

THÔNG GIÓ TỰ NHIÊN CHO NHÀ ĐƠN LỀ BẰNG ỚNG KHÓI NHIỆT THẲNG ĐỨNG: ẢNH HƯỞNG CỦA KÍCH THƯỚC VÀ VỊ TRÍ LỖ THÔNG GIÓ LÊN HIỆU QUẢ THÔNG GIÓ

NATURAL VENTILATION OF A SINGLE HOUSE BY A VERTICAL SOLAR CHIMNEY: EFFECTS OF THE LOCATION AND SIZE OF THE OPENING ON VENTILATION EFFECTIVENESS

Nguyễn Quốc Ý

Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh; nguyennquoc@hcmut.edu.vn

Tóm tắt - Ống khói nhiệt là thiết bị thông gió tự nhiên cho nhà ở bằng nguồn nhiệt bức xạ mặt trời. Các nghiên cứu về ống khói nhiệt thường tập trung vào hai điểm chính: lưu lượng của dòng khí do hiệu ứng nhiệt và hiệu quả thông gió cho công trình. Trong nghiên cứu này, tác giả khảo sát hiệu quả thông gió của ống khói nhiệt cho một mô hình nhà đơn lẻ dưới ảnh hưởng của vị trí và kích thước lỗ thông gió trên tường nhà. Phương pháp mô phỏng động lực học lưu chất CFD được sử dụng để tính lưu lượng và mô phỏng cấu trúc dòng khí bên trong không gian nhà khi kích thước L và vị trí lỗ thông gió h thay đổi. Kết quả cho thấy, lưu lượng khí và thể tích thông gió phụ thuộc vào L và h . Hiệu quả thông gió tăng lên khi lỗ thông gió gần sàn hơn và khi có hai lỗ cấp khí cho ống khói nhiệt, so với khi chỉ có một lỗ.

Từ khóa - Thông gió tự nhiên; nhà đơn lẻ; ống khói nhiệt; lỗ thông gió; lưu lượng.

1. Giới thiệu

Ống khói nhiệt (solar chimney) được xem là thiết bị giúp thông gió tự nhiên cho nhà ở hiệu quả. Thiết bị này hấp thụ nhiệt bức xạ mặt trời để tạo ra hiệu ứng nhiệt cho dòng khí đối lưu bên trong kênh dẫn khí và giúp thông gió cho công trình [1, 2]. Ống khói nhiệt có thể được tích hợp vào mái hay tường của công trình và có thể có dạng thẳng đứng hay nghiêng [1, 2].

Ống khói nhiệt đã được nghiên cứu bởi nhiều nhà khoa học [1–9]. Các nghiên cứu trước đây có thể được chia thành hai nhóm: 1) Nghiên cứu đặc tính làm việc (lưu lượng do hiệu ứng nhiệt, nhiệt độ...) của ống khói nhiệt đơn lẻ [1–4, 7, 8], và 2) Hiệu quả thông gió (lưu lượng thông gió, cấu trúc dòng khí...) của ống khói nhiệt khi kết hợp vào công trình nhà [5, 6, 9]. Đối với nhóm thứ nhất, các kết quả cho thấy các thông số quan trọng ảnh hưởng đến lưu lượng khí qua ống khói nhiệt bao gồm: cường độ bức xạ mặt trời, kích thước ống khói nhiệt (chiều cao và bề rộng kênh dẫn khí), góc nghiêng của ống khói nhiệt so với phương ngang và kích thước các lỗ cấp khí cho ống khói nhiệt. Các nghiên cứu trong nhóm thứ hai tập trung vào hiệu quả thông gió của ống khói nhiệt cho một mô hình nhà cụ thể qua hai thông số: bội số tuần hoàn ACH (Air Changes per Hour) và cấu trúc dòng khí thông gió bên trong công trình dưới ảnh hưởng của góc nghiêng ống khói nhiệt trên mái [5, 9] hay ảnh hưởng của lối cấp khí cho ống khói nhiệt [6]. Các nghiên cứu trước đây chưa cho thấy ảnh hưởng của vị trí và kích thước lỗ thông gió trên tường nhà lên hiệu quả thông gió của ống khói nhiệt.

