



# XÂY DỰNG CÔNG CỤ TÍNH TOÁN SƠ BỘ CHIỀU RỘNG VÙNG QUẢN GIÓ SAU CÁC CÔNG TRÌNH KIẾN TRÚC

DEVELOP A PRELIMINARY CALCULATION TOOL FOR THE WIDTH OF  
THE WIND ZONE BEHIND ARCHITECTURAL WORKS

TS. KTS. Phan Tiến Vinh <sup>1</sup>

**Tóm tắt:** Trong các giai đoạn thiết kế, dữ liệu về trường gió xung quanh công trình kiến trúc là những cơ sở quan trọng để người thiết kế đề xuất các giải pháp thiết kế quy hoạch và thiết kế kiến trúc. Một trong những dữ liệu đó là kích thước vùng quản gió sau công trình kiến trúc. Bài báo nghiên cứu, thực hiện các mô phỏng trên AutoDesk CFD để xác định bộ dữ liệu kích thước vùng quản gió của 43 trường hợp công trình có mặt bằng hình chữ nhật điển hình (về kích thước và hướng gió thổi đến công trình). Từ bộ dữ liệu nêu trên, bài báo xây dựng một công cụ tính toán sơ bộ kích thước vùng quản gió bằng Microsoft Excel. Với công cụ này, người thiết kế có thể nhanh chóng xác định sơ bộ kích thước vùng quản gió sau công trình kiến trúc.

**Từ khóa:** Kiến trúc bền vững, thông gió tự nhiên, vùng quản gió, Autodesk CFD, công cụ tính toán.

**Abstract:** In the design stages, data on the wind field surrounding architecture construction are important bases to designers to propose planning and architecture design solutions. One of those data is the size of the recirculating flow zone behind the constructions. This article focus on researching and simulating

by AutoDesk CFD to determine the recirculating flow zone size data set of 43 cases of buildings with typical rectangular plans (in size and direction of wind to the constructions). From the above data set, the article has built a preliminary calculation tool for the width of recirculating flow zone by Microsoft Excel. With this tool, the designers can quickly determine the preliminary size of the recirculating flow zone behind the constructions.

**Keywords:** Sustainable architecture, natural ventilation, recirculating flow zone, Autodesk CFD, calculation tool.

Nhận bài ngày 12/10/2024, chỉnh sửa ngày 20/10/2024, chấp nhận đăng ngày 5/11/2024.

## 1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh thế giới đang phải đối diện với khủng hoảng năng lượng, cạn kiệt tài nguyên, ô nhiễm môi trường,... đặc biệt là hiện tượng biến đổi khí hậu toàn cầu, định hướng phát triển bền vững nói chung và phát triển kiến trúc bền vững nói riêng đã trở thành quốc sách hàng đầu của nhiều nước trên thế giới trong đó có Việt Nam. Có nhiều giải pháp để

<sup>1</sup> Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Sư phạm Kỹ thuật - ĐH. Đà Nẵng  
Email: ptvinh@ute.udn.vn

hướng đến sự bền vững cho kiến trúc và khai thác thông gió tự nhiên (TGTN) cho công trình là một trong những giải pháp cơ bản, hiệu quả và tiết kiệm nhất.

Trong thiết kế theo hướng khai thác hiệu quả TGTN cho các không gian chức năng trên tổng mặt bằng hay không gian chức năng trong công trình kiến trúc, việc xác định kích thước vùng quần gió sau các khối nhà là cơ sở quan trọng cho việc đề xuất các giải pháp. Cụ thể như: Xác định vị trí các khối nhà; xác định khoảng cách giữa các khối nhà; kích thước các khối nhà; giải pháp hướng dòng không khí trên tổng mặt bằng; giải pháp thiết kế kiến trúc cho công trình nằm trong vùng quần gió;... Đồng thời, việc xác định sơ bộ kích thước vùng quần gió sau các công trình dựa trên kích thước của công trình một cách nhanh chóng sẽ tiết kiệm thời gian cho người thiết kế.

