

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

NGUYỄN LỆ THỦY

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH TẢI TRỌNG GIÓ LÊN
KẾT CẤU PANO TẮM LỚN TRONG ĐIỀU KIỆN
VIỆT NAM

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2023

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

NGUYỄN LỆ THỦY

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH TẢI TRỌNG GIÓ LÊN
KẾT CẤU PANO TẮM LỚN TRONG ĐIỀU KIỆN
VIỆT NAM

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT
CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG
MÃ SỐ: 9580201

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

- PGS.TS. NGUYỄN HỒNG SƠN
- TS. VŨ THÀNH TRUNG

HÀ NỘI - 2023

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu sinh xin được bày tỏ lòng biết ơn chân thành đối với tập thể người hướng dẫn khoa học PGS. TS Nguyễn Hồng Sơn, TS. Vũ Thành Trung đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ và cho nhiều chỉ dẫn khoa học có giá trị nhằm giúp cho nghiên cứu sinh hoàn thành luận án này, cũng như nâng cao năng lực khoa học, phương pháp nghiên cứu.

Nghiên cứu sinh xin trân trọng cảm ơn Ban lãnh đạo Viện Khoa học công nghệ xây dựng, Viện Chuyên ngành kết cấu công trình xây dựng, Trung tâm Kết cấu thép và Xây dựng đã tạo mọi điều kiện và giúp đỡ nghiên cứu sinh hoàn thành luận án.

Nghiên cứu sinh xin chân thành cảm ơn các nhà khoa học trong và ngoài Viện Khoa học công nghệ xây dựng đã tận tình chia sẻ, trao đổi kiến thức, động viên và giúp đỡ nghiên cứu sinh trong quá trình thực hiện luận án.

Cuối cùng, nghiên cứu sinh xin bày tỏ lòng cảm ơn đối với những người thân trong gia đình, bạn bè, đồng nghiệp đã thông cảm, động viên và chia sẻ những khó khăn với nghiên cứu sinh trong suốt thời gian nghiên cứu và thực hiện luận án.

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Lệ Thủy

LỜI CAM ĐOAN

Tôi là Nguyễn Lệ Thủy xin cam đoan luận án này là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả trong luận án là trung thực và chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nào. Các nguồn thông tin và số liệu sử dụng trong luận án được trích dẫn rõ ràng.

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Lệ Thủy

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN	ii
LỜI CAM ĐOAN	iii
MỤC LỤC	iv
DANH MỤC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ	vii
DANH MỤC BẢNG BIỂU	ix
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	xi
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU	xii
MỞ ĐẦU	1
1. Lý do chọn đề tài nghiên cứu	1
2. Mục đích nghiên cứu.....	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu.....	2
4. Phương pháp nghiên cứu.....	2
5. Nội dung nghiên cứu	2
6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu	3
7. Cấu trúc luận án.....	3
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN	5
1.1. Đặt vấn đề	5
1.2. Kết cấu bảng quảng cáo.....	5
1.2.1. Khái niệm chung và phân loại	5
1.2.2. Đặc điểm kết cấu chịu lực	8
1.2.3. Các hư hỏng và nguyên nhân gây hư hỏng.....	9
1.3. Gió và tải trọng gió lên bảng quảng cáo.....	12
1.3.1. Khái quát về gió.....	12
1.3.2. Tiêu chuẩn tính toán tải trọng gió.....	13
1.3.3. Tải trọng gió lên kết cấu theo điều kiện Việt Nam.....	13
1.4. Công cụ mô phỏng số và thí nghiệm bảng quảng cáo.....	13
1.4.1. Mô phỏng số bằng phần mềm.....	13
1.4.2. Thí nghiệm trong ống thổi khí động	14
1.5. Các nghiên cứu gần đây ở trong và ngoài nước về bảng quảng cáo	18
1.5.1. Trong nước	18

1.5.2. Ngoài nước	18
1.6. Vấn đề nghiên cứu đặt được và hướng nghiên cứu tiếp theo.....	30
1.7. Kết luận chương 1	32
CHƯƠNG 2. TÍNH TOÁN TẢI TRỌNG GIÓ LÊN PANO TẮM LỚN THEO	
 MỘT SỐ TIÊU CHUẨN.....	33
2.1. Đặt vấn đề	33
2.2. Các vấn đề về thông số gió và hệ số chuyển đổi vận tốc gió.....	33
2.2.1. Profile vận tốc gió.....	33
2.2.2. Profile độ rối.....	34
2.2.3. Chiều dài rối	35
2.2.4. Hệ số chuyển đổi vận tốc gió theo các chu kỳ lặp.....	35
2.3. Tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo	36
2.3.1. Hệ số khí động và lực gió theo một số tiêu chuẩn.....	36
2.3.2. Xây dựng quy trình tính toán.....	38
2.3.3. Lập bảng tính và ví dụ tính toán	45
2.4. Kết luận chương 2	54
CHƯƠNG 3. KHẢO SÁT THAM SỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HỆ SỐ KHÍ ĐỘNG	
 VÀ LỰC GIÓ BẰNG PHẦN MỀM ANSYS FLUENT	55
3.1. Đặt vấn đề	55
3.2. Cơ sở lý thuyết và quy trình mô phỏng số CFD.....	56
3.2.1. Cơ sở lý thuyết.....	56
3.2.2. Quy trình mô phỏng số CFD	56
3.2.3. Cụ thể hóa mô phỏng số trong Ansys Fluent	63
3.3. Lựa chọn thông số mô phỏng trong phần mềm Ansys Fluent	65
3.3.1. Lựa chọn kích thước vùng không gian mô phỏng.....	66
3.3.2. Lựa chọn mô hình dòng chảy rối.....	67
3.3.3. Lựa chọn mô tả hàm tường.....	68
3.3.4. Lực gió tác động lên pano	70
3.4. Khảo sát tham số ảnh hưởng đến hệ số khí động và lực gió	72
3.4.1. Mẫu thử nghiệm số	72
3.4.2. Ảnh hưởng của tỉ lệ mẫu.....	74
3.4.3. Ảnh hưởng của mô hình chảy rối	76
3.4.4. Ảnh hưởng của dạng địa hình.....	78
3.4.5. Ảnh hưởng của profile vận tốc gió	79
3.4.6. Ảnh hưởng của hướng gió	81

3.4.7. Nhận xét kết quả tính.....	84
3.5. Kết luận chương 3	85
CHƯƠNG 4. THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH BẢNG QUẢNG CÁO TRONG ÓNG THỜI KHÍ ĐỘNG THEO ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM.....	87
4.1. Đặt vấn đề	87
4.2. Xây dựng quy trình thí nghiệm.....	87
4.3. Thiết lập thí nghiệm mô hình.....	93
4.3.1. Thiết lập môi trường gió.....	93
4.3.2. Thiết lập mô hình thí nghiệm	93
4.3.3. Thí nghiệm và ghi kết quả	96
4.4. Kết quả thí nghiệm và bàn luận.....	113
4.4.1. Kiểm chứng kết quả thí nghiệm	113
4.4.2. Ảnh hưởng của hướng gió đến các lực gió.....	114
4.4.3. Ảnh hưởng của độ cao đặt pano đến các lực gió.....	114
4.4.4. Nhận xét kết quả	115
4.5. Đề xuất giá trị $C_{f,x}$ và tỷ số e_y/b áp dụng cho bảng quảng cáo	115
4.6. Kết luận chương 4	117
NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI VỀ KHOA HỌC CỦA LUẬN ÁN.....	118
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	119
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ.....	120
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	121
CÁC PHỤ LỤC.....	131

DANH MỤC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Chương 1.

Hình 1.1.	Các phương tiện quảng cáo ngoài trời [97]	6
Hình 1.2.	Minh họa việc phân loại bảng quảng cáo [17]	7
Hình 1.3.	Sự cố đổ cột bảng quảng cáo tại Tp. Hồ Chí Minh [17]	9
Hình 1.4.	Minh họa các hư hỏng bảng quảng cáo thường gặp [17]	10
Hình 1.5.	Mô hình thí nghiệm của Ziauddin S. M. (2016) [83]	19
Hình 1.6.	Mô hình thí nghiệm của Li Z., và cộng sự (2018) [60]	20
Hình 1.7.	Mô hình thí nghiệm của Wang D., và cộng sự (2016) [88].....	20
Hình 1.8.	Mô hình thí nghiệm của Delong Zuo và cộng sự (2014) [42]	22
Hình 1.9.	Mô hình thí nghiệm của Meyer và cộng sự (2017) [64].....	25
Hình 1.10.	Mô hình thí nghiệm của Warnitchai, P. et al. (2009) [86].....	27
Hình 1.11.	Phân bố hệ số lực trên bề mặt pano [86]	27
Hình 1.12.	Ứng suất và chuyển vị ngang lớn nhất [27].....	30

Chương 2.

Hình 2.1.	Ký hiệu kích thước và vị trí lực tác động [13]	42
Hình 2.2.	Lực tập trung quy đổi tác động lên pano [23]	44
Hình 2.3.	Cấu tạo kết cấu bảng quảng cáo	46
Hình 2.4.	Kích thước hình học và vị trí lực gió tác động	46
Hình 2.5.	Kết quả hệ số giật G_f (hệ số kết cấu c_{sd})	49
Hình 2.6.	Kết quả lực chân cột và hệ số giật	50

Chương 3.

Hình 3.1.	Quy trình cơ bản cho người sử dụng mô phỏng CFD	57
Hình 3.2.	Tóm lược về quy trình kiểm tra và kiểm nghiệm CFD	57
Hình 3.3.	Mẫu pano bảng quảng cáo và chia lưới trong Ansys Fluent	65
Hình 3.4.	Vùng không gian mô phỏng trong Ansys Fluent.....	65
Hình 3.5.	Giá trị hệ số khí động theo kích thước không gian mô phỏng	66
Hình 3.6.	Phân bố vận tốc chảy tầng và chảy rối trong Ansys Fluent.....	67
Hình 3.7.	Giá trị hệ số khí động theo các mô hình dòng chảy rối.....	68
Hình 3.8.	Giá trị vận tốc theo khoảng cách đến lớp biên	68
Hình 3.9.	Giá trị hệ số khí động theo các mô tả hàm tường.....	69
Hình 3.10.	Phân bố áp suất mặt sau pano khi chảy tầng và chảy rối	71

Hình 3.11.	Phân bố áp suất mặt trước pano khi chảy tầng và chảy rối	71
Hình 3.12.	Kích thước hình học của mẫu và hướng gió.....	72
Hình 3.13.	Hệ số khí động $C_{p,x}$ ứng với các mẫu (TL 1:10).....	75
Hình 3.14.	Hệ số khí động $C_{p,x}$ ứng với các mẫu (TL 1:30).....	75
Hình 3.15.	Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)	76
Hình 3.16.	Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)	77
Hình 3.17.	Hệ số khí động $C_{p,x}$ của pano.....	78
Hình 3.18.	Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)	79
Hình 3.19.	Lực gió F_x của 03 mẫu (18×6) m (TL 1:10).....	80
Hình 3.20.	Hệ số khí động $C_{p,x}$ ứng với các hướng gió khi $b/c = 2,8$	81
Hình 3.21.	Độ lệch tâm tương đối e_y/b ứng với các hướng gió khi $b/c = 2,8$	82
Hình 3.22.	Lực gió F_x ứng với các hướng gió khi $b/c = 2,8$	83
Hình 4.1.	Phân bố theo chiều cao của vận tốc gió và độ rối	90
Hình 4.2.	Mô hình hầm gió và các dụng cụ hỗ trợ	90
Hình 4.3.	Thanh chắn, hàng rào và cục tạo nhám	90
Hình 4.4.	Ký hiệu kích thước, quy ước chiều lực và góc hướng gió.....	94
Hình 4.5.	Thiết bị JR3 và ký hiệu chiều cho 6 thành phần lực.....	95
Hình 4.6.	Sơ đồ ống thổi khí động của Viện KHCN Xây dựng.....	96
Hình 4.7.	Hình ảnh mẫu sau chế tạo.....	98
Hình 4.8.	Hình ảnh mẫu thí nghiệm M1 đến M6 trong ống thổi khí động.....	98
Hình 4.9.	Kết quả thí nghiệm các mẫu M1 đến M6	99
Hình 4.10.	Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M1	101
Hình 4.11.	Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M2	102
Hình 4.12.	Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M3	103
Hình 4.13.	Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M4.....	104
Hình 4.14.	Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M5	105
Hình 4.15.	Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M6.....	106
Hình 4.16.	Minh họa kết quả F_x theo TN, VN95 và VN23	114
Hình 4.17.	Minh họa giá trị $C_{f,x}$ và e_y/b	116

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Chương 1.

Bảng 1.1.	Thông số chính của thiết bị JR3	17
Bảng 1.2.	Kết quả hệ số lực ứng với các dạng pano [41]	21
Bảng 1.3.	Hệ số khí động đối với pano bảng quảng cáo [53].....	23
Bảng 1.4.	Hệ số khí động trung bình C_f [58]	24
Bảng 1.5.	Kích thước mẫu và tỷ số hình học [64]	24
Bảng 1.6.	Kết quả hệ số lực C_f [64]	26
Bảng 1.7.	Hệ số xoắn $C_{M,z}$ và tỷ số độ lệch tâm r/b [64]	26
Bảng 1.8.	Hệ số khí động C_p [86]	26

Chương 2.

Bảng 2.1.	Hệ số khí động theo AS/NZS 1170.2:2011 [30]	37
Bảng 2.2.	Các hệ số z_g , z_{min} và α [13]	40
Bảng 2.3.	Giá trị các hệ số cho các dạng địa hình [13].....	42
Bảng 2.4.	So sánh kết quả tính toán.....	45
Bảng 2.5.	Thông số bảng quảng cáo	46
Bảng 2.6.	Kết quả tính theo các tiêu chuẩn (Phương án 1).....	48
Bảng 2.7.	Kết quả tính theo các tiêu chuẩn (Phương án 2).....	49
Bảng 2.8.	Lực tại chân cột và hệ số giạt	51
Bảng 2.9.	Kết quả hệ số khí động theo TCVN 2737:1995 và TCVN 2737:2023 ...	52
Bảng 2.10.	Kết quả hệ số lực theo EN 1991-1-4 và ASCE/SEI 7-16.....	53

Chương 3.

Bảng 3.1.	Phổ giá trị đánh giá chỉ số Orthogonal Quality và Skewness.....	59
Bảng 3.2.	Chỉ số Skewness và Orthogonal Quality trong quá trình mô phỏng	60
Bảng 3.3.	Một số thông số chính của mô hình và kết quả tính	64
Bảng 3.4.	Các kích thước không gian mô phỏng (TL 1:10)	66
Bảng 3.5.	Giá trị hệ số khí động theo các mô hình dòng chảy rối.....	67
Bảng 3.6.	Hệ số khí động theo các mô tả hàm tường	69
Bảng 3.7.	Kết quả lực, mô men xoắn và độ lệch tâm	70
Bảng 3.8.	Kích thước mẫu bảng quảng cáo (m)	72
Bảng 3.9.	Hệ số khí động $C_{p,x}$ của 06 mẫu (TL 1:10 và 1:30).....	74
Bảng 3.10.	Hệ số khí động $C_{p,x}$ ứng với các mô hình dòng rối và tỉ lệ mẫu.....	75

Bảng 3.11.	Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)	76
Bảng 3.12.	Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)	77
Bảng 3.13.	Hệ số khí động $C_{p,x}$ của 06 mẫu.....	78
Bảng 3.14.	Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)	79
Bảng 3.15.	Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)	80
Bảng 3.16.	Hệ số khí động $C_{p,x}$ theo các mô hình dòng rối và tiêu chuẩn.....	81
Bảng 3.17.	Độ lệch tâm tương đối e_y/b theo mô hình dòng rối và tiêu chuẩn.....	82
Bảng 3.18.	Lực gió F_x theo mô hình dòng chảy rối và tiêu chuẩn.....	83
Bảng 4.1.	Các hệ số để xác định vận tốc gió và độ rối	89
Bảng 4.2.	Kích thước nguyên mẫu và mô hình bảng quảng cáo (m).....	94
Bảng 4.3.	Tải trọng gió cho mẫu M1	107
Bảng 4.4.	Hệ số lực cho mẫu M1	107
Bảng 4.5.	Tải trọng gió cho mẫu M2	108
Bảng 4.6.	Hệ số lực cho mẫu M2	108
Bảng 4.7.	Tải trọng gió cho mẫu M3	109
Bảng 4.8.	Hệ số lực cho mẫu M3.....	109
Bảng 4.9.	Tải trọng gió cho mẫu M4	110
Bảng 4.10.	Hệ số lực cho mẫu M4.....	110
Bảng 4.11.	Tải trọng gió cho mẫu M5	111
Bảng 4.12.	Hệ số lực cho mẫu M5.....	111
Bảng 4.13.	Tải trọng gió cho mẫu M6	112
Bảng 4.14.	Hệ số lực cho mẫu M6.....	112
Bảng 4.15.	Kết quả kiểm chứng lực gió F_x	113
Bảng 4.16.	Đề xuất giá trị $C_{f,x}$ và tỷ số e_y/b	116

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
NCKH	Nghiên cứu khoa học
VN95	TCVN 2737:1995
VN23	TCVN 2737:2023
EN	EN 1991-1-4
CFD	Động lực học chất lưu (Computational Fluid Dynamics)
DES	Mô phỏng dòng xoáy tách rời (Detached Eddy Simulation)
DPMS	Thiết bị đo áp lực động (Dynamic Pressure Measurement System)
FVM	Phương pháp thể tích hữu hạn (Finite Volume Method)
HFFB	Cân bằng lực tần số cao (High Frequency Force Balance)
LES	Mô phỏng dòng xoáy lớn (Large Eddy Simulation)
PSD	Mật độ phổ công suất (Power Spectral Density)
SAS	Mô phỏng thích ứng theo quy mô (Scale - Adaptive Simulation)
SST	Chuyển đổi ứng suất cắt (Shear-Stress Transport)
UDF	Hàm do người dùng định nghĩa (User Defined Function)
RNG	(renormalization group)
RANS	Trung bình Raynold Navier-Stokes (Reynold Averaged Navier-Stokes)
RSM	Mô hình ứng suất Raynold (Reynolds Stress Model)
RWIND	Phần mềm mô phỏng hầm gió (wind tunnel)
WSB	Wind Loading on Signboard and Billboard

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

Chương 2

b	chiều rộng công trình, vuông góc với hướng gió tác dụng
h, b và d	chiều cao, chiều rộng và chiều sâu (hoặc chiều dài) công trình
c, d	các tham số địa hình
c_r	hệ số
n_1	tần số dao động riêng thứ nhất
g	hệ số đỉnh
g_Q	hệ số đỉnh cho thành phần xung của gió
g_v	hệ số đỉnh cho thành phần phản ứng của gió
g_R	hệ số đỉnh cho thành phần cộng hưởng của gió
$k(z_e)$	hệ số kể đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao và dạng địa hình
u^*	vận tốc ma sát
z	chiều cao trên mặt đất
z_e	độ cao tương đương
z_g	độ cao gradient
z_s	độ cao tương đương của công trình
z_0	chiều dài độ nhám bề mặt
A_s	diện tích cản gió của bảng quảng cáo
E và G	mô đun đàn hồi và mô đun trượt của vật liệu thép
$I(z_s)$	độ rói ở độ cao tương đương z_s
$L(z_s)$	tỉ lệ chiều dài rói tại độ cao tương đương z_s
T	thời gian lấy trung bình
U	tốc độ gió
$V(z_s)_{3600s,50}$	vận tốc gió trung bình
$\bar{V}(z)$	vận tốc gió trung bình ở độ cao z
\bar{V}_{10}	vận tốc gió cơ bản trung bình ở độ cao 10 m
\hat{V}_{10}	vận tốc gió giật 3 giây cơ bản ở độ cao 10 m

R_h, R_b, R_d	các hàm số dẫn suất khí động
W_k	giá trị tiêu chuẩn của tải trọng gió
$W_{3s,10}$	áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp 10 năm
W_0	áp lực gió cơ sở
$\bar{\alpha}$ và \bar{b}	hằng số
α	hệ số mũ
β	độ cản, lấy bằng 0,01 cho kết cấu thép
$\hat{\alpha}$ và \hat{b}	hằng số
l và $\bar{\epsilon}$	các hệ số
ζ	hệ số áp lực động của tải trọng gió
ζ_{10}	hằng số
ρ	khối lượng thể tích của không khí
ρ_t	khối lượng thể tích của thép
$\gamma_t^*(z)$	cường độ dòng rối

Chương 3

e_y	độ lệch tâm của lực pháp tuyến
u, p, t và Re	biểu thị vận tốc, áp suất, thời gian và số Reynolds
p	áp suất tĩnh
C_p	hệ số khí động (hệ số áp lực)
F_x, F_y	lực theo hướng dọc và ngang luồng gió
U	vận tốc trung bình ở tâm của bảng quảng cáo
$\bar{\tau}$	tenxơ ứng suất
$\rho \vec{g}$ và \vec{F}	lực hấp dẫn của vật thể và lực vật thể bên ngoài

Chương 4

c_r	hệ số
b, c, t	chiều rộng, chiều cao và chiều dày của pano
e_y	khoảng cách từ trọng tâm pano đến hợp lực của lực gió
m	hệ số mũ (số mũ Hellman)
m và p	ký hiệu cho mô hình và nguyên hình
z_g	độ cao gradient

z_s	độ cao tương đương của công trình
z_b	chiều dài độ nhám của địa hình
L_b	kích thước đặc trưng của công trình hoặc kết cấu
L_t	tỉ lệ rỗng
C_f	hệ số lực
$M_z(t)$	mô men đáy tại chân cột theo phương X, Y tại thời gian t
$F_x(t), F_y(t)$	lực cắt đáy theo phương X, Y tại thời gian t
U_{ref}	tốc độ gió trung bình đo được ở cao độ tham chiếu
$\bar{V}(z)$	vận tốc gió trung bình ở độ cao z
\bar{V}_{10}	vận tốc gió trung bình ở độ cao 10 m
ρ	mật độ không khí

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài nghiên cứu

Trong những năm gần đây, tại Việt Nam hệ thống tiêu chuẩn phục vụ thiết kế tính toán các loại kết cấu khác nhau ngày càng được hoàn thiện hơn và chi tiết hơn, giúp cho người thiết kế áp dụng dễ dàng. Tuy nhiên, vẫn có những loại kết cấu, tuy có được đề cập nhưng chưa có những chỉ dẫn tính toán một cách cụ thể và tường minh. Một trong những loại kết cấu đó có thể kể đến đó là kết cấu pano tấm lớn dùng cho bảng quảng cáo đứng độc lập ngoài trời. Dạng kết cấu này phân bố dày đặc trên những tuyến đường lớn, nhỏ trên cả nước với số lượng tăng dần theo hàng năm.

Trong các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu quy định về tác động của gió lên kết cấu pano tấm lớn tương đối khác nhau, một số cho rằng tác động của gió phân bố đều trên bề mặt tấm bảng và hợp lực đặt tại trọng tâm tấm bảng. Trong khi đó một số khác lại cho rằng tác động gió phân bố không đều và hợp lực đặt lệch tâm so với trọng tâm tấm bảng. Tương tự, giá trị hệ số khí động cũng khác nhau trong các tiêu chuẩn, được cho là không đổi và không phụ thuộc vào kích thước tấm bảng. Một số tiêu chuẩn lại cho rằng hệ số khí động thay đổi và phụ thuộc kích thước và chiều cao đặt tấm bảng. Điều này gây khó khăn cho người thiết kế tại Việt Nam.

Hơn nữa, với khí hậu, thời tiết và địa hình phức tạp, hàng năm Việt Nam phải đối mặt với một số lượng lớn các cơn bão, gây thiệt hại nhiều cho các công trình nói chung và công trình pano tấm lớn dùng cho bảng quảng cáo nói riêng. Do đó, đòi hỏi phải có những nghiên cứu chuyên sâu về dạng kết cấu này để giảm thiểu các thiệt hại. Trong các nghiên cứu gần đây ở trong và ngoài nước đối với kết cấu pano tấm lớn, các nhà khoa học đã quan tâm đến việc áp dụng mô phỏng

số bằng phần mềm Ansys Fluent hoặc thí nghiệm với mô hình thu nhỏ trong ống thổi khí động, nhằm tìm ra những yếu tố bất lợi nhất đối với sự làm việc của kết cấu. Trong mỗi nghiên cứu lại có cách tiếp cận vấn đề khác nhau về các tham số của tác động gió hoặc các tham số trong mô hình thí nghiệm. Việc nghiên cứu chuyên sâu về tác động của gió lên tấm bảng pano giúp tìm ra quy luật ảnh hưởng của các tham số đến tác động gió lên tấm bảng. Từ đó, thiết lập được các chỉ dẫn tính toán cụ thể, rút ra được những khuyến nghị cần thiết trong thiết kế tính toán dạng kết cấu này, mang lại hiệu quả kinh tế và đảm bảo an toàn cho công trình có sử dụng kết cấu pano tấm lớn như công trình bảng quảng cáo. Vì vậy, tác giả lựa chọn đề tài “Nghiên cứu xác định tải trọng gió lên kết cấu pano tấm lớn trong điều kiện Việt Nam” để thực hiện luận án.

2. Mục đích nghiên cứu

Nhằm làm rõ hơn các điểm khác biệt trong tính toán tải trọng gió lên kết cấu pano bảng quảng cáo thông qua mô phỏng số và thí nghiệm mô hình thu nhỏ.

Đề xuất giá trị hệ số lực và độ lệch tâm của lực gió tác động lên pano.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Bảng quảng cáo đứng độc lập, đặt ngoài trời ở trong và ngoài khu vực đô thị, kết cấu pano có hai mặt song song được bọc kín, đặt trên một cột đỡ dạng ống tròn.

3.2. Phạm vi nghiên cứu

Tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo thông qua một số tiêu chuẩn thiết kế, cũng như thông qua mô phỏng số bằng phần mềm Ansys Fluent và thí nghiệm mô hình thu nhỏ trong ống thổi khí động với việc mô hình hóa bảng quảng cáo là mô hình cứng.

4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết về thông số gió, tải trọng gió lên bảng quảng cáo. Nghiên cứu mô phỏng số bảng quảng cáo chịu tải trọng gió bằng phần mềm Ansys Fluent.

Nghiên cứu thí nghiệm trong ống thổi khí động đối với mô hình thu nhỏ bảng quảng cáo chịu tải trọng gió trong điều kiện Việt Nam.

5. Nội dung nghiên cứu

Các vấn đề liên quan đến kết cấu bảng quảng cáo tấm lớn, tải trọng gió lên bảng quảng cáo, một số tiêu chuẩn thiết kế và các nghiên cứu gần đây ở trong và ngoài nước đối với bảng quảng cáo.

Mô hình bảng quảng cáo trong mô phỏng số bằng phần mềm Ansys Fluent và mô hình thực nghiệm bảng quảng cáo thu nhỏ trong ống thổi khí động, làm rõ hơn tải trọng gió lên kết cấu pano bảng quảng cáo.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu

- Qua nghiên cứu về bảng quảng cáo, nhằm làm rõ được đặc điểm về kết cấu chịu lực, các hư hỏng thường gặp, từ đó phân tích được nguyên nhân hư hỏng.

- Xây dựng quy trình và bảng tính để tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo theo một số tiêu chuẩn thiết kế. Làm rõ ảnh hưởng của giá trị hệ số khí động và vị trí lực gió tác động lên pano ảnh hưởng đến lực tại chân cột đỡ.

- Lựa chọn được tỉ lệ mô hình bảng quảng cáo phục vụ cho việc khảo sát số bằng phần mềm Ansys Fluent, chọn được kích thước vùng không gian mô phỏng (hầm gió ảo), mô hình dòng chảy rối, mô tả hàm tường phù hợp dùng trong mô phỏng số. Làm rõ ảnh hưởng của một số tham số (profile vận tốc gió, độ rối và kích thước của pano) đến giá trị hệ số khí động và vị trí lực gió tác động lên bề mặt pano.

- Thiết lập quy trình và thí nghiệm mô hình thu nhỏ đối với bảng quảng cáo trong ống thổi khí động, làm rõ ảnh hưởng của một số tham số đến lực tác động tại chân cột đỡ pano và hệ số lực. Đề xuất giá trị hệ số lực và độ lệch tâm của lực gió.

7. Cấu trúc luận án

Ngoài các phần Mở đầu, danh mục Tài liệu tham khảo, các công trình khoa học đã công bố, các hình vẽ và bảng biểu, luận án được bố cục trong 4 chương:

Chương 1. Tổng quan.

Tổng quan về kết cấu bảng quảng cáo, gió và tải trọng gió lên bảng quảng cáo, công cụ mô phỏng số và thí nghiệm mô hình bảng quảng cáo, các nghiên cứu gần đây ở trong và ngoài nước về bảng quảng cáo.

Chương 2. Tính toán tải trọng gió lên pano tấm lớn theo một số tiêu chuẩn.

Các vấn đề về thông số gió và hệ số chuyển đổi vận tốc gió, tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo.

Chương 3. Khảo sát tham số ảnh hưởng đến hệ số khí động và lực gió bằng phần mềm Ansys Fluent.

Cơ sở lý thuyết và các bước thực hiện mô phỏng số, lựa chọn thông số mô phỏng trong phần mềm Ansys Fluent, khảo sát một số tham số ảnh hưởng đến hệ số khí động và lực gió.

Chương 4. Thí nghiệm mô hình bảng quảng cáo trong ống thổi khí động theo điều kiện Việt Nam.

Xây dựng quy trình thí nghiệm mô hình, thiết lập thí nghiệm mô hình thu nhỏ bảng quảng cáo trong ống thổi khí động, khảo sát của một số tham số ảnh hưởng đến hệ số lực và lực gió, đề xuất giá trị hệ số lực và độ lệch tâm của lực gió áp dụng cho tính toán bảng quảng cáo tại Việt Nam.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1. Đặt vấn đề

Bảng quảng cáo có kết cấu chịu lực chính bằng vật liệu thép, điểm khác biệt so với các công trình khác đó là pano có bề mặt đón gió khá lớn mà lại được đặt trên đỉnh các cột đỡ và pano (còn gọi là tấm bảng) có chiều dày khá nhỏ so với các kích thước còn lại của chúng. Bảng quảng cáo thường bị hư hỏng sau mỗi trận bão, gây mất mỹ quan và phải tốn chi phí để sửa chữa. Theo đó, một trong số các nhiệm vụ khi thiết kế kết cấu bảng quảng cáo là xác định tải trọng gió lên bảng quảng cáo, công việc này được thực hiện thông qua các công thức tính đề cập trong tiêu chuẩn thiết kế, hoặc thông qua thí nghiệm mô hình trong ống thổi khí động, cũng có thể bằng mô hình số trong hầm gió ảo. Thấy rằng, việc xác định tải trọng gió theo các tiêu chuẩn là khác nhau, dẫn đến kết quả lực gió và vị trí đặt lực gió lên bề mặt pano cũng có giá trị khác nhau.

Dựa vào phân tích trên đây, nội dung của nghiên cứu tổng quan sẽ đề cập đến ba vấn đề chính, đó là: kết cấu bảng quảng cáo, tính toán tải trọng gió lên pano cũng như công cụ mô phỏng số và thí nghiệm mô hình trong ống thổi khí động. Ngoài ra, đề cập đến tình hình nghiên cứu tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo ở trong và ngoài nước trong những năm gần đây nhằm làm sáng tỏ những kết quả đạt được và vấn đề còn tồn tại của các nghiên cứu trước đây, từ đó đề xuất vấn đề cần nghiên cứu trong luận án.

1.2. Kết cấu bảng quảng cáo

1.2.1. Khái niệm chung và phân loại

a) Khái niệm chung

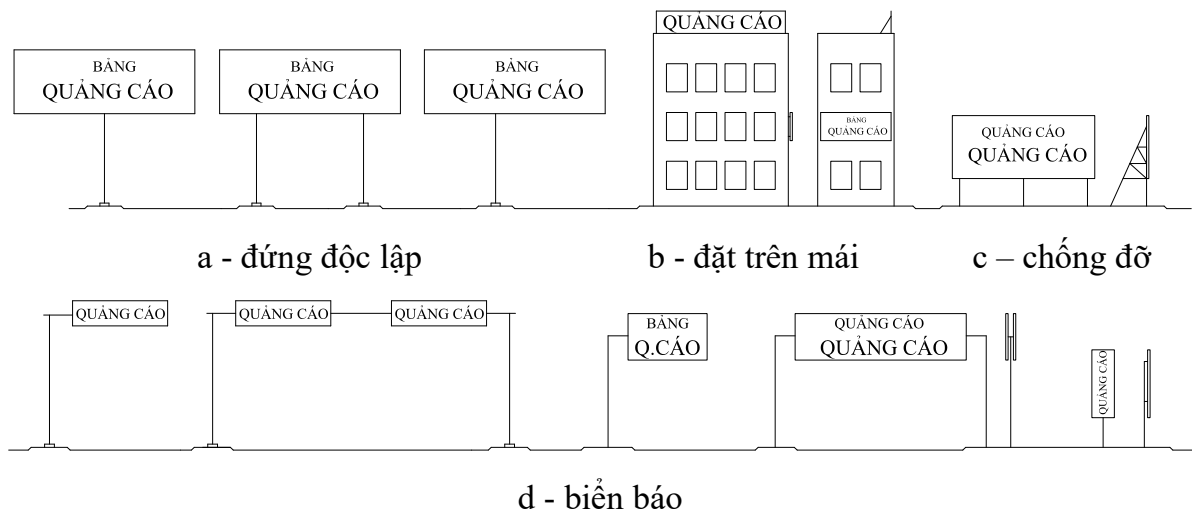
Phương tiện quảng cáo ngoài trời được biết đến với hai hình thức, đó là Bảng quảng cáo (*billboard/hoarding*) và biển báo (*signs*), chúng thường được đặt theo các tuyến đường giao thông có mật độ lớn, trục đường chính, đường cao tốc v.v...

Bảng quảng cáo là tên gọi chung và còn có tên gọi khác là biển quảng cáo, bộ phận chính của chúng gồm có pano và cột đỡ, pano có bề mặt phẳng với diện tích lớn nhằm cung cấp thông tin quảng cáo, và được đặt trên cột đỡ. Bảng quảng cáo, xuất hiện nhiều nhất trên đường cao tốc, trục đường chính. Chúng có thể đứng độc lập ngoài trời và có

định xuống mặt đất/nền (Hình 1.1a,c) hoặc được đặt trên mái nhà nhiều tầng (Hình 1.1b) [97], [99], diện tích pano lên đến 200 m², khi đặt trong khu vực nội đô thì diện tích pano thường nhỏ hơn, khoảng dưới 100 m². Nói chung, khi diện tích pano trên 40 m²/mặt được xem là pano tầm lớn.

Ngoài ra, bảng quảng cáo còn đặt ở các tuyến đường nhánh trong khu vực nội đô, hoặc ở bề mặt chính của nhà, chúng có diện tích pano nhỏ, khoảng 10÷20 m² hoặc nhỏ hơn. Chúng cũng có thể đứng độc lập ngoài trời hoặc tựa trên tường nhà.

Biển báo được đặt ở các tuyến đường (gồm có: biển chỉ đường, biển tín hiệu giao thông v.v...), chúng tựa lên khung đỡ để cung cấp các chỉ dẫn cho người tham gia giao thông (Hình 1.1d).

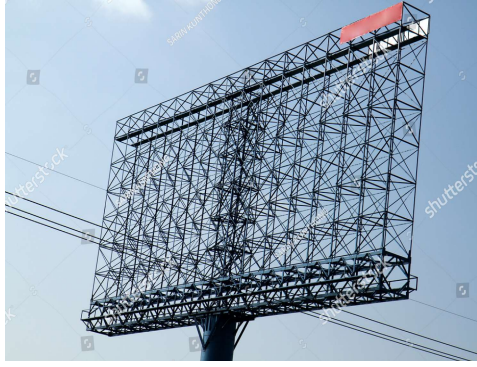


Hình 1.1. Các phương tiện quảng cáo ngoài trời [97]

b) Phân loại bảng quảng cáo

Bảng quảng cáo có thể được phân loại như sau (Hình 1.2) [97], [99]:

- Theo số lượng bề mặt: loại hai mặt phẳng, loại hai mặt song song hoặc hai mặt không song song (chiếm đa số, 99%), và loại ba mặt phẳng (chiếm số ít, 1%);
- Theo sự bố trí đối với công trình xây dựng: loại đứng độc lập (chiếm đa số, 82%) và loại tựa lên tường nhà hoặc đặt trên mái nhà (chiếm số ít, 18%);
- Theo sự bố trí tại các địa điểm: không có hoặc có ít người ở gần liên tục (chiếm đa số, 96%), có nhiều người ở gần liên tục (chiếm số ít, 4%);
- Theo kết cấu pano, cột đỡ: loại có pano kết cấu dạng giàn hoặc khung, loại có cột đỡ dạng giàn hoặc cột đơn thân (với nhiều cột đỡ hoặc một cột đỡ).



a) dạng phẳng – một cột



b) dạng phẳng – hai cột



c) dạng lăng trụ - hai mặt



d) dạng lăng trụ - ba mặt



e) Đặt trên mái (kết cấu dạng giàn)



Hình 1.2. Minh họa việc phân loại bảng quảng cáo [17]

c) Kích thước phổ biến của bảng quảng cáo

Thấy rằng, hình thức quảng cáo ngoài trời ở Việt Nam cũng như ở một số nước chủ yếu là các bảng quảng cáo với kích thước pano (3×6) m, số lượng chiếm khoảng 95÷98%. Gần đây, kích thước pano có thể (4×8) m hoặc (5×14) m và có khi lớn hơn (6×18) m, diện tích tối đa một mặt bảng quảng cáo là 200,0 m² [17], [101]. Số lượng bề mặt quảng cáo cũng đa dạng, loại một pano có hai mặt song song, loại hai mặt không song song hoặc loại ba mặt, số lượng bề mặt pano phụ thuộc vào vị trí đặt trong không gian sao cho tiện quan sát [97].

Cao độ đặt pano bảng quảng cáo độc lập ngoài trời dọc các tuyến đường ngoài đô thị phụ thuộc vào loại đường cao tốc, chiều cao tối thiểu từ mặt đường đến điểm thấp nhất của pano là 8,0 m, khoảng cách tối thiểu từ mép đường đến cạnh pano phía gần đường nhất là 15,0 m [4].

1.2.2. Đặc điểm kết cấu chịu lực

Kết cấu chịu lực của các bảng quảng cáo nói chung, gồm có [96], [99]:

(i) kết cấu chính, gồm pano (dạng khung hoặc giàn) và kết cấu cột đỡ pano, ngoài ra còn có dây neo hoặc thanh chống xiên (nếu có);

(ii) kết cấu phụ trợ, gồm có lớp bọc, thang leo, giá đỡ hệ thống đèn v.v..

(1) Đối với các bảng quảng cáo đặt trên mái nhà, kết cấu gồm hệ thống khung đỡ chịu lực bằng thép trên đó có gắn các chữ hoặc gắn tấm bọc.

(2) Đối với bảng quảng cáo đứng độc lập ngoài trời, là loại phổ biến nhất trong các kết cấu quảng cáo, hiện nay kết cấu dạng pano chiếm tỉ lệ khoảng 60÷70% trong số các hình thức quảng cáo ngoài trời, vì chúng được lắp đặt và chế tạo đơn giản.

- Kết cấu cột đỡ, bộ phận chịu lực chính gồm có một hoặc nhiều cột đỡ, cột đỡ được đặt ở giữa hoặc đặt lệch so với trọng tâm pano, kết cấu cột đỡ là ống thép có đường kính lớn hoặc tổ hợp từ các ống thép đường kính nhỏ. Chân cột đỡ đặt trên các móng bê tông cốt thép, đầu cột đỡ liên kết với dầm đỡ pano.

- Kết cấu khung tấm, được làm dưới dạng hệ thanh giao nhau của các cấu kiện thẳng đứng và nằm ngang với các ô có kích thước (1,5×1,5) m. Điều đó liên quan đến kích thước của tấm bọc và việc liên kết chúng vào khung tấm. Khi tấm bọc là tôn thép mỏng, việc liên kết chúng vào khung tấm thông qua vít tự khoan, khi tấm bọc là bạt thì sử dụng các nẹp hoặc thiết bị kẹp chuyên dụng. Kết cấu khung tấm được làm dưới dạng hệ dầm đỡ, thường được đỡ bởi một hoặc hai dầm ngang, các cấu kiện khung tấm liên kết vào dầm ngang bằng bu lông. Khung tấm được làm từ thép góc với liên kết tại góc tấm hoặc dưới dạng tấm phẳng. Giải pháp khung tấm được gia công thành các mô đun điển hình và lắp ráp tại chỗ cần có độ chính xác cao khi gia công, chi phí thép khoảng (17÷28) kg/m² diện tích pano. Ngoài ra, trong thực tế thiết kế kết cấu khung tấm quảng cáo, có thể sử dụng giải pháp kết cấu khung đặc làm từ các thanh định hình uốn nguội với liên kết so le giữa các cấu kiện.

1.2.3. Các hư hỏng và nguyên nhân gây hư hỏng

1.2.3.1 Các hư hỏng bảng quảng cáo

Cùng với sự gia tăng số lượng bảng quảng cáo, các yêu cầu về an toàn đối với chúng ngày càng được quan tâm. Tuy nhiên, trong thực tế ở các khu vực có bão và bề mặt thoáng, gió bão thường gây hư hỏng đối với bảng quảng cáo, mức độ nhẹ có thể rách tấm bọc hoặc hư hỏng khung tấm, và cũng có thể gây đổ cột hoặc gãy cột.

- Ở Việt Nam, ngày 19/7/2021 tại Tp. Thủ Đức - Hồ Chí Minh một bảng quảng cáo có cột đỡ đường kính khoảng 2,0 m đã bị đổ nhưng không gây thiệt hại về người. Ngoài ra, ở các tỉnh ở phía Bắc, miền Trung và một số thành phố lớn khác đã có nhiều bảng quảng cáo bị hư hỏng sau các trận bão [17].



Hình 1.3. Sự cố đổ cột bảng quảng cáo tại Tp. Hồ Chí Minh [17]

- Ở Trung Quốc, đã có nhiều báo cáo về tình hình hư hỏng bảng quảng cáo sau bão. Với sự hư hỏng của các bảng quảng cáo ngày 19/7/2005 tại "Begonia", và một bảng quảng cáo ngoài trời khổng lồ ở bên đường của ngoại ô thành phố Fuzhou đã bị bão thổi bay; vào ngày 18/5/2006, trận bão "Pearl" đã gây đổ một bảng quảng cáo ở Sán Đầu; vào sáng ngày 18/8/2007, bão Santapari đã đổ bộ vào Đài Loan, khiến một bảng quảng cáo đường phố ở Đài Bắc bị thổi bay; vào sáng sớm ngày 19/9/2007, cơn bão số 13 có tên là Weipa, gây cho nhiều bảng quảng cáo dọc theo đường phố ở Thành phố Fuding rơi xuống đất; tại Thượng Hải gió thổi bay một bảng quảng cáo vào ngày 29/7/2008. Vào lúc hơn 13 giờ ngày 22/8/2008, Typhoon "Parrot" Wei đã gây cho cậu bé 9 tuổi ở Hạt Wentang, quận Dongcheng, thành phố Đông Quan, bị thương ở đầu và gây bất tỉnh bởi một bảng quảng cáo bằng hợp kim nhôm [17].

Ngoài ra, ở các nước khác như Mỹ, Philippines v.v... cũng đã có nhiều bảng quảng cáo bị phá hoại sau trận bão, lốc xoáy v.v..., thậm chí đã gây thương vong cho người đi

bộ, làm thiệt hại về vật chất và gây mất mỹ quan, vì thế cần có các nghiên cứu về tính dễ bị tổn thương của bảng quảng cáo trước thảm họa gió. Do đó, cần có các cuộc điều tra thực tế sau các cơn bão, và tìm hiểu về hình thức thiệt hại và mức độ nghiêm trọng của bảng quảng cáo sau khi bão đến.



a) rách tấm bạt



b) tấm thép bị bung ra



c) hư hỏng pano



d) hư hỏng khung đỡ



e) gãy cột đỡ



f) chân cột nhỏ bật

Hình 1.4. Minh họa các hư hỏng bảng quảng cáo thường gặp [17]

1.2.3.2 Phân loại và nguyên nhân gây hư hỏng

Dựa trên hiện trạng còn sót lại từ các cơn bão mạnh hàng năm trong thời gian gần đây, cũng như thông kê một số hư hỏng chính đối với bảng quảng cáo (theo tác giả Исаев А.В. (2005) [96]), kết quả cho thấy hư hỏng do gió bão đối với bảng quảng cáo có thể được chia thành một số loại sau [97], [99]:

(1) Hư hỏng bề mặt bảng quảng cáo, khi tấm bọc bằng bạt bị rách toàn bộ hoặc một phần, cũng như tấm bọc bằng thép mạ kẽm bị bung do các đinh vít hoặc vít tự tạo ren bị nhổ bật (Hình 1.4a,b). Nguyên nhân chính là do áp lực hút của gió trên bề mặt bảng quảng cáo đã tạo lực kéo xuất hiện trong tấm bạt hoặc trong tấm thép lớn hơn khả năng chịu kéo của chúng. Tấm bạt bị xé rách, khi đó làm giảm lực gió tác động lên cột đỡ nhờ diện tích bề mặt cản gió bị giảm đi. Cũng có thể do phá hoại các vít liên kết tấm thép với khung pano bảng quảng cáo hoặc xé rách tấm thép tại vị trí đinh vít, do độ dày tấm thép quá mỏng hoặc khoảng cách các đinh vít quá lớn, cũng như đường kính đinh vít quá nhỏ mà chúng sẽ bị đứt hoặc nhổ bật.

(2) Hư hỏng kết cấu khung pano bảng quảng cáo, khi hư hỏng hoặc oằn vẹo kết cấu pano hoặc khung đỡ pano (Hình 1.4c,d). Nguyên nhân chính là do các thanh của khung pano làm từ kết cấu thép nhẹ, tiết diện thanh chịu lực không lớn và độ cứng thấp hoặc do liên kết các thanh trong khung tấm với nhau hoặc thanh trong khung tấm với kết cấu cột đỡ không đủ khả năng chịu lực khi có tải trọng gió.

(3) Hư hỏng kết cấu cột đỡ pano bảng quảng cáo, khi cột đỡ không đủ khả năng chịu lực dưới tải trọng gió, thân cột bị hư hỏng hoặc cột bị nghiêng (Hình 1.4e); Liên kết chân cột đỡ với móng thông qua các bu lông, các bu lông neo không đủ chịu lực do đứt hoặc bị nhổ bật vì không đủ chiều dài neo (Hình 1.4f). Có thể là do tổ hợp các thành phần nội lực trong tiết diện thân cột vượt quá khả năng chịu lực cực hạn của cột khi chịu nén kết hợp với uốn và xoắn, làm gãy hoặc oằn tiết diện ngang thân cột; cũng như nội lực chân cột vượt quá khả năng chịu lực cực hạn của bu lông neo hoặc của bản đế chân cột, dẫn đến việc giật đứt thân bu lông hoặc tuột êcu do đứt ren, phá hoại bản đế, giật đứt các đường hàn cột với tấm đế chân cột hoặc sườn, gây đổ cột. Cũng có thể do khả năng neo giữ của móng vào nền đất không đảm bảo điều kiện chống lật, gây đổ kết cấu bảng quảng cáo.

1.2.3.3 Phân tích nguyên nhân gây hư hỏng

Một số nguyên nhân chủ quan và khách quan gây hư hỏng đối với các bảng quảng cáo mang tính chất định tính như sau:

(1) Do việc tính toán tải trọng gió lên bề mặt đón gió của pano không chính xác, chưa kể tới một số hiệu ứng động học của gió hoặc một số sai lệch khác, dẫn tới giá trị tải trọng gió tác động lên pano theo tính toán nhỏ hơn so với giá trị thực tế. Cụ thể, với pano bảng quảng cáo thường xét trường hợp nguy hiểm là hướng gió thổi thẳng góc với bề mặt pano, hệ số khí động lấy khá nhỏ (thường $c_x = 1,2$ theo TCVN 2737:1995 [12]), lực gió đặt đúng tâm bảng (không xét đến thành phần xoắn của lực gió đối với pano và cột đỡ), cũng như tính chất khí động học của luồng gió trên bề mặt pano. Trong khi đó, một số tiêu chuẩn thiết kế nước ngoài lấy giá trị hệ số khí động khá lớn và xét đến độ lệch tâm của lực gió, chẳng hạn: hệ số lực $C_f = 1,8$ theo [23], [46] và quy định độ lệch tâm của lực gió $e_y = \pm 0,25b$ (trong đó: e_y là độ lệch tâm theo phương ngang của lực gió đối với trọng tâm pano; b là chiều rộng pano) (theo EN 1991-1-4 [46], AS/NZS 1170-2 (2011) [30]) hoặc $C_f = 1,7$ đến $1,8$ và quy định độ lệch tâm của lực gió $e_y = \pm 0,2b$ (theo ASCE/SEI 7-16 [23]). Gần đây, TCVN 2737:2023 [13] quy định giá trị hệ số khí động $c_x = 1,6$ đến $1,7$ và độ lệch tâm của lực gió $e_y = \pm 0,25b$. Theo đó, các cấu kiện thép, liên kết giữa các cấu kiện khung tấm và cấu kiện cột với nền móng v.v..., có thể không đảm bảo khả năng chịu lực và gây hư hỏng bảng quảng cáo.

(2) Không chú ý đầy đủ đến việc thiết kế và thi công bảng quảng cáo. Một số bảng quảng cáo được xây dựng mà không có thiết kế chi tiết hoặc không có tính toán thiết kế kể đến quá trình thi công. Đa số các cấu kiện và liên kết tiếp xúc trực tiếp với môi trường tự nhiên, các cấu kiện và liên kết tuy được bảo vệ chống ăn mòn nhưng có thể chất lượng chưa đảm bảo dẫn đến chúng bị ăn mòn theo thời gian, làm giảm đáng kể tiết diện dẫn đến giảm khả năng chịu lực và cũng là nguyên nhân dẫn đến hư hỏng.

1.3. Gió và tải trọng gió lên bảng quảng cáo

1.3.1. Khái quát về gió

Tác động của tải trọng gió lên công trình nói chung có đặc trưng rất phức tạp, bản thân nó chứa các đặc trưng ngẫu nhiên và thay đổi theo thời gian, không gian. Tải trọng gió chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố: vị trí, địa hình, độ cao, hướng gió, hình dạng công

trình v.v... nên việc tính toán gặp nhiều khó khăn [53].

Đối với công trình bảng quảng cáo, với đặc điểm pano khá nhẹ, có bề mặt đón gió lớn và độ mảnh lớn, tác động của tải trọng gió đóng vai trò quan trọng và là yếu tố quyết định đến sự làm việc của bảng quảng cáo. Bảng quảng cáo thường được đặt tại tuyến đường trục chính, sự hư hỏng tuy không dẫn đến hậu quả lớn về người và kinh tế như đối với các công trình khác, nhưng cũng mất đi khả năng sử dụng chúng. Vì thế, việc xác định các đặc trưng của tải trọng gió sẽ quyết định đến mức độ an toàn, cũng như tính hiệu quả kinh tế - kỹ thuật khi thiết kế và lắp đặt đối với dạng kết cấu này.

1.3.2. Tiêu chuẩn tính toán tải trọng gió

Theo John D.Holmes (2015) [53], hiện nay trên thế giới có 84 tiêu chuẩn thiết kế của các nước quy định việc tính toán tải trọng gió lên công trình, trong số đó có Việt Nam TCVN 2737:1995 [12] và gần đây là TCVN 2737:2023 [13], Nga SP 20.13330.2016 [94], ISO 4354:2009 [55], châu Âu EN 1991-1-4 [46], Mỹ UBC 94, ASCE/SEI 7-16 [23], Nhật bản AIJ-2015 [29], Úc/New Zealand AS/NZS 1170.2:2011 [30], Trung Quốc GB 50009-2012 [102], Ấn Độ IS 875 (Part 3):2015 [54] v.v...

1.3.3. Tải trọng gió lên kết cấu theo điều kiện Việt Nam

Số liệu gió dùng trong thiết kế được quy định trong QCVN 02:2022/BXD [5], theo đó áp lực gió chia ra thành 5 vùng (vùng I đến vùng V). Các tỉnh ven biển từ Quảng Ninh đến Khánh Hòa chịu ảnh hưởng mạnh của bão. Cấp bão ở các vùng này có thể đạt đến cấp 13 đến 14, tức là vận tốc 37 m/s đến 46 m/s; sức gió giật đạt cấp 16 đến 17, tức là vận tốc gió đạt 61 m/s đến 67 m/s.

Tải trọng gió lên bảng quảng cáo được quy định trong TCVN 2737:1995 [12], gần đây là TCVN 2737:2023 [13], phụ thuộc vào nhiều tham số, ví dụ: tham số gió (profile vận tốc gió, profile độ rối, chiều dài rối), áp lực gió cơ sở ứng với vận tốc gió cơ sở lấy trung bình trong thời gian 3s, chu kỳ lặp 20 năm.

1.4. Công cụ mô phỏng số và thí nghiệm bảng quảng cáo

1.4.1. Mô phỏng số bằng phần mềm

Hiện nay, công cụ mô phỏng gió nói chung có khá nhiều phần mềm (Orbital Stack, SkyCiv Structural 3D, SimScale, Ingrid Cloud, ENVI-met 3D, PowerPad, RWIND 2, SimFlow, Autodesk CFD, MasterSeries, MecaWind, Ansys Fluent, windPRO,

UrbaWind, AKL FlowDesigner, iStruct®), phần mềm thương mại mô phỏng tải trọng gió lên kết cấu thường dùng là RWIND và Ansys Fluent.

