

MÔ PHỎNG SỐ ĐẶC TÍNH CỦA LƯU LƯỢNG KHÍ QUA ỨNG KHÓI NHIỆT LOẠI NGHIÊNG

NUMERICAL SIMULATION OF CHARACTERISTICS OF THE INDUCED AIR FLOWRATE THROUGH INCLINED SOLAR CHIMNEYS

Nguyễn Quốc Ý

Trường Đại học Bách khoa Tp HCM; nguyenguocy@hcmut.edu.vn

Tóm tắt - Ống khói nhiệt hấp thụ nhiệt bức xạ mặt trời để tạo ra hiệu ứng nhiệt và dòng khí để thông gió tự nhiên cho nhà ở và nhà cao tầng. Trong nghiên cứu này, chúng tôi khảo sát ảnh hưởng của các thông số liên quan kích thước (chiều dài, chiều rộng và bề dày kênh dẫn khí), góc nghiêng của ống khói nhiệt và cường độ nguồn nhiệt phát ra trên bề mặt của ống khói nhiệt lên đường đặc tính của lưu lượng khí theo góc nghiêng. Phương pháp mô phỏng số CFD (Computational Fluid Dynamics) được sử dụng. Kết quả mô phỏng trước hết được so sánh và kiểm tra với kết quả thực nghiệm của Chen và cộng sự (2003) và sau đó được dùng để phân tích ảnh hưởng của các yếu tố trên. Kết quả cho thấy đường đặc tính của lưu lượng phụ thuộc chủ yếu vào tỉ số giữa chiều dài và bề dày kênh dẫn khí trong khi các thông số khác ảnh hưởng không đáng kể.

Từ khóa - thông gió tự nhiên; ống khói nhiệt; hiệu ứng nhiệt; lưu lượng; CFD.

Abstract - Solar chimneys absorb solar radiation heat to induce thermal effects and airflow for natural ventilation of dwellings. In this study, we investigate effects of the dimensions of the chimney (length, width and thickness of the air channel), inclined angle and heat flux on the surface of the chimney on the characteristics of the induced air flow rate through the chimney. We use CFD (Computational Fluid Dynamics) methods. The numerical model is first validated by the experimental results by Chen et al (2003) and then is used for investigating the induced air flow rate when the examined factors are changed. The results have shown that the most important factor is the ratio between the length and the thickness of the air channel while other factors have negligible effects on the characteristics of the induced flow rate.

Key words - natural ventilation; solar chimney; thermal effect; flow rate; CFD.

1. Giới thiệu

Ống khói nhiệt hay ống khói mặt trời (solar chimney) là thiết bị thông gió tự nhiên cho nhà ở hay nhà cao tầng dựa trên hiệu ứng nhiệt hay hiệu ứng ống khói. Ống khói nhiệt thông thường có cấu tạo gồm một kênh dẫn khí với một hoặc tất cả các mặt bên có thể hấp thụ nhiệt bức xạ mặt trời. Kênh dẫn khí có đầu vào (thấp hơn) nối với không gian cần thông gió và đầu ra (cao hơn) hờ ra khí quyển. Ống khói nhiệt nhận nhiệt bức xạ mặt trời và làm tăng nhiệt độ của khối không khí bên trong kênh dẫn. Khối không khí nóng có xu hướng di chuyển lên và tạo ra chênh lệch áp suất để tạo ra dòng khí cho việc thông gió tự nhiên. Do vậy, lưu lượng thông gió dựa trên hiệu ứng nhiệt phụ thuộc và hai yếu tố chính: chênh lệch nhiệt độ của khối khí và chênh lệch độ cao giữa đầu vào và đầu ra của ống khói nhiệt. Nói cách khác, cường độ bức xạ mặt trời và góc nghiêng của ống khói nhiệt ảnh hưởng lớn đến đặc tính làm việc của thiết bị này.

Việt Nam, nhất là phía Nam, ở gần xích đạo nên nhận được số giờ nắng trong năm cao với cường độ bức xạ lớn. Các đo đạc thực nghiệm của chúng tôi ở TP Hồ Chí Minh cho thấy cường độ nhiệt bức xạ mặt trời có thể lên đến hơn 1100W/m^2 vào giữa trưa của tháng 11 [1]. Điều đó tạo điều kiện thuận lợi cho việc sử dụng ống khói nhiệt để thông gió tự nhiên cho nhà ở và nhà cao tầng ở Việt Nam, góp phần tiết kiệm năng lượng tiêu thụ cho hệ thống thông gió và điều hoà không khí cơ khí cũng như đảm bảo chất lượng không khí trong nhà.

