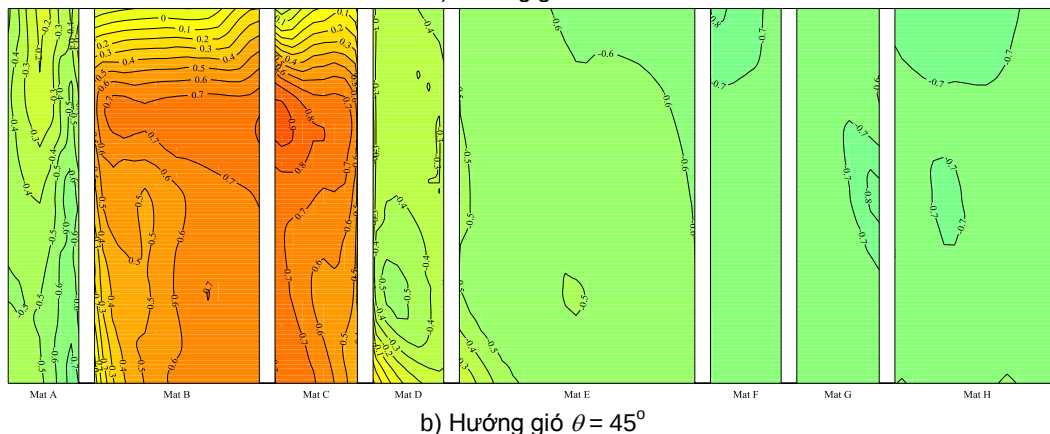
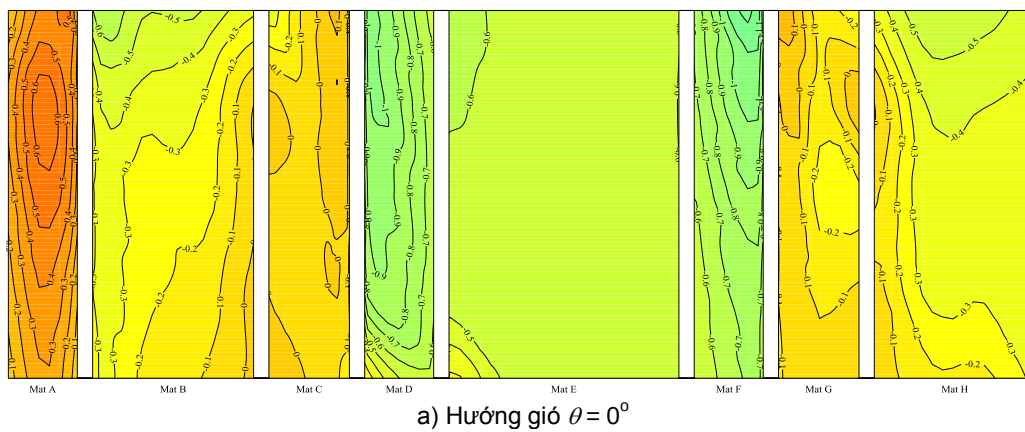
Hình 11. So sánh kết quả thí nghiệm với tiêu chuẩn Trung Quốc GB 50009-2012

Các kết quả thí nghiệm hệ số khí động $\bar{C}_p$ cho các mô hình thí nghiệm với tiết diện ngang hình chữ H, T, U và L cho các hướng gió khác nhau được thể hiện trong các hình 12-15.