- RWIND [71], là phần mềm do hãng SourceForge (Mỹ) phát triển vào năm 1999, cho phép phân tích luồng gió tác động lên nhà và công trình trong hầm gió kỹ thuật số (hầm gió ảo) giống như trong ống thổi khí động, sử dụng mô phỏng CFD (tính toán động lực học chất lưu - Computational Fluid Dynamics) và có khả năng thể hiện để thấy được luồng gió ảnh hưởng thế nào đến kết cấu. Phần mềm mô phỏng trong hầm gió ảo cho phép xác định áp lực bề mặt công trình và xác định các dòng xoáy hoặc dòng xoáy mất ổn định galloping cho công trình. RWIND áp dụng các tiêu chuẩn về quy trình thí nghiệm mô hình trong ống thổi như Eurocode và ASCE.

- Ansys Fluent [19], [20], là một mô đun trong gói phần mềm tích hợp của ANSYS, được lập ra từ năm 1970 do nhóm nghiên cứu của Dr. John Swanson, phần mềm dựa trên phương pháp thể tích hữu hạn (FVM) để phân tích các bài toán vật lý và cơ học. Ứng dụng của Ansys Fluent khá rộng, ví dụ trong ngành: công nghiệp hàng không - vũ trụ; công nghiệp sản xuất ô tô; công nghiệp xây dựng (gió, thông gió, điều hòa); hệ thống công nghiệp hóa chất và dầu khí; công nghệ y sinh và dược phẩm; môi trường (thời tiết, khí hậu) v.v... Phần mềm Ansys Fluent cũng được các nhà nghiên cứu sử dụng để mô phỏng gió tác động lên nhà và công trình. Có một số tác giả sử dụng phần mềm Ansys Fluent để nghiên cứu ứng xử bảng quảng cáo, chẳng hạn: Freydoon Rezaie (2018) [49], Farooqui K.M (2021) [50] v.v...

1.4.2. Thí nghiệm trong ống thổi khí động

Một số tiêu chuẩn (ASCE/SEI 7-16 [23], EN 1991-1-4 [46]) và gần đây TCVN 2737:2023 [13] cho phép thiết kế có sự trợ giúp của thí nghiệm, trong số đó có việc sử dụng kết quả thí nghiệm mô hình trong ống thổi khí động, điều đó cũng rất ý nghĩa trong nghiên cứu. Kết quả thí nghiệm mô hình trong ống thổi khí động sẽ phản ánh xác thực hơn tải trọng gió lên kết cấu, cũng như một số hiệu ứng khác do gió gây ra mà khi tính toán theo tiêu chuẩn sẽ khó phát hiện được.

Việc thí nghiệm mô hình trong ống thổi khí động đã được thực hiện ở nhiều nước, ví dụ như: Mỹ, Nga, Anh, Pháp, Đức, Canada, Trung Quốc, Singapore, Ấn Độ, Thái Lan v.v... Quy trình thí nghiệm mô hình trong ống thổi khí động cũng đã được đề cập

trong các tài liệu của Mỹ (ASCE/SEI 49, phiên bản 1920, 1996, 1999, 2012) [21], Australia (AWES-QAM-1, phiên bản 2011, 2014, 2019) [25], Canada (Alan G.Davenport, 2007) [18], Trung Quốc (JGJ/T 338-2014) [103] v.v... Cũng đã có nhiều thí nghiệm mô hình bảng quảng cáo trong ống thổi khí động, với pano có một mặt (Delong Z. et al (2012)) [40], hai mặt song song (chẳng hạn: Ziauddin S.M (2016) [82]; Warnitchai P. et al (2009) [85]; Letchford C.W (2001) [57] hoặc hai mặt không song song (chẳng hạn: Zhi-hui, Ming G (2015) [83]; Zihai Li, et al (2018) [83]; Daihai W, 2018; Delong Z. et al (2012)) [40], bảng quảng cáo ba mặt (chẳng hạn, Daihai W, (2016, 2017, 2018) [39]; Zhi-hui, Ming G (2015) [83]; Ming-hui L. et al (2014)), với một hoặc hai cột đỡ (chẳng hạn: Ginger J.D. et al (1998)). Cũng như các thí nghiệm mô hình đối với bảng quảng cáo đặt trên mái nhà (chẳng hạn: Ming G.U. et al (2015) [83]). Kết quả nhận được là giá trị áp lực gió và tải trọng gió lên bề mặt pano đối với mô hình cứng (thông qua các hệ số lực đẩy và hệ số lực xoắn C_x , C_y , C_m), cũng như ứng xử động học đối với mô hình khí đàn hồi và dự báo phản ứng gió giật gây ra đối với pano.

Hiện nay, ở Việt Nam cũng đã có nhiều phòng thí nghiệm gió của các cơ sở nghiên cứu và trường đại học được trang bị ống thổi khí động, phục vụ cho các thí nghiệm gió đối với các mục đích khác nhau, trong đó có các thí nghiệm mô hình dành cho cả các kết cấu xây dựng (nhà thấp tầng, nhà cao tầng, nhà nhịp lớn, cầu v.v...), chẳng hạn:

- Phòng thí nghiệm gió của Học viện Phòng không Không quân. Sử dụng ống thổi khí động hở, dùng động cơ phản lực của máy bay để tạo ra luồng gió. Nhược điểm chính đó là, khó điều khiển được tốc độ gió; khó tạo được dạng địa hình theo thí nghiệm tương tự thực tế; khó xem xét được ảnh hưởng của môi trường. Ống thổi khí động ở đây cũng đã được sử dụng để nghiên cứu tải trọng gió lên nhà một tầng có 3 gian và 2 mái dốc lợp ngói [2].

- Phòng thí nghiệm gió của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường. Sử dụng ống thổi khí động hở, nhược điểm là không có bàn xoay nên chỉ dùng để nghiên cứu các hiện tượng liên quan đến gió và hiệu chỉnh các thiết bị đo gió [2].

- Phòng thí nghiệm của Khoa Kỹ thuật giao thông thuộc trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh. Được trang bị hai loại ống thổi khí động (loại hở và kín), có thể sử dụng trong nghiên cứu mô hình liên quan đến lĩnh vực Hàng không [2].

- Phòng thí nghiệm gió của Viện Khoa học công nghệ xây dựng. Đây là một trong số các phòng thí nghiệm hiện đại của Việt Nam được xây dựng vào năm 2006, có ống thổi dạng kín theo phương đứng. Đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện ở đây, trong số đó có đề tài NCKH cấp Bộ Xây dựng [9], [16] hoặc các nghiên cứu khác [2].

Ống thổi khí động bao gồm một ống tạo luồng chính, bên trong lắp đặt hệ thống quạt gió để tạo luồng khí, trên hướng đi của luồng gió có thể có những bàn xoay (dùng để đặt các mô hình), có thể đặt thêm các cục tạo nhám, các tấm chắn tạo độ rối, bên ngoài đặt các thiết bị ghi số liệu, thiết bị đo áp lực, các hệ thống điện tử sử dụng các cảm biến điện trở, các tín hiệu từ cảm biến được chuyển tới các máy tính để ghi lại số liệu, v.v... Tùy theo tiêu chí mà có các cách phân loại ống thổi khí động như sau [2]:

(1) Theo cấu trúc: Ống thổi khí động kín, ống thổi khí động hở (cấu trúc này được dùng nhiều trong các phòng thí nghiệm gió);

(2) Theo phương đặt ống: Ống theo phương đứng, ống theo phương ngang.

- Ống thổi khí động hở, luồng gió được tạo ra do các cánh quạt đặt ngay trong hệ thống ống, sau khi thổi qua khu vực thí nghiệm sẽ được thoát ra ngoài. Loại ống này có ưu điểm là việc xây dựng dễ dàng, kinh phí thấp hơn so với ống thổi khí động kín. Tuy nhiên, khó kiểm soát được chất lượng luồng gió; bị ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm và môi trường xung quanh.

- Ống thổi khí động kín, luồng gió được tạo ra do các cánh quạt đặt ngay trong hệ thống ống, luồng gió này được thổi qua khu vực thí nghiệm liên tục và tuần hoàn trong ống. Loại ống này có ưu điểm là kín gió, ít bị ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài như nhiệt độ, thời tiết, năng lượng trong hầm gió được tận dụng triệt để. Tuy nhiên, chi phí xây dựng đắt hơn do phải chi phí xây dựng thêm hệ thống hồi không khí. Không khí trong hầm gió loại này liên tục bị làm nóng do ma sát với các quạt, do đó vào mùa hè thường bị nóng nên cần có hệ thống làm mát để điều chỉnh nhiệt độ không khí.

Viện Khoa học công nghệ xây dựng có ống thổi khí động dạng kín theo phương đứng, nằm gọn trong không gian có kích thước rộng 8,0 m, dài 35,0 m và cao 9,0 m. Kích thước tiết diện trong lòng ống thổi nhánh dưới (2×2) m, phần mở rộng bố trí bàn xoay đường kính 4,0 m, kích thước tiết diện ống thổi nhánh trên (2×8,4) m, bố trí bàn xoay đường kính 7,0 m, tại vị trí các bàn xoay có cửa kính để quan sát. Hệ thống quạt

gió công suất lớn, luồng gió có vận tốc thay đổi liên tục từ 0 m/s đến 50 m/s tại vị trí bàn xoay nhỏ, và từ 0 m/s đến tối thiểu 12 m/s ở vị trí bàn xoay lớn. Sử dụng các cục tạo nhám bằng gỗ, thanh chắn, thanh spire để mô phỏng địa hình và tạo độ rối theo yêu cầu của thí nghiệm. Ngoài ra, còn được trang bị thiết bị đo cân bằng lực tần số cao JR3 (*High Frequency Force Balance JR3*), là thiết bị đặc chủng loại mô hình cảm biến 30E12A4 với tải trọng cơ học 200 N, có khả năng đo 06 thành phần lực (03 thành phần lực cắt đáy F_X , F_Y và F_Z , và 03 thành phần mô men đáy M_X , M_Y và M_Z) với tần số cao (tần số lấy mẫu bằng 1000 Hz, tức là 1000 phép đo trong thời gian 1 giây). Toàn bộ các hệ thống thiết bị độc lập DPMS và JR3 được nối trực tiếp vào máy tính, quá trình thu nhận số liệu được thực hiện hoàn toàn tự động theo các thông số đặt sẵn.

Bảng 1.1. Thông số chính của thiết bị JR3

Stt	Thông số	Đơn vị	F_X, F_Y	F_Z	M_X, M_Y	M_Z
1	Dài đo tiêu chuẩn	N; Nm	± 200	± 400	± 16	± 16
2	Độ phân giải kỹ thuật số	N; Nm	0,025	0,005	0,002	0,002
3	Độ cứng	N/m; Nm/rad	8.9E+6	96E+6	46000	13000
4	Vượt tải một trục	N; Nm	1470	5340	83	70
5	Hệ số vượt tải đa trục, a	N	1470	-	-	-
6	Hệ số vượt tải đa trục, b	N	2180	-	-	-
7	Hệ số vượt tải đa trục, c	N	-	5340	-	-
8	Hệ số vượt tải đa trục, d	Nm	-	-	83	
9	Hệ số vượt tải đa trục, e	Nm	-	-	-	70

Ghi chú: Kích thước thiết bị: đường kính 76 mm, chiều cao 31,8 mm, vật liệu AL 2024, trọng lượng khoảng 280 g, độ chính xác danh nghĩa, tất cả các trục (phạm vi đo) $\pm 0,25\%$, nhiệt độ vận hành (phạm vi không ngưng tụ) -40° đến $+65^\circ$.

Thấy rằng, hiện nay trong nước có nhiều phòng thí nghiệm được trang bị ống thổi khí động có thể sử dụng để thí nghiệm mô hình kết cấu xây dựng. Tuy nhiên, trường hợp kết cấu bằng quảng cáo cần đo lực tại chân cột và xác định lực gió tác động lên bề mặt pano thì năng lực trang thiết bị thí nghiệm hiện có trong nước đó là ống thổi khí động kín của Viện Khoa học công nghệ xây dựng sẽ phù hợp hơn cả.

1.5. Các nghiên cứu gần đây ở trong và ngoài nước về bảng quảng cáo

1.5.1. Trong nước

Ở trong nước, có khá ít nghiên cứu riêng về kết cấu bảng quảng cáo, đặc biệt là nghiên cứu về tải trọng gió đối với bảng quảng cáo, thường xem kết cấu bảng quảng cáo giống như các kết cấu thép khác nói chung.

QCVN 17:2018/BXD [4], Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về xây dựng và lắp đặt phương tiện quảng cáo ngoài trời, ban hành kèm theo Thông tư số 04/TT-BXD ngày 20/5/2018, có quy định đối với bảng quảng cáo đứng độc lập ngoài trời bố trí dọc các tuyến đường đô thị, diện tích tối đa một mặt bảng quảng cáo và khoảng cách tối thiểu từ điểm cao nhất của mặt đường giao thông tới mép dưới của bảng tương ứng giá trị như sau: 250 m² và 25 m đối với đường cao tốc; 200 m² và 25 m đối với đường Cấp I, II, III (Quốc lộ); 120 m² và 20 m đối với đường Cấp III, IV, V (Tỉnh lộ); 100 m² và 15 m đối với đường Cấp IV, V, VI (Huyện lộ).

Bộ Xây dựng [1], gần đây tổ chức các khóa Tập huấn phổ biến và hướng dẫn phòng chống thiên tai, lụt bão. Trong đó, có các khuyến nghị đối với công tác phòng chống tải trọng gió, bão nhằm đảm bảo an toàn các công trình tương tự khác, ví dụ như bảng quảng cáo tấm lớn, bảng hiệu ở các tuyến đường đô thị.

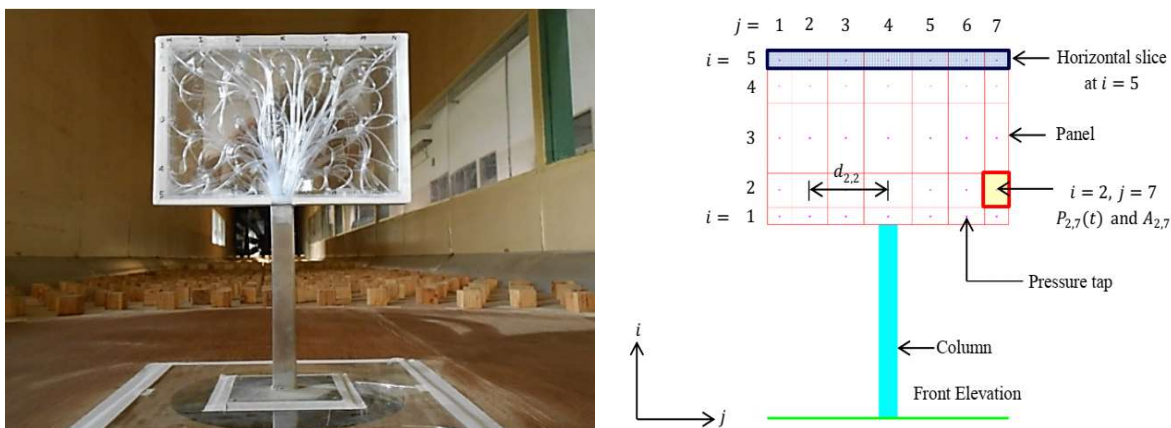
1.5.2. Ngoài nước

Ở ngoài nước, có khá nhiều nghiên cứu về kết cấu bảng quảng cáo đặc biệt là nghiên cứu về: (1) tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo; (2) hoàn thiện phương pháp tính toán và thiết kế bảng quảng cáo. Ngoài ra, ở một số nước còn ban hành thiết kế điển hình hoặc tiêu chuẩn thiết kế riêng.

Nhóm 1: Nghiên cứu tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo

Ziauddin S. M. (2016) [82], đã công bố nghiên cứu của mình trong buổi hội thảo về kỹ thuật gió tại Tp. Hồ Chí Minh, theo đó một nghiên cứu đối với mô hình bảng quảng cáo tỉ lệ 1:10 dạng hộp làm từ vật liệu mica thông qua đo áp suất bề mặt tần số cao, thí nghiệm mô hình trong ống thổi khí động được thực hiện tại phòng thí nghiệm TU-AIT (Thái Lan), kết quả là lực gió và lực xoắn. Kết quả cho thấy, lực xoắn do gió được chi phối bởi phản ứng cộng hưởng, nhưng trong trường hợp này do độ cản khí động học cao nên đã triệt tiêu phản ứng cộng hưởng đối với lực cản do gió gây ra, cũng

như phản ứng dịch chuyển kết hợp xoắn ngang được cho là không thể phân biệt được với sự dịch chuyển của kết cấu.



Hình 1.5. Mô hình thí nghiệm của Ziauddin S. M. (2016) [82]

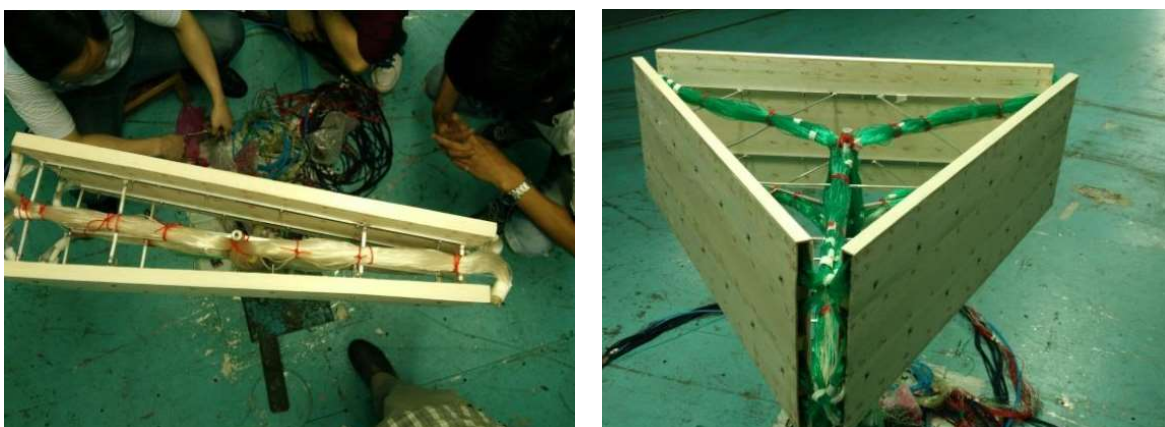
Wang D., Li Z., Chen C. (2018) [86], đã nghiên cứu cơ chế phá hoại do gió gây ra và cải tiến giải pháp thiết kế chịu gió của bảng quảng cáo ngoài trời có cột đơn thân, thực hiện hai thí nghiệm trong hầm gió đối với mô hình bảng quảng cáo hai tấm (chữ V). Dựa trên thí nghiệm đo áp suất, nghiên cứu các hệ số lực ngang song song và vuông góc với tấm, và hệ số lực xoắn theo các hướng gió khác nhau, phân phối áp lực gió dọc theo chiều rộng tấm và hệ số lực gió bất lợi nhất, mật độ phổ công suất (PSD) của tải trọng gió ngang và xoắn. Thí nghiệm mô hình đàn hồi bằng cân bằng lực tần số cao (HFFB), xác định các phản ứng lực do gió gây ra ở chân cột bảng quảng cáo hai tấm. Đề xuất phương pháp lý thuyết tính toán phản ứng động do gió tác động lên bảng quảng cáo theo hướng ngang và xoắn. Kết quả chỉ ra rằng, PSD của tải trọng gió vuông góc với pano cần phải xem xét. Sự kích thích do nhiễu loạn và sự biến đổi xoáy là đóng góp chính đối với phổ tải trọng xoắn. Giảm chấn khí động học theo hai hướng (nghĩa là vuông góc với tấm và xoắn) có ảnh hưởng đáng kể đến dao động của bảng quảng cáo do gió gây ra. Cách tiếp cận lý thuyết được xác nhận thông qua thí nghiệm trong hầm gió và có thể được áp dụng để dự đoán hiệu ứng tải trọng gió lên bảng quảng cáo.

Li Z., Wang D., Chen C. (2018) [59], đã nghiên cứu hiệu ứng tải trọng gió đối với kết cấu bảng quảng cáo thu nhỏ với tỉ lệ 1:20, loại hai tấm đơn trong hầm gió theo mô hình cứng, pano cấu tạo từ tấm gỗ và sử dụng mô hình đo áp lực bề mặt. Đầu tiên, thực hiện đo áp suất đồng bộ trên bảng quảng cáo với mô hình cứng khi thí nghiệm trong

hầm gió, phân tích các gió dọc, gió ngang và tải trọng xoắn ở các hướng gió khác nhau, phân phối áp suất gây ra tải trọng dọc và xoắn theo các hướng gió bất lợi nhất. Sau đó, thí nghiệm trên mô hình khí đàn hồi (aeroelastic) và đáp ứng ở chân cột đỡ được lấy từ phép đo cân bằng lực. Các phản ứng đo được cũng so sánh với dự đoán phân tích nhằm minh chứng tính hiệu quả của phương pháp phân tích. Phân tích này làm sáng tỏ về khả năng tiếp nhận khí động học và giảm chấn khí động học. Đưa ra một cách tiếp cận đơn giản để phân tích phản ứng xoắn dưới dạng hệ số lệch tâm hiệu dụng. Nghiên cứu này đưa ra dữ liệu kiểm tra tải trọng gió tổng thể và phương pháp phân tích để dự đoán phản ứng do gió gây ra đối với các kết cấu bảng quảng cáo hai tấm.



Hình 1.6. Mô hình thí nghiệm của Li Z., và cộng sự (2018) [59]



Hình 1.7. Mô hình thí nghiệm của Wang D., và cộng sự (2016) [87]


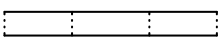


Wang D., Li J., Chen X., Cheng H. (2016) [87], bài báo trình bày nghiên cứu mô hình thí nghiệm thu nhỏ tỉ lệ 1:20 trong hầm gió chịu tải trọng gió đối với kết cấu bảng quảng cáo tấm lớn loại hai tấm và ba tấm (Hình 1.7), mỗi tấm cấu tạo dạng hộp dày 2

cm, ghép từ các ván nhẹ bằng gỗ thông có chiều dày 3 mm. Sử dụng thiết bị đo áp suất đồng bộ trên bề mặt tấm, và các đặc tính của áp lực cục bộ, lực tích hợp trên mỗi tấm riêng lẻ và trên kết cấu tổng thể. Ảnh hưởng của góc hướng gió và dạng tấm đến các đặc tính tải trọng gió và sự đóng góp của tải trọng gió và mô men xoắn tổng thể đối với kết quả ứng suất. Kết quả cho thấy, các đặc tính tải trọng gió của tấm trong cả hai loại (hai tấm và ba tấm) rất giống nhau. Sự đóng góp của tải trọng gió tổng thể làm cho lực tổng hợp từ cả hai tải trọng gió dọc và gió ngang ít nhạy cảm hơn với hướng gió trong trường hợp loại ba tấm. Mô men xoắn tổng thể thấp hơn giá trị quy định trong tiêu chuẩn hiện hành và đóng góp của nó ít quan trọng hơn đối với dạng hai tấm và ba tấm.

Zhihao Li và cộng sự (2018) [83], đã sử dụng thí nghiệm trong hầm gió để nghiên cứu hiệu ứng tải trọng gió đối với kết cấu bảng quảng cáo hai tấm (chữ V) được đỡ bởi một cột, kết quả xác định được tải trọng gió dọc, ngang và xoắn theo các hướng gió khác nhau, cũng như phân bố áp lực gây ra tải trọng gió và xoắn theo hướng bất lợi. Đồng thời, tiến hành thí nghiệm mô hình khí đàn hồi và nhận được phản ứng chân cột bằng phép đo cân bằng lực. Từ đó làm sáng tỏ về khả năng tiếp nhận khí động học và giảm chấn khí động học, cũng như đề xuất phương pháp đơn giản hóa để phân tích hiệu ứng xoắn dưới dạng hệ số độ lệch tâm hiệu dụng và phương pháp phân tích để dự đoán phản ứng do gió gây ra đối với kết cấu bảng quảng cáo hai mặt.

Delong Zuo và cộng sự (2012, 2014) [40], [41], đã tiến hành thí nghiệm ngoài hiện trường với tỉ lệ 1:1 đối với pano bảng quảng cáo loại hộp và thí nghiệm mô hình thu nhỏ với tỉ lệ 1:50 trong hầm gió đối với một số dạng kết cấu bảng quảng cáo (loại một tấm, hai tấm, tấm chữ V và hộp, chúng được cấu tạo từ các tấm nhôm có chiều dày 3 mm), nhằm đánh giá lực và mô men do gió tác động, kết quả thu được hệ số khí động cản chính diện C_x và xoắn C_e (Bảng 1.2) đã so sánh với kết quả nghiên cứu trước đó.

Bảng 1.2. Kết quả hệ số lực ứng với các dạng pano [40]

Stt	Hệ số	Tấm đơn (mỏng)	Tấm đôi	Tấm chữ V	Hộp (dày)
1	C_x	1,41	1,35	1,44	1,23
2	C_e	0,19	0,20	0,21	0,12
Mặt cắt bảng quảng cáo:					



Hình 1.8. Mô hình thí nghiệm của Delong Zuo và cộng sự (2014) [41]

Từ đó cho thấy, pano quảng cáo hình chữ nhật với các dạng bố trí mặt bằng khác nhau có ảnh hưởng đáng kể đến tải trọng tác động lên chúng, đặc biệt ảnh hưởng của mô men xoắn được đánh giá là cao hơn so với quy định trong tiêu chuẩn thiết kế đối với kết cấu pano như vậy.

Douglas và cộng sự (2014) [42] (cùng nhóm nghiên cứu trong các công bố [40], [41]), đã thực hiện thí nghiệm tại hiện trường ở Phòng Nghiên cứu Khoa học và Kỹ thuật Gió (WISE), thuộc Trung tâm Công nghệ Reese ở Lubbock – Texas, đối với bảng quảng cáo có kích thước thực dài×rộng×cao = (7,5×3,75×1,75) m đặt ở cao độ 7,5 m tính từ mặt đất tới đỉnh pano, sử dụng thiết bị đo áp lực bề mặt pano đặt tại 12 vị trí, nhằm cung cấp thông số gió cho các thí nghiệm đối với mô hình trong hầm gió. Tỷ lệ các cạnh của pano và cao độ đặt pano bảng quảng cáo lần lượt là 2,0 và 0,5. Các lực và mô men xoắn do gió gây ra trên mô hình tỉ lệ 1:1 được thiết lập bằng cách sử dụng 470 bản ghi trong thời gian 15 phút. Tất cả các bản ghi đều được cố định về tốc độ và hướng, tốc độ gió trung bình lớn hơn hoặc bằng 6,7 m/s. Thể hiện các đặc điểm phân bố đối với lực và mô men tác động lên bảng quảng cáo. Đặc tính bao gồm các hàm thực nghiệm để mô tả giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, độ lệch và mối tương quan của chúng theo thời gian như là một hàm của góc hướng gió tác động. Các hệ số xoắn và lực cực đại trung bình được đưa ra cùng với các tham số chế độ và độ phân tán cho phân phối Fisher–Tippett Type I. Nghiên cứu hai kỹ thuật dự báo để tính toán giá trị cực trị trung bình. Đánh giá hiệu quả của từng kỹ thuật bằng cách so sánh giá trị cực trị trung bình với giá trị đỉnh đo được. Các hệ số lực trung bình ở tỉ lệ mô hình thu được trong hầm gió có xu hướng cao hơn so với kết quả thí nghiệm mô hình thực (tỉ lệ 1:1).

Han Zhi-hui và cộng sự (2014) [52], đã thực hiện thí nghiệm đo áp suất trên mô hình cứng đối với pano bảng quảng cáo hai mặt song song ứng với góc hướng gió từ 0° đến 90° của mô hình thu nhỏ tỉ lệ 1:25. Nguyên mẫu bảng quảng cáo có kích thước cao 22,0 m, trụ đỡ cao 20,55 m với đường kính 1,5 m, kích thước pano (6×18) m. Mô phỏng profile vận tốc gió ứng với địa hình dạng B theo GB 50009-2012. Phân tích tải trọng gió đối với pano bảng quảng cáo hai mặt và ba mặt đặt trên cột độc lập, phân tích dao động do gió được thực hiện bằng phương pháp phân tích lịch sử thời gian. Kết quả giá trị trung bình của hệ số lực gió đẩy và giá trị biến động đối với bảng quảng cáo hai mặt đạt giá trị lớn nhất 1,46 và 0,17 ở góc hướng gió từ 0° đến 15° , khi bảng quảng cáo ba mặt đạt giá trị lớn nhất ở góc hướng gió 0° với các giá trị tương ứng là 1,45 và 0,16; hệ số mô men xoắn trung bình đạt giá trị tối đa ở góc hướng gió $52,5^\circ$ và 15° ; năng lượng cộng hưởng của phản ứng dịch chuyển nút pano bảng quảng cáo hai mặt cho bởi dạng uốn vuông góc với pano, năng lượng cộng hưởng của phản ứng dịch chuyển nút của pano bảng quảng cáo ba mặt được cho bởi hình tam giác song song với bảng theo đường trung tâm bảng quảng cáo và uốn vuông góc với đường trung tâm; năng lượng cộng hưởng của phản ứng góc xoắn của hai dầm thép ống được cho bởi chế độ xoắn; các hệ số khí động của gió tương ứng là 1,51 và 1,59; điều kiện làm việc bất lợi nhất của dao động xoắn ở góc hướng gió là $52,5^\circ$ và 30° , hệ số khí động lần lượt là 1,63 và 2,65.

Bảng 1.3. Hệ số khí động đối với pano bảng quảng cáo [52]

Góc	$0,0^\circ$	$7,5^\circ$	$15,0^\circ$	$22,5^\circ$	$30,0^\circ$	$37,5^\circ$	$45,0^\circ$	$52,5^\circ$	$60,0^\circ$	$67,5^\circ$	$75,0^\circ$	$82,5^\circ$
C_x	1,46	1,46	1,46	1,43	1,38	1,37	1,35	1,21	1,01	0,73	0,43	0,18
C_y	0,00	0,023	0,036	0,046	0,060	0,089	0,122	0,151	0,173	0,194	0,226	0,287

Letchford, C.W (2001) [57], đã nghiên cứu hệ số lực đẩy và lực hút trên bề mặt pano quảng cáo hình chữ nhật hoặc tấm tường (hoardings) với tỉ lệ các cạnh pano hoặc tỉ lệ cao độ đặt pano khác nhau ứng với góc hướng gió khác nhau, và so sánh kết quả với các số liệu nghiên cứu trước đó của các tác giả khác.

Kết quả cho thấy, có sự tương đồng hợp lý về kết quả đối với các tấm tường đặt trên mặt đất, nhưng có sự khác biệt đáng kể về hệ số lực đối với các trường hợp khi tấm tường được nâng lên so với bề mặt đất. Qua đó Letchford C.W. (2001) [57] đã đề xuất

công thức xác định hệ số khí động C_f với sai số $\pm 0,1\%$ (phạm vi áp dụng $0,2 < b/c < 5,0$ và $0,2 < c/h < 1,0$) là:

$$C_f = 1,45 + 0,5 \times \left[0,7 + \log_{10} \left(\frac{b}{c} \right) \left(0,5 - \frac{c}{h} \right) \right] \quad (1.1)$$

Bảng 1.4. Hệ số khí động trung bình C_f [57]

Tỷ số c/h	Tỷ số b/c								
	0,1	0,2	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,0	10,0
1,00		1,42	1,41	1,17	1,15	1,14	1,08	1,04	
0,95		1,43	1,42	1,33	1,27	1,24	1,14		
0,90	1,55	1,44	1,45	1,41	1,34	1,33	1,20	1,15	
0,80		1,46	1,49	1,44	1,43	1,39	1,32		
0,67				1,46	1,42	1,38	1,35	1,32	
0,50				1,47	1,38	1,42	1,45	1,44	
0,30					1,42	1,45	1,53	1,57	1,55
0,16						1,48	1,51		1,63

Bảng 1.5. Kích thước mẫu và tỷ số hình học [63]

Tên mẫu	Kích thước (m)			Tỷ số		Tên mẫu	Kích thước (m)			Tỷ số	
	b	c	d	b/c	d/c		b	c	d	b/c	d/c
1	0,6	0,6	0,06	1	0,1	7	0,6	0,6	0,20	1	0,7
2	1,8	0,6	0,06	3	0,1	8	1,8	0,6	0,20	3	0,7
3	3,0	0,6	0,06	5	0,1	9	3,0	0,6	0,20	5	0,7
4	0,6	0,6	0,20	1	0,4	10	3,0	0,6	0,20	5	0,7
5	1,8	0,6	0,20	3	0,4	11	3,0	0,6	0,20	5	0,7
6	3,0	0,6	0,20	5	0,4						

$$C_{F,x} = \frac{F_x}{0,5\rho\bar{U}^2(bc)}; C_{F,y} = \frac{F_y}{0,5\rho\bar{U}^2(dc)}$$

$$C_{M,z} = \frac{M_z}{0,5\rho\bar{U}^2(b^2c)}$$

Thông qua giá trị hệ số khí động trung bình (ghi ở Bảng 1.4) khi tỷ số $b/c = 1,0$ đến $5,0$, có một số giá trị hệ số khí động biến thiên theo quy luật bất thường. Khi $b/c = 1,0$, hệ số khí động giảm xuống ứng với $c/h > 0,67$ nhưng lại tăng lên khi $c/h < 0,3$. Hệ số khí động đạt giá trị tối thiểu khi $b/c = 5,0$ và tăng không nhiều khi b/c lớn hơn. Sự bất thường này đã được Letchford C.W. (2001) [57] giải thích bởi lực khí động tăng lên do sự tương tác của các lớp cắt do tách xoáy từ xung quanh pano, chi tiết hơn có trong tài liệu [57].

Carlo Paulotto và cộng sự (2006) [35], đã thực hiện thí nghiệm trong hầm gió đối với kết cấu bảng quảng cáo đặt trên mái các tòa nhà theo mô hình thu nhỏ tỉ lệ $1:100$, tiến hành thí nghiệm trên mô hình cứng, đo áp suất bề mặt pano. Kết quả thí nghiệm cho mối quan hệ giữa tải trọng gió tác dụng lên bảng quảng cáo và các đặc điểm của gió tác động lên các tòa nhà xung quanh.

Meyer và cộng sự (2017) [63], đã thí nghiệm trong ống thổi khí động đối với 11 mẫu pano đèn tín hiệu thu nhỏ tỉ lệ $1:3$, mô hình có dạng hộp được cấu tạo từ các tấm gỗ (trong số đó gồm 09 mẫu có cạnh vuông và 03 mẫu có cạnh cong), pano biển báo được đặt trên một hoặc hai cột, sử dụng thiết bị đo cân bằng lực tần số cao gắn ở đầu cột, tên mẫu và giá trị kích thước mẫu, tỉ lệ các tham số kích thước mẫu như ở Bảng 1.5. Nhóm tác giả nghiên cứu thực nghiệm tại phòng thí nghiệm gió của Đại học Quốc tế Florida (FIU). Các kết quả hệ số lực pháp tuyến $C_{F,x}$ và tiếp tuyến $C_{F,y}$ với góc hướng gió 0° và 45° ứng với các cặp giá trị của tỷ số $b/c = 1; 3; 5$ và $d/c = 0,1; 0,4$ và $0,7$ khác nhau ghi ở Bảng 1.6. Ngoài ra, kết quả hệ số xoắn $C_{M,z}$ và tỷ số độ lệch tâm r/b ứng với vận tốc gió 15 m/s và 40 m/s ghi ở Bảng 1.7.



Hình 1.9. Mô hình thí nghiệm của Meyer và cộng sự (2017) [63]

Bảng 1.6. Kết quả hệ số lực C_f [63]

Tên mẫu	Tỷ số		$\theta = 0^\circ$		$\theta = 45^\circ$		Tên mẫu	Tỷ số		$\theta = 0^\circ$		$\theta = 45^\circ$	
	b/c	d/c	$C_{F,x}$	$C_{F,y}$	$C_{F,x}$	$C_{F,y}$		b/c	d/c	$C_{F,x}$	$C_{F,y}$	$C_{F,x}$	$C_{F,y}$
1	1	0,1	1,15	0,02	1,24	-1,05	6	5	0,4	1,25	0,04	1,03	-0,87
2	3	0,1	1,22	0,35	1,18	-1,89	7	1	0,7	0,98	0,01	0,94	-0,79
3	5	0,1	1,28	0,39	1,11	-2,21	8	3	0,7	1,16	0,07	0,95	-0,93
4	1	0,4	1,12	0,00	1,02	-0,89	9	5	0,7	1,22	0,08	0,91	-0,75
5	3	0,4	1,21	0,13	1,06	-1,22							

Bảng 1.7. Hệ số xoắn $C_{M,z}$ và tỷ số độ lệch tâm r/b [63]

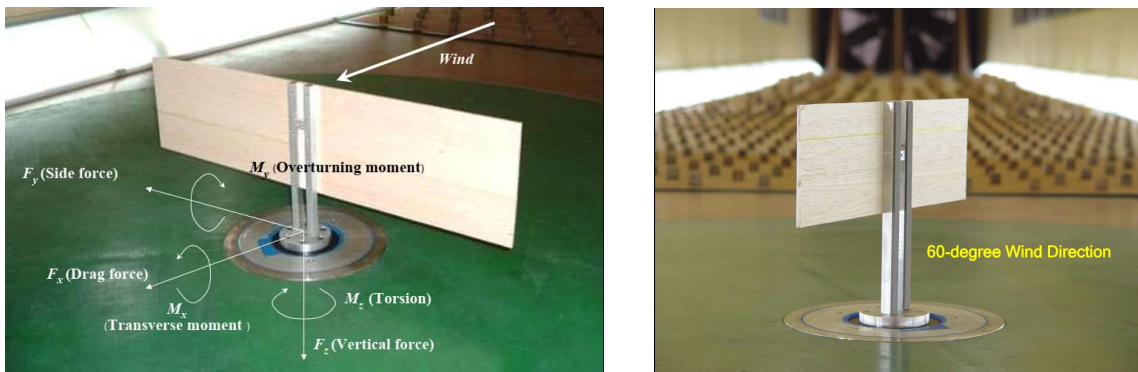
Tên mẫu	15 m/s		40 m/s		Tên mẫu	15 m/s		40 m/s	
	$C_{M,z}$	r/b	$C_{M,z}$	r/b		$C_{M,z}$	r/b	$C_{M,z}$	r/b
1	0,13	0,11	0,13	0,10	6	0,09	0,09	0,10	0,10
2	0,14	0,12	0,15	0,13	7	0,02	0,02	0,03	0,03
3	0,11	0,11	0,13	0,11	8	0,08	0,09	0,08	0,08
4	0,05	0,05	0,06	0,06	9	0,06	0,07	0,06	0,07
5	0,11	0,11	0,13	0,12					

Bảng 1.8. Hệ số khí động C_p [85]

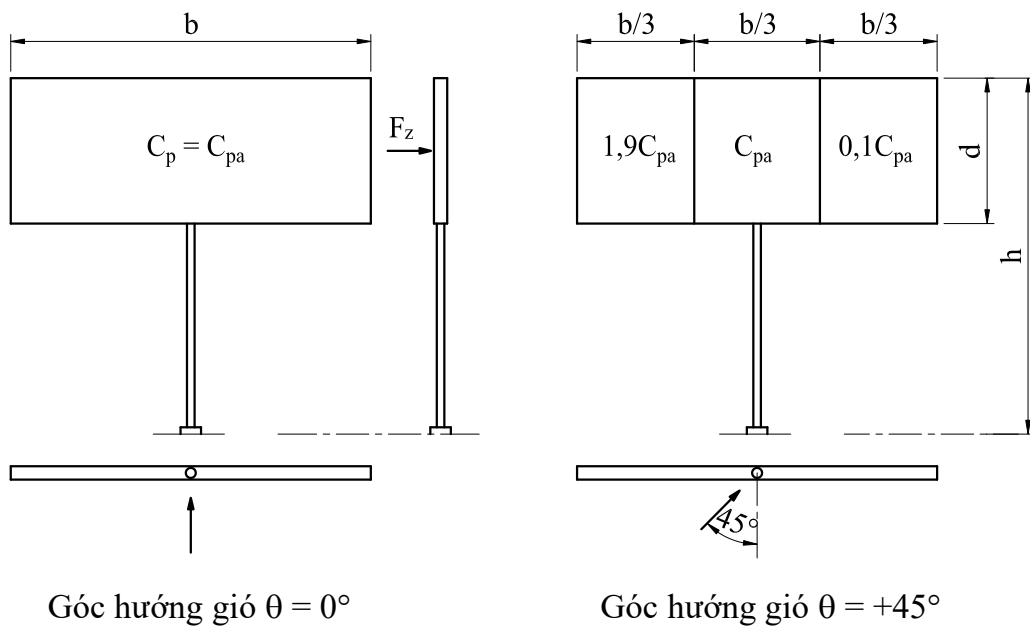
Tỷ số d/h	Tỷ số b/d							
	$\leq 0,1$	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	$\leq 5,0$
$\leq 0,2$	1,65	1,60	1,60	1,55	1,55	1,55	1,60	1,6
0,3	1,65	1,60	1,55	1,55	1,50	1,50	1,55	1,55
0,5	1,65	1,55	1,50	1,50	1,45	1,45	1,45	1,45
0,7	1,60	1,50	1,45	1,40	1,35	1,35	1,35	1,35
0,9	1,60	1,45	1,35	1,30	1,25	1,25	1,25	1,25
1,0	1,65	1,40	1,30	1,25	1,20	1,20	1,15	1,15

Warnitchai, P. et al. (2009) [85], đã nghiên cứu tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo hai mặt song song (loại một tấm và loại hai tấm) và hai mặt không song song (loại hai tấm), mô hình thí nghiệm trong ống thổi khí động, pano làm từ vật liệu gỗ và cột đỡ bằng thép, sử dụng thiết bị cân bằng lực tần số cao gắn ở chân cột. Kết quả nghiên cứu

nhằm đề xuất hệ số khí động C_p (Bảng 1.8) trên cơ sở C_{pa} đối với pano quảng cáo hai mặt song song (Hình 1.11). Khi góc hướng gió $\theta = 0^\circ$ nhận được giá trị độ lệch tâm theo phương ngang của lực gió $e = 0,1b$, khi góc hướng gió $\theta = +45^\circ$ nhận được giá trị độ lệch tâm của lực gió $e = 0,2b$, so sánh với kết quả của Cook N.J. (1990) [36] cho $e = \pm 0,25b$, quy định trong ASCE/SEI 7-16 [23] và AS/NZS [30] cho $e = \pm 0,2b$. Ngoài ra, nhóm tác giả còn nghiên cứu ảnh hưởng của công trình lân cận (tuyến đường cao tốc trên cao) đến hệ số khí động C_p .



Hình 1.10. Mô hình thí nghiệm của Warnitchai, P. et al. (2009) [85]



Hình 1.11. Phân bố hệ số lực trên bề mặt pano [85]

Samith Buddika H.A.D. và cộng sự (2022) [72], đã nghiên cứu hệ số lực đối với 09 mô hình pano bảng quảng cáo hai mặt song song có tỷ số b/d bằng 1,0; 2,0 và 3,0 và tỷ số cao độ pano d/h bằng 0,33; 0,50 và 0,67, nhằm đề xuất hệ số lực C_D và độ lệch tâm của lực gió đối với pano ứng với các góc hướng gió $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ và 90° .

Nhóm tác giả đã sử dụng phần mềm Ansys Fluent để mô phỏng số trong hàm gió ảo, sử dụng mô hình dòng rối k- ω SST, mô hình pano bằng gỗ có kích thước dài \times cao = (50 \times 25) cm, khối lượng riêng $\rho = 150 \text{ kg/m}^3$, mô đun đàn hồi $E = 3,71 \text{ GPa}$, mật độ không khí bằng $1,225 \text{ kg/m}^3$, tỉ lệ mô hình 1:20. Theo đó, kiến nghị công thức xác định hệ số lực:

Khi $0^\circ < \theta < 45^\circ$

$$C_{Ft} = 1,787 - 0,04AR - 0,228CR - 1,246\cos\varphi + 1,214\cos\theta \quad (1.3)$$

Khi $45^\circ < \theta < 90^\circ$

$$C_{Ft} = 2,514 - 0,103AR - 0,389CR - 1,881\cos\varphi + 1,4\cos\theta \quad (1.4)$$

Đồng thời, kiến nghị giá trị độ lệch tâm của lực gió $e_x = 0,18b$ ứng với pano bằng quảng cáo hai mặt song song $\varphi = 0^\circ$. Đối với pano bằng quảng cáo hai mặt không song song $\varphi = 15^\circ$ và $\varphi = 30^\circ$, giá trị lớn nhất độ lệch tâm của lực gió $e_x = 0,21b$. Khi đó, phản ứng xoắn đối với pano dự kiến bằng tích của lực gió và độ lệch tâm e_x .

Xu J., và cộng sự (2020) [80], đã nghiên cứu lực gió tác động lên pano biển báo giao thông ứng với trường hợp tấm đặc hoặc tấm có lỗ thông qua mô phỏng số bằng phần mềm Ansys Fluent với mô hình chảy rối RAN k- ϵ . Từ đó đưa ra mối qua hệ lực gió tác động vào pano với đường kính lỗ và với khoảng cách lỗ. Đề xuất lựa chọn hợp lý đường kính lỗ và khoảng cách lỗ nhằm giảm tải trọng gió lên pano biển báo.

Yang W., và cộng sự (2022) [88], đã nghiên cứu tối ưu hóa dạng khí động học đối với mặt pano quảng cáo ngoài trời một cột đỡ, mô hình nghiên cứu là bảng quảng cáo ba mặt có kích thước pano (18 \times 6) m, đặt ở độ cao 21 m tính từ mặt đất đến đỉnh pano, mô hình được mô phỏng trong phần mềm Ansys Fluent 19.2 với các mặt cong dương và cong âm (theo tỉ lệ 1/12; 1/9 và 1/6), sử dụng lưới tứ diện với 630.000 ô lưới, mô hình chảy rối SST k- ω , sử dụng điều kiện biên đầu vào là profile vận tốc gió theo quy luật logarit theo GB 50009-2012. Kết quả đề xuất độ cong dương tối ưu của pano là 1/9, minh chứng lực gió lên pano giảm đáng kể so với bề mặt phẳng theo truyền thống.

Nhóm 2: *Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp tính toán và thiết kế bảng quảng cáo*

Nagyová M., Psotný M., và Ravingera J. (2012) [64], đã nghiên cứu nội lực - chuyển vị của tấm bọc pano bằng quảng cáo khi chịu tải trọng gió tĩnh và động. Kết quả cho thấy việc phân tích phi tuyến và xét đến ảnh hưởng của dải tấm bọc sẽ làm giảm

chuyển vị đối với tấm bọc khi chịu tải trọng gió, đồng thời giảm tần số dao động của tấm bọc. Qua đó, có thể giảm được chiều dày tấm bọc đối với các bảng quảng cáo.

Исаев А.В. (2005) [96], đã xem xét và hệ thống hóa việc sử dụng kết cấu bảng quảng cáo; nghiên cứu thực trạng các công trình quảng cáo, chất lượng gia công và lắp dựng chúng dựa trên kết quả khảo sát thực địa; các khuyết tật đặc trưng của kết cấu quảng cáo và đưa ra các khuyến nghị để tính đến ảnh hưởng của chúng đối với khả năng chịu lực; nghiên cứu số đã làm rõ ứng xử của kết cấu quảng cáo có tính đến kết cấu đỡ; khuyến nghị về dung sai cho việc gia công các cấu kiện, chọn các tham số tối ưu của kết cấu bảng quảng cáo cũng như phát triển các giải pháp thiết kế mới đối với kết cấu quảng cáo nhằm tăng hiệu quả sử dụng của chúng.

Козлов М.В. (2009) [97], đã mô phỏng thành phần trung bình của tải trọng gió lên bảng quảng cáo, nghiên cứu thực nghiệm sự phân bố thành phần trung bình trên bề mặt, trạng thái ứng suất – biến dạng của các cấu kiện chịu lực chính và tham số dao động của bảng quảng cáo, nghiên cứu thực nghiệm trong hầm gió về sự phân bố thành phần trung bình trên bề mặt bảng quảng cáo, phát triển một phương pháp tính toán theo lý thuyết xác suất, cho phép tối ưu hóa các thông số của của bảng quảng cáo, có tính đến các tổn thất kinh tế - xã hội có thể xảy ra.

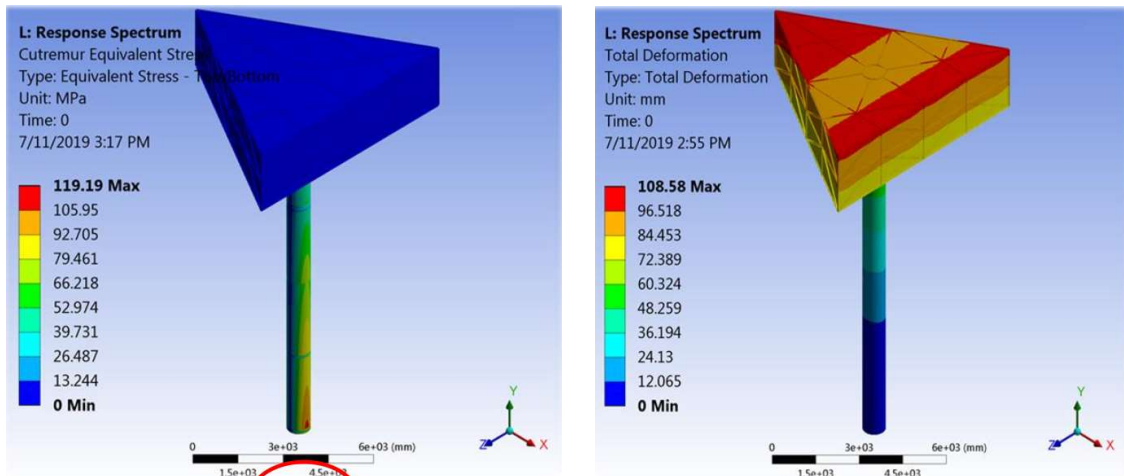
Хусаинов, Д.М. (2014) [98], sử dụng phương pháp độ tin cậy để lựa chọn tiết diện cột đỡ kết cấu bảng quảng cáo phổ biến nhất hiện nay, thiết lập mối quan hệ giữa xác suất mất khả năng chịu lực của cột đỡ kết cấu quảng cáo và diện tích mặt cắt ngang của nó bằng mô hình phá hoại. Mô tả ứng suất trong cột do tải trọng gió là một biến ngẫu nhiên với luật phân phối Weibull và cường độ của vật liệu thép làm trụ đỡ là một biến ngẫu nhiên với luật phân phối chuẩn. Đưa ra mối quan hệ giữa xác suất hỏng ở dạng mất cường độ và diện tích mặt cắt ngang đối với các loại thép phổ biến nhất trong thực tế thiết kế. Đưa ra các biểu đồ quan hệ của các giá trị tối ưu diện tích trụ đỡ và thời gian vận hành theo kế hoạch từ ứng xử của kết cấu quảng cáo cho các loại thép phổ biến nhất và thanh định hình.

Reza A.F. và cộng sự (2015) [68], đã sử dụng các thiết kế bảng quảng cáo có kích thước pano (4×6) m và (5×10) m ứng với các kích thước tiết diện trụ đỡ khác nhau được đặt ngoài trời ở vùng Banjarmasin – Indonesia và lân cận, tiến hành phân tích ứng xử

với các tỉ lệ ứng suất do uốn – nén dọc trục đối với kết cấu trụ đỡ. Kết quả nghiên cứu đã đề xuất kết cấu bảng quảng cáo an toàn đối với kích thước cột đỡ và các thanh của khung pano, giải pháp gia cường khung pano bằng các thanh chéo.

CECS 148:2003 [100], tài liệu đưa ra các quy định chi tiết khi thiết kế, thi công và nghiệm thu kết cấu bảng quảng cáo ngoài trời đứng độc lập, cũng như đặt trên mái các nhà nhiều tầng. 07SG 526-2007 [101], tài liệu cung cấp bộ thiết kế điển hình Bảng quảng cáo 2 mặt và 3 mặt (tổng số có 40 mẫu) với kích thước pano (5×14) m và (6×18) m, có các chiều cao tổng thể (từ mặt nền đến đỉnh Bảng quảng cáo) tương ứng là 12 m, 15 m và 18 m. Kết cấu khung đỡ bằng, dùng trụ đơn và dầm công xon bằng thép ống, kết cấu khung pano bằng thép góc đơn, tấm bọc bằng thép tấm.

Paraschiv A.A., Gavrilescu.G (2019) [27], đã nghiên cứu ứng suất trong các thanh và chuyển vị bằng Ansys Workbench đối với bảng quảng cáo đứng độc lập có ba mặt chịu tải trọng bản thân, gió và tuyết, vị trí xây dựng tại quận Galati – Rumani (Hình 1.12). Kết quả tính ứng suất được so sánh với giới hạn chảy của vật liệu thép đã chọn theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Rumani.