Do cường độ bức xạ mặt trời nhận được là khác nhau ở các vị trí khác nhau trên Trái đất, Mathur và cộng sự [2] đã xây dựng mô hình toán cho ống khói nhiệt và dựa vào quỹ đạo của Mặt trời để tính toán góc nghiêng tối ưu để ống khói nhiệt có thể nhận được lượng nhiệt bức xạ mặt trời

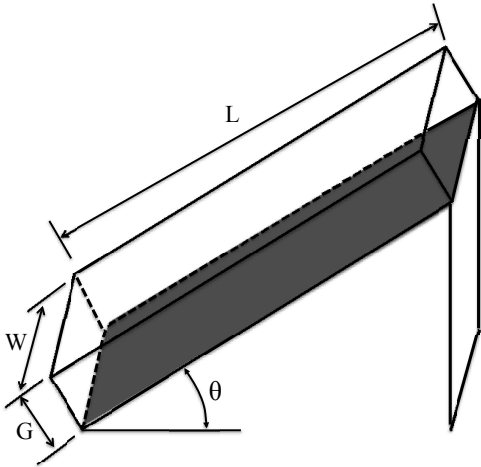
nhieu nhất. Họ đề xuất góc nghiêng tối ưu từ 45° đến 60° so với phương ngang cho vĩ độ từ 0 đến 60° . Harris và Helwig [3] dùng mô phỏng số để dự đoán lưu lượng qua ống khói nhiệt ở Edinburg (Anh) với vĩ độ bằng 52° . Kết quả của họ cho thấy, vào thời điểm 12:00 góc nghiêng bằng $67,5^\circ$, tạo lưu lượng lớn nhất, trong khi vào thời điểm 16:00 góc nghiêng bằng 45° , tạo lưu lượng lớn nhất.

Để tập trung khảo sát ảnh hưởng của góc nghiêng lên đặc tính làm việc của ống khói nhiệt, nhiệt bức xạ mặt trời có thể được mô phỏng bằng nguồn nhiệt phân bố đều trên bề mặt dưới của ống khói nhiệt. Với phương pháp này, Chen và cộng sự [4] và Adam và cộng sự [5] đã nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ nhiệt và góc nghiêng bằng thực nghiệm. Thí nghiệm của Chen và cộng sự [4] được thực hiện trên ống khói nhiệt nghiêng trong phòng thí nghiệm. Kết quả của họ cho thấy, lưu lượng qua ống khói nhiệt với chiều dài 1,5m và chiều rộng kênh dẫn khí bằng 0,2m đạt giá trị lớn nhất khi góc nghiêng bằng 45° và lớn hơn 45% so với trường hợp thẳng đứng. Thí nghiệm của Adam và cộng sự [5] cũng được tiến hành tương tự như của Chen và cộng sự [4], nhưng với ống khói nhiệt có chiều dài bằng 2,0m và chiều rộng thay đổi từ 0,1m đến 0,3m. Kết quả của Adam và cộng sự [5] cũng cho thấy, ống khói nhiệt với góc nghiêng bằng 45° cho lưu lượng khí lớn nhất.

Do cả hai nghiên cứu của Chen và cộng sự [4] và của Adam và cộng sự [5] chỉ cho thấy mối liên hệ giữa lưu lượng và góc nghiêng cho một trường hợp kích thước (chiều dài, chiều rộng và bề dày) của ống khói nhiệt, chúng tôi muốn tìm hiểu thêm ảnh hưởng của kích thước lên lưu lượng khi góc nghiêng của ống khói nhiệt thay đổi. Trong nghiên cứu này, chúng tôi dùng mô phỏng số để khảo sát ảnh hưởng của: chiều dài, chiều rộng, bề dày, góc nghiêng và cường độ nguồn nhiệt lên lưu lượng khí.

2. Phương pháp mô phỏng số CFD

Mô hình ống khói nhiệt được dùng để mô phỏng số giống như mô hình thực nghiệm của Chen và cộng sự [4] và của Adam và cộng sự [5] như được mô tả trên Hình 1. Các kích thước chính của ống khói nhiệt bao gồm: chiều dài L , chiều rộng W , bề dày kênh dẫn khí G và góc nghiêng so với phương ngang θ . Nguồn nhiệt phân bố đều trên bề mặt dưới của ống khói nhiệt với cường độ I .



Hình 1. Mô hình ống khói nhiệt nghiêng

Mô phỏng số được thực hiện bằng phương pháp Động lực học lưu chất tính toán CFD và phần mềm Cradle ScStream. Hệ phương trình bảo toàn của mô phỏng bao gồm:

- Phương trình liên tục;
- Phương trình động lượng, hay phương trình Navier-Stokes;
- Phương trình năng lượng.

