

ĐLVN

VĂN BẢN KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG VIỆT NAM

ĐLVN 391 : 2025

HỆ THỐNG CHUẨN VẬN TỐC GIÓ  
QUY TRÌNH HIỆU CHUẨN

*Standard wind tunnel - Calibration procedure*

HÀ NỘI - 2025

*Drach*



## **ĐLVN 391 : 2025**

### **Lời nói đầu:**

ĐLVN 391 : 2025 do Ban kỹ thuật đo lường TC 08 “Đo các đại lượng chất lỏng” biên soạn. Viện Đo lường Việt Nam đề nghị, Ủy ban Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng quốc gia ban hành.

## Hệ thống chuẩn vận tốc gió - Quy trình hiệu chuẩn

### *Standard wind tunnel - Calibration procedure*

#### 1. Phạm vi áp dụng

Văn bản kỹ thuật này qui định quy trình hiệu chuẩn hệ thống chuẩn vận tốc gió có phạm vi tạo vận tốc gió chuẩn đến 60 m/s dùng để kiểm định phương tiện đo vận tốc gió.

#### 2. Giải thích từ ngữ

Các từ ngữ trong văn bản này được hiểu như sau:

2.1 **LDA (Laser Doppler Anemometer):** Chuẩn đo vận tốc khí bằng Laser Doppler

2.2 **SWT (Standard wind tunnel systems):** Hệ thống chuẩn vận tốc gió dùng để thiết lập, chỉ thị các giá trị vận tốc không khí (gió) chuẩn liên tục trong phạm vi làm việc của nó với độ chính xác, ổn định và đồng đều cao.

2.3 **Vùng thử nghiệm (Test section):** là một phần trong đường hầm gió (ống khí động) được dùng để lắp cảm biến đo của phương tiện cần kiểm tra. Trong buồng thử nghiệm, véc tơ vận tốc lý tưởng được quy định chỉ định rõ phương và chiều.

2.4 **Đồng đều phương vuông góc:** là sự đồng đều vận tốc trên mặt phẳng vuông góc với phương vận tốc trong SWT (*đồng đều ngang*).

2.5 **Đồng đều phương song song:** là sự đồng đều vận tốc theo phương song song với phương vận tốc trong SWT (*đồng đều dọc*).

2.6 **Tỷ số choán chỗ:** là tỉ số giữa tiết diện mặt trước của phương tiện đo vận tốc gió (bao gồm cả hệ thống giá lắp nó nằm trong vùng thử nghiệm) với tổng tiết diện của buồng thử nghiệm.

2.7 **Mặt phẳng đo:** là mặt phẳng nằm trong vùng thử nghiệm của hệ thống chuẩn và vuông góc với véc tơ vận tốc

2.8 **ĐKĐBĐ:** Độ không đảm bảo đo.

#### 3. Các phép hiệu chuẩn

Phải lần lượt tiến hành các phép hiệu chuẩn ghi trong Bảng 1.

*Bảng 1*

TT	Tên phép hiệu chuẩn	Theo điều, mục của quy trình
1	Kiểm tra bên ngoài	7.1
2	Kiểm tra kỹ thuật	7.2