Hình 1.12. Ứng suất và chuyển vị ngang lớn nhất [27]

1.6. Vấn đề nghiên cứu đạt được và hướng nghiên cứu tiếp theo

Qua các tài liệu kỹ thuật, kết quả nghiên cứu gần đây ở trong và ngoài nước, thấy rằng vấn đề nghiên cứu đối với kết cấu bảng quảng cáo là rất rộng và đã đạt được những kết quả nhất định, chẳng hạn:

- Nghiên cứu tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo trên mô hình số bằng phần mềm Ansys Fluent (với việc mô phỏng pano dạng tấm đặc) [72], pano quảng cáo

loại một tấm, hai tấm đặt song song hoặc đặt không song song (chữ V) hoặc loại ba tấm (hình Δ), mô hình pano được mô phỏng bằng vật liệu gỗ ứng với tỉ lệ 1:1 [80], [88] hoặc tỉ lệ thu nhỏ 1:20 [72], sử dụng mô hình dòng rối khác nhau (RAN, k- ϵ v.v...);

- Thí nghiệm mô hình thu nhỏ trong ống thổi khí động (hầm gió) với việc mô phỏng bằng vật liệu gỗ, mica hoặc nhôm dạng tấm đặc loại một tấm, hai tấm đặt song song hoặc đặt không song song (chữ V) hoặc tam giác (Δ) [40], [52], [57], [59], [63], [83], [85], [86], [87], hoặc dạng hộp [40], [42] trên cơ sở mô hình cứng và đo áp lực bề mặt [35], [40], [52], [57], [59], [83], [86], [87] hoặc đo cân lực tần số cao [63], [85];

- Nghiên cứu về tải trọng gió lên tấm bọc pano quảng cáo [64], cũng như nghiên cứu nhằm hoàn thiện giải pháp kết cấu bảng quảng cáo hoặc phương pháp tính toán [96], [97], [98] và thiết kế kết cấu bảng quảng cáo [27], [68]. Cũng như ở một số nước có thiết kế điển hình [101] loại hai mặt và ba mặt có trụ đỡ đặt ở trung tâm của pano hoặc lệch, thậm chí đã có cả chỉ dẫn thiết kế bảng quảng cáo [100].

Theo đó, nội dung luận án sẽ tập trung vào nghiên cứu một số vấn đề sau đây:

1/ Tính toán tải trọng gió lên pano theo một số tiêu chuẩn thiết kế, khảo sát và so sánh giá trị hệ số khí động và lực gió tác động lên bề mặt pano cũng như giá trị lực cắt, mô men uốn và mô men xoắn tại chân cột đỡ pano theo một số tiêu chuẩn thiết kế;

2/ Nghiên cứu lựa chọn thông số mô phỏng trong phần mềm Ansys Fluent, làm rõ ảnh hưởng của tham số gió, tỉ lệ kích thước pano và độ cao đặt pano đến giá trị hệ số khí động và lực gió, độ lệch tâm của lực gió (tức là, giá trị độ lệch vị trí của điểm đặt lực gió so với trọng tâm pano) thông qua thử nghiệm số trên mô hình tấm cứng bằng phần mềm Ansys Fluent;

3/ Nghiên cứu xây dựng quy trình thí nghiệm và thiết lập mô hình thu nhỏ bảng quảng cáo dùng cho thí nghiệm mô hình trong ống thổi khí động trên cơ sở mô hình cứng đo cân bằng lực tần số cao theo điều kiện Việt Nam, từ đó đề xuất giá trị hệ số lực và giá trị độ lệch tâm của lực gió áp dụng cho Việt Nam;

4/ Nghiên cứu xây dựng bảng tính nhằm tự động hóa tính toán lực gió tác động lên pano bảng quảng cáo theo một số tiêu chuẩn thiết kế, và lập chương trình tính UDF do người dùng định nghĩa profile vận tốc gió dùng trong mô phỏng số đối với pano tấm lớn bằng phần mềm Ansys Fluent.

1.7. Kết luận chương 1

- Bảng quảng cáo đứng độc lập ngoài trời khá phổ biến ở Việt Nam, kết cấu chịu lực của chúng gồm pano (loại có hai mặt song song - không song song hoặc ba mặt) và cột đỡ (có một cột đỡ hoặc nhiều cột đỡ). Gần đây đã có một số sự cố gây hư hỏng hoặc phá hoại đối với pano (ví dụ: rách tấm bọc hoặc phá hoại khung pano), hoặc gãy/oằn cột đỡ cũng như nhô bật bu lông chân cột hoặc lật móng.

- Các nghiên cứu về kết cấu bảng quảng cáo ở trong nước còn khá khiêm tốn, thường xem chúng là kết cấu thép xây dựng thông thường và sử dụng TCVN 5575:2012 [14] để tính toán kết cấu chịu lực, việc tính toán tải trọng gió lên kết cấu bảng quảng cáo thường sử dụng TCVN 2737:1995 [12] và gần đây là TCVN 2737:2023 [13].

- Các nghiên cứu ở ngoài nước khá đa dạng ứng với một số dạng bảng quảng cáo hoặc biển báo điển hình thông qua mô phỏng số bằng phần mềm Ansys Fluent hoặc thí nghiệm mô hình thu nhỏ trong ống thổi khí động, với việc sử dụng các thông số gió (profile vận tốc gió, cường độ rối, thời gian trung bình cho vận tốc gió và chu kỳ lặp v.v...) theo quy định của từng quốc gia. Kết quả nhận được các giá trị hệ số khí động (hệ số lực), lực gió và độ lệch tâm của lực gió theo các nghiên cứu là khác nhau.

Thấy rằng, đề tài luận án “*Nghiên cứu xác định tải trọng gió lên kết cấu pano tấm lớn theo điều kiện Việt Nam*” là cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn.

CHƯƠNG 2. TÍNH TOÁN TẢI TRỌNG GIÓ LÊN PANO TẮM LỚN THEO MỘT SỐ TIÊU CHUẨN

2.1. Đặt vấn đề

Pano có bề mặt khá lớn so với cột đỡ và chúng được xem là kết cấu thanh mảnh, tải trọng gió lên pano được xem là chính, có ảnh hưởng lớn đến sự làm việc của kết cấu bảng quảng cáo. Bước đầu tiên trong quy trình thiết kế kết cấu bảng quảng cáo là xác định tải trọng gió lên pano. Tuy nhiên, tiêu chuẩn thiết kế quy định việc tính toán tải trọng gió lên kết cấu xây dựng nói chung, cũng như kết cấu bảng quảng cáo nói riêng là khác nhau đối với mỗi quốc gia, cụ thể đó là sự khác nhau về thông số gió, hệ số chuyển đổi vận tốc gió theo chu kỳ lặp cũng như công thức xác định lực gió và vị trí đặt lực gió tác động lên pano. Theo đó, giá trị lực cắt đáy và mô men đáy ở chân cột đỡ cũng sẽ khác nhau ứng với các tiêu chuẩn khác nhau.

Nội dung chương này nghiên cứu về các thông số gió và việc chuyển đổi vận tốc gió, cũng như cách xác định hệ số khí động và lực gió theo một số tiêu chuẩn thiết kế, trên cơ sở đó xây dựng quy trình tính toán tải trọng gió lên pano của bảng quảng cáo phục vụ cho thực hành thiết kế. Trên cơ sở đó thực hiện một số ví dụ tính toán nhằm làm rõ cách tính toán và giá trị chênh lệch theo một số tiêu chuẩn thiết kế.

2.2. Các vấn đề về thông số gió và hệ số chuyển đổi vận tốc gió

2.2.1. Profile vận tốc gió

Các tiêu chuẩn khác nhau thì dùng profile gió, thời gian lấy trung bình vận tốc gió và chu kỳ lặp khác nhau [12], [13], [23], [30], [46] v.v... (ghi trong Phụ lục 1.1).

2.2.1.1 Profile vận tốc gió trung bình

Profile vận tốc gió trung bình được định nghĩa như là hàm theo độ cao trên mặt đất và được biểu diễn theo hàm logarit (như AS/NZS 1170.2:2011, EN 1994-1-4, ISO 4354:2009, IS 875 (Part 3):2015) hoặc theo hàm lũy thừa (như TCVN 2737:1995, TCVN 2737:2023, ASCE/SEI 7-16, AIJ-2015, GB 50009-2012, SP 20.13330.2016).

$$\bar{V}(z) = \bar{b} \left(\frac{z}{10} \right)^{\bar{\alpha}} \bar{V}_0 \quad \text{hoặc} \quad \bar{V}(z) = \frac{u^*}{0,4} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \bar{V}_0 \quad (2.1)$$

trong đó: $\bar{V}(z)$ là vận tốc gió trung bình ở độ cao z ; \bar{V}_{10} là vận tốc gió cơ bản trung bình; $\bar{\alpha}$ và \bar{b} là hằng số, phụ thuộc địa hình; z là chiều cao trên mặt đất; 0,4 là hằng số Von Karman; u^* là vận tốc ma sát; α là hệ số mũ; z_0 là chiều dài độ nhám bề mặt.

Thấy rằng, vận tốc gió trung bình lấy trung bình trong 10 phút hoặc 1 giờ thì $\bar{b} = 1,0$ (ví dụ: ASCE/SEI 7-16, AIJ-2015, GB 50009-2012, NBCC 2010).

2.2.1.2 Biểu đồ vận tốc gió giật

Được biểu diễn bởi công thức:

$$\hat{V}(z) = \hat{b} \left(\frac{z}{z_0} \right)^{\hat{\alpha}} \hat{V}_0 \quad (2.2)$$

trong đó: \hat{V}_{10} là vận tốc gió giật 3 giây cơ bản; $\hat{\alpha}$ và \hat{b} là hằng số, phụ thuộc địa hình.

Thấy rằng, ASCE/SEI 7-16, AS/NZS 1170.2:2011, ISO 4354:2009, IS 875 (Part 3):2015 sử dụng vận tốc gió 3 giây. Hầu hết các tiêu chuẩn dùng quy luật hàm lũy thừa để mô phỏng profile vận tốc gió, ngoại trừ AS/NZS 1170.2:2011 (R2016), EN 1991-1-4:2005, ISO 4354:2009 và IS 875 (Part 3):2015 dùng hàm logarit để mô phỏng profile vận tốc gió.

2.2.1.3 Dạng địa hình

Do đặc tính của dòng gió tới tác động lên công trình bị ảnh hưởng bởi độ nhám bề mặt nên profile vận tốc gió được quy định trong các tiêu chuẩn trên thế giới cũng khác nhau. Vận tốc gió thay đổi theo độ cao, và sự thay đổi của chúng liên quan đến độ nhám của bề mặt đất, với các loại bề mặt khác nhau sẽ có độ nhám khác nhau. Số lượng dạng địa hình thay đổi từ 3 đến 5. Giá trị chiều dài độ nhám z_0 trong các tiêu chuẩn cũng khác nhau, phụ thuộc vào dạng địa hình.

2.2.2. Profile độ rối

Tham số profile độ rối $I(z)$ của gió được định nghĩa như là hàm theo độ cao trên mặt đất và được biểu diễn theo công thức sau:

$$I(z) = c \left(\frac{10}{z} \right)^d \quad \text{hoặc} \quad I(z) = \frac{1}{\ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} \quad (2.3)$$

trong đó: c , d là các tham số địa hình, xác định theo Phụ lục 1.5; z_0 là chiều dài nhám.

Theo đó, biểu diễn là hàm lũy thừa (TCVN 2737:1995, TCVN 2737:2023, ASCE/SEI 7-16, AIJ-2015, AS/NZS 1170.2:2011, GB 50009-2012, NBCC 2010, IS 875 (part 3):2015, SP 20.133300.2016) hoặc hàm logarit (EN 1994-1-4, ISO 4354:2009).

2.2.3. Chiều dài rôi

Chiều dài rôi (L) được xác định theo công thức:

$$L = \ell \left(\frac{h}{10} \right)^{\bar{\varepsilon}} \quad (2.4)$$

trong đó: h là chiều cao được xem xét; ℓ và $\bar{\varepsilon}$ là các tham số xác định theo Phụ lục 1.6.

Thấy rằng, TCVN 2737:2023, ASCE/SEI 7-16 và EN 1991-1-4 cho tham số chiều dài rôi phụ thuộc vào dạng địa hình; AIJ-2015, ISO 4354:2015 và AS/NZS 1170.2:2011 cho tham số chiều dài rôi không đổi theo cho mọi độ cao. Nói chung, chiều dài rôi rất khác nhau theo các tiêu chuẩn khác nhau.

2.2.4. Hệ số chuyển đổi vận tốc gió theo các chu kỳ lặp

Vận tốc gió cực hạn được tính toán dựa theo phương pháp Grumble (phân bố Gumble) và tính toán theo phân bố tích lũy sau:

$$F_U(U) = \exp\left(-\exp\left(\frac{U-u}{a}\right)\right) \quad (2.5)$$

trong đó: u là dạng của phân bố; a là hệ số tỉ lệ.

Chu kỳ lặp R liên hệ trực tiếp với hàm phân bố xác suất tích lũy $F_U(U)$ của vận tốc gió lớn nhất hàng năm theo công thức sau:

$$R = \frac{1}{1 - F_U(U)} \quad (2.6)$$

Thay $F_U(U)$ từ công thức (2.6) vào công thức (2.5) ta có:

$$U_R = u + a \left\{ -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{R} \right) \right] \right\} \quad (2.7)$$

Đối với chu kỳ lặp R lớn thì công thức (2.7) có thể được thay bằng công thức sau:

$$U_R \cong u + a \ln(R) \quad (2.8)$$

Các tiêu chuẩn trên thế giới đều sử dụng công thức (2.5) hoặc (2.6) để tính toán vận tốc gió cực hạn cho các chu kỳ lặp khác nhau (như ở Phụ lục 1.7).

2.3. Tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo

2.3.1. Hệ số khí động và lực gió theo một số tiêu chuẩn

2.3.1.1 Hệ số khí động

Hệ số khí động (hay còn gọi là hệ số áp lực - pressure coefficient), ký hiệu là C hoặc C_p , là các hệ số áp lực ngoài (hoặc trong) cho hiệu ứng của gió lên các bề mặt bên ngoài (hoặc trong) công trình. Một số tiêu chuẩn thiết kế còn sử dụng thuật ngữ hệ số lực (force coefficient), ký hiệu là C_f , sử dụng để xác định tải trọng gió lên các kết cấu khác (trong đó có bảng quảng cáo).

Tiêu chuẩn thiết kế quy định việc xác định hệ số khí động (hệ số lực) ở mỗi nước là khác nhau, chẳng hạn:

- TCVN 2737:1995 [12], quy định ở sơ đồ 34 trong các Bảng 6.1, 6.2 và 6.3, giá trị phụ thuộc vào tỉ lệ kích thước pano, đối với pano bảng quảng cáo $c_x = k \cdot c_{x\infty}$, theo Bảng 6.2 với pano có $\lambda_e = \lambda$, theo Bảng 6.1 xác định được k . Theo Bảng 6.3, với pano có $b/d < 1,5$ tra được hệ số $c_{x\infty}$. Có thể lấy c_x theo sơ đồ 1 trong Bảng 6, đối với các mặt thẳng đứng $c_x = 1,4$ và lực gió đặt ở tâm hình học của pano.

- TCVN 2737:2023 [13], quy định $c_x = 2,5k_\lambda$, trong đó k_λ lấy theo biểu đồ Hình F.27 (phụ thuộc vào độ choán φ và độ mảnh $\lambda = L/b$, đối với bảng quảng cáo, $\varphi = 1$ và $2,0 \leq \lambda \leq 3,0$, tức là $k_\lambda = 0,63$ đến $0,65$), có nghĩa là $c_x = 1,58$ đến $1,63$. Lực gió đặt ở độ cao tâm hình học của pano và lệch tâm theo phương ngang $e = \pm 0,25b$.

- EN 1991-1-4 [46], mục 7.4.3 – Bảng quảng cáo (Signboards), quy định khi $z_g > h/4$ (h là chiều cao pano), lấy $c_f = 1,8$. Lực gió đặt ở độ cao tâm hình học của pano và độ lệch tâm theo phương ngang $e_1 = \pm 0,25b$.

- ISO 4354:2009 (E) [55], quy định trong Điều 7.1.1(4), theo Hình D.5 đối với hàng rào đặt trên mặt đất khi tỷ số đặc $\varphi \geq 0,9$, lấy $C_{Fm} = 1,2$. Theo Hình D.7 đối với tấm đặc lấy $C_x = 2,0$.

- AIJ-2015 (2015) [29], quy định tại Bảng A6.15 đối với hàng rào đặt trên mặt đất (fence), hệ số đặc $\varphi \geq 0,9$ lấy $C_D = 1,2$;

- GB 50009-2012 [102], quy định ở mục 34 của Bảng 8.3.1 cho hàng rào (independent and fencing wall), lấy $\mu_s = 1,3$.

- ASCE/SEI 7-16 [23], quy định cho trường hợp A ở Hình 29.4-1 cho đèn tín hiệu hoặc tường đặc, hệ số lực (force coefficients) C_f lấy ứng với trường hợp A và B hoặc C, phụ thuộc vào tỷ số B/s và s/h , với bảng quảng cáo có $B/s = 2 \div 4$ và $s/h = 0,3 \div 0,5$ thì lấy $C_f = 1,7 \div 1,8$ và vị trí lực gió xét cho các trường hợp đặt vào tâm bảng, đặt lệch tâm bảng $0,2B$ hoặc các trọng tâm ô bảng hình vuông tương ứng có chiều cao s .

- IS 875(Part 3):2015 [54], quy định đối với pano (Bảng 26) khi tỷ số kích thước chiều dài/chiều rộng pano từ 0,5 đến 5,0 thì lấy $C_f = 1,2$. Ví dụ 21 trong tài liệu [31], cũng lấy $C_f = 1,2$.

- AS/NZS 1170.2:2011 [30], cho giá trị $C_{p,n}$ tại Bảng D2(A) và Bảng D2(B), phụ thuộc vào tỉ lệ các cạnh của pano và độ cao đặt pano (tối thiểu là 1,3 với pano thông thường).

Bảng 2.1. Hệ số khí động theo AS/NZS 1170.2:2011 [30]

b/c	c/h	$C_{p,n}$	e
0,5÷5	0,2÷1	$C_f = 1,3 + 0,5 \left[0,3 + \log_{10} (b/c) \right] (0,8 - c/h)$	0
> 5		1,7 - 0,5c/h	0,2b

Bên cạnh đó, đề xuất của Lechford C.W [57]:

$$C_f = 1,45 + 0,5 \left[0,7 + \log_{10} (b/c) \right] (0,5 - c/h) \quad (2.9)$$

trong đó: b, c và h là ký hiệu kích thước của bảng quảng cáo.

2.3.1.2 Lực gió tác động lên pano

Lực gió tác động lên pano ở dạng phân bố, được quy đổi thành lực tập trung tương ứng với diện tích pano. Ngoài ra, tiêu chuẩn thiết kế cũng quy định vị trí đặt lực gió tác động lên bề mặt pano, cụ thể:

- TCVN 2737:1995 [12], lực gió phân bố được quy đổi thành lực tập trung theo hướng ngang tác động đúng tâm bảng (Hình 2.2a), tức là không tính đến tác động xoắn đối với pano và cột đỡ ($M_z = 0$).

- EN 1991-1-4 [46], lực gió phân bố được quy đổi thành lực tập trung tác động lên pano với độ lệch tâm $e_1 = \pm 0,25B$ (Hình 2.2b), tức là tác động gió lên pano gây xoắn đối với pano và cột đỡ.

- ASCE/SEI 7-16 [23], lực gió phân bố được quy đổi thành lực tập trung, quy định cho 03 trường hợp: (i) Trường hợp A, lực tập trung tác động đúng tâm bảng (Hình 2.2a); (ii) Trường hợp B, lực tập trung tác động lệch tâm bảng theo hướng ngang $e_1 = \pm 0,2B$ (Hình 2.2b); (iii) Trường hợp C, ứng với mỗi trọng tâm ô pano hình vuông có cạnh là s sẽ có lực tập trung đặt lệch tâm e_1, e_2 và e_3 (Hình 2.2c).

2.3.2. Xây dựng quy trình tính toán

2.3.2.1 Theo TCVN 2737:1995 và TCXD 229:1999

Tải trọng do gió được phân làm hai thành phần, thành phần tĩnh (quy định trong TCVN 2737:1995) [12] và thành phần động (quy định trong TCXD 229:1999) [15].

Bước 1: Xác định áp lực gió tĩnh

Áp lực gió tĩnh (trung bình) trong khoảng thời gian tác động T , được xác định:

$$W_m = W_0 k_c \quad (2.10)$$

ở đây: W_0 là giá trị của áp lực gió, có thể tính theo vận tốc gió V_0 :

$$W_0 = 0,0613 V_0^2 \quad (2.11)$$

Hệ số độ cao ứng với các dạng địa hình A, B và C:

$$k_A(z) = 1,175 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,14}; \quad k_B(z) = 1,0 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,18}; \quad k_C(z) = 0,656 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,28} \quad (2.12)$$

Bước 2: Xác định áp lực gió động

Áp lực gió động (hệ có dạng một bậc tự do và có $f_1 < f_L$), xác định theo công thức:

$$W_p = W_m \zeta \xi v \quad (\text{Eq. 4.9}) \quad (2.13)$$

ζ là hệ số áp lực động của tải trọng gió, xác định theo công thức:

$$\zeta_t = 2\alpha_c \gamma_t^*(z) = \zeta_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{-m_t} \quad (\text{Eq. A.31}) \quad (2.14)$$

ζ_{10} là hằng số;

$\gamma_t^*(z)$ là cường độ dòng rối, được xác định theo công thức:

$$\gamma_t^*(z) = 2,45 (r_t)^{0,5} \left(\frac{z}{10} \right)^{-m_t} \quad (\text{Eq. A.30}) \quad (2.15)$$

Với $\alpha = 1,395$ và $r_A = 0,002$; $r_B = 0,005$; $r_C = 0,01$. Ta có:

$$\zeta_A = 0,306 \left(\frac{z}{10} \right)^{-0,07} ; \zeta_B = 0,483 \left(\frac{z}{10} \right)^{-0,09} ; \zeta_C = 0,684 \left(\frac{z}{10} \right)^{-0,14} , \quad (2.16)$$

Bước 3: Xác định tổng áp lực gió và lực gió tác động lên pano

Áp lực gió tác động lên pano bằng quảng cáo được xác định theo công thức:

$$W = W_m + W_p \quad (2.17)$$

Thay các công thức (2.10) và (2.11) vào (2.17), ta được:

$$W = W_m (1 + \zeta \xi v) = W_m G_f \quad (2.18)$$

Như thế, G_f được xem như là hệ số tăng động lực của tải trọng gió.

Xác định lực thiết kế tác động lên pano:

$$F = W A_b \quad (2.19)$$

2.3.2.2 Theo TCVN 2737:2023

Tải trọng gió lên kết cấu nói chung được quy định tại Điều 10 trong [13], riêng hệ số khí động đối với Bảng quảng cáo được quy định tại Phụ lục F.1.2, nhưng hệ số k_λ được xác định theo Phụ lục F.18 [13].

Bước 1: Xác định giá trị tiêu chuẩn của tải trọng gió

Giá trị tiêu chuẩn của tải trọng gió W_k tại độ cao tương đương z_e được xác định theo công thức:

$$W_k = W_{3s,10} k(z_e) c G_f \quad (2.20)$$

trong đó:

$W_{3s,10}$ là áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp 10 năm: $W_{3s,10} = (\gamma_T W_0)$ với γ_T là hệ số chuyển đổi áp lực gió từ chu kỳ lặp từ 20 năm xuống 10 năm, lấy bằng 0,852;

W_0 là áp lực gió cơ sở, tính bằng daN/m², được xác định:

$$W_0 = 0,0613 V_0^2 \quad (2.21)$$

$k(z_e)$ là hệ số kể đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao và dạng địa hình tại độ cao tương đương z_e , xác định theo công thức:

$$k(z_e) = 2,01 \left(\frac{z_e}{z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (2.22)$$

z_e là độ cao tương đương $z_e = z_g + d/2$, z_e lấy không nhỏ hơn z_{min} theo Bảng 2.2;

z_g là độ cao gradient, lấy theo Bảng 2.2;

α là hệ số dùng trong hàm lũy thừa đối với gió giật 3 s, lấy theo Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Các hệ số z_g , z_{min} và α [13]

Dạng địa hình	Mô tả dạng địa hình	Giá trị z_g , m	Giá trị z_{min} , m	Giá trị α
A	Trống trải, không có hoặc có rất ít vật cản cao không quá 1,5 m (bờ biển thoáng, mặt sông, hồ lớn, đồng muối, cánh đồng không có cây cao...)	213,36	2,13	11,5
B	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...)	274,32	4,57	9,5
C	Bị che chắn mạnh, có nhiều vật cản sát nhau cao từ 10 m trở lên (trong thành phố, vùng rừng rậm...)	365,76	9,14	7,0

Bước 2: Xác định hệ số hiệu ứng giật

- Đối với kết cấu "cứng" (có $T_1 \leq 1$ s) thì G_f có thể lấy bằng 0,85.

- Đối với kết cấu "mềm" (có $T_1 > 1$ s) thì G_f được xác định theo công thức:

$$G_f = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7I(z_s) \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1,7g_v I(z_s)} \right) \quad (2.23)$$

trong đó:

$I(z_s)$ là độ rôi ở độ cao tương đương z_s , xác định theo công thức:

$$I(z_s) = c_r \left(\frac{10}{z_s} \right)^{1/6} \quad (2.24)$$

c_r là hệ số, lấy theo Bảng 2.3;

z_s là độ cao tương đương của công trình, lấy bằng $0,6h$;

h là chiều cao của công trình;

g_Q là hệ số đỉnh cho thành phần xung của gió, lấy bằng 3,4;

g_v là hệ số đỉnh cho thành phần phản ứng của gió, lấy bằng 3,4;

g_R là hệ số đỉnh cho thành phần cộng hưởng của gió, được xác định theo công thức:

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3600n_1)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(3600n_1)}} \quad (2.25)$$

n_1 là tần số dao động riêng thứ nhất;

Q là hệ số kể đến thành phần phản ứng tĩnh của kết cấu chịu tải trọng gió, xác định theo công thức:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,63 \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}}} \quad (2.26)$$

b là chiều rộng công trình, vuông góc với hướng gió tác dụng;

$L(z_s)$ là tỉ lệ chiều dài rôi tại độ cao tương đương z_s , xác định theo công thức:

$$L(z_s) = \ell \left(\frac{z_s}{10} \right)^{\bar{\epsilon}} \quad (2.27)$$

ℓ và $\bar{\epsilon}$ là các hệ số, lấy theo Bảng 2.3.

R là hệ số phản ứng cộng hưởng, xác định theo công thức:

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_b (0,53 + 0,47 R_d)} \quad (2.28)$$

trong đó:

β là độ cản, lấy bằng 0,01 (cho kết cấu thép);

$$R_n = \frac{7,47 N_1}{(1 + 10,3 N_1)^{5/3}} \quad (2.29)$$

với:

$$N_1 = \frac{n_1 L(z_s)}{V(z_s)_{3600s,50}} \quad (2.30)$$

$V(z_s)_{3600s,50}$ là vận tốc gió trung bình trong khoảng thời gian 3 600 s (chu kỳ lặp 50 năm) tại độ cao tương đương z_s , được xác định theo công thức:

$$V(z_s)_{3600s,50} = \bar{v} \left(\frac{z_s}{10} \right)^{\bar{\alpha}} V_{3s,50} \quad (2.31)$$

R_h, R_b, R_d là các hàm số dẫn suất khí động, được xác định theo các công thức:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}); R_h = 1 \text{ khi } \eta_h = 0 \quad (2.32)$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}); R_b = 1 \text{ khi } \eta_b = 0 \quad (2.33)$$

$$R_d = \frac{1}{\eta_d} - \frac{1}{2\eta_d^2} (1 - e^{-2\eta_d}); R_d = 1 \text{ khi } \eta_d = 0 \quad (2.34)$$

với: $\eta_h = 4,6 \frac{n_1 h}{V(z_s)_{3600s,50}}$; $\eta_b = 4,6 \frac{n_1 b}{V(z_s)_{3600s,50}}$; $\eta_d = 15,4 \frac{n_1 d}{V(z_s)_{3600s,50}}$;

h, b và d lần lượt là chiều cao, chiều rộng và chiều sâu (hoặc chiều dài) công trình.

Giá trị các hệ số \bar{b} và $\bar{\alpha}$ lấy theo Bảng 2.3.

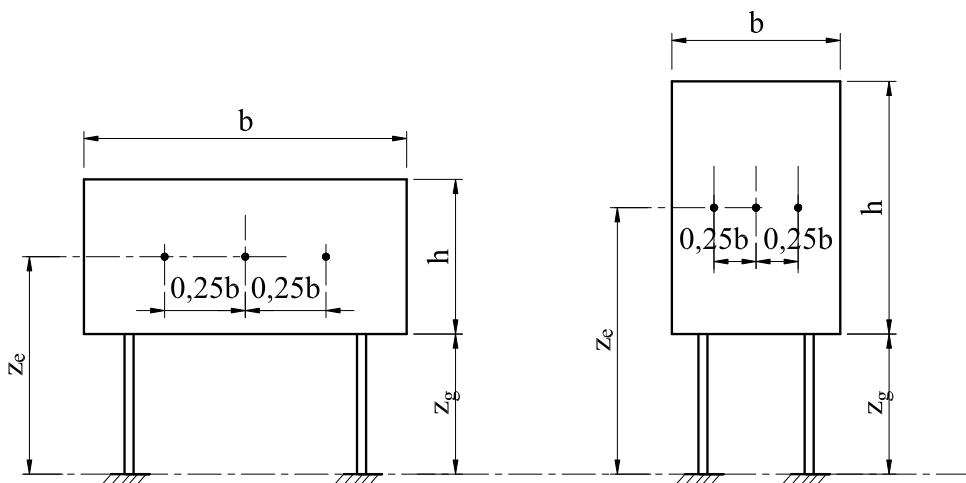
Bảng 2.3. Giá trị các hệ số cho các dạng địa hình [13]

Dạng địa hình	c_r	l, m	$\bar{\epsilon}$	\bar{b}	$\bar{\alpha}$
A	0,15	198,12	1/8	0,80	1/9
B	0,20	152,40	1/5	0,65	1/6,5
C	0,30	97,54	1/3	0,45	1/4

Đối với bảng quảng cáo nằm cách mặt đất một khoảng $z_g \geq d/4$ (Hình 2.1):

$c = 2,5k_\lambda$, trong đó k_λ được xác định theo Phụ lục F.18 trong [13].

Độ mảnh hiệu dụng $\lambda_e = \lambda = b/d$. Hệ số đặc của kết cấu $\varphi = 1,0$. Tra Hình F.28 ứng với $\varphi = 1,0$ và λ_e ta được k_λ .



Hình 2.1. Ký hiệu kích thước và vị trí lực tác động [13]

Bước 3: Xác định lực thiết kế tác động lên pano

Lực thiết kế tác động lên pano xác định theo (2.41):

$$F = W_k A_s \quad (2.35)$$

trong đó:

W_k là giá trị tiêu chuẩn của tải trọng gió;

A_s là diện tích cản gió của bảng quảng cáo.

Lực F tác động lên pano tại cao độ tâm hình học của bảng quảng cáo, với độ lệch tâm theo phương ngang $e_1 = \pm 0,25b$ (minh họa ở Hình 2.1).

2.3.2.3 Theo EN 1991-1-4

Tải trọng gió lên kết cấu Bảng quảng cáo được quy định ở mục 5.3 và mục 7.4.3 trong [46], và mục 7.4.3 trong [44]. Riêng tải trọng gió lên biển báo đường bộ (*road signs*) được quy định ở mục 5.3.1 trong [33].

Bước 1: Xác định áp lực gió

Áp lực vận tốc đỉnh $q_p(z)$ tại độ cao z , gồm vận tốc gió trung bình và biến động của vận tốc gió trong thời gian ngắn:

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (2.36)$$

Bước 2: Xác định hệ số kết cấu

Đối với các bảng quảng cáo có chiều cao $z_e < 15$ m, giá trị $c_s \cdot c_d = 1,0$.

Trường hợp khác, $c_s \cdot c_d$ được xác định theo công thức:

$$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s)} \quad (2.37)$$

Bước 3: Xác định lực thiết kế tác động lên kết cấu

Lực thiết kế tác động lên pano xác định theo (2.38):

$$F_b = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (2.38)$$

Lực F_b tác động lên pano ở độ cao trọng tâm của chúng với độ lệch tâm theo phương ngang $e_1 = \pm 0,25b$ (xem Hình 2.2b).

Các ký hiệu trong các công thức trên xem trong [46].

2.3.2.4 Theo ASCE/SEI 7-16

Tải trọng gió được quy định tại mục 26, hệ số lực (hệ số khí động) được quy định chi tiết tại Hình 29.3-1 trong ASCE/SEI 7-16 [23].

Bước 1: Xác định áp lực gió (áp lực vận tốc)

$$q_z = 0,613K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \quad (\text{Eq. 26.10-1}) \quad (2.39)$$

Bước 2: Xác định hệ số giật

Đối với các công trình mềm và kết cấu khác như bảng quảng cáo (có tần số dao động $n_1 < 1$ Hz), hệ số phản ứng giật được xác định:

$$G_f = 0,925 \left[\frac{1 + 1,7I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1,7g_v I_z} \right]; \quad (2.40)$$

Bước 3: Xác định lực thiết kế tác động lên pano

Lực thiết kế tác động lên pano xác định theo (2.41):

$$F = q_h G C_f A_s \quad (\text{Eq. 29.4-1}) \quad (2.41)$$

Lực F tác động lên pano tại cao độ trọng tâm của chúng, với độ lệch tâm tương ứng cho các trường hợp (minh họa ở Hình 2.2):

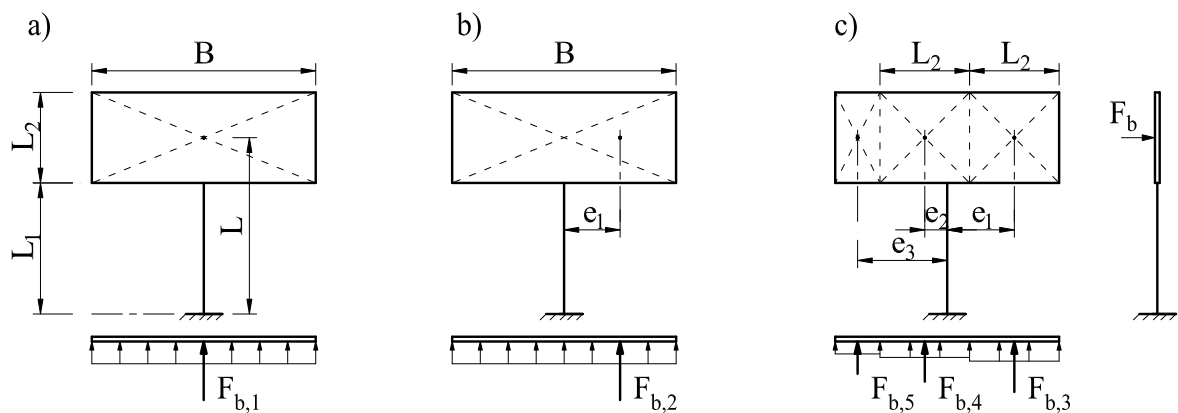
+ Trường hợp A (TH. A): Lực F_b đặt đúng tâm bảng ($e_1 = 0$).

+ Trường hợp B (TH. B): Lực F_b đặt lệch tâm $e_1 = 0,2B$.

+ Trường hợp C (TH. C): Lực $F_{b,1}$ đặt lệch tâm $e_1 = 0,5L_2$.

Lực $F_{b,2}$ đặt lệch tâm $e_2 = 1,5L_2$.

Lực $F_{b,3}$ đặt lệch tâm e_3 .



(a – đúng tâm bảng, b – lệch tâm bảng; c – trọng tâm các ô bảng)

Hình 2.2. Lực tập trung quy đổi tác động lên pano [23]

2.3.3. Lập bảng tính và ví dụ tính toán

2.3.3.1 Lập bảng tính

Trên cơ sở quy trình tính toán ở mục 2.2.2 theo TCVN 2737:1995 (VN95), TCVN 2737:2023 (VN23), EN 1991-1-4 (EN) và ASCE/SEI 7-16 (ASCE), tác giả luận án lập bảng tính có tên WSB trong môi trường Excel để tính toán lực gió tác động lên pano bảng quảng cáo và lực tại chân cột (gồm có: lực cắt đáy, mô men uốn, mô men xoắn). Chi tiết bảng tính WSB được ghi ở Phụ lục 2.2.

Kiểm chứng độ tin cậy của bảng tính WSB thông qua kết quả tính lực gió và lực chân cột khi tính theo các tiêu chuẩn EN 1991-1-4 (EN) và ASCE/SEI 7-16 (ASCE) được so sánh với kết quả tính tương ứng trong các tài liệu [47], [62] khi có cùng thông số đầu vào. Kết quả giá trị chênh lệch khá nhỏ (dưới 1%), chứng tỏ bảng tính WSB có đủ độ tin cậy (xem Bảng 2.4).

Bảng 2.4. So sánh kết quả tính toán

Stt	Tiêu chuẩn	Ký hiệu thông số	Đơn vị tính	Kết quả tính theo		Chênh lệch (%)
				WSB	[47], [62]	
1	EN	F_x	kN	181,439	181,500	- 0,03
		M_y	kN.m	1451,520	1452,000	- 0,03
		M_z	kN.m	1134,000	1134,380	- 0,03
2	ASCE	$F_{b,1}$	lb (pound)	60,030	60,362	- 0,55
		$F_{b,3}$	lb (pound)	32,020	32,193	- 0,54
		$F_{b,4}$	lb (pound)	21,340	21,462	- 0,57
		$F_{b,5}$	lb (pound)	4,000	4,024	- 0.60

2.3.3.2 Ví dụ 2.1

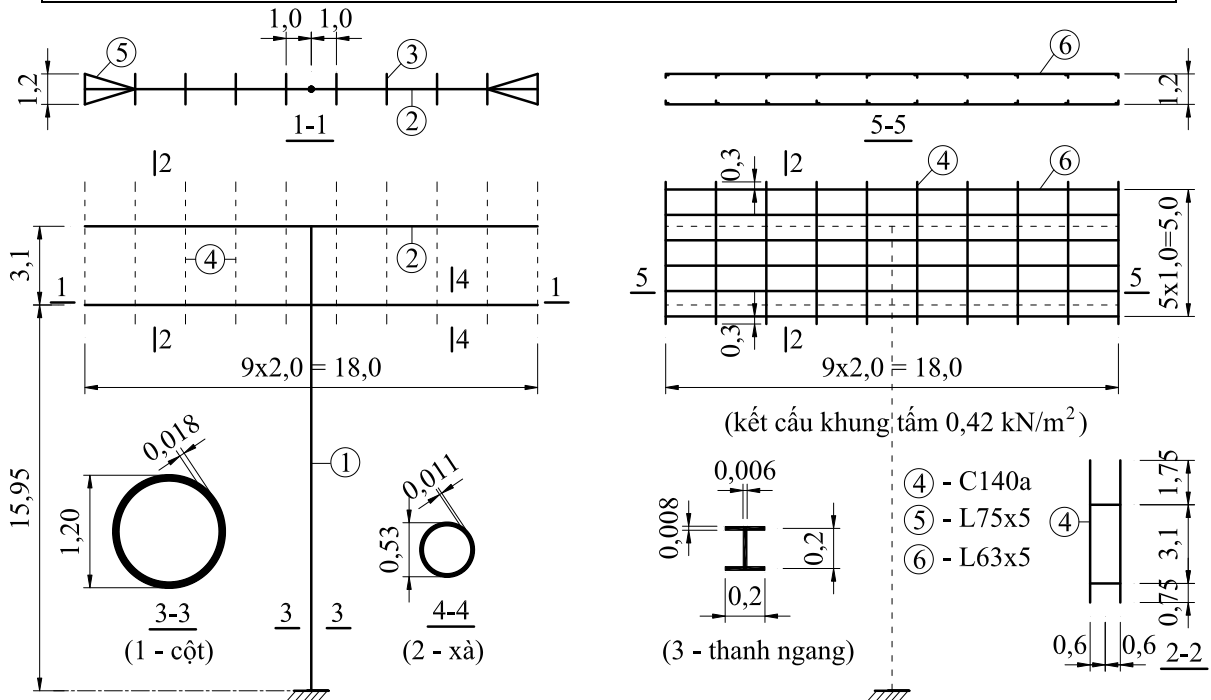
a) Thông số tính toán:

Bảng quảng cáo bằng vật liệu thép có kết cấu như Hình 2.3 (cho Phương án 1) [101], pano được bọc kín và đỡ bởi cột ống tròn (1). Khung pano cấu tạo từ 02 xà ngang (2), tấm bọc cố định trên khung đỡ bởi thanh đứng (4) và thanh ngang (6), và các thanh chống (3) và (5). Kích thước pano và chiều cao cột đỡ, tần số dao động riêng n_1 được cho ở Bảng 2.5 (đối với Phương án 1 và 2). Công trình được đặt ở phân vùng gió II-B (theo TCVN 2737:1995). Chưa xét ảnh hưởng của gió tác động lên cột đỡ.

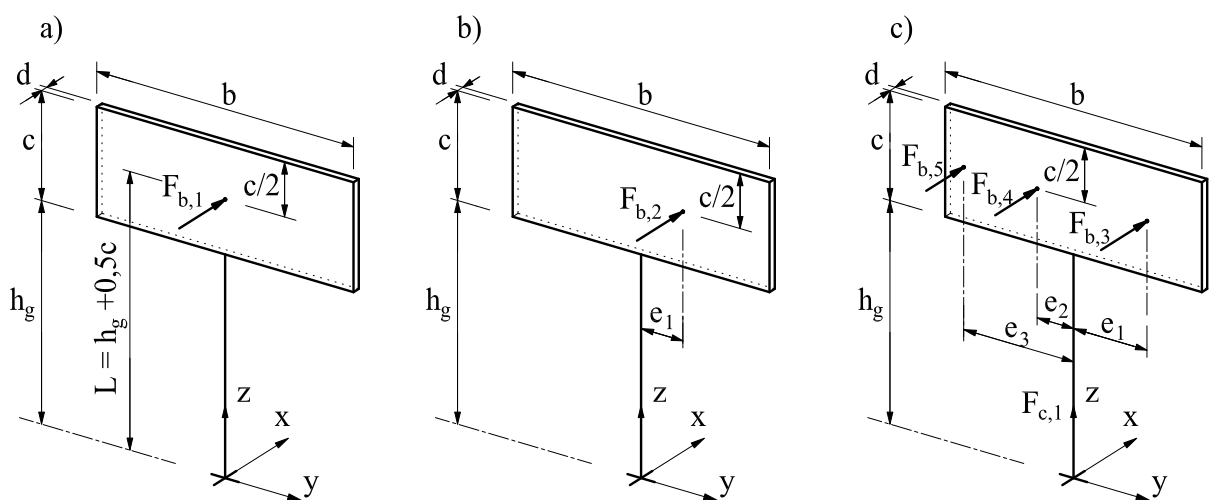
Bảng 2.5. Thông số bảng quảng cáo

Phương án	Kích thước (m)				Cột (m)		Tần số
	b	h_g	c	d	d_c	t_c	n_1 (Hz)
1	18,0	15,0	6,0	1,4	1,2	0,018	0,9195
2	18,0	8,0÷15,0	6,0	1,4	1,2	0,018	0,9195

Ghi chú: Tần số $n_1 = 0,9195$ Hz ứng với thông số bảng quảng cáo theo phương án 1.



Hình 2.3. Cấu tạo kết cấu bảng quảng cáo



a – trường hợp A (TH. A); b – trường hợp B (TH. B); c – trường hợp C (TH. C)

Hình 2.4. Kích thước hình học và vị trí lực gió tác động

Ký hiệu kích thước hình học bảng quảng cáo như ở Hình 2.4a và lực gió tác động lên pano đối với các trường hợp A (TH. A) – đúng tâm pano (Hình 2.4a), trường hợp B (TH. B) – lệch tâm pano (Hình 2.4b) và trường hợp C (TH. C) – trọng tâm các ô của pano (như Hình 2.4c).

b) Yêu cầu tính toán:

Bài toán 1: Tính toán lực gió tác động lên pano và lực chân cột bảng quảng cáo, đối với Phương án 1 ứng với chiều cao $h_g = 15,0$ m (tức là $L = 18,0$ m) theo 03 tiêu chuẩn (TCVN 2737:1995, EN 1991-1-4 và ASCE/SEI 7-16).

Bài toán 2: Tính toán lực gió tác động lên pano và lực chân cột bảng quảng cáo, đối với Phương án 2 ứng với chiều cao $h_g = 12,0$ m (tức là $L = 15,0$ m). Khảo sát hệ số giạt (hệ số kết cấu) khi $h_g = (8,0 \div 15,0)$ m với bước của h_g là 1,0 m.

Bài toán 3: Khảo sát lực gió tác động lên pano và lực chân cột bảng quảng cáo, đối với Phương án 1, ứng với các dạng địa hình A, B và C (theo TCVN 2737:1995); tương ứng dạng địa hình I, II và III (theo EN 1991-1-4); dạng địa hình D, C và B (theo ASCE/SEI 7-16).

Ở đây chưa xét đến cấp hậu quả của công trình xây dựng (theo QCVN 03:2022/BXD) và áp lực gió ngang. Các thông số tính toán được lấy tương đồng về vận tốc gió theo các tiêu chuẩn để thuận lợi trong việc so sánh kết quả tính toán.

Giá trị áp lực gió vùng II-B, có $W_0 = 0,95$ kN/m² theo TCVN 2737:1995 (3 giây, 20 năm), quy đổi sang vận tốc gió cơ sở $V_0 = 39,37$ m/s. Tương đương vận tốc gió theo EN 1991-1-4 là $V_{b,0} = 31,0$ m/s (600 giây, 50 năm) và theo ASCE/SEI 7-16 là $V = 44,0$ m/s (3 giây, 50 năm) theo QCVN 02:2022/BXD [5].

c) Kết quả tính toán:

Sử dụng bảng tính WSB để tính toán lực gió tác động lên pano và lực chân cột bảng quảng cáo đối với 03 bài toán, kết quả như sau:

Bài toán 1: Kết quả tính toán theo Phương án 1, khi $L = 18$ m.

Kết quả tính toán tải trọng gió phân bố lên bề mặt pano, được quy đổi thành lực tập trung F_x và lực tại chân cột gồm mô men uốn, mô men xoắn và lực cắt (M_y , M_z và V) theo các tiêu chuẩn TCVN 2737:1995 (Hình 2.4a), EN 1991-1-4 (Hình 2.4b) và ASCE/SEI 7-16 (Hình 2.4c) ghi ở Bảng 2.8.

Bảng 2.6. Kết quả tính theo các tiêu chuẩn (Phương án 1)

Lực gió và lực chân cột	TCVN 2737:1995	EN 1991-1-4	ASCE/SEI 7-16		
			TH. A	TH. B	TH. C
F_x (kN)	235,9	430,9	236,3	236,3	237,7
M_y (kN.m)	4245,7	7756,3	4253,1	4253,1	4279,3
M_z (kN.m)	0,0	1939,1	0,0	850,6	376,3
V (kN)	235,9	430,9	236,3	236,3	237,7
Chú thích: Theo TCVN có $G = 1,696$. Theo EN có $c_s = 0,915$; $c_d = 1,473$ ($c_s c_d = 1,348$). Theo ASCE/SEI có $Q = 0,920$; $R = 0,762$ ($G_f = 1,072$).					

Qua kết quả tính ghi ở Bảng 2.6, thấy rằng:

(i) Lực tập trung quy đổi tác động lên pano khi tính theo EN 1991-1-4 có giá trị lớn hơn nhiều so với khi tính theo TCVN 2737:1995 hoặc ASCE/SEI 7-16, giá trị tính theo TCVN 2737:1995 nhỏ hơn so với khi tính theo ASCE/SEI 7-16;

(ii) Lực tác động lên pano tính theo ASCE/SEI 7-16, trường hợp B (TH. B) gây lực chân cột lớn hơn so với trường hợp A (TH. A) và trường hợp C (TH. C).

(iii) Khi tính theo TCVN 2737:1995, thành phần động khá lớn so với thành phần tĩnh ($G_f = 1,696$), có khi giá trị lên tới $G_f \approx 1,95$ (xem kết quả ở Bảng 2.7) dẫn đến lực chân cột khá lớn. Cũng tương tự, khi tính theo EN 1991-1-4 sẽ cho thành phần cộng hưởng R khá lớn so với thành phần nền Q ($c_d \gg c_s$), dẫn tới $c_s c_d = 1,348$ lớn hơn $G_f = 1,072$ khi tính theo ASCE/SEI 7-16.

Bài toán 2: Kết quả tính theo Phương án 2, khi $L = (11 \div 18)$ m.

Như ở mục 6.2(1) của EN 1991-1-4 có yêu cầu, đối với công trình có chiều cao $L < 15$ m, giá trị $c_s c_d = 1,0$. Với số liệu đầu vào theo Phương án 2, sẽ là ranh giới của việc lấy giá trị $c_s c_d = 1,0$ và $c_s c_d \neq 1,0$. Kết quả tính theo ASCE/SEI 7-16 chỉ lấy giá trị lực chân cột đối với trường hợp B (TH. B). Tổng hợp kết quả ghi ở Bảng 2.7.

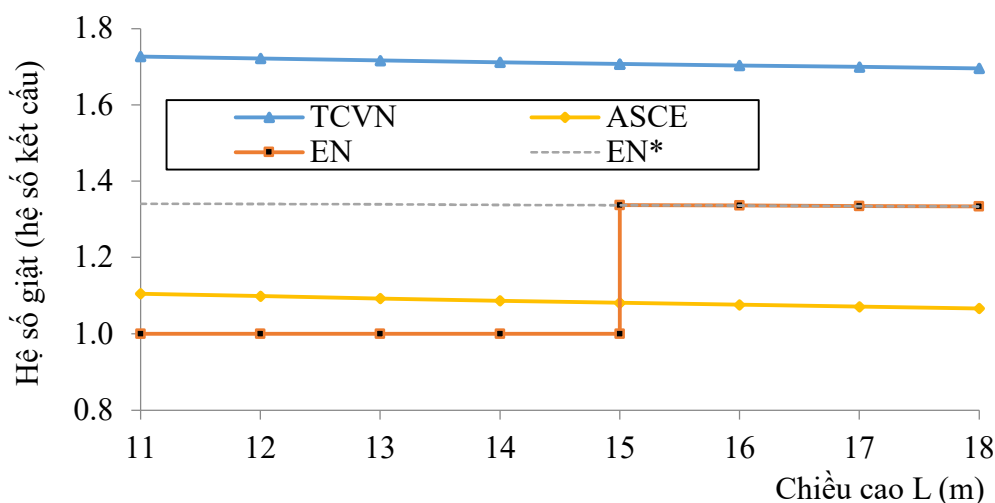
Qua kết quả ghi ở Bảng 2.7, thấy rằng: Khi tính theo EN 1991-1-4, với việc lấy chiều cao công trình ở ranh giới $L = 15$ m, kết quả $c_s c_d = 1,0$ cũng chênh lệch khá lớn (đến 33,82%), nhưng với giá trị $c_s c_d = 1,0$ sẽ cho kết quả lực chân cột khá phù hợp so với khi tính theo TCVN 2737:1995 và ASCE/SEI 7-16.

Bảng 2.7. Kết quả tính theo các tiêu chuẩn (Phương án 2)

Lực gió và lực chân cột	TCVN 2737:1995	EN 1991-1-4, với $c_s c_d$		ASCE 7-16	Chênh lệch %	
		= 1,0	≠ 1,0		(3)/(4)	(2)/(5)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(3)/(4)	(2)/(5)
F_x (kN)	229,8	229,3	412,8	230,7	44,4	0,6
M_y (kN.m)	3447,1	3439,9	6191,8	3460,2	44,4	0,6
M_z (kN.m)	0,0	1032,0	1857,6	830,4	44,4	-
V (kN)	229,8	229,3	412,8	230,7	44,4	0,6

Chú thích: Theo TCVN có $G = 1,696$.
Theo EN có $c_s = 0,93$; $c_d = 1,49$ ($c_s c_d = 1,377$).
Theo ASCE/SEI có $Q = 0,916$; $R = 0,761$ ($G_f = 1,072$).

Từ Hình 2.5 thấy rằng, hệ số giạt tính theo TCVN 2737:1995 vào khoảng 1,696 ($G \approx 1,7$), trong khi tính theo ASCE/SEI 7-16 có giá trị nhỏ hơn nhiều ($G_f \approx 1,1$), còn theo EN 1991-1-4 có bước nhảy tại chiều cao pano bảng quảng cáo $L = 15,0$ m (từ giá trị $c_s c_d = 1,0$ lên đến điểm có giá trị $c_s c_d \approx 1,377$). Như thế, cần lưu ý khi EN 1991-1-4 quy định với kết cấu bảng quảng cáo có chiều cao $L < 15,0$ m lấy hệ số $c_s c_d = 1,0$.