Các giả thiết của bài toán bao gồm:

- Dòng khí không nén được;
- Các quá trình động lực học lưu chất và truyền nhiệt là ổn định;
- Quan hệ giữa khối lượng riêng không khí và nhiệt độ được mô tả theo quan hệ Boussinesq.

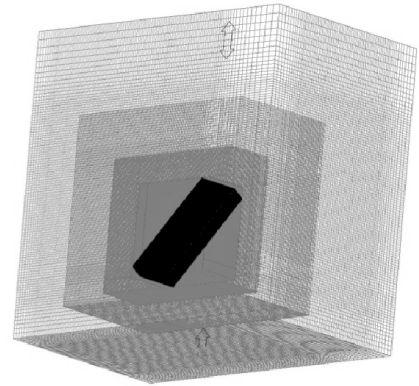
Mô hình RANS k-epsilon được sử dụng cho mô hình tính toán rối. Hệ phương trình trên được xấp xỉ bằng phương pháp thể tích hữu hạn. Chi tiết về các phương trình và mô hình trên có thể được tìm thấy trong các tài liệu về CFD, ví dụ của Ferziger và Peric [6].

Miền tính toán, được mô tả trên Hình 2, bao gồm ống khói nhiệt và khối không khí bao quanh. Bề mặt ống khói nhiệt được mô tả bằng ba loại vật liệu: kính cho mặt trên và hai mặt bên, nhôm cho bề mặt phát nhiệt bên dưới và vật liệu cách nhiệt bên dưới bề mặt phát nhiệt. Miền tính toán được kiểm tra và lựa chọn để không ảnh hưởng đến kết quả tính với các kích thước: bốn mặt bên và bên dưới cách ống khói nhiệt 1,0L trong khi mặt trên cách ống khói nhiệt 2,0L.

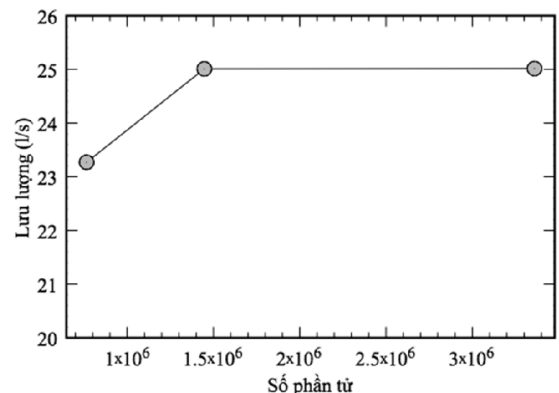
Hình 2 cũng cho thấy phân bố các nút lưới tính toán. Lưới vuông được sử dụng cho cả miền tính toán với ba kích thước lưới khác nhau. Kích thước lưới nhỏ nhất bao quanh ống khói nhiệt bằng 1,0mm. Để khảo sát ảnh hưởng của kích thước lưới tính toán, chúng tôi mô phỏng lại thí nghiệm của Chen và cộng sự [4] với trường hợp góc nghiêng bằng 75° với nhiều mật độ lưới. Hình 3 cho thấy lưới với tổng số phần

tử bằng $1,5 \cdot 10^6$ đủ để mô phỏng trường hợp này. Chúng tôi giữ nguyên kích thước lưới tương ứng với trường hợp đó cho các trường hợp mô phỏng khác.

Điều kiện biên cho khối không khí xung quanh ống khói nhiệt là áp suất khí quyển. Do đó, ở đầu vào và đầu ra của ống khói nhiệt cũng có điều kiện áp suất khí quyển. Gia tốc trọng trường tác dụng theo phương đứng và hướng xuống. Bề mặt dưới của kênh dẫn khí bên trong ống khói nhiệt được áp đặt cường độ nhiệt phân bố đều. Các quá trình truyền nhiệt: bức xạ từ bề mặt dưới đến các bề mặt còn lại và môi trường, dẫn nhiệt qua các mặt bên của ống khói nhiệt và đối lưu nhiệt bên trong và bên ngoài kênh dẫn khí đều được mô phỏng. Lớp cách nhiệt bên dưới ống khói nhiệt được chọn đủ dày để không có thất thoát nhiệt từ bên trong ống khói nhiệt qua mặt dưới.



