

PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH VẬN TỐC DÒNG KHÍ SAU QUẠT HƯỚNG TRỰC

Đặng Vũ Đình^{1,*}, Nguyễn Minh Tuấn²

¹ Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mở -Địa chất, Hà Nội, Việt Nam, *E-mails : dangvudinh@humg.edu.vn;

² Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mở -Địa chất, Hà Nội, Việt Nam, E-mails :
nguyenminhtuan@humg.edu.vn;

TÓM TẮT

Hiện nay có nhiều phương pháp đo tốc độ của dòng không khí như máy đo gió điện tử, ống pi-tô, phương pháp dây nóng (wire hot methode)... Mỗi phương pháp đo đều có những ưu nhược điểm nhất định. Tuy nhiên, việc xác định vị trí đầu đo của thiết bị, khoảng cách đầu đo so với quạt, hướng dòng không khí sau quạt,... đến nay chưa có nhiều nghiên cứu đề cập. Nghiên cứu này trình bày cách đo tốc độ dòng không khí sau quạt bằng ống Pi-tô. Phương pháp này cho phép đo được tốc độ dòng không khí và trường dòng chảy phía sau quạt hướng trực. Để xác định hướng dòng không khí thoát ra khỏi quạt, nghiên cứu sử dụng mô hình mô phỏng được thiết kế theo tiêu chuẩn ISO 5801. Thông qua mô phỏng số CFD cho thấy khi thay đổi lưu lượng hút vào hộp (bằng cách thay đổi đường kính cửa hút d , mm), góc thoát dòng không khí sau cánh quạt sẽ thay đổi. Hiệu suất lớn nhất của quạt đạt được tương ứng với đường kính cửa hút $d = 267$ mm, tốc độ quay quạt 2000 vòng/phút. Góc thoát dòng khí ra khỏi quạt được xác định $45 \pm 5^\circ$. Với $d = 375$ mm vận tốc dòng không khí gần như song song với trục dẫn động. Kết quả nghiên cứu cho phép xây dựng phương án đo vận tốc cũng như vị trí đặt đầu đo của thiết bị phù hợp với từng trường hợp cụ thể.

Từ khóa: Quạt hướng trực, ống Pi-tô, vận tốc, CFD, góc thoát dòng khí.

1. Mở đầu

Hiện nay có nhiều phương pháp đo tốc độ gió khác nhau với quạt nói chung và quạt hướng trực nói riêng: dùng máy đo gió điện tử, dùng ống Pi-tô [1] hoặc phương pháp dây nóng (wire hot method) [2, 3]. Tuy nhiên cần lưu ý rằng những phương pháp này chỉ phù hợp đo với tốc độ dòng không khí thấp, dòng ổn định hoặc chỉ thực hiện dùng để kiểm tra nhanh. Với những dòng chảy nhiễu loạn (số Reynol lớn) hoặc trong một số trường hợp dòng không khí ra khỏi quạt không song song với trục lắp quạt điều này dẫn đến giá trị vận tốc đo được không phản ánh được bản chất của dòng không khí thoát ra khỏi quạt. Do đó, đã có những bước cải tiến phương pháp đo để phù hợp với việc xác định tốc độ gió lớn nhất cũng như xu hướng của dòng không khí phía sau cánh quạt (khu vực hạ lưu). Trong nghiên cứu này tập trung vào phương pháp đo vận tốc dòng khí bằng ống Pi-tô tùy thuộc vào tốc độ dòng không khí (hoặc tốc độ quay của quạt) sẽ có những điều chỉnh phù hợp của đầu đo hoặc thiết bị đo. Để đánh giá quá trình thiết kế, chế tạo cánh quạt nhiều nhà khoa học đã có những nghiên cứu

chuyên sâu làm sáng tỏ cấu trúc của dòng không khí (quạt hướng trực). Trong nghiên cứu của Barat [4] và Bradshaw [5], đã ứng dụng phương pháp ống Pi-tô để xác định dòng nhiễu loạn không khí. Trong giới hạn của nghiên cứu này chúng tôi chỉ đề cập đến loại máy đo gió dạng ống Pi-tô, đây là thiết bị được sử dụng phổ biến và phù hợp nhất để đo sự nhiễu loạn cũng như xác định tốc độ của dòng không khí [6, 7, 8, 9].