Trong nghiên cứu này, tác giả tập trung vào việc khảo sát ảnh hưởng của kích thước và vị trí của lỗ thông gió lên

Abstract - Solar chimney is a device for natural ventilation of dwellings based on solar radiation heat. Studies on solar chimneys mainly focus on induced flow rate characteristics and ventilation effectiveness. In this study, we examine effects of the size and location of the ventilation opening of a single house integrated with a vertical solar chimney. Computational Fluid Dynamics method is used for computing the induced flow rate and flow pattern inside the house according to the size and location of the opening changed. The results show that the flow rate and ventilated volume have close correlation with the size and location of the opening. Ventilation effectiveness increases when the opening is closer to the floor and when there are two air inlets instead of one, for the solar chimney.

Key words - Natural ventilation; single house; solar chimney; ventilation opening; flow rate.

lưu lượng thông gió của ống khói nhiệt và cấu trúc dòng khí bên trong nhà, nhất là khả năng tạo ra sự phân bố hợp lý của luồng khí thông gió bên trong không gian nhà. Phương pháp mô phỏng động lực học lưu chất (CFD) được sử dụng để tính toán các thông số của dòng khí (vận tốc, áp suất, nhiệt độ).

2. Mô hình mô phỏng số CFD

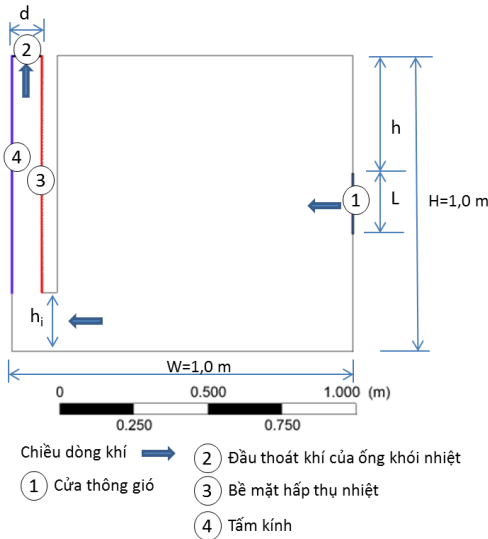
2.1. Mô hình nhà và ống khói nhiệt

Mô hình nhà và ống khói nhiệt được thể hiện trên Hình 1. Mô hình hai chiều được sử dụng trong nghiên cứu này, tương tự các nghiên cứu mô phỏng trước đây [4–6, 9]. Mô hình nhà có kích thước $W \times H = 1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$ (với mô hình hai chiều, kích thước còn lại được giả sử là 1,0 m). Lỗ thông gió được bố trí trên tường và ống khói nhiệt được bố trí trên tường đối diện. Lỗ thông gió có kích thước L và ở khoảng cách h so với đỉnh nhà, như trên Hình 1.

Mô hình nhà hai chiều giúp giảm thời gian và yêu cầu cấu hình máy tính để tính toán nhưng kết quả vẫn thể hiện được các đặc tính chính (lưu lượng, luồng khí chính...) của bài toán thông gió bằng ống khói nhiệt [4–6, 9]. Bên cạnh đó, mô hình hai chiều cũng phù hợp cho công trình có lỗ thông gió trên tường và ống khói nhiệt được bố trí dọc theo chiều dài tường. Một ví dụ của công trình như vậy là trường học Lycée Français Charles de Gaulle ở Syria [10].

Ống khói nhiệt có dạng thẳng đứng và có cấu tạo như loại thông thường với bề mặt hấp thụ nhiệt được bố trí ở vách trong của kênh dẫn khí. Chiều cao tổng cộng của ống khói nhiệt được giữ bằng với chiều cao mô hình nhà H , bao gồm chiều cao lối khí vào của kênh dẫn khí h_i và chiều cao bề mặt hấp thụ nhiệt. Trong mô hình này, bề rộng d của

kênh dẫn khí được giữ cố định bằng 100 mm. Dựa theo kết quả nghiên cứu của Bassiouny và Koura [6], chiều cao h_i được chọn bằng $2,0 \times d = 200 \text{ mm}$ để tránh ảnh hưởng h_i lên lưu lượng qua ống khói nhiệt. Kích thước của mô hình nhà và ống khói nhiệt trong nghiên cứu của tác giả tương tự như trong các nghiên cứu mô phỏng và thực nghiệm trước đây [4–6].



