

THỰC NGHIỆM VÀ CÔNG BỐ ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO PHƯƠNG TIỆN ĐO TỐC ĐỘ GIÓ

DƯƠNG THÀNH NAM¹, TRẦN THỊ HOA¹
TRẦN SƠN TÙNG¹

¹Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao Công nghệ

NGUYỄN HOÀNG GIANG², TRẦN ĐỨC LỢI²

NGUYỄN VĂN HUY²

²Viện Kiểm định Công nghệ và Môi trường,

Tóm tắt:

Sự chính xác trong việc đo đặc tốc độ gió đóng vai trò quan trọng trong nhiều ứng dụng như dự báo thời tiết, nghiên cứu khoa học và đảm bảo an toàn trong ngành công nghiệp. Để đạt được kết quả chính xác, việc hiệu chuẩn phương tiện đo (PTĐ) tốc độ gió đòi hỏi tuân thủ quy trình hiệu chuẩn định kỳ. Tại Viện Kiểm định Công nghệ và Môi trường (Viện ETV), việc hiệu chuẩn các PTĐ tốc độ gió dải cao được thực hiện trong môi trường kiểm soát bằng cách sử dụng hầm tạo gió chuẩn Omega WT4401-D. Omega WT4401-D cho phép tạo ra dòng khí chuyển động với tốc độ từ 0 m/s - 45 m/s. Để đảm bảo độ chính xác, sai lệch tốc độ dòng khí được đánh giá trên toàn bộ mặt cắt ngang của ống khí động, dao động từ 1 ÷ 2% tùy thuộc vào tốc độ gió cài đặt. Nguyên tắc cơ bản của việc hiệu chuẩn là so sánh trực tiếp kết quả đo của PTĐ tốc độ gió cần hiệu chuẩn với giá trị tốc độ gió chuẩn được thiết lập từ hầm tạo gió. Với nguyên lý này, các PTĐ tốc độ gió như PTĐ tốc độ gió kiểu ống pitot và cảm biến nhiệt có kích thước hình học phù hợp có thể được hiệu chuẩn với độ không đảm bảo đo nằm trong khoảng 1,03 ÷ 3,02%, độ tin cậy 95%.

Từ khóa: Tốc độ gió; kiểm định; hiệu chuẩn tốc độ gió; hầm gió; nguồn độ không đảm bảo đo.

Nhận bài: 14/8/2023; Sửa chữa: 27/9/2023;

Duyệt đăng: 3/10/2023.

Experiment and statement of uncertainty in measuring wind speed measurements

Abstract:

Accurate wind speed measurements are critical in various fields, including weather forecasting, scientific research, and industrial safety. To achieve this precision, calibration is essential. Different technologies are used for wind speed measurements, such as mechanical, infrared, thermal, and ultrasonic methods. During calibration, it's crucial to assume uniform airflow. Factors affecting measurement results must be considered and documented in the calibration process. At the Institute of Technology and Environment Verification (ETV), high-range wind speed measurement devices are calibrated in the Omega WT4401-D standard wind tunnel. This environment can generate air streams at speeds from 0 m/s to 45 m/s, ensuring precision within 1% to 2% across the entire duct. The calibration principle involves comparing device measurements to standardized wind tunnel values. Wind speed measurement devices can be calibrated with uncertainties of 1,03% to 3,02% and a 95% confidence level.

Keywords: Wind speed; calibration of wind speed; wind tunnel; uncertainty budgets.

JEL Classifications: Q51, Q52, Q53, Q54.

Danh pháp

ΔV_E	Sai số vận tốc gió của PTĐ cần hiệu chuẩn, m/s.
V_{DUTI}	Vận tốc gió lần đọc thứ i của PTĐ cần hiệu chuẩn, m/s.
\bar{V}_{DUT}	Vận tốc gió trung bình đọc được trên PTĐ cần hiệu chuẩn tại hầm tạo gió chuẩn trong điều kiện áp suất và nhiệt độ môi trường thực tế thí nghiệm, m/s.
\bar{V}_R	Vận tốc gió chuẩn thực tế trung bình được tạo ra trong hầm tạo gió chuẩn trong điều kiện áp suất và nhiệt độ môi trường thực tế thí nghiệm, m/s.

ΔV_C	Số hiệu chỉnh của PTĐ cần hiệu chuẩn, m/s.
V_{R1}	Vận tốc gió được lấy ra từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn của hầm tạo gió chuẩn trong điều kiện chuẩn về áp suất và nhiệt độ môi trường, m/s.
\bar{V}_{R2}	Vận tốc gió chuẩn được xác định trong hầm tạo gió chuẩn tại điều kiện chuẩn về áp suất và nhiệt độ môi trường, m/s.
V_1	Vận tốc đã biết từ bảng hiệu chuẩn, m/s.
V_2	Vận tốc mong muốn không được liệt kê trong bảng hiệu chuẩn, m/s.



<p>K Hệ số phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất môi trường.</p> <p>ΔP_{R2} Độ chênh áp suất (chênh áp) đo được trong hầm tạo gió chuẩn trong điều kiện về áp suất và nhiệt độ môi trường thực tế thí nghiệm, mmHg.</p> <p>ΔP_{R1} Độ chênh áp suất (chênh áp) được lấy ra từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn của hầm tạo gió chuẩn trong điều kiện chuẩn về áp suất và nhiệt độ môi trường, mmHg.</p> <p>P_0 Áp suất khí quyển ở điều kiện tiêu chuẩn 1atm, mmHg.</p> <p>P Áp suất khí quyển thực tế thí nghiệm, mmHg.</p> <p>ΔP_1 Chênh áp tương ứng với vận tốc V1, mmHg.</p> <p>ΔP_2 Chênh áp tương ứng với vận tốc V2, mmHg.</p>	<p>T Nhiệt độ môi trường thực tế thí nghiệm, °C.</p> <p>U_C ĐKĐB của PTĐ tốc độ gió, m/s.</p> <p>U_R ĐKĐB thành phần của hầm tạo gió chuẩn, m/s.</p> <p>U_{DUT} ĐKĐB thành phần của PTĐ cần hiệu chuẩn, m/s.</p> <p>C_R Hệ số nhậy của hầm tạo gió chuẩn.</p> <p>C_{DUT} Hệ số nhậy của PTĐ cần hiệu chuẩn.</p> <p>s_j độ lệch chuẩn tại điểm đo thứ j.</p> <p>P_i Giá trị kết quả áp suất khí quyển tại lần đọc thứ i.</p> <p>\bar{P} Giá trị trung bình đo áp suất khí quyển tại n điểm.</p> <p>u_{SF} ĐKĐB do trường tốc độ gió của hầm chuẩn.</p> <p>j; i Các giá trị đo quá trình khảo sát trường tốc độ gió tại các vị trí đã chọn tại hầm gió.</p>
---	--

1. Giới thiệu

PTĐ tốc độ gió (phong kế) là thiết bị đo chuyên nghiệp được sử dụng để đo tốc độ gió (tốc độ dòng chảy của không khí), cung cấp cho chúng ta những thông tin chính xác về tốc độ gió, áp suất gió và lưu lượng gió. Đặc biệt, nó được sử dụng phổ biến trong các trạm khí tượng để phục vụ cho việc dự báo thời tiết. Ngoài ra, PTĐ tốc độ gió còn được sử dụng trong việc nghiên cứu cũng như thăm dò, khai thác các nguồn tài nguyên, lắp đặt các tubin điện bằng gió, lắp đặt hệ thống thông gió [1]. Trên thị trường hiện nay có rất nhiều loại PTĐ tốc độ gió được sản xuất với những công nghệ khác nhau như PTĐ tốc độ gió đo bằng phương pháp đếm xung dùng cơ khí cổ điển, phương pháp nhiệt, phương pháp siêu âm, phương pháp đếm xung dùng bộ thu phát hồng ngoại.