Trong quá trình thử nghiệm quạt trên bề mặt thử nghiệm, đặc tính cánh quạt được xác định bằng cách thay đổi lưu lượng hút vào hộp, ta thấy rằng trong một số trường hợp do độ chênh lệch áp suất tĩnh (bên trong hộp) và áp suất khí quyển bên ngoài hộp làm dòng không khí đi ra khỏi quạt có xu hướng không song song với trục lắp quạt. Do vậy, để có thể xác định được vận tốc hoặc vùng nhiễu động lớn nhất phía sau quạt cần phải xác định đúng vị trí đặt đầu dò của thiết bị đo. Trên cơ sở sử dụng phương pháp đo bằng ống Pi-tô, nghiên cứu được tiến hành theo các bước sau:

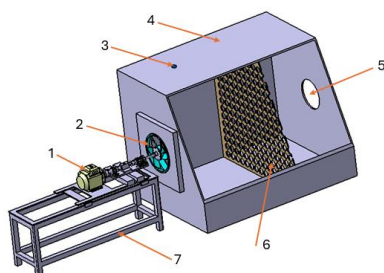
+ Bước 1: Xây dựng mô hình thực nghiệm

- + Bước 2: Xác định xu hướng dòng không khí ở khu vực hạ lưu quạt bằng phương pháp mô phỏng số (góc thoát của dòng không khí)
- + Bước 3: Xác định vị trí, góc đặt đầu đo của thiết bị
- + Bước 4: Xây dựng kế hoạch đo
- + Bước 5: Tiến hành đo trên bộ thử nghiệm

2. Giới thiệu bộ thử nghiệm động học và phương pháp đo vận tốc bằng ống Pi-tô.

2.1 Giới thiệu bộ thử nghiệm khí động học cánh quạt hướng trục.

Bộ thử nghiệm động học cánh quạt hướng trục được xây dựng theo tiêu chuẩn 5801, tại phòng thí nghiệm cơ học chất lỏng Duyn Fluid [10],. Kích thước hộp là 1,3 x 1,3 x 1,8 m, hình 1. Cánh quạt được chế tạo dựa trên biên dạng cánh NACA 65, chiều dày cánh 10 mm, bán kính chân cánh là 65.5 mm, bán kính đỉnh cánh 179 mm.



Hình 1. Bộ thử nghiệm tiêu chuẩn 5801

1- Động cơ dẫn động, 2 - cánh quạt, 3 - vị trí đo áp suất tĩnh trong hộp, 4 - hộp, 5 - cửa hút, 6 - bộ phận ổn định dòng chảy, 7 - giá đỡ.

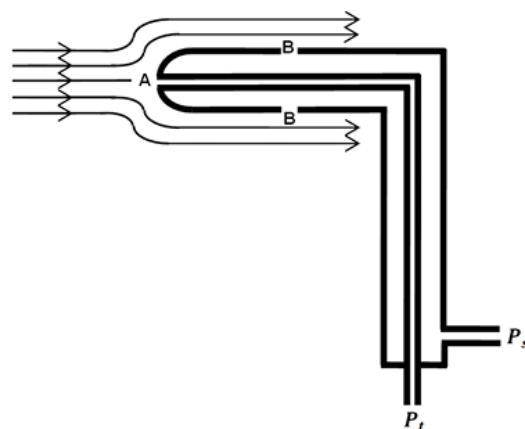
Động cơ dẫn động (1) có công suất 4 kW, được điều khiển bằng biến tần. Trên hộp (4) được bố trí 4 lỗ xung quanh (3) để xác định áp suất tĩnh trong hộp khi quạt quay. Ngoài ra, để thay đổi lưu lượng dòng không khí vào hộp, ta thay đổi đường kính cửa hút d (mm) tại vị trí (5). Để xác định được đường đặc tính của quạt đường kính d (mm) được lấy theo Bảng 1, [11]

