

# Ảnh hưởng của một số tham số đến hệ số khí động của bảng quảng cáo

## Effect of parameters on aerodynamic coefficient of billboard

> NGUYỄN LỆ THỦY

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; Email: nlthuy.hau@gmail.com

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày việc khảo sát ảnh hưởng của dạng địa hình và mô hình dòng rối, độ cao đặt tấm bảng của bảng quảng cáo tấm lớn đến hệ số khí động bằng phần mềm Ansys Fluent, thông qua kỹ thuật tính toán động lực học chất lưu (CFD). Đồng thời, làm rõ ảnh hưởng của mô hình dòng rối và cao độ đặt tấm bảng đến giá trị hệ số cản khí động, từ đó làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo.

**Từ khoá:** Hệ số khí động; Ansys fluent

### ABSTRACT

This paper presents the investigation of the influence of the terrain, turbulent flow model, height of the panel of the large billboard on the aerodynamic coefficient by Ansys Fluent, through the computational fluid dynamics (CFD). At the same time, the influence of the turbulent flow model and the height of the panel is clarified on the value of the aerodynamic coefficient, thereby serving as a basis for further studies.

**Keywords:** Aerodynamic coefficient; Ansys Fluent

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ số khí động (hệ số lực) là một trong số các hệ số cần phải xác định khi tính toán lực gió tác động lên kết cấu nói chung và kết cấu tấm bảng quảng cáo nói riêng. Tiêu chuẩn thiết kế quy định về hệ số khí động ở mỗi nước là khác nhau, chẳng hạn:

- Tiêu chuẩn TCVN 2737:1995 [2] quy định ở sơ đồ 34 trong các Bảng 6.1, 6.2, 6.3, giá trị phụ thuộc vào tỷ lệ kích thước tấm bảng, đối với tấm bảng quảng cáo  $c_x = k \cdot c_{x\infty}$ , theo Bảng 6.2 với tấm bảng có  $\lambda_e = \lambda_r$ , theo Bảng 6.1 xác định được. Theo Bảng 6.3, với tấm bảng 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 tấm bảng.

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

ngang là  $e = \pm 0,25b$ . Lưu ý, phải xét tác động do gió gây ra dao động mất ổn định khí động dạng xoắn vặn (divergence) và dạng uốn-xoắn (flutter) theo Điều 10.1.2.

- Tiêu chuẩn châu Âu EN 1991-1-4 [6], mục 7.4.3 - Bảng quảng cáo (Signboards), quy định khi  $z_g > h/4$  ( $h$  là chiều cao tấm bảng), lấy  $c_r = 1,8$ . Lực gió đặt ở độ cao tâm hình học của tấm bảng và độ lệch tâm theo phương ngang là  $e = \pm 0,25b$ . Cũng phải kiểm tra mất ổn định dạng xoắn vặn (divergence) và dạng uốn-xoắn (flutter) đối với bảng quảng cáo.

- Tiêu chuẩn ISO 4354:2009 (E), 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  $c_x = 2,0$ .

- Tiêu chuẩn Nhật Bản AIJ, quy định cho hàng rào (fence), lấy  $C_{p,n} = 1,2$ ;

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

- Tiêu chuẩn Hoa Kỳ ASCE 7-16, quy định cho trường hợp A ở Hình 29.4-1 cho đèn tín hiệu hoặc tường đặc, hệ số  $C_r$  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  $C_r = 1,7 \div 1,8$  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  $s$ .

- Tiêu chuẩn Ấn Độ IS 875(Part 3):2015, quy định đối với tấm bảng khi tỷ số kích thước chiều dài/chiều rộng tấm bảng từ 0,5 đến 5,0 thì lấy  $C_r = 1,2$ . Ví dụ 21 trong tài liệu [4], thấy cũng lấy  $C_r = 1,2$ .

- Tiêu chuẩn Úc và NewZealand AS/NZS 1170.2:2011 cho giá trị  $C_{p,n}$  tại Bảng D2(A) và Bảng D2(B), phụ thuộc vào tỷ lệ các cạnh của tấm bảng và độ cao đặt tấm bảng (tối thiểu là 1,3 với tấm bảng thông thường).

Khi  $b/c = 0,5 \div 5,0$  và  $c/h = 0,2 \div 1,0$  (hướng gió  $\theta = 0^\circ$ ) thì

$$C_{p,n} = 1,3 + 0,5[0,3 + \log_{10}(b/c)](0,8 - c/h) \text{ và } e = 0$$

Khi  $b/c > 5,0$  và  $c/h = 0,2 \div 1,0$  (hướng gió  $\theta = 45^\circ$ ) thì

$$C_{p,n} = 1,3 + 0,5[0,3 + \log_{10}(b/c)](0,8 - c/h) \text{ và } e = 0,2b$$

Như vậy, các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau quy định giá trị hệ số khí động 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 tấm bảng, thậm chí còn phụ thuộc cả vào độ cao đặt tấm bảng.