Để có dữ liệu về tốc độ gió một cách chính xác và tin cậy sử dụng trong các ứng dụng như dự báo thời tiết, nghiên cứu khoa học, hoặc an toàn trong ngành công nghiệp, đòi hỏi PTĐ phải được hiệu chuẩn định kỳ. Việc hiệu chuẩn thường được thực hiện bởi các phòng thí nghiệm có hầm tạo gió. PTĐ tốc độ gió đã hiệu chuẩn thường được kiểm tra kỹ lưỡng để xác định độ lệch và hiệu suất thực tế. Điều này giúp hiểu rõ hơn về độ không đảm bảo của tốc độ gió và khả năng lặp lại của thiết bị. Độ không đảm bảo đo chỉ ra mức độ sai lệch có thể xảy ra trong quá trình đo đạc, xuất phát từ nhiều nguồn khác nhau như: PTĐ, quy trình sản xuất, lắp đặt và sử dụng... Sau quá trình hiệu chuẩn, PTĐ tốc độ gió thường có một hệ số hiệu chỉnh dựa trên dữ liệu hiệu chuẩn. Hệ số hiệu chỉnh này được sử dụng để điều chỉnh lại PTĐ tốc độ gió và giảm thiểu sai số trong quá trình đo đạc. Khi cần so sánh dữ liệu giữa các PTĐ tốc độ gió khác nhau hoặc từ các thời điểm khác nhau,

sử dụng các PTĐ tốc độ gió đã hiệu chuẩn giúp đảm bảo tính nhất quán và tương thích của dữ liệu.

Để đảm bảo độ không đảm bảo hiệu chuẩn có giá trị thấp, các phòng thí nghiệm được công nhận ISO/IEC 17025 có nghĩa vụ xác nhận các quy trình đo được áp dụng và giảm thiểu ảnh hưởng tiêu cực của hiện tượng dòng chảy xảy ra trong luồng không khí [2]. Hiện nay, việc kiểm định, hiệu chuẩn PTĐ tốc độ gió được thực hiện theo các văn bản như: IEC 61400-12-1-Power performance measurements of electricity producing wind turbines - Đo hiệu suất điện của tuabin gió sản xuất điện [3], ĐLVN 345:2018 - Phương tiện đo vận tốc gió - Quy trình kiểm định [4]; VMI CP 11:2013 “Thiết bị đo tốc độ gió - Quy trình hiệu chuẩn” [5]... Để thực hiện các kỹ thuật đã được văn bản hóa trong các quy định hiện hành, đòi hỏi đơn vị thực hiện kiểm định, hiệu chuẩn phải có hệ thống chuẩn đáp ứng yêu cầu của các tiêu chuẩn và quy định; đội ngũ kỹ thuật viên phải có kiến thức chuyên môn sâu, được đào tạo về PTĐ tốc độ gió, quy trình kiểm định, hiệu chuẩn và các tiêu chuẩn liên quan. Tuy nhiên, các đơn vị thực hiện kiểm định/hiệu chuẩn hiện nay chủ yếu xây dựng quy trình cho các thiết bị đo gió dải thấp và sử dụng hầm tạo gió chuẩn được thiết lập để tạo ra các mức vận tốc cố định, giảm tính linh hoạt của quy trình. Không thể kiểm tra các thiết bị đo gió ở nhiều điểm vận tốc khác nhau hoặc trong các tình huống thực tế.

Viện ETV đã xây dựng quy trình hiệu chuẩn cho các PTĐ tốc độ gió dải thấp có phạm vi hiệu chuẩn trong khoảng từ 0 ÷ 15 m/s và đã được Văn phòng công nhận chất lượng (BoA) công nhận theo Tiêu chuẩn ISO/IEC 17025 mã số VILAS 1298. Hiện tại, Viện ETV cũng đang tiến hành xây dựng quy trình hiệu chuẩn và thực hiện thử nghiệm đối với các PTĐ tốc độ gió dải cao.

Quy trình hiệu chuẩn này sử dụng hầm tạo gió chuẩn WT4401-D của OMEGA và quá trình hiệu chuẩn dựa trên nguyên tắc so sánh trực tiếp kết quả đo của PTĐ tốc độ gió cần hiệu chuẩn với giá trị vận tốc gió chuẩn được thiết lập trong hầm tạo gió. Vận tốc gió chuẩn được tạo ra linh hoạt bằng cách theo dõi chênh lệch áp suất giữa các vòi (ống nối) thông qua ống silicone kết nối với bộ điều khiển điện tử để bàn. Dựa vào kết quả đo và các nguồn gây ra sai số, sẽ tính toán và công bố độ không đảm bảo đo của PTĐ.

2. Vật liệu và phương pháp thực hiện

2.1. Đối tượng hiệu chuẩn

PTĐ tốc độ gió TSI 9535-A sử dụng một dây nhiệt rất nhỏ (chỉ vài micromet), có điện trở thay đổi theo nhiệt. Do điện trở điện của hầu hết các kim loại phụ thuộc vào nhiệt độ của kim loại (vonfram là một lựa chọn phổ biến cho dây nóng), nên thiết lập được mối liên hệ giữa điện trở của dây và tốc độ dòng chảy của không khí [6].

PTĐ tốc độ gió bằng phương pháp nhiệt có khả năng đáp ứng tần số rất cao và độ phân giải cao so với các thiết bị đo khác. Được sử dụng phổ biến cho việc nghiên cứu chi tiết về dòng chảy không ổn định, dòng chảy biến đổi nhanh và đầu cảm biến của TSI 9535-A nhỏ gọn. Thiết bị này có dải đo từ 0 ÷ 30 m/s, với độ chính xác ± 3 % giá trị đọc (± 0,015 m/s), độ phân giải là 0,01 m/s [7]. Ngoài ra, TSI 9535-A đi kèm với phần mềm LogDat2™ Downloading Software để thu thập và xử lý dữ liệu.