*Handwritten signature*

## ĐLVN 391 : 2025

3	Kiểm tra đo lường	7.3
3.1	Xác định hệ số hiệu chỉnh vận tốc của SWT	7.3.1
3.2	Đánh giá phân bố vận tốc của SWT	7.3.2

### 4. Phương tiện hiệu chuẩn

Quy trình này sử dụng các phương tiện hiệu chuẩn ghi trong Bảng 2

Bảng 2

TT	Tên phương tiện hiệu chuẩn	Đặc trưng kỹ thuật đo lường cơ bản	Áp dụng cho điều mục của quy trình
1	<b>Chuẩn đo lường (Có thể sử dụng một trong các chuẩn sau)</b>		
1.1	Chuẩn, hệ thống chuẩn đo vận tốc gió (kiểu LDA, kiểu đo chênh áp, siêu âm, cảm biến nhiệt...).	- Phạm vi đo: Bao phủ được phạm vi tạo vận tốc của SWT. - ĐKĐBĐ: không lớn hơn 1/3 sai số cho phép của cảm biến đo vận tốc trong hệ thống SWT.	7.3
2	<b>Phương tiện đo khác</b>		
2.1	Nhiệt ẩm kế	- Phạm vi đo: Đáp ứng yêu cầu mục 5 Sai số cho phép: $\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $\leq 5\text{ \%RH}$	5
3	<b>Phương tiện phụ</b>		
3.1	Bàn quay, đồ gá,	Dùng để gá lắp chuẩn	7.3
3.2	Dầu và thiết bị tạo khói	Tạo ra môi trường tán xạ ánh sáng ( <i>particles</i> )	7.3
3.3	Nivo		6

### 5. Điều kiện hiệu chuẩn

Khi tiến hành hiệu chuẩn, phải đảm bảo các điều kiện sau đây:

- Địa điểm hiệu chuẩn phải sạch sẽ, kín gió (với SWT có buồng thử nghiệm hờ), không có các nguồn gây biến đổi lớn về nhiệt độ môi trường, không gây rung động và nhiễu quá trình hiệu chuẩn.

- Điều kiện hiệu chuẩn tại điều kiện môi trường phòng thí nghiệm, nhiệt độ môi trường biến đổi không quá 2 °C trong suốt quá trình hiệu chuẩn.
- Điều kiện môi trường:

Nhiệt độ:  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$

Độ ẩm:  $(40 \div 80) \%RH$

## 6. Chuẩn bị hiệu chuẩn

Trước khi tiến hành hiệu chuẩn phải thực hiện các công việc chuẩn bị sau đây:

- 6.1 Hệ thống chuẩn cùng các phương tiện đo phụ trợ được đặt trong phòng của hệ thống SWT thời gian ít nhất bốn giờ (4 h) để ổn định nhiệt độ trước khi tiến hành hiệu chuẩn.
- 6.2 Sấy các thiết bị đo điện tử theo quy định của nhà sản xuất trước khi thực hiện phép hiệu chuẩn.
- 6.3 Lắp đặt chuẩn vào bên trong buồng thử nghiệm của SWT sao cho cảm biến của chuẩn ở vị trí trung tâm của buồng thử nghiệm.
- 6.4 Kiểm tra độ nghiêng của chuẩn, bàn quay/dịch chuyển bằng nivo.
- 6.5 Với các cảm biến đo kiểu chênh áp, đảm bảo tất cả các đường dẫn áp suất trong hệ thống đo phải kín.

## 7. Tiến hành hiệu chuẩn

### 7.1 Kiểm tra bên ngoài

Phải kiểm tra bên ngoài theo các yêu cầu sau đây:

- 7.1.1 Ký, nhãn hiệu: Hệ thống SWT phải có nhãn mác cung cấp đủ thông tin hãng sản xuất, kiểu sản phẩm, số nhận dạng.
- 7.1.2 Có đầy đủ phụ kiện hoặc các thiết bị phụ trợ kèm theo (nếu có).

### 7.2 Kiểm tra kỹ thuật

Phải kiểm tra kỹ thuật theo các yêu cầu sau đây:

- 7.2.1 Kiểm tra các đầu nối, đường dẫn áp suất tĩnh và toàn phần của cảm biến không bị tắc hoặc rò khí (nếu cảm biến đo kiểu chênh áp).
- 7.2.2 Kiểm tra hệ thống điều khiển của SWT phải sẵn sàng cho quá trình thiết lập vận tốc chuẩn.