Để có số liệu chính xác hơn dùng trong thiết kế, các nghiên cứu gần đây ở trong và ngoài nước về việc xác định hệ số khí động nói chung cũng đã được tiến hành, nhưng phổ biến là thông qua việc thử nghiệm khí động trong hầm gió hoặc mô phỏng số trong các phần

mềm chuyên dụng. Theo đó, tải trọng gió xác định dựa trên các giá trị đo được của hệ số áp suất từ các thử nghiệm hầm gió cho các hình dạng và kiểu tấm bằng quang cáo khác nhau, ví dụ bằng quang cáo ba mặt hoặc hai mặt không song song. Một số hình dạng khác của các bảng quang cáo không được liệt kê trong các tiêu chuẩn hoặc dữ liệu thiết kế bị bỏ sót cũng cần được thực hiện thông qua các thí nghiệm mẫu trong ống thổi khí động (hầm gió). Tuy nhiên, các thí nghiệm trong hầm gió sẽ rất tốn kém và tốn nhiều công sức, thậm chí khó có thể tiếp cận được đối với phần lớn các kỹ sư, đồng thời rất khó để mô phỏng số Reynolds ở quy mô đầy đủ bằng thực nghiệm. Việc mô phỏng số tác động của gió có lợi hơn so với việc sử dụng các mẫu tỷ lệ thu nhỏ trong các thí nghiệm. Dễ dàng mô phỏng bất kỳ số Reynolds nào, thay đổi các điều kiện biên và thực hiện nghiên cứu các tham số liên quan.

Xác định hệ số khí động khi gió thổi thẳng góc với bề mặt bảng quang cáo, việc xác định trường dòng chảy và phân bố áp lực gió của bảng quang cáo là một trong những mục tiêu chính trong của một số nghiên cứu thử nghiệm.

Có thể kể ra một số thí nghiệm trong ống thổi khí động (hầm gió) để xác định trường dòng chảy bề mặt và hệ số áp suất trung bình. Chẳng hạn, mẫu bảng chỉ dẫn giao thông đơn lẻ với các tỉ lệ kích thước ba chiều và góc hướng gió khác nhau đặt trên cùng độ cao được thử nghiệm bởi Meyer và cộng sự (2017) [15] để xác định hệ số khí động. C.W. Letchford (2001) [12], đã kiểm tra sự thay đổi hệ số khí động của bảng quang cáo mỏng khi đặt ở các độ cao khác nhau. Paraschiv A.A, Gavrilesco .I cũng đã nghiên cứu phân bố hệ số khí động lên bề mặt tấm bảng quang cáo ba mặt.

Hướng nghiên cứu về tác động của gió lên bảng quang cáo bằng phần mềm thương mại Ansys Fluent cũng là hướng nghiên cứu tốt, giảm được chi phí nghiên cứu thực nghiệm và dễ dàng tiếp cận đối với đa số nhà nghiên cứu.

## 2. HỆ SỐ KHÍ ĐỘNG THEO CÁC NGHIÊN CỨU VÀ TIÊU CHUẨN

### 2.1 Theo Meyer và cộng sự (2017)

Meyer và cộng sự (2017) [15] đã sử dụng 11 mẫu tấm bảng đèn tín hiệu tỷ lệ thu nhỏ (gồm cả 03 mẫu có cạnh cong), ký hiệu kích thước mẫu như ở Hình 2, các giá trị kích thước cụ thể như ở Bảng 1.

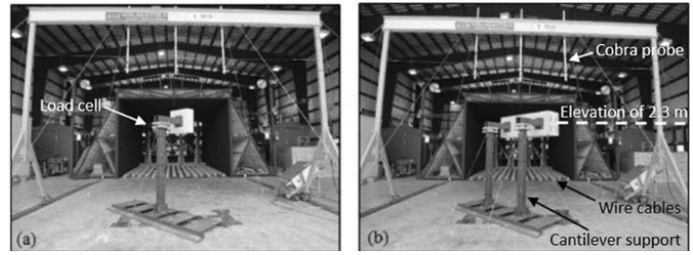
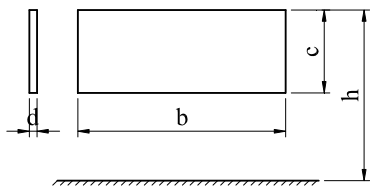
Bảng 1. Kích thước mẫu và tỷ số hình học [15]

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

$$C_{Fx} = \frac{F_x}{0,5\rho U^2(bc)}$$

$$C_{Fy} = \frac{F_y}{0,5\rho U^2(dc)}$$

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



Hình 1. Mẫu thí nghiệm của Meyer [15]

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 và tiếp tuyến với góc hướng gió 0° và 45° ứng với các giá trị của tỷ số b/c và d/c (ghi ở Bảng 2) và ma trận thiết kế ứng với tỷ số b/c và d/c được ghi ở Bảng 3. Ngoài ra, kết quả hệ số xoắn C<sub>M,z</sub> và tỷ số độ lệch tâm r/b (ghi ở Bảng 4) và hệ số khí động khi cạnh của tấm bảng được vuốt cong (cạnh cong) ứng với góc hướng gió 0° và 45° của 3 mẫu được ghi ở Bảng 5.