▲ Hình 2.1. Phương tiện đo tốc độ gió (TSI 9535-A)

2.2. Chuẩn sử dụng

Hầm tạo gió WT4401-D được thiết kế để mang lại vận tốc dòng chảy đồng đều trên mặt cắt ngang thử nghiệm. Buồng thử nghiệm có kích thước 101,6 x 101,6 x 152 mm và làm bằng nhựa trong, có thành dày để dễ quan sát [8]. Ở phía sau phần thử nghiệm này, động cơ

hút không khí qua hầm gió. Cấu hình động cơ và cửa hút sử dụng cấu trúc sợi thủy tinh, giúp giảm thiểu sự biến dạng của luồng không khí.

WT4401-D được sử dụng để hiệu chuẩn PTĐ tốc độ gió dải cao trong phạm vi từ 0 ÷ 45 m/s và cho phép tạo ra dòng khí có vận tốc ổn định trên mặt cắt ngang thử nghiệm. Vận tốc dòng chảy đồng đều được xác định bằng cách theo dõi chênh lệch áp suất giữa các vòi (ống nối) thông qua ống silicone kết nối với bộ điều khiển điện tử để bàn.

Công thức xác định chênh áp ΔP tương ứng với tốc độ dòng chảy mong muốn:

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^2$$

Ngoài ra, trong hầm gió có cảm biến (nhiệt độ; độ ẩm và áp suất khí quyển riêng), nhằm theo dõi, kiểm soát điều kiện môi trường khí quyển ảnh hưởng đến vận tốc dòng chảy.

2.3. Phương pháp thực nghiệm

Việc hiệu chuẩn PTĐ tốc độ gió được thực hiện bằng cách so sánh trực tiếp giá trị đọc tốc độ gió của PTĐ cần hiệu chuẩn với giá trị tốc độ gió chuẩn được thiết lập từ hầm tạo gió chuẩn [9].

$$\Delta V_E = \bar{V}_{DUT} - \bar{V}_R \quad (2.1)$$

Trước khi tiến hành hiệu chuẩn cần đặt hầm tạo gió chuẩn trong phòng đủ lớn, có ít nhất 1,5 m không gian trống ở phía trước và phía sau hầm tạo gió chuẩn. Không có chướng ngại vật, di chuyển đồ vật, mở cửa ra vào hoặc cửa sổ. Tránh định hướng cửa vào và cửa xả của hầm tạo gió chuẩn về phía cửa sổ mở, lối đi hoặc hành lang nơi mọi người đang đi bộ. Sự thay đổi dòng khí qua cửa vào có ảnh hưởng nghiêm trọng đến sự thay đổi tốc độ dòng chảy trong hầm tạo gió chuẩn. Hướng cửa xả về phía khu vực mở lớn nhất của căn phòng để giảm thiểu luồng khí trong phòng thí nghiệm. Điều chỉnh phù hợp tốc độ dòng khí của hầm tạo gió chuẩn phụ thuộc vào nhiệt độ không khí và áp suất khí quyển.

Quy trình hiệu chuẩn PTĐ tốc độ gió bao gồm các bước sau đây: Đầu tiên, PTĐ được gắn vào hầm tạo gió chuẩn, trong quá trình gắn, cảm biến đo vận tốc gió được căn chỉnh sao cho nằm trong khoảng từ 3 cm - 7 cm tính từ thành ống và ở vị trí gần trung tâm của hầm gió. Hệ thống hoạt động trong điều kiện ổn định. Sau đó, kiểm tra tốc độ gió tại 6 điểm vận tốc (1; 2,5; 5; 10; 20; 30 m/s). Trong quá trình này, giá trị đọc của PTĐ và giá trị vận tốc chuẩn từ hầm tạo gió được theo dõi, ghi chép trong vòng 1 phút, với ít nhất 3 giá trị đo được ghi lại.

Số hiệu chính của PTĐ tốc độ gió tại mỗi điểm kiểm tra được tính theo công thức:

$$\Delta V_C = \bar{V}_R - \bar{V}_{DUT} = V_{R2} \times K - \bar{V}_{DUT} \quad (2.2)$$



▲ Hình 2.2. Bố trí thí nghiệm

Mặt khác:

- Đối với vận tốc gió V_{R2} được tạo ra trong hầm tạo gió chuẩn được tính theo độ chênh áp suất, vận tốc gió trong Giấy chứng nhận hiệu chuẩn của hầm tạo gió chuẩn và độ chênh áp suất thực tế đo được theo công thức:

$$V_{R2} = V_{R1} \times \sqrt{\frac{\Delta P_{R2}}{\Delta P_{R1}}} \quad (2.3)$$

- Hệ số K phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất môi trường được tính theo công thức:

$$K = \frac{P_0}{P} \times \frac{(273,15 + T)}{294,25} \quad (2.4)$$

Thay công thức (2.3), (2.4) vào công thức (2.2) ta có:

$$\Delta V_C = V_{R1} \times \sqrt{\frac{\Delta P_{R2}}{\Delta P_{R1}}} \times K - \bar{V}_{DUT} = V_{R1} \times \sqrt{\frac{\Delta P_{R2}}{\Delta P_{R1}}} \times \frac{P_0}{P} \times \frac{(273,15+T)}{294,25} - \bar{V}_{DUT} \quad (2.5)$$

Trong đó: V_{R1} ; ΔP_{R1} ; P_0 là các giá trị cố định lấy theo Giấy chứng nhận và giá trị chuẩn quy ước.

2.4. Đánh giá độ không đảm bảo đo

Trong hầu hết các trường hợp, đại lượng đo y không được phép đo trực tiếp mà được xác định từ N đại lượng khác x_1, x_2, \dots, x_n thông qua mối quan hệ hàm f:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.6)$$

Đầu tiên, độ không đảm bảo đo tiêu chuẩn của các giá trị đầu vào được tính toán dựa trên phương sai của phân bố. Sau đó, độ không đảm bảo đo chuẩn của kết quả, thu được bằng cách sử dụng độ không đảm bảo đo thành phần và hệ số tương quan. Cuối cùng, độ không đảm bảo đo chuẩn tổng hợp của kết quả được tính như sau:

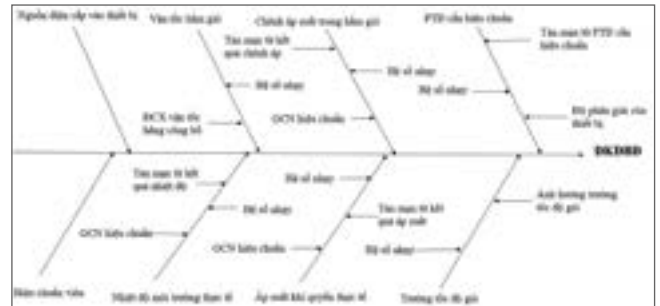
$$u_c(y) = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 u^2(x_1) + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 u^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_N}\right)^2 u^2(x_N)} \quad (2.7)$$

Trong đó: $u^2(x_1); u^2(x_2); \dots; u^2(x_N)$ là các hệ số đóng góp vào độ không đảm bảo đo;

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2; \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2; \left(\frac{\partial y}{\partial x_N}\right)^2 \text{ là độ nhạy.}$$

Độ không đảm bảo đo của toàn bộ quá trình đánh giá vận tốc gió được tính toán dựa trên sự phân tích các nguồn gây nên sai số như:

- Hầm chuẩn tạo gió chuẩn (nhiệt độ, áp suất chênh áp, vận tốc);
- Thiết bị đo nhiệt độ và áp suất khí quyển;
- PTĐ cần hiệu chuẩn;
- Nhân viên đo/ hiệu chuẩn;
- Nguồn điện cấp vào thiết bị;
- Một số ảnh hưởng ngẫu nhiên khác.