Hình 2. Miền tính toán và phân bố lưới toán



Hình 3. Khảo sát ảnh hưởng của mật độ lưới tính toán: Lưu lượng khí lưu thông qua ống khói nhiệt thay đổi theo tổng số phần tử nút lưới

Nghiên cứu của Bansal và cộng sự [7] cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường lên lưu lượng qua ống khói nhiệt là có thể bỏ qua được trong khoảng nhiệt độ từ 20°C đến 40°C. Do đó, chúng tôi chọn nhiệt độ môi trường bằng 30°C trong tất cả các mô phỏng.

3. Kết quả và bàn luận

Trong phần này, kết quả mô phỏng được so sánh với thí nghiệm của Chen và cộng sự [4] để kiểm tra độ chính xác của mô hình mô phỏng số. Sau đó, mô hình mô phỏng số được thực hiện với nhiều giá trị của:

- Cường độ nhiệt I trên bề mặt dưới ống khói nhiệt,
- Góc nghiêng θ ,
- Các kích thước W , G , và L

để đánh giá ảnh hưởng của các thông số đó lên lưu lượng của dòng khí sinh ra do hiệu ứng nhiệt bên trong kênh dẫn. Lưu lượng được tính theo vận tốc trung bình V của dòng khí trong kênh và tiết diện mặt cắt ngang A của kênh:

$$Q = V \times A \quad (1)$$

với $A = W \times G$.

Vận tốc trung bình V của dòng khí cảm ứng trong kênh được tính bằng công cụ có sẵn trong phần hậu xử lý (Post-Processor) của phần mềm Cradle ScStream trên diện tích mặt cắt ngang A (cũng là diện tích mặt cắt ướt của dòng khí trong kênh):

$$V = \frac{1}{A} \int_A \vec{v} \cdot \vec{n} dA \quad (2)$$

trong đó: dA : diện tích phân tố trên A ,

$\vec{n}$: vector pháp tuyến của dA ,

$\vec{v}$: vector vận tốc của dòng khí qua diện tích dA ,
đấu $\cdot$ chỉ tích vô hướng của hai vector.

Các diện tích phân tố dA được xác định dựa vào các phần tử của lưới tính toán nằm trên diện tích A . Do vậy, $\vec{v}$ là vận tốc dòng khí mô phỏng được tại các nút lưới tính toán đó. Theo công thức (2), vận tốc V chỉ tính theo thành phần vận tốc vuông góc với diện tích dA , tức là theo chiều dọc theo kênh. Nhờ đó, lưu lượng khí có thể được tính theo công thức (1).

Để thống nhất cho tất cả các trường hợp tính, chúng tôi chọn mặt cắt ướt để tính V theo công thức (2) ở ngay lõi vào (đầu dưới) của ống khói nhiệt.

3.1. So sánh với kết quả thí nghiệm của Chen và cộng sự [4]

Mô phỏng số được thực hiện cho trường hợp thí nghiệm của Chen và cộng sự [4]. Các thông số của ống khói nhiệt bao gồm: $L=1,5\text{m}$, $G=0,2\text{m}$, $W=0,61\text{m}$, $I=400\text{W/m}^2$, và góc θ thay đổi.

Lưu lượng khí mô phỏng được so sánh với lưu lượng khí thực nghiệm trên Hình 4. Kết quả mô phỏng có thể mô tả đúng xu hướng thay đổi của lưu lượng khí góc nghiêng θ thay đổi. Mức khác biệt lớn nhất giữa hai kết quả bằng 7,0% ở góc nghiêng bằng 60° .

3.2. Ảnh hưởng của cường độ nhiệt lên lưu lượng

Mô hình mô phỏng số được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của cường độ nhiệt lên lưu lượng khí. Ống khói nhiệt được khảo sát có kích thước $L=1,0\text{m}$, $W=0,5\text{m}$, $G=0,2\text{m}$ và cường độ nhiệt I với ba mức 300W/m^2 , 600W/m^2 và 900W/m^2 . Hình 5 cho thấy sự thay đổi của lưu lượng khí góc nghiêng thay đổi.

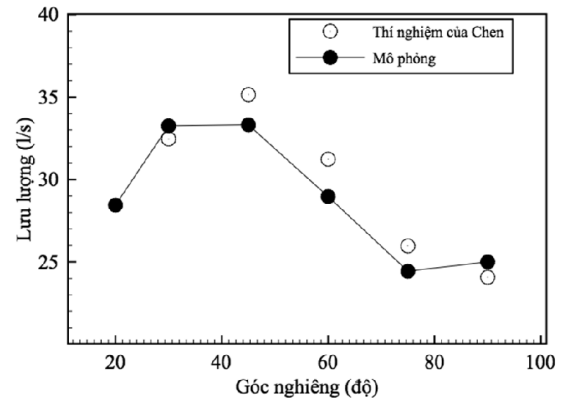
Để tiện cho việc so sánh, lưu lượng khí Q ở các góc nghiêng được thể hiện bằng tỉ số Q/Q_{90} , trong đó Q_{90} là lưu lượng khí khi góc nghiêng bằng 90° (tương ứng trường hợp ống khói nhiệt thẳng đứng). Hình 5 cho thấy tỉ số Q/Q_{90} cho cả ba trường hợp cường độ nhiệt I gần như trùng nhau với lưu lượng cực đại ở góc nghiêng bằng 45° . Điều đó cho thấy cường độ nhiệt không ảnh hưởng nhiều đến đường quan hệ giữa Q và θ , ít nhất trong trường hợp được khảo sát.