Bảng 2. Kết quả hệ số lực C<sub>f</sub>

Mẫu	Tỷ số		θ = 0°		θ = 45°	
	b/c	d/c	C <sub>F,x</sub>	C <sub>F,y</sub>	C <sub>F,x</sub>	C <sub>F,y</sub>
1	1	0,1	1,15	0,02	1,24	-1,05
2	3	0,1	1,22	0,35	1,18	-1,89
3	5	0,1	1,28	0,39	1,11	-2,21
4	1	0,4	1,12	0,00	1,02	-0,89
5	3	0,4	1,21	0,13	1,06	-1,22
6	5	0,4	1,25	0,04	1,03	-0,87
7	1	0,7	0,98	0,01	0,94	-0,79
8	3	0,7	1,16	0,07	0,95	-0,93
9	5	0,7	1,22	0,08	0,91	-0,75

Bảng 3. Ma trận thiết kế (design matrix)

b/c	d/c						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
1,0	1,21	1,18	1,15	1,12	1,08	1,04	0,98
2,0	1,21	1,20	1,18	1,17	1,14	1,11	1,09
3,0	1,22	1,22	1,22	1,21	1,20	1,18	1,16
4,0	1,25	1,25	1,24	1,24	1,23	1,22	1,21
5,0	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22

Bảng 4. Hệ số xoắn C<sub>M,z</sub> và tỷ số độ lệch tâm r/b

Mẫu	15 m/s		40 m/s	
	C <sub>M,z</sub>	r/b	C <sub>M,z</sub>	r/b
1	0,13	0,11	0,13	0,10
2	0,14	0,12	0,15	0,13
3	0,11	0,11	0,13	0,11
4	0,05	0,05	0,06	0,06
5	0,11	0,11	0,13	0,12
6	0,09	0,09	0,10	0,10
7	0,02	0,02	0,03	0,03
8	0,08	0,09	0,08	0,08
9	0,06	0,07	0,06	0,07

Bảng 5. Kết quả hệ số khí động C<sub>f</sub> khi cạnh cong

Mẫu	θ = 0°		θ = 45°	
	C <sub>F,x</sub>	C <sub>F,y</sub>	C <sub>F,x</sub>	C <sub>F,y</sub>
9	1,22	0,08	0,91	-0,75
10	1,06	0,28	0,74	-0,76
11	1,01	0,25	0,72	-0,75

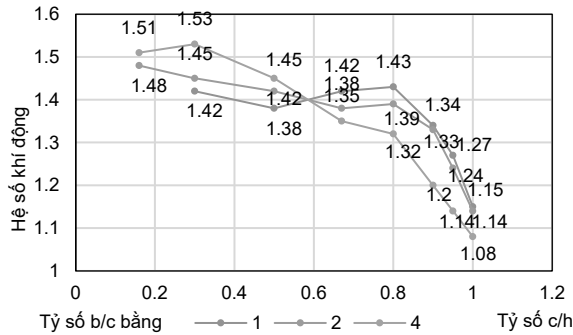
2.2 Theo Letchford C.W. (2001) [12]

Letchford C.W. (2001) [12] đã thực hiện thí nghiệm mẫu tấm bảng có kích thước b×c (trong đó: b là chiều rộng; c là chiều cao tấm bảng), độ cao đặt tấm bảng là h tính từ đỉnh tấm bảng đến mặt đất. Sử dụng biểu đồ vận tốc gió và biểu đồ cường độ rối theo tiêu chuẩn Úc AS1170.2. Kết quả hệ số khí động trung bình đối với góc hướng gió 0° (thẳng góc với bề mặt tấm bảng).

Bảng 6. Hệ số khí động trung bình

c/h	b/c						
	0,25	0,5	1	2	4	5	10
1,00	1,41	1,17	1,15	1,14	1,08	1,04	
0,95	1,42	1,33	1,27	1,24	1,14		
0,90	1,45	1,41	1,34	1,33	1,20	1,15	
0,80	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

Biểu diễn giá trị hệ số khí động trung bình khi tỷ số b/c = 1 đến 5, thấy rằng biểu đồ có một số điểm có quy luật bất thường, đó là các đường cong giao cắt nhau. Khi b/c = 1, 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) giải thích bởi lực khí động tăng lên do sự tương tác của các lớp cắt do tách xoáy từ xung quanh tấm bảng, chi tiết hơn có trong tài liệu [12].



Hình 2. Kết quả hệ số khí động

Qua đó, Letchford C.W. (2001) đã đề xuất công thức xác định hệ số khí động  $C_f$  (phạm vi áp dụng  $0,2 < b/c < 5$  và  $0,2 < c/h < 1,0$ ) là:

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

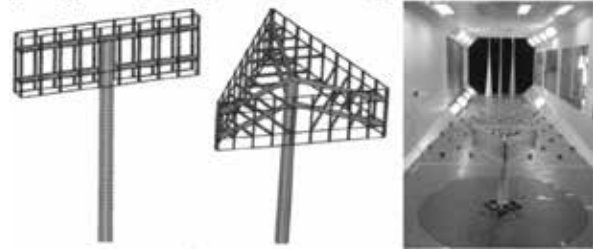
Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu của các tác giả khác như Wood J.D (1978), Good M.C (1968), Sakamoto K.G (1963) cho các kết quả hệ số khí động như sau:

Bảng 7. Hệ số khí động trung bình theo các nghiên cứu

b/c	[13], [14]		[8]		[7]	[12]
	Oxford	CSIRO	Oxford	CSIRO	[16]	
1,0	1,33		1,24	1,06	1,09	1,15
1,5		1,17			1,06	
2,0	1,24				1,04	1,14
3,0	1,22		1,17	0,96		
4,0					0,99	1,08
5,0		1,07	1,13	0,97	0,98	1,04
9,0			1,16	0,98		
10,0		1,13			1,04	
>>	1,32	1,21			1,15	

2.3 Theo HanZihui và GuMing (2014)

Nhóm tác giả HanZihui và GuMing (2014) [10] đã thí nghiệm mẫu thu nhỏ tỷ lệ 1:25 trong ống thổi khí động đối với tấm bảng có hai mặt song song và ba mặt (Hình 3). Nguyên mẫu bảng quảng cáo kích thước cao 22,0 m, trụ đỡ cao 20,55 m có đường kính 1,5 m, kích thước tấm bảng (6×18) m. Mô phỏng profile gió ứng với địa hình dạng B theo GB 50009-2012.