Hình 1. Mô hình nhà và ống khói nhiệt trong mô phỏng

2.2. Phương pháp mô phỏng

Trong mô phỏng này, dòng khí và quá trình truyền nhiệt được xem là hai chiều, ổn định và không nén được. Dòng khí cũng được xem là rối, dựa theo kết quả của các nghiên cứu khác với cùng điều kiện khảo sát [3, 6]. Khi đó, các thông số trung bình theo thời gian của dòng khí có thể được mô tả bằng hệ phương trình RANS (Reynolds Averaged Navier – Stokes) như sau [7, 8]:

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(U_i U_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} - g_i \beta (T - T_{ref}) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial(T U_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu}{Pr} \frac{\partial T}{\partial x_j} - \overline{T' u_j} \right) \quad (3)$$

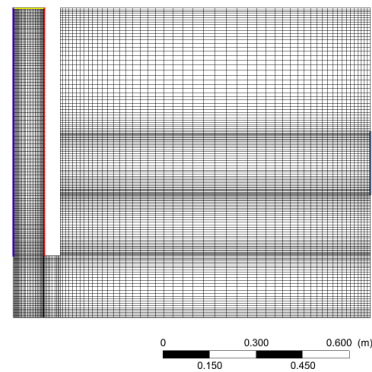
Trong đó: i, j là chỉ số theo hai phương đứng và ngang; U, u và T, T' lần lượt là vận tốc trung bình, vận tốc mạch động, nhiệt độ trung bình và nhiệt độ mạch động; T_{ref} là nhiệt độ tham chiếu (là nhiệt độ không khí ở lối vào lỗ thông gió); P là áp suất; ρ và ν là khối lượng riêng và độ nhớt động học; β là hệ số giãn nở nhiệt; Pr là số Prantl. Ký hiệu $\overline{\quad}$ chỉ giá trị trung bình theo thời gian.

Hệ phương trình (1)–(3) được xấp xỉ bằng phương pháp thể tích hữu hạn với phần mềm CFD thương mại ANSYS Fluent (phiên bản miễn phí dùng cho nghiên cứu). Mô hình rối $k - \omega$ được sử dụng để mô phỏng hai đại lượng rối $\overline{u_i u_j}$ và $\overline{T' u_j}$. Chi tiết về việc áp dụng mô hình $k - \omega$ cho bài toán ống khói nhiệt có thể được xem thêm trong các nghiên cứu trước [7, 8].

Miền tính toán bao gồm không gian bên trong phòng và bên trong ống khói nhiệt như Hình 1. Không khí đi vào miền tính toán ở lỗ thông gió trên tường (vị trí số 1 trên Hình 1) và đi ra qua lỗ thoát trên đỉnh của ống khói nhiệt

(vị trí số 2 trên Hình 1). Ở đầu vào và đầu ra, không khí được xem là có áp suất khí quyển. Bề mặt hấp thụ nhiệt (vị trí số 3 trên Hình 1) được mô phỏng bằng điều kiện biên với cường độ phát nhiệt cho trước. Quá trình trao đổi nhiệt bức xạ giữa bề mặt hấp thụ nhiệt và bề mặt tấm kính (vị trí số 4 trên Hình 1) cũng được mô phỏng.

Lưới tính toán được thể hiện trên Hình 2. Lưới tứ giác hình vuông hoặc chữ nhật được sử dụng và tương tự như trong các nghiên cứu trước [5, 6]. Lưới có mật độ phân bố dày hơn ở gần bề mặt hấp thụ nhiệt, nơi có gradient nhiệt độ lớn, và ở lối vào kênh dẫn khí của ống khói nhiệt, nơi có thể xảy ra vùng tách dòng. Mật độ lưới và số phần tử lưới cũng được kiểm tra để có được kết quả mô phỏng độc lập với lưới tính toán. Trong mô phỏng này, hơn 20.000 phần tử lưới được sử dụng.



Hình 2. Lưới tính toán

3. Kết quả và Bàn luận

Mô hình mô phỏng CFD được sử dụng để tính toán lưu lượng và cấu trúc dòng khí bên trong mô hình nhà khi kích thước và vị trí của lỗ thông gió thay đổi.