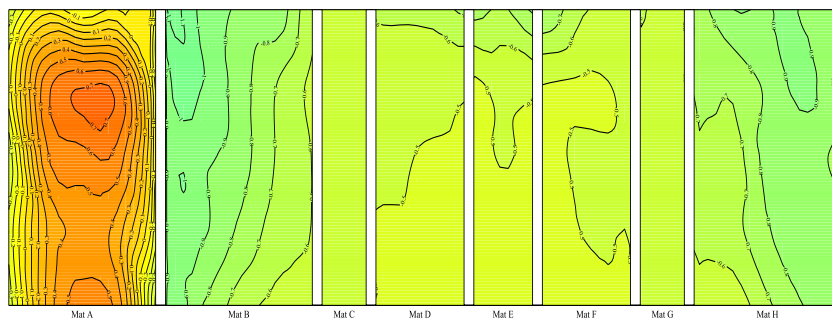




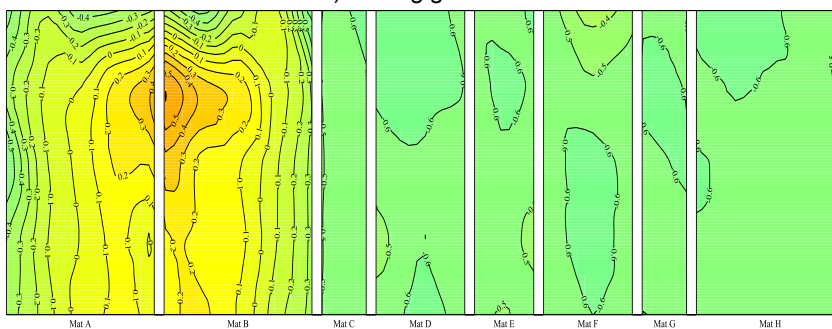
Hình 12. Phân bố $\bar{C}_p$ trên các mặt của mô hình với tiết diện hình chữ H



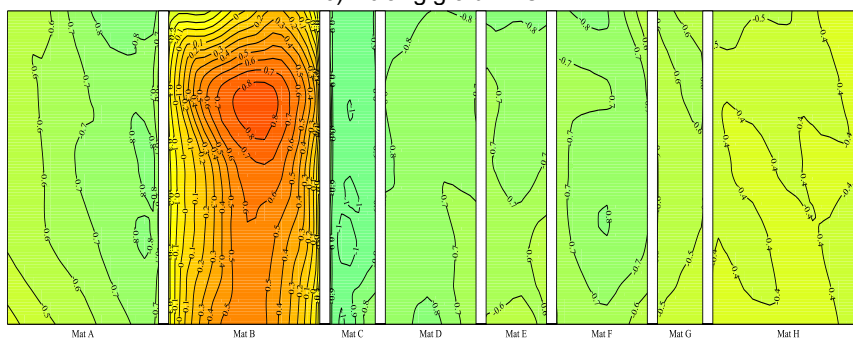
Hình 13. Phân bố $\bar{C}_p$ trên các mặt của mô hình với tiết diện hình chữ T