### 7.3 Kiểm tra đo lường

Hệ thống chuẩn vận tốc gió phải được kiểm tra đo lường theo trình tự nội dung, phương pháp và yêu cầu sau:

#### 7.3.1 Kiểm tra sai số vận tốc của SWT

## ĐLVN 391 : 2025

- SWT được kiểm tra tại 10 điểm vận tốc trong phạm vi vận tốc đến 60 m/s: (1 - 3 - 5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60) m/s. Quy trình đo được tiến hành theo hai chu trình giảm và tăng tại lần lượt các điểm vận tốc đã xác định.
- Quy trình đo được tiến hành theo các bước:

*Bước 1:* Vận hành hệ thống chuẩn và SWT theo đúng quy trình đã định.

*Bước 2:* Đưa vận tốc của SWT về mức lớn nhất, duy trì để ổn định vận tốc.

*Bước 3:* Khi vận tốc đã ổn định, đọc và ghi lại giá trị vận tốc trên chuẩn và SWT vào biên bản hiệu chuẩn (Phụ lục 1)

*Bước 4:* Thay đổi vận tốc của SWT đến điểm vận tốc hiệu chuẩn kế tiếp.

*Bước 5:* Lặp lại các bước từ 2 đến 4 cho tất cả các điểm vận tốc còn lại.

- Tại mỗi điểm vận tốc  $i$ , hệ số hiệu chỉnh vận tốc  $K$  của SWT được xác định theo công thức (1).

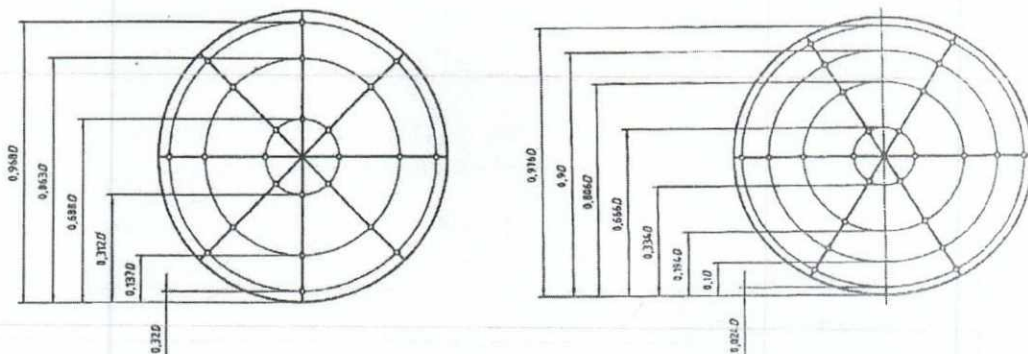
$$K_i = \frac{\bar{v}_{std}(ij)}{\bar{v}_{swt}(ij)} \quad [1]$$

Trong đó:  $\bar{v}_{std}(ij)$ ,  $\bar{v}_{swt}(ij)$  là vận tốc trung bình tương ứng thu được trên chuẩn và SWT ở điểm đo  $i$ , (m/s) trong cả 2 chu trình tăng-giảm vận tốc;  $j$  là số lần đo lặp.

### 7.3.2 Đánh giá phân bố vận tốc của SWT

#### a) Kiểm tra độ đồng đều vận tốc theo phương vuông góc của SWT

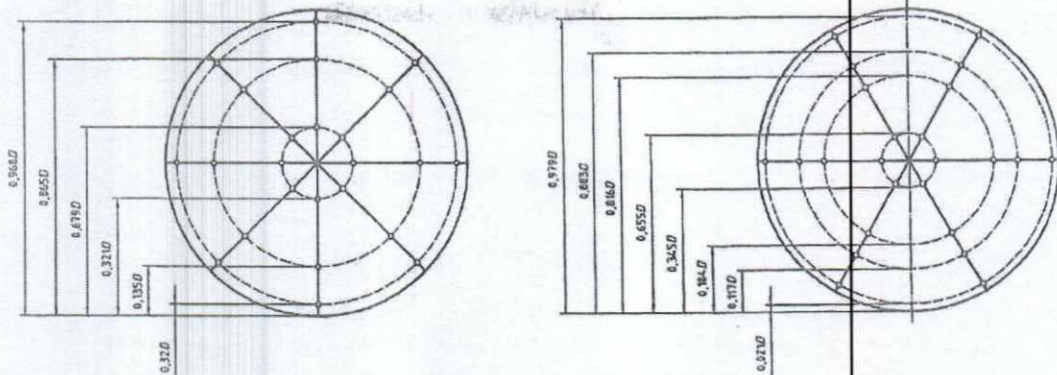
- SWT được khảo sát vận tốc tại các điểm trên cùng một mặt phẳng vuông góc với trường vận tốc.
- Các điểm khảo sát: sẽ được xác định dựa theo phương pháp log-Tchebycheff hoặc log-linear (Hình 1 và Hình 2)