Trong các mô phỏng tiếp theo, chúng tôi giữ cường độ nhiệt bằng 600W/m^2 và khảo sát ảnh hưởng của các thông số khác.

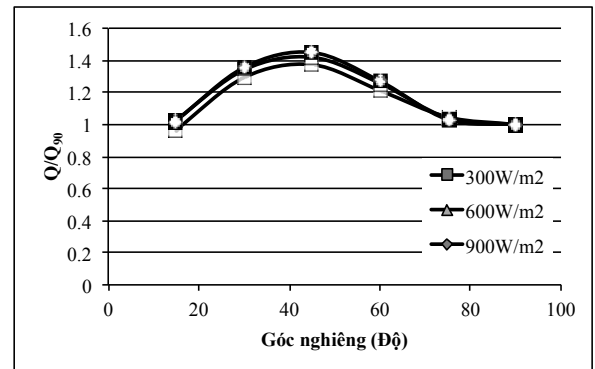
3.3. Ảnh hưởng của chiều rộng W lên lưu lượng

Hình 6 cho thấy mối quan hệ giữa lưu lượng và góc

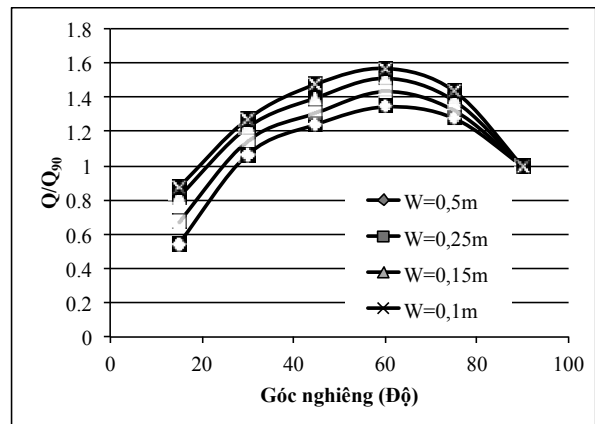
ngiên khi chiều rộng W thay đổi. Ống khói nhiệt có hai kích thước $L=0,5\text{m}$ và $G=0,05\text{m}$ được giữ cố định trong khi W thay đổi với các giá trị bằng $0,1\text{m}$, $0,15\text{m}$, $0,25\text{m}$ và $0,5\text{m}$.



Hình 4. So sánh lưu lượng tính toán và lưu lượng thí nghiệm của Chen và cộng sự [4]



Hình 5. Ảnh hưởng của cường độ nhiệt lên lưu lượng khí cho trường hợp $L=1,0\text{m}$, $W=0,5\text{m}$, $G=0,2\text{m}$



Hình 6. Ảnh hưởng của chiều rộng W lên lưu lượng khí cho trường hợp $L=0,5\text{m}$, $G=0,05\text{m}$ và $I=600\text{W/m}^2$

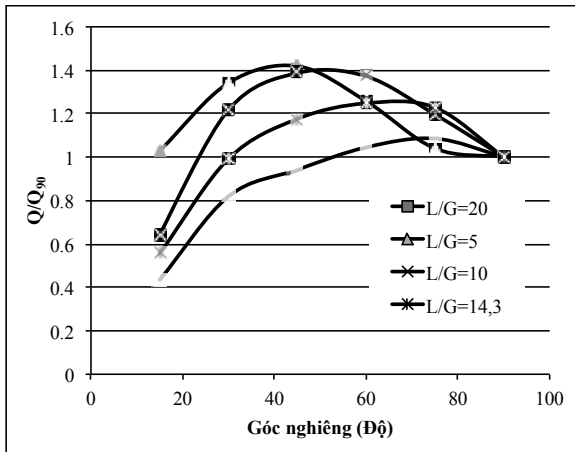
Kết quả trên Hình 6 cho thấy dạng đường quan hệ giữa Q và θ là tương tự nhau khi W thay đổi, mặc dù tỉ số Q/Q_{90} có xu hướng giảm khi W tăng ở cùng góc nghiêng θ . Lưu lượng cực đại trong trường hợp này đạt được ở góc nghiêng bằng 60° .