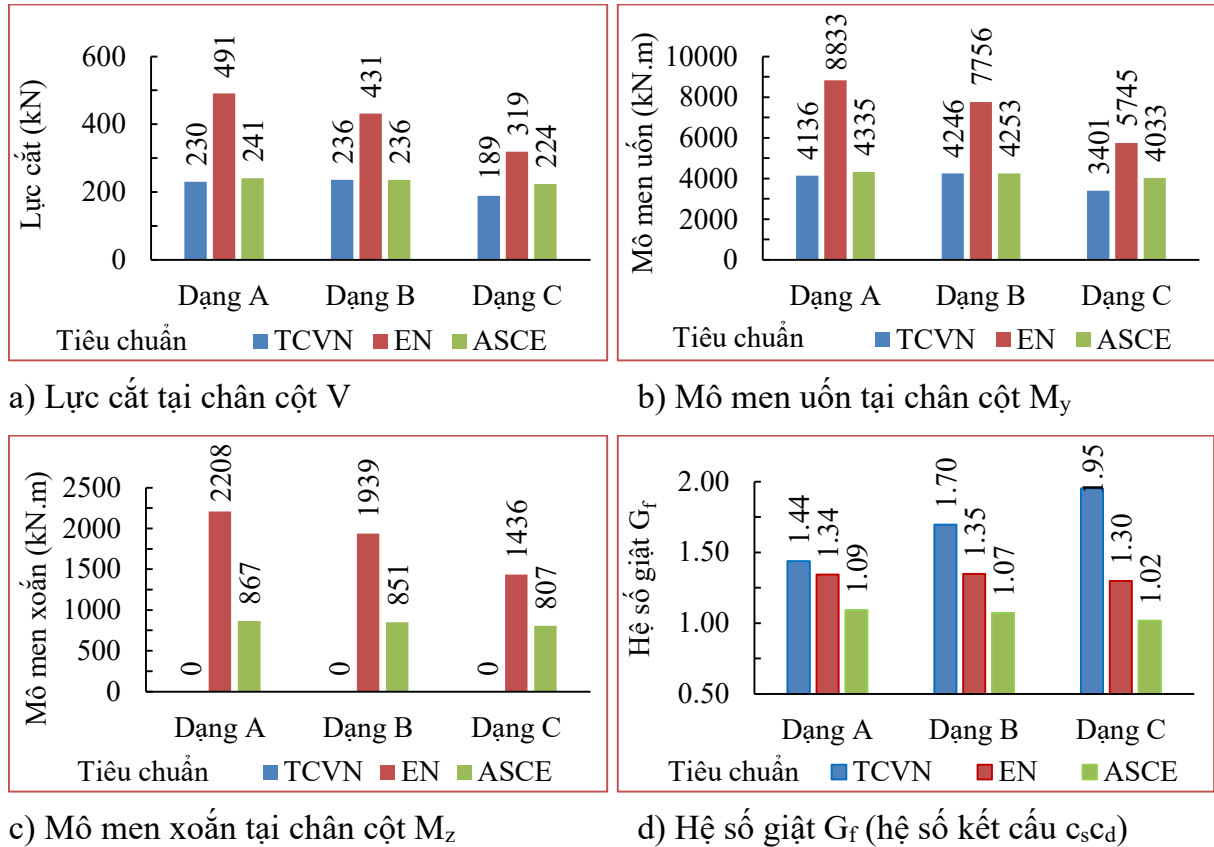
Hình 2.5. Kết quả hệ số giạt G_f (hệ số kết cấu $c_s c_d$)

Bài toán 3: Kết quả khảo sát theo Phương án 1.

Minh họa kết quả tính toán lực cắt V (kN), mô men uốn M_y (kN.m) và mô men xoắn M_z (kN.m) tại chân cột của mô hình tính toán được thể hiện ở Hình 2.6a đến Hình 2.6c, ứng với các địa hình dạng A, B và C theo TCVN 2737:1995 (viết tắt TCVN), địa

hình dạng I, II và III theo EN 1991-1-4 (viết tắt EN) và địa hình dạng D, C và B theo ASCE/SEI 7-16 (viết tắt ASCE).

Đồng thời, kết quả hệ số giật G_f (hệ số kết cấu c_{s,c_d}) của tải trọng gió với các dạng địa hình theo 03 tiêu chuẩn được minh họa ở Hình 2.6d.



Hình 2.6. Kết quả lực chân cột và hệ số giật

So sánh các kết quả tính được thể hiện ở Bảng 2.8, cho thấy:

- Lực chân cột (V và M_y) khi tính theo EN có giá trị lớn hơn khá nhiều so với khi tính theo TCVN và ASCE. Giá trị chênh lệch lực khi tính theo TCVN so với EN và ASCE vào khoảng 113,6% (4,8%) tương ứng đối với địa hình trống trải (địa hình dạng A), khoảng 82,7% (0,2%) đối với địa hình tương đối trống trải (địa hình dạng B) và khoảng 68,9% (18,58%) đối với địa hình bị che chắn mạnh (địa hình dạng C). Đồng thời cũng thấy rằng, kết quả lực khi tính theo TCVN nhỏ hơn khi tính theo ASCE, nhưng chênh lệch không nhiều. Điều này cũng đúng cho mô hình tác động xoắn ở chân cột, tuy nhiên TCVN không xét đến lực gió tác động gây xoắn cho pano và cột.

- Giá trị hệ số giật (hệ số kết cấu) khi tính theo TCVN là khá lớn ($G \approx 1,95$ với địa hình dạng C), trong khi đó khi tính theo ASCE giá trị $G_f \approx 1,02 \div 1,09$. Còn khi tính theo

EN, giá trị $c_{scd} \approx 1,30 \div 1,34$ và cũng thấy rằng, thành phần cộng hưởng ở trường hợp này là $R = 1,18 \div 1,38$, là khá lớn so với khi tính theo ASCE.

Bảng 2.8. Lực tại chân cột và hệ số giật

Kết quả	Ký hiệu	Địa hình	Theo tiêu chuẩn			Chênh lệch (%)	
			TCVN	EN	ASCE	(4)/(5)	(4)/(6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(4)/(5)	(4)/(6)
Lực tại chân cột	V (kN)	A	230	491	241	-113,6	-4,8
		B	236	431	236	-82,7	-0,2
		C	189	319	224	-68,9	-18,6
	M_y (kN.m)	A	4136	8833	4335	-113,6	-4,80
		B	4246	7756	4253	-82,7	-0,18
		C	3401	5745	4033	-68,9	-18,58
	M_z (kN.m)	A	0,0	2208	867	-	-
		B	0,0	1939	851	-	-
		C	0,0	1436	807	-	-
Hệ số giật	G_f ($c_s c_d$)	A	1,44	1,34	1,09	6,7	24,07
		B	1,70	1,35	1,07	20,5	36,78
		C	1,95	1,30	1,02	33,5	47,89

2.3.3.3 Ví dụ 2.2

Xác định giá trị hệ số khí động (hệ số lực) theo một số tiêu chuẩn thiết kế (TCVN 2737:1995, TCVN 2737:2023, EN 1991-1-4, ASCE/SEI 7-16), đối với 04 pano tấm lớn của quảng cáo có kích thước (rộng×dài) lần lượt là $c \times b = (6,0 \times 9,0)$ m; $(6,0 \times 12,0)$ m, $(6,0 \times 18,0)$ m và $(5,0 \times 14,0)$ m, chiều dày pano là $d = 1,0$ m, cao độ đỉnh pano so với mặt đất là 20,0 m.

a) Theo TCVN 2737:1995

- Khi kích thước pano $(6,0 \times 9,0)$ m, tra Bảng 6.2 trong TCVN 2737:1995 có $\lambda_c = \lambda = 9,0/6,0 = 1,5 < 5,0$, suy ra $k = 0,58$ (khi không ngoại suy thì $k = 0,6$). Tra Bảng 6.3

trong TCVN 2737:1995 với $d/b = 1,0/6,0 = 0,17 < 1,5$ suy ra $c_{x\infty} = 2,1$. Tức là, $c_x = 2,1 \times 0,58 = 1,220$ (khi không ngoại suy, $c_x = 2,1 \times 0,6 = 1,26$).

- Khi kích thước pano (6,0×12,0) m, (6,0×18,0) m và (5,0 ×14,0) m, làm tương tự, $c_x = 2,1 \times 0,58 = 1,220$ (khi không ngoại suy, $c_x = 1,26$).

b) Theo TCVN 2737:2023

- Khi kích thước pano (6,0×9,0) m, tra Hình F.27 trong TCVN 2737:2023 ứng với $\lambda_e = \lambda = 9,0/6,0 = 1,5$ có $k_\lambda = 0,62$ (độ choán $\varphi = 1,0$), suy ra $c_x = 2,5 \times 0,62 = 1,55$.

- Khi kích thước pano (6,0×12,0) m và (6,0×18,0) m, làm tương tự, $c_x = 1,575$ và $c_x = 1,625$.

Bảng 2.9. Kết quả hệ số khí động theo TCVN 2737:1995 và TCVN 2737:2023

Stt	Kích thước pano (m)	Giá trị c_x theo TCVN		Chênh lệch (%)
		2737:1995	2737:2023	
1	6,0×9,0	1,26	1,550	23,01
2	6,0×12,0	1,26	1,575	25,00
3	6,0×18,0	1,26	1,625	28,96
4	5,0×14,0	1,26	1,600	26,98

Kết quả hệ số khí động c_x ghi trong Bảng 2.9 tương ứng với các kích thước pano, quy định tính toán theo TCVN 2737:1995 và TCVN 2737:2023 có sự chênh lệch nhau khá lớn, từ 23,01% đến 28,96% ứng với tỉ lệ kích thước pano từ 1,5 đến 3,0.

c) Theo EN 1991-1-4

Có $z_g = (20 - 6) = 14 \text{ m} > h/4 = 6/4 = 1,5 \text{ m}$. Theo Điều 7.4.3 trong EN 1991-1-4 [46], có $c_f = 1,8$.

d) Theo ASCE/SEI 7-16

- Đối với trường hợp A và B, theo Hình 29.4-1 trong ASCE/SEI 7-16 [23], có $s/h = 6/20 = 0,3$, khi kích thước pano (6,0×9,0) m, (6,0×12,0) m, (6,0×18,0) m và (5,0 ×14,0) m, lần lượt có $B/s = 9,0/6,0 = 1,5; 2,0; 3,0$ và 2,8. Từ đó có $C_f = 1,8$.

- Đối với trường hợp C,

+ Khi kích thước pano (6,0×12,0) m, vùng 1 từ 0 đến 6 m có $C_f = 2,25$, vùng 2 từ 6,0 m đến 12,0 m có $C_f = 1,50$.

+ Khi kích thước pano (6,0×18,0) m, vùng 1 từ 0 đến 6 m có $C_f = 2,6$, vùng 2 từ 6,0 m đến 12,0 m có $C_f = 1,7$ và vùng từ 12,0 m đến 18,0 m có $C_f = 1,15$.

+ Khi kích thước pano (5,0×14,0) m, vùng 1 từ 0 đến 5 m có $C_f = 2,6$, vùng 2 từ 5,0 m đến 10,0 m có $C_f = 1,7$ và vùng 3 từ 10,0 m đến 14,0 m có $C_f = 1,15$.

Bảng 2.10. Kết quả hệ số lực theo EN 1991-1-4 và ASCE/SEI 7-16

Stt	Kích thước pano (m)	c_f theo EN 1991-1-4	C_f theo ASCE/SEI 7-16			
			TH. A TH. B	TH. C		
				Vùng 1	Vùng 2	Vùng 3
1	6,0×9,0	1,8	1,8	2,25	1,50	
2	6,0×12,0	1,8	1,8	2,25	1,50	
3	6,0×18,0	1,8	1,8	2,60	1,70	1,15
4	5,0×14,0	1,8	1,8	2,60	1,70	1,15

Nhận xét:

- Giá trị hệ số lực (force coefficient) theo EN 1991-1-4, $c_f = 1,8$ cho mọi kích thước pano, tức là tỷ số kích thước pano và cao độ đặt pano không ảnh hưởng đến giá trị hệ số khí động.

- Giá trị hệ số lực theo ASCE/SEI 7-16 tương ứng với các trường hợp A, B và C đều phụ thuộc vào tỷ số kích thước pano (B/s) và cao độ đặt pano (s/h). Đối với trường hợp A và B (trường hợp A - tải trọng gió đặt đúng tâm bảng, trường hợp B - tải trọng gió đặt lệch tâm bảng $e = 0,2b$), với pano có kích thước và đặt ở cao độ phổ biến như hiện nay (có B/s từ 1,0 đến 3,0, s/h từ 0,3 đến 0,2) thì giá trị hệ số lực lấy không đổi $C_f = 1,8$. Đối với trường hợp C, hệ số lực C_f lấy giá trị phụ thuộc vào tỷ số kích thước pano B/s và không phụ thuộc vào cao độ đặt pano, khi pano có $B/s \leq 2$ thì vùng 1 (0 đến s) lấy $C_f = 2,25$ và vùng 2 (s đến 2s) lấy $C_f = 1,5$; khi pano có $2 < B/s \leq 3$ thì vùng 1 (0 đến s) lấy $C_f = 2,6$ và vùng 2 (s đến 2s) lấy $C_f = 1,7$ và vùng 3 (2s đến 3s) lấy $C_f = 1,15$. Việc phân vùng bề mặt pano thành A, B và C ứng với giá trị hệ số khí động khác nhau, bản chất là xét đến sự lệch tâm của lực gió tác động lên bề mặt pano.

2.4. Kết luận chương 2

Trong chương này đã nghiên cứu về các tham số gió và việc chuyển đổi vận tốc gió theo các chu kỳ lặp, làm cơ sở cho việc tính toán tải trọng gió lên bảng quảng cáo tấm lớn. Cũng đã nghiên cứu một số tiêu chuẩn thiết kế về tải trọng gió lên kết cấu nói chung, kết cấu bảng quảng cáo nói riêng.

Thấy rằng, các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau quy định giá trị hệ số khí động (hệ số lực) khác nhau. Theo đó, một số tiêu chuẩn cho giá trị hệ số khí động không thay đổi, một số tiêu chuẩn quy định phụ thuộc vào kích thước pano, thậm chí còn phụ thuộc cả vào cao độ đặt pano.

Đã xây dựng quy trình và lập bảng tính bằng phần mềm Excel để tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo theo một số tiêu chuẩn: Việt Nam (TCVN 2737:1995), TCVN 2737:2023, châu Âu (EN 1991-1-4) và Mỹ (ASCE/SEI 7-16). Bảng tính WSB đủ tin cậy, có thể sử dụng trong thực hành thiết kế.

CHƯƠNG 3. KHẢO SÁT THAM SỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HỆ SỐ KHÍ ĐỘNG VÀ LỰC GIÓ BẰNG PHẦN MỀM ANSYS FLUENT

3.1. Đặt vấn đề

Từ kết quả của Chương 2, thấy rằng giá trị hệ số khí động cũng như lực gió (gồm vị trí và giá trị lực gió) tác động lên pano được quy định rất khác nhau theo các tiêu chuẩn. Hơn nữa, kết quả nghiên cứu về giá trị hệ số khí động (hệ số lực) đối với pano của các tác giả cũng rất khác nhau. Trong chương này nhằm làm sáng tỏ sự khác nhau đối với hệ số khí động, lực gió và vị trí lực gió tác động lên pano thông qua việc khảo sát một số tham số có ảnh hưởng như: tỉ lệ mẫu, mô hình dòng chảy rối, profile vận tốc gió, dạng địa hình và góc hướng gió tác động ứng với một số tỉ lệ kích thước pano và độ cao đặt pano, việc khảo sát được thực hiện thông qua mô đun Fluent trong phần mềm mô phỏng Ansys (gọi tắt là phần mềm Ansys Fluent).

Để đạt được điều đó, ngoài việc hiểu rõ về mô đun mô phỏng Fluent và các bước mô phỏng số, một nhiệm vụ khá quan trọng của bài toán mô phỏng trong Fluent đó là lựa chọn được kích thước vùng không gian mô phỏng (hầm gió ảo), mô hình dòng chảy rối và mô tả hàm tường. Kích thước vùng không gian mô phỏng liên quan đến độ chính xác của kết quả và chi phí thời gian tính toán, điều đó cũng liên quan đến việc chọn tỉ lệ mô hình. Mô hình dòng chảy rối liên quan đến hệ phương trình RANS, đó là phương trình liên tục và phương trình bảo toàn động lượng [11]. Mô tả hàm tường liên quan đến giá trị vận tốc ở vị trí gần lớp biên. Trong mô đun mô phỏng Fluent, chương trình tính cho sẵn các mô hình dòng chảy rối và mô tả hàm tường, người dùng chỉ việc lựa chọn trong quá trình mô phỏng. Qua đó chọn được kích thước vùng không gian mô phỏng, mô hình dòng chảy rối và mô tả hàm tường phù hợp trên cơ sở giá trị hệ số khí động (hệ số áp lực - pressure coefficient) trung bình trên bề mặt pano gần sát với giá trị hệ số khí động cần chính diện cho trong TCVN 2737:1995 [12] và kết quả thí nghiệm trên mô hình thu nhỏ của Meyer D., và cộng sự (2017) [63], giá trị theo hai tài liệu này $c_x = 1,220$. Kết quả lựa chọn sẽ áp dụng trong bài toán khảo sát các tham số ảnh hưởng đến hệ số khí động và lực gió đối với pano bằng phần mềm Ansys Fluent.

3.2. Cơ sở lý thuyết và quy trình mô phỏng số CFD

3.2.1. Cơ sở lý thuyết

Ansys Fluent là phần mềm tính toán động lực học chất lưu (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. Phần mềm thực hiện giải bài toán dựa trên phương pháp thể tích hữu hạn. Các phương trình bảo toàn khối lượng, động lượng và năng lượng được giải trong tập hợp các thể tích điều khiển này [19].

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = \oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot d\mathbf{A} + \int_V S_\phi dV \quad (3.1)$$

Phương trình bảo toàn khối lượng [19]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = S_m \quad (3.2)$$

Phương trình bảo toàn động lượng [19]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{v}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \mathbf{g} + \bar{F} \quad (3.3)$$

trong đó: p là áp suất tĩnh; $\bar{\tau}$ là tenxơ ứng suất; $\rho \mathbf{g}$ và \bar{F} lần lượt là lực hấp dẫn của vật thể và lực vật thể bên ngoài.

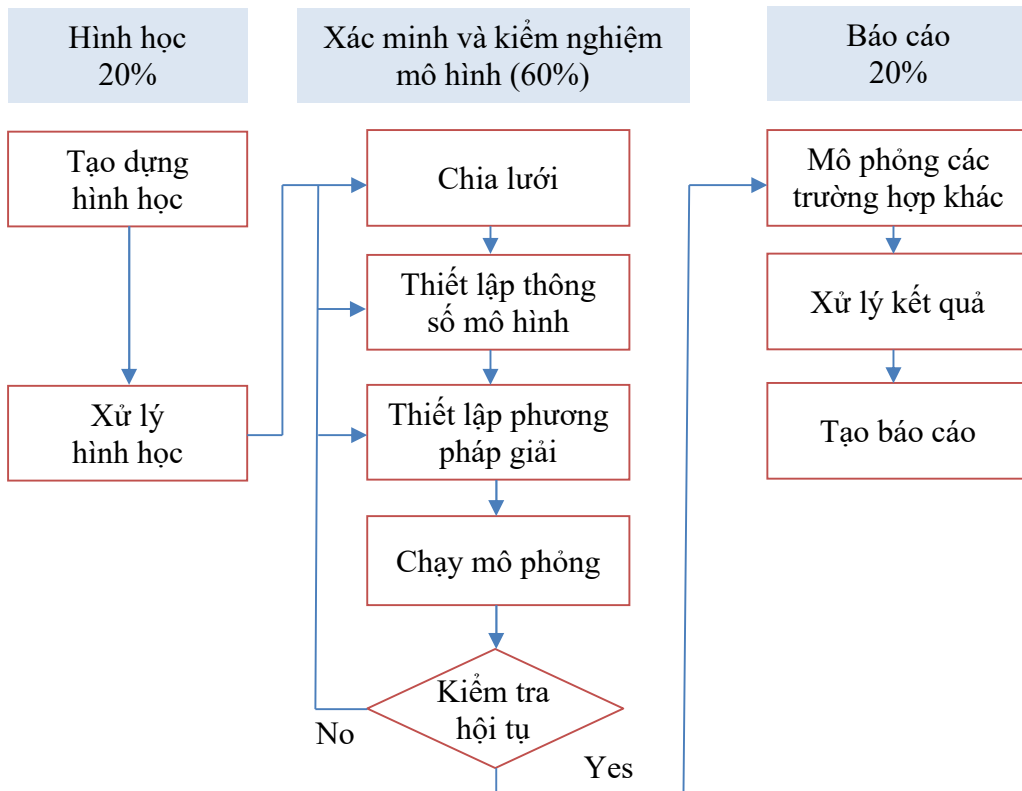
3.2.2. Quy trình mô phỏng số CFD

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:

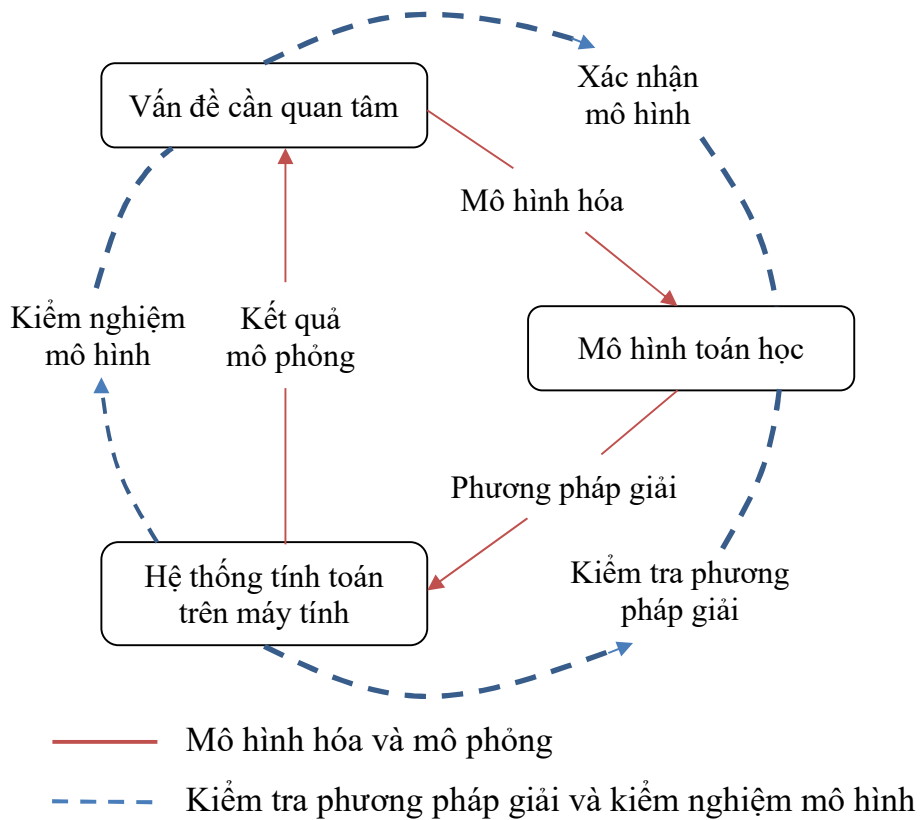
a) *Quy trình cơ bản cho người sử dụng:*

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 (Hình 3.1):

- Tạo dựng mô hình hình học;
- Xác định vùng không gian mô phỏng;
- Chia lưới (rời rạc hóa vùng không gian tính toán);
- Lựa chọn mô hình dòng rối;
- Thiết lập phương pháp giải;
- Chạy chương trình mô phỏng;



Hình 3.1. Quy trình cơ bản cho người sử dụng mô phỏng CFD



Hình 3.2. Tóm lược về quy trình kiểm tra và kiểm nghiệm CFD

- Kiểm tra tính hội tụ của phương pháp số;
- Xử lý kết quả, xem xét sửa lại mô hình (nếu có);
- 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*), như ở Hình 3.2.

- 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*).

- 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.

Để thực hiện các bước như trên, trước hết cần phải chọn được kiểu phần tử phù hợp với bài toán cần giải (Ansys fluent cung cấp trên 200 kiểu phần tử). Tiếp theo, mỗi bài toán cần đưa vào mô hình vật liệu (là vật liệu đàn hồi hay dẻo, vật liệu tuyến tính hoặc phi tuyến, mỗi loại vật liệu cần nhập đầy đủ các thông số vật lý). Việc giải phương trình bằng phương pháp thể tích hữu hạn, cho phép xây dựng các mô hình 2D và 3D với kích thước thực hoặc kích thước thu nhỏ, hình dáng đơn giản hóa hoặc mô hình như vật thật. Việc chia lưới phần tử do người dùng chọn hoặc tự động chia lưới, số lượng nút và phần tử quyết định đến sự chính xác của bài toán. Trong các bài toán cơ học, lời giải

nhận được bằng phương pháp thể tích hữu hạn lấy chuyển vị làm gốc.

3.2.2.1 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 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.

- Kiểu lưới, với mô hình 3D hiện nay có các dạng phần tử cơ bản để hình thành nên lưới, đó 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 [69]. 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. Vì vậy, trong nghiên cứu này, tác giả luận án sử dụng kiểu lưới tứ diện trong quá trình mô phỏng.

- 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 Ratio, 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, cần quan tâm nhiều nhất đến hai chỉ số đó là: Orthogonal Quality và Skewness.

Bảng 3.1. Phổ giá trị đánh giá chỉ số Orthogonal Quality và Skewness

Phổ giá trị của chỉ số Skewness					
Tuyệt vời	Rất tốt	Tốt	Chấp nhận	Tồi	Không chấp nhận
0,00÷0,25	0,25÷0,50	0,50÷0,80	0,80÷0,94	0,95÷0,97	0,98÷1,00
Phổ giá trị của chỉ số Orthogonal Quality					
Không chấp nhận	Tồi	Chấp nhận	Tốt	Rất tốt	Tuyệt vời
0÷0,001	0,001÷0,14	0,15÷0,20	0,20÷0,69	0,70÷0,95	0,95÷1,00

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 Bảng 3.1. 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 [3]. Trong quá trình mô phỏng đối với bài toán nghiên cứu tiếp theo trong luận án, các kết quả về chỉ số đánh giá độ hội tụ được trình bày trong Bảng 3.2.

Bảng 3.2. Chỉ số Skewness và Orthogonal Quality trong quá trình mô phỏng

Chỉ số	Min	Max	Average
Skewness	9,00E-5	0,80	0,26
Orthogonal quality	0,23	1,00	0,84

Với kết quả như Bảng 3.2 thỏa mãn khuyến cáo của Fluent. Do đó quá trình mô phỏng trong nghiên cứu này luôn hội tụ.

- Không gian chia lưới, đó là vùng không gian bao quanh vật thể cần được giới hạn trong quá trình mô phỏng. Việc lựa chọn kích thước vùng không gian này 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 (nhu cầu về dung lượng bộ nhớ, cấu hình máy tính, thời gian tính toán, v.v...) là tối thiểu. Thấy rằng, việc chọn kích thước không gian mô phỏng bé so với kích thước mô hình mô phỏng sẽ không đảm bảo độ chính xác của kết quả, vì ảnh hưởng của kích thước môi trường xung quanh vật thể, ngược lại khi chọn không gian mô phỏng lớn sẽ làm tăng số lượng phần tử, và phải cần cấu hình máy tính đủ mạnh và cần thời gian tính toán lâu, dẫn đến chi phí tính toán lớn và có thể gây lãng phí.

Trong tự nhiên, không khí chuyển động quanh vật thể đứng yên hoặc vật thể chuyển động là 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, v.v... 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 [3].

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.

3.2.2.2 Mô hình dòng rối

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \\ \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\rho \cdot \partial x_i} + \frac{\partial^2 u_i}{\text{Re} \cdot (\partial x_j)^2} + f_i \end{array} \right. \quad (3.4)$$

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

Nhận thấy rằng, hệ trên gồm 4 phương trình vi phân đạo hàm riêng với 10 ẩn: trong đó có 1 đại lượng áp suất p và 3 đại lượng vận tốc theo 3 phương (u , v , w) và 6 thành phần ứng suất rối Reynolds. Về nguyên tắc, cần phải có thêm 6 phương trình nữa để bài toán đóng kín hệ phương trình RANS, từ đó có thể tìm ra các đại lượng đặc trưng của dòng chảy là lưu tốc và áp suất. Khó khăn chính của bài toán khí động học đối với vật thể nói chung là việc giải hệ phương trình vi phân đạo hàm riêng, thực tế vấn đề còn phức tạp hơn nữa do dòng chảy không khí bao quanh vật thể 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. Vì thế, cho

đến nay hệ phương trình này vẫn chưa có lời giải lý thuyết đầy đủ, các nhà nghiên cứu vẫn phải sử dụng các phương pháp và công cụ gần đúng để tính toán dòng khí động bao quanh vật thể. Để giải quyết các vấn đề trên, trong mô đun Fluent sử dụng mô hình gần đúng để mô tả các dòng chảy rối, mô hình dòng chảy rối được phát triển để mô tả được 6 thành phần ứng suất rối Reynolds. Mô hình dòng chảy rối được phân thành bốn mức độ cơ bản và theo thứ tự phức tạp, theo Jaw và Chen (1998) [11] như sau: (1) Mô hình đại số; (2) Mô hình một phương trình; (3) Mô hình hai phương trình; và (4) Mô hình bậc hai. Theo đó, mô hình dòng rối sử dụng trong Ansys Fluent (gồm 09 mô hình):

- (1) Mô hình Spalart-Allmaras
- (2) Mô hình $k-\varepsilon$ (tiêu chuẩn, RNG và khả thi)
- (3) Mô hình $k-\omega$ (tiêu chuẩn và chuyển đổi ứng suất cắt - SST)
- (4) Mô hình $k-kl-\omega$ chuyển tiếp
- (5) Mô hình SST chuyển tiếp (SST)
- (6) Mô hình ứng suất Reynolds (RSM)
- (7) Mô hình mô phỏng thích ứng theo quy mô (SAS)
- (8) Mô hình mô phỏng dòng xoáy tách rời (DES)
- (9) Mô hình mô phỏng dòng xoáy lớn (LES).

3.2.2.3 Mô hình hàm tường

Các hàm tường là một tập hợp các công thức và hàm bán kinh nghiệm có tác dụng “cầu nối” hoặc “liên kết” các biến giải pháp tại các ô gần tường và các đại lượng tương ứng trên tường. Các hàm tường bao gồm: định luật về vận tốc và nhiệt độ trung bình (hoặc các đại lượng vô hướng khác); công thức cho số lượng rối gần tường.

Tùy thuộc vào sự lựa chọn của mô hình nhiễu loạn, Ansys Fluent cung cấp sáu (06) lựa chọn phương pháp tiếp cận hàm tường:

- (1) Hàm tường tiêu chuẩn (*Standard Wall Functions*)
- (2) Hàm tường có thể mở rộng (*Scalable Wall Functions*)
- (3) Hàm tường không cân bằng (*Non-Equilibrium Wall Functions*)
- (4) Hàm tường nâng cao (*Enhanced Wall Functions*) (là một phần của EWT)
- (5) Hàm tường Menter – Lechner (*Menter – Lechner Wall Functions*)
- (6) Hàm tường do người dùng xác định (*User-Defined Wall Functions*)

3.2.3. Cụ thể hóa mô phỏng số trong Ansys Fluent

Khởi đầu tạo mô hình hình học bằng DesignModeler.

(1) Geometry

Workbench\Fluid Flow(Fluent) → Geometry → New DesignModeler Geometry.

Vẽ Sketch hình dạng pano gồm chiều rộng = 1.4 m, chiều cao = 0.5 m, vị trí so với góc tọa độ (0.5 m; 0.25 m). Chiều dày pano, tạo Extrude 1, Depth = 0.15 m.

Sử dụng Enclosure để tạo hầm gió ảo → generate.

(2) Mesh

Mesh → Edit → body → nhấn ctrl để chọn nhiều body.

Physic preference (lĩnh vực vật lý): CFD.

Solver preference: fluent.

Sizing → Use advanced size function: on proximity and curvature.

Relevance center: fine.

Initial size seed: active assembly.

Smoothing: high.

Span angle center: fine.

Generate mesh → Relevance: 100

Generate mesh → Max face size: 1.50. Max size: 1.50

Generate mesh → edges → create named selection → Inlet, Outlet, mat doc ...

Solver Type: Pressure-Based; Velocity Formulation: Absolute; Time: Transient

k-epsilon (2eqn); Cmu = 0.09; C1-Epsilon: 1.44; C2-Epsilon: 1.92; TKE Prandtl

Number: 1

(3) Setup

+ Setup → Edit → Double Precision. Processing Options → Serial.

+ General: Type → Pressure-Based; Velocity Formulation → Absolute; Time chọn Steady.

+ Models: Dùng mô hình liền 1 khối (1 part). Chọn Viscous -Laminar.

+ Material\create\fluid\fluent database\air\Change/Create; Solid\fluent database\Steel-new\Change/Create.

+ Cell Zone Conditions\ chọn Zone\ tên và chọn material tương ứng. Wood, Density 700 kg/m³, Cp = 2310 j/kg-k, độ dẫn nhiệt 0.173 w/m-k.

(4) Điều kiện biên

+ Boundary Conditions\kích → inlet\ type=velocity-inlet\ Edit\Velocity Magnitude (m/s) = 40.

+ Boundary condition → outlet\ type = pressure-outlet\edit\→ Gauge Pressure (pascal) = 0.

Turbulent Intensity: 5%; Turbulent Viscosity Ratio: 10.

(5) Solution

- Solution Methods\Pressure-Velocity Coupling\ Scheme\Coupled.

- Monitors\Residuals, Drag, Lift.

- Spacial Discretization → second order.

- Solution Initialization\ Standard Initialization\ Compute from inlet → Initialize.

- Run calculation. Time Step Size (s) : 0.005; Number Time Steps: 80; Max Iterations/Time Step: 5.

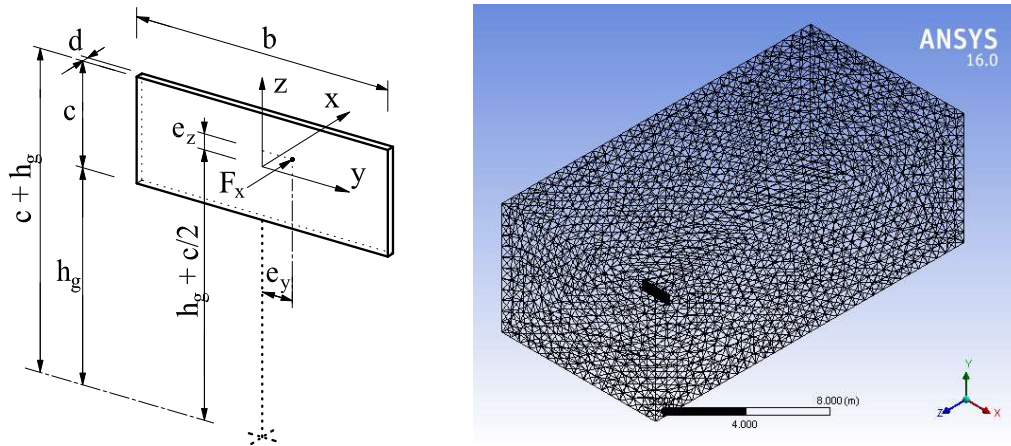
Bảng 3.3. Một số thông số chính của mô hình và kết quả tính

STT	Dữ liệu	Tỉ lệ 1:1	Tỉ lệ 1:10	Tỉ lệ 1:30
1	Số phần tử	1294013	130454	158037
2	Min Orthogonal Quality	0,24	0,23	0,28
3	Max Skewness	0,80	0,80	0,80
4	Vận tốc gió (m/s)	40,00	26,43	21,68
5	Thời gian tính	6 giờ 32 phút	26 phút	26 phút
6	F _x (N)	83049,8	393,493	31,530
7	F _y (N)	198,9	3,4465	0,6962
8	M _z (Nm)	6146,2	8,0174	0,4072
9	C _{f,x}	1,186	1,288	1,380
10	C _{f,y}	0,026	0,105	0,284
Ghi chú: Thông số đầu vào và kết quả tính ứng với mẫu M2 (xem Bảng 3.8), mô hình chảy tầng, vận tốc gió không đổi.				

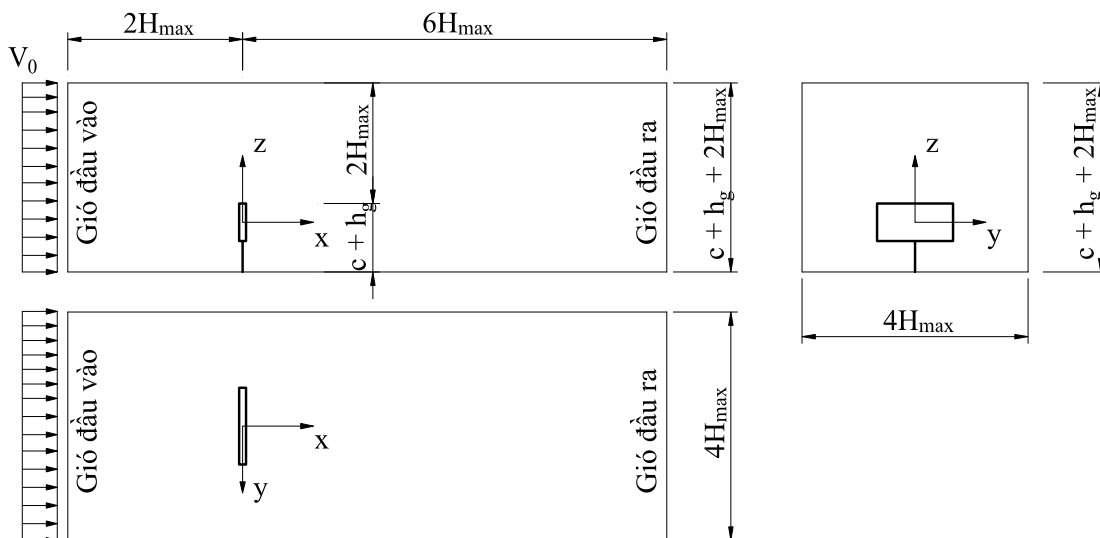
3.3. Lựa chọn thông số mô phỏng trong phần mềm Ansys Fluent

Để xác định hệ số khí động, lực gió và độ lệch tâm của lực gió tác động lên pano thông qua mô phỏng số trong mô đun Fluent, cần đánh giá ảnh hưởng của kích thước vùng không gian mô phỏng, lựa chọn mô hình dòng rối và hàm tường. Theo đó, sử dụng mẫu pano bảng quảng cáo tỉ lệ thu nhỏ có trong tài liệu [63] để xác định hệ số khí động đối với pano bằng phần mềm Ansys Fluent. Thông qua việc so sánh hệ số lực đối với pano theo kết quả của Meyer et al. (2017) [63] và kết quả hệ số khí động thông qua mô phỏng số bằng mô đun Fluent.

Thông số kích thước pano $b \times c \times d = (1,8 \times 0,6 \times 0,06)$ m, pano được đặt ở độ cao $h_g = 2,0$ m so với mặt đất (mô hình 3D như ở Hình 3.3). Vận tốc gió phân bố đều theo chiều cao $V_0 = 40,00$ m/s, tỷ trọng không khí $1,225$ kg/m³ (tương đồng với nghiên cứu [63]).



Hình 3.3. Mẫu pano bảng quảng cáo và chia lưới trong Ansys Fluent



Hình 3.4. Vùng không gian mô phỏng trong Ansys Fluent

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

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

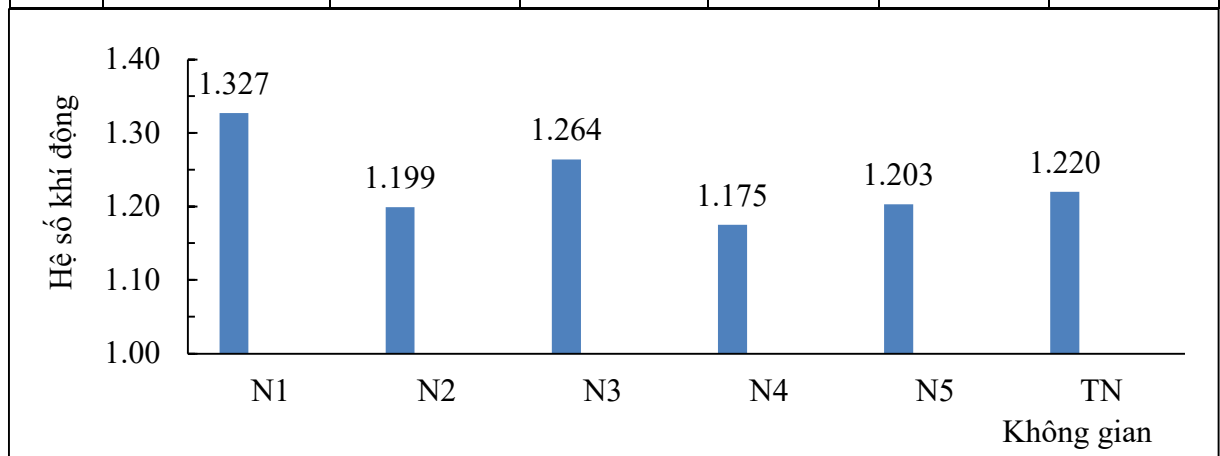
- Bề mặt pano bảng quảng cáo là nhẵn, tức là được bọc phẳng (không xét đến các yếu tố khác của pano như: dầm đỡ, cột chống đỡ v.v...).

3.3.1. Lựa chọn kích thước vùng không gian mô phỏng

Sử dụng vùng không gian mô phỏng (Hình 3.4) của hầm gió ảo là hình hộp chữ nhật có các kích thước như ở Bảng 3.4. Tính toán hệ số khí động $C_{p,x}$ cho 5 vùng không gian chia lưới từ N1 đến N6 (xét trong cùng điều kiện mô hình dòng rôi). Kết quả tính toán được so sánh với kết quả thí nghiệm (TN) $C_{Fx} = 1,220$ của Meyer D., và cộng sự (2017) [63], được ghi ở Bảng 3.4.

Bảng 3.4. Các kích thước không gian mô phỏng (TL 1:10)

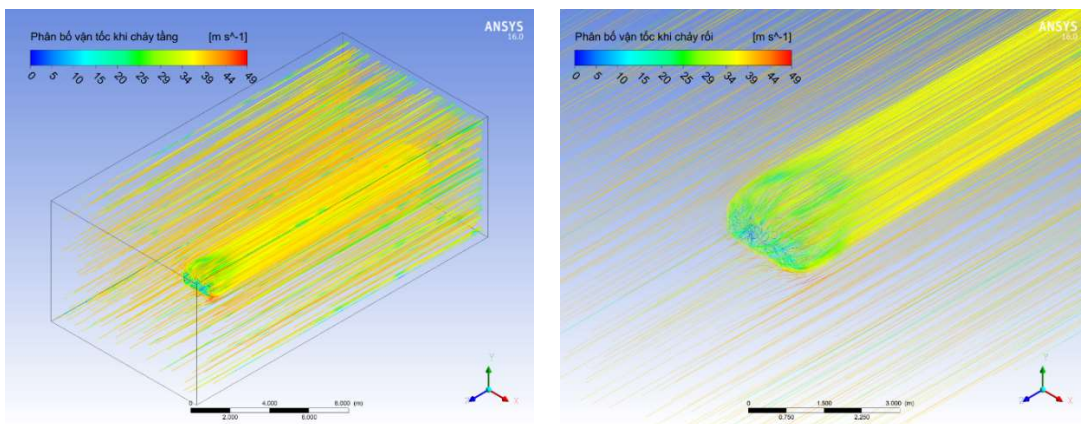
STT	Vùng không gian	Kích thước (m)			Hệ số khí động $C_{p,x}$	Chênh lệch (%)
		Dài	Rộng	Cao		
1	N1	10,46	5,20	4,90	1,327	8,8
2	N2	20,86	10,40	7,50	1,199	-1,7
3	N3	31,26	15,60	10,10	1,264	3,6
4	N4	41,66	20,80	12,70	1,175	-3,6
5	N5	52,06	26,00	15,30	1,203	-1,4



Hình 3.5. Giá trị hệ số khí động theo kích thước không gian mô phỏng

Từ đồ thị ở Hình 3.5 và số liệu ở Bảng 3.4 cho thấy, kích thước không gian chia lưới càng lớn, có nghĩa chất lượng lưới càng “mịn” thì kết quả càng chính xác. Với các kích thước không gian đủ lớn (không gian N2, N3, N4, N5), sai khác giữa kết quả mô phỏng bằng phần mềm Ansys Fluent và kết quả thí nghiệm nhỏ hơn 4%. Với vùng không gian nhỏ nhất (không gian N1), 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 mà có yêu cầu độ chính xác không quá cao (sai lệch so với kết quả thí nghiệm < 5%) và cần thời gian tính toán nhanh thì nên lựa chọn kích thước không gian N2.

3.3.2. Lựa chọn mô hình dòng chảy rối

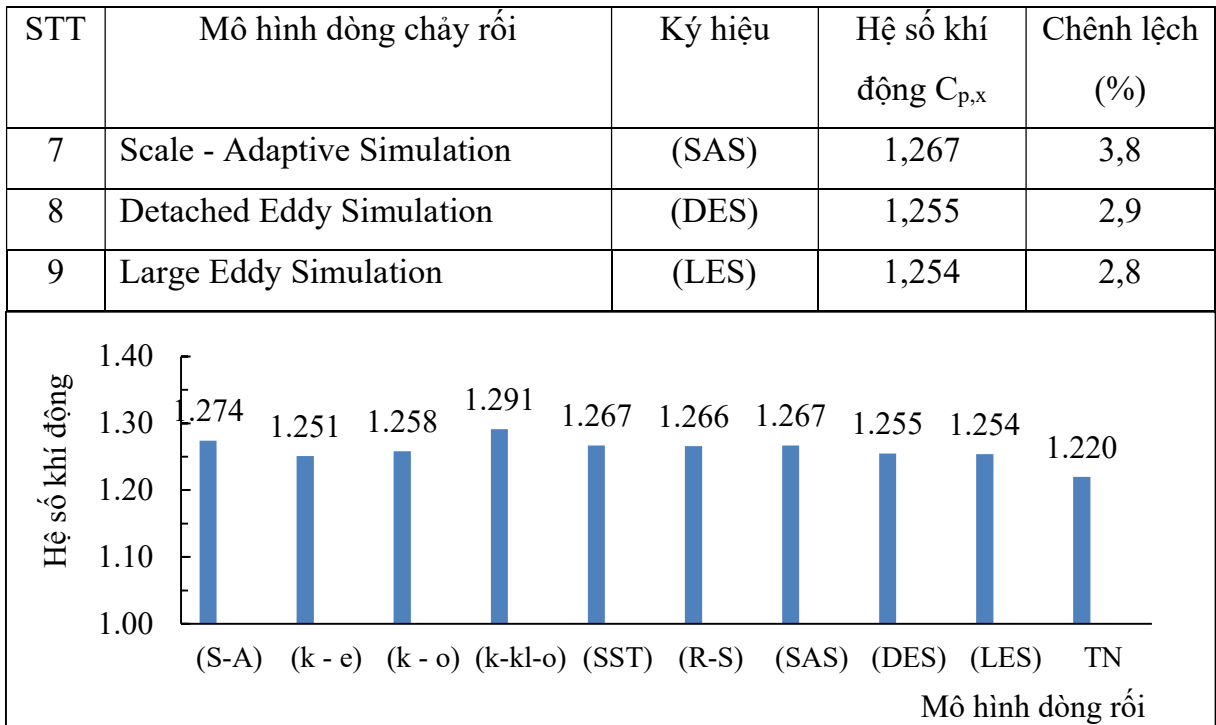


Hình 3.6. Phân bố vận tốc chảy tầng và chảy rối trong Ansys Fluent

Kết quả hệ số khí động đối với 9 mô hình dòng chảy rối và chênh lệch giá trị hệ số khí động so với kết quả thí nghiệm (TN) $C_{Fx} = 1,220$ của Meyer D., và cộng sự (2017) [63], được ghi ở Bảng 3.5 và minh họa kết quả ghi ở Hình 3.7.

Bảng 3.5. Giá trị hệ số khí động theo các mô hình dòng chảy rối

STT	Mô hình dòng chảy rối	Ký hiệu	Hệ số khí động $C_{p,x}$	Chênh lệch (%)
1	Spalart – Allmaras (1 eqn)	(S - A)	1,274	4,4
2	k - epsilon (2 eqn)	(k - e)	1,251	2,5
3	k - omega (2 eqn)	(k - o)	1,258	3,1
4	Transition k-kl-omega (3 eqn)	(k - kl - o)	1,291	5,8
5	Transition SST (4 eqn)	(SST)	1,267	3,8
6	Reynolds Stress (7 eqn)	(R-S)	1,266	3,8

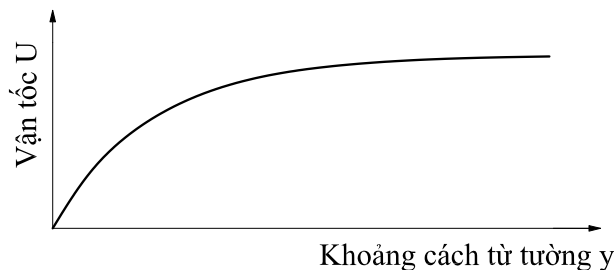


Hình 3.7. Giá trị hệ số khí động theo các mô hình dòng chảy rối

Từ đồ thị Hình 3.7 và số liệu ở Bảng 3.5 cho thấy, việc lựa chọn mô hình dòng chảy rối ảnh hưởng đáng kể đến giá trị hệ số khí động (sai khác so với giá trị thí nghiệm từ 2,5% đến 5,8%). Mô hình dòng rối k - epsilon có kết quả phù hợp nhất so với kết quả thí nghiệm (sai khác nhỏ hơn 3%). Các mô hình dòng chảy rối còn lại có sự chênh lệch đáng kể so với kết quả thí nghiệm (chênh lệch từ 3,1% đến 5,8%). Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu đã công bố [39], [49] về khí động học đối với bảng quảng cáo.

3.3.3. Lựa chọn mô tả hàm tường

Khi gió tác động vào bề mặt pano, giá trị vận tốc gió tại bề mặt pano bằng 0. Càng gần bề mặt bảng quảng cáo, giá trị vận tốc thay đổi càng nhanh (Hình 3.8). Để mô tả chính xác giá trị vận tốc gió tại vị trí gần lớp biên, cách đơn giản nhất là chia lưới thật mịn tại các vị trí này, tuy nhiên lại làm tăng khối lượng và thời gian tính toán.

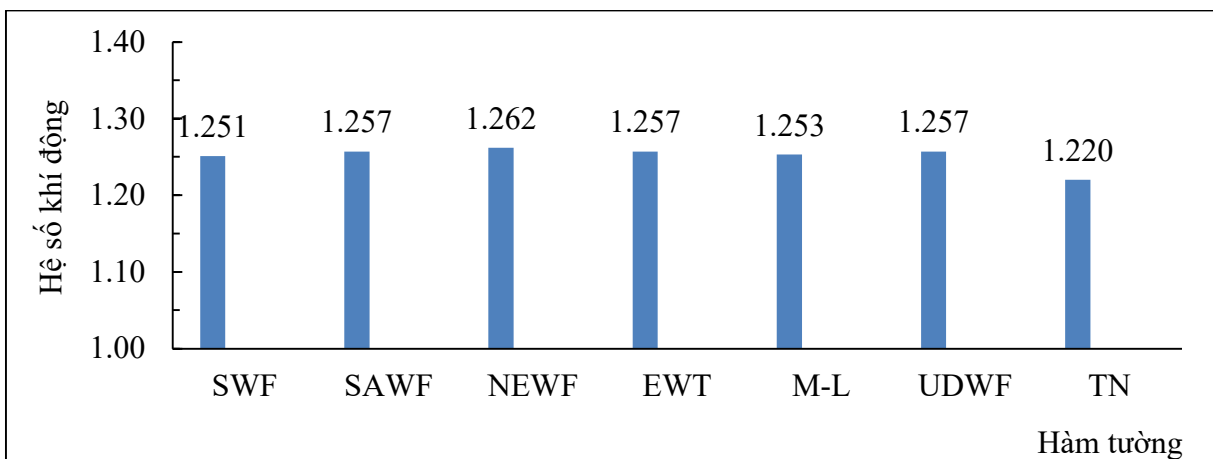


Hình 3.8. Giá trị vận tốc theo khoảng cách đến lớp biên

Để giảm khối lượng tính toán mà vẫn đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu, trong Fluent sử dụng các mô tả “hàm tường”. 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 3.6. Hệ số khí động theo các mô tả hàm tường

STT	Mô tả hàm tường	Ký hiệu	Hệ số khí động $C_{p,x}$	Chênh lệch (%)
1	Standard Wall Functions	SWF	1,251	2,5
2	Scalable Wall Functions	SAWF	1,257	3,0
3	Non-Equilibrium Wall Functions	NEWF	1,262	3,4
4	Enhanced Wall Treatment	EWT	1,257	3,0
5	MenterLechner	M-L	1,253	2,7
6	User-Defined Wall Functions	UDWF	1,257	3,0



Hình 3.9. Giá trị hệ số khí động theo các mô tả hàm tường

Trong mô hình dòng chảy rối k-epsilon (2 equ) của Ansys Fluent cung cấp 6 cách mô tả hàm tường (như ở Bảng 3.6). Chênh lệch kết quả tính toán hệ số khí động ứng với các mô tả hàm tường so với kết quả thực nghiệm ghi ở Hình 3.9. Trong nghiên cứu này, tác giả luận án tính toán hệ số khí động theo mô hình dòng chảy rối k-epsilon theo cả 6 cách mô tả hàm tường.

Dựa vào đồ thị Hình 3.9 cho thấy, mô tả hàm tường Standard Wall Functions có sự phù hợp nhất đối với kết quả hệ số khí động giữa việc mô phỏng số và thí nghiệm của Meyer D., I. và cộng sự (2017) [63] đối với pano bảng quảng cáo.