▲ Hình 2.3. Sơ đồ nguồn độ không đảm bảo đo thành phần

Từ mô hình tổng quát (2.2) và (2.5) tính số hiệu chỉnh số chỉ vận tốc của PTĐ cần hiệu chuẩn ta có ĐKĐB tổng hợp được tính theo công thức:

$$u_c = \sqrt{c_R^2 \times u_R^2 + c_{DUT}^2 \times u_{DUT}^2} = \sqrt{u_R^2 + u_{DUT}^2} \quad (2.8)$$

ĐKĐB tổng hợp tính từ vận tốc gió chuẩn thực tế như sau:

$$u_R^2 = c_{V_{R1}}^2 u_{V_{R1}}^2 + c_{\Delta P_{R2}}^2 u_{\Delta P_{R2}}^2 + c_T^2 u_T^2 + c_P^2 u_P^2 + c_{SF}^2 u_{SF}^2$$

$$= c_{V_{R1}}^2 u_{V_{R1}}^2 + c_{\Delta P_{R2}}^2 (u_{\Delta P_{R2,1}}^2 + u_{\Delta P_{R2,2}}^2) + c_T^2 (u_{T1}^2 + u_{T2}^2) + c_P^2 (u_{P1}^2 + u_{P2}^2) + c_{SF}^2 u_{SF}^2 \quad (2.9)$$

Như vậy ĐKĐB tổng hợp được xác định bằng công thức:

$$u_c = \sqrt{u_R^2 + u_{DUT}^2} = \sqrt{c_{V_{R1}}^2 u_{V_{R1}}^2 + c_{\Delta P_{R2}}^2 (u_{\Delta P_{R2,1}}^2 + u_{\Delta P_{R2,2}}^2) + c_T^2 (u_{T1}^2 + u_{T2}^2) + c_P^2 (u_{P1}^2 + u_{P2}^2) + c_{SF}^2 u_{SF}^2 + c_{DUT}^2 (u_{DUT1}^2 + u_{DUT2}^2)} \quad (2.10)$$

Độ không đảm bảo kết hợp (u_c) đã thể hiện ĐKĐB của kết quả đo. Tuy nhiên chưa đảm bảo để xác định một khoảng xung quanh kết quả phép đo mà khoảng này có thể chứa một phần lớn phân bố của các giá trị có thể quy cho đại lượng một cách hợp lý. Khoảng đó được gọi là độ không đảm bảo mở rộng (U):

$$U = k \cdot u_c \quad (2.11)$$

Với k là hệ số bao phủ, hệ số bằng số được sử dụng như là bội của ĐKĐB tổng hợp để đưa ra ĐKĐB mở rộng, thường được chọn k = 2 với mức tin cậy xấp xỉ 95% [10].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thực nghiệm hiệu chuẩn PTĐ

TSI 9535-A được đặt trong phòng có điều kiện nhiệt độ trong khoảng từ 24 ÷ 26°C và độ ẩm tương đối từ

Bảng 3.1. Kết quả thực nghiệm TSI 9535-A

TT	Giá trị trung bình của chuẩn <i>m/s</i>	Giá trị trung bình của đối tượng <i>m/s</i>	Hệ số K	Chênh áp trong hầm tạo gió <i>mmHg</i>	Áp suất khí quyển <i>mmHg</i>	Nhiệt độ <i>°C</i>	Tấm chắn
1	1,012	0,998	1,0129	1,741	761,00	25,32	Nozzle 2
2	2,531	2,406	1,0129	1,209	761,00	25,28	Nozzle 1
3	5,064	4,986	1,0129	4,946	761,00	25,32	Nozzle 1
4	10,124	9,998	1,0133	0,461	761,00	25,38	No Nozzle
5	20,246	20,034	1,0129	1,894	761,00	25,32	No Nozzle
6	30,392	30,224	1,0136	4,267	761,00	25,48	No Nozzle

53 ÷ 59%RH trong suốt quá trình đo. Đầu cảm biến của thiết bị được đặt tại vị trí trung tâm của hầm gió WT4401-D để đảm bảo rằng nó sẽ bị tác động bởi dòng gió chính chảy qua hầm. Điều này giúp đảm bảo vận tốc dòng khí ổn định hơn và hạn chế bị ảnh hưởng bởi biến đổi từ các vùng xung quanh. Hầm tạo gió này có khả năng tạo ra dòng khí chuyển động với vận tốc từ 0 ÷ 45 m/s và sai lệch về vận tốc dòng khí trên toàn bộ mặt cắt ngang của ống khí động dao động từ 1 ÷ 2% tùy thuộc vào vận tốc cài đặt. Vận tốc của dòng khí trong hầm gió được điều chỉnh thông qua độ chênh áp tương ứng. Việc quy đổi giữa độ chênh áp và vận tốc của WT4401-D được ghi trong giấy chứng nhận dựa trên điều kiện phòng thí nghiệm tiêu chuẩn với nhiệt độ 21,1°C và áp suất 760 mmHg (chi tiết tại Phụ lục 2). Tuy nhiên, thực tế thường không vận hành theo điều kiện tiêu chuẩn. Vì vậy, để đo độ chênh áp trong các tình huống thí nghiệm thực tế, cần sử dụng hệ số hiệu chỉnh K (công thức 2.4).

TSI 9535-A được kiểm tra vận tốc tại các điểm 1; 2,5; 5; 10; 20; 30 m/s. Kết quả hiệu chuẩn được trình bày trong Bảng 3.1.

Các giá trị đo vận tốc của chuẩn và thiết bị TSI 9535-A có sự chênh lệch nhất định. Điều này có thể gây ra do nhiều yếu tố, chẳng hạn như hệ số ánh xạ (hệ số K), chênh áp trong hầm và các yếu tố khí học như áp suất khí quyển nhiệt độ, độ ẩm không khí...

Độ không đảm bảo đo thường được xác định qua nhiều lớp tính toán và nhiều yếu tố, do tốc độ gió là một thông số phức tạp và phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau. Việc tìm hiểu và xác định các yếu tố này cùng với sự tương quan của chúng giúp định rõ nguồn gốc của sự chênh lệch trong kết quả đo giữa chuẩn và PTĐ TSI 9535-A.