Bảng 1. Đường kính cửa hút

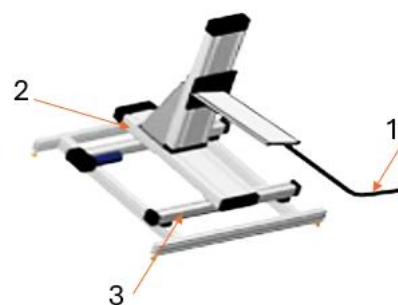
d (mm)				
238	267	300	336	375

2.2 Giới thiệu phương pháp đo vận tốc bằng phương pháp ống Pi-tô

Trên bộ thử nghiệm được trang bị thiết bị để đo vận tốc dọc trục bằng ống Pitot tĩnh. Phương pháp này thường được sử dụng để đo vận tốc trong nhiều lĩnh vực khác nhau: đường ống, đo gió hàng không, hầm mô.v.v. Về cơ bản, nó bao gồm hai ống đồng tâm, bên trong và bên ngoài, cho phép lần lượt đo tổng áp suất phía trước dòng chảy tại điểm dừng A và áp suất tĩnh tại điểm tiếp tuyến B (hình 2). Độ dịch chuyển dọc trục và hướng tâm của dụng cụ đo này được đảm bảo bởi hệ thống dịch chuyển ba chiều DANTEC 3D (hình 3).



Hình 2. Nguyên lý đo vận tốc



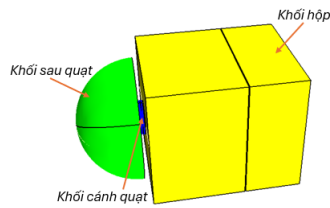
Hình 3. Hệ thống dịch chuyển DANTEC

1-Ống Pi-tô, 2-Dịch chuyển theo phương hướng kính, 3-Dịch chuyển theo phương dọc trục.

3. Mô hình hóa bộ thử nghiệm khí động học

3.1. Mô hình hóa bộ thử nghiệm

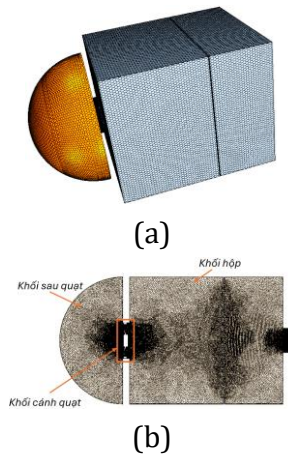
Dựa trên đặc điểm kết cấu bộ thử nghiệm động lực học tiêu chuẩn ISO 5801 được giới thiệu trên hình 4, ta xây dựng được mô hình mô phỏng trên phần mềm NX. Mô hình mô phỏng được thiết lập gần như tương thích với mô hình thực tế bao gồm 3 phần chính: khối hộp, khối cánh quạt và khối sau quạt.



Hình 4. Mô hình hóa bộ thử nghiệm

3.2. Chia lưới mô hình mô phỏng

Trên cơ sở mô hình đã được xây dựng, quá trình mô phỏng được thực hiện trên phần mềm Star CCM+. Chia lưới cho mô hình được giới thiệu trên hình 5. Để đảm bảo phản ánh chính xác tính chất chuyển động của dòng khí trong hộp, ngoài hộp và đặc biệt vùng lắp đặt cánh quạt thì chất lượng lưới cũng như kỹ thuật chia lưới phải được xem xét kỹ lưỡng. Với mô hình này khối quan trọng (khối cánh quạt) được tinh chỉnh với kích thước lưới mịn hơn so với khu vực khối hộp và khối sau quạt. Cụ thể, số lượng lưới ở khối vào hộp 1807922, khối quay là 992587, khối ra số lượng lưới 290715.



Hình 5. Chia lưới cho mô hình (a), lưới tại mặt cắt giữa mô hình (b)