Đã có một số nghiên cứu về vùng quần gió sau các khối nhà. Các nghiên cứu này được thực hiện trên các mô hình ống khí động và không chú ý đến yếu tố thay đổi về vận tốc gió theo chiều cao (với các công trình cao tầng, sự thay đổi về vận tốc gió theo chiều cao là đáng kể). Các kết quả chưa đầy đủ các trường hợp kích thước của các công trình và góc của gió khi đến công trình. [1-3]

Vì vậy, nghiên cứu xây dựng Công cụ tính toán sơ bộ chiều rộng vùng quần gió sau các công trình kiến trúc là rất cần thiết, vừa có ý nghĩa lý luận vừa có ý nghĩa thực tiễn cao trong thiết kế TGTN cho công trình theo định hướng phát triển kiến trúc bền vững ở Việt Nam nói chung.

**2. Phương pháp và nội dung nghiên cứu**

**2.1. Phương pháp nghiên cứu**

TGTN là tổng hợp của nhiều quá trình vật lý liên quan diễn ra bên trong và ngoài công trình. Trong nghiên cứu TGTN, các nhà nghiên cứu thường sử dụng một số các phương pháp sau:

- (a) Phương pháp phân tích - tổng hợp;
- (b) Phương pháp thực nghiệm;
- (c) Phương pháp khảo sát - quan trắc thực tế;
- (d) Phương pháp điều tra xã hội học;
- (e) Phương pháp mô hình hóa;
- (g) Phương pháp mô phỏng trên máy tính;...

Trong phạm vi nghiên cứu về vùng quần gió và xây dựng Công cụ tính toán sơ bộ chiều rộng vùng quần gió sau các công trình kiến trúc, tác giả sử dụng kết hợp các phương pháp sau: (a); (e) và (g).

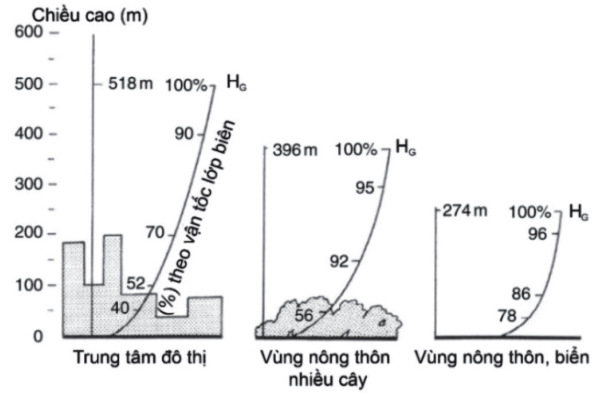
**2.2. Nội dung nghiên cứu**

**2.2.1. Vùng quần gió sau công trình**

**a. Đặc điểm của gió ở lớp biên khí quyển**

Gió là một hiện tượng vật lý có sự thay đổi liên tục và không theo qui luật. Đặc điểm ngẫu nhiên đó của gió là do chuyển động rối (turbulence) của các phần tử không khí. Ở lớp biên khí quyển, các vật cản trên bề mặt trái đất và các luồng gió do hiệu ứng đẩy nổi của nhiệt tạo nên chuyển động rối. Càng lên cao, độ rối càng giảm.

Giá trị vận tốc gió thay đổi theo chiều cao và được xác định theo quy luật hàm logarit hoặc hàm số mũ. Độ cao, mà từ đó vận tốc gió không thay đổi, gọi là độ cao Gradient - ký hiệu HG. HG phụ thuộc vào đặc điểm của địa hình - xem Hình 1.



Hình 1. Sự biến thiên của vận tốc gió theo chiều cao của các dạng địa hình [4]

Vận tốc gió VH tại độ cao H (m) được xác định theo công thức:

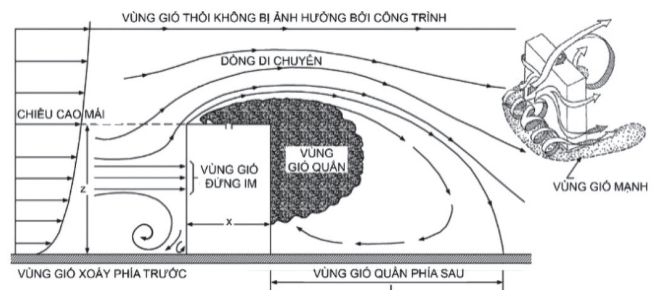
$$V_H = V_z \times \left( \frac{\delta_z}{H_z} \right)^{a_z} \times \left( \frac{H}{\delta} \right)^a \quad (1)$$

Trong đó:

- +  $V_H$ : là vận tốc gió ở cao độ H (m)
- +  $V_z$ : là vận tốc gió ở cao độ tham chiếu  $H_z$
- +  $\delta$ : chiều dày lớp biên khí quyển.
- + a: hệ số mũ (được xác định bằng thực nghiệm) [5].