3.3.4. Lực gió tác động lên pano

Kết quả tính toán lực (F_x là lực gió; M_y và M_z là mô men xoắn theo phương y và phương z); e_y và e_z là độ lệch tâm của F_x theo phương y và z) cho trường hợp chảy tầng và chảy rối (sử dụng mô hình dòng chảy rối k- ω) ghi ở Bảng 3.7.

Bảng 3.7. Kết quả lực, mô men xoắn và độ lệch tâm

Đại lượng và đơn vị	Trường hợp chảy tầng			Trường hợp chảy rối		
	Mặt trước	Mặt sau	Tổng thể	Mặt trước	Mặt sau	Tổng thể
Lực gió F_x (N)	755	738	1493	773	732	1505
M_y (N.m)	6,288	3,155	9,443	5,828	2,231	8,059
M_z (N.m)	8,110	94,193	102,303	7,516	90,744	98,260
e_y (m)	0,008	0,004	0,006	0,008	0,003	0,005
e_z (m)	0,011	0,128	0,069	0,010	0,124	0,065

Ghi chú: Kiểm tra kết quả tính lực đẩy $F_x = 1505$ N, đối với trường hợp chảy rối k- ω (hệ số khí động $c = 1,258$), với hệ số độ cao $k = 1,161$, $V_0 = 40,00$ m/s, pano (1,8×0,6) m.
 $F_x = 0,0613 \times 40^2 \times 1,161 \times 1,258 \times 1,8 \times 0,6 = 1547,0$ N, chênh so với mô phỏng số là -2,8%.

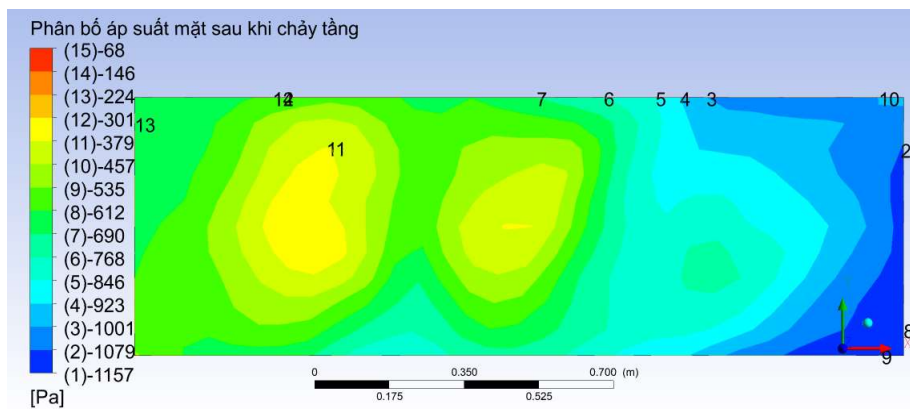
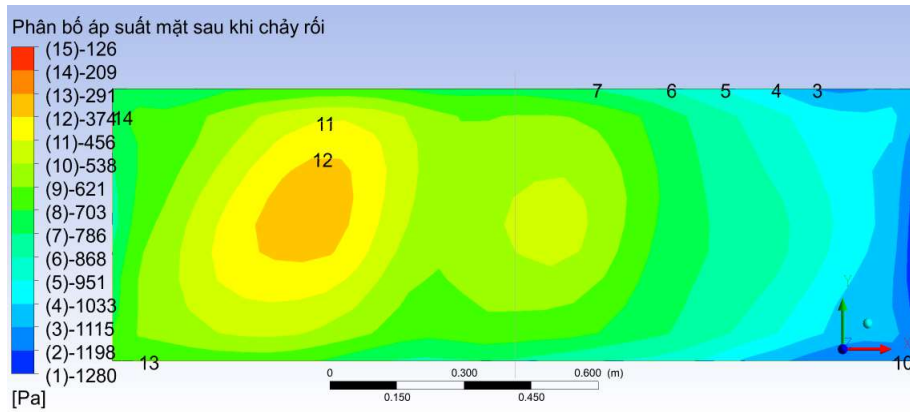
Minh họa kết quả tính theo mô phỏng số pano bằng quảng cáo trong phần mềm Ansys Fluent ghi ở các Hình 3.10 và Hình 3.11.

Nhận xét:

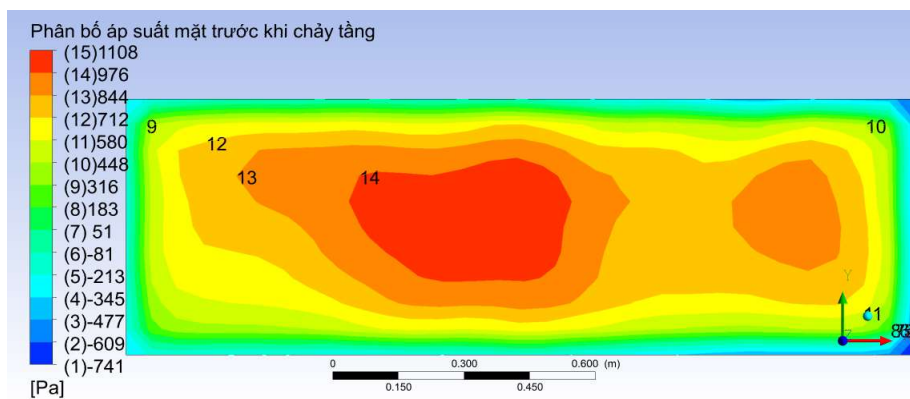
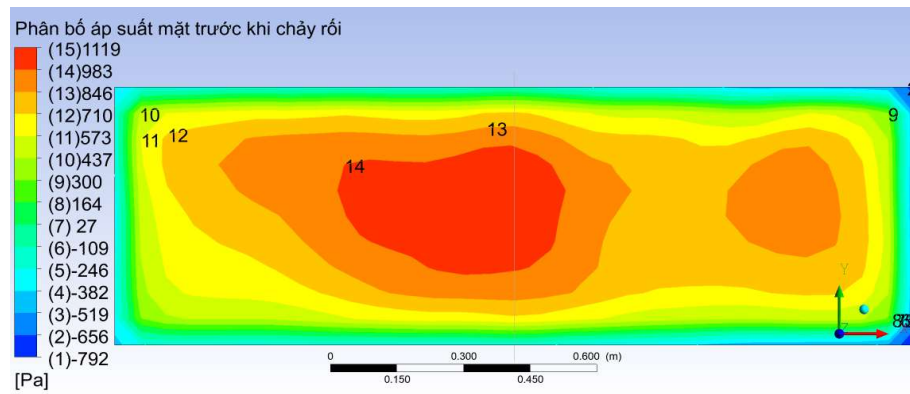
- Như vậy, các nghiên cứu tiếp theo sẽ sử dụng kích thước không gian của hàm gió ảo tối thiểu là $8H_{\max} \times 4H_{\max} \times 3H_{\max}$ (trong đó $H_{\max} = \max(b; c+h_g) = c+h_g$) mô hình dòng chảy rối Laminar, k – epsilon và LES, hàm tường Standard Wall Functions.

- Kết quả hệ số khí động ghi ở Bảng 3.6 là giá trị trung bình trên bề mặt pano, khá phù hợp với quy định trong TCVN 2737:1995, ISO 4354:2009, AIJ-2015, GB 50009-2012, IS 875 (chênh lệch dưới 5%), nhưng chênh lệch khá lớn so với ASCE/SEI 7-16, EN 1991-1-4.

- Kết quả mô men xoắn quanh trục y-y và z-z, thể hiện gió tác động vào pano gây xoắn cho pano, và uốn cột đỡ (mô men uốn M_y khá nhỏ so với M_z , nên có thể bỏ qua thành phần M_y). Lực tác động vào pano đặt lệch tâm so với trọng tâm của pano, điều này phù hợp với các quy định trong TCVN 2737:2023 [13], ASCE/SEI 7-16 [23] và EN 1991-1-4 [46] (lực gió đặt lệch tâm pano).



Hình 3.10. Phân bố áp suất mặt sau pano khi chảy tầng và chảy rôi



Hình 3.11. Phân bố áp suất mặt trước pano khi chảy tầng và chảy rôi

3.4. Khảo sát tham số ảnh hưởng đến hệ số khí động và lực gió

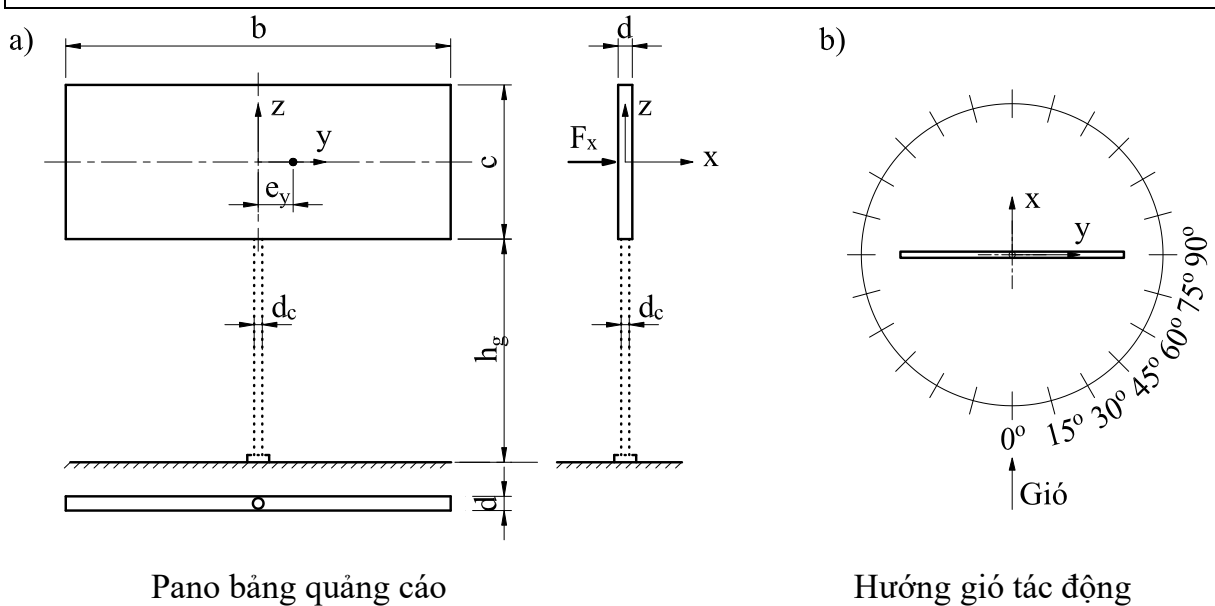
3.4.1. Mẫu thử nghiệm số

Sử dụng sáu (06) mẫu bảng cáo thu nhỏ với tỉ lệ kích thước TL 1:10 và TL 1:30 dùng cho thử nghiệm số bằng phần mềm Ansys Fluent, tương ứng với kích thước pano dài×rộng×dày ($b \times c \times d$) và chiều cao đặt pano h_g khác nhau (Bảng 3.8). Ký hiệu kích thước mẫu bảng quảng cáo và góc hướng gió tác động như ở Hình 3.12.

Bảng 3.8. Kích thước mẫu bảng quảng cáo (m)

Mẫu số	Ký hiệu	Mẫu tỉ lệ 1:10					Mẫu tỉ lệ 1:30				
		b	c	h_g	d	d_c	b	c	h_g	d	d_c
1	M1	1,4	0,5	1,5	0,15	0,12	0,47	0,17	0,50	0,05	0,04
2	M2	1,4	0,5	1,2	0,15	0,12	0,47	0,17	0,40	0,05	0,04
3	M3	1,4	0,5	0,9	0,15	0,12	0,47	0,17	0,30	0,05	0,04
4	M4	1,8	0,6	1,8	0,15	0,12	0,60	0,20	0,60	0,05	0,04
5	M5	1,8	0,6	1,5	0,15	0,12	0,60	0,20	0,50	0,05	0,04
6	M6	1,8	0,6	1,2	0,15	0,12	0,60	0,20	0,40	0,05	0,04

Chú thích: Kích thước thực của các mẫu 1 đến mẫu 3 là $b \times c = (14 \times 5)$ m; mẫu 4 đến mẫu 6 là $b \times c = (18 \times 6)$ m. Tất cả các mẫu thực đều có chiều dày pano là $d = 1,5$ m, pano đặt ở các độ cao khác nhau, $h_g = 18$ m; $h_g = 15$ m; $h_g = 12$ m; $h_g = 9$ m.
Chỉ mô phỏng pano trong phần mềm Ansys Fluent.



Hình 3.12. Kích thước hình học của mẫu và hướng gió

Các tính toán số được tiến hành bằng phần mềm Ansys Fluent trong vùng không gian có kích thước tối thiểu, dài×rộng×cao = 8H_{max}×4H_{max}×3H_{max}, trong đó H_{max} = c + h_g. Ở đây mô hình hoá pano bằng vật liệu bằng gỗ, có nghĩa chưa xét ảnh hưởng của lực gió lên kết cấu cột đỡ tấm pano, do tiết diện cột tròn và có mặt cản khá nhỏ so với diện tích bề mặt pano. Các hệ số khí động cản chính diện (hệ số lực) C_{p,x} và độ lệch tâm e_y của lực gió tác động lên pano được xác định thông qua mô phỏng số pano bảng quảng cáo trong dòng chảy tầng (Laminar) và chảy rối (k-epsilon và LES). Vận tốc trung bình và cấu hình cường độ nhiễu loạn được tính cho ba (03) profile vận tốc gió theo các tiêu chuẩn TCVN 2737:1995 (viết tắt là VN95), TCVN 2737:2023 (viết tắt là VN23) và EN 1991-1-4 (viết tắt là EN) ở tỉ lệ hình học tương ứng là 1:10 và 1:30.

Lực gió F_x tác động tại đường trung tâm theo chiều cao pano, mô men xoắn xung quanh trục trung tâm thẳng đứng của pano M_z do độ lệch tâm e_y của lực gió F_x. Hệ số khí động trung bình của lực gió được xác định bởi [63]:

$$C_{p,x} = \frac{F_x}{0,5\rho U^2(bc)}, \quad C_{p,y} = \frac{F_y}{0,5\rho U^2(dc)}, \quad C_p = \sqrt{C_{p,x}^2 + C_{p,y}^2} \quad (3.5)$$

với $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ là mật độ không khí; F_x, F_y là lực gió theo hướng dọc và ngang luồng gió và U là vận tốc trung bình ở tâm của pano bảng quảng cáo.

Các tham số được chọn để khảo sát trong nghiên cứu này là tỉ lệ mẫu (1:10 và 1:30), mô hình chảy tầng và chảy rối, profile vận tốc gió và dạng địa hình ứng với các kích thước pano (b×c), cao độ đặt pano so với mặt nền h_g có ảnh hưởng đến lực gió F_x, hệ số khí động C_{p,x} và độ lệch tâm e_y của lực gió.

Kết quả mô phỏng số bao gồm: hệ số khí động C_{p,x}, lực gió F_x và độ lệch tâm e_y đối với 06 mẫu (từ mẫu M1 đến mẫu M6), tương ứng với các tỉ lệ mẫu 1:10 và 1:30. Trong đó thể hiện lực gió F_x của tác động do gió lên pano (gồm lực đẩy và lực hút) trong dòng chảy tầng và dòng chảy rối; kết quả độ lệch tâm e_y của lực ngang F_x đối với trọng tâm pano và hệ số khí động C_{p,x} theo các tiêu chuẩn VN95, VN23 và EN ứng với các dạng địa hình A, B và C theo VN95, VN23 và dạng địa hình I, II và III theo EN. Kết quả nhận được là giá trị chênh lệch theo các tiêu chuẩn VN95, VN23 và EN đối với độ lệch tâm e_y và hệ số khí động ứng với mô hình dòng chảy tầng (Laminar) và dòng chảy rối (k-epsilon và LES).

3.4.2. Ảnh hưởng của tỉ lệ mẫu

Hình 3.13 và Hình 3.14 biểu thị kết quả của Bảng 3.9 (tỉ lệ mẫu 1:10 và 1:30) ứng với hệ số khí động cản chính diện của 06 mẫu pano bảng quảng cáo với các mô hình rối khác nhau (lấy mô hình rối k-epsilon làm chuẩn), đối với địa hình dạng B theo TCVN 2737:1995 dưới dạng hàm số của tỷ số kích thước pano ($b/c = 2,8$ và $b/c = 3,0$) đối với các tỷ số cao độ đặt pano khác nhau (c/h_g).

Bảng 3.9. Hệ số khí động $C_{p,x}$ của 06 mẫu (TL 1:10 và 1:30)

Stt	Mẫu số	Tỉ lệ mẫu	Giá trị $C_{p,x}$ ứng với mô hình rối			Chênh lệch (%)	
			Laminar	k-epsilon	LES	(4)/(5)	(5)/(6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	1	1:10	1,25	1,25	1,27	-0,4	-1,1
		1:30	1,29	1,26	1,32	2,0	-4,8
2	2	1:10	1,20	1,24	1,26	-3,3	-1,7
		1:30	1,31	1,27	1,36	2,8	-6,3
3	3	1:10	1,23	1,27	1,33	-3,1	-5,1
		1:30	1,26	1,28	1,29	-1,4	-0,9
4	4	1:10	1,26	1,28	1,28	-1,7	0,2
		1:30	1,22	1,25	1,22	-1,9	1,8
5	5	1:10	1,29	1,27	1,28	1,9	-1,5
		1:30	1,23	1,27	1,29	-2,5	-2,2
6	6	1:10	1,27	1,32	1,37	-4,2	-3,8
		1:30	1,24	1,25	1,27	-0,3	-1,8

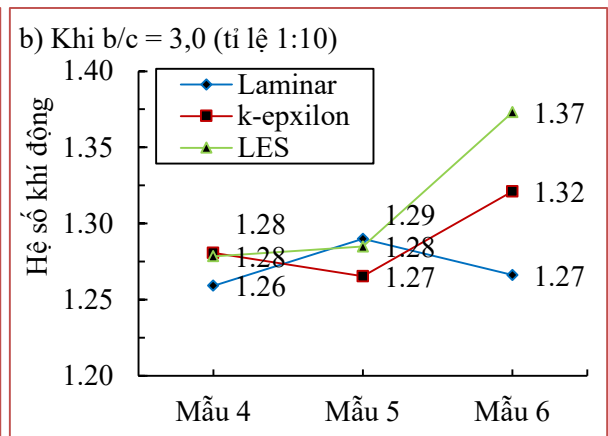
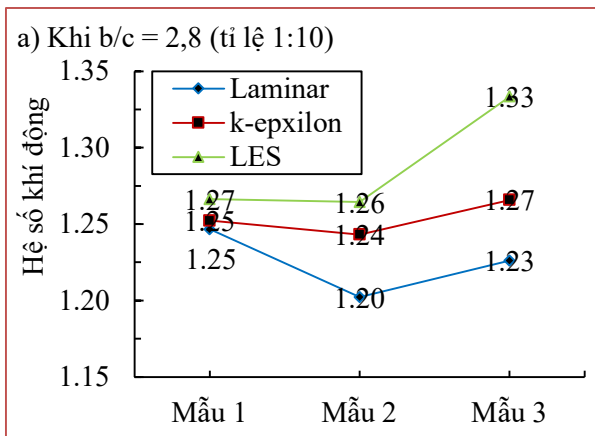
Chú thích: Tỷ số $b/c = 2,8$ và $b/c = 3,0$ và các tỷ số c/h_g khác nhau. Hướng gió $\theta = 0^\circ$.

Nhận xét:

Tỉ lệ thu nhỏ đối với mẫu bảng quảng cáo (TL 1:10) và (TL 1:30) ảnh hưởng không đáng kể đến giá trị của hệ số khí động $C_{p,x}$ ứng với các mô hình rối khác nhau (Laminar, k-epsilon và LES), tỷ số kích thước pano (b/c) và tỷ số cao độ đặt pano (c/h_g). Vì thế, các nghiên cứu tiếp theo sẽ sử dụng kết quả mô phỏng số đối với bảng quảng cáo có tỉ lệ mẫu TL 1:10 để so sánh với kết quả của nghiên cứu khác.

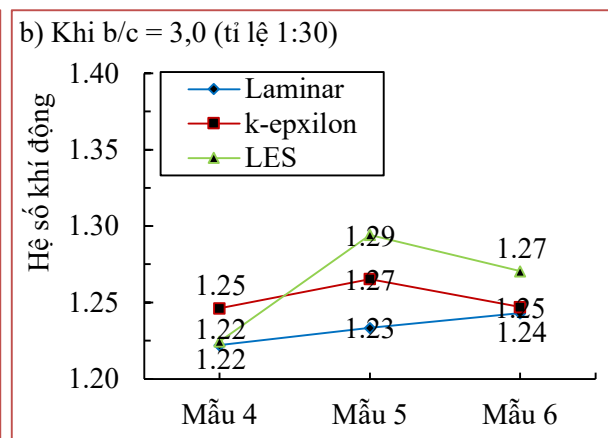
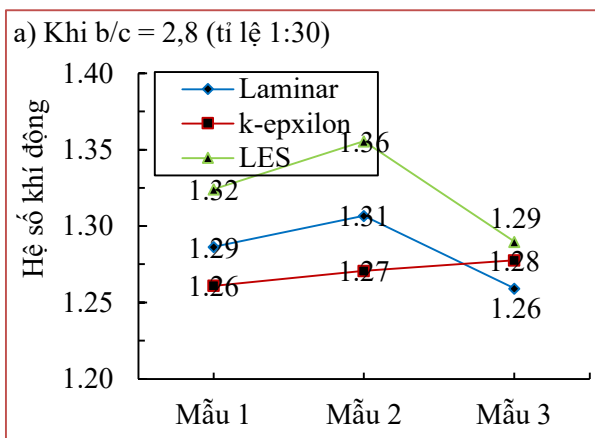
Bảng 3.10. Hệ số khí động $C_{p,x}$ ứng với các mô hình dòng rối và tỉ lệ mẫu

Mẫu số	Laminar			k-epsilon			LES		
	TL 1:10	TL 1:30	Chênh (%)	TL 1:10	TL 1:30	Chênh (%)	TL 1:10	TL 1:30	Chênh (%)
1	1,25	1,29	3,18	1,25	1,26	0,69	1,27	1,32	4,56
2	1,20	1,31	8,68	1,24	1,27	2,21	1,26	1,36	7,21
3	1,23	1,26	2,71	1,27	1,28	0,93	1,33	1,29	-3,27
4	1,26	1,22	-2,94	1,28	1,25	-2,68	1,28	1,22	-4,22
5	1,29	1,23	-4,38	1,27	1,27	0,00	1,28	1,29	0,73
6	1,27	1,24	-1,83	1,32	1,25	-5,60	1,37	1,27	-7,47



Chú thích: Tỷ số $b/c = 2,8$ và tỷ số $c/h_g = 0,33$, $c/h_g = 0,42$ và $c/h_g = 0,56$.

Hình 3.13. Hệ số khí động $C_{p,x}$ ứng với các mẫu (TL 1:10)



Chú thích: Tỷ số $b/c = 3,0$ và tỷ số $c/h_g = 0,33$, $c/h_g = 0,40$ và $c/h_g = 0,5$.

Hình 3.14. Hệ số khí động $C_{p,x}$ ứng với các mẫu (TL 1:30)

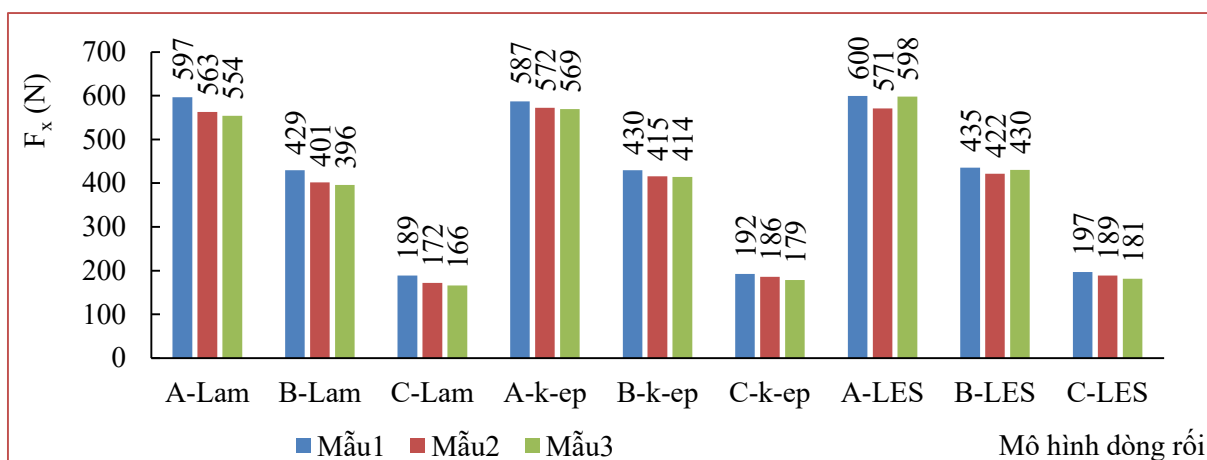
3.4.3. Ảnh hưởng của mô hình chảy rối

Hình 3.15 và Bảng 3.11 biểu thị giá trị lực gió F_x đối với pano bảng quảng cáo có kích thước (14×5) m với tỉ lệ thu nhỏ (TL 1:10) từ các mô hình rối khác nhau (Laminar, k-epsilon và LES, lấy mô hình k-epsilon làm chuẩn) và dạng địa hình khác nhau (A, B và C), lực gió được xác định đối với pano ở tỷ số cao độ (c/h_g) khác nhau.

Bảng 3.11. Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)

Stt	Dạng địa hình	Mô hình rối	Lực F_x (N) ứng với mẫu			Chênh lệch (%)	
			1	2	3	(4)/(5)	(5)/(6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	A	Lam	597	563	554	6,0	1,6
2	B		429	401	396	7,0	1,5
3	C		189	172	166	10,0	3,2
4	A	k-ep	587	572	569	2,6	0,5
5	B		430	415	414	3,4	0,3
6	C		192	186	179	3,5	4,0
7	A	LES	600	571	598	5,0	-4,5
8	B		435	422	430	3,3	-2,0
9	C		197	189	181	4,2	4,2

Chú thích: Tỷ số b/c = 2,8 và các tỷ số c/h_g khác nhau. Hướng gió $\theta = 0^\circ$.



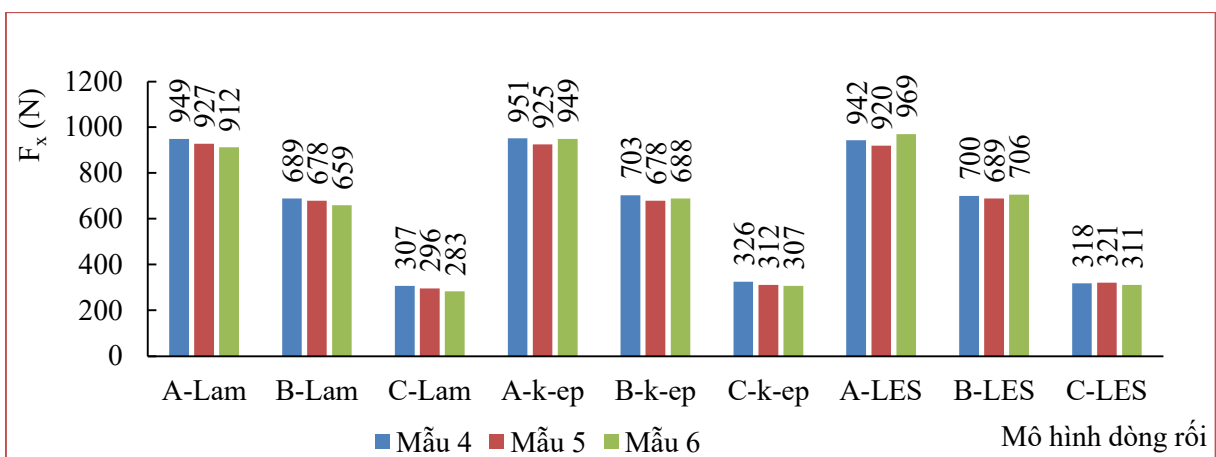
Hình 3.15. Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)

Hình 3.16 và Bảng 3.12 biểu thị giá trị lực gió F_x đối với pano bảng quảng cáo có kích thước (18×6) m với tỉ lệ thu nhỏ (TL 1:10) từ các mô hình rối khác nhau (Laminar, k-epsilon và LES) và dạng địa hình khác nhau (A, B và C theo TCVN 2737:1995), lực gió được xác định đối với pano có tỷ số cao độ (c/h_g) khác nhau.

Bảng 3.12. Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)

Stt	Dạng địa hình	Mô hình rối	Lực F_x (N) ứng với mẫu			Chênh lệch (%)	
			4	5	6	(4)/(5)	(5)/(6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	A	Lam	949	927	912	2,4	1,7
2	B		689	678	659	1,6	2,9
3	C		307	296	283	3,9	4,6
4	A	k-ep	830	809	801	2,6	1,0
5	B		612	601	571	1,9	5,2
6	C		330	320	300	2,9	6,9
7	A	LES	993	954	914	4,0	4,5
8	B		774	740	692	4,6	6,9
9	C		492	460	425	6,9	8,3

Chú thích: Tỷ số $b/c = 3,0$ và các tỷ số c/h_g khác nhau. Hướng gió $\theta = 0^\circ$.



Hình 3.16. Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)

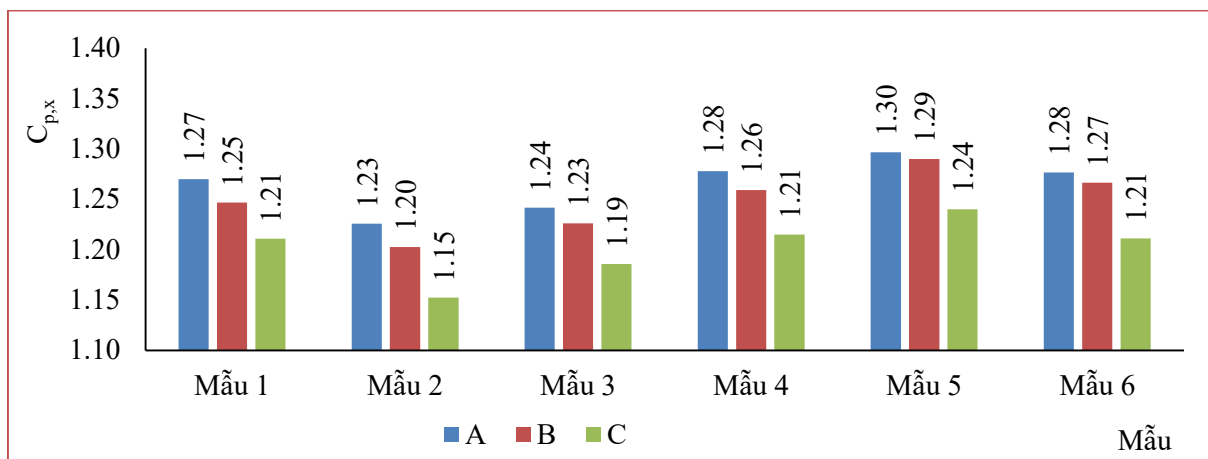
3.4.4. Ảnh hưởng của dạng địa hình

Hình 3.17 và Bảng 3.13 biểu thị giá trị hệ số khí động $C_{p,x}$ đối với pano bảng quảng cáo có kích thước (14×5) m và (18×6) m với tỉ lệ thu nhỏ (TL 1:10) từ mô hình chảy tầng (Laminar) và dạng địa hình khác nhau (A, B và C theo TCVN 2737:1995, lấy dạng địa hình B làm chuẩn), hệ số khí động được xác định đối với pano có tỷ số kích thước $b/c = 2,8$ và $b/c = 3,0$ đặt ở tỷ số cao độ (c/h_g) khác nhau.

Bảng 3.13. Hệ số khí động $C_{p,x}$ của 06 mẫu

Stt	Mẫu số	Hệ số khí động $C_{f,x}$ ứng với địa hình dạng			Chênh (%)	
		A	B	C	(3)/(4)	(4)/(5)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	1	1,27	1,25	1,21	1,8	3,0
2	2	1,23	1,20	1,15	1,9	4,4
3	3	1,24	1,23	1,19	1,3	3,4
4	4	1,28	1,26	1,21	1,5	3,7
5	5	1,30	1,29	1,24	0,5	4,0
6	6	1,28	1,27	1,21	0,8	4,6

Chú thích: Tỷ số $b/c = 2,8$ và $b/c = 3,0$ và các tỷ số c/h_g khác nhau. Hướng gió $\theta = 0^\circ$.



Hình 3.17. Hệ số khí động $C_{p,x}$ của pano

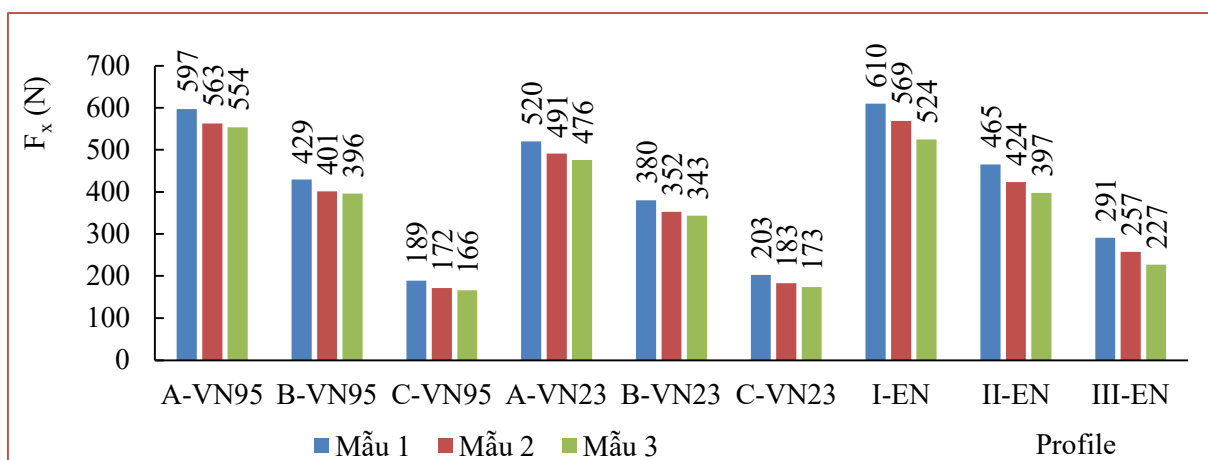
3.4.5. Ảnh hưởng của profile vận tốc gió

Hình 3.18 và Bảng 3.14 biểu thị giá trị lực gió F_x đối với pano bảng quảng cáo có kích thước (14×5) m, tỉ lệ thu nhỏ (TL 1:10) từ mô hình chảy tầng (Laminar) và profile vận tốc gió khác nhau (dạng địa hình A, B và C theo VN95, VN23; I, II và III theo EN), Lực gió F_x được xác định đối với pano có $b/c = 2,8$ và tỷ số (c/h_g) khác nhau.

Bảng 3.14. Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)

Stt	Dạng địa hình	Theo tiêu chuẩn	Lực F_x (N) của mẫu			Chênh lệch (%)	
			1	2	3	(4)/(5)	(5)/(6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	A	VN95	597	563	554	6,0	1,6
2	B		429	401	396	7,0	1,5
3	C		189	172	166	10,0	3,2
4	A	VN23	520	491	476	5,8	3,3
5	B		380	352	343	7,9	2,6
6	C		203	183	173	10,9	5,5
7	I	EN	610	569	524	7,3	8,4
8	II		465	424	397	9,9	6,6
9	III		291	257	227	13,3	13,2

Chú thích: Tỷ số $b/c = 2,8$ và các tỷ số c/h_g khác nhau. Hướng gió $\theta = 0^\circ$.



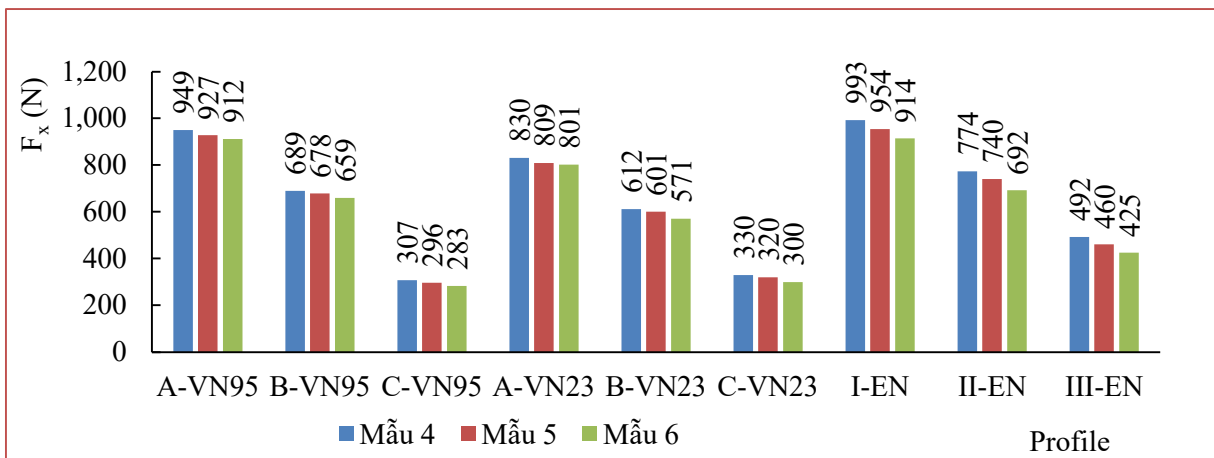
Hình 3.18. Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)

Hình 3.19 và Bảng 3.15 biểu thị giá trị lực gió F_x đối với pano bảng quảng cáo có kích thước (18×6) m với tỉ lệ thu nhỏ (TL 1:10) từ mô hình chảy tầng (Laminar) và profile vận tốc gió khác nhau (dạng địa hình A, B và C theo TCVN 2737:1995; I, II và III theo EN 1991-1-4), lực gió được xác định đối với pano có tỷ số kích thước b/c = 3,0 đặt ở tỷ số cao độ (c/h_g) khác nhau.

Bảng 3.15. Lực gió F_x của 03 mẫu (TL 1:10)

Stt	Dạng địa hình	Theo tiêu chuẩn	Lực F_x (N) của mẫu			Chênh lệch (%)	
			4	5	6	(4)/(5)	(5)/(6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	A	VN95	949	927	912	2,4	1,7
2	B		689	678	659	1,6	2,9
3	C		307	296	283	3,9	4,6
4	A	VN23	830	809	801	2,6	1,0
5	B		612	601	571	1,9	5,2
6	C		330	320	300	2,9	6,9
7	I	EN	993	954	914	4,0	4,5
8	II		774	740	692	4,6	6,9
9	III		492	460	425	6,9	8,3

Chú thích: Tỷ số b/c = 3,0 và các tỷ số c/h_g khác nhau. Hướng gió $\theta = 0^\circ$.



Hình 3.19. Lực gió F_x của 03 mẫu (18×6) m (TL 1:10)

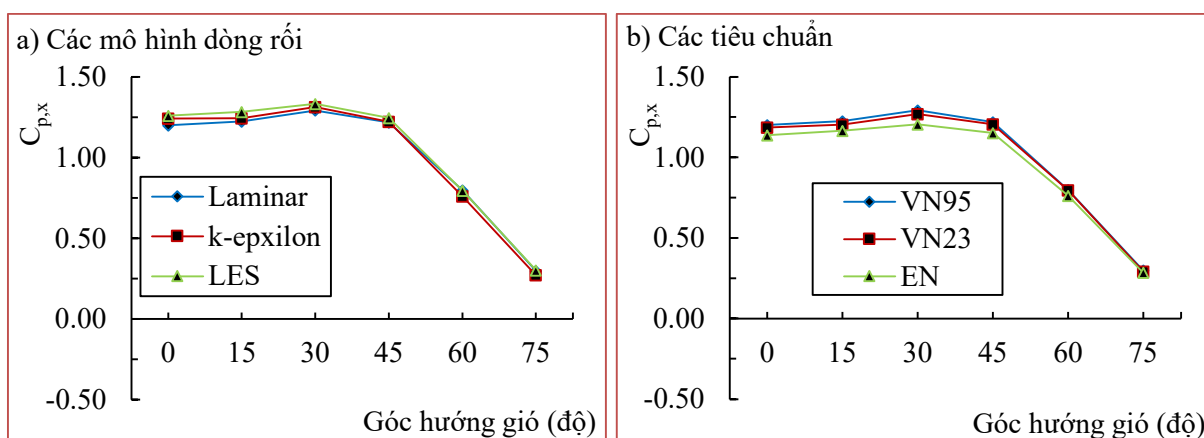
3.4.6. Ảnh hưởng của hướng gió

Bảng 3.16 là kết quả hệ số khí động $C_{p,x}$ theo các mô hình dòng chảy rối và các tiêu chuẩn ứng với các góc hướng gió khác nhau đối với mẫu 2 có tỉ lệ kích thước pano $b/c = 2,8$ và tỉ lệ độ cao đặt pano $c/h_g = 0,71$.

Bảng 3.16. Hệ số khí động $C_{p,x}$ theo các mô hình dòng rối và tiêu chuẩn

Góc θ (°)	Mô hình dòng rối			Chênh lệch		Tiêu chuẩn			Chênh lệch %	
	Lam	k-ep	LES	(2)/(3)	(3)/(4)	VN95	VN23	EN	(7)/(8)	(8)/(9)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
0	1,20	1,24	1,26	-3,4	-1,5	1,20	1,19	1,14	1,3	4,2
15	1,22	1,24	1,28	-1,6	-3,2	1,22	1,20	1,16	1,7	3,4
30	1,29	1,31	1,33	-1,6	-1,4	1,29	1,27	1,21	1,8	5,3
45	1,22	1,22	1,25	-0,3	-1,8	1,22	1,21	1,15	1,1	4,7
60	0,80	0,76	0,80	5,1	-4,6	0,80	0,80	0,76	0,2	4,4
75	0,30	0,27	0,30	9,9	-10,0	0,30	0,29	0,28	2,3	2,4

Hình 3.20 minh họa kết quả theo Bảng 3.16. Trong đó Hình 3.20a biểu diễn kết quả đối với ba mô hình dòng rối: Laminar, k-epsilon và LES. Còn Hình 3.20b biểu diễn kết quả đối với mô tả profile vận tốc gió cho địa hình dạng B theo TCVN 2737:1995, TCVN 2737:2023 và địa hình dạng II theo EN 1991-1-4. Như Cook N.J. (1990) [36] đã lưu ý, đối với pano bảng quảng cáo, hệ số lực gần như không đổi đối với các góc hướng gió từ 0° đến 45° và sau đó giảm tuyến tính. Ngoài ra, trong Hình 3.20 còn chỉ ra sự tương đồng của các mô hình dòng rối và các profile vận tốc gió.



Hình 3.20. Hệ số khí động $C_{p,x}$ ứng với các hướng gió khi $b/c = 2,8$

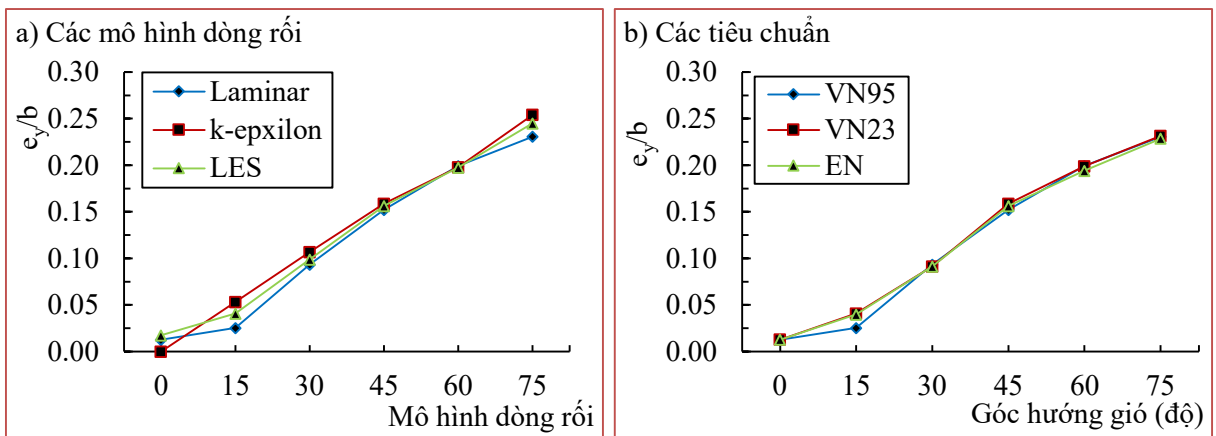
Vị trí lực gió tác động theo phương ngang so với tâm của pano là e_y , sử dụng tham số độ lệch tâm tương đối (không thứ nguyên) bằng độ lệch tâm e_y chia cho chiều rộng b của pano. Bảng 3.17 là kết quả độ lệch tâm tương đối theo các mô hình dòng rối và các tiêu chuẩn ứng với các góc hướng gió khác nhau đối với mẫu 2 có tỉ lệ kích thước pano $b/c = 2,8$ và tỉ lệ độ cao đặt pano $c/h_g = 0,71$.

Bảng 3.17. Độ lệch tâm tương đối e_y/b theo mô hình dòng rối và tiêu chuẩn

Góc θ (°)	Mô hình dòng rối			Chênh lệch		Tiêu chuẩn			Chênh lệch %	
	Lam	k-ep	LES	(2)/(3)	(3)/(4)	VN95	VN23	EN	(7)/(8)	(8)/(9)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
0	0,01	0,00	0,02	142,6	-99,5	0,01	0,01	0,01	-1,5	0,9
15	0,03	0,05	0,04	-52,1	30,0	0,03	0,04	0,04	-37,5	2,4
30	0,09	0,11	0,10	-12,5	8,2	0,09	0,09	0,09	2,3	-0,1
45	0,15	0,16	0,16	-4,2	1,6	0,15	0,16	0,16	-4,2	1,6
60	0,20	0,20	0,20	0,7	0,1	0,20	0,20	0,19	0,1	2,5
75	0,23	0,25	0,25	-9,2	3,7	0,23	0,23	0,23	-0,3	1,3

Chú thích: Kết quả tính ở cột (5), (6), (10) và (11) ứng với giá trị độ lệch tâm trước khi làm tròn số sau dấu phẩy hai chữ số.

Hình 3.21 minh họa kết quả theo Bảng 3.17. Trong đó, Hình 3.21a biểu diễn kết quả đối với ba mô hình dòng chảy rối: ổn định (Laminar), giả ổn định (k-epsilon) và chảy rối (LES). Còn Hình 3.21b biểu diễn kết quả đối với profile vận tốc gió cho địa hình dạng B theo VN95, VN23 và địa hình dạng II theo EN.



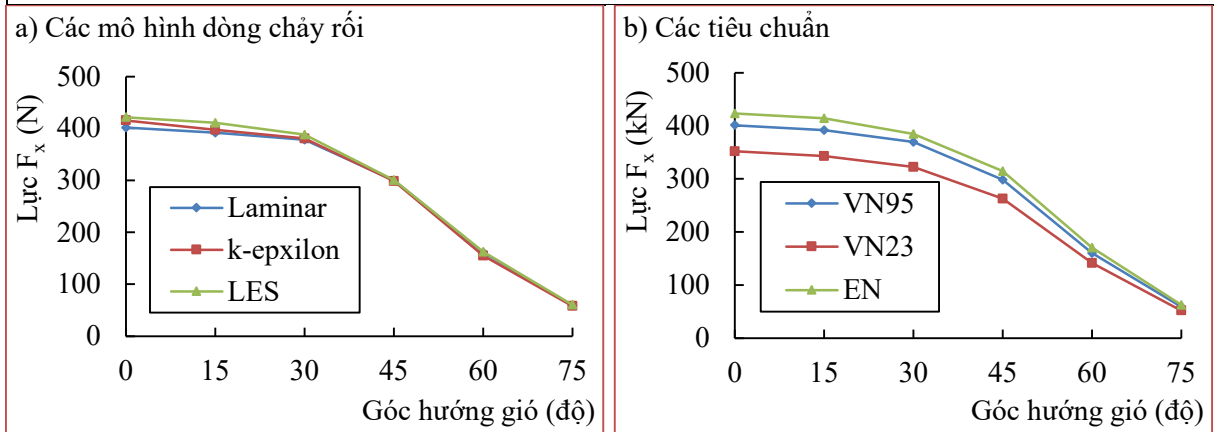
Hình 3.21. Độ lệch tâm tương đối e_y/b ứng với các hướng gió khi $b/c = 2,8$

Bảng 3.18 là kết quả lực gió F_x (đơn vị là N) theo các mô hình dòng chảy rối và các tiêu chuẩn ứng với các góc hướng gió khác nhau đối với mẫu 2 có tỉ lệ kích thước pano $b/c = 2,8$ và tỉ lệ độ cao đặt pano $c/h_g = 0,71$.

Bảng 3.18. Lực gió F_x theo mô hình dòng chảy rối và tiêu chuẩn

Góc θ (°)	Giá trị F_x theo			Chênh lệch		Giá trị F_x theo			Chênh lệch %	
	Lam	k-ep	LES	(2)/(3)	(3)/(4)	VN95	VN23	EN	(7)/(8)	(8)/(9)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
0	401	415	422	-3,36	-1,46	401	352	424	13,9	-16,8
15	384	380	398	1,10	-4,58	392	343	414	14,2	-17,2
30	378	380	388	-0,57	-1,96	369	323	385	14,5	-16,1
45	300	298	300	0,41	-0,65	299	263	315	13,6	-16,5
60	161	155	163	3,98	-4,80	161	142	170	13,2	-16,7
75	59	58	60	1,74	-4,05	59	52	63	13,5	-17,0

Chú thích: Kết quả tính ở cột (5), (6), (10) và (11) ứng với giá trị lực gió trước khi làm tròn số sau dấu phẩy hai chữ số.



Hình 3.22. Lực gió F_x ứng với các hướng gió khi $b/c = 2,8$

Hình 3.22 minh họa kết quả theo Bảng 3.18. Trong đó Hình 3.22a biểu diễn kết quả đối với ba mô hình dòng chảy rối: Laminar, k-epsilon và LES. Còn Hình 3.22b biểu diễn kết quả đối với mô tả profile vận tốc gió cho địa hình dạng B theo VN95, VN23 và địa hình dạng II theo EN. Giá trị lực gió F_x lớn nhất ứng với góc hướng gió 0° và giảm dần đối với các góc hướng gió từ 0° đến 75° . Ngoài ra, trong Hình 3.22 còn chỉ ra sự tương đồng giá trị lực gió F_x đối với các mô hình dòng chảy rối.

3.4.7. Nhận xét kết quả tính

Các kết quả khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ mẫu, mô hình rối, dạng địa hình, profile vận tốc gió đến giá trị hệ số khí động $C_{p,x}$, độ lệch tâm của lực gió e_y và lực gió F_x tác động lên pano, có một số nhận xét như sau:

- Ảnh hưởng của tỉ lệ mẫu, qua kết quả khảo sát $C_{p,x}$ đối với các mẫu 1 đến mẫu 6 theo các tỉ lệ 1:10 và 1:30 ứng với dòng chảy tầng và dòng chảy rối, dạng địa hình B khi các tỷ số kích thước pano b/c và cao độ đặt pano c/h_g thay đổi. Thấy rằng, tỉ lệ mẫu ảnh hưởng không nhiều đến giá trị $C_{p,x}$, điều này cũng phù hợp với kết quả nghiên cứu của Dae Geun Kim (2005) [11], đó là ảnh hưởng của việc mô phỏng số với tỉ lệ thu nhỏ của mẫu thì cũng không ảnh hưởng nhiều đến kết quả tính toán. Đồng thời, giá trị $C_{p,x}$ thay đổi không nhiều ($< 5\%$) ứng với mẫu có tỉ lệ 1:30 và tỉ lệ 1:10 khi dòng chảy rối khác nhau, $C_{p,x}$ thay đổi trong khoảng từ 1,20 đến 1,32 ứng với tỉ lệ 1:10 và 1:30. Có sự biến thiên giá trị $C_{p,x}$ không theo quy luật đối với mẫu 2 và mẫu 6, điều này có thể giải thích bởi sự tương tác của các lớp cắt tách xoáy từ xung quanh pano (xem Bảng 1.4), theo Letchford C.W (2001) [57].

- Ảnh hưởng của mô hình chảy rối, đối với các địa hình dạng A, B và C ứng với các mẫu 1 đến mẫu 3, giá trị F_x có sự chênh lệch khá lớn đối với các mô hình chảy rối khác nhau, đến 10% cho địa hình dạng C ứng với mô hình dòng chảy tầng. Đối với các mẫu 4 đến mẫu 6, các mô hình dòng chảy tầng (Laminar) và dòng chảy rối (k-ep và LES) ứng với địa hình dạng A, B và C, kết quả F_x thay đổi không nhiều ($< 5\%$).

- Ảnh hưởng của dạng địa hình, đối với các mẫu 1 đến mẫu 2 có sự biến thiên về $C_{f,x}$ không có quy luật so với biến thiên của cao độ đặt pano, điều này cũng đã được giải thích bởi sự tương tác của các lớp cắt tách xoáy từ xung quanh pano (xem Bảng 1.4), theo Letchford C.W (2001) [57]. Tuy nhiên, giá trị $C_{p,x}$ có xu hướng giảm ứng với dạng địa hình từ thưa thớt sang rậm rạp (dưới 3% ứng với địa hình A và B, dưới 5% ứng với địa hình B và C). Đối với các mẫu 4 đến mẫu 6 có sự thay đổi giá trị $C_{p,x}$ theo xu hướng tăng lên khi cao độ đặt pano bằng quảng cáo giảm đi ứng với các dạng địa hình khác nhau. Tuy nhiên, sự thay đổi $C_{p,x}$ là không đáng kể (khoảng dưới 5%).