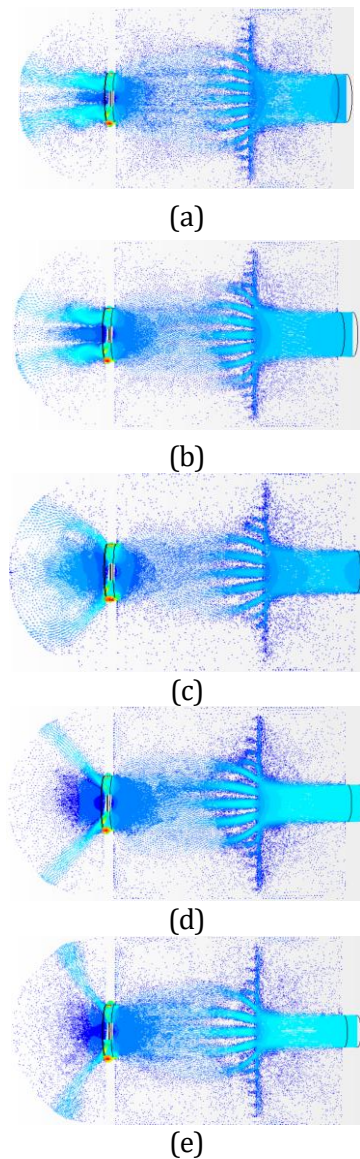
Một số hình mô phỏng dòng nhiễu loạn không khí hiện nay như Standard $k - \epsilon$, Wilcox $k - \omega$, SST $k - \omega$. Trong nghiên sử dụng mô hình SST $k - \omega$ để giải quyết bài toán này. Mô hình dòng chảy rối SST $k - \omega$ được phát triển bởi Menter, phương pháp này là sự kết hợp của dòng chảy rối $k - \omega$ tiêu chuẩn và mô hình $k - \epsilon$. Việc kết hợp nhiều phương trình mô phỏng cho phép xác định tương đối chính xác dòng nhiễu loạn ngay cả với trường hợp dòng khí có hoặc không có gradient áp suất bất lợi.

Điều kiện biên tính toán, mô phỏng được thực hiện bằng cách thay đổi các đường kính cửa hút d (mm) được cho trong Bảng 1. Tốc độ vòng quay động cơ (cánh quạt) được thực hiện tại hai giải tốc độ 1000 và 2000 vòng/phút. Để đảm bảo độ chính xác của kết quả mô phỏng, tiêu chuẩn hội tụ được áp dụng là 10^{-6} .

4. Kết quả mô phỏng và thảo luận

4.1 Kết quả mô phỏng số

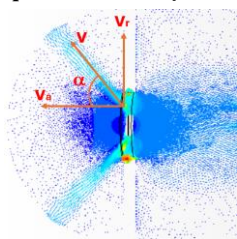
Kết quả mô phỏng số được thể hiện trên hình 6 với tốc độ quay cánh quạt 2000 vòng/phút.



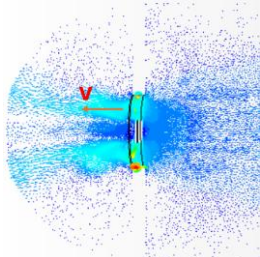
Hình 6. Kết quả mô phỏng dòng không khí sau cánh tương ứng với đường kính cửa hút: (a)- 375 mm, (b)-336 mm, (c)-300 mm, (d)-267 mm, (e)- 238 mm

Kết quả mô phỏng cho ta thấy rằng khi đường kính cửa hút nhỏ (giảm lưu lượng không khí vào trong hộp) thì dòng khí thoát ra khỏi cánh quạt có xu hướng hướng kính (Hình 6 (e)). Khi tăng đường kính cửa hút thì xu hướng dòng khí thoát ra song song trục dẫn động (Hình 6 (a)). Trên thực tế, hoạt động của quạt luôn tạo ra luồng khí theo cả hai hướng: hướng tâm cho lưu lượng thấp V_r và hướng trục cho lưu lượng cao V_a (Hình 7).

Giá trị hiệu suất quạt lớn nhất đạt được tương ứng với đường kính cửa hút $d = 267$ mm, dòng khí thoát ra sau quạt với góc khoảng 45° , khi tính đến độ sai số góc thoát được xác định $\alpha = 45^\circ \pm 5^\circ$. Thực tế nghiên cứu cho thấy ngay cả khi giá trị này thay đổi cộng hoặc trừ 5° , thì điều này cũng không làm thay đổi nhiều kết quả vì chúng ta vẫn nằm trong giới hạn hình nón với góc quay 20° , khi đó các phép đo vẫn được đảm bảo.



Hình 7. Vận tốc dòng không khí sau cánh quạt tương ứng với đường kính cửa hút $d = 267$ mm



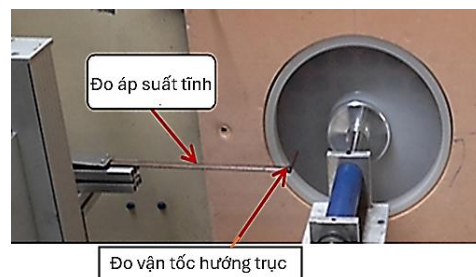
Hình 8. Vận tốc dòng không khí sau cánh quạt tương ứng với đường kính cửa hút $d = 375$ mm

Trường hợp đường kính cửa hút $d = 375$ mm cho hiệu suất nhỏ nhất khi đó vận tốc dòng không khí gần như song song với trục dẫn động, Hình 8.