**b. Vùng quần gió sau công trình**

Khi thổi đến công trình, gió sẽ bị phân tán tại các cạnh của công trình tạo nên các vùng đón gió có áp lực dương (+), vùng quần gió có áp lực âm (-). Hình 2 thể hiện đặc điểm luồng gió khi thổi đến một công trình có dạng khối hộp chữ nhật.



Hình 2. Đặc điểm luồng gió khi thổi đến công trình [5]

Vùng quần gió sau công trình (Zone of recirculating flow) là không gian ngay phía sau công trình kiến trúc (theo hướng gió đến) - vùng có vận tốc gió trung bình thấp và độ rối của dòng không khí cao. Vùng này có kích thước là L (xem Hình 1 và Hình 2).

**2.2.2. Đối tượng và các trường hợp nghiên cứu**

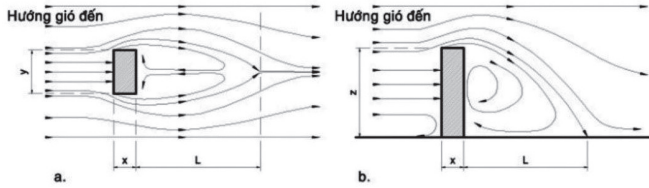
- Đối tượng nghiên cứu được chọn là các công trình kiến trúc có khối hộp chữ nhật với các kích thước là rộng (x), dài (y) và cao (z), (mặt chính của công trình nằm theo phương y).

- + Chọn khối lập phương cơ sở có kích thước là a.
- + Kích thước x = a trong công trình thông thường có giá trị tùy theo quy mô, tính chất công trình và ý tưởng thiết kế của kiến trúc sư.

+ Trong nghiên cứu này, để thực hiện các mô phỏng trên máy tính, tác giả chọn a = 26m, là chiều cao a tương đương 8 tầng của công trình (với chiều cao mỗi tầng từ 3,2m đến 3,3m).

- Chọn  $\alpha$  ( $^\circ$ ) là góc gió thổi đến bề mặt công trình.  $\alpha$  là góc (trên mặt phẳng song song mặt đất) được tạo bởi hướng gió thổi đến và tiếp tuyến bề mặt của mặt đứng công trình.

- Chiều rộng vùng quần gió sau công trình là  $L$  (m) - xem Hình 3a và Hình 3b.



3a. Mặt bằng công trình; 3b. Mặt cắt công trình

Hình 3. Các thông số kích thước

của mô hình nghiên cứu vùng quần gió

- Nghiên cứu được thực hiện trong các trường hợp thay đổi về kích thước công trình ( $x$ ,  $y$  và  $z$ ) và giá trị góc gió đến ( $\alpha$ ).

+ Kích thước công trình: Giữ kích thước  $x = a$  không đổi, thay đổi các giá trị của  $y$  và  $z$ . Cụ thể là:  $y = a, 2a, 3a, 4a$  và  $5a$ ;  $z = a, 2a, 3a, 4a$  và  $5a$  (chiều cao  $5a$  tương đương với chiều cao 40 tầng). Số mô phỏng cần thực hiện cho các trường hợp thay đổi kích thước công trình (khi vẫn giữ  $\alpha = 90^\circ$ ) là: 25.

+ Thay đổi góc gió đến  $\alpha$  (bằng  $22.5^\circ, 45^\circ$  và  $67.5^\circ$ ) cho 6 trường hợp kích thước ( $y = a, z = 5a$ ;  $y = 5a, z = a$ ;  $y = 2a, z = 2a$ ;  $y = 2a, z = 4a$ ;  $y = 4a, z = 2a$ ;  $y = 4a, z = 4a$ ). Số mô phỏng cần thực hiện cho các trường hợp thay đổi góc gió đến là: 18.

Như vậy, có 43 mô phỏng được thực hiện độc lập để lấy kết quả làm cơ sở dữ liệu cho việc xây dựng công cụ xác định sơ bộ chiều rộng vùng quần gió sau công trình.

**2.2.3. Xác định sự biến thiên của vận tốc gió theo chiều cao trong nghiên cứu**

Sử dụng công thức (1) ở mục 2.2.1.a để xác định giá trị vận tốc gió.