3.4. Ảnh hưởng của bề dày G và chiều dài L lên lưu lượng

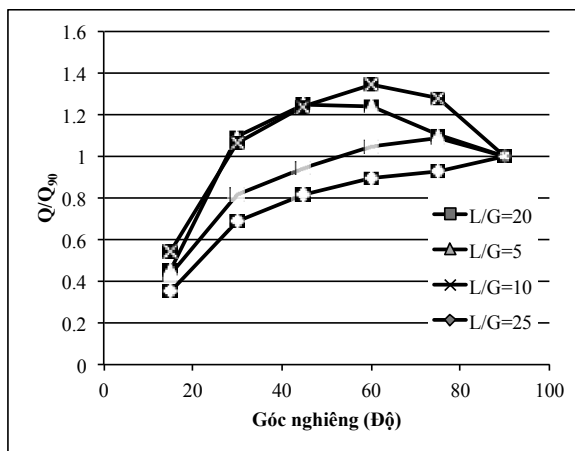
Để khảo sát ảnh hưởng của bề dày G , chiều dài L được giữ cố định bằng $1,0\text{m}$ trong khi để khảo sát ảnh hưởng của chiều dài L , bề dày G được giữ cố định bằng $0,05\text{m}$. Trong cả hai trường hợp, W và I đều bằng $0,5\text{m}$ và 600W/m^2 .

Để tiện cho việc so sánh, chúng tôi dùng tỉ số L/G để

khảo sát. Kết quả được thể hiện trên Hình 7 và Hình 8. Xu hướng thay đổi của tỉ số Q/Q_{90} trong cả hai Hình 7 và 8 là tương tự nhau. Thứ nhất, góc nghiêng cho lưu lượng cực đại tăng dần theo tỉ số L/G , tương ứng bằng 45° , 60° , 75° khi tỉ số L/G tăng lên từ 5, 10, 20. Thứ hai, khi tỉ số L/G lớn hơn 20, lưu lượng có xu hướng tăng dần theo góc nghiêng của ống khói nhiệt, nên lưu lượng đạt cực đại khi $\theta = 90^\circ$ hay ống khói nhiệt thẳng đứng.



Hình 7. Ảnh hưởng của bề dày G lên lưu lượng khí với $L=1,0m$, $W=0,5m$, $I=600W/m^2$



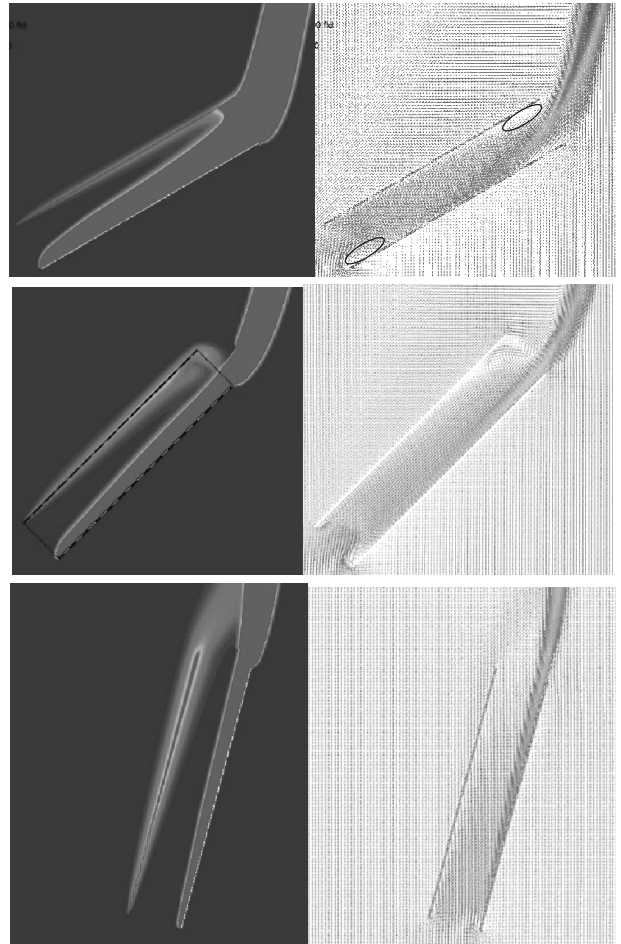
Hình 8. Ảnh hưởng của chiều dài L lên lưu lượng khí với $G=0,05m$, $W=0,5m$, $I=600W/m^2$

Như vậy, thông số ảnh hưởng nhiều nhất đến đường đặc tính của lưu lượng dòng khí cảm ứng qua ống khói nhiệt là tỉ số L/G giữa chiều dài và bề dày của kênh dẫn khí. Để thấy rõ hơn ảnh hưởng của tỉ số này lên dòng khí cảm ứng và quá trình truyền nhiệt bên trong ống khói nhiệt, chúng tôi khảo sát phân bố nhiệt độ và vận tốc cho hai trường hợp có tỉ số L/G nhỏ và L/G lớn.