3.1. Kiểm tra mô hình CFD

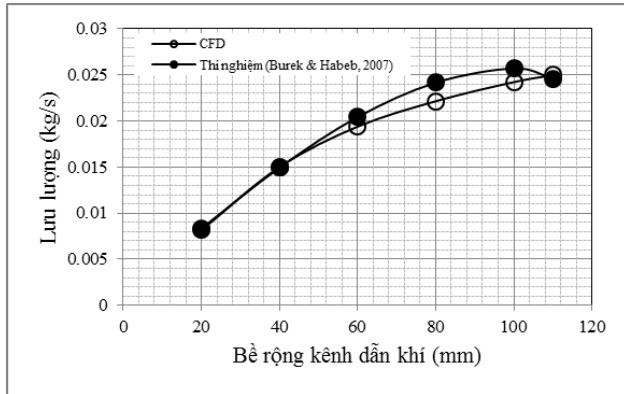
Để kiểm tra độ tin cậy của mô hình CFD, mô phỏng được thực hiện cho ống khói nhiệt trong thí nghiệm của Burek và Habeb [3]. Thí nghiệm này được thực hiện cho ống khói nhiệt thẳng đứng với chiều cao bằng 1.025 m và bề rộng kênh dẫn khí thay đổi từ 20 mm đến 110 mm. Cường độ nhiệt trên bề mặt hấp thụ bằng 200 W/m^2 . Kết quả mô phỏng CFD được so sánh với kết quả thực nghiệm [3] như trên Hình 2. Trong đó, lưu lượng khí qua ống khói nhiệt (tính bằng kg/s) thay đổi theo bề rộng kênh dẫn khí. Sự khác biệt lớn nhất của hai kết quả là dưới 10%.

Kết quả mô phỏng CFD cũng được so sánh với kết quả thí nghiệm của Chen và cộng sự [11] cho phân bố vận tốc (Hình 17 của [11]) và nhiệt độ (Hình 10 của [11]) bên trong kênh dẫn khí của ống khói nhiệt thẳng đứng có chiều cao bằng 1,5m, bề rộng kênh dẫn khí bằng 20 cm ở cường độ bức xạ nhiệt bằng 400 W/m^2 . Kết quả trên Hình 4 cho thấy mô hình CFD cho kết quả phân bố vận tốc sát với kết quả thí nghiệm. Đối với phân bố nhiệt độ, kết quả CFD gần với kết quả thí nghiệm ở vùng giữa kênh dẫn khí nhưng có sự khác biệt ở hai đầu. Sự khác biệt này có thể do mô hình CFD hai chiều, trong khi mô hình thí nghiệm là ba chiều nên mô hình CFD chưa thể mô tả ảnh hưởng của chiều còn lại (như ảnh hưởng lớp biên trên hai thành kênh dẫn của chiều thứ ba).

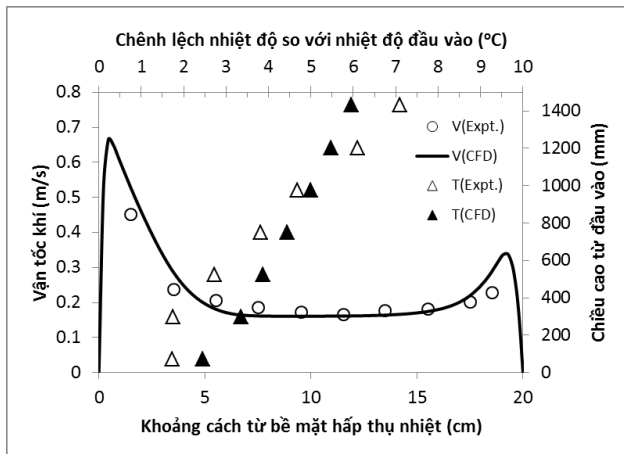
3.2. Ảnh hưởng của kích thước lỗ thông gió trên tường

Chiều cao L của lỗ thông gió thay đổi trong mô phỏng trong khi vị trí của nó được cố định ở giữa tường, như Hình 1. Các kích thước còn lại của mô hình nhà và ống khói nhiệt cũng được giữ cố định. Mô phỏng được thực hiện cho hai giá trị cường độ nhiệt trên bề mặt hấp thụ: 200 W/m^2 và 500 W/m^2 .

Hình 4 cho thấy phân bố vận tốc và đường dòng cho trường hợp $L=100 \text{ mm}$, 200 mm và 400 mm với cường độ nhiệt bằng 200 W/m^2 . Các đường dòng bắt đầu từ lỗ thông gió nên vị trí đường dòng đi qua thể hiện không gian được trao đổi khí tươi với bên ngoài. Vùng không có đường dòng đi qua là vùng khí quẩn và không được trao đổi không khí với môi trường bên ngoài.