-  $V_z$  là vận tốc gió ở cao độ tham chiếu  $H_z$  (thường lấy 10m) ở trạm quan trắc khí tượng (địa hình loại 3), nơi có chiều dày lớp biên khí quyển  $\delta_z = 270m$  và hệ số mũ  $az = 0,14$ . Trong điều kiện trung tâm các đô thị (địa hình loại 2), thì  $\delta = 370m$  và  $a = 0.22$  [5].

- Chọn vận tốc gió  $V_z$  ở cao độ  $H_z = 10m$  là  $5m/s$ .

Giá trị vận tốc gió biến thiên theo chiều cao tại các trung tâm đô thị - được tính theo công thức (1).

**2.2.4. Lựa chọn phần mềm mô phỏng**

Hiện nay, có nhiều phần mềm mô phỏng được sử dụng trong nghiên cứu thông gió cho công trình như: Ansys Fluent, Ansys CFX, Phoenix, Design builder, Autodesk CFD, Siemens Star-CCM+, Stream, OpenFOAM,... Trong đó, phần mềm Autodesk CFD là một phần mềm có nhiều ưu điểm: giao diện thân thiện với người dùng, dễ dàng liên kết dữ liệu với hầu hết các phần mềm đồ họa và mô phỏng, kết quả mô phỏng đầy đủ và trực quan,... Đây cũng là phần mềm được đánh giá là phần mềm mô phỏng cho kết quả có độ tin cậy cao trong nghiên cứu, mô phỏng TGTN trong công trình và có thể ứng dụng trong nghiên cứu và thực tiễn thiết kế TGTN cho công trình kiến trúc. [6]

Vì vậy, trong nghiên cứu thuộc phạm vi bài báo này, tác giả sử dụng phần mềm mô phỏng là Autodesk CFD 2019.

**2.2.5. Mô phỏng trên máy tính**

**a. Xây dựng mô hình**

- Dùng mô hình 3D của đối tượng nghiên cứu (43 mô hình) trên phần mềm AutoCad 2017.

- Kích thước của mô hình khối không khí (vùng mô phỏng) lần lượt được lấy bằng 5 lần chiều ngang và 3 lần chiều cao tương ứng của công trình cần nghiên cứu.

- Tạo mô hình nghiên cứu trên Autodesk CFD 2019 từ mô hình 3D nêu trên.

**b. Thiết lập các tham số cho mô hình**

- Gán các điều kiện biên cho mô hình (Boundary conditions):

+ Chọn mặt phẳng trên mô hình để gán các thông số đầu vào của gió: đơn vị vận tốc, hướng gió, giá trị vận tốc,... Giá trị vận tốc gió biến thiên theo chiều cao được lấy theo kết quả ở mục 2.2.3.

+ Xác định mặt gió ra cho mô hình (đối diện với mặt gió vào): chọn điều kiện biên là Static Gage Pressure, với giá trị áp suất là 0.

+ Các mặt còn lại của khối không khí được gán định dạng là Slip/Symmetry.

- Chọn mô hình rối (Turbulence model) là RNG k- $\epsilon$ . RNG k- $\epsilon$  là mô hình rối được hiệu chỉnh từ mô hình rối k- $\epsilon$  tiêu chuẩn bằng phương pháp Renormalization Group - RNG [7]. Theo các nghiên cứu [8-10], mô hình rối RNG k- $\epsilon$  được đánh giá là cho kết quả gần đúng nhất với các số liệu thí nghiệm và là mô hình thích hợp trong nghiên cứu TGTN trong công trình. Kết quả nghiên cứu của [6] cũng đã chỉ ra rằng, phần mềm AutoDesk CFD cho kết quả có độ tin cậy cao khi sử dụng mô hình rối RNG k- $\epsilon$ .

- Chọn giải pháp lưới: tự động - Autosize. Sự độc lập của lưới đối với kết quả mô phỏng được đảm bảo thông qua thiết lập - Enable Adaptation. Kích hoạt tính năng kiểm tra tính độc lập của giải pháp lưới với kết quả mô phỏng và chọn giá trị 3 cho Cycles to run. Lựa chọn này cho phép thực hiện 3 lần tự động điều chỉnh lưới cho phù hợp.

**c. Thực hiện mô phỏng**

- Các mô phỏng được thực hiện trên máy tính có cấu hình như sau: Processor Intel (R) Xeon (R) CPU E3-1220 v5 @ 3.00GHz; 64-bit Operating System; RAM 8.00 GB.