a) 3 điểm/bán kính, 4 đường kính

b) 4 điểm/bán kính, 3 đường kính

Hình 1: Phương pháp log-Tchebycheff



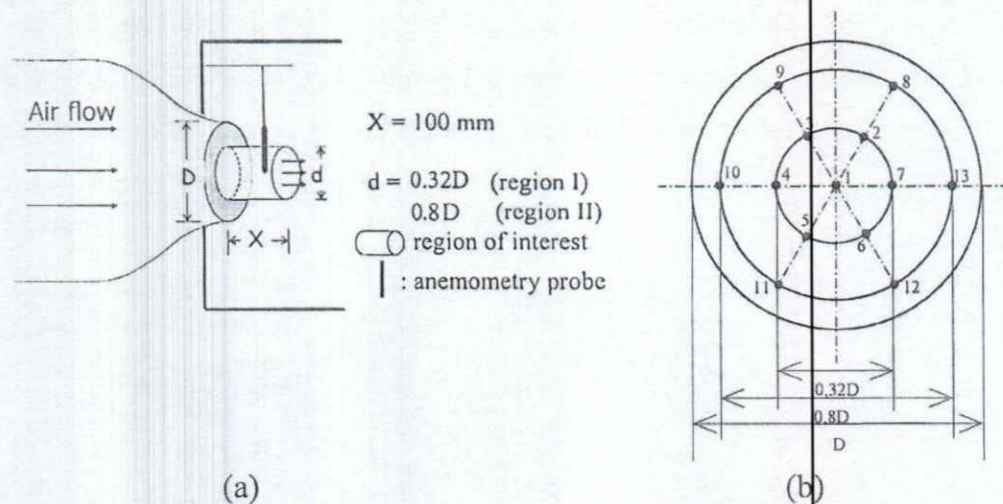
a) 3 điểm/bán kính, 4 đường kính

b) 4 điểm/bán kính, 3 đường kính

**Hình 2: Phương pháp log-linear**

Do tỷ số coán chỗ  $K_b \leq 0,1$  nên trong quy trình này sẽ chọn phương pháp log-Tchebycheff với 3 đường kính cách đều và 2 miền của 2 đường tròn 1 và 3 (tính từ tâm mặt phẳng đo).

- Miền 1: các điểm nằm trên đường tròn có đường kính  $d = 0,32D$
- Miền 2: các điểm nằm trên đường tròn có đường kính  $d = 0,8D$
- Điểm đo được xác định là giao của 3 đường kính tương đối cách đều với đường tròn giới hạn miền khảo sát (Hình 3b).



**Hình 3: Vùng khảo sát và vị trí các điểm đo**

- Bước 1:** Khởi động hệ thống chuẩn và SWT, đưa vận tốc của SWT về điểm vận tốc cần đánh giá.
- Bước 2:** Duy trì vận tốc để đạt giá trị ổn định.
- Bước 3:** Sử dụng chuẩn đo vận tốc tại vị trí điểm (1) như Hình 3b. Đọc và ghi lại số liệu trên chuẩn vào biên bản hiệu chuẩn (Phụ lục 1).