Khi tính toán độ không đảm bảo đo tổng thể, các yếu tố riêng lẻ cùng với tương quan giữa chúng được xem xét để xác định độ không đảm bảo đo mở rộng. Kết quả tính toán độ không đảm bảo đo mở rộng đối với toàn bộ quá trình hiệu chuẩn tốc độ gió TSI 9535-A được thể hiện trong Bảng 3.2.

Từ Bảng 3.2 có thể thấy rằng, tổ hợp chuẩn đang được sử dụng có tác động đáng kể đến độ không đảm bảo đo của thiết bị. Đặc biệt, khi xem xét các độ không đảm bảo đo thành phần tại mỗi điểm hiệu chuẩn, có thể thấy rằng độ chính xác của hầm tạo gió ảnh hưởng chính (đóng góp hơn 50%) đến độ không đảm bảo đo tổng.

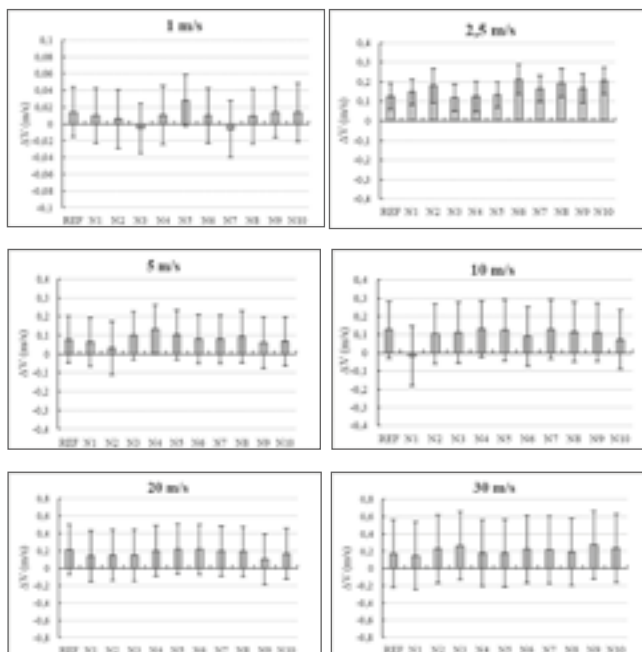
Độ không đảm bảo mở rộng của thiết bị tại các điểm đặt vận tốc 1; 2,5; 5; 10; 20; 30 m/s được tính dựa trên công thức (2.10) và công bố lần lượt là 0,030; 0,067; 0,126; 0,155; 0,288; 0,390 m/s, tương ứng 3,02; 2,67; 2,51; 1,55; 1,44 và 1,30%. Độ không đảm bảo mở rộng của thiết bị TSI 9535-A tại các điểm đặt vận tốc khác nhau là khá thấp, cho thấy có khả năng đo lường với độ tin cậy và độ chính xác cao ở các vận tốc lớn.

Bảng 3.2. Độ không đảm bảo đo thành phần

U thành phần	Các mức vận tốc hiệu chuẩn (m/s)					
	1	2,5	5	10	20	30
V_R	0,00013	0,00083	0,003333	0,003333	0,013333	0,03000
$U_{\Delta P_{R2}}$	$1,61 \cdot 10^{-6}$	$1,19 \cdot 10^{-5}$	$4,01 \cdot 10^{-5}$	0,00018	0,00066	0,00146
u_T	$1,57 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-7}$	$3,92 \cdot 10^{-6}$	$1,57 \cdot 10^{-5}$	$6,27 \cdot 10^{-5}$	0,00014
u_p	$1,43 \cdot 10^{-9}$	$1,287 \cdot 10^{-8}$	$1,26 \cdot 10^{-8}$	$5,40 \cdot 10^{-7}$	$5,26 \cdot 10^{-7}$	$5,26 \cdot 10^{-7}$
u_{SF}	$4,54 \cdot 10^{-5}$	0,00011	0,00053	0,00241	0,00653	0,00638
u_{DUT}	$4,73 \cdot 10^{-5}$	0,00025	0,0007	0,00049	0,00058	0,00053
U tổng hợp (u_c)	0,015	0,033	0,063	0,077	0,144	0,195
U mở rộng (U)	0,030	0,067	0,126	0,155	0,288	0,390

Bảng 3.3. Số hiệu chính tại các điểm hiệu chuẩn của từng hiệu chuẩn viên

Người thực hiện	Số hiệu chính tại các điểm (m/s)					
	1	2,5	5	10	20	30
REF	0,014	0,125	0,078	0,126	0,212	0,168
N1	0,010	0,150	0,064	-0,018	0,139	0,147
N2	0,006	0,180	0,032	0,104	0,148	0,227
N3	-0,005	0,119	0,099	0,111	0,147	0,263
N4	0,010	0,125	0,133	0,132	0,197	0,176
N5	0,028	0,134	0,102	0,124	0,218	0,179
N6	0,010	0,212	0,080	0,090	0,215	0,221
N7	-0,006	0,164	0,079	0,129	0,195	0,217
N8	0,009	0,195	0,092	0,113	0,188	0,191
N9	0,014	0,167	0,060	0,112	0,102	0,272
N10	0,014	0,206	0,068	0,073	0,165	0,235



▲ Hình 3.1. Kết quả hiệu chuẩn và độ không đảm bảo đo của từng hiệu chuẩn viên

Như vậy, để có dữ liệu về tốc độ gió một cách chính xác và tin cậy, việc hiệu chuẩn định kỳ là rất cần thiết, giúp đảm bảo tốc độ gió hoạt động đúng cách và cung cấp kết quả đo chính xác, giảm thiểu sai số trong quá trình đo đạc và tăng tính đáng tin cậy của dữ liệu thu thập. Sự lựa chọn tổ hợp chuẩn thích hợp và việc cải thiện độ chính xác của hầm gió, đặc biệt là đối với việc đảm bảo tốc độ dòng khí ổn định và đồng nhất, có thể giúp giảm thiểu độ không đảm bảo đo của thiết bị TSI 9535-A và đảm bảo tính chính xác của kết quả đo. Ngoài ra, kiểm soát nhiệt độ, độ ẩm, áp suất khí quyển cùng các yếu tố khác trong môi trường xung quanh, hầm gió cũng đóng một vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu độ không đảm bảo đo của thiết bị.