- Ảnh hưởng của profile vận tốc gió, giá trị F_x phụ thuộc nhiều vào profile vận tốc gió bởi có sự thay đổi theo xu hướng giảm đi khi cao độ đặt pano bằng quảng cáo giảm.

Khi cao độ đặt pano giảm thì F_x giảm từ 1,6% đến 13,2% ứng với mẫu 1 đến 3, và từ 1,7% đến 8,3% ứng với mẫu 4 đến mẫu 6 theo VN95, VN23 và theo EN.

- Ảnh hưởng của hướng gió đến giá trị $C_{p,x}$ và e_y là khá lớn. Với góc hướng gió từ 0° đến 45° , giá trị $C_{p,x}$ có xu hướng không thay đổi nhiều, nhưng khi góc hướng gió tăng lên trên 45° thì giá trị $C_{p,x}$ giảm mạnh và có xu hướng đạt giá trị bằng 0 khi góc hướng gió 90° . Tuy nhiên, khi góc hướng gió tăng lên thì e_y cũng tăng lên, đạt giá trị cực đại là 0,25b. Điều này có thể được giải thích bằng sự tăng cường của dòng xoáy hình thành phía sau mép trên của bảng quảng cáo khi góc hướng gió tăng lên, giá trị e_y cũng phù hợp với một số tiêu chuẩn, chẳng hạn như EN 1991-1-4, TCVN 2737:2023 (lấy $e_y = \pm 0,25b$) và ASCE/SEI 7-16 (lấy $e_y = \pm 0,2b$). Theo Letchford C.W (2001) [57], độ lệch tâm e_y tăng lên khi góc hướng gió tăng lên và khi pano đặt gần mặt đất hơn. Điều này có thể được giải thích bởi sự tăng cường của dòng xoáy hình thành phía sau mép trên của bảng quảng cáo khi góc hướng gió tăng lên và khi dòng chảy gây gián đoạn bên dưới bảng quảng cáo bị ngăn chặn.

3.5. Kết luận chương 3

Trên cơ sở mô phỏng số pano trong phần mềm Ansys Fluent, nhận được bộ số liệu (gồm: F_x , $C_{p,x}$ và e_y), ứng với 06 mẫu (mẫu M1 đến M6), 02 tỉ lệ thu nhỏ (TL 1:10 và TL 1:30), 09 dạng địa hình (A, B, C theo VN95 và VN23 và I, II, II theo EN 1991-1-4), 03 tiêu chuẩn VN95, VN23 và EN, 03 mô hình rối (Laminar, k-epsilon và LES). Qua kết quả có thể kết luận như sau:

- Khi mô phỏng pano bằng mô đun Fluent, cần lựa chọn kích thước vùng không gian mô phỏng, mô hình dòng chảy rối và mô tả hàm tường phù hợp.

- Tỉ lệ mẫu (TL 1:10 và TL 1:30) ảnh hưởng không nhiều đến kết quả hệ số khí động $C_{p,x}$ ở bề mặt pano (thường từ 2,0% đến 4,0%, cá biệt bằng 8,68% đối với mẫu 2).

- Mô hình chảy rối, dạng địa hình, profile vận tốc gió có ảnh hưởng đến hệ số khí động $C_{p,x}$ và lực gió F_x .

- Ảnh hưởng gây xoắn pano là độ lệch tâm của lực gió theo phương ngang e_y . Giá trị e_y không lớn (xấp xỉ bằng không) ứng với góc hướng gió $\theta = 0^\circ$, điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả thí nghiệm trong ống thổi khí động của tác giả Meyer et al. (2017)

[63]. Đối với các góc hướng gió khác $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, ảnh hưởng khá lớn đến giá trị hệ số khí động $C_{p,x}$ và độ lệch tâm e_y của lực gió đối với trọng tâm của pano, hệ số khí động $C_{p,x}$ lên đến 1,34 (với $C_{p,x} = 1,33$ và $C_{p,y} = 0,14$, mô hình dòng rối LED) và độ lệch tâm e_y lên đến $\pm 0,25b$. Giá trị độ lệch tâm e_y cũng phù hợp với một số tiêu chuẩn, chẳng hạn EN 1991-1-4 [46] hoặc khuyến nghị của Cook N.J. (1990) [36] là $e_y = \pm 0,25b$, và ASCE/SEI 7-16 [19], quy định $e_y = \pm 0,2b$ (ứng với pano có kích thước tương tự), cũng tương tự như quy định trong AS/NZS 1170.2:2011 [30].

CHƯƠNG 4. THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH BẢNG QUẢNG CÁO TRONG ỚNG THỎI KHÍ ĐỘNG THEO ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM

4.1. Đặt vấn đề

Trong chương 3 đã làm sáng tỏ các tham số ảnh hưởng đến giá trị hệ số khí động (hệ số áp lực - pressure coefficient) c_x (dọc luồng gió) và lực gió F_x (gồm: vị trí và giá trị lực gió) tác động lên pano với giả thiết pano cứng tuyệt đối, giá trị hệ số áp lực và lực gió chỉ hạn chế xét đến tác động tĩnh của gió. Việc xét đến tác động động sẽ được giải quyết thông qua thí nghiệm mô hình thu nhỏ trong ống thổi khí động đối với bảng quảng cáo, sử dụng các tham số gió (profile vận tốc gió, cường độ rối v.v.) theo Tiêu chuẩn Việt Nam và trang thiết bị thí nghiệm hiện có ở trong nước.

Để thực hiện được điều đó, trước tiên cần xây dựng quy trình thí nghiệm trong ống thổi khí động dành riêng cho bảng quảng cáo phù hợp với điều kiện và trang thiết bị hiện có. Trên cơ sở đó thiết lập mô hình thí nghiệm đối với 02 nhóm kích thước pano đặt ở các độ cao khác nhau và thực hiện thí nghiệm trên mô hình cứng đo lực tần số cao 1000 Hz (đo được 1000 số liệu mỗi giây) đối với 05 thành phần lực, trong đó 02 thành phần lực cắt đáy (F_X, F_Y) và 03 thành phần mô men đáy M_X, M_Y và M_Z), từ đó xác định được các hệ số lực ($C_{f,x}, C_{f,y}$ và $C_{f,Mz}$). Trên cơ sở đó làm rõ hơn ảnh hưởng của góc hướng gió và cao độ pano đến giá trị lực gió. Từ đó tham khảo để đề xuất giá trị hệ số lực và giá trị độ lệch tâm của lực gió khi tính toán lực gió tác động lên pano áp dụng cho Việt Nam. Đồng thời cũng có thể tham khảo khi hiệu chỉnh các giá trị này trong Tiêu chuẩn hiện hành về tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo.

4.2. Xây dựng quy trình thí nghiệm

Hiện nay, trên thế giới cũng đã có các tiêu chuẩn quy định đối với công tác thí nghiệm kết cấu nói chung trong ống thổi khí động, ví dụ: Mỹ [21], Australia [25], Canada [18], Trung Quốc [103]. Tuy nhiên, chưa có quy trình thí nghiệm trong ống thổi khí động áp dụng riêng đối với kết cấu bảng quảng cáo. Theo đó, cần thiết xây dựng quy trình thí nghiệm mô hình trong ống thổi khí động phù hợp với điều kiện Việt Nam, nhằm xác định các thông số liên quan đến tải trọng gió (lực gió, hệ số lực):

Bước 1: Lựa chọn dạng mô hình thí nghiệm

Để lựa chọn dạng mô hình thí nghiệm, cần căn cứ vào mục đích, đối tượng của việc thí nghiệm. Loại mô hình khí động đàn hồi và cân bằng lực đáy tần số cao thường được dùng cho các thí nghiệm đối với công trình dạng bảng quảng cáo. Trong luận án sử dụng mô hình cứng cân bằng lực đáy tần số cao, để nghiên cứu lực gió tác dụng lên pano thông qua đo lực, mô men xoắn, mô men uốn tại mặt đáy của mô hình.

Bước 2: Lựa chọn vật liệu làm mô hình

- Vật liệu chính: Có thể bằng gỗ, mica, thép, hợp kim nhôm hoặc bằng nhựa v.v..
- Vật liệu phụ: Các loại keo, đinh, vít để liên kết.

Bước 3: Tính toán lựa chọn tỉ lệ mô hình thí nghiệm

Tỉ lệ kích thước mô hình thí nghiệm theo công thức sau:

$$\lambda_L = \frac{L_{\text{model}}}{L_{\text{full}}} \quad (4.1)$$

trong đó: λ_L là tỉ lệ kích thước; L_{model} là kích thước mô hình; L_{full} là kích thước thực.

Chọn tỉ lệ kích thước hình học của mô hình thí nghiệm phải đảm bảo điều kiện về độ choán trong ống thổi khí động ($\leq 5\%$) [25], và tỉ lệ thường từ 1:10 đến 1:100.

Bước 4: Tính toán lựa chọn tỉ lệ vận tốc gió thí nghiệm

Tỉ lệ vận tốc gió giữa vận tốc gió trong ống thổi khí động và vận tốc gió thực tuân theo công thức sau:

$$\lambda_V = \frac{V_{\text{model}}}{V_{\text{full}}} \quad (4.2)$$

trong đó: λ_L là tỉ lệ vận tốc; V_{model} là vận tốc gió trong ống thổi khí động; L_{full} là vận tốc gió thực.

Tỉ lệ vận tốc phụ thuộc vào điều kiện làm việc của ống thổi khí động và khả năng của thiết bị.

Bước 5: Tính toán lựa chọn tỉ lệ thời gian lấy số liệu thí nghiệm

Tỉ lệ thời gian lấy số liệu thí nghiệm trong ống thổi khí động tuân theo công thức sau:

$$\lambda_T = \frac{\lambda_L}{\lambda_V} \quad (4.3)$$

Bước 6: Mô hình hóa môi trường gió phù hợp với Tiêu chuẩn Việt Nam

- Profile vận tốc gió theo độ cao z_g , tính theo vận tốc gió ở độ cao 10 m [12]:

$$\frac{\bar{V}(z)}{\bar{V}_{10}} = b \left(\frac{z}{10} \right)^m \quad (4.4)$$

trong đó: $\bar{V}(z)$, \bar{V}_{10} là vận tốc gió trung bình ở độ cao z , ở độ cao 10 m; b là hệ số điều chỉnh theo dạng địa hình; m là hệ số mũ (số mũ Hellman); z_g là độ cao gradient. Các hệ số được xác định theo Bảng 4.1 (Bảng A1 trong [15]).

- Độ rối ở độ cao tương đương z_s xác định theo công thức [13]:

$$I(z_s) = c_r \left(\frac{10}{z_s} \right)^{1/6} \quad (4.5)$$

trong đó: c_r là hệ số, phụ thuộc vào các dạng địa hình khác nhau, xác định theo Bảng 4.1; z_s là độ cao tương đương của công trình, lấy đến trọng tâm của pano.

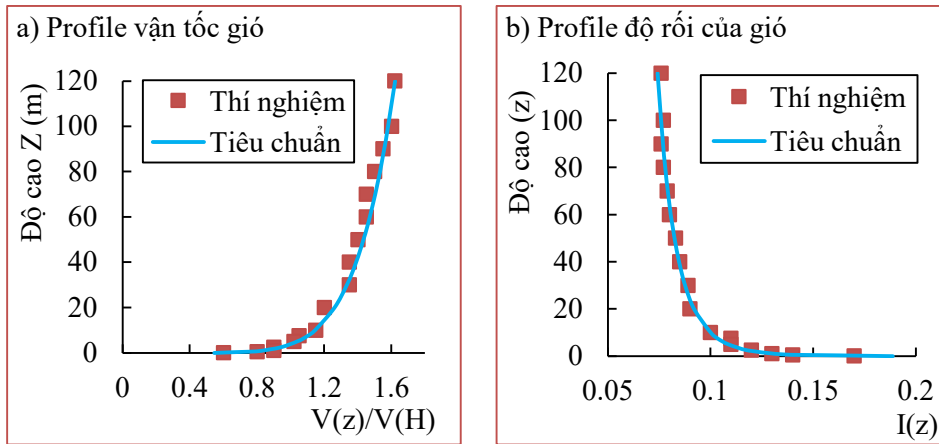
Bảng 4.1. Các hệ số để xác định vận tốc gió và độ rối

Dạng địa hình	z_g	m	b	c_r
A	250	0,070	1,09	0,15
B	300	0,009	1,00	0,20
C	400	0,140	0,81	0,30

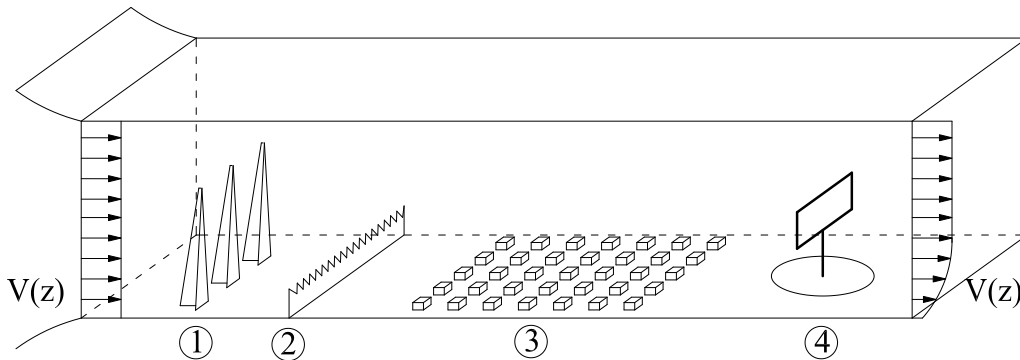
Từ các công thức từ (4.4) và (4.5), lập được các biểu đồ profile vận tốc gió và biểu đồ độ rối theo chiều cao ứng với các dạng địa hình A, B và C ở địa điểm xây dựng.

Để đảm bảo các điều kiện đối với môi trường gió (profile vận tốc gió và độ rối) theo công thức (4.4) và (4.5) của Tiêu chuẩn), cần tạo môi trường gió trong ống thổi khí động sao cho các biểu đồ này sát với các biểu đồ tính toán theo tiêu chuẩn ứng với chiều cao z đối với dạng địa hình cần lấy (Hình 4.1). Trường hợp có sai số, cần điều chỉnh bề mặt sàn ống thổi bằng các dụng cụ hỗ trợ như: thanh chắn hình tam giác hoặc thanh chắn dạng hàng rào, cục tạo nhám [75].

Thanh chắn hình tam giác (spire) có tác dụng tạo profile vận tốc gió gần giống với vận tốc gió thực tế (Hình 4.3a). Cục tạo nhám (roughness element) và hàng rào (fence) (Hình 4.3b, c) có tác dụng tạo độ nhám gần với độ nhám của dạng địa hình đặt công trình và tạo độ rối của dòng gió gần với thực tế.

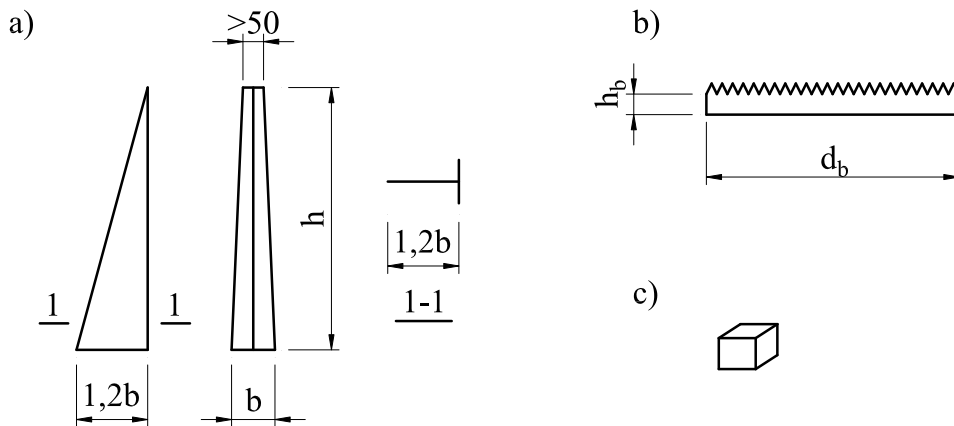


Hình 4.1. Phân bố theo chiều cao của vận tốc gió và độ rối



(1 - thanh chắn; 2 - hàng rào; 3 - cục tạo nhám; 4 - mô hình)

Hình 4.2. Mô hình hầm gió và các dụng cụ hỗ trợ



Hình 4.3. Thanh chắn, hàng rào và cục tạo nhám

Các thông số của thanh chắn tam giác, thanh chắn dạng hàng rào và cục tạo nhám, thường lấy như sau:

- Thanh chắn, chiều rộng×chiều cao: (0,13×1,3) m; (0,14×1,3) m; (0,15×1,3) m.
- Hàng rào, chiều cao $h_b = 0,12; 0,24; 0,36$ m; chiều dài bằng chiều rộng hầm gió.

- Cục tạo nhám, kích thước: (3×3×3) mm; (5×5×5) mm; (7×7×7) mm; (9×9×9) mm; khoảng cách: 0,10; 0,12; 0,14; 0,16 m.

Bước 7: Tiến hành thí nghiệm và ghi kết quả

Sau khi chế tạo xong mô hình, mô hình hóa môi trường gió, mô hình hóa địa hình trong ống thổi khí động, tiến hành thí nghiệm và ghi kết quả. Số lượng hướng gió để tiến hành thí nghiệm và lấy số liệu phụ thuộc vào hình dạng của công trình. Trường hợp bảng quảng cáo đối xứng theo hai phương thì chỉ cần thí nghiệm với các hướng gió từ 0° đến 90°, các góc quay cho mỗi vị trí là 10° hoặc 15° [25] và ứng với mỗi hướng gió cần ghi kết quả thí nghiệm trong thời gian đo.

Bước 8: Xử lý số liệu và đánh giá kết quả

a) Xử lý số liệu

Số liệu 5 thành phần lực (F_X, F_Y, M_X, M_Y, M_Z) tại chân cột của mẫu thí nghiệm có giá trị thay đổi theo thời gian và có tính chất ngẫu nhiên, vì thế sử dụng phương pháp xác suất để xác định giá trị trung bình (mean), giá trị độ lệch chuẩn (std), giá trị lớn nhất (max) và nhỏ nhất (min). Qua đó xác định hệ số áp lực $C_{f,x}, C_{f,y}$ và $C_{f,Mz}$.

- Giá trị trung bình của F_X được xác định:

$$\bar{F}_X = \frac{\sum_{i=1}^n F_{X,i}(t)}{n} \quad (4.6)$$

trong đó: $F_{X,i}$ là lực theo phương X tại thời điểm đo thứ i; n là tổng số các giá trị đo.

- Giá trị độ lệch chuẩn của \tilde{F}_X được xác định:

$$\tilde{F}_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i(t) - \bar{F}_X)^2}{n-1}} \quad (4.7)$$

- Giá trị lớn nhất (\hat{F}_X) và nhỏ nhất (\check{F}_X) của F_X được xử lý theo lý thuyết giá trị cực trị theo phương pháp Gumbel (Gumbel's method):

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

- Hệ số lực theo phương x ($C_{f,x,i}$) tại thời điểm đo thứ i được xác định:

$$C_{f,x,i}(t) = \frac{F_{X,i}(t)}{0,5\rho\bar{V}^2bc} \quad (4.8)$$

trong đó: ρ là khối lượng riêng của không khí, lấy bằng $1,25 \text{ kg/m}^3$; \bar{V} là vận tốc gió trung bình tại đỉnh của mẫu thí nghiệm; b là chiều rộng của pano bảng quảng cáo; c là chiều cao của pano bảng quảng cáo.

- Hệ số lực theo phương Y ($C_{f,y,i}$) tại thời điểm đo thứ i được xác định:

$$C_{f,y,i}(t) = \frac{F_{Y,i}(t)}{0,5\rho\bar{V}^2bc} \quad (4.9)$$

- Hệ số lực xoắn quanh trục Z ($C_{f,Mz}$) tại thời điểm đo thứ i được xác định:

$$C_{f,Mz,i}(t) = \frac{M_{Z,i}(t)}{0,5\rho\bar{V}^2b^2c} \quad (4.10)$$

Dựa trên các giá trị của $C_{f,x,i}(t)$, $C_{f,y,i}(t)$, $C_{f,Mz,i}(t)$ thì các giá trị trung bình ($\bar{C}_{f,x}$, $\bar{C}_{f,y}$, $\bar{C}_{f,z}$), độ lệch chuẩn ($\tilde{C}_{f,x}$, $\tilde{C}_{f,y}$, $\tilde{C}_{f,z}$), lớn nhất ($\hat{C}_{f,x}$, $\hat{C}_{f,y}$, $\hat{C}_{f,z}$), nhỏ nhất ($\check{C}_{f,x}$, $\check{C}_{f,y}$, $\check{C}_{f,z}$) cũng được xử lý tương tự theo cách ở trên như đối với lực.

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

$$(F_X)_{\text{full}} = (F_X)_{\text{model}} \left(\frac{1}{\lambda_L} \right)^2 \left(\frac{1}{\lambda_V} \right)^2 \quad (4.11)$$

$$(F_Y)_{\text{full}} = (F_Y)_{\text{model}} \left(\frac{1}{\lambda_L} \right)^2 \left(\frac{1}{\lambda_V} \right)^2 \quad (4.12)$$

$$(M_X)_{\text{full}} = (M_X)_{\text{model}} \left(\frac{1}{\lambda_L} \right)^3 \left(\frac{1}{\lambda_V} \right)^2 \quad (4.13)$$

$$(M_Y)_{\text{full}} = (M_Y)_{\text{model}} \left(\frac{1}{\lambda_L} \right)^3 \left(\frac{1}{\lambda_V} \right)^2 \quad (4.14)$$

$$(M_Z)_{\text{full}} = (M_Z)_{\text{model}} \left(\frac{1}{\lambda_L} \right)^3 \left(\frac{1}{\lambda_V} \right)^2 \quad (4.15)$$

b) Đánh giá kết quả

Sau khi có kết quả lực cắt đáy và mô men đáy, từ đó xác định hệ số lực. Tiến hành so sánh kết quả thí nghiệm nhận được với kết quả tính theo Tiêu chuẩn hoặc kết quả của

nghiên cứu khác đối với mô hình bảng quảng cáo hai mặt song song v.v... nhằm đánh giá mức độ tin cậy của kết quả thí nghiệm một cách khách quan.

Bước 9. Kết luận và kiến nghị

Dựa trên những đánh giá và so sánh ở trên, đi đến kết luận và đưa ra những kiến nghị một cách cụ thể.

4.3. Thiết lập thí nghiệm mô hình

Để xác định được tải trọng gió bằng thí nghiệm mô hình thu nhỏ trong ống thổi khí động thì các luật mô hình hóa quan trọng như: tương tự về hình học, tương tự về môi trường gió (profile vận tốc gió và độ rối) xung quanh công trình v.v., phải được tuân thủ.

4.3.1. Thiết lập môi trường gió

Dạng địa hình B (địa hình tương đối trống trải, có một số vật cản thưa thớt cao không quá 10 m, ví dụ vùng ngoại ô ít nhà, thị trấn, làng mạc, rừng thưa hoặc rừng non, vùng trồng cây thưa...) trong TCVN 2737:1995 là dạng địa hình chuẩn nên được chọn để tạo môi trường gió trong ống thổi khí động đối với thí nghiệm bảng quảng cáo. Các dạng địa hình A và C cũng được chọn để tạo môi trường gió trong ống thổi khí động nhưng chỉ để tham chiếu nên kết quả không đưa vào nội dung luận án.

4.3.2. Thiết lập mô hình thí nghiệm

Bảng quảng cáo nguyên mẫu loại một tấm có hai mặt song song, một cột đỡ đặt đúng tâm pano, kích thước pano của mẫu M1, M2 và M3 là $b \times c = (5 \times 14)$ m và mẫu M4, M5 và M6 là (6×18) m, chiều dày $d = 1,5$ m. Chiều cao đặt pano tính từ mặt đất đến cạnh đáy pano đối với mẫu M1, M2 và M3 tương ứng $h_g = 15,0$ m, $h_g = 12,0$ m và $h_g = 9,0$ m và mẫu M4, M5 và M6 tương ứng $h_g = 18,0$ m, $h_g = 15,0$ m và $h_g = 12,0$ m là, bề mặt pano có lớp bọc bằng thép dày 0,2 mm (trên đó có đăng nội dung quảng cáo). Kết cấu khung thép của pano gồm hệ khung xương bằng thép góc $L75 \times 5$, kê lên dầm ngang bằng thép hình chữ H200. Gối tựa cho thép hình H200 và thanh dầm dọc bằng thép ống $\phi 53 \times 1,1$. Cột đỡ bằng thép ống, kích thước tiết diện $\phi 120 \times 2,0$ cm. Kích thước hình học của bảng quảng cáo nguyên mẫu và mô hình tỉ lệ 1:30 ghi ở Bảng 4.2.

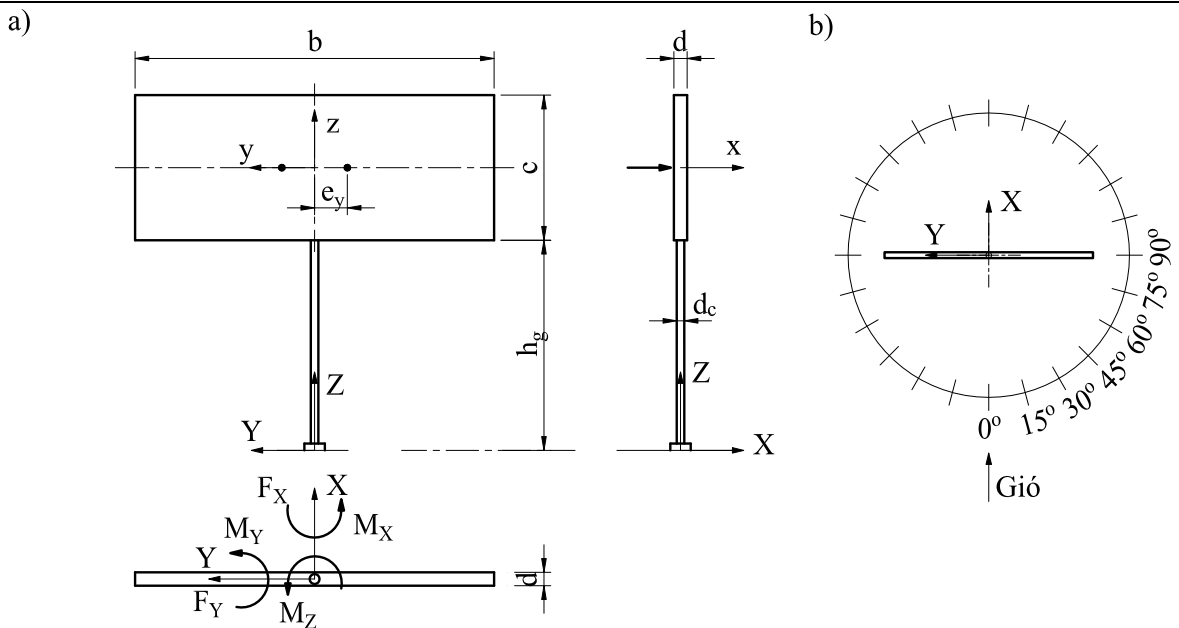
Vật liệu làm mô hình: (1) pano dạng hộp làm từ các tấm mica ; (2) cột đỡ làm từ ống nhựa PVC. Ngoài ra còn sử dụng đinh vít và keo để liên kết.

Trong quá trình thí nghiệm, pano và cột đỡ có đủ cường độ và độ cứng (có gia cường), pano và cột đỡ không xuất hiện biến dạng hoặc rung động đáng kể.

Bảng 4.2. Kích thước nguyên mẫu và mô hình bảng quảng cáo (m)

Mẫu số	Ký hiệu	Nguyên mẫu					Mô hình tỉ lệ 1:30				
		b	c	h_g	d	d_c	b	c	h_g	d	d_c
1	M1	14	5,0	15,0	1,5	1,2	0,47	0,17	0,50	0,05	0,04
2	M2	14	5,0	12,0	1,5	1,2	0,47	0,17	0,40	0,05	0,04
3	M3	14	5,0	9,0	1,5	1,2	0,47	0,17	0,30	0,05	0,04
4	M4	18	6,0	18,0	1,5	1,2	0,60	0,20	0,60	0,05	0,04
5	M5	18	6,0	15,0	1,5	1,2	0,60	0,20	0,50	0,05	0,04
6	M6	18	6,0	12,0	1,5	1,2	0,60	0,20	0,40	0,05	0,04

Thông số tỉ lệ mô hình λ_L , tỉ lệ vận tốc λ_V và tỉ lệ thời gian thí nghiệm λ_T :

$$\lambda_L = \frac{1}{30} ; \lambda_V = \frac{1}{10} \text{ và } \lambda_T = \frac{\lambda_L}{\lambda_V} = \frac{1/30}{1/10} = \frac{1}{3}.$$


F_X là lực cắt đáy theo phương X; F_Y là lực cắt đáy theo phương Y; M_X là mô men đáy quanh trục X; M_Y là mô men đáy quanh trục Y; M_Z là mô men đáy quanh trục Z

Hình 4.4. Ký hiệu kích thước, quy ước chiều lực và góc hướng gió

Mô hình bảng quảng cáo được gắn trên thiết bị cân bằng lực tần số cao JR3 (*High Frequency Force Balance JR3*) của Mỹ (xem Hình 4.5a). Đây là thiết bị đặc chủng với

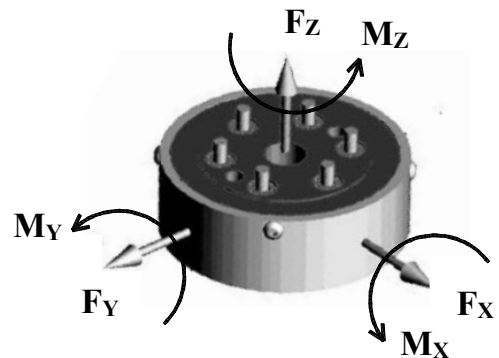
6 thành phần lực ($F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$) (xem Hình 4.5b) được đo đồng thời với tần số cao (tần số lấy mẫu bằng 1000 Hz). Thông tin chi tiết về thiết bị JR3 có thể tham khảo trong trang web theo địa chỉ <https://jr3.com/>.

Loại mô hình: Mô hình cứng.

a) Thiết bị cân lực tần số cao JR3



b) Ký hiệu cho các thành phần lực



Hình 4.5. Thiết bị JR3 và ký hiệu chiều cho 6 thành phần lực

Thông số thiết bị JR3:

- Loại mô hình cảm biến: 30E12A4.
- Tải trọng cơ học: 200 N.

4.3.2.1 Tỷ lệ mô hình, tỷ lệ vận tốc và tỷ lệ thời gian thí nghiệm

- Tỷ lệ hình học bằng quang cáo, phụ thuộc vào tiết diện ngang ống thổi khí động, được chọn $\lambda_L = 1:30$.

- Tỷ lệ vận tốc gió thí nghiệm, phụ thuộc vào năng lực và điều kiện làm việc của các thiết bị thí nghiệm, tỷ lệ này chọn $\lambda_V = 1:10$.

- Tỷ lệ thời gian lấy số liệu thí nghiệm, phụ thuộc vào tỷ lệ mô hình và tỷ lệ vận tốc, tỷ lệ này chọn $\lambda_T = 1:3$.

4.3.2.2 Kiểm tra các tham số của mô hình thí nghiệm

- Tỷ lệ kích thước hình học và độ chón (blockage ratio) $\leq 5\%$:

$$\lambda_L = \frac{L_{\text{model}}}{L_{\text{full}}} = \frac{B_{\text{model}}}{B_{\text{full}}} = \frac{H_{\text{model}}}{H_{\text{full}}} = \frac{1}{30}$$

$$\frac{A_{\text{model}}}{A_T} = \frac{0,17 \times 0,47 + 0,04 \times 0,6}{2 \times 2} = 2,6\% < 5\%.$$

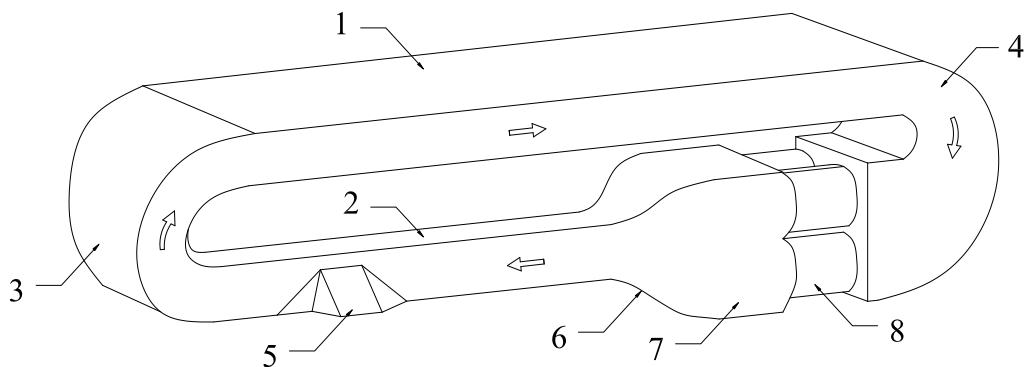
Tỉ lệ này đã tránh được hiện tượng choán hoặc làm sai khác kết quả đo [25].

- Xác định vận tốc gió thí nghiệm, vận tốc gió trung bình thực đối với vùng II-B, tại cao độ đỉnh bảng quảng cáo ($H = 20\text{ m}$) là $1,11 \times 39,37\text{ m/s} = 43,7\text{ m/s}$, chọn vận tốc gió thí nghiệm trung bình tại đỉnh mô hình là $4,37\text{ m/s}$.

- Xác định thời gian thí nghiệm, chọn thời gian thí nghiệm cho một (01) hướng gió trong ống thổi khí động là 200s (tương ứng là 3,3 phút).

4.3.3. Thí nghiệm và ghi kết quả

Thí nghiệm mô hình bảng quảng cáo thu nhỏ được thực hiện trong ống thổi khí động tại Viện khoa học công nghệ xây dựng. Đây là ống thổi khí động có dạng kín (*Closed Circuit Wind Tunnel*) theo phương đứng và có hai nhánh, có tổng chiều dài là 35,5 m, chiều cao là 9,1 m (xem sơ đồ Hình 4.6).



1 – nhánh trên (8×2) m; 2 – nhánh dưới (2×2) m; 3 - đầu nắn dòng 1; 4 - đầu nắn dòng 2; 5 – bàn xoay đường kính 4 m; 6 – côn tăng tốc; 7 - khoang lắng; 8 - động cơ

Hình 4.6. Sơ đồ ống thổi khí động của Viện KHCN Xây dựng

Kích thước tiết diện trong lòng ống thổi của nhánh dưới có kích thước $2,0\text{ m} \times 2,0\text{ m}$ với phần mở rộng có bố trí bàn xoay đường kính 4,0 m, kích thước tiết diện ống thổi nhánh trên có chiều cao 2,0 m với chiều rộng rộng 8,0 m, tại vị trí bàn xoay có cửa kính lớn để quan sát từ phía ngoài.

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.

Khoang tăng tốc có tỷ số nén dòng khí là $n = S_{in}/S_{out} = 4,8$.

Ổng thổi khí động được điều khiển tự động hoàn toàn bằng chương trình thông qua hệ thống máy tính điện tử.

Các thông số kỹ thuật của ống khí động:

- Độ rối dòng, $\varepsilon = 1,5\%$;
- Độ đồng đều của trường vận tốc, $\mu_T = \pm 1,5\%$.

Thí nghiệm đo lực cắt đáy và mô men đáy tại chân cột đỡ pano ứng với các góc hướng gió khác nhau. Do pano đối xứng theo 2 phương, chỉ cần thí nghiệm với các hướng gió từ 0° đến 90° , bước của góc đo là 15° (tổng số có 7 lần đo). Với mỗi hướng gió, tiến hành đo (5 thành phần lực) \times (thời gian đo 200s) \times 1000 Hz = 1.000.000 số liệu/lần. Nhận được tổng số bộ dữ liệu bằng số hướng gió nhân với số lần đo bằng 7 lần đo \times 1.000.000 số liệu/lần = 7.000.000 số liệu.

Kết quả đo đối với mỗi mô hình bằng quang cáo là 200.000 số liệu ứng với thời gian đo 200s cho mỗi hướng đo (tổng số có 7 hướng đo). Từ đó xác định được các hệ số lực ($C_{f,x}$, $C_{f,y}$ và $C_{f,Mz}$) trong khoảng thời gian đo của mỗi thí nghiệm riêng lẻ theo (4.16) như sau:

$$\bar{C}_{f,x} = \frac{1}{200.000} \sum_{i=1}^{200.000} \bar{C}_{f,x,i}(t) \quad (4.16a)$$

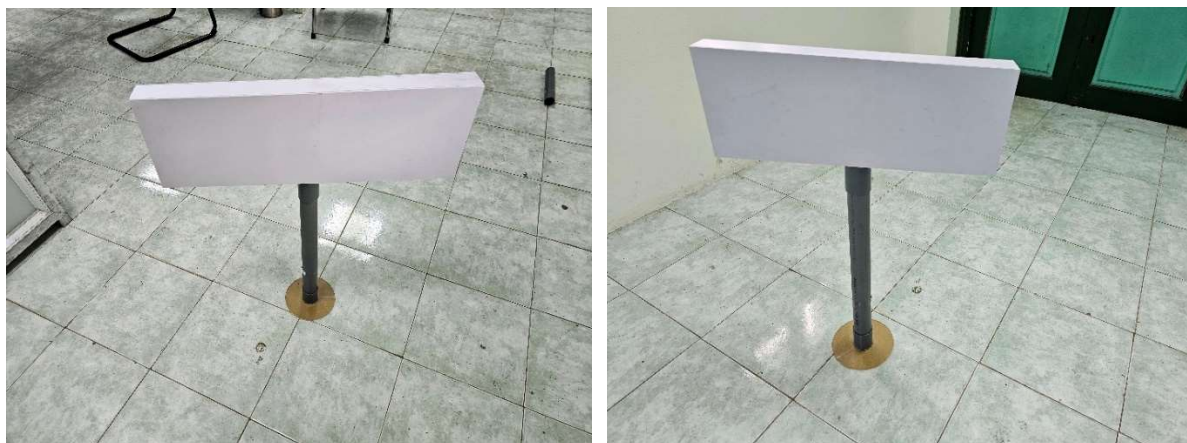
$$\bar{C}_{f,y} = \frac{1}{200.000} \sum_{i=1}^{200.000} \bar{C}_{f,y,i}(t) \quad (4.16b)$$

$$\bar{C}_{f,Mz} = \frac{1}{200.000} \sum_{i=1}^{200.000} \bar{C}_{f,Mz,i}(t) \quad (4.16c)$$

Tỷ số độ lệch tâm không thứ nguyên quanh trục Z được xác định theo công thức [63]:

$$\frac{e_y}{b} = \frac{\bar{C}_{f,Mz}}{\bar{C}_{f,x}} \quad (4.17)$$

trong đó: e_y là khoảng cách từ trọng tâm pano đến hợp lực của lực gió.



Hình 4.7. Hình ảnh mẫu sau chế tạo



Mẫu M1

Mẫu M2

Mẫu M3

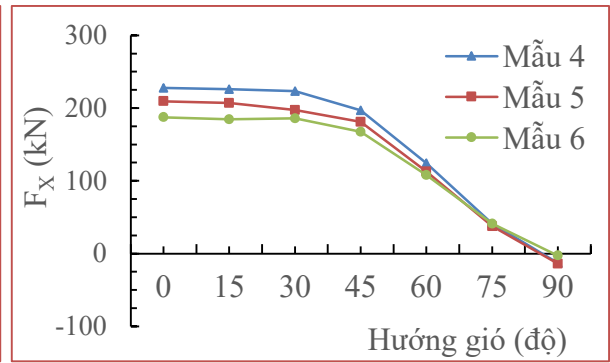
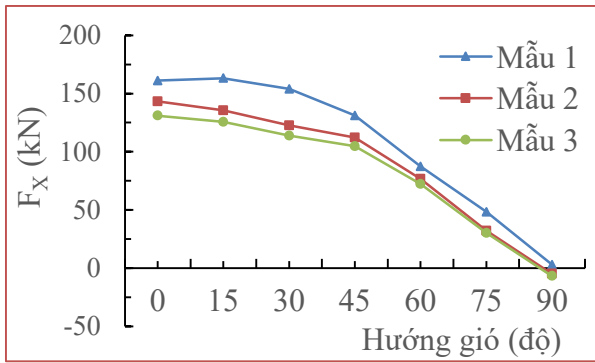


Mẫu M4

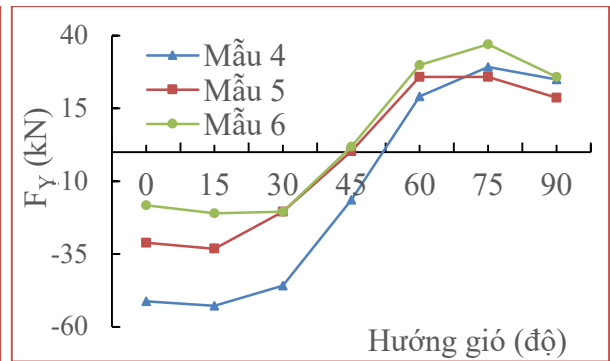
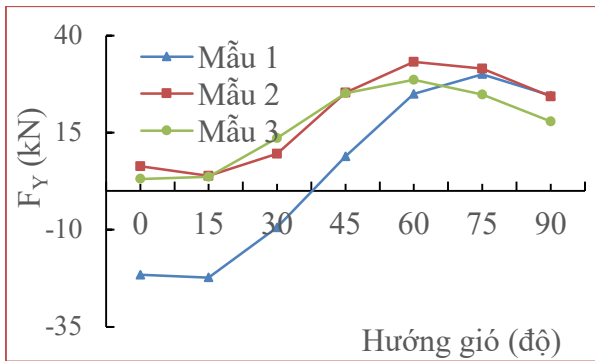
Mẫu M5

Mẫu M6

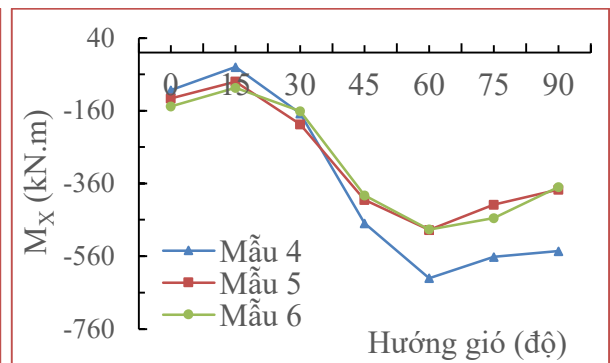
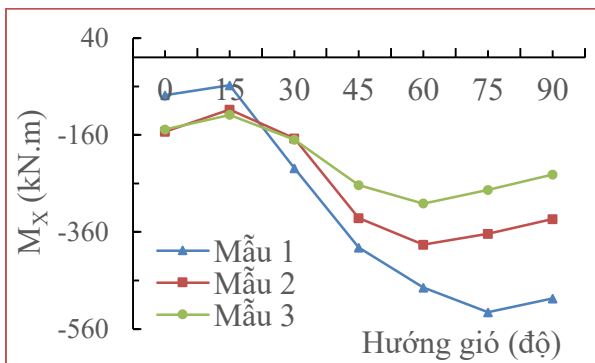
Hình 4.8. Hình ảnh mẫu thí nghiệm M1 đến M6 trong ống thổi khí động



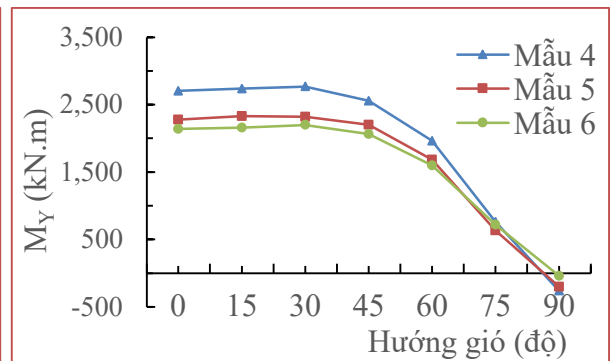
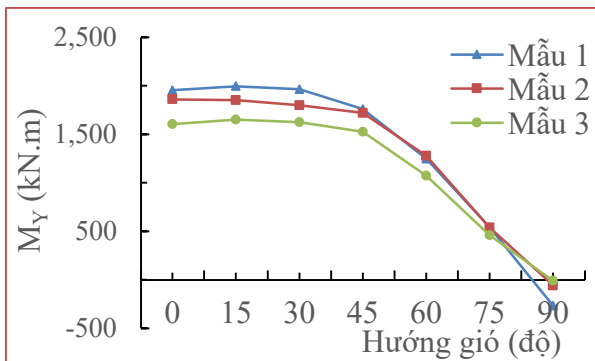
a) Sự thay đổi lực F_x theo hướng gió



b) Sự thay đổi lực F_y theo hướng gió

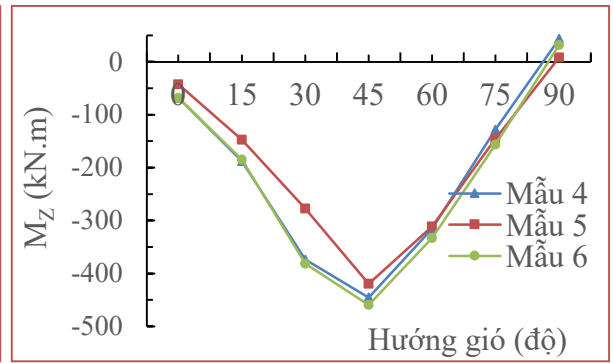
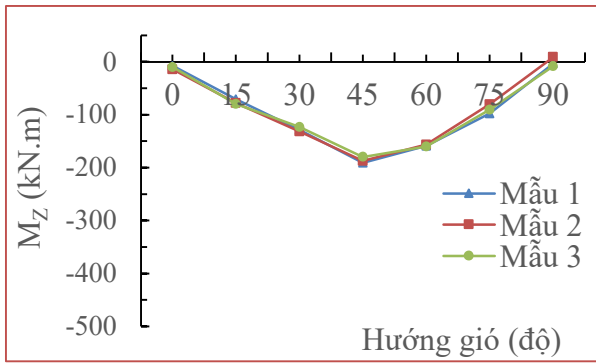


c) Sự thay đổi lực M_x theo hướng gió

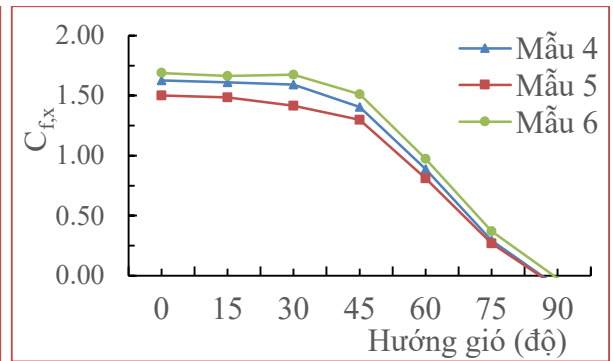
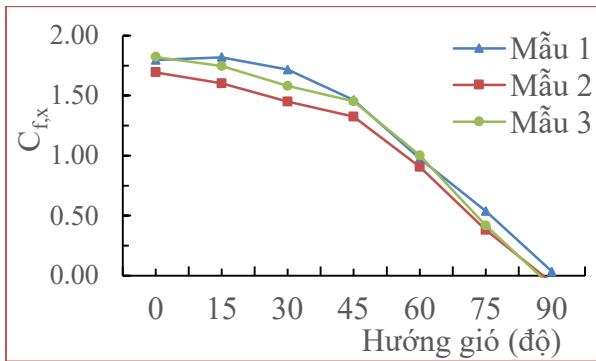


d) Sự thay đổi lực M_y theo hướng gió

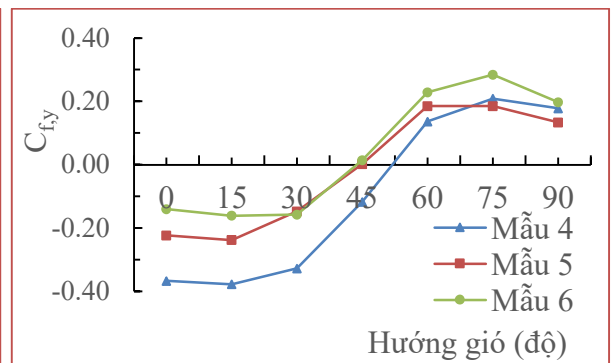
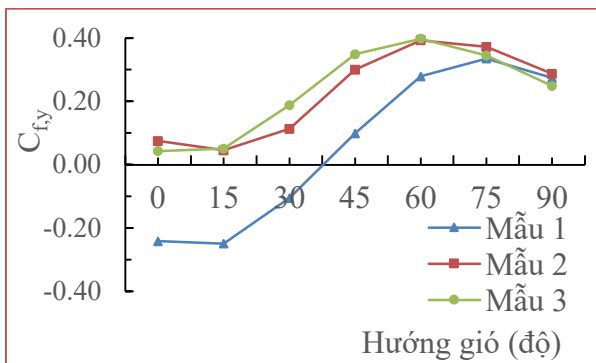
Hình 4.9. Kết quả thí nghiệm các mẫu M1 đến M6



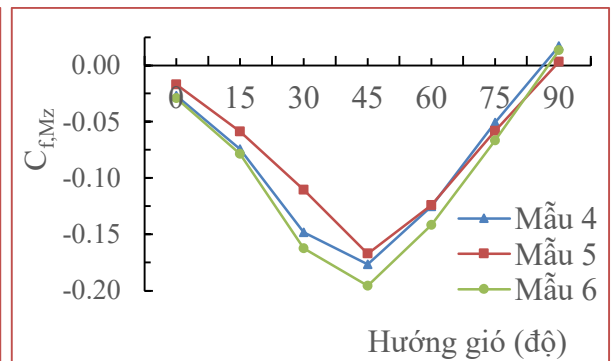
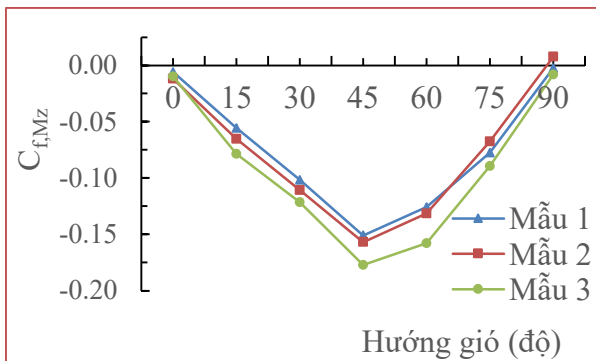
e) Sự thay đổi lực M_z theo hướng gió



f) Sự thay đổi hệ số lực $C_{f,x}$ theo hướng gió

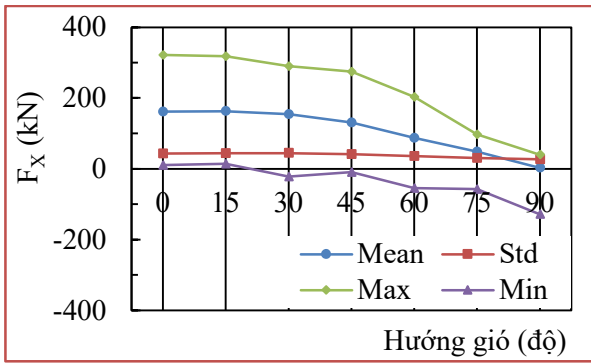


g) Sự thay đổi hệ số lực $C_{f,y}$ theo hướng gió

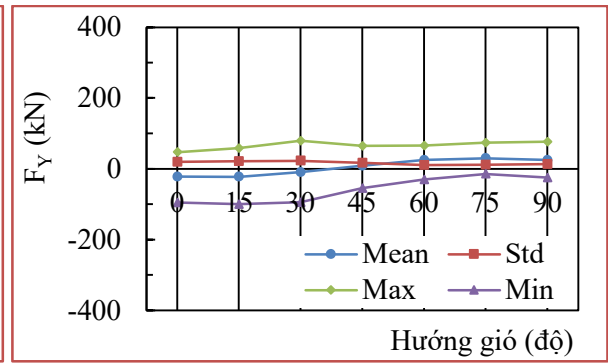


h) Sự thay đổi hệ số lực $C_{f,Mz}$ theo hướng gió

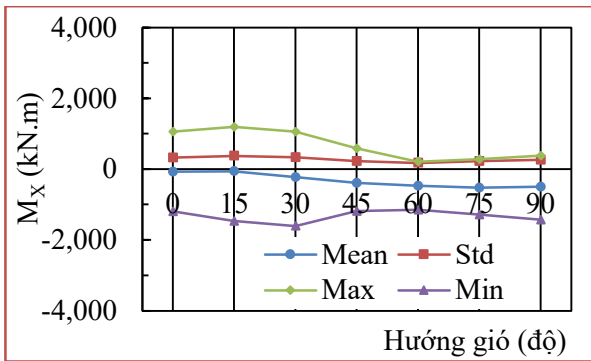
Hình 4.9. Kết quả thí nghiệm các mẫu M1 đến M6 (tiếp theo)