- Số lượng mô phỏng được thực hiện: 43.

- Thời gian trung bình để thực hiện 1 mô phỏng là 0.75 giờ.

**3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận**

**3.1. Kết quả xác định vùng quần gió sau công trình**

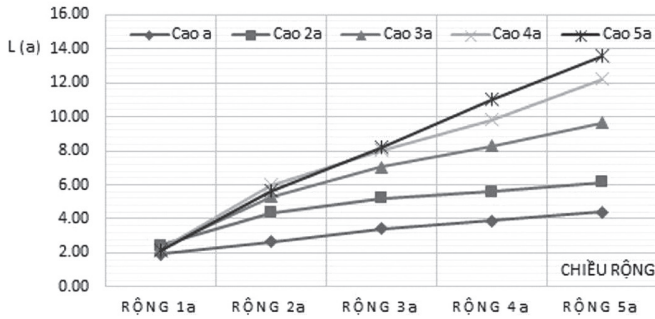
- Kết quả mô phỏng trường gió sau công trình trên mặt bằng khi  $\alpha = 90^\circ$  - trong các trường hợp thay đổi kích thước  $y$  và  $z$  - được thể hiện tại Phụ lục 1.

- Chiều rộng vùng quần gió  $L$ , khi  $\alpha = 90^\circ$ , trong các trường hợp kích thước công trình được tổng hợp tại Bảng 1 và Hình 4.

*Bảng 1: Kích thước  $L$  (đơn vị  $a$ ) trong các trường hợp thay đổi giá trị của  $y$  và  $z$*

Chiều rộng (y) \ Chiều cao (z)	a	2a	3a	4a	5a
a	1.94	2.67	3.44	3.89	4.40
2a	2.43	4.37	5.23	5.60	6.15
3a	2.30	5.30	7.05	8.28	9.65
4a	2.20	5.96	8.03	9.82	12.19
5a	2.16	5.62	8.21	11.01	13.56

# NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG



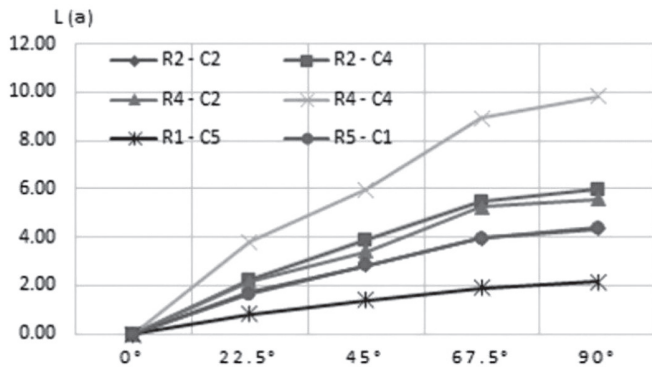
Hình 4: Biểu đồ về sự biến thiên của L khi thay đổi giá trị của y và z

Các kết quả cho thấy, L tỷ lệ thuận với y và z.

- Chiều rộng vùng quần gió L khi thay đổi góc gió đến  $\alpha$  ( $^\circ$ ) được tổng hợp tại Bảng 2 và Hình 5

Bảng 2: Kích thước L (đơn vị a) trong các trường hợp thay đổi góc gió đến  $\alpha$  ( $^\circ$ )

Kích thước công trình \ $\alpha$ ( $^\circ$ )	0 $^\circ$	22.5 $^\circ$	45 $^\circ$	67.5 $^\circ$	90 $^\circ$
Rộng 2a - Cao 2a 0	.00	1.76 2	.86	3.96 4	.37
Rộng 2a - Cao 4a 0	.00	2.23 3	.90	5.48 5	.96
Rộng 4a - Cao 2a 0	.00	2.17 3	.41	5.24 5	.60
Rộng 4a - Cao 4a 0	.00	3.82 5	.98	8.93 9	.82
Rộng a - Cao 5a 0	.00	0.82 1	.39	1.91 2	.16
Rộng 5a - Cao a	0.00 1	.67	2.84 3	.95	4.40



Hình 5: Biểu đồ về sự biến thiên của L khi thay đổi góc gió đến  $\alpha$  ( $^\circ$ )

- Giá trị tương đối (đơn vị %) của chiều rộng vùng quần gió L trong các trường hợp thay đổi giá trị góc gió đến  $\alpha$  ( $^\circ$ ) so với giá trị L trong trường hợp  $\alpha = 90^\circ$  được tổng hợp tại Bảng 3.