Hình 3. Mẫu thí nghiệm bảng quảng cáo [10]

Kết quả hệ số khí động đối với tấm bảng quảng cáo hai mặt song song ứng với góc hướng gió từ 0° đến 90°.

Góc	0°	7,5°	15°	22,5°	30°	37,5°
$C_x$	1,46	1,46	1,46	1,43	1,38	1,37
$C_y$	0,00	0,023	0,036	0,046	0,060	0,089

(tiếp)

	45°	52,5°	60,0°	67,5°	75,0°	82,5°	90°
$C_x$	1,35	1,21	1,01	0,73	0,43	0,18	0,00
$C_y$	0,122	0,151	0,173	0,194	0,226	0,287	0,00

2.4 Theo một số tiêu chuẩn thiết kế

Để làm rõ giá trị hệ số khí động theo các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau, xét tấm bảng quảng cáo có kích thước dài×rộng lần lượt là L×b = (6,0×9,0) m; (6,0×12,0) m và (6,0×18,0) m, chiều dày tấm bảng là d = 1,0 m, cao độ đỉnh tấm bảng so với mặt đất là 20 m.

a) Theo TCVN 2737:1995

- Khi kích thước tấm bảng (6,0×9,0) m, tra Bảng 6.2 có  $\lambda_e = \lambda = 9,0/6,0 = 1,5 < 5,0$ , suy ra  $k = 0,6$ . Tra Bảng 6.3 với  $d/b = 1,0/6,0 = 0,17 < 1,5$  suy ra  $c_{x\infty} = 2,1$ . Tức là,  $c_x = 2,1 \times 0,6 = 1,26$ .

- Khi kích thước tấm bảng (6,0×12,0) m và (6,0×18,0) m, cách làm tương tự như trên, có  $k = 0,6$  và  $c_x = 2,1$ . Tức là,  $c_x = 2,1 \times 0,6 = 1,26$ .

b) Theo TCVN 2737:2023

- Khi kích thước tấm bảng (6,0×9,0) m, tra Hình F.27 ứng với  $\lambda_e = \lambda = 9,0/6,0 = 1,5$  có  $k_\lambda = 0,62$  (với độ chوán  $\varphi = 1,0$ ), suy ra  $c_x = 2,5 \times 0,62 = 1,55$ .

- Khi kích thước tấm bảng (6,0×12,0) m, tra Hình F.27 ứng với  $\lambda_e = \lambda = 12,0/6,0 = 2,0$  có  $k_\lambda = 0,63$  (với độ chوán  $\varphi = 1,0$ ), suy ra  $c_x = 2,5 \times 0,63 = 1,575$ .

- Khi kích thước tấm bảng (6,0×18,0) m, tra Hình F.27 ứng với  $\lambda_e = \lambda = 18,0/6,0 = 3,0$  có  $k_\lambda = 0,65$  (với độ chوán  $\varphi = 1,0$ ), suy ra  $c_x = 2,5 \times 0,65 = 1,625$ .

Bảng 8. Kết quả hệ số khí động  $c_x$

Stt	Kích thước (m)	Giá trị $c_x$ theo TCVN		Chênh (%)
		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

Kết quả tính hệ số khí động theo TCVN 2737:1995 và TCVN 2737:2023 chênh lệch nhau khá lớn, từ 23,01% đến 69,27% ứng với tỷ lệ kích thước tấm bảng từ 1,5 đến 3,0.

c) Theo EN 1991-1-4

có  $z_g = (20 - 6) = 14 \text{ m} > h/4 = 6/4 = 1,5$ . Theo Điều 7.4.3, có  $c_f = 1,8$ .  
 d) Theo ASCE 7-16

Theo Hình 29.4-1, có  $s/h = 6/20 = 0,3$ .

- Đối với trường hợp A và B, khi kích thước tấm bảng  $(6,0 \times 9,0) \text{ m}$ ,  $(6,0 \times 12,0) \text{ m}$  và  $(6,0 \times 18,0) \text{ m}$  có  $B/s = 9,0/6,0 = 1,5; 2,0$  và  $3,0$ . Từ đó có  $C_f = 1,8$ .

- Đối với trường hợp C,

+ Khi kích thước tấm bảng  $(6,0 \times 12,0) \text{ m}$ , vùng từ 0 đến 6 m có  $C_f = 2,25$ , vùng từ 6,0 m đến 12 m có  $C_f = 1,5$ .

+ Khi kích thước tấm bảng  $(6,0 \times 18,0) \text{ m}$ , vùng từ 0 đến 6 m có  $C_f = 2,6$ , vùng từ 6,0 m đến 12 m có  $C_f = 1,7$  và vùng từ 12,0 m đến 18,0 m có  $C_f = 1,15$ .