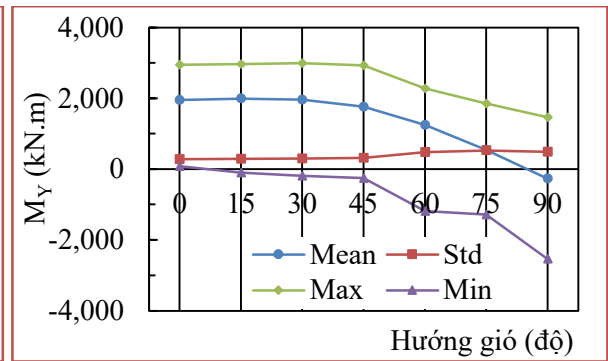
a) Sự thay đổi F_x theo hướng gió



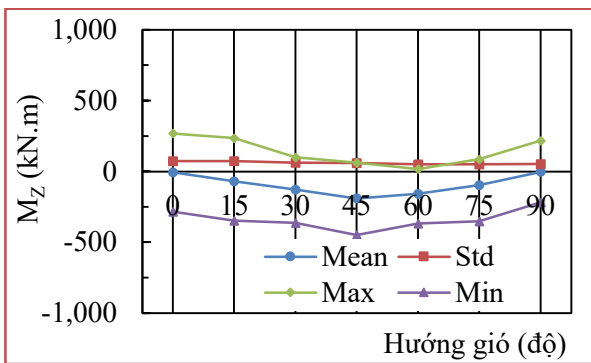
b) Sự thay đổi F_y theo hướng gió



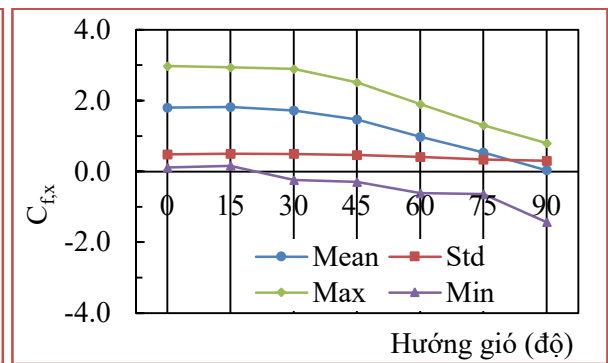
c) Sự thay đổi M_x theo hướng gió



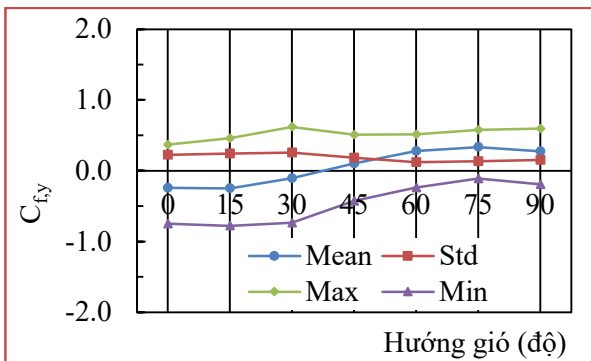
d) Sự thay đổi M_y theo hướng gió



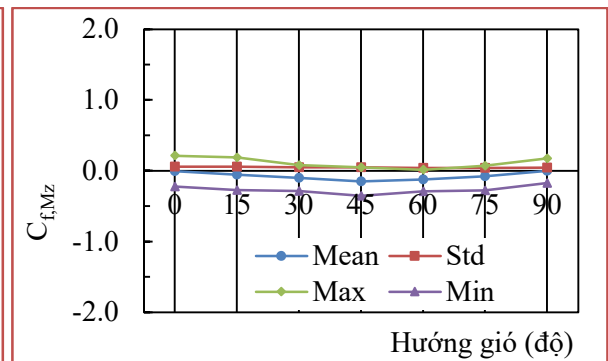
e) Sự thay đổi M_z theo hướng gió



f) Sự thay đổi $C_{f,x}$ theo hướng gió

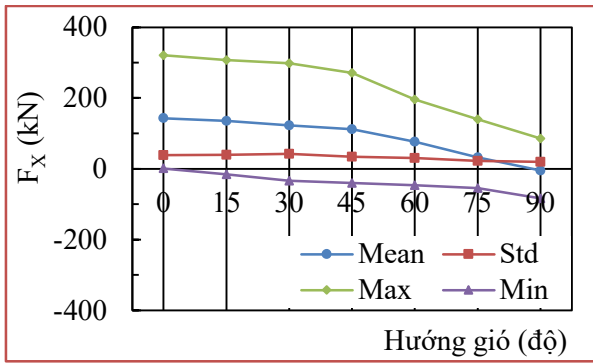


g) Sự thay đổi $C_{f,y}$ theo hướng gió

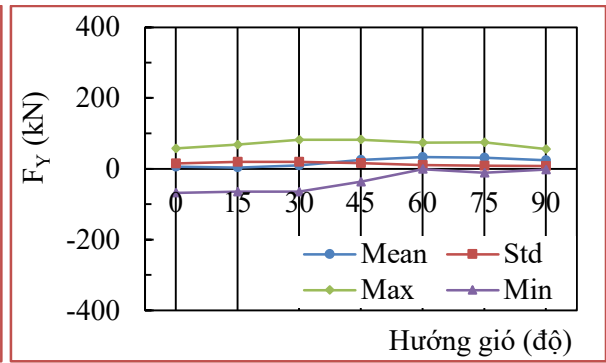


h) Sự thay đổi $C_{f,Mz}$ theo hướng gió

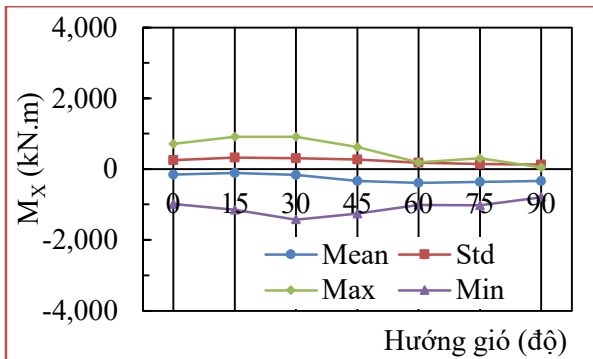
Hình 4.10. Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M1



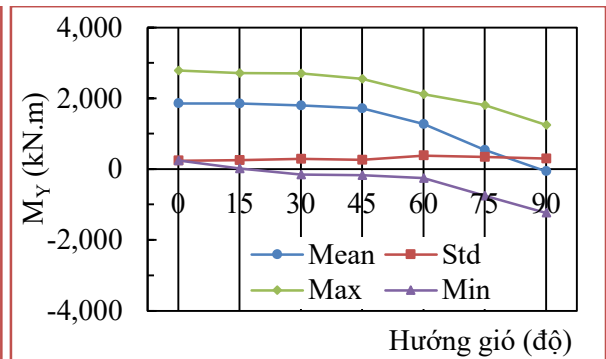
a) Sự thay đổi F_x theo hướng gió



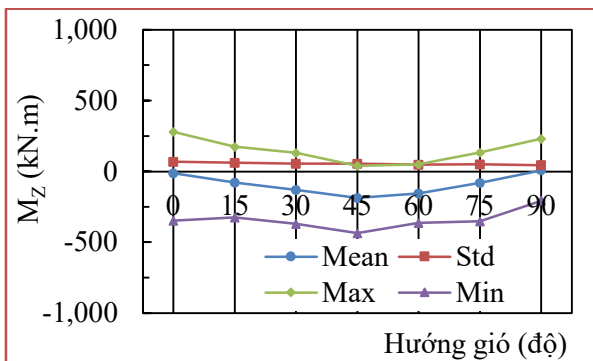
b) Sự thay đổi F_y theo hướng gió



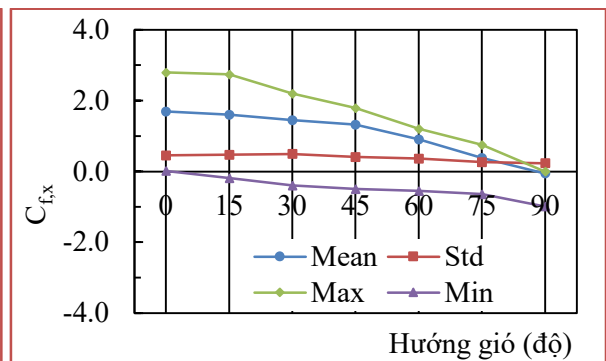
c) Sự thay đổi M_x theo hướng gió



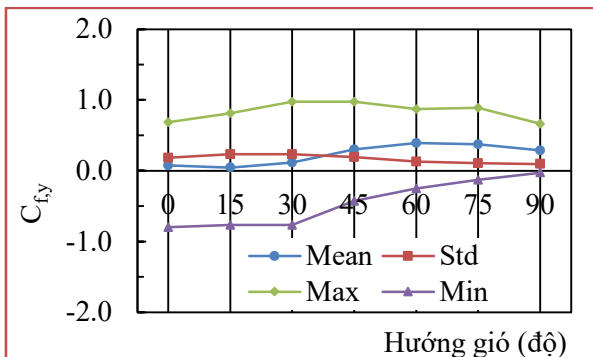
d) Sự thay đổi M_y theo hướng gió



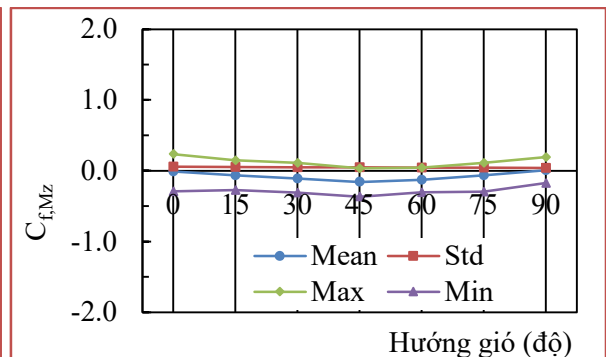
e) Sự thay đổi M_z theo hướng gió



f) Sự thay đổi $C_{f,x}$ theo hướng gió

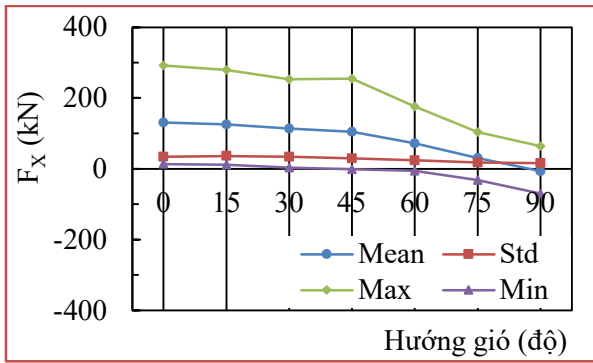


g) Sự thay đổi $C_{f,y}$ theo hướng gió

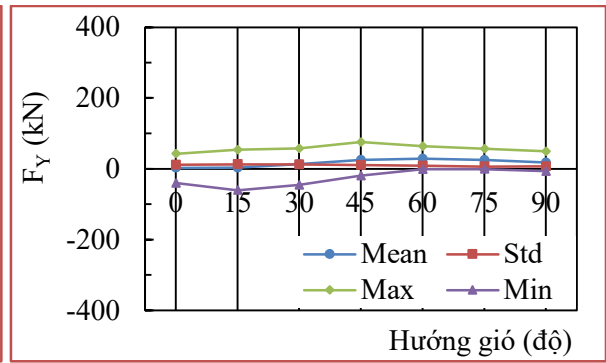


h) Sự thay đổi $C_{f,Mz}$ theo hướng gió

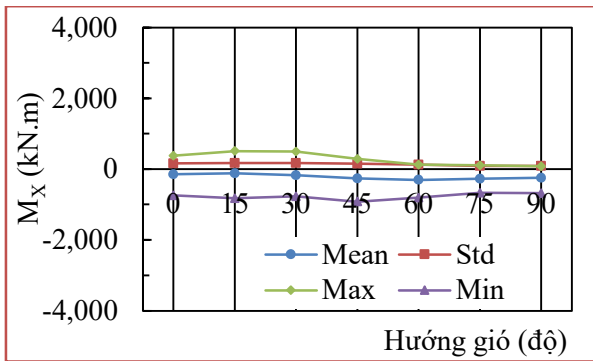
Hình 4.11. Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M2



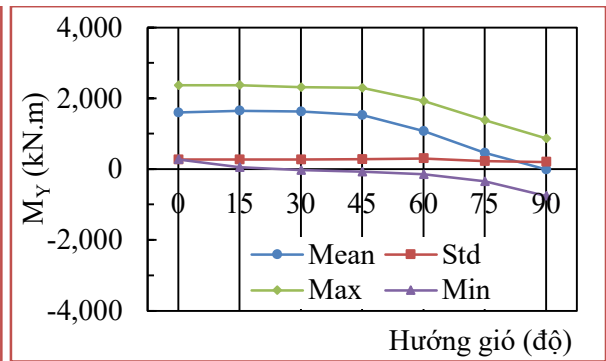
a) Sự thay đổi F_x theo hướng gió



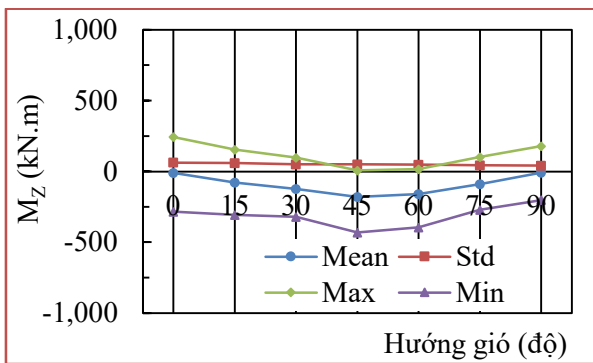
b) Sự thay đổi F_y theo hướng gió



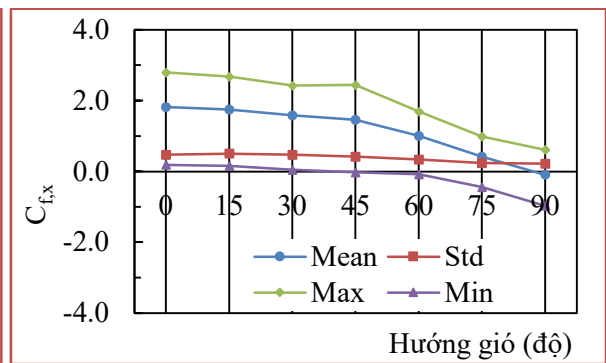
c) Sự thay đổi M_x theo hướng gió



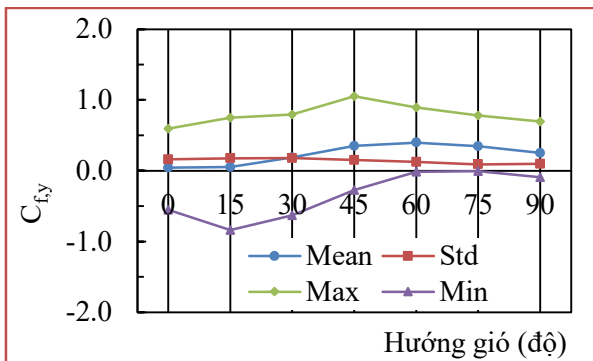
d) Sự thay đổi M_y theo hướng gió



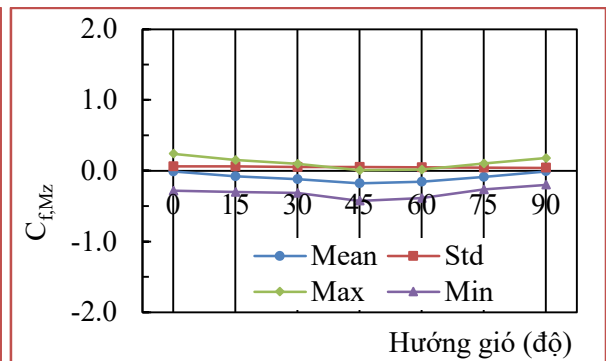
e) Sự thay đổi M_z theo hướng gió



f) Sự thay đổi $C_{f,x}$ theo hướng gió

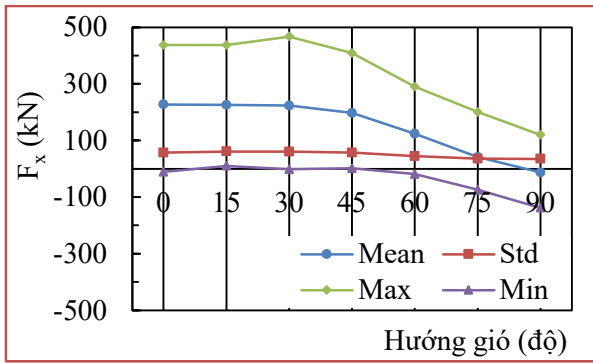


g) Sự thay đổi $C_{f,y}$ theo hướng gió

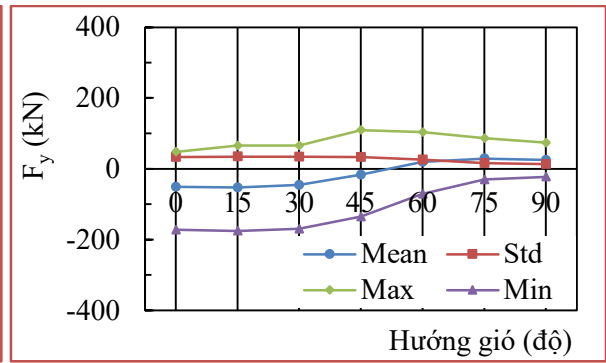


h) Sự thay đổi $C_{f,Mz}$ theo hướng gió

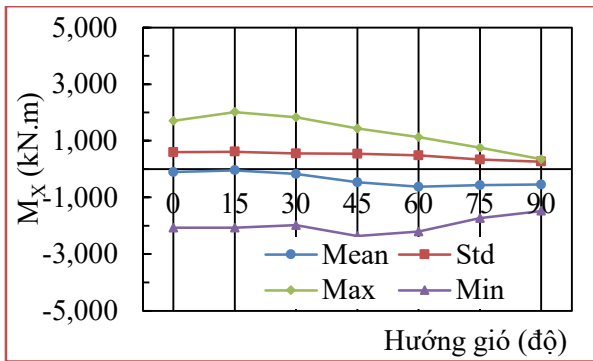
Hình 4.12. Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M3



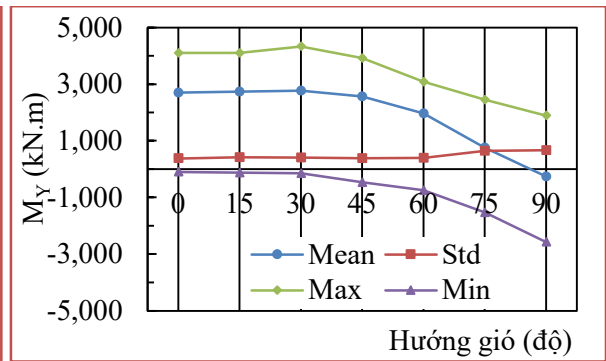
a) Sự thay đổi F_x theo hướng gió



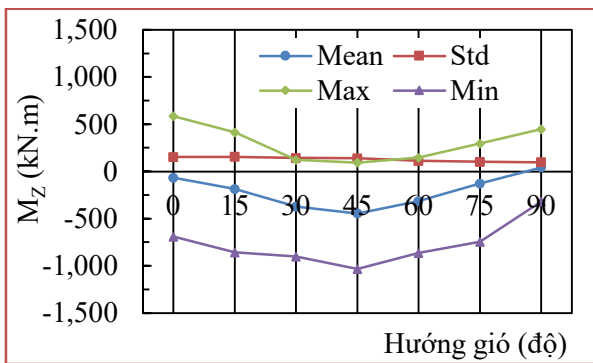
b) Sự thay đổi F_y theo hướng gió



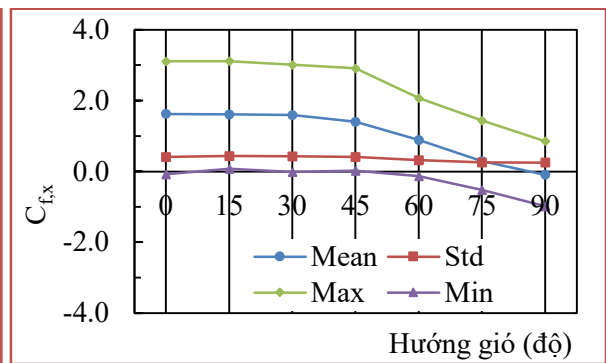
c) Sự thay đổi M_x theo hướng gió



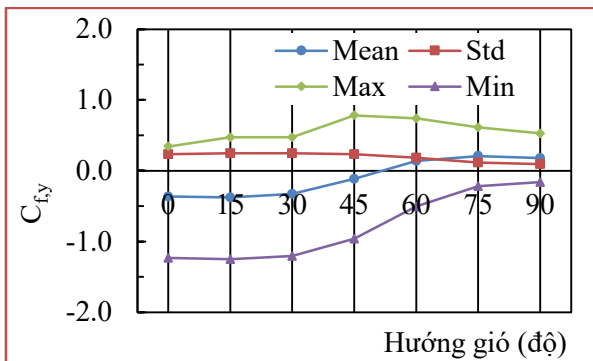
d) Sự thay đổi M_y theo hướng gió



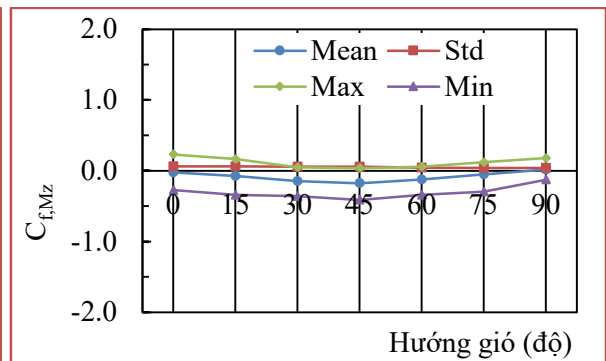
e) Sự thay đổi M_z theo hướng gió



f) Sự thay đổi $C_{f,x}$ theo hướng gió

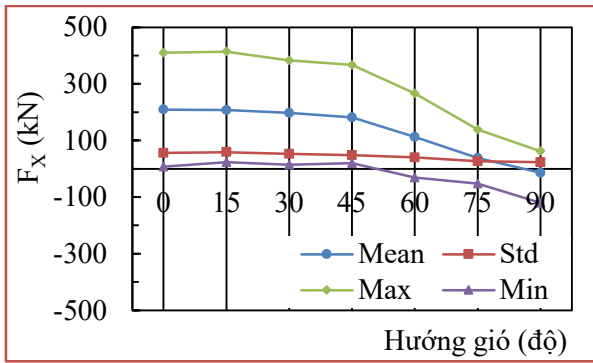


g) Sự thay đổi $C_{f,y}$ theo hướng gió

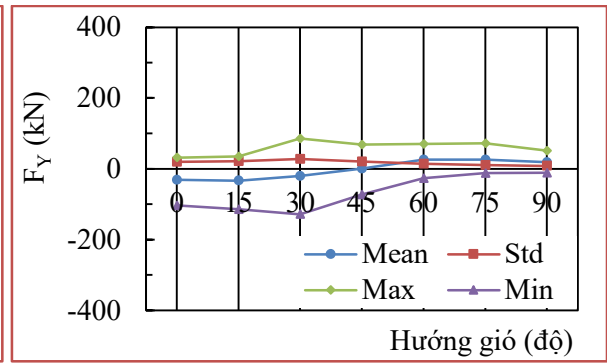


h) Sự thay đổi $C_{f,Mz}$ theo hướng gió

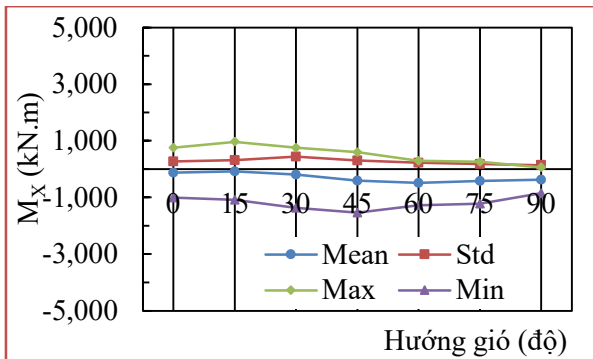
Hình 4.13. Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M4



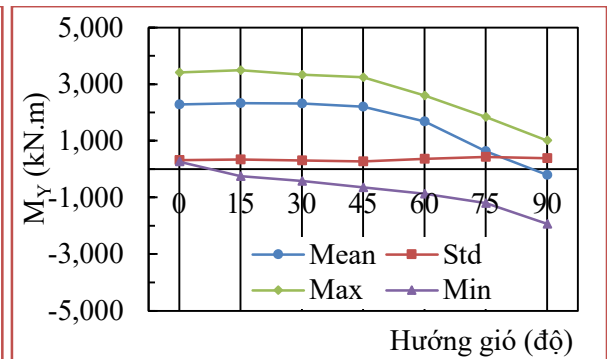
a) Sự thay đổi F_x theo hướng gió



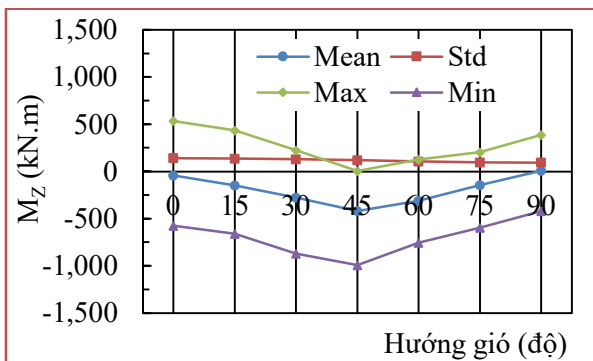
b) Sự thay đổi F_y theo hướng gió



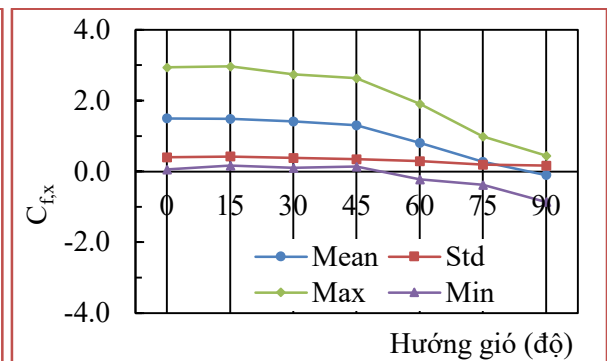
c) Sự thay đổi M_x theo hướng gió



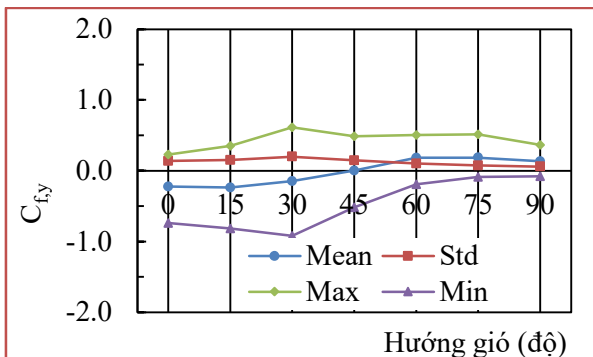
d) Sự thay đổi M_y theo hướng gió



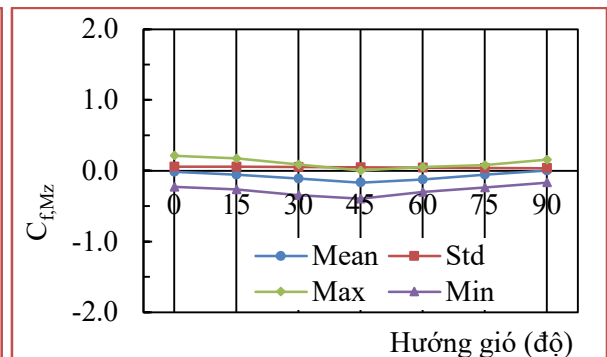
e) Sự thay đổi M_z theo hướng gió



f) Sự thay đổi $C_{f,x}$ theo hướng gió

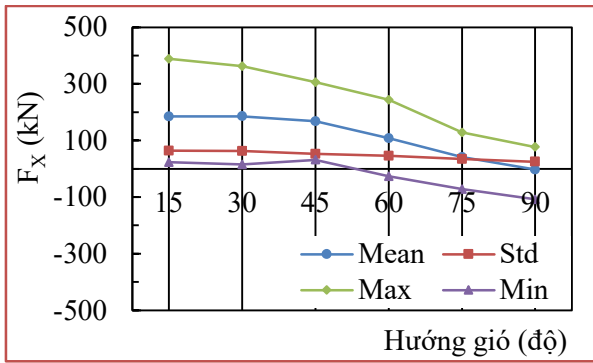


g) Sự thay đổi $C_{f,y}$ theo hướng gió

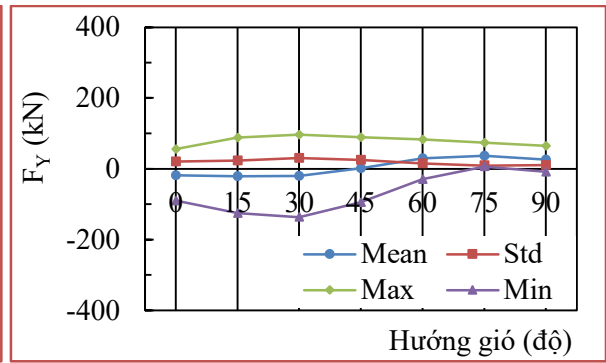


h) Sự thay đổi $C_{f,Mz}$ theo hướng gió

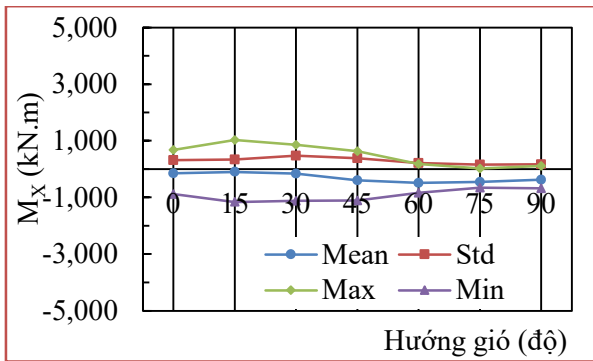
Hình 4.14. Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M5



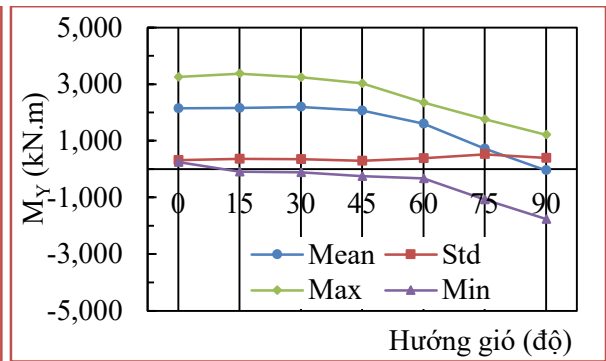
a) Sự thay đổi F_x theo hướng gió



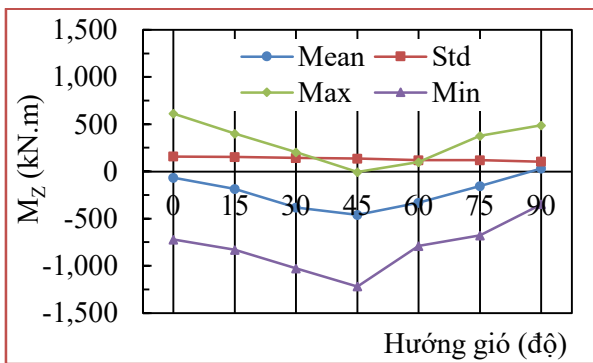
b) Sự thay đổi F_y theo hướng gió



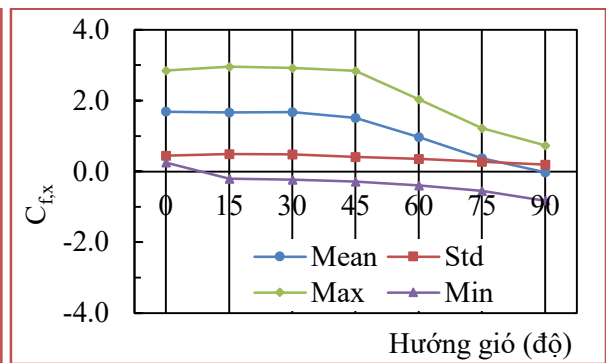
c) Sự thay đổi M_x theo hướng gió



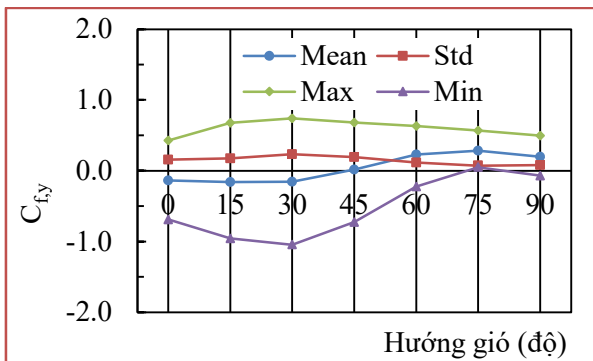
d) Sự thay đổi M_y theo hướng gió



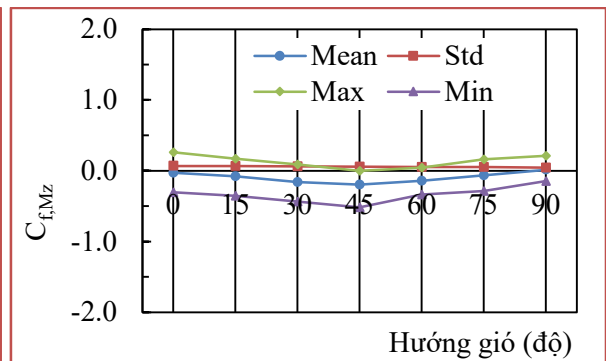
e) Sự thay đổi M_z theo hướng gió



f) Sự thay đổi $C_{f,x}$ theo hướng gió



g) Sự thay đổi $C_{f,y}$ theo hướng gió



h) Sự thay đổi $C_{f,Mz}$ theo hướng gió

Hình 4.15. Kết quả thí nghiệm lực và hệ số lực cho mẫu M6

Bảng 4.3. Tải trọng gió cho mẫu M1

Hướng gió (°)	F _X (kN)				F _Y (kN)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	161	43	322	10	-22	20	47	-96
15	163	44	318	14	-22	22	59	-99
30	154	44	290	-22	-9	23	80	-94
45	131	42	275	-10	9	17	65	-55
60	88	36	203	-55	25	11	66	-30
75	48	30	97	-57	30	12	74	-14
90	3	27	40	-128	25	13	76	-25

Bảng 4.3. Tải trọng gió cho mẫu M1 (tiếp theo)

Hướng gió (°)	M _X (kN.m)				M _Y (kN.m)				M _Z (kN.m)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	-78	324	1.055	-1.197	1.954	280	2.951	84	-7	72	268	-284
15	-57	375	1.193	-1.468	1.996	289	2.963	-102	-70	74	236	-348
30	-229	335	1.055	-1.606	1.965	295	2.995	-195	-128	62	100	-364
45	-392	222	583	-1.187	1.760	315	2.927	-252	-191	60	62	-448
60	-474	176	212	-1.149	1.248	474	2.277	-1.186	-159	51	17	-368
75	-525	227	282	-1.290	541	530	1.853	-1.284	-98	50	86	-354
90	-497	265	379	-1.429	-267	486	1.464	-2.537	-3	53	217	-218

Bảng 4.4. Hệ số lực cho mẫu M1

Hướng gió (°)	C _{f,x}				C _{f,y}				C _{f,Mz}			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	1,8	0,5	3,0	0,1	-0,2	0,2	0,4	-0,7	0,0	0,1	0,2	-0,2
15	1,8	0,5	2,9	0,2	-0,2	0,2	0,5	-0,8	-0,1	0,1	0,2	-0,3
30	1,7	0,5	2,9	-0,2	-0,1	0,3	0,6	-0,7	-0,1	0,0	0,1	-0,3
45	1,5	0,5	2,5	-0,3	0,1	0,2	0,5	-0,4	-0,2	0,0	0,0	-0,4
60	1,0	0,4	1,9	-0,6	0,3	0,1	0,5	-0,2	-0,1	0,0	0,0	-0,3
75	0,5	0,3	1,3	-0,6	0,3	0,1	0,6	-0,1	-0,1	0,0	0,1	-0,3
90	0,0	0,3	0,8	-1,4	0,3	0,1	0,6	-0,2	0,0	0,0	0,2	-0,2

Bảng 4.5. Tải trọng gió cho mẫu M2

Hướng gió (°)	F _X (kN)				F _Y (kN)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	143	39	321	1	6	15	58	-67
15	135	40	307	-16	4	20	69	-65
30	123	42	298	-34	10	20	82	-65
45	112	34	271	-40	25	16	83	-36
60	77	31	196	-47	33	11	74	-1
75	32	23	140	-54	31	9	75	-11
90	-5	20	86	-84	24	8	56	-2

Bảng 4.5. Tải trọng gió cho mẫu M2 (tiếp theo)

Hướng gió (°)	M _X (kN.m)				M _Y (kN.m)				M _Z (kN.m)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	-153	255	713	-990	1.861	241	2.786	247	-14	69	280	-349
15	-108	324	909	-1.146	1.850	249	2.716	20	-78	62	175	-325
30	-167	311	917	-1.422	1.800	289	2.707	-155	-132	55	132	-371
45	-331	270	621	-1.255	1.718	257	2.550	-175	-187	54	41	-435
60	-386	180	193	-1.013	1.277	383	2.116	-255	-157	49	50	-364
75	-363	140	306	-1.022	539	341	1.809	-751	-80	49	134	-352
90	-333	126	48	-790	-59	299	1.248	-1.233	9	45	231	-206

Bảng 4.6. Hệ số lực cho mẫu M2

Hướng gió (°)	C _{f,x}				C _{f,y}				C _{f,Mz}			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	1,7	0,5	2,8	0,0	0,1	0,2	0,7	-0,8	0,0	0,1	0,2	-0,3
15	1,6	0,5	2,7	-0,2	0,0	0,2	0,8	-0,8	-0,1	0,1	0,1	-0,3
30	1,5	0,5	2,2	-0,4	0,1	0,2	1,0	-0,8	-0,1	0,0	0,1	-0,3
45	1,3	0,4	1,8	-0,5	0,3	0,2	1,0	-0,4	-0,2	0,0	0,0	-0,4
60	0,9	0,4	1,2	-0,6	0,4	0,1	0,9	-0,3	-0,1	0,0	0,0	-0,3
75	0,4	0,3	0,8	-0,6	0,4	0,1	0,9	-0,1	-0,1	0,0	0,1	-0,3
90	-0,1	0,2	0,0	-1,0	0,3	0,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,2	-0,2

Bảng 4.7. Tải trọng gió cho mẫu M3

Hướng gió (°)	F _X (kN)				F _Y (kN)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	131	34	292	14	3	11	43	-40
15	126	36	279	11	4	13	54	-60
30	114	34	253	3	14	13	57	-45
45	105	30	255	-2	25	11	76	-20
60	72	24	176	-5	29	9	64	-1
75	30	17	103	-32	25	7	56	0
90	-7	16	64	-70	18	7	50	-7

Bảng 4.7. Tải trọng gió cho mẫu M3 (tiếp theo)

Hướng gió (°)	M _X (kN.m)				M _Y (kN.m)				M _Z (kN.m)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	-148	160	377	-746	1.604	269	2.372	275	-10	63	243	-285
15	-118	173	513	-828	1.651	273	2.376	50	-80	60	155	-307
30	-170	169	501	-770	1.625	272	2.315	-30	-123	51	97	-320
45	-264	149	293	-918	1.526	277	2.293	-75	-180	51	8	-431
60	-301	123	123	-806	1.074	306	1.921	-150	-160	47	17	-395
75	-273	91	107	-667	458	225	1.383	-345	-91	44	102	-270
90	-242	92	84	-682	-10	203	870	-754	-8	42	179	-201

Bảng 4.8. Hệ số lực cho mẫu M3

Hướng gió (°)	C _{f,x}				C _{f,y}				C _{f,Mz}			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	1,8	0,5	2,8	0,2	0,0	0,2	0,6	-0,6	0,0	0,1	0,2	-0,3
15	1,7	0,5	2,7	0,2	0,1	0,2	0,7	-0,8	-0,1	0,1	0,2	-0,3
30	1,6	0,5	2,4	0,0	0,2	0,2	0,8	-0,6	-0,1	0,1	0,1	-0,3
45	1,5	0,4	2,4	0,0	0,3	0,2	1,1	-0,3	-0,2	0,1	0,0	-0,4
60	1,0	0,3	1,7	-0,1	0,4	0,1	0,9	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,4
75	0,4	0,2	1,0	-0,4	0,3	0,1	0,8	0,0	-0,1	0,0	0,1	-0,3
90	-0,1	0,2	0,6	-1,0	0,2	0,1	0,7	-0,1	0,0	0,0	0,2	-0,2

Bảng 4.9. Tải trọng gió cho mẫu M4

Hướng gió (°)	F _X (kN)				F _Y (kN)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	228	57	437	-11	-51	33	48	-173
15	226	61	437	11	-53	35	66	-175
30	223	60	467	-2	-46	34	66	-169
45	197	57	409	2	-16	33	110	-135
60	124	45	290	-19	19	26	104	-71
75	41	36	201	-74	29	16	86	-31
90	-13	35	120	-137	25	13	74	-22

Bảng 4.9. Tải trọng gió cho mẫu M4 (tiếp theo)

Hướng gió (°)	M _X (kN.m)				M _Y (kN.m)				M _Z (kN.m)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	-103	595	1.704	-2.065	2.706	380	4.103	-93	-68	153	586	-692
15	-40	618	2.020	-2.073	2.736	412	4.098	-123	-188	155	413	-858
30	-168	555	1.832	-1.978	2.769	401	4.339	-145	-373	142	123	-903
45	-469	546	1.431	-2.359	2.560	386	3.927	-467	-445	138	94	-1,034
60	-620	488	1.129	-2.203	1.962	398	3.089	-750	-316	113	147	-864
75	-562	340	751	-1.727	762	640	2.447	-1.522	-128	102	296	-746
90	-546	264	351	-1.477	-259	667	1.894	-2.570	44	98	448	-317

Bảng 4.10. Hệ số lực cho mẫu M4

Hướng gió (°)	C _{f,x}				C _{f,y}				C _{f,Mz}			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	1,6	0,4	3,1	-0,1	-0,4	0,2	0,3	-1,2	0,0	0,1	0,2	-0,3
15	1,6	0,4	3,1	0,1	-0,4	0,2	0,5	-1,3	-0,1	0,1	0,2	-0,3
30	1,6	0,4	3,0	0,0	-0,3	0,2	0,5	-1,2	-0,1	0,1	0,0	-0,4
45	1,4	0,4	2,9	0,0	-0,1	0,2	0,8	-1,0	-0,2	0,1	0,0	-0,4
60	0,9	0,3	2,1	-0,1	0,1	0,2	0,7	-0,5	-0,1	0,0	0,1	-0,3
75	0,3	0,3	1,4	-0,5	0,2	0,1	0,6	-0,2	-0,1	0,0	0,1	-0,3
90	-0,1	0,3	0,9	-1,0	0,2	0,1	0,5	-0,2	0,0	0,0	0,2	-0,1

Bảng 4.11. Tải trọng gió cho mẫu M5

Hướng gió (°)	F _x (kN)				F _y (kN)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	209	56	410	7	-31	19	32	-103
15	207	59	414	23	-33	21	35	-114
30	197	53	383	14	-21	28	86	-128
45	181	48	367	20	0	21	68	-73
60	113	40	266	-31	26	14	70	-27
75	38	26	138	-53	26	10	72	-12
90	-14	23	63	-120	19	8	51	-11

0. Tải trọng gió cho mẫu M5 (tiếp theo)

Hướng gió (°)	M _x (kN.m)				M _y (kN.m)				M _z (kN.m)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	-126	268	751	-1.011	2.279	319	3.411	267	-43	142	536	-577
15	-80	318	969	-1.087	2.332	336	3.497	-245	-147	137	435	-660
30	-197	439	756	-1.365	2.320	299	3.336	-420	-278	130	225	-870
45	-405	309	599	-1.536	2.203	270	3.241	-650	-419	118	5	-993
60	-487	224	294	-1.284	1.684	362	2.598	-870	-312	104	124	-755
75	-419	181	264	-1.221	633	429	1.843	-1.200	-146	96	203	-596
90	-377	140	66	-846	-200	383	1.013	-1.933	8	94	387	-419

Bảng 4.12. Hệ số lực cho mẫu M5

Hướng gió (°)	C _{f,x}				C _{f,y}				C _{f,Mz}			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	1,5	0,4	2,9	0,1	-0,2	0,1	0,2	-0,7	0,0	0,1	0,2	-0,2
15	1,5	0,4	3,0	0,2	-0,2	0,2	0,4	-0,8	-0,1	0,1	0,2	-0,3
30	1,4	0,4	2,7	0,1	-0,1	0,2	0,6	-0,9	-0,1	0,1	0,1	-0,3
45	1,3	0,3	2,6	0,1	0,0	0,1	0,5	-0,5	-0,2	0,0	0,0	-0,4
60	0,8	0,3	1,9	-0,2	0,2	0,1	0,5	-0,2	-0,1	0,0	0,0	-0,3
75	0,3	0,2	1,0	-0,4	0,2	0,1	0,5	-0,1	-0,1	0,0	0,1	-0,2
90	-0,1	0,2	0,4	-0,9	0,1	0,1	0,4	-0,1	0,0	0,0	0,2	-0,2

Bảng 4.13. Tải trọng gió cho mẫu M6

Hướng gió (°)	F _X (kN)				F _Y (kN)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	187	58	385	33	-18	21	56	-90
15	185	64	389	23	-21	23	88	-125
30	186	63	362	16	-21	31	97	-136
45	168	53	306	32	2	25	89	-95
60	108	46	244	-27	30	15	82	-29
75	41	35	128	-72	37	10	74	7
90	-2	25	77	-108	26	10	64	-9

Bảng 4.13. Tải trọng gió cho mẫu M6 (tiếp theo)

Hướng gió (°)	M _X (kN.m)				M _Y (kN.m)				M _Z (kN.m)			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	-148	319	673	-884	2.142	317	3.254	250	-68	159	613	-723
15	-97	335	1.029	-1.161	2.158	360	3.377	-94	-185	152	402	-831
30	-161	475	855	-1.125	2.199	347	3.241	-120	-382	142	204	-1.026
45	-392	386	633	-1.104	2.065	293	3.029	-250	-459	137	-6	-1.218
60	-486	215	178	-844	1.601	381	2.355	-334	-333	118	97	-791
75	-455	158	23	-655	718	529	1.766	-1.077	-156	120	376	-679
90	-370	171	113	-677	-39	397	1.217	-1.765	32	105	490	-346

Bảng 4.14. Hệ số lực cho mẫu M6

Hướng gió (°)	C _{f,x}				C _{f,y}				C _{f,Mz}			
	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min	Mean	Std	Max	Min
0	1,7	0,4	2,9	0,3	-0,1	0,2	0,4	-0,7	0,0	0,1	0,3	-0,3
15	1,7	0,5	3,0	-0,2	-0,2	0,2	0,7	-1,0	-0,1	0,1	0,2	-0,4
30	1,7	0,5	2,9	-0,2	-0,2	0,2	0,7	-1,0	-0,2	0,1	0,1	-0,4
45	1,5	0,4	2,8	-0,3	0,0	0,2	0,7	-0,7	-0,2	0,1	0,0	-0,5
60	1,0	0,4	2,0	-0,4	0,2	0,1	0,6	-0,2	-0,1	0,1	0,0	-0,3
75	0,4	0,3	1,2	-0,6	0,3	0,1	0,6	0,1	-0,1	0,1	0,2	-0,3
90	0,0	0,2	0,7	-0,8	0,2	0,1	0,5	-0,1	0,0	0,0	0,2	-0,1

4.4. Kết quả thí nghiệm và bàn luận

Thực hiện thí nghiệm trong ống thổi khí động đối với các mẫu M1 đến M6 ứng với các hướng gió từ 0° đến 90° với bước của góc hướng gió là 15° (như ở Hình 4.8). Ký hiệu kích thước, quy ước chiều lực và góc hướng gió như ở Hình 4.4. Kết quả sự thay đổi của lực cắt đáy theo phương X (F_X), theo phương Y (F_Y) và sự thay đổi mô men đáy quanh trục X (M_X), quanh trục Y (M_Y) và quanh trục Z (M_Z), cũng như sự thay đổi hệ số lực $C_{f,x}$ (theo phương trục x), $C_{f,y}$ (theo phương trục y) và $C_{f,Mz}$ (xoắn quanh trục z) tại bề mặt pano. Các kết quả được ghi ở Bảng 4.3 đến Bảng 4.14 và được minh họa ở các Hình 4.10 đến Hình 4.15 ứng với các giá trị tương ứng. Kết quả thí nghiệm cho các giá trị trung bình (Mean), độ lệch chuẩn (Std), lớn nhất (Max) và nhỏ nhất (Min) ứng với các nguyên mẫu M1 đến M6.

4.4.1. Kiểm chứng kết quả thí nghiệm

Kiểm chứng kết quả thí nghiệm trong ống thổi khí động (TN) thông qua so sánh với kết quả tính bằng bảng tính WSB theo TCVN 2737:1995 (VN95) và TCVN 2737:2023 (VN23), kết quả giá trị lực gió F_x được xác định từ kết quả lực cắt đáy theo phương X là F_X ($F_x = F_X$) đối với các mẫu M1 đến M6. Kết quả kiểm chứng lực gió F_x được ghi ở Bảng 4.15, kết quả lực gió F_x được minh họa ở Hình 4.16. Thấy rằng, giá trị chênh lệch giữa kết quả thí nghiệm khi so với VN95 từ 3,4% đến 17,7% (trung bình 7,2%), và khi so với VN23 từ 3,3% đến 16,6% (trung bình 5,3%). Theo đó, các giá trị chênh lệch là không nhiều, chứng tỏ kết quả thí nghiệm có đủ tin cậy.

Bảng 4.15. Kết quả kiểm chứng lực gió F_x

Mẫu số	Kích thước mẫu			Giá trị F_x (kN) theo			Chênh (%) TN so với	
	b	c	h_g	TN	VN95	VN23	VN95	VN23
1	14	5	15	161,2	152,3	134,4	5,6	16,6
2	14	5	12	143,4	148,2	131,2	-3,4	8,5
3	14	5	9	131,2	143,4	127,1	-9,3	3,1
4	18	6	18	227,9	241,1	213,3	-5,8	6,4
5	18	6	15	209,5	235,9	208,5	-12,6	0,5
6	18	6	12	187,5	220,8	193,6	-17,7	-3,3

Minh họa kết quả tính toán lực gió F_x đối với mẫu M5 (thống nhất ký hiệu theo TCVN 2737:1995 và TCVN 2737:2023 là F_x), cụ thể:

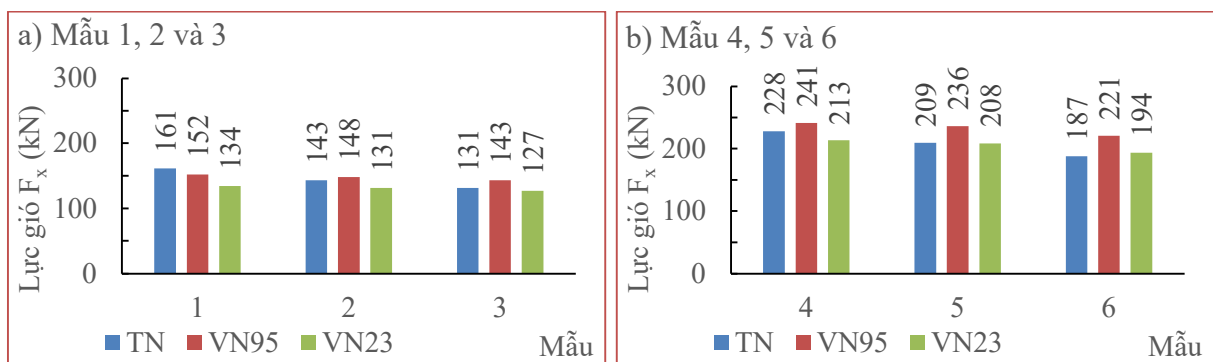
- Theo TCVN 2737:1995 (VN95), ta có:

$$F_x = W_0 k(z) c_x (1 + \zeta \xi v) A = 0,95 \times 1,033 \times 1,22 \times 1,69 \times 18 \times 6 = 235,9 \text{ kN.}$$

- Theo TCVN 2737:2023 (VN23), ta có:

$$F_x = W_0 k(z_e) c_x G_f A = 0,852 \times 1,2 \times 0,95 \times 1,133 \times 1,625 \times 1,037 \times 18 \times 6 = 208,5 \text{ kN}$$

Kết quả tính toán lực gió F_x đối với các mẫu khác (mẫu M1 đến M4 và mẫu M6) được thực hiện tương tự mẫu M1 và ghi ở Bảng 4.15.



Hình 4.16. Minh họa kết quả F_x theo TN, VN95 và VN23

4.4.2. Ảnh hưởng của hướng gió đến các lực gió

4.4.2.1 Đối với lực cắt đáy F_x theo phương X (lực cắt đáy dọc luồng gió)

Hướng gió có ảnh hưởng đến lực cắt đáy dọc luồng gió F_x , khi góc hướng gió $\theta = 0^\circ$ thì F_x có giá trị dương là lớn nhất và giảm dần về gần giá trị 0 (thậm chí còn có giá trị âm) khi góc hướng gió $\theta = 90^\circ$.