## ĐLVN 391 : 2025

*Bước 4:* Di chuyển chuẩn đến lần lượt các điểm đã xác định trong mặt phẳng đo và lặp lại bước 3 cho đến hết điểm đo thứ 13 trong mặt phẳng đo.

*Bước 5:* Đưa vận tốc của SWT đến mức tiếp theo đã xác định trong mục 7.3.1

*Bước 6:* Lặp lại từ bước 2 đến bước 5 cho tất cả các mức vận tốc.

Độ đồng đều vận tốc theo phương ngang  $\delta_N$  tại mỗi mức vận tốc được xác định theo công thức (2).

$$\delta_N = \Delta v_N = v_{max} - v_{min} \quad (\text{m/s}) \quad [2]$$

Trong đó: +  $v_{max}$  là vận tốc lớn nhất thu được trong các điểm đo, (m/s)

+  $v_{min}$  là vận tốc nhỏ nhất thu được trong các điểm đo, (m/s)

+  $v$  là giá trị vận tốc danh nghĩa tại mức kiểm tra, (m/s)

*b) Kiểm tra độ đồng đều vận tốc theo phương song song của SWT*

- Quy trình đánh giá được thực hiện trên hai mặt phẳng đo A-A và B-B cách nhau một khoảng  $X = 100 \text{ mm}$  (Hình 4).

*Bước 1:* Khởi động hệ thống chuẩn và SWT, đưa vận tốc của SWT về điểm vận tốc cần đánh giá.

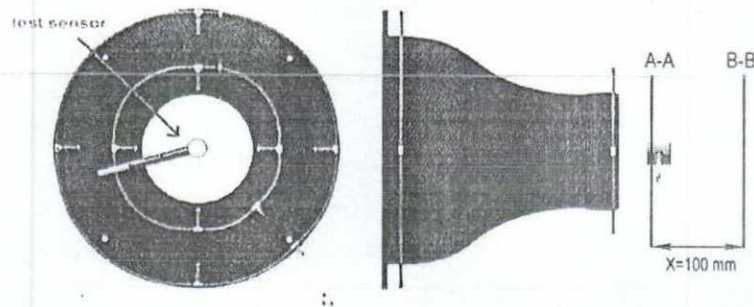
*Bước 2:* Duy trì vận tốc để đạt giá trị ổn định.

*Bước 3:* Sử dụng chuẩn đo vận tốc tại vị trí số (1) trong hình 3b của mặt phẳng đo A-A, đọc và ghi kết quả vào biên bản hiệu chuẩn (Phụ lục 1).

*Bước 4:* Duy trì vận tốc của SWT, di chuyển chuẩn sang đo vận tốc tại vị trí số (2) trong mặt phẳng đo B-B. Đọc và ghi kết quả vào biên bản hiệu chuẩn (Phụ lục 1).

*Bước 5:* Thay đổi vận tốc của SWT sang mức tiếp theo đã xác định trong mục 7.3.1

*Bước 6:* Lặp lại từ bước 2 đến bước 5 cho tất cả các mức vận tốc đã định trong mục 7.3.1.



**Hình 4: Vị trí hai mặt phẳng đo**

Độ đồng đều vận tốc theo phương song song  $\delta_D$  được xác định theo công thức (3)

$$\delta_D = \Delta v_D = v_{DA} - v_{DB} \quad (\text{m/s}) \quad [3]$$

Trong đó: +  $v_{DA}$  là vận tốc đo được trong trên mặt phẳng đo A-A, (m/s)  
 +  $v_{DB}$  là vận tốc đo được trong trên mặt phẳng đo B-B, (m/s)  
 +  $v$  là giá trị vận tốc danh nghĩa tại mức kiểm tra, (m/s)

*c) Kiểm tra độ ổn định vận tốc của SWT*

Quy trình đánh giá được thực hiện phép đo tại 1 điểm trên một phẳng đo và các bước thực hiện như sau:

*Bước 1:* Khởi động hệ thống chuẩn và SWT, đưa vận tốc của SWT về điểm vận tốc cần đánh giá.