### 3. THÔNG SỐ ĐẦU VÀO DÙNG CHO MÔ PHỎNG SỐ BẰNG PHẦN MỀM ANSYS FLUENT

#### 3.1 Biểu đồ vận tốc gió theo các tiêu chuẩn

Biểu đồ vận tốc gió trung bình được định nghĩa như là hàm theo độ cao trên mặt đất và được tính toán theo hàm logarit (như AS/NZS 1170.2:2011, EN 1994-1-4, ISO 4354:2009) hoặc theo hàm lũy thừa (như TCVN 2737:1995, ASCE 7-10, AIJ 2015, GB 50009-2012, IS 875 (Part 3):2015, SP 20.13330.2016).

$$\bar{V}(z) = \bar{b} \left( \frac{z}{10} \right)^{\bar{\alpha}} \bar{V}_0 \text{ hoặc } \bar{V}(z) = \frac{u^*}{0,4} \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \bar{V}_0 \quad (2)$$

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;  $\alpha$  là hệ số mũ;  $z_0$  là chiều dài độ nhám bề mặt.

Các hệ số trong công thức (2) xác định như sau:

- Theo TCVN 2737:1995,  $\bar{\alpha} = 0,14; 0,09; 0,07$  và  $\bar{b} = 0,81; 1,00; 1,09$  và chiều dài độ nhám bề mặt  $z_0 = 0,002; 0,02; 2,0$  ứng với dạng địa hình A, B và C (chia thành 3 dạng địa hình).

- Theo TCVN 2737:2023,  $\bar{\alpha} = 0,174; 0,210; 0,285$  và  $\bar{b} = 1,18; 1,00; 0,718$  và chiều dài độ nhám bề mặt  $z_0 = 0,0039; 0,048; 0,58$  ứng với dạng địa hình A, B và C (chia thành 3 dạng địa hình).

- Theo EN 1991-1-4,  $\bar{\alpha} = 0,29; 0,21; 0,12$  và  $\bar{b} = 0,64; 0,84; 1,00$  và chiều dài độ nhám bề mặt  $z_0 = 0,01; 0,05; 0,3$  ứng với dạng địa hình I, II và III (chia thành 5 dạng địa hình).

#### 3.2 Mô hình dòng chảy bao quanh bảng quảng cáo

Trong nghiên cứu về khí động học đối với vật thể, để mô tả dòng chảy không khí bao quanh vật thể các nhà nghiên cứu sử dụng phương trình Navier - Stoke. Tuy nhiên, cho đến nay hệ phương trình này vẫn chưa có lời giải lý thuyết đầy đủ và 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 phần mềm ansys Fluent sử dụng mô hình gần đúng để mô tả các dòng khí động này. Theo đó, các mô hình dòng khí động được sử dụng trong Ansys Fluent có thể phân thành ba nhóm:

- Dòng ổn định (mean steady) còn gọi là chảy tầng (Laminar);
- Dòng giả ổn định (pseudo-steady) gồm: Spalart - Allmaras, k - epsilon, k - omega, Transition k-kl-omega, Transition SST, Reynolds Stress;
- Dòng không ổn định (unsteady) còn gọi là chảy rối gồm: Scale - Adaptive Simulation (SAS), Detached Eddy Simulation (DES), Large Eddy Simulation (LES).

#### 3.3 Các bước thực hiện mô phỏng số trong Ansys Fluent

Ansys Fluent là phần mềm tính toán động lực học chất lưu (Computational Fluid Dynamics - CFD), để thực hiện tính toán trong Fluent cần thực hiện các trình tự sau:

- Xây dựng mô hình hình học;
- Xác định vùng không gian mô phỏng;
- Tạo lưới (rời rạc hóa vùng không gian tính toán);
- Lựa chọn mô hình dòng rối;
- Thiết lập thuật giải;
- Chạy chương trình mô phỏng;
- Xử lý kết quả.

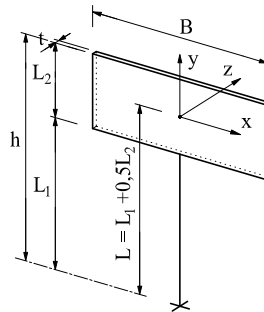
### 4. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

#### 4.1 Số liệu ban đầu

Ví dụ này nhằm khảo sát ảnh hưởng của dạng địa hình (A, B và C theo TCVN 2737:1995 (ký hiệu: VN95), TCVN 2737:2023 (ký hiệu: VN23) [2], [3] và I, II và III theo EN 1991-1-4 (ký hiệu: EN) [6]), và cao độ đặt tấm bảng đến giá trị của hệ số khí động đối với tấm bảng quảng cáo bằng phần mềm Ansys Fluent, so sánh với kết quả tính toán để cập trong một số tiêu chuẩn thiết kế.

- Sử dụng mô phỏng số tác động của gió lên tấm bảng quảng cáo, tấm bảng quảng cáo có tỷ lệ thu nhỏ 1:10, kích thước  $B \times L_2 \times t = (1,4 \times 0,5 \times 0,15) \text{ m}$  được đặt ở độ cao so với mặt đất tương ứng là  $L_1 = 1,50 \text{ m}$  (mẫu L1.1),  $1,20 \text{ m}$  (mẫu L1.2) và  $0,90 \text{ m}$  (mẫu L1.3), hình ảnh 3D bảng quảng cáo như ở Hình 4.

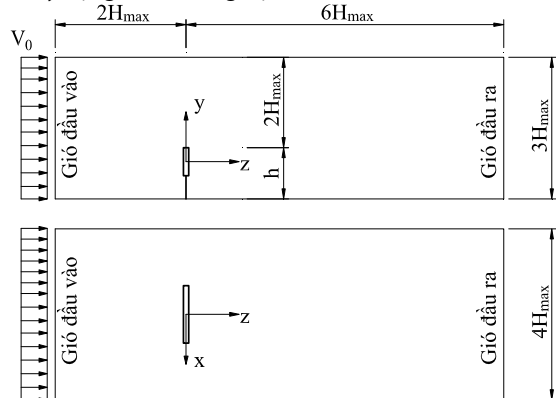
- Thông số của gió, vận tốc gió phân bố theo dạng địa hình (profile vận tốc gió) với  $V_0 = 39,37 \text{ m/s}$  cho tiêu chuẩn Việt Nam và  $V_0 = 30,23 \text{ m/s}$  cho tiêu chuẩn châu Âu, tỷ trọng không khí  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .