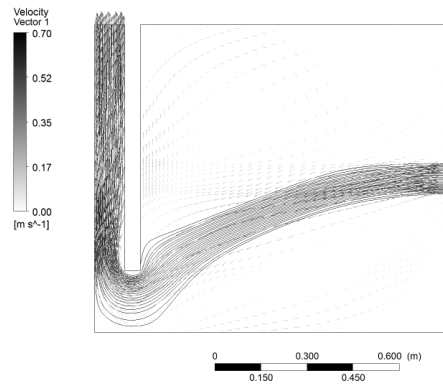


Hình 3. Kết quả mô phỏng CFD và kết quả thí nghiệm của Burek & Habeb [3] cho ống khói nhiệt thẳng đứng

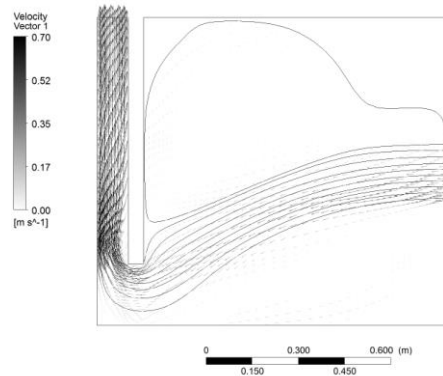


Hình 4. Kết quả mô phỏng CFD và kết quả thí nghiệm của Chen và cộng sự [11] cho ống khói nhiệt thẳng đứng, trong đó V và T và vận tốc dòng khí và độ tăng nhiệt độ trung bình của dòng khí trong kênh dẫn; Expt. và CFD là kết quả thực nghiệm [11] và kết quả mô phỏng từ mô hình CFD

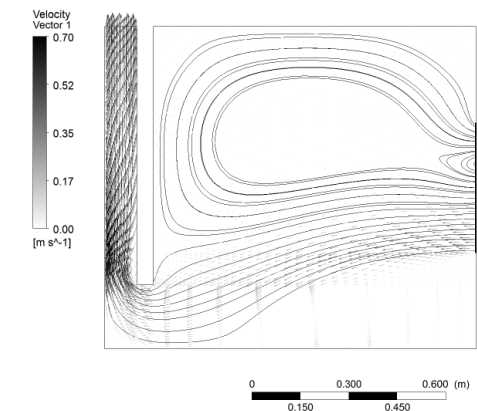
Kết quả trên Hình 5 cho thấy không gian được thông gió trong nhà tăng khi L tăng từ 100 mm đến 200 mm . Tuy nhiên, khi L tăng đến 400 mm , các đường dòng đi xuyên qua nhà vào ống khói nhiệt chỉ chiếm một nửa diện tích lỗ thông gió (nửa dưới). Ở nửa diện tích còn lại (nửa trên) xuất hiện hiện tượng “chảy ngược”, tương tự như trong mô phỏng của Bassiouny và Koura [6]. Vận tốc trên các đường dòng đi qua vùng chảy ngược này (tương ứng vùng không gian nửa trên của nhà) có vận tốc khá nhỏ (gần như bằng không).



a) $L=100 \text{ mm}$



b) $L=200 \text{ mm}$



c) $L=400 \text{ mm}$

Hình 5. Phân bố vận tốc và đường dòng khí kích thước lỗ thông gió thay đổi cho trường hợp cường độ nhiệt bằng 200 W/m^2

Hình 6 cho thấy, lưu lượng khí đi xuyên qua nhà khi L thay đổi ở hai giá trị cường độ nhiệt. Kết quả cho thấy, lưu lượng khí tăng khi kích thước L tăng từ 50 mm đến 200 mm . Khi L tăng từ 200 mm đến 400 mm , lưu lượng khí hầu như không đổi. Điều này phù hợp với kết quả trên Hình 5b và 5c: Khi L lớn hơn 200 mm , phần diện tích lỗ lớn hơn 200 mm xuất hiện vùng chảy ngược và không làm tăng lưu lượng khí.