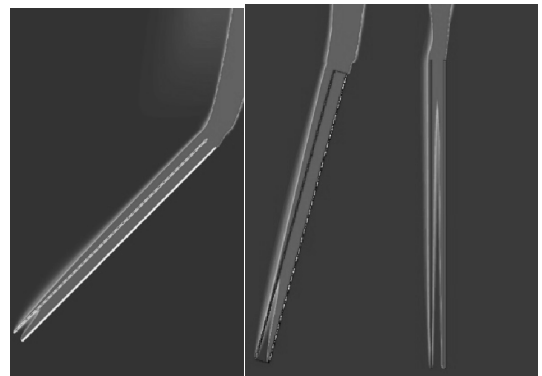
Hình 9 cho thấy phân bố nhiệt độ và vận tốc dòng khí trong trường hợp có tỉ số L/G bằng 5 với ba góc nghiêng khác nhau. Các hình được thể hiện với cùng thang màu. Để tiện cho việc so sánh, vùng có nhiệt độ lớn hơn $1^\circ C$ so với nhiệt độ môi trường được thể hiện bằng màu đỏ. Phân bố nhiệt độ cho thấy nhiệt độ không khí bên trong ống khói nhiệt cao nhất ở trường hợp 30° . Tuy nhiên, lưu lượng cực đại đạt được ở 45° , như được thể hiện trên Hình 5, 7 và 8. Điều này có thể do ở góc nghiêng 30° , vùng tách dòng (vùng được khoanh tròn trên Hình 9) ở đầu vào và đầu ra của ống khói nhiệt làm giảm tiết diện hiệu dụng A của dòng

khí so với ở góc nghiêng 45° nên lưu lượng ở 30° nhỏ hơn lưu lượng ở 45° khoảng 5,0%.

Khi góc nghiêng tăng lên, thể tích lớp không khí nhận nhiệt thu hẹp dần sát bề mặt dưới của ống khói nhiệt. Do đó, lớp không khí có vận tốc lớn cũng mỏng dần nên làm giảm lưu lượng. Ở các góc nghiêng nhỏ hơn, mặc dù vùng không khí nhận nhiệt từ bề mặt dưới rộng hơn trường hợp 45° , nhưng chênh lệch độ cao giữa đầu vào và đầu ra ống khói nhiệt nhỏ hơn, nên tạo ra hiệu ứng nhiệt và lưu lượng khí tương ứng kém hơn.



Hình 9. Phân bố nhiệt độ (bên trái) và vận tốc dòng khí (bên phải) cho trường hợp $L/G=5$ ($G=0,2m$, $W=0,5m$, $L=1,0m$, $I=600W/m^2$) với ba góc nghiêng bằng 30° , 45° và 75° (từ trên xuống)



Hình 10. Phân bố nhiệt độ cho trường hợp L/G bằng 25 ($G=0,05m$, $W=0,5m$, $L=1,25m$, $I=600W/m^2$) với ba góc nghiêng bằng 45° , 75° và 90° (từ trái qua phải)

Hình 10 cho thấy phân bố nhiệt độ trong trường hợp có tỉ số L/G bằng 25. Vùng màu đỏ cũng thể hiện lớp không khí có nhiệt độ cao hơn 1°C so với môi trường. Phân bố nhiệt độ cho thấy ở tỉ số L/G này, thất thoát nhiệt từ bên trong ống khói nhiệt ra vùng không khí phía trên tấm kính (bên ngoài ống khói nhiệt) tăng lên khi góc nghiêng càng nhỏ. Với cùng công suất của nguồn nhiệt trên mặt dưới, lượng nhiệt thất thoát nhiều dẫn đến lượng nhiệt mà không khí bên trong kênh dẫn nhận được giảm đi và làm giảm hiệu ứng nhiệt. Do vậy lưu lượng khí cũng giảm khi góc nghiêng giảm và chỉ đạt cực đại khi góc nghiêng lớn nhất, hay khi ống khói nhiệt thẳng đứng, như được thể hiện trên Hình 7 và 8.