4.4.2.2 Đối với lực cắt đáy F_y theo phương Y (lực cắt đáy ngang luồng gió)

Hướng gió có ảnh hưởng đến lực cắt đáy ngang luồng gió F_y , khi góc hướng gió $\theta = 0^\circ$ thì F_y có giá trị là nhỏ nhất, và tăng dần đến lớn nhất khi góc hướng gió khoảng $\theta = 60^\circ$ đến 75° rồi lại giảm dần cho đến khi góc hướng gió $\theta = 90^\circ$.

4.4.2.3 Đối với mô men đáy M_z xoắn quanh trục Z

Hướng gió có ảnh hưởng đến mô men đáy M_z xoắn quanh trục Z, khi góc hướng gió $\theta = 0^\circ$ thì M_z có giá trị nhỏ và tăng dần đến giá trị lớn nhất khi góc hướng gió $\theta = 45^\circ$, nhưng sau đó lại giảm dần khi góc hướng gió $\theta = 90^\circ$.

4.4.3. Ảnh hưởng của độ cao đặt pano đến các lực gió

4.4.3.1 Đối với lực cắt đáy F_X theo phương X

Độ cao đặt pano có ảnh hưởng đến lực cắt đáy dọc luồng gió F_X , khi độ cao đặt pano càng lớn thì giá trị lực cắt đáy dọc luồng gió càng lớn, điều này có thể giải thích bởi profile vận tốc gió tăng dần theo chiều cao.

4.4.3.2 Đối với lực cắt đáy F_Y theo phương Y

Độ cao đặt pano có ảnh hưởng đến lực cắt đáy ngang luồng gió F_Y , cũng tương tự như đối với lực cắt đáy dọc luồng gió F_X , khi độ cao đặt pano càng lớn thì giá trị lực cắt đáy ngang luồng gió càng lớn.

4.4.3.3 Đối với mô men đáy M_Z xoắn quanh trục Z

Độ cao đặt pano có ảnh hưởng đến mô men đáy M_Z xoắn quanh trục Z, độ cao đặt pano càng lớn thì giá trị mô men đáy xoắn quanh trục Z càng lớn. Điều này cho thấy khi pano đặt càng cao thì lực gió đặt càng xa trọng tâm pano.

4.4.4. Nhận xét kết quả

- Hệ số lực $C_{f,x}$ đạt giá trị lớn nhất bằng 1,8 ứng với mẫu M1 và mẫu M3, và bằng 1,7 ứng với mẫu M2 tương ứng với tỉ lệ kích thước pano $b/c = 2,8$. Đạt giá trị lớn nhất bằng 1,7 ứng với mẫu M6, bằng 1,5 ứng với mẫu M5 và bằng 1,6 ứng với mẫu M4 tương ứng với tỉ lệ kích thước pano $b/c = 3,0$.

- Hệ số lực $C_{f,y}$ đạt giá trị lớn nhất là 0,3 khi góc hướng gió $\theta = 75^\circ$ ứng với mẫu M6 và nhỏ nhất bằng 0,0 khi góc hướng gió $\theta = 45^\circ$ ứng với mẫu M6. Đạt giá trị lớn nhất là 0,4 khi góc hướng gió $\theta = 75^\circ$ ứng với mẫu M3 và nhỏ nhất bằng 0,0 khi góc hướng gió $\theta = 15^\circ$ ứng với mẫu M3. Đồng thời thấy rằng, giá trị lực ngang luồng gió khá nhỏ, có nghĩa hệ số lực cũng như chiều dày pano d cũng khá bé so với chiều rộng pano b , vì thế có thể bỏ qua ảnh hưởng của hệ số lực C_y .

- Hệ số lực xoắn $C_{f,Mz}$, đạt giá trị lớn nhất là 0,2 khi góc hướng gió $\theta = 45^\circ$ ứng với mẫu M3 và nhỏ nhất bằng 0,0 khi góc hướng gió $\theta = 0^\circ$ và $\theta = 90^\circ$ ứng với mẫu M3 và mẫu M6.

4.5. Đề xuất giá trị $C_{f,x}$ và tỷ số e_y/b áp dụng cho bảng quảng cáo

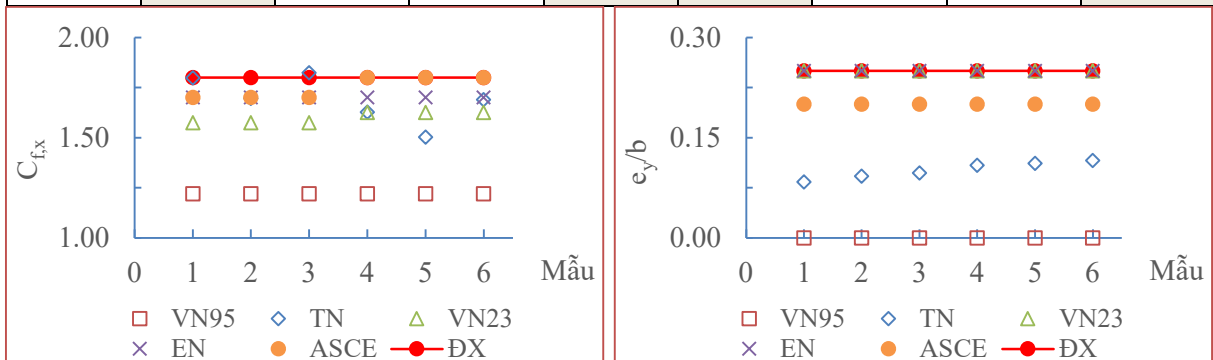
Trên cơ sở hệ số lực $C_{f,x}$ (theo phương x) và hệ số lực xoắn $C_{f,Mz}$ (xoắn quanh trục z) theo kết quả thí nghiệm (TN), tác giả luận án đề xuất (ĐX) giá trị hệ số lực $C_{f,x}$ và tỷ

số độ lệch tâm không thứ nguyên e_y/b quanh trục z áp dụng cho bảng quảng cáo với kích thước phổ biến ở Việt Nam, $C_{f,x} = 1,8$ và $e_y/b = \pm 0,25$. Các giá trị này cũng phù hợp với giá trị $C_x = 1,8$ và $e_y/b = \pm 0,25$ theo EN 1991-1-4 [46] và $C_x = 1,7$ đến $1,8$ và $e_y/b = \pm 0,20$ theo ASCE/SEI 7-16 [23].

Kết quả hệ số lực $C_{f,x}$ và tỷ số độ lệch tâm không thứ nguyên e_y/b quanh trục z theo đề xuất (ĐX) và theo TCVN 2737:1995 (VN95), TCVN 2737:2023 (VN23), và thí nghiệm (TN) được liệt kê trong Bảng 4.16 và minh họa như ở Hình 4.17.

Bảng 4.16. Đề xuất giá trị $C_{f,x}$ và tỷ số e_y/b

Mẫu số	Giá trị hệ số $C_{f,x}$				Giá trị tỷ số e_y/b			
	TN	VN95	VN23	ĐX	TN	VN95	VN23	ĐX
1	1,80	1,22	1,58	1,80	0,08	0,00	0,25	0,25
2	1,70	1,22	1,58	1,80	0,09	0,00	0,25	0,25
3	1,82	1,22	1,58	1,80	0,10	0,00	0,25	0,25
4	1,63	1,22	1,63	1,80	0,11	0,00	0,25	0,25
5	1,50	1,22	1,63	1,80	0,11	0,00	0,25	0,25
6	1,69	1,22	1,63	1,80	0,12	0,00	0,25	0,25



a) Giá trị $C_{f,x}$

b) Giá trị e_y/b

Hình 4.17. Minh họa giá trị $C_{f,x}$ và e_y/b

4.6. Kết luận chương 4

Qua các nội dung nghiên cứu trong chương này, kết quả đạt được:

- Xây dựng quy trình thí nghiệm trong ống thổi khí động dành riêng cho bảng quảng cáo, sử dụng phương pháp đo cân bằng lực tần số cao và thiết lập được mô hình thu nhỏ dùng cho thí nghiệm trong ống thổi khí động đối với bảng quảng cáo tấm lớn theo tỉ lệ 1:30 phù hợp với điều kiện Việt Nam (phù hợp về môi trường gió như: profile vận tốc gió, độ rối, độ nhám của mô hình thí nghiệm và điều kiện trang thiết bị thí nghiệm hiện có tại Viện Khoa học công nghệ xây dựng).

- Thí nghiệm trong ống thổi khí động 06 mô hình bảng quảng cáo thu nhỏ, pano có kích thước $(0,47 \times 0,17 \times 0,05)$ m với tỉ lệ $b/c = 2,8$ và $d/c = 0,3$, đặt ở các độ cao lần lượt là 0,6 m, 0,47 m và 0,34 m tính từ mặt nền đến mép cạnh dưới của pano, và pano có kích thước $(0,60 \times 0,20 \times 0,05)$ m với tỉ lệ $b/c = 3,0$ và $d/c = 0,25$, đặt ở các độ cao lần lượt là 0,6 m, 0,50 m và 0,47 m cũng tính từ mặt nền đến mép cạnh dưới của pano; cột đỡ các pano có đường kính 0,04 m, dạng địa hình B theo TCVN 2737:2023. Hướng gió tác động từ 0° đến 90° , bước thay đổi của góc đo là 15° .

- Làm rõ ảnh hưởng của góc hướng gió tác động và độ cao đặt pano bảng quảng cáo đến lực cắt đáy dọc luồng gió F_X , ngang luồng gió F_Y và mô men đáy theo phương dọc M_X và phương ngang M_Y , mô men xoắn M_Z đối với cột đỡ pano, cũng như các hệ số lực $C_{f,x}$ (theo phương x), $C_{f,y}$ (theo phương y) và $C_{f,Mz}$ (xoắn quanh trục z). Đồng thời thấy rằng, gió tác động lên pano gây lực gió lớn nhất là hướng gió 0° .

- Đồng thời đề xuất giá trị hệ số lực $C_{f,x}$ và độ lệch tâm e_y (độ lệch tâm không thứ nguyên e_y/b) của lực gió áp dụng cho bảng quảng cáo tấm lớn.

NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI VỀ KHOA HỌC CỦA LUẬN ÁN

1) Đã chọn được thông số mô phỏng trong phần mềm Ansys Fluent, làm rõ ảnh hưởng của tham số gió và kích thước bảng quảng cáo đến hệ số khí động, lực gió và độ lệch tâm của lực gió thông qua mô phỏng số bằng phần mềm Ansys Fluent. Đồng thời đề xuất quy trình thí nghiệm và thí nghiệm mô hình thu nhỏ bảng quảng cáo trong ống thổi khí động nhằm xác định bộ số liệu giá trị lực cắt đáy và mô men đáy cũng như giá trị hệ số lực;

2) Đề xuất được giá trị hệ số lực $C_{f,x}$ và độ lệch tâm e_y của lực gió so với trọng tâm pano trên cơ sở bộ số liệu thu được, có thể áp dụng đối với việc tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo bọc kín loại hai mặt song song;

3) Trên cơ sở bảng tính WSB trong môi trường Excel do tác giả luận án lập theo một số tiêu chuẩn (TCVN 2737:1995, TCVN 2737:2023, ASCE/SEI 7-16 và EN 1991-1-4), đã khảo sát nhằm làm rõ giá trị lực gió, độ lệch tâm của lực gió và lực tại chân cột đỡ pano. Xây dựng một số file UDF mã nguồn mở dùng để mô phỏng profile vận tốc gió trong phần mềm Ansys Fluent.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận:

Qua các kết quả nghiên cứu như đã trình bày, đề tài luận án đã đạt được một số kết quả chính như sau:

1) Đã xây dựng quy trình tính toán và bảng tính có tên WSB bằng phần mềm Excel theo một số tiêu chuẩn TCVN 2737:1995, TCVN 2737:2023, ASCE/SEI 7-16 và EN 1991-1-4, bảng tính có khả năng: (1) Tính toán tải trọng gió lên pano bảng quảng cáo, gồm: lực gió và độ lệch tâm của lực gió; (2) Tính toán lực chân cột, gồm: lực cắt, mô men uốn và mô men xoắn. Làm rõ một số tham số ảnh hưởng đến lực chân cột;

2) Nghiên cứu ảnh hưởng của một số tham số đến lực gió và độ lệch tâm của lực gió tác động lên pano bằng phần mềm Ansys Fluent, đã lựa chọn được kích thước không gian mô phỏng, mô hình dòng rối và hàm tường phù hợp để sử dụng trong mô phỏng số pano quảng cáo, xây dựng được hàm profile vận tốc gió UDF là mã nguồn mở dùng trong Ansys Fluent. Đồng thời, làm rõ ảnh hưởng của tỉ lệ mô hình, mô hình rối, dạng địa hình, profile vận tốc gió và hướng gió đến giá trị hệ số khí động (hệ số lực), lực gió và độ lệch tâm của lực gió tác động lên pano bảng quảng cáo;

3) Thiết lập quy trình thí nghiệm và thí nghiệm mô hình thu nhỏ trong ống thổi khí động theo điều kiện Việt Nam nhằm làm rõ ảnh hưởng của góc hướng gió, độ cao đặt pano đến giá trị lực cắt đáy và mô men đáy tác động tại chân cột đỡ, cũng như giá trị hệ số lực đối với bề mặt pano (gồm $C_{f,x}$, $C_{f,y}$ và $C_{f,Mz}$). Trên cơ sở tham khảo kết quả thí nghiệm nhằm đề xuất giá trị hệ số lực $C_{f,x}$ và độ lệch tâm của lực gió e_y (hoặc độ lệch tâm tương đối của lực gió e_y/b) áp dụng đối với pano bảng quảng cáo, từ đó cũng có thể tham khảo khi hiệu chỉnh giá trị hệ số lực trong tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam.

2. Kiến nghị:

1) Ứng dụng các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm của đề tài luận án trong thực tiễn khi tính toán tải trọng gió lên bảng quảng cáo tầm lớn.

2) Cần tiếp tục nghiên cứu tải trọng gió lên các dạng pano bảng quảng cáo khác, ví dụ bảng quảng cáo có hai mặt không song song hoặc ba mặt, hoặc bảng quảng cáo đặt trên mái các công trình nhà.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Nguyễn Lệ Thủy**, Nguyễn Hồng Sơn (2018), Tính toán tác động của tải trọng gió lên công trình biển quảng cáo tấm lớn theo các tiêu chuẩn, *Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ X*, Hà Nội, 08-09/12/2017, Tập 3. Cơ học Vật rắn. Quyển 2, tr 1199-1206.
2. **Nguyễn Lệ Thủy**, Nguyễn Hồng Sơn, Võ Thanh Lương (2020), Hệ số giạt và tính toán tải trọng gió lên tấm bảng quảng cáo theo một số tiêu chuẩn, *Tạp chí Xây dựng – Bộ Xây dựng*, tháng 12/2020, ISSN 2734-9888, tr 45-53.
3. **Nguyễn Lệ Thủy**, Nguyễn Hồng Sơn (2023), Mô phỏng bảng quảng cáo tấm lớn bằng phần mềm Ansys Fluent, *Tạp chí Xây dựng – Bộ Xây dựng*, tháng 2/2023, ISSN 2734-9888, tr 73-79.
4. **Nguyễn Lệ Thủy** (2023), Ảnh hưởng của một số tham số đến hệ số khí động của bảng quảng cáo, *Tạp chí Xây dựng – Bộ Xây dựng*, tháng 6/2023, ISSN 2734-9888, tr 74-79.
5. **Nguyễn Lệ Thủy**, Nguyễn Hồng Sơn, Võ Thanh Lương (2023), Đề xuất công thức xác định hệ số chiều dài tính toán cột bảng quảng cáo, *Tạp chí Khoa học Kiến trúc & Xây dựng – Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội*, số 48, tháng 6/2023, ISSN 1859-350X, tr 50-54.
6. **Nguyễn Lệ Thủy**, Vũ Thành Trung, Nguyễn Hồng Sơn (2023), Nghiên cứu thực nghiệm bảng quảng cáo tấm lớn dưới tác động của gió, *Tạp chí Xây dựng – Bộ Xây dựng*, tháng 7/2023, ISSN 2734-9888, tr 99-105.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt:

- [1] Bộ Xây dựng (2022), *Tập huấn phổ biến và hướng dẫn phòng chống thiên tai, lụt bão*, đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Xây dựng, mã số RD 26-21.
- [2] Nguyễn Hoài Nam (2014), *Nghiên cứu giải pháp giảm áp lực gió lên mái dốc nhà tháp tầng bằng thực nghiệm trong ống thổi khí động*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học công nghệ xây dựng.
- [3] Đỗ Tiến Quyết, Nguyễn Đình Cường (2020), “Nghiên cứu tính toán hệ số cản khí động bằng Ansys Fluent”, *Tạp chí Nghiên cứu khoa học*, Trường Đại học Sao Đỏ, ISSN 1859-4190, Số 2 (69) 2020.
- [4] QCVN 17:2018/BXD, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về xây dựng và lắp đặt phương tiện quảng cáo ngoài trời*, ban hành kèm theo Thông tư số 04/2018/TT-BXD ngày 20/5/2018.
- [5] QCVN 02:2022/BXD, *Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng*, ban hành kèm theo Thông tư số 02/2022/TT-BXD ngày 26/9/2022.
- [6] Vũ Thành Trung, Nguyễn Đại Minh (2018), “Hệ số giạt và xác định tải trọng gió tác dụng lên kết cấu”, *Hội nghị khoa học quốc tế kỷ niệm 55 năm ngày thành lập Viện Khoa học công nghệ xây dựng*, tr 200-208.
- [7] Vũ Thành Trung (2022), *Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng tiêu chuẩn tải trọng và tác động theo định hướng mới*, đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Xây dựng, mã số RD 109-20.
- [8] Vũ Thành Trung, Nguyễn Quỳnh Hoa (2013), “Đánh giá Profile vận tốc gió theo các tiêu chuẩn của một số nước”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng*, Viện Khoa học công nghệ xây dựng, số 2, tr 3-11.
- [9] Vũ Thành Trung (2006), “Mô hình hóa các công trình trong ống thổi khí động”, *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng*, Viện Khoa học công nghệ xây dựng, số 4/2006.
- [10] Vũ Thành Trung (2011), “Xác định hệ số khí động mặt dưới của tấm che nắng

- có lỗi bằng phương pháp số”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng*, Viện Khoa học công nghệ xây dựng, số 2/2011.
- [11] Nguyễn Công Thành (2013), “Ứng dụng mô hình dòng chảy rối trong tính toán dòng chảy tự do qua đập tràn”, *Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, số 43 (12/2013).
- [12] TCVN 2737:1995 (1995), *Tải trọng và Tác động - Tiêu chuẩn thiết kế*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [13] TCVN 2737:2023 (2023), *Tải trọng và Tác động*, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội.
- [14] TCVN 5575:2012 (2012), *Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [15] TCXD 229:1999 (1999), *Chỉ dẫn tính toán thành phần động của tải trọng gió theo TCVN 2737:1995*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [16] Viện KHCN Xây dựng (2008), “Xác định hệ số khí động cho một số dạng nhà công nghiệp thấp tầng bằng thí nghiệm trong ống thổi khí động”, đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Xây dựng.
- [17] Một số trang web liên quan đến bảng quảng cáo.

Tiếng Anh:

- [18] Alan G. Davenport Wind Engineering Group (2007), “Wind Tunnel Testing: A General Outline, The Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory”, *The University of Western Ontario, Faculty of Engineering Science*.
- [19] *Ansys Fluent Theory Guide*, Release 15.0 - © SAS IP, Inc. All rights reserved. - Contains proprietary and confidential information of ANSYS, Inc. and its subsidiaries and affiliates, p.2, p.3.
- [20] *Ansys Fluent Tutorial Guide*, Release 14.5 - © SAS IP, Inc. All rights reserved. - Contains proprietary and confidential information of ANSYS, Inc. and its subsidiaries and affiliates.
- [21] ASCE/SEI 49-12, American Society of Civil Engineers, “Wind Tunnel Testing for Buildings and Other Structures”, *American Society of Civil Engineers*, 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191.

- [22] ASCE. (1999), “Wind tunnel studies of buildings and structures”, *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice*, No. 67, Reston, VA.
- [23] ASCE/SEI 7-16, (2016), *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*, American Society of Civil Engineers 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia, 20191-4382.
- [24] ASCE 7-2010, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- [25] AWES-QWM-1-2019 (2019), *Quality Assurance Manual for Wind Engineering Studies of Buildings*, Australasian Wind Engineering Society.
- [26] Abdullah .J, Zaini .S.S., Aziz. M.S.A., Majid .T.A., Deraman .S.N.C., Yahya .W.N.W. (2017), *CFD Prediction on the Pressure Distribution and Streamlines around an Isolated Single-Storey House Considering the Effect of Topographic Characteristics*, IConCEES 2017 IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (2018) 012006 doi :10.1088/1755-1315/140/1/012006.
- [27] Paraschiv A.A, Gavrilescu I. (2019), “Structural design of a billboard supporting structure”, *Transilvania University of Braşov*, Braşov, Romania.
- [28] Agerneh K., Dagneu, Girma T., Bitsuamalk, Ryan Merrick (2009), “Computational evaluation of wind pressures on tall buildings”, *America Conference on Wind Engineering – San Juan, Puerto Rico*, 2009.
- [29] AIJ, Architectural Institute of Japan (2015), *AIJ Recommendation for Loads on Buildings*, 2015.
- [30] AS/NZS 1170-2 (2011), *Structural design actions - Part 2: Wind actions*, By Authority of New Zealand Structure Verification Method B1/VM1.
- [31] Bhandari N.M., Krishna Prem., Kumar Krishen (2015), *An Explanatory Handbook on Proposed IS 875 (Part 3)*, Wind Loads on Buildings and Structures, Document No., IITK-GSDMA-Wind06-V3.0 Final Report: B - Wind Codes IITK-GSDMA Project on Building Codes.
- [32] BS 6399 – Part 2: Loading for Buildings – *Code of Practice for Wind loads*.
- [33] BS EN 12899-1:2007, *Fixed, vertical road traffic signs - Part 1: Fixed signs*.
- [34] Buildings Department (2019), *Code of Practice on Wind Effects in Hong Kong*, Buildings Department Headquarters, North Tower, West Kowloon Government

- Offices, 11 Hoi Ting Road, Yau Ma Tei, Kowloon.
- [35] Carlo Paulotto, Marcello Ciampoli, Giuliano Augusti (2006), “Wind tunnel evaluation of mean wind pressure on a frame-type signboard”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Volume 94, Issue 5, May 2006, Pages 397-413.
- [36] Cook, N J. (1990), "The Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures. Vol. 2: Static Structures." *Building Research Establishment Report*.
- [37] Cook, N.J. and Mayne, J.R. (1980), “A Refined Working Approach to the Assessment of Wind Loads for Equivalent Static Design”. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 6, 125-137.
- [38] Davenport A.G. (1967), Gust Loading Factors, *Journal of Structural Division*. – ASCE, 1967. - vol. 93. - № 3. -P. 11 – 34.
- [39] Dahai Wang, Xinzhong Chen, Jie Li, 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.
- [40] Delong Zuo., Douglas A., Smith., Kishor C., Mehta (2012), “Benchmark wind tunnel study of wind loading on rectangular sign structures”, *The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications (BBAA7)*, Shanghai, China; September 2-6, 2012.
- [41] Delong Zuo., Douglas A., Smith., Kishor C., Mehta (2014), “Experimental study of wind loading of rectangular sign structures”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 130 (2014) 62–74.
- [42] Douglas A., Smith A., Delong Zuo., Kishor C., Mehta (2014), “Characteristics of wind induced net force and torque on a rectangular sign measured in the field”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Elsevier Ltd. All rights reserved.
- [43] Dyrbye C., Hansen S.O. (1999), *Wind Loads on Structures*, New York: John Wiley & Sons. 1999. – 229 p. – ISBN 0-471-95651-1.
- [44] Designers' Guide to EN 1991-1-4. *Eurocode 1: Actions on Structures, General Actions - Part 1-4: Wind actions*. ICE Publishing. Imprint Thomas

- Telford Ltd. Publication City/Country London, United Kingdom.
- [45] Diana G., Fiammenghi G., Belloli M., Rocchi D. (2013), Wind tunnel tests and numerical approach for long span bridges: The Messina bridge”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 122 (2013), pp. 38–39.
- [46] EN 1991-1-4:2005+A1 (2010), *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions*.
- [47] Eurocode 1, *Wind load on signboards (force coefficient)*.
- [48] ECCS recommendations for calculating the effects of wind on constructions (1987), *European Convention for Constructional Steelwork, Technical Committee 12*, Brussels, Belgium.
- [49] 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.
- [50] Farooqui K.M (2021), Study on Effects of Wind on Billboard Structures, *Journal of Construction Engineering and Management*, October 2021.
- [51] Girma T. Bitsuamlaka, Agerneh K. Dagnewb, James Erwin (2010), “Evaluation of wind loads on solar panel modules using CFD”, *The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2010) Chapel Hill*, North Carolina, USA May 23-27, 2010.
- [52] Han Z. Gu.M (2014), “Wind-include response and wind vibration coefficient of large single column supported billboards”, *Journal of Vibration and Shock*, Vol. 34 No.19 2015.DOI:10.13465/j.cnki.jvs.2015.19.021.
- [53] Holmes J.D. (2015), *Wind Loading of Structures*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- [54] IS 875 (Part 3):2015. *Design Loads (Other than Earthquake) for Buildings and Structures - Code of Practice*.
- [55] ISO 4354:2009, *Wind actions on structures*.
- [56] Khant Win Htet (2019), “Wind Load Design of a Triangular Shaped Building Using Finite Element Analysis”, *Worcester Polytechnic Institute Civil &*

Environmental Engineering Department.

- [57] Letchford C.W. (2001), “Wind loads on rectangular signboards and hoardings”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89 (2001) 135-151.
- [58] Lanfrit M. (2005), *Best practice guidelines for handling Automotive External Aerodynamics with FLUENT*, Version 1.2.
- [59] Li Z., Wang D., Chen X. (2018), *Wind load effect of single-column-supported two-plate billboard structures*, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 2018(179), August 2018, 0167-6105/© 2018 Published by Elsevier Ltd.
- [60] Matsumoto M. (1996), *Aerodynamic damping of prisms*, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 59 (1996), pp. 159–175.
- [61] *Matlab, MATLAB - The language of technical computing*, Disponible em: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>.
- [62] Mehta, Kishor C. (2013), *Wind loads: guide to the wind load provisions of ASCE 7-10*. Published by American Society of Civil Engineers 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191 www.asce.org/pubs.
- [63] Meyer D., I. Zisis, B. Hajra, A. G. Chowdhury, 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.
- [64] Nagyová M., Psotný M., Ravingera J. (2012), *Dynamic of billboard thin plate*, 1877-7058 © 2012 Published by Elsevier Ltd.
- [65] NBCC 2010 (2010), *National Building Code of Canada*, IRC-NRC-CNRC.
- [66] Popov N.A. (2000), “The wind load codification in Russia and some estimates of a gust load accuracy provided by different codes”, Elsevier Science Ltd. All rights reserved. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 88 (2000), pp 171–181.
- [67] Prem Krishna, Krishen Kumar, N.M. Bhandari, *An Explanatory Handbook on Proposed is 875 (Part 3) Wind Load on Building and Structures*. Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Roorkee.
- [68] Reza Adhi Fajar, Joni Irawan, Rinova Firman (2015), “A review of safety construction of billboard around banjarmasin”, © 2015 Penerbit UTM Press. All

- rights reserved, *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 77:23 (2015) 93–99.
- [69] Ruia S., 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.
- [70] Revuz J., Hargreaves D.M. and Owen J.S., (2012), “On the domain size for the steady-state CFD modelling of a tall building”, *Wind and Structures*, Vol. 15, No. 4 (2012) 313-329.
- [71] RWIND (2023), Structural Analysis and Design Software.
- [72] Samith Buddika H.A.D., Weerasinghe W.A.C., Rodrigo B.C.S.S.W. (2022), “Prediction of Drag Force Coefficient for SingleColumn-Supported Billboard Structures”, The Institution of Engineers, Sri Lanka, ENGINEER - Vol. LV, No. 03, pp. 43-53, 2022.
- [73] Solari G., Repetto M.P. (2002), “General Tendencies and Classification of Vertical Structures under Wind Loads”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, № 90. - 2002. - P. 1299 – 1319.
- [74] Sigmund, Carlo (2014), *Worked Examples in accordance with European Standards CEN/TC 250: Structural Eurocodes (EN 1990/EN 1991)*.
- [75] Simiu E., DongHun Y. (2019), *Wind Effects on Structures Modern Structural Design for Wind*, John Wiley & Sons.
- [76] Simiu E., Scanlan R. H. (1996), *Wind effects on structures - Fundamentals and Applications to Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [77] Tamura Y., Kawai H., Uematsu Y., Marukawa H., Fujii K., Taniike Y. (1996), “Wind Loads and Wind-induced Response Estimations in the Recommendations for Loads on Buildings”, *AIJ. Engineering Structures*, № 18. - 1996. - P. 399 – 411.
- [78] Thet Mon Soe, Sun Yu Khaing (2017), “Numerical Study on Wind Pressure Characteristics of Cluster of Buildings in Ansys Fluent – A Case Study”, *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, ISSN: 2394-2827 Volume-4, Issue-4, Aug.-2017.

- [79] Venkatesh G. and Siva Kishore I. (2018), “Evolution of Wind Effect on I – Plan Shaped Tall Building using Fluent”, *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(6), 2018, pp. 324–331.
- [80] Xu J., Xu H., Zeng C., Xie C., Guo J. (2020), “CFD simulation study on wind load of perforated traffic sign board”. *PLoS ONE* 15(10): e0240927. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240927>.
- [81] Zuo, D., Smith, D.A., Mehta, K.C., (2014), “Experimental study of wind loading of rectangular sign structures”, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 130, 62–74.
- [82] Ziauddin S. M. (2016), “Wind-induced dynamic response of large billboard structures”, *WIE Wind Engineering*, EASEC-14 Hochiminh City, Vietnam.
- [83] Zhihao Li, Dahai Wang, Xinzhong 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>
- [84] Zhou Y., Kareem A (2001), “Gust Loading Factor: New Model”, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 127, №2, February, 2001. - P. 168 - 175.
- [85] Warnitchai, P. et al. (2009). “Wind Tunnel Model Tests of Large Billboards.” *Advances in Structural Engineering*, Vol. 12, No. 1, 103–114
- [86] Wang D., Li Z., Chen X. (2018), “Experimental study of wind loads and wind-induced vibration on large single column-supported two-plate billboard”, *Editorial Board of Journal of Harbin Institute of Technology*.
- [87] Wang D., Li J., Chen X., Cheng H. (2016), Wind load characteristics of large billboard structures with two-plate and three-plate configurations, *Wind and Structures An International Journal*, 22(6):703-721, June 2016.
- [88] Yang Wen-wei, Luo Jin-cai, Du Ya-nan (2022), “Aerodynamic optimization of outdoor large-scale three-sided single column billboard”, *Journal of Lanzhou University of Technology*, 2022, 48(1): 143-149.
- [89] Worked Examples in accordance with European Standards CEN/TC 250: Structural Eurocodes (EN 1990/EN 1991).

Tiếng Nga:

- [90] Барштейн М.Ф. и др. (1984), *Динамический расчет зданий и сооружений*, Стройиздат, Москва.
- [91] Барштейн М.Ф. (1978), *Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра*, ЦНИИСК им. Кучеренко.– М. : Стройиздат.
- [92] Бирбраер А. Н., Бирбраер, А. Ю. (2009), *Экстремальные воздействия на сооружения*. Издво Политехн. ун-та, 2009. - 594 с.
- [93] Симиу Э. (1984), *Воздействие ветра на сооружения*, [пер. с англ.] / Э. Симиу, Р. Сканлан. – М. : Стройиздат.
- [94] СП 20.13330.2016 (2018), *Нагрузки и воздействия*, Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. (с Изменениями N 1, 2, 3, 4).
- [95] Попов Н.А (2000), “Рекомендации по уточненному динамическому расчету зданий и сооружений на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки”, *Утверждены Научно-техническим Советом ЦНИИСК*.
- [96] Исаев А.В. (2005), *Методика расчета и совершенствование конструктивных форм рекламных конструкций*, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Казань: КГАСУ, 2005. - 187 с. 05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения.
- [97] Козлов М.В (2009), *Совершенствование методики расчёта рекламных сооружений на ветровую нагрузку*, Казань: Казан. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2009. – 159 с.
- [98] Хусаинов, Д.М. (2014), *Расчет несущих элементов конструкций рекламных конструкций с использованием методов теории надежности* / Д.М. Хусаинов, М.А. Дымолазов, С.А. Пеньковцев // Известия КГАСУ. – 2014. – Т. 4, № 30.

Tiếng Trung:

- [99] An ShuiJing (2009), 单立柱广告牌结构风灾 易损性研究 (Wind Disaster Vulnerability Study of Single-Column Billboard Structure), Master's thesis, Harbin Institute of Technology.
- [100] CECS 148:2003. 户外广告设施钢结构技术规程. 中国工程建设标准

- 化协会标准. (Tạm dịch, Chỉ dẫn kỹ thuật đối với kết cấu thép bảng quảng cáo ngoài trời. Hiệp hội tiêu chuẩn xây dựng kỹ thuật Trung Quốc).
- [101] 07SG 526-2007[S]. 户外钢结构独立柱广告牌图集: 北京: 中国计划出版社, 2007. Collective drawing of outdoor steel structure advertisement board supported by single column: 07SG 526-2007[S]. Beijing: China Planning Press.
- [102] National Standard of the People's Republic of China, Load Code for the Design of Building Structures GB 50009-2012, China Architecture & Building Press, Beijing 2002.
- [103] JGJ/T 338-2014 (2014), 建筑工程风洞试验方法标准 (Standard for wind tunnel test of buildings and structures), China Architecture & Building Press: Beijing, China, 2014.

CÁC PHỤ LỤC

PHỤ LỤC 1. CÁC BẢNG TRA VỀ TẢI TRỌNG GIÓ

Phụ lục 1.1. Thời gian lấy trung bình, chiều cao tham chiếu và chu kỳ lặp

Tiêu chuẩn	Thời gian trung bình cho vận tốc gió cơ bản (s)	Thời gian trung bình cho vận tốc gió thiết kế tại chiều cao tham chiếu (s)	Chiều cao tham chiếu cho hệ số giặt	Chiều cao tham chiếu (m)	Chu kỳ lặp (năm)
TCVN 2737:1995	3	3	h	10	20
TCVN 2737:2023	3	3	h	10	20
EN 1991-1-4:2005	600	3600	h	10	50
ASCE/SEI 7-16	3	3600	0,6h	10	50

h là chiều cao của công trình.

Phụ lục 1.2. Các tham số của biểu đồ vận tốc gió theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn			Dạng địa hình					
			1	2	3	4	5	6
TCVN 2737:1995	3 giây	α	0,14	0,09				0,07
		\hat{b}	0,81	1,00				1,09
	1 giờ	$\bar{\alpha}$	0,31	0,15				0,11
		\bar{b}	0,31	0,65				0,79
EN 1991-1-4:2005	10 phút	$\bar{\alpha}$	0,29	0,21 (0,16)			0,12	
		\bar{b}	0,55	0,77 (1,00)			1,17	
ASCE/SEI 7-16	3 s	α	0,2	0,14		0,11		
		\hat{b}	0,64	0,84		1,00		
	1 giờ	$\bar{\alpha}$	0,33	0,25		0,15		
		\bar{b}	0,3	0,45		0,65		

Phụ lục 1.3. Giá trị α và z_0 trong các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn	Số dạng địa hình	Dạng của Profile vận tốc gió	Số mũ α trong hàm số Profile vận tốc gió	Chiều dài độ nhám z_0 (m)
TCVN 2737:1995	3	Luật lũy thừa (Power Law)	0,14 đến 0,28	từ 0,002 đến 2,0
EN 1991-1-4:2005	5	Dạng Logarit	0,1 đến 0,35 (quy đổi)	từ 0,003 đến 1,0
ASCE/SEI 7-16	3	Luật lũy thừa (Power Law)	0,11 đến 0,33	từ 0,0039 đến 0,58

Phụ lục 1.4. So sánh các dạng địa hình theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn	Dạng địa hình					
	1 ($z_0 = 0,002$)	2 ($z_0 = 0,04$)	3 ($z_0 = 0,2$)	4 ($z_0 = 0,5$)	5 ($z_0 = 1,0$)	6 ($z_0 = 2,0$)
ASCE/SEI 7-16	D ($z_0 = 0,0039$)	C ($z_0 = 0,048$)		B ($z_0 = 0,58$)		
EN 1991-1-4:2005	0 ($z_0 = 0,003$)	I ($z_0 = 0,01$) II ($z_0 = 0,05$)	III ($z_0 = 0,3$)		IV ($z_0 = 1$)	
TCVN 2737:1995	A ($z_0 = 0,002$)	B ($z_0 = 0,02$)				C ($z_0 = 2$)

Phụ lục 1.5. Các tham số của biểu đồ độ rôi theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn		Dạng địa hình					
		1	2	3	4	5	6
ASCE/SEI 7-16	c			0,3	0,20		0,15
	d			0,167	0,167		0,167
EN 1991-1-4:2005	c		0,434	0,285	0,189	0,145	
	d		0,29	0,21	0,16	0,12	

Phụ lục 1.6. Các tham số của tỉ lệ chiều dài rôi theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn		Dạng địa hình					
		Dạng 1	Dạng 2	Dạng 3	Dạng 4	Dạng 5	Dạng 6
ASCE/SEI 7-16	l		55	95	152	198	
	$\bar{\varepsilon}$		0,5	0,33	0,20	0,13	
EN 1991-1-4:2005	l		40	48	63	80	96
	$\bar{\varepsilon}$		0,67	0,61	0,52	0,44	0,38

CHÚ THÍCH: Tỉ lệ chiều dài rôi của TCVN 2737:1995 là 1200 m.

Phụ lục 1.7. Hệ số chuyển đổi vận tốc gió theo chu kỳ lặp của các tiêu chuẩn

STT	Tiêu chuẩn	Chu kỳ lặp của vận tốc gió chuẩn (năm)	Thời gian lấy trung bình của vận tốc gió (giờ)	Công thức hệ số chuyển đổi vận tốc gió cho theo chu kỳ lặp R	Công thức hệ số chuyển đổi vận tốc gió theo chu kỳ lặp (đã được biến đổi tương đương với chu kỳ lặp R=50 năm)	Hệ số chuyển đổi vận tốc gió theo chu kỳ lặp R							
						Chu kỳ lặp R (năm)							
						5	10	20	30	40	50	100	500
1	ASCE/SEI 7-16	50	3	$F_c = 0,36 + 0,1 \ln(12R)$	$0,61 + 0,1 \ln(R)$	0,77	0,84	0,91	0,95	0,98	1	1,07	1,23
2	EN 1991-1-4:2005	50	600	$C_{pvb} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - 1/R))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n$ K = 0,2 và n = 0,5	$0,77 + 0,06 \ln(R)$	0,85	0,90	0,95	0,97	0,99	1	1,04	1,12
3	TCVN 2737:1995	20 (50)	3	$0,63 + 0,094 \ln(R)$	$0,63 + 0,094 \ln(R)$	0,78	0,85	0,91	0,95	0,98	1	1,06	1,21

Phụ lục 1.8. Hệ số đỉnh và các tham số theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn	g_R	g_B	g_v	g_q	T (giây)	
ASCE/SEI 7-16	$\sqrt{2 \ln(vT)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(vT)}}$	3,4	3,4	$1+g_v.r$	3600	f_0
EN 1991-1-4:2005	$\sqrt{2 \ln(vT)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \ln(vT)}}$	g_g	3,5	$1+g_v.r$	600	f_0
TCVN 2737:1995						
TCVN 2737:2023	$\sqrt{2 \ln(vT)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(vT)}}$	3,4	3,4	3,4	3600	f_0

Phụ lục 1.9. Hệ số phản ứng nền (B) theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn	Hệ số phản ứng nền (B)
ASCE/SEI 7-16	$\frac{1}{1+0,65 \left(\frac{b+h}{L_{h,ref}} \right)^{0,65}}$
EN 1991-1-4:2005	$\frac{1}{1+0,9 \left(\frac{b+h}{L_{h,ref}} \right)^{0,65}} \quad (\text{Phương pháp 1})$
	$\frac{1}{1+\frac{3}{2} \sqrt{\left(\frac{b}{L_{h,ref}} \right)^2 + \left(\frac{h}{L_{h,ref}} \right)^2 + \left(\frac{b}{L_{h,ref}} - \frac{h}{L_{h,ref}} \right)^2}} \quad (\text{Phương pháp 2})$
TCVN 2737:1995	-
TCVN 2737:2023	$\frac{1}{1+0,63 \left(\frac{b+h}{L_{h,ref}} \right)^{0,65}}$

Phụ lục 1.10. Hệ số giảm kích cỡ (S) theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn	Hệ số giảm kích cỡ (S)	Tần số rút gọn
ASCE/SEI 7-16	$S = R_h R_b (0,53 + 0,47R_d)$ $R_h = \frac{1}{\eta h} - \frac{1}{2(\eta h)^2} (1 - e^{-2\eta h})$ $R_b = \frac{1}{\eta b} - \frac{1}{2(\eta b)^2} (1 - e^{-2\eta b})$ $R_d = \frac{1}{3,348\eta d} - \frac{1}{2(3,348\eta d)^2} (1 - e^{-6,696\eta d})$	$\eta = \frac{4,6f_0}{V_{h,ref}}$
EN 1991-1-4:2005	$S = R_h R_b \text{ (Phương pháp 1)}$ $R_h = \frac{1}{\eta b} - \frac{1}{2(\eta b)^2} (1 - e^{-2\eta b});$ $R_b = \frac{1}{\eta b} - \frac{1}{2(\eta b)^2} (1 - e^{-2\eta b});$	$\eta = \frac{4,6f_0}{V_{h,ref}}$
	$S = \frac{1}{1 + \sqrt{[G_y C_y \eta b]^2 + [G_z C_z \eta h]^2 + \left[\frac{2}{\pi} G_y C_y G_z C_z b h \eta^2\right]^2}}$ <p align="center">(Phương pháp 2)</p> <p align="center">G_y, G_z là các hệ số phụ thuộc dạng dao động</p> <p align="center">$C_y = C_z = 11,5$</p>	$\eta = \frac{f_0}{V_{h,ref}}$
TCVN 2737:1995	-	-
TCVN 2737:2023	$S = R_h R_b (0,53 + 0,47R_d)$ $R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h})$ $R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b})$ $R_d = \frac{1}{\eta_d} - \frac{1}{2\eta_d^2} (1 - e^{-2\eta_d})$	$\eta = \frac{4,6f_0}{V_{h,ref}}$

Phụ lục 1.11. Hệ số phản ứng cộng hưởng (R) theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn	Hệ số phản ứng cộng hưởng (R)
ASCE/SEI 7-16	$\frac{SE}{\zeta}$
EN 1991-1-4:2005	$\frac{SE \pi^2}{\zeta \cdot 2}$
TCVN 2737:2023	$\frac{SE}{\zeta}$

Phụ lục 1.12. Hệ số năng lượng (E) theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn	Hệ số năng lượng (E)	Tần số rút gọn
ASCE/SEI 7-16	$E = \frac{0,951N}{(1+10,3N)^{5/3}}$ (Kaimal)	$N = \frac{f_0 L_{h_{ref}}}{V_{h_{ref}}}$
EN 1991-1-4:2005	$E = \frac{6,8N}{(1+10,2N^2)^{5/3}}$ (Kaimal)	$N = \frac{f_0 L_{h_{ref}}}{V_{h_{ref}}}$
TCVN 2737:1995	$E = \frac{N}{(1+N^2)^{4/3}}$ (Davenport)	-
TCVN 2737:2023	$R_n = \frac{7,47N_1}{(1+10,3N_1)^{5/3}}$ (Kaimal)	$N_1 = \frac{n_1 L(z_s)}{V(z_s)_{3600s,50}}$

Phụ lục 1.13. Hệ số giạt (Hệ số tải trọng giạt) theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn	Thời gian trung bình cho $V_{gió\ cb, s}$	Hệ số giạt (G_f) (Hệ số tải trọng giạt (G))
ASCE/SEI 7-16	3	$G_f = 0,925 \left(\frac{1+1,7I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R}}{1+1,7g_v I_z} \right)$
EN 1991-1-4:2005	600	$G_f = c_s c_d = \frac{1+2k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1+7I_v(z_s)}$
TCVN 2737:1995	3	$G = 1 + \zeta(z) \cdot \xi \cdot v$
TCVN 2737:2023	3	$G_f = 0,925 \left(\frac{1+1,7I(z_s) \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1+1,7g_v I(z_s)} \right)$

PHỤ LỤC 2. MÃ NGUỒN CHƯƠNG TRÌNH TÍNH

Phụ lục 2.1. Các hàm do người dùng định nghĩa trong Ansys Fluent (UDF)

```
//UDF cho profile van toc dia hình A cho tỉ lệ 1/10
#include "udf.h"
DEFINE_PROFILE(inlet_x_velocity_A, thread, position)
{
    // Decaration
    // this will hold the position vector
    double Uo, h, TL; // Van toc tai do cao chuan 1 m
    double x[3]; // ND_ND = 2 in 2D, ND_ND = 3 in 3D
    double y;
    double Uc; // Axis Velocity as real number
    double beta, alpha; // So mu va he so Dia hình
    face_t f;
    // Assignment
    TL=10; // Ti lệ 1/TL
    h=2.3; // Chieu cao tam bang (goc toa do) in m
    beta=0.07; // So mu Dia hình A=0.07, B=0.09, C=0.14
    alpha=0.9226; // He so Dia hình A=0.9226, B=0.8128, C=0.5868
    Uo=39.37; // Van toc tai do cao chuan 10 m Dia hình B [m/s]
    Uc = Uo*alpha/pow(TL,beta); // Axis Velocity at cao do chuan
    // Boundary Face Loop
    begin_f_loop(f, thread)
    {
        F_CENTROID(x, f, thread);
        y = x[1]+h; //Chuyen goc toa do ve mat dat
        F_PROFILE(f, thread, position) = Uc*pow(y,beta); // Velocity profile
    }
    end_f_loop(f, thread)
}
.....
//UDF cho profile van toc dia hình B cho tỉ lệ 1/10
#include "udf.h"
DEFINE_PROFILE(inlet_x_velocity_B, thread, position)
{
    // Decaration
    // this will hold the position vector
    double Uo, h, TL; // Van toc tai do cao chuan 1 m
    double x[3]; // ND_ND = 2 in 2D, ND_ND = 3 in 3D
    double y;
    double Uc; // Axis Velocity as real number
    double beta, alpha; // So mu va he so Dia hình
    face_t f;
    // Assignment
    TL=10; // Ti lệ 1/TL
    h=2.3; // Chieu cao tam bang (goc toa do) in m
    beta=0.09; // So mu Dia hình A=0.07, B=0.09, C=0.14
    alpha=0.8128; // He so Dia hình A=0.9226, B=0.8128, C=0.5868
    Uo=39.37; // Van toc tai do cao chuan 10 m Dia hình B
    Uc = Uo*alpha/pow(TL,beta); // Axis Velocity at cao do chuan
    // Boundary Face Loop
    begin_f_loop(f, thread)
```

```

    {
        F_CENTROID(x, f, thread);
        y = x[1]+h;//Chuyen goc toa do ve mat dat
        F_PROFILE(f, thread, position) = Uc*pow(y, beta); // Velocity profile
    }
end_f_loop(f, thread)
}
.....
//UDF cho profile van toc dia hình C cho ti le 1/10
#include "udf.h"
DEFINE_PROFILE(inlet_x_velocity_C, thread, position)
{
    // Decaration
    // this will hold the position vector
    double Uo, h, TL; // Van toc tai do cao chuan 1 m
    double x[3]; // ND_ND = 2 in 2D, ND_ND = 3 in 3D
    double y;
    double Uc; // Axis Velocity as real number
    double beta, alpha; // So mu va he so Dia hình
    face_t f;
    // Assignment
    TL=10; // Ti le 1/TL
    h=2.3; // Chieu cao tam bang (goc toa do) in m
    beta=0.14; // So mu Dia hình A=0.07, B=0.09, C=0.14
    alpha=0.5868; // He so Dia hình A=0.9226, B=0.8128, C=0.5868
    Uo=39.37; // Van toc tai do cao chuan 10 m Dia hình B
    Uc = Uo*alpha/pow(TL, beta); // Axis Velocity at cao do chuan
    // Boundary Face Loop
    begin_f_loop(f, thread)
    {
        F_CENTROID(x, f, thread);
        y = x[1]+h;//Chuyen goc toa do ve mat dat
        F_PROFILE(f, thread, position) = Uc*pow(y, beta); // Velocity profile
    }
end_f_loop(f, thread)
}
.....
//UDF cho profile van toc dia hình I EN cho ti le 1/10
#include "udf.h"
DEFINE_PROFILE(inlet_x_velocity_I, thread, position)
{
    // Decaration
    // this will hold the position vector
    double Uo, h, TL, z0, zmin; // Van toc tai do cao chuan 1 m va he so Dia hình
    double x[3]; // ND_ND = 2 in 2D, ND_ND = 3 in 3D
    double y; // Toa do theo phuong y
    double kr; // He so chieu cao as real number
    double ukr, ukrtl; // Cac he so
    face_t f;
    // Assignment
    TL=10; // Ti le 1/TL
    h=2.3; // Chieu cao tam bang (goc toa do) in m
    z0=0.01/TL; // He so Dia hình I=0.01, II=0.05, III=0.30
    zmin=1.0/TL; // He so Dia hình I=1.0, II=2.0, III=5.0
    Uo=30.23; // Van toc tai do cao chuan 10 m Dia hình B [m/s]
    kr = 0.19*pow(z0/0.05, 0.07); // He so chieu cao
    ukr=Uo*kr;
    ukrtl=ukr*log(z0);
    // Boundary Face Loop

```

```

begin_f_loop(f,thread)
{
  F_CENTROID(x,f,thread);
  y = x[1]+h;//Chuyen goc toa do ve mat dat
  if (y>zmin)
    F_PROFILE(f,thread,position) = ukr*log(y)-ukrtl;// Velocity profile
  else
  {
    F_PROFILE(f,thread,position) = ukr*log(zmin)-ukrtl;// Velocity profile
  }
}
end_f_loop(f,thread)
}
.....
//UDF cho profile van toc dia hinh II EN cho ti le 1/10
#include "udf.h"
DEFINE_PROFILE(inlet_x_velocity_II, thread, position)
{
  // Decaration
  // this will hold the position vector
  double Uo, h,TL,z0,zmin;// Van toc tai do cao chuan 1 m va he so Dia hinh
  double x[3]);// ND_ND = 2 in 2D, ND_ND = 3 in 3D
  double y;// Toa do theo phuong y
  double kr;// He so chieu cao as real number
  double ukr,ukrtl;// Cac he so
face_t f;
// Assignment
TL=10;// Ti le 1/TL
h=2.3;// Chieu cao tam bang (goc toa do) in m
z0=0.05/TL;// He so Dia hinh I=0.01, II=0.05, III=0.30
zmin=2.0/TL;// He so Dia hinh I=1.0, II=2.0, III=5.0
Uo=30.23;// Van toc tai do cao chuan 10 m Dia hinh B
kr = 0.19*pow(z0/0.05,0.07);// He so chieu cao
ukr=Uo*kr;
ukrtl=ukr*log(z0);
  // Boundary Face Loop
  begin_f_loop(f,thread)
  {
    F_CENTROID(x,f,thread);
    y = x[1]+h;//Chuyen goc toa do ve mat dat
    if (y>zmin)
      F_PROFILE(f,thread,position) = ukr*log(y)-ukrtl;// Velocity profile
    else
    {
      F_PROFILE(f,thread,position) = ukr*log(zmin)-ukrtl;// Velocity profile
    }
  }
  end_f_loop(f,thread)
}
.....
//UDF cho profile van toc dia hinh III EN cho ti le 1/10
#include "udf.h"
DEFINE_PROFILE(inlet_x_velocity_III, thread, position)
{
  // Decaration
  // this will hold the position vector
  double Uo, h,TL,z0,zmin;// Van toc tai do cao chuan 1 m va he so Dia hinh
  double x[3]);// ND_ND = 2 in 2D, ND_ND = 3 in 3D
  double y;// Toa do theo phuong y

```

```

double kr;// He so chieu cao as real number
double ukr,ukrtl;// Cac he so
face_t f;
// Assignment
TL=10;// Ti le 1/TL
h=2.3;// Chieu cao tam bang (goc toa do) in m
z0=0.30/TL;// He so Dia hinh I=0.01, II=0.05, III=0.30
zmin=5.0/TL;// He so Dia hinh I=1.0, II=2.0, III=5.0
Uo=30.23;// Van toc tai do cao chuan 10 m Dia hinh B
kr = 0.19*pow(z0/0.05,0.07);// He so chieu cao
ukr=Uo*kr;
ukrtl=ukr*log(z0);
// Boundary Face Loop
begin_f_loop(f,thread)
{
  F_CENTROID(x,f,thread);
  y = x[1]+h;//Chuyen goc toa do ve mat dat
  if (y>zmin)
    F_PROFILE(f,thread,position) = ukr*log(y)-ukrtl;// Velocity profile
  else
  {
    F_PROFILE(f,thread,position) = ukr*log(zmin)-ukrtl;// Velocity profile
  }
}
end_f_loop(f,thread)
}
.....

```