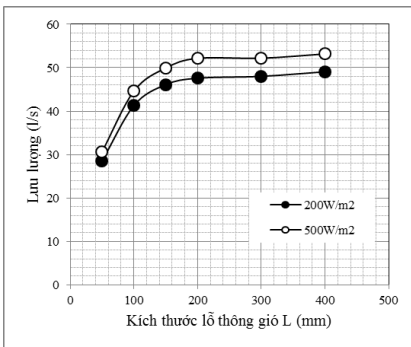
Kích thước $L=200 \text{ mm}$ cũng chính bằng chiều cao lối vào h_i của ống khói nhiệt (Hình 1). Do vậy, việc tăng kích thước lỗ thông gió lên lớn hơn kích thước lối vào ống khói nhiệt không làm tăng lưu lượng khí cũng như không gian được thông gió trong nhà.

3.3. Ảnh hưởng của vị trí lỗ thông gió trên tường

Để xét ảnh hưởng của vị trí lỗ thông gió, khoảng cách h của đỉnh lỗ so với trần nhà (như Hình 1) thay đổi trong mô phỏng khi các kích thước khác không đổi. Hình 7 cho thấy phân bố vận tốc và đường dòng bên trong nhà khi h thay đổi từ 100 mm, 300 mm và 500mm. Kích thước L của lỗ được giữ cố định bằng 300 mm. Đường dòng trong cả ba trường hợp cho thấy hiện tượng chảy ngược ở lỗ thông gió xuất hiện trong cả ba trường hợp, tương tự như trên Hình 5c. Tỷ lệ phân diện tích chảy ngược trên lỗ thông gió giảm dần khi khoảng cách h tăng dần. Hiện tượng chảy ngược cũng làm giảm không gian được thông gió trong phòng, do vận tốc trong vùng chảy ngược hầu như bằng không.

Hình 8 cho thấy, lưu lượng khí khi khoảng cách h của lỗ thông gió thay đổi từ 100 mm đến 500 mm, gần như tăng tuyến tính theo khoảng cách h, cho cả hai giá trị cường độ nhiệt.

Khi khoảng cách h thay đổi, hai hiệu ứng có thể ảnh hưởng đến lưu lượng và cấu trúc của dòng khí. Thứ nhất, khi h nhỏ, ảnh hưởng của trần nhà có thể làm tăng diện tích vùng chảy ngược trên lỗ thông gió. Do đó, diện tích trên lỗ mà dòng khí có thể đi xuyên qua và đi vào ống khói nhiệt (diện tích hiệu dụng) giảm và làm tăng trở lực của dòng khí. Thứ hai, do quá trình trao đổi nhiệt chỉ diễn ra bên trong ống khói nhiệt, nhiệt độ của không khí trong phòng và nhiệt độ ở lối vào của ống khói nhiệt là như nhau. Khi đó, chênh lệch độ cao để tạo ra hiệu ứng nhiệt của dòng khí đối lưu trong ống khói nhiệt có thể được xấp xỉ bằng khoảng cách h. Do đó, chiều cao h tăng sẽ làm tăng hiệu ứng nhiệt (áp suất nổi) và làm tăng lưu lượng.

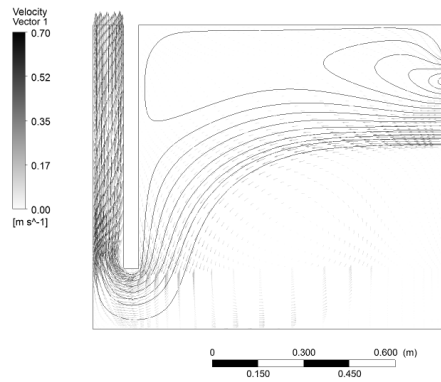


Hình 6. Lưu lượng khí theo kích thước lỗ thông gió

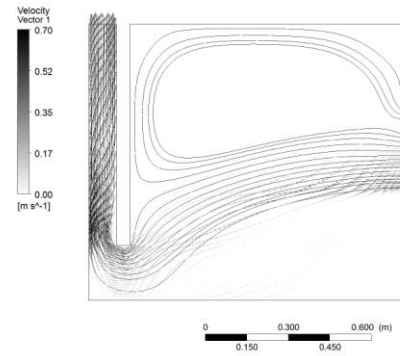
3.4. Ảnh hưởng của việc bố trí lỗ cấp khí cho ống khói nhiệt

Các kết quả trên cho thấy, vị trí và kích thước lỗ thông gió ảnh hưởng lớn đến lưu lượng và cấu trúc dòng khí trong nhà. Tuy nhiên, trong cả hai trường hợp đó, không gian được thông gió trong nhà chủ yếu nằm trên các đường dòng từ lỗ thông vào ống khói nhiệt. Bên ngoài không gian đó, vận tốc không khí trong phòng rất nhỏ.