**Hình 4.** Mẫu kích thước bảng quảng cáo

Yêu cầu của nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của một số tham số (ảnh hưởng của dạng địa hình và mô hình dòng rối, cao độ đặt tấm bảng quảng cáo) đến hệ số khí động. Đồng thời, có nhận xét kết quả tính toán hệ số khí động ứng với các profile vận tốc gió theo các tiêu chuẩn [2], [3] và [6].

#### 4.2 Xây dựng mẫu thử nghiệm số 3D



**Hình 5.** Vùng không gian tính toán trong Ansys Fluent

Theo kết quả nghiên cứu để cập trong bài báo [1], tác giả đã lựa chọn được vùng không gian mô phỏng sử dụng trong nghiên cứu khí động học bảng quảng cáo tấm lớn. Vùng không gian như ở

Hình 5 có kích thước  $8H_{max} \times 4H_{max} \times (2H_{max} + h)$  với  $H_{max} = \max(B, L_2, h)$ ,  $(h = L_1 + L_2)$ , cho trong Bảng 9, sẽ có thời gian tính toán phù hợp với các tài nguyên máy tính thông dụng và cho kết quả đảm bảo độ chính xác yêu cầu.

Bảng 9. Kích thước các vùng không gian mô phỏng (TL 1/10)

TT	Dài (m)	Rộng (m)	Cao (m)
Không gian 1	16,00	8,00	6,00
Không gian 2	13,60	6,80	5,10
Không gian 3	11,20	5,60	4,20

4.3 Ảnh hưởng của dạng địa hình

Trong quá trình gió thổi trực diện vào bề mặt bảng quảng cáo đặt gần mặt đất, giá trị vận tốc gió tại bề mặt đất bằng 0. Càng gần mặt đất giá trị vận tốc gió thay đổi càng nhanh. Để có thể mô tả giá trị vận tốc gió theo chiều cao, có thể sử dụng các biểu đồ vận tốc gió (profile vận tốc gió).

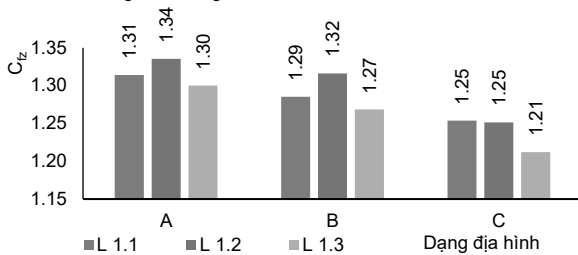
Để có thể mô tả các profile vận tốc gió trong Ansys Fluent, sử dụng các mô tả "hàm do người dùng định nghĩa - UDF". Các hàm UDF này mô tả gần đúng giá trị vận tốc gió tại các vị trí tâm ô lưới nên khối lượng tính toán giảm đi rất nhiều.

Kết quả hệ số khí động  $C_f$  của 3 mẫu bảng quảng cáo cho các dạng địa hình A, B và C theo TCVN 2737:1995, trường hợp mô hình chảy tầng được ghi ở Bảng 10, minh họa kết quả ghi ở Hình 5.

Bảng 10. Hệ số khí động theo các dạng địa hình

Mẫu	Dạng địa hình			Chênh lệch (%)	
	A	B	C	(2)/(3)	(3)/(4)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
L 1.1	1,31	1,34	1,30	-1,6	2,7
L 1.2	1,29	1,32	1,27	-2,4	3,8
L 1.3	1,25	1,25	1,21	0,2	3,2

Hệ số khí động theo dạng địa hình



Hình 6. Hệ số khí động theo các dạng địa hình

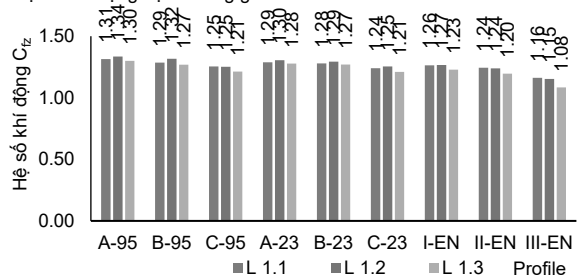
Từ đồ thị Hình 6 và số liệu ở Bảng 8 cho thấy, dạng địa hình có ảnh hưởng đáng kể đến giá trị của hệ số cản khí động của bảng quảng cáo (sai khác nhau từ 0,2% đến 3,8%), trong đó chênh lệch giá trị hệ số khí động với địa hình dạng A và B là nhỏ nhất, địa hình dạng B và C là lớn nhất, nghĩa là khi độ gồ ghề của địa hình tăng lên thì hệ số khí động giảm xuống.