Bảng 3.4. Độ không đảm bảo đo mà các hiệu chuẩn viên công bố

Người thực hiện	ĐKĐB mở rộng tại các điểm (m/s)					
	1	2,5	5	10	20	30
REF	0,030	0,067	0,126	0,155	0,288	0,390
N1	0,033	0,065	0,130	0,165	0,294	0,395
N2	0,035	0,087	0,143	0,166	0,293	0,393
N3	0,030	0,069	0,128	0,168	0,296	0,393
N4	0,035	0,077	0,130	0,155	0,289	0,385
N5	0,031	0,065	0,132	0,168	0,287	0,390
N6	0,033	0,076	0,131	0,163	0,287	0,390
N7	0,034	0,067	0,129	0,162	0,290	0,392
N8	0,033	0,074	0,138	0,165	0,287	0,390
N9	0,030	0,075	0,136	0,160	0,291	0,392
N10	0,035	0,068	0,130	0,164	0,292	0,397

3.2. Xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp

Để kiểm chứng tính nhất quán và độ tin cậy của phương pháp hiệu chuẩn tốc độ gió ở dải cao, Viện ETV đã tiến hành một loạt thử nghiệm để xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp này bằng cách thực hiện bởi 10 hiệu chuẩn viên khác nhau, tuân theo một tập hợp quy định trong các điều kiện hiệu chuẩn (chuẩn; căn hiệu chuẩn; điều kiện kiểm soát môi trường...) nhằm đảm bảo sự nhất quán và đáng tin cậy trong hiệu chuẩn.

Trước khi tiến hành hiệu chuẩn cần đảm bảo thiết bị chuẩn và các thiết bị liên quan khác đều được liên kết chuẩn không đứt đoạn theo đúng quy định của Tiêu chuẩn ISO 17025. Quá trình thực hiện, hiệu chuẩn viên 1 sẽ thực hiện hiệu chuẩn ban đầu tại phòng thí nghiệm và thời điểm đã được lập kế hoạch, sử dụng phương pháp, thiết bị hiệu chuẩn đã được hiệu chuẩn trước đó để hiệu chuẩn tốc độ gió. Sau tối thiểu 2 giờ, hiệu chuẩn viên 2 sẽ thực hiện hiệu chuẩn tại cùng một vị trí sử dụng cùng một phương pháp, thiết bị hiệu chuẩn và tương tự cho các hiệu chuẩn viên khác.

Các hiệu chuẩn viên tham gia tiến hành hiệu chuẩn tại 6 mức vận tốc 1; 2,5; 5; 10; 20; 30 m/s và báo cáo số hiệu chính, độ không đảm bảo đo tại 6 điểm vận tốc nói trên. Kết quả đo và độ không đảm bảo đo (ĐKĐBĐ) công bố được tổng hợp trong Bảng 3.3 và Bảng 3.4.

Hình 3.1 cho thấy các hiệu chuẩn viên đã tiến hành đo lường một cách khá đồng nhất với mức độ sai số tương tự nhau. Các giá trị ĐKĐBĐ và số hiệu chính của họ thường nằm trong khoảng tương đối gần với giá trị của điểm tham chiếu (REF), kết quả của họ có xu hướng tiệm cận đến giá trị tham chiếu. Tuy nhiên, không thể tránh khỏi sự biến đổi nhỏ trong các giá trị ĐKĐBĐ giữa các hiệu chuẩn viên ở các mức vận tốc khác nhau. Sự biến đổi này có thể được giải thích bởi

nhiều yếu tố khác nhau. Một trong những yếu tố quan trọng là sự biến đổi trong môi trường đo lường. Môi trường đo lường không luôn ổn định và có thể ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả. Sự biến đổi này bao gồm các yếu tố như nhiệt độ, độ ẩm, áp suất không khí, tất cả đều có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của việc đo lường. Ngoài ra, sự chênh lệch trong kỹ năng và kinh nghiệm giữa các hiệu chuẩn viên có thể tạo ra sự không đồng nhất trong các kết quả đo lường. Kết quả hiệu chuẩn này cũng được tìm thấy tương tự ở các nghiên cứu trước đây về độ không đảm bảo đo [11], [12], [13].

Mặc dù có sự biến đổi nhỏ này, kết quả hiệu chuẩn vẫn cho thấy tính đồng nhất và đáng tin cậy trong quá trình hiệu chuẩn, đo lường của các hiệu chuẩn viên. Đây là bước quan trọng để đảm bảo tính nhất quán và đáng tin cậy của quá trình hiệu chuẩn tốc độ gió ở các mức vận tốc khác nhau.

Các kết quả hiệu chuẩn được so sánh để xem xét tính nhất quán của quá trình hiệu chuẩn và qua tỷ số E_n (tỷ số hiệu chuẩn). Tỷ số này càng gần 0 thì hai giá trị hiệu chuẩn càng giống nhau và tính nhất quán càng cao. Ngược lại, nếu tỷ số E_n lớn, thì sự khác biệt giữa hai giá trị hiệu chuẩn càng lớn và tính nhất quán càng thấp [14].

Hệ số E_n cho mỗi hiệu chuẩn viên được xác định theo công thức:

$$E_n = \frac{x_{hcv} - REF}{\sqrt{U_{hcv}^2 + U_{REF}^2}} \quad (3.1)$$

Sau khi đánh giá hiệu chuẩn theo đúng thủ tục được thống nhất, tất cả các giá trị E_n đều có giá trị tuyệt đối nhỏ hơn 1, cho thấy mức độ tương đồng giữa các kết quả đo đạc, hiệu chuẩn tốc độ gió khi thực hiện bởi các hiệu chuẩn viên khác nhau. Từ kết quả này cho thấy Quy trình hiệu chuẩn do Viện ETV xây dựng đảm bảo tính nhất quán và đáng tin cậy để thực hiện hiệu chuẩn phương tiện tốc độ gió.

Bảng 3.5. Bảng tổng hợp các hệ số E_n

Người thực hiện	Hệ số E_n tại các điểm (m/s)					
	1	2,5	5	10	20	30
N1	-0,092	0,262	-0,077	-0,634	-0,179	-0,037
N2	-0,174	0,502	-0,243	-0,095	-0,156	0,107
N3	-0,453	-0,067	0,117	-0,065	-0,156	0,172
N4	-0,078	0,000	0,306	0,027	-0,037	0,015
N5	0,327	0,091	0,132	-0,008	0,014	0,020
N6	-0,088	0,862	0,014	-0,159	0,008	0,096
N7	-0,444	0,412	0,008	0,013	-0,043	0,089
N8	-0,107	0,697	0,077	-0,057	-0,059	0,041
N9	-0,001	0,416	-0,097	-0,063	-0,269	0,188
N10	-0,009	0,848	-0,055	-0,235	-0,114	0,121

3.3. So sánh với các chuẩn sử dụng

Hầm tạo gió mini WTM-1000 tạo dòng khí đồng đều cao ở 4 tốc độ không khí cố định có thể lựa chọn. Tốc độ không khí cố định dao động từ 2,5 m/s - 15 m/s.

TSI 9535-A được hiệu chuẩn tại 3 điểm vận tốc cố định (2,5; 5; 10 m/s) bằng hầm tạo gió chuẩn WTM-1000 theo quy trình ETV.MFC 03 “Phương tiện đo tốc độ gió ở dải thấp - Quy trình hiệu chuẩn”. Kết quả hiệu chuẩn trình bày trong Bảng 3.6.