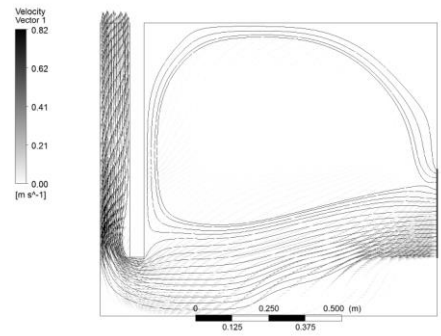
Một trong những giải pháp để tăng không gian (thể tích) được thông gió trong phòng là bố trí lại lỗ cấp khí cho ống khói nhiệt. Mô phỏng cho trường hợp ống khói nhiệt có hai lỗ cấp khí, như Hình 9. Tổng chiều cao của hai lỗ cấp khí được giữ bằng $h_1 = 200\text{ mm}$ như trong trường hợp một lỗ. Ba trường hợp được khảo sát với kích thước lỗ trên – lỗ dưới lần lượt là 150 mm – 50mm, 100 mm – 100 mm, và 50 mm – 150 mm. Lỗ thông gió trên tường cũng có kích thước bằng 300 mm.



a) $h=100\text{ mm}$



b) $h=300\text{ mm}$



c) $h=500\text{ mm}$

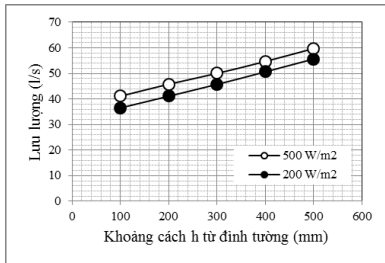
Hình 7. Phân bố vận tốc và đường dòng khi chiều cao lỗ thông gió thay đổi cho trường hợp cường độ nhiệt bằng 200 W/m²

Bảng 1. Lưu lượng khí khi kích thước hai lối khí vào ống khói nhiệt thay đổi

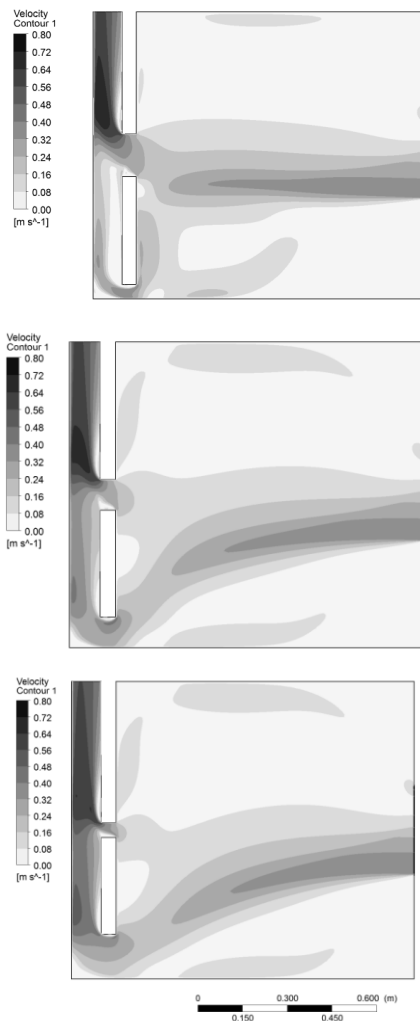
h_1 (mm)	h_2 (mm)	Lưu lượng (l/s)	
		200W/m ²	500W/m ²
150	50	48,5	53,4
100	100	48,2	53,0
50	150	48,4	52,6

Hình 9 cho thấy, phân bố vận tốc khí trong phòng khi lưu lượng khí trong ba trường hợp khảo sát được thể hiện trên Bảng 1. Kết quả cho thấy, lưu lượng trong cả ba trường hợp hầu như không đổi. Phân bố vận tốc trong nhà được cải thiện so với trường hợp chỉ có một lỗ cấp khí do không gian có tốc độ khí lớn được mở rộng hơn so với trường hợp có 01 lỗ cấp khí. Việc bố trí nhiều lỗ cấp khí cho ống khói nhiệt có thể giúp không gian (thể tích) được thông gió trong

nhà tăng lên mà không làm giảm lưu lượng tạo được qua ống khói nhiệt. Việc bố trí hai lỗ cấp khí (với tổng diện tích không đổi) có thể không làm thay đổi hiệu ứng nhiệt bên trong ống khói nhiệt do khoảng cách h không đổi. Bên cạnh đó, do tổng diện tích lỗ không đổi, trở lực của dòng khí ở hai lỗ cũng có thể không tăng lên so với trường hợp một lỗ. Do vậy, lưu lượng cho trường hợp hai lỗ cấp khí cũng tương tự như trường hợp một lỗ.