3.5. Về khả năng áp dụng ống khói nhiệt để thông gió tự nhiên cho các công trình ở Việt Nam

Với cường độ bức xạ mặt trời cao nhất đến 1100W/m² ở Tp Hồ Chí Minh [1], ống khói nhiệt có thể là giải pháp giúp thông gió tự nhiên hiệu quả cho công trình ở địa phương này để góp phần tiết kiệm năng lượng cũng như đảm bảo chất lượng không khí bên trong công trình. Ví dụ, lưu lượng mà ống khói nhiệt của Hình 5 với kích thước (chiều dài x chiều rộng x bề dày) bằng 1,0m x 0,5m x 0,2m (tương đương diện tích của nửa cửa sổ thông thường) có thể tạo ra được khi cường độ nhiệt bằng 900W/m² ở góc nghiêng 45° bằng 27 lít/giây hay 97,2 m³/giờ. Lưu lượng này đủ để thông gió tự nhiên cho căn phòng có kích thước 3m x 3m x 3m với bội số tuần hoàn bằng 3,6 và đáp ứng được yêu cầu thông gió theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 5687:2000 [8].

Mathur và cộng sự [2] đề xuất góc nghiêng của ống khói nhiệt để nhận được nhiệt bức xạ mặt trời nhiều nhất ở vĩ độ của Tp Hồ Chí Minh là 50°. Tuy nhiên, theo kết quả của chúng tôi trên Hình 7 và 8, góc nghiêng này chỉ hiệu quả khi tỉ số L/G nằm trong khoảng từ 5 - 10. Do vậy, để tối ưu về lưu lượng khí tạo được, ống khói nhiệt cho các công trình ở Tp Hồ Chí Minh nên được thiết kế với tỉ số L/G nằm trong khoảng giá trị đó với góc nghiêng lân cận 50° so với phương ngang.

4. Kết luận

Chúng tôi đã sử dụng mô phỏng số để khảo sát đặc tính của lưu lượng khí lưu thông qua ống khói nhiệt loại nghiêng. Kết quả mô phỏng cho thấy, thông số ảnh hưởng nhiều nhất lên đường đặc tính của lưu lượng là tỉ số giữa chiều dài L và bề dày của kênh dẫn khí G. Cụ thể, khi các thông số khác là như nhau, góc nghiêng của ống khói nhiệt ứng với mức lưu lượng cực đại tăng dần theo tỉ số L/G. Khi tỉ số L/G lớn hơn 20, lưu lượng đạt cực đại khi ống khói nhiệt thẳng đứng. Các thông số khác bao gồm chiều rộng W của kênh dẫn khí và cường độ nhiệt không ảnh hưởng đến đường đặc tính của lưu lượng theo góc nghiêng.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG Tp HCM mã số T-KTXD-2016-86 và Công ty Cradle CFD.

Acknowledgement: The author thanks Cradle CFD Co. Ltd for providing a ScStream licence for this study.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Quốc Ý, “Thử nghiệm giải pháp làm mát không khí tiết kiệm năng lượng: Ống khói nhiệt kết hợp hiệu ứng bay hơi nước – Làm mát gián tiếp trong điều kiện thời tiết thực ở Tp Hồ Chí Minh”, *Tạp chí KHCN Đại học Đà Nẵng* số 9 (94), 2015, 69-73.
- [2] J. Mathur, S. Mathur, và Anupma, “Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation”, *Energy and Buildings*, Elsevier, 38, 2006, 1156-1163.
- [3] D.J. Harris và N. Helwig, “Solar chimney and building ventilation”, *Applied Energy*, Elsevier, 84, 2007, 135-146.
- [4] Z.D. Chen, P. Bandopadhyay, J. Halldorsson, C. Byrjalen, P. Heiselberg, và Y. Li, “An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux”, *Building and Environment*, Elsevier, 38, 2003, 893-906.
- [5] J. Adam, T. Yamanaka, và H. Kotani, “Mathematical model and experimental study of airflow in solar chimneys”, *Proceedings of 8th International Conference on Air Distribution in Rooms (ROOMVENT 2002)*, 2002, 621-624.
- [6] J.H. Ferziger và M. Peric, *Computational methods for fluid dynamics*, Springer, 2002.
- [7] N.K. Bansal, R. Mathur, và M.S. Bhandari, “Solar chimney for enhanced stack ventilation”, *Building and Environment*, Elsevier, 28 (3), 1993, 373-377.
- [8] Bộ KHCN Việt Nam, *Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 5687:2010 về Thông gió – Điều hoà không khí – Tiêu chuẩn thiết kế*, 2010.

(BBT nhận bài: 10/03/2016, phản biện xong: 07/04/2016)