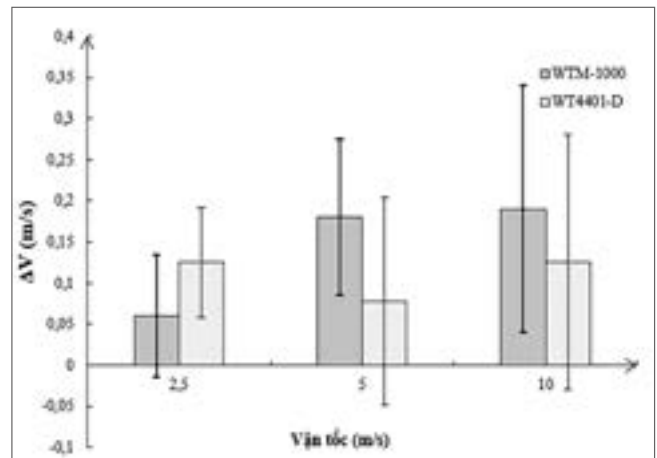
Bảng 3.6. Kết quả hiệu chuẩn TSI 9535-A bằng hầm tạo gió WTM -1000

Giá trị trung bình của đối tượng m/s	Giá trị trung bình của chuẩn m/s	Số hiệu chính m/s	U mở rộng m/s	U mở rộng %
2,77	2,83	0,06	0,075	2,99
4,94	5,12	0,18	0,095	1,90
9,93	10,12	0,19	0,15	1,47

Sự khác biệt giữa kết quả hiệu chuẩn của TSI 9535-A khi sử dụng hai đường hầm tạo gió WTM-1000 và WT4401-D có thể được quan sát dựa trên tỷ số $|E_n|$ (Bảng 3.7)

Bảng 3.7 Tỷ số E_n

TT	Điểm chuẩn (m/s)	Kết quả hiệu chuẩn bằng chuẩn				Kết quả (WTM-1000 - WT4401-D)	Tỷ số $ E_n $
		WTM-1000		WT4401-D			
		Số hiệu chính (m/s)	ĐKĐB (m/s)	Số hiệu chính (m/s)	ĐKĐB (m/s)		
1	2,5	0,06	0,075	0,125	0,067	-0,065	0,646
2	5,0	0,18	0,095	0,078	0,126	0,102	0,646
3	10,0	0,19	0,150	0,126	0,155	0,064	0,297



▲ Hình 3.2. Kết quả hiệu chuẩn và độ không đảm bảo đo của PTĐ so với các chuẩn sử dụng



Kết quả hiệu chuẩn của TSI 9535-A bằng WTM-1000 và WT4401-D, cho thấy sự tương đồng trong giá trị ĐKĐBĐ. Tuy nhiên, sự biến đổi nhỏ vẫn xuất hiện ở các mức vận tốc khác nhau. Ở tốc độ dòng gió 2,5 m/s, WT4401-D cho kết quả tốt hơn so với WTM-1000. Trong khi tại 10 m/s và 15 m/s, WTM-1000 lại cho kết quả tốt hơn. WTM-1000 chỉ tạo ra 4 mức vận tốc cố định, trong khi WT4401-D có thể tạo ra các điểm vận tốc linh hoạt từ 0 đến 45 m/s. Sự linh hoạt này có thể giúp WT4401-D điều chỉnh chính xác vận tốc của dòng chảy để đáp ứng các yêu cầu cụ thể. WTM-1000 có hạn chế trong việc điều chỉnh các điểm vận tốc. Sự biến đổi của điều kiện môi trường như nhiệt độ, độ ẩm và áp suất có thể ảnh hưởng đến hiệu suất của hầm tạo gió chuẩn. WT4401-D có khả năng tạo ra tốc độ dòng chảy ổn định trong môi trường khác nhau bằng chênh áp suất, nhưng điều này cũng có thể dẫn đến sự biến đổi tại các mức vận tốc cao.

Tỷ số $|E_n|$ đã được tính toán và thể hiện trong kết quả hiệu chuẩn của TSI 9535-A khi sử dụng 2 hầm tạo gió khác nhau ở các dải tốc độ khác nhau. Ở các điểm vận tốc thấp như 2,5 m/s và 5,0 m/s, tỷ số $|E_n|$ đạt giá trị 0,646, cho thấy sự khác biệt đáng kể trong kết quả hiệu chuẩn. Tuy nhiên, ở điểm vận tốc 10,0 m/s, sự khác biệt giữa hai kết quả đo đặc giảm đáng kể và tỷ số $|E_n|$ giảm xuống chỉ còn 0,297. Sự giảm nhỏ trong giá trị $|E_n|$ tại 10,0 m/s cho thấy cả hai đường hầm tạo gió đều đưa ra kết quả hiệu chuẩn gần như tương đồng. Đây có thể là kết quả của việc điều chỉnh, cải thiện các hệ thống đo lường và hiệu chuẩn để đảm bảo tính chính xác ở các tốc độ cao hơn. Ngoài ra, tất cả các giá trị $|E_n|$ đều có giá trị tuyệt đối nhỏ hơn 1, cho thấy mức độ tương tự giữa các kết quả đo đặc, hiệu chuẩn tốc độ gió bởi 2 hầm tạo gió.

Sự khác biệt về kết quả hiệu chuẩn có thể có nguyên nhân từ nhiều yếu tố khác nhau, bao gồm hiệu suất của

đường hầm tạo gió, độ chính xác của các thiết bị hiệu chuẩn, quy trình hiệu chuẩn, cả ảnh hưởng của các yếu tố môi trường và điều kiện thử nghiệm.

4. Kết luận

Bài báo trình bày phương pháp hiệu chuẩn PTĐ tốc độ gió dải cao bằng cách sử dụng hầm tạo gió chuẩn (Omega WT4401-D) cùng với các thiết bị đo lường khác như thiết bị đo nhiệt độ, độ ẩm và áp suất môi trường. Phương pháp này dựa trên việc so sánh trực tiếp kết quả đo của PTĐ tốc độ gió cần hiệu chuẩn với giá trị vận tốc gió chuẩn được thiết lập từ hầm tạo gió. Qua kết quả đo lường, đã tính toán và công bố độ không đảm bảo đo tại các điểm vận tốc cụ thể 1; 2,5; 5; 10; 20; 30 m/s lần lượt là 3,02; 2,67; 2,51; 1,55; 1,44; 1,30%. Điều này cho thấy rằng độ không đảm bảo mở rộng của thiết bị TSI 9535-A ở các điểm đặt vận tốc khác nhau là khá thấp, chứng tỏ PTĐ có khả năng đo lường với độ tin cậy và độ chính xác khá cao ở các tốc độ khác nhau.