Hình 7 trình bày thông tin tương tự như Hình 3 nhưng biểu thị kết quả của Bảng 11 về hệ số khí động trung bình dưới dạng hàm của dạng địa hình theo ba tiêu chuẩn (TCVN 2737:1995, TCVN 2737:2023 và EN 1991-1-4) đối với các cao độ tấm bảng quảng cáo khác nhau (tương ứng với các mẫu L1.2, L1.2, L1.3) trường hợp mô hình chảy tầng. Lưu ý rằng, hệ số khí động trung bình đạt mức tối thiểu tại dạng địa hình III theo tiêu chuẩn châu Âu và tăng nhẹ đối các dạng địa hình khác. Thấy rằng, khi độ gồ ghề của địa hình giảm so với địa hình thành phố (dạng B), hệ số khí động tăng bất kể cao độ đặt tấm bảng quảng cáo.

Bảng 11. Hệ số khí động theo các mẫu và dạng địa hình

Stt	Dạng địa hình	Tiêu chuẩn	Mẫu			Chênh lệch (%)	
			L 1.1	L 1.2	L 1.3	(4)/(5)	(5)/(6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	A	VN95	1,31	1,34	1,30	-1,6	2,7
2	B		1,29	1,32	1,27	-2,4	3,8
3	C		1,25	1,25	1,21	0,2	3,2
4	A	VN22	1,29	1,30	1,28	-1,3	2,2
5	B		1,28	1,29	1,27	-1,1	1,8
6	C		1,24	1,25	1,21	-1,2	3,7
7	I	EN	1,26	1,27	1,23	-0,2	3,1
8	II		1,24	1,24	1,20	0,3	3,7
9	III		1,16	1,15	1,08	0,8	6,3

Hệ số khí động dọc hướng gió



Hình 7. Hệ số khí động theo các mẫu và dạng địa hình

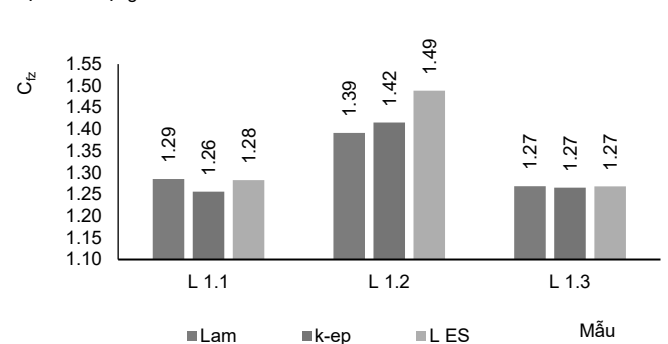
4.4 Ảnh hưởng của mô hình dòng rối

Xét 03 mô hình dòng rối, Laminar (Lam), k-epsilon (k-ep) và LES tương ứng với dòng ổn định, dòng giả ổn định và dòng không ổn định. Kết quả hệ số cản khí động đối với 3 mô hình dòng rối của địa hình B theo TCVN 2737:1995 với 03 mẫu bảng quảng cáo (mẫu L 1.1, L 1.2, L 1.3) được ghi ở Bảng 12, minh họa kết quả ghi ở Hình 9.

Bảng 12. Hệ số khí động theo các mô hình dòng rối

Mẫu	Mô hình dòng rối			Chênh lệch (%)	
	Lam	k-ep	LES	(2)/(3)	(3)/(4)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
L 1.1	1,29	1,26	1,28	2,3	-2,1
L 1.2	1,39	1,42	1,49	-1,7	-4,9
L 1.3	1,27	1,27	1,27	0,2	-0,2

Hệ số khí động theo mô hình rối

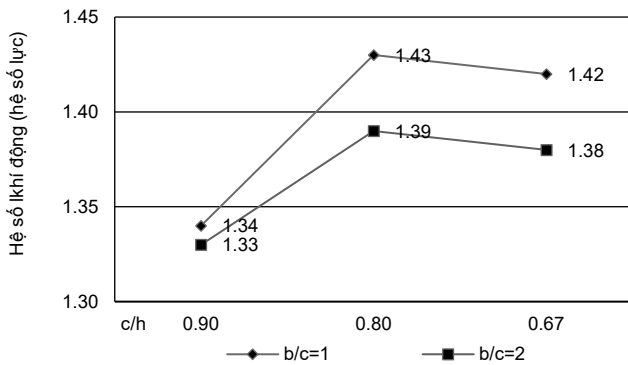


Hình 8. Hệ số khí động theo các mô hình dòng rối

Từ đồ thị Hình 8 và số liệu ở Bảng 12 cho thấy, việc lựa chọn mô hình dòng rối trong mô phỏng số bằng phần mềm Ansys Fluent có ảnh hưởng đáng kể đến giá trị của hệ số khí động và

phụ thuộc vào độ cao đặt tấm bảng quảng cáo (sai khác nhau từ 0,2% đến 4,9%). Khi tấm bảng quảng cáo đặt ở độ cao so với mặt đất 1,5 m (mẫu L1.1), mô hình dòng rối ảnh hưởng nhỏ đến kết quả tính (sai khác từ 2,3 đến -2,1%). Tại độ cao 1,2 m (mẫu L1.2), mô hình dòng rối ảnh hưởng đáng kể đến kết quả tính (sai khác từ -1,7 đến -4,9%). Nhưng khi đặt bảng quảng cáo tại độ cao 0,9 m (mẫu L1.3 tương ứng với độ cao tối thiểu đặt tấm bảng quảng cáo theo QCVN 17:2018/BXD) thì chênh lệch kết quả giữa mô hình chảy tầng và mô hình k-epsilon là không đáng kể (0,2%), còn kết quả giữa mô hình k-epsilon và mô hình LES là -4,9%. Như vậy, mô hình dòng rối có ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng, mô hình chảy rối LES cho kết quả tính lớn nhất.