a) Hướng gió $\theta = 0^\circ$

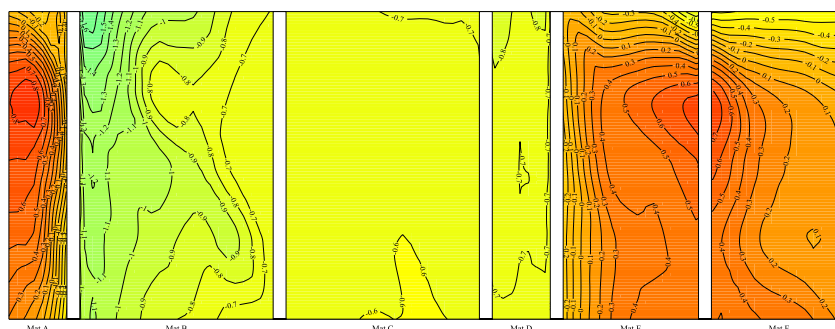


b) Hướng gió $\theta = 45^\circ$

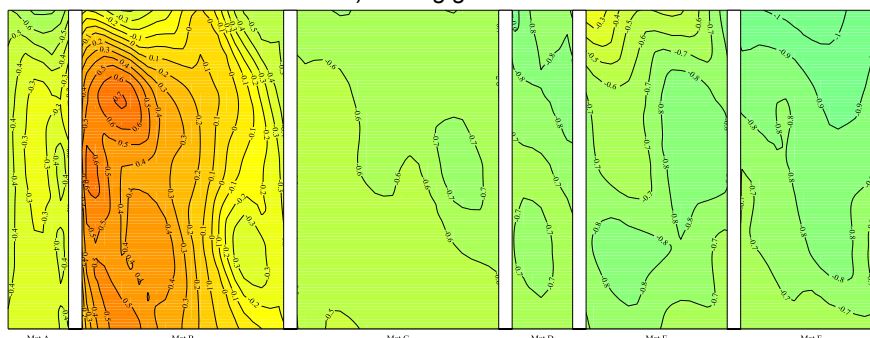


c) Hướng gió $\theta = 90^\circ$

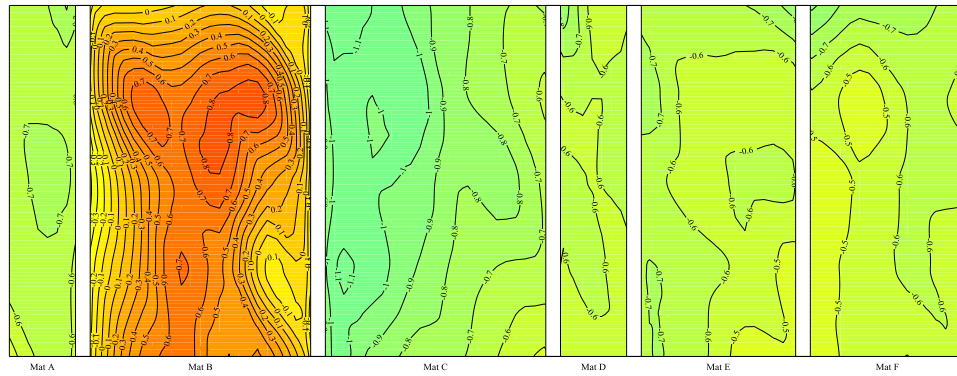
Hình 14. Phân bố $\bar{C}_p$ trên các mặt của mô hình với tiết diện hình chữ U



a) Hướng gió $\theta = 0^\circ$



b) Hướng gió $\theta = 45^\circ$

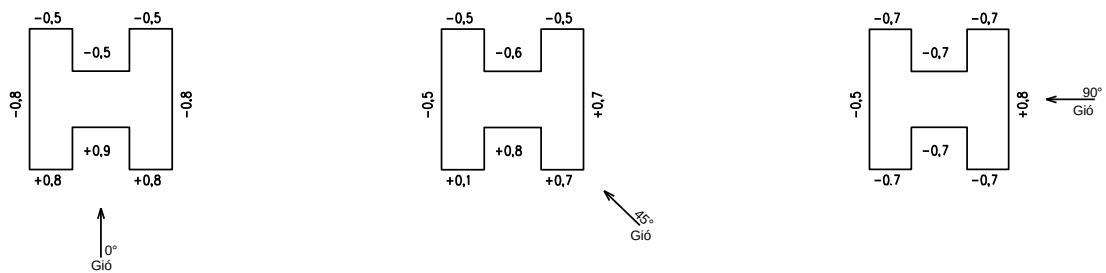


c) Hướng gió $\theta = 90^\circ$

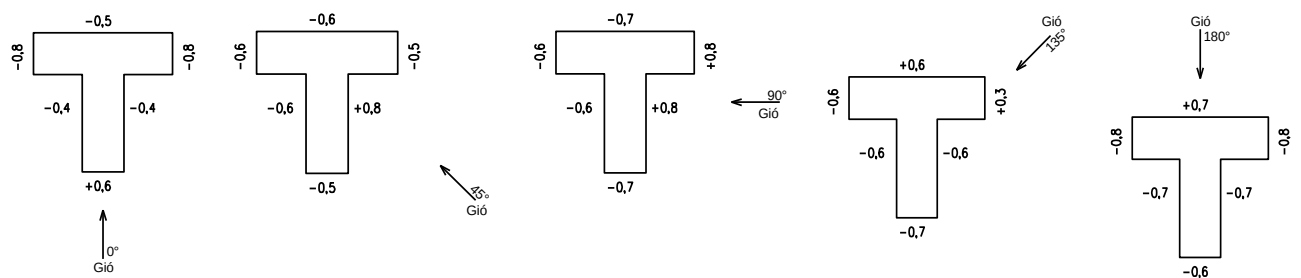
Hình 15. Phân bố $\bar{C}_p$ trên các mặt của mô hình với tiết diện hình chữ L

Từ các kết quả thí nghiệm cho các mô hình thí nghiệm nhà cao tầng với tiết diện ngang hình chữ H, T, U và L cho các hướng gió khác nhau, hệ số khí động $\bar{C}_p$ đề xuất cho các mô hình khác nhau với các hướng gió chính được thể hiện trong các hình 16-19.