Áp dụng quy trình tính toán để xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp hiệu chuẩn PTĐ tốc độ gió. Kết quả cho thấy việc các yêu cầu về độ chính xác, độ tin cậy của phương pháp đáp ứng được yêu cầu của phương pháp và thỏa mãn các bộ tiêu chí về chất lượng, có thể xác định rằng phương pháp hiệu chuẩn có giá trị sử dụng sự phù hợp và đảm bảo phương pháp hiệu chuẩn theo quy định ISO 17025 và JCGM 100:2008.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã phê duyệt và hỗ trợ kinh phí để thực hiện Đề tài “Nghiên cứu, xây dựng phương pháp luận chế tạo hệ thống trường vận tốc gió phục vụ kiểm định, hiệu chuẩn phương tiện đo gió” theo Quyết định số 115/QĐ-NCCG■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. L. B. Alberti và J. Thomas, “Velocity anemometers”, 2009.
2. A. Krach và J. Kruczkowski, “Calibration of a system for measuring low air flow velocity in a wind tunnel”, *Metrologia*, vol 53, số p.h 4, tr 1012–1023, 2016, doi: 10.1088/0026-1394/53/4/1012.
3. “IEC 61400-12-1:2017 - Power performance measurements of electricity producing wind turbines”, *Int. Electrotech. Comm.*, tr 13, 2017.
4. Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, “ĐLVN 345:2021 - Phương tiện đo vận tốc gió - Quy trình kiểm định”, 2021.
5. Viện đo lường Việt Nam, “VMI-CP 11 : 2013 - Thiết bị đo tốc độ gió - Quy trình hiệu chuẩn.” 2013.
6. Transworld Systems Inc, “Air Velocity Meter Model 9535/9535-A”. 2016.
7. TSI, “AIR VELOCITY METER MODEL 9535/9535A”, số p.h November, 2020.
8. Omega, “WT4401-S & WT4401-D Benchtop Wind Tunnels”.
9. Viện Kiểm định Công nghệ và Môi trường, “Phương tiện đo vận tốc gió dải cao - Quy trình hiệu chuẩn (Amemometer at high velocity- Calibration Proceudue)”. 2023.
10. ISO Guide, “Guide to the expression of uncertainty in measurement”, *Int. Organ. Stand.* Geneva, tr 1–103, 1993.
11. S. Pezzotti, J. I. D’Iorio, V. Nadal-Mora, và A. Pesarini, “A wind tunnel for anemometer calibration in the range of 0.2-1.25 m/s”, *Flow Meas. Instrum.*, vol 22, số p.h 4, tr 338–342, 2011, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2011.04.006.
12. Z. Yufeng và W. Yan, “To Measure Wind Speed using the theory of One-dimensional Ultrasonic Anemometer”, *Bachelor’s Thesis Electron.*, số p.h 06, tr 11–51, 2011.
13. R. V. Coquilla, J. Obermeier, và B. R. White, “Calibration procedures and uncertainty in wind power anemometers”, *Wind Eng.*, vol 31, số p.h 5, tr 303–316, 2007, doi: 10.1260/030952407783418720.
14. Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, “TCVN 7777-1:2008: Thử nghiệm thành thạo bằng so sánh liên phòng thí nghiệm- Lần 1: Xây dựng và triển khai các chương trình thử nghiệm thành thạo”. 2008.

**Phụ lục 01: BẢNG KHẢO SÁT TRƯỜNG TỐC ĐỘ GIÓ
 TRONG HẦM CHUẨN**
(Thời gian khảo sát năm 2023)

TT	Vận tốc cài đặt (m/s)	Áp suất	Vị trí tính từ mép trong gần nhất			Giá trị đồng đều trong buồng	Giá trị đồng đều tại các vị trí	Nhiệt độ	Độ ẩm	Áp suất
			3 cm	5 cm	7 cm					
1	1	1,744	0,95	0,96	0,97	0,01	0,012	34,9	65,4	29,68
2		1,744	0,95	0,95	0,98	0,015		34,9	65,4	29,68
3		1,744	0,95	0,95	0,97	0,01		34,9	65,4	29,68
4	2	0,793	1,85	1,87	1,88	0,015	0,015	34,9	65,4	29,68
5		0,793	1,85	1,87	1,88	0,015		34,9	65,4	29,68
6		0,793	1,85	1,87	1,88	0,015		34,9	65,4	29,68
7	2,5	1,210	2,41	2,44	2,41	0,015	0,018	34,9	65,4	29,68
8		1,210	2,40	2,44	2,42	0,02		34,9	65,4	29,68
9		1,210	2,41	2,45	2,42	0,02		34,9	65,4	29,68
10	5	4,947	4,51	4,57	4,59	0,04	0,040	34,9	65,4	29,68
11		4,947	4,51	4,58	4,59	0,04		34,9	65,4	29,68
12		4,947	4,52	4,57	4,6	0,04		34,9	65,4	29,68
13	10	0,462	9,35	9,40	9,53	0,09	0,09	34,9	65,4	29,68
14		0,462	9,36	9,41	9,52	0,08		34,9	65,4	29,68
15		0,462	9,36	9,41	9,53	0,085		34,9	65,4	29,68
16	20	1,896	19,58	19,42	19,70	0,14	0,140	34,9	65,4	29,68
17		1,896	19,57	19,40	19,68	0,14		34,9	65,4	29,68
18		1,896	19,58	19,41	19,69	0,14		34,9	65,4	29,68
19	30	4,269	29,40	29,43	29,69	0,145	0,138	34,9	65,4	29,68
20		4,269	29,43	29,44	29,70	0,135		34,9	65,4	29,68
21		4,269	29,42	29,43	29,69	0,135		34,9	65,4	29,68

Phụ lục 02: THÔNG TIN HẦM GIÓ CHUẨN

TT	Tấm chắn	Dải tạo vận tốc gió, m/s	V1 Velocity, m/s	P1 Delta (Ps) mmHg
1	Restrictive Plate B (Nozzle 2)	0,15 - 1,25	0,15	0,037
2			0,20	0,071
3			0,25	0,105
4			0,30	0,152
5			0,40	0,287
6			0,50	0,448
7			0,60	0,623
8			0,75	1,002
9			1,00	1,744
10			1,25	2,781
11	Restrictive Plate A (Nozzle 1)	1,25 - 6,50	1,25	0,313
12			1,30	0,338
13			1,40	0,389
14			1,50	0,458
15			1,75	0,632
16			2,00	0,793
17			2,25	0,977
18			2,50	1,21
19			2,75	1,475
20			3,00	1,741
21	3,50	2,399		
22	4,00	3,143		
23	4,50	3,994		
24	5,00	4,947		
25	5,50	5,938		
26	6,50	8,324		
27	No Restrictive (No Nozzle)	6,50 - 45,00	6,50	0,202
28			7,50	0,269
29			10,00	0,462
30			12,50	0,733
31			15,00	1,061
32			20,00	1,896
33			25,00	2,956
34			30,00	4,269
35			40,00	7,592
36			45,00	9,509