Bảng 3.3: Kích thước tương đối L (đơn vị %) trong các trường hợp thay đổi  $\alpha$  ( $^\circ$ ) so với trường hợp  $\alpha = 90^\circ$

Kích thước công trình \ $\alpha$ ( $^\circ$ )	0 $^\circ$	22.5 $^\circ$	45 $^\circ$	67.5 $^\circ$	90 $^\circ$
Rộng 2a - Cao 2a	0.0%	40.2%	65.4%	90.6%	100.0%
Rộng 2a - Cao 4a	0.0%	37.4%	65.4%	91.9%	100.0%

Kích thước công trình \ $\alpha$ ( $^\circ$ )	0 $^\circ$	22.5 $^\circ$	45 $^\circ$	67.5 $^\circ$	90 $^\circ$
Rộng 4a - Cao 2a	0.0%	38.8%	60.8%	93.6%	100.0%
Rộng 4a - Cao 4a	0.0%	38.9%	60.9%	90.9%	100.0%
Rộng a - Cao 5a	0.0%	38.0%	64.3%	88.3%	100.0%
Rộng 5a - Cao a	0.0%	37.9%	64.6%	89.9%	100.0%
Giá trị cực đại (Max)	0.0%	40.2%	65.4%	93.6%	100.0%
Giá trị cực tiểu (Min)	0.0%	37.4%	60.8%	88.3%	100.0%
Chênh lệch giữa Max và Min	0.0%	2.8%	4.6%	5.3%	0.0%
Giá trị trung bình	0.0%	38.5%	63.6%	90.9%	100.0%

Sự biến thiên của giá trị L khi thay đổi góc đến  $\alpha$  trong các trường hợp nghiên cứu cho kết quả tương đương - với độ chênh lệch giữa giá trị cực đại và cực tiểu dưới 5.3%.

Giá trị tương đối của L trong các trường hợp  $\alpha = 0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ$  và  $90^\circ$  so với trường hợp  $\alpha = 90^\circ$  lần lượt là 0%, 38.5%, 63.6%, 90.9% và 100%.

### 3.2. Xây dựng công cụ tính toán sơ bộ chiều rộng vùng quần gió sau các công trình

Dựa vào cơ sở dữ liệu là các kết quả mô phỏng được thể hiện trong Bảng 1 và Bảng 3, sử dụng Microsoft Excel 2016 để tạo công cụ tính toán chiều rộng vùng quần gió L sau các công trình.

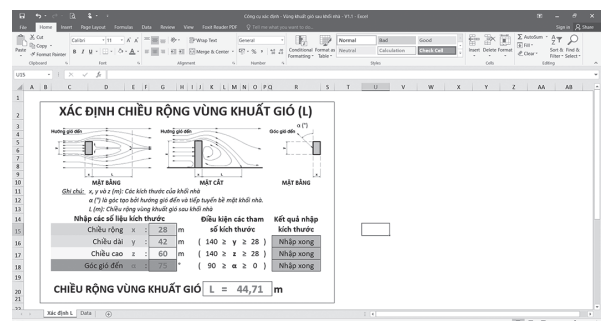
- Giá trị đầu vào: Kích thước công trình (x, y, z) và giá trị của góc gió thổi tới  $\alpha$ .

- Các hàm - trong Excel - được sử dụng để tính toán theo các bước sau:

- + Xác định tương quan kích thước của y và z so với x.
- + Nội suy giá trị L trong trường hợp  $\alpha = 90^\circ$  tương ứng với tương quan kích thước của công trình - Theo số liệu của Bảng 1.
- + Xác định độ giảm của L trong trường hợp  $\alpha$  - như số liệu của Bảng 3.

- Kết quả đầu ra: Giá trị L (m).

Giao diện của Công cụ tính toán vùng quần gió L sau các công trình - xem Hình 6. Hình 6 thể hiện kết quả chiều rộng L của vùng quần gió sau công trình trong trường hợp: công trình có kích thước chiều rộng (28m), chiều dài (42m), chiều cao 60m - tương đương 17 tầng) và góc gió đến công trình  $\alpha = 75^\circ$ .