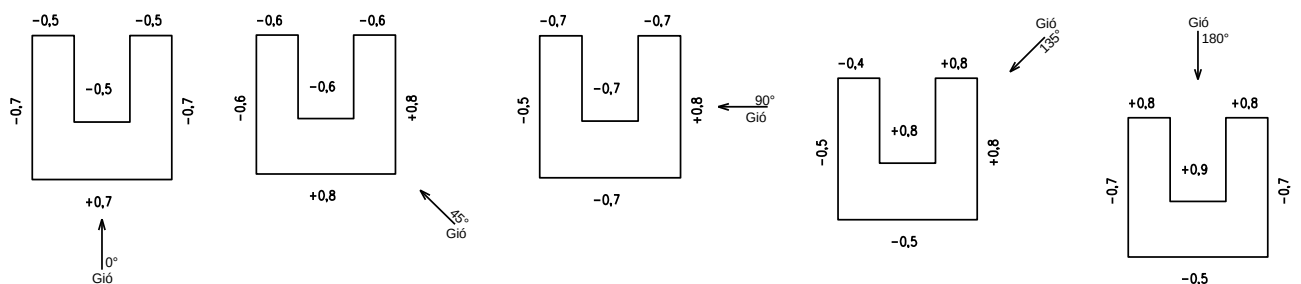
Các giá trị này đã được xem xét, cân nhắc và so sánh với các giá trị của một số tiêu chuẩn trên thế giới. Các giá trị hệ số khí động $\bar{C}_p$ đề xuất có thể sử dụng cho tiêu chuẩn tải trọng và tác động của Việt Nam.



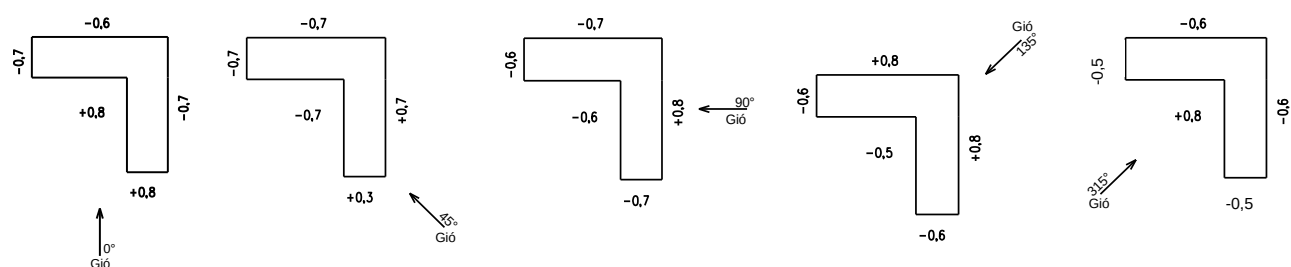
Hình 16. Hệ số khí động $\bar{C}_p$ cho mô hình thí nghiệm nhà cao tầng với tiết diện ngang hình chữ H



Hình 17. Hệ số khí động $\bar{C}_p$ cho mô hình thí nghiệm nhà cao tầng với tiết diện ngang hình chữ T



Hình 18. Hệ số khí động $\bar{C}_p$ cho mô hình thí nghiệm nhà cao tầng với tiết diện ngang hình chữ U



Hình 19. Hệ số khí động $\bar{C}_p$ cho mô hình thí nghiệm nhà cao tầng với tiết diện ngang hình chữ L

9. Kết luận

Kết quả nghiên cứu về các hệ số khí động cho 04 mô hình thí nghiệm nhà cao tầng với tiết diện ngang hình chữ H, T, U và L với các hướng gió khác trong điều kiện môi trường gió theo TCVN 2737:1995 đã được trình bày và phân tích.

Các hệ số khí động $\bar{C}_p$ đã thể hiện dưới các hình vẽ đường đồng mức cho tất cả các cảm biến áp lực và các hướng gió khác nhau. Các hệ số khí động $\bar{C}_p$ cho 04 mô hình nhà cao tầng với tiết diện ngang hình chữ H, T, U và L với các hướng gió chính đã được đề xuất và có thể sử dụng trong công tác thiết kế và làm tham khảo cho tiêu chuẩn tải trọng và tác động của Việt Nam.

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). Eurocode 1: Actions on structures, BS EN 1991-1-1-4:2005.
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 (1980), A refined working approach to the assessment of wind loads for equivalent static design, *J. of Wind Eng. & Ind. Aerody.*, 125-137.
11. J. Lieblein (1974), Efficient methods of extreme-value methodology, Natl. Bur. Stand. (U.S.) Rep. NBSIR 74-602, 1974.
12. Vũ Thành Trung và cộng sự (2018), 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.

Ngày nhận bài: 29/8/2019.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 26/10/2019.