Hình 8 và Bảng 12 làm nổi bật kết quả của Hình 7 và Bảng 11 cho tỷ lệ khung hình  $b/c = 2,8$  và so sánh kết quả tính với kết quả thử nghiệm mẫu thí nghiệm của Letchford [12]. Trong khi đó, có sự thống nhất tốt đối với tỷ lệ tấm bảng của mẫu L 1.1 và L 1.2 (xem Hình 8) với tỷ lệ của độ cao đặt tấm bảng,  $c/h = 0,9; 0,8; 0,67$ , trong đó  $C_f$  lớn nhất khi  $c/h = 0,8$ , khác biệt không đáng kể so với quy luật khi độ cao đặt bảng quảng cáo tăng lên thì hệ số khí động cũng tăng lên như được quy định trong các tiêu chuẩn TCVN 2737:2023. Mẫu thí nghiệm trong ống thổi khí động có kích thước từ (50×50) mm đến (100×400) mm và dày 5 mm với các độ cao đặt tấm bảng từ 5 đến 150 mm, theo Letchford (2001). Mặc dù độ dày của mẫu nghiên cứu hiện tại lớn gấp ba lần so với Letchford [12], nhưng sự phù hợp với kết quả nghiên cứu là khá lý tưởng.



Hình 8. Hệ số khí động theo các tỷ lệ  $b/c$  và  $c/h$  [12]

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã làm rõ ảnh hưởng của một số tham số (dạng địa hình theo các tiêu chuẩn (TCVN 2737:1995, TCVN 2737:2023 và EN 1991-1-4) và mô hình dòng rối cũng như độ cao đặt tấm bảng) đến giá trị hệ số khí động  $C_f$  của bảng quảng cáo tấm lớn. Khi địa hình gồ ghề thì hệ số khí động giảm xuống, kết quả hệ số khí động theo mô hình dòng rối LES là lớn nhất và theo mô hình dòng rối giả ổn định là nhỏ nhất. Độ cao đặt tấm bảng càng thấp, thì giá trị hệ số động càng nhỏ.

Thấy rằng, kết quả hệ số khí động  $C_f$  bằng từ 1,21 đến 1,34 khi tính theo Profile vận tốc gió theo TCVN 2737:1995, TCVN 2737:2023 và từ 1,08 đến 1,27 khi tính theo Profile vận tốc gió theo EN 1991-1-4. Kết quả hệ số khí động tính theo Ansys Fluent khá tương đồng với các kết quả thí nghiệm của Meyer và cộng sự (2017) [15] hoặc Letchford C.W. (2001) [12] kể cả khi mà chiều dày tấm bảng trong mô hình mô phỏng số khá dày, trong khi đó chiều dày theo mẫu thí nghiệm của Letchford (2001) [12] lại khá mỏng, chênh lệch về tỷ lệ chiều dày đến 3 lần. Quy luật ảnh hưởng của một số tham số đã nêu là khá tương đồng với

kết quả thí nghiệm mẫu trong ống thổi khí động của Letchford (2001) [12].

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Lê 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, ISSN2734-9888, tr 73-79.
- [2] TCVN 2737:1995, Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế.
- [3] TCVN 2737:2023 (2023), *Tải trọng và Tác động*, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội.
- [4] Bhandari N.M., Krishna Prem., Kumar Krishen (2015), An Explanatory Handbook on Proposed IS 875 (Part3), Wind Loads on Buildings and Structures, Document No., IITK-GSDMA-Wind06-V3.0 Final Report: B - Wind Codes IITK-GSDMA Project on Building Codes.
- [5] Dahai Wang, Xinzhong Chen, Jie Li and 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 doi: <http://dx.doi.org/10.12989/was.2016.22.6.000>
- [6] EN 1991-1-4:2005+A1 (2010), Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions.
- [7] Good M.C., Joubert P.N. (1968), *The form drag of two dimensional bluff plates immersed in a turbulent boundary layers*, J. Fluid Mech. 31 (1968) 547-582.
- [8] Holmes J.D. (1986), *Pressure and drag on surface-mounted rectangular plates and walls*, Proceedings of the Ninth Australasian Fluid Mechanics Conference, Auckland, 8-12 December 1986.
- [9] Introduction to ANSYS Fluent, Release 14.5, November 15 (2012).
- [10] 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.
- [11] IS 875 (Part 3):2015. Design Loads (Other than Earthquake) for Buildings and Structures - Code of Practice.
- [12] Letchford C. W. (2001), *Wind loads on rectangular signboards and hoardings*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89 (2001) 135-151.
- [13] Letchford C.W., Holmes J.D. (1994), *Wind loads on free-standing walls in turbulent boundary layers*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 51 (1994) 1-27.
- [14] Letchford C.W., Robertson A.P. (1998), *Mean wind loading at the leading ends of free standing walls*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 79 (1998) 123-134.
- [15] Meyer D., Zisis I., Hajra B., Chowdhury A. G., Irwin P. (2017), *An Experimental Study on the Wind-Induced Response of Variable Message Signs*, Frontiers in Built Environment doi: 10.3389/fbuil.2017.00066.
- [16] H. Sakamoto, M. Arie, *Flow around a normal plate of finite width immersed in a turbulent boundary layer*, J. Fluids Eng. ASME 105 (1983) 98-104.
- [17] 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>.