Hình 8. Lưu lượng khí theo vị trí của lỗ thông gió



Hình 9. Phân bố vận tốc cho trường hợp 02 lỗ cấp khí cho ống khói nhiệt với kích thước tương đối giữa hai lỗ khác nhau

Đối với các công trình thực tế, hình dạng công trình, hướng công trình, việc phân chia không gian trong công trình cũng ảnh hưởng lớn đến đặc tính làm việc của ống khói nhiệt cũng như cấu trúc dòng khí thông gió tự nhiên bên trong công trình. Các kết quả trong bài báo này chỉ ra rằng, cần có việc tính toán hay mô phỏng cho từng trường hợp cụ thể cho giải pháp thiết kế cửa thông gió và ống khói nhiệt để có được hiệu quả thông gió tốt nhất.

4. Kết luận

Kết quả mô phỏng cho thấy, vị trí và kích thước lỗ thông gió ảnh hưởng đến lưu lượng và cấu trúc dòng khí trong nhà, do đó ảnh hưởng đến hiệu quả của giải pháp thông gió tự nhiên cho công trình bằng ống khói nhiệt. Kích thước lỗ thông gió phù hợp nhất bằng với kích thước lỗ cấp khí cho ống khói nhiệt. Hiệu quả thông gió tăng lên khi lỗ cấp khí gần với sàn hơn. Việc bố trí hai lỗ cấp khí cho ống khói nhiệt cũng làm tăng hiệu quả thông gió so với khi có một lỗ.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, mã số đề tài T-KTXD-2017-98.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. A. Hosien & S. M. Selim, "Effects of the geometrical and operational parameters and alternative outer cover materials on the performance of solar chimney used for natural ventilation", *Energy and Buildings*, 138, 2017, 355–367.
- [2] L. Shi, G. Zhang, W. Yang, D. Huang, X. Cheng & S. Setunge, "Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88, 2018, 223–238.
- [3] S. A. M. Burek & A. Habeb, "Air flow and thermal efficiency characteristics in solar chimneys and Trombe Walls", *Energy and Buildings*, 39 (2), 2007, 128–135.
- [4] N. K. Bansal, J. Mathur, S. Mathur & M. Jain, "Modeling of window-sized solar chimneys for ventilation," *Building and Environment*, 40 (10), 2005, 1302–1308.
- [5] R. Bassiouny & N. S. A. Korah, "Effect of solar chimney inclination angle on space flow pattern and ventilation rate", *Energy and Buildings*, 41 (2), 2009, 190–196.
- [6] R. Bassiouny & N. S. A. Koura, "An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation", *Energy and Buildings*, 40 (5), 2008, 865–873.
- [7] I. Zavala-Guillén, J. Xamán, I. Hernández-Pérez, I. Hernández-López, M. Gijón-Rivera & Y. Chávez, "Numerical study of the optimum width of 2a diurnal double air-channel solar chimney", *Energy*, 147, 2018, 403–417.
- [8] B. Zamora & A. S. Kaiser, "Optimum wall-to-wall spacing in solar chimney shaped channels in natural convection by numerical investigation", *Applied Thermal Engineering*, 29 (4), 2009, 762–769.
- [9] B. P. Huynh, "Natural Ventilation Induced by Solar Chimneys", *Proc. of the 17th Australian Fluid Mechanics Conference*, Aucland Newzealand, 5-9 December 2010.
- [10] <https://www.e-architect.co.uk/syria/lycee-francais-charles-de-gaulle>
- [11] Z. D. Chen, P. Bandopadhyay, J. Halldorsson, C. Byrjalsen, P. Heiselberg & Y. Li, "An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux", *Building and Environment*, 38 (7), 2003, 893–906.

(BBT nhận bài: 01/10/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 15/11/2018)