Như vậy, dựa trên kết quả mô phỏng cho phép chúng ta nhận biết được hành vi cũng như tính chất dòng không khí thoát ra khỏi cánh quạt. Điều này cho phép thực hiện các thử nghiệm khác liên quan đến đặc tính quạt như: xác định trường vận tốc sau cánh quạt, áp suất tĩnh (trong hộp), lưu lượng,... Nghiên cứu này tập trung vào xác định vận tốc dòng

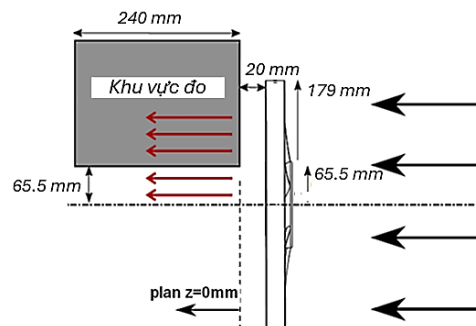
khí thoát ra sau cánh quạt bằng ống Pi-tô với đường kính cửa hút $d = 375$ mm.

4.2. Kết quả xác định vận tốc trên bộ thử nghiệm động học



Hình 9. Ống đo Pi-tô lắp đặt trên bộ đo DANTEC

Để xác định trường vận tốc của dòng không khí ở khu vực hạ lưu quạt, một chiến lược đo được thiết lập. Điểm đặt đầu đo theo phương pháp ống Pi-tô được xác định theo hai yếu tố. Thứ nhất, xác định khoảng cách đặt đầu đo (theo phương dọc trục z), điểm này sẽ được xác định thông qua phân tích quá trình mô phỏng số. Vận tốc quay của quạt lớn thì dòng không khí thoát ra càng gần quạt càng nhiều loạn, điều này sẽ ảnh hưởng lớn đến độ chính xác đo. Thứ hai điểm đặt theo phương x , đầu dò ống Pitot được đặt cách quạt 20 mm về phía hạ lưu và có chiều cao hướng tâm là 65,5 mm. Vị trí gốc này được lấy làm vị trí tham chiếu hướng trục ($z = 0$). Phía hạ lưu của quạt, ống Pi-tô được di chuyển để quét khu vực đo. Trường vận tốc được đo trên một lưới thường kéo dài từ $z = 0$ mm đến $z = 240$ mm với khoảng cách 30 mm (9 điểm theo hướng trục theo Bảng 2) và từ $r/R = 0,365$ đến $r/R = 1,090$ với khoảng cách 10 mm (14 điểm theo hướng bán kính), Hình 10.