Hình 6: Giao diện của Công cụ tính toán vùng quần gió L sau các công trình



**4. Kết luận**

Để khai thác hiệu quả TGTN cho công trình kiến trúc, trong giai đoạn để xuất ý tưởng thiết kế quy hoạch tổng mặt bằng và thiết kế kiến trúc cần có các thông tin về trường gió xung quanh công trình, trong đó có kích thước vùng quần gió sau công trình.

Bộ dữ liệu về kích thước vùng quần gió sau công trình của 43 trường hợp điển hình (về kích thước và góc gió thổi đến công trình) đã được tổng hợp từ kết quả mô phỏng bằng phần mềm AutoDesk CFD 2019. Từ bộ dữ liệu này, một Công cụ tính toán sơ bộ chiều rộng vùng quần gió L sau công trình được xây dựng bằng phần mềm Microsoft Excel 2016.

Công cụ tính toán sơ bộ chiều rộng vùng quần gió L sau công trình với số liệu đầu vào là kích thước công trình (chiều rộng x; chiều dài y; chiều cao z) và giá trị của góc gió thổi tới  $\alpha$ . Kết quả đầu ra của Công cụ là kích thước chiều rộng vùng quần gió L sau công trình. Kết quả có được (chiều rộng L) là cơ sở quan trọng để nhà thiết kế đưa ra các giải pháp thiết kế quy hoạch tổng mặt bằng, thiết kế công trình kiến trúc, như: xác định khoảng cách giữa các khối nhà; kích thước các khối nhà; giải pháp hướng dòng không khí trên tổng mặt bằng; giải pháp thiết kế kiến trúc cho công trình nằm trong vùng quần gió; ...

Nghiên cứu TGTN nói chung và nghiên cứu để xuất các công cụ tính toán hỗ trợ cho thiết kế quy hoạch kiến trúc nhằm khai thác hiệu quả TGTN sẽ góp phần hướng đến sự phát triển bền vững cho kiến trúc nói riêng và sự phát triển bền vững nói chung cho Việt Nam.

*Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng theo Đề tài mã số: T2022-06-23.*

**Tài liệu tham khảo:**

[1] Phạm Ngọc Đăng, Phạm Đức Nguyên, Lương Minh, Vật lý xây dựng - Phần I: Nhiệt và Khí hậu, Nxb Xây dựng, Hà Nội, 1981.  
 [2] Phạm Đức Nguyên, Kiến trúc sinh khí hậu: Thiết kế Sinh khí hậu trong Kiến trúc Việt Nam, Nxb Xây dựng, Hà Nội, 2012.  
 [3] Nguyễn Tăng Thu Nguyệt, Việt Hà-Nguyễn Ngọc Giả, Kiến trúc hướng dòng thông gió tự nhiên, Nxb Xây dựng, Hà Nội, 2014.  
 [4] Steve V. Szokolay, In trodution to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design, Elsevier Science, Oxford, 2004.

[5] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE handbook - Fundamentals, Atlanta GA: ASHRAE Inc, 2009.

[6] Phan Tiến Vinh, Trịnh Duy Anh, Nguyễn Anh Tuấn, “Đánh giá độ tin cậy phần mềm Autodesk CFD trong nghiên cứu thông gió tự nhiên trong công trình”, Tạp chí Khoa học và Công nghệ của Đại học Đà Nẵng, Vol. 20, No. 11.2,2022, tr44-tr49

[7] K.-S. Nikas, N. Nikolopoulos, A. Nikolopoulos, “Numerical study of a naturally cross-ventilated building”, Energy and Buildings, Vol. 42, 2010, pp. 422-434.

[8] G. Evola, V. Popov, “Computational analysis of wind driven natural ventilation in buildings”, Energy and Buildings, Vol. 38, 2006, pp. 491-501.

[9] Yoshihide Tominaga, Ted Stathopoulos, “Numerical simulation of dispersion around an isolated cubic building: Comparision of various type of k- models”, Atmospheric Environment, Vol. 43, 2009, pp. 3200-3210.

[10] Nguyen Anh Tuan, Sigrid Reiter, “The effect of ceiling configurations on indoor air motion and ventilation flow rates”, Building and Environment, Vol. 46, 2011, pp. 1211-1222.

*Phụ lục 1: Kết quả mô phỏng trường gió sau công trình trên mặt bằng (khi khi  $\alpha = 90^\circ$ ) trong các trường hợp thay đổi kích thước y và z*

Chiều rộng (y) \ Chiều cao (z)	a	2a	3a	4a	5a
a					
2a					
3a					
4a					
5a					