Hình 10. Bố trí khu vực đo tốc độ dọc trục

Bảng 2. Vị trí hướng trục trong khu vực đo

Vị trí hướng trục Z (mm)								
0	30	60	90	120	150	180	210	240

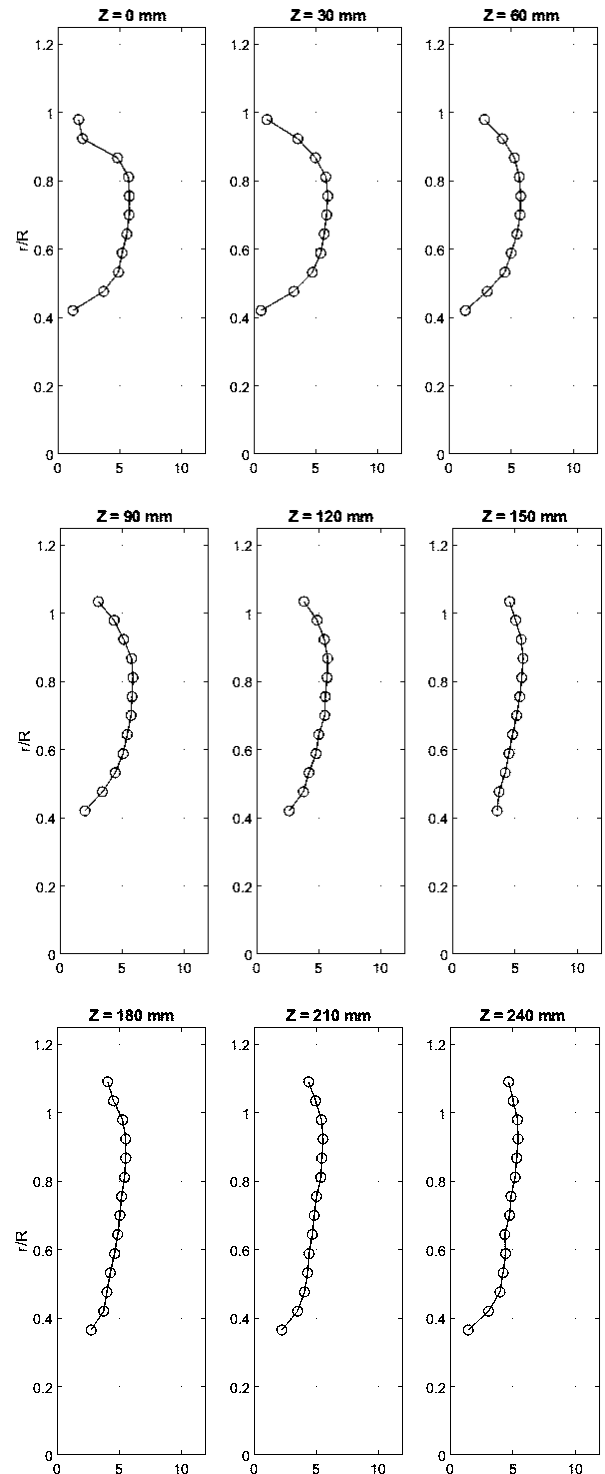
Kết quả xác định trường vận tốc của dòng không khí thoát ra ở khu vực vùng hạ lưu quạt hướng trục được thể hiện trong hình 11 và hình 12. Với tốc độ quay cánh quạt 1000 và 2000 vòng/phút, vận tốc lớn nhất được xác định là 6.5 m/s và 12,6 m/s, tương ứng với vị trí $r/R = 0.8$. Kết quả nghiên cứu này thể hiện tương đối chính xác trường vận tốc theo phương hướng kính của cánh quạt. Điều này cho thấy độ tin cậy giữa kết quả mô phỏng số hình 6 và kết quả thực nghiệm trên bộ thử nghiệm hình 11 và hình 12.

5. Kết luận

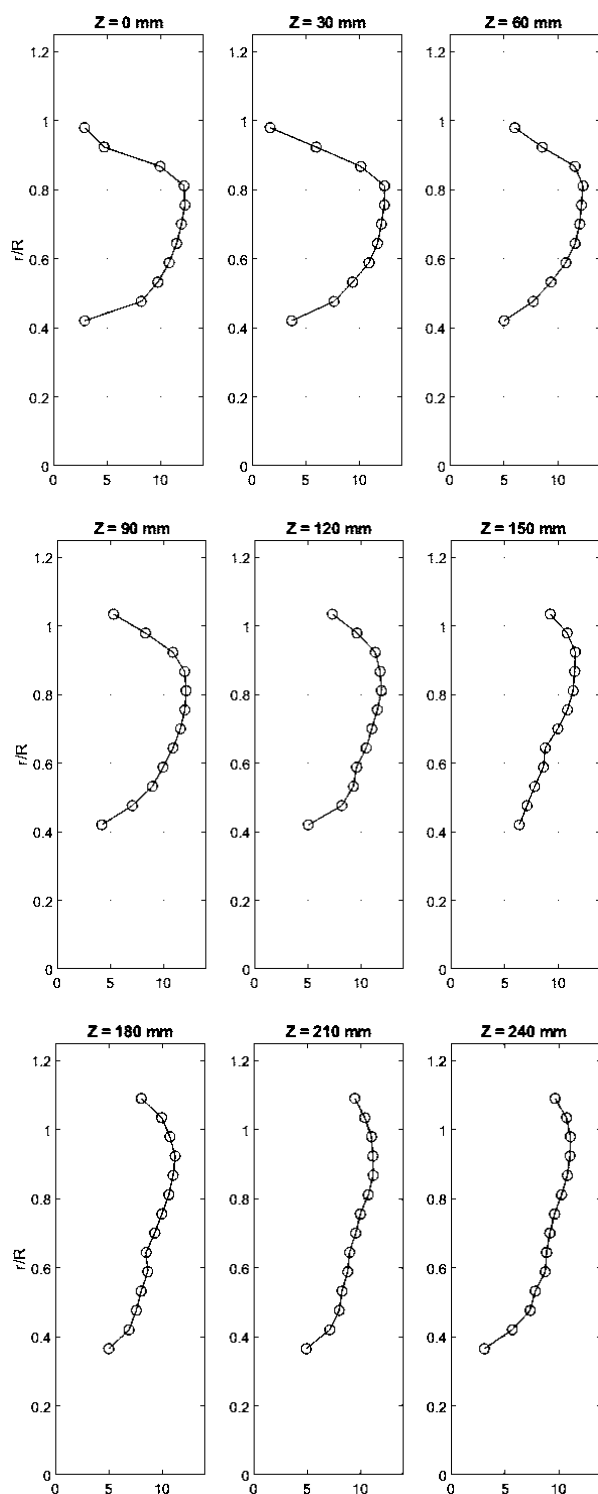
Đo áp suất tổng thể cánh quạt chính xác là điều kiện tiên quyết để xác định chính xác trường vận tốc và đánh giá tổn thất cũng như hiệu suất của quạt. Kết quả nghiên cứu trên đây cho phép chúng ta rút ra được những kết luận sau:

- Xác định được phương pháp đo tốc độ dòng không khí khi ra khỏi cánh quạt bằng phương pháp ống Pi-tô. Nghiên cứu sử dụng bộ thử nghiệm tiêu chuẩn 5801, trên cơ sở đó đã mô hình hóa được mô hình mô phỏng.

- Dựa trên kết quả mô phỏng số cho phép xác định được khoảng cách đặt thiết bị đo (giữa đầu đo và quạt), góc đặt của đầu đo để xác định vận tốc dòng không khí lớn nhất ở khu vực hạ lưu quạt. Kết quả nghiên cứu cho thấy trường vận tốc đo được ở khu vực hạ lưu của cánh quạt tương đối đồng nhất giữa kết quả mô phỏng và kết quả đo thực nghiệm. Điều này thể hiện tính khoa học cũng như độ tin cậy của kết quả đo theo phương pháp ống Pi-tô.



Hình 11. Trường vận tốc của quạt theo phương z với tốc độ 1000 vòng/phút



Hình 12. Trường vận tốc của quạt theo phương z với tốc độ 2000 vòng/phút

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Hùng Tâm. Giáo trình bơm quạt, Trường Đại học Nông Lâm, 2006
- [2] Brahim Rharbaoui (1994). A contribution to the study of the simultaneous measurement of thermal conductivity and thermal diffusivity by using hot wire method. PHD thesis.
- [3] Charles G. Lomas; Murray S. Korman (1990). Fundamentals of Hot Wire Anemometry.
<https://doi.org/10.1121/1.399482>
- [4] Barat, M (1958). Influence de la turbulence sur les pries de pression statiques. Comptes rendus, 246, 1156.
- [5] Bradshaw, P and Goodman, D (1968). The effect of turbulence on static pressure tubes. ARC R&M 1194.
- [6] Wuest, W (1967). Measurement of flow speed and flow direction by aerodynamic probes and vance. AGARD CP 32 – flight test instrumentation, pp 373-422.
- [7] Enkenhus, K.R (1957). Pressure probes at very low density. UTIA report No 43, Jan.
- [8] Davies, P.O(1958). The behavior of a Pitot tube in trasverse shear. J. Fluid mechanics, Vol. 3, pp 441-456.
- [9] Lighthill, M.J (1957). Contribution to the theory of the Pitot tube displacement effect. J. Fluid mechanics, Vol. 2, pp 493-512.
- [10] ISO, “Norme internationale ISO 5801. (2007), Ventilateurs industriels - Essais aérauliques sur circuits normalisés.”, fr, p. 248.
- [11] Vu-Dinh DANG (2021). Étude de l'influence des paramètres du procédé de rotomoulage sur les caractéristiques aérodynamiques de fonctionnement d'un ventilateur axial. Thèse Doctorat (PHD).