*Bước 2:* Duy trì vận tốc để đạt giá trị ổn định.

*Bước 3:* Sử dụng chuẩn đo vận tốc tại 1 điểm trên mặt phẳng A-A

*Bước 4:* Đọc và ghi lại 10 kết quả dài đều trong suốt thời gian 30 phút.

*Bước 5:* Thay đổi vận tốc của SWT sang mức tiếp theo đã xác định trong mục 7.3.1

*Bước 6:* Lặp lại từ bước 2 đến bước 5 cho tất cả các mức vận tốc.

Độ ổn định vận tốc của SWT được xác định theo công thức (5).

$$\delta_{LL} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (v_j - \bar{v})^2}{(n - 1)}} \quad (\text{m/s}) \quad [5]$$

Trong đó: +  $v_j$  là vận tốc của lần đo thứ j, (m/s)  
 +  $\bar{v}$  là vận tốc trung bình của mức vận tốc đo, (m/s).  
 +  $v$  là giá trị vận tốc danh nghĩa tại mức kiểm tra, (m/s)

*d) Kiểm tra độ hồi trễ của vận tốc trong SWT (áp dụng với SWT có cảm biến đo sử dụng nguyên lý đo chênh áp)*

Quy trình đánh giá được thực hiện bằng cách đo vận tốc của các mức đã định trong phần 7.3.1 theo chiều tăng và giảm từ giá trị nhỏ nhất đến giá trị lớn nhất và ngược lại tại một vị trí đo trên mặt phẳng đo.

Độ hồi trễ vận tốc tại mỗi giá trị vận tốc kiểm tra được xác định theo công thức (6)

$$\Delta v_{ht} = |v_t - v_g| \quad (\text{m/s}) \quad [6]$$

Trong đó: +  $v_t$  là vận tốc đo được trong chu trình tăng vận tốc, (m/s)  
 +  $v_g$  là vận tốc đo được trong chu trình giảm vận tốc, (m/s)  
 +  $v$  là giá trị vận tốc danh nghĩa tại mức kiểm tra, (m/s)

e) Kiểm tra ảnh hưởng của vật cản chỗ đến vận tốc của SWT

Quy trình đánh giá ảnh hưởng của vật cản đến vận tốc của SWT được thực hiện với một vật có tiết diện mặt cắt ngang (bao gồm cả hệ thống gá lắp nó nằm trong buồng thử nghiệm) không lớn hơn 10% tiết diện cắt ngang của trường vận tốc. Các bước thực hiện như sau:

Bước 1: Lắp đặt vật cản vào vị trí trung tâm của mặt phẳng A-A (Hình 4)

Bước 2: Khởi động hệ thống chuẩn và SWT, đưa vận tốc của SWT về điểm vận tốc cần đánh giá.

Bước 3: Duy trì vận tốc để đạt giá trị ổn định.

Bước 4: Sử dụng chuẩn đo vận tốc tại vị trí số (2) trong hình 3b của mặt phẳng do B-B, đọc và ghi kết quả vào biên bản hiệu chuẩn (Phụ lục 1).

Bước 5: Duy trì vận tốc của SWT, tháo vật cản ra khỏi SWT. Dợi vận tốc ổn định. Đọc và ghi kết quả của chuẩn vào biên bản hiệu chuẩn (Phụ lục 1).

Bước 6: Thay đổi vận tốc của SWT sang mức tiếp.

Bước 7: Lặp lại từ bước 2 đến bước 6 cho tất cả các mức vận tốc đã định trong 7.3.1.

Sai số vận tốc gây ra do vật cản chỗ  $\delta_{CC}$  được xác định theo công thức (7).

$$\delta_{CC} = \Delta v_{CC} = |v_c - v_k| \quad (\text{m/s}) \quad [7]$$

Trong đó: +  $v_c$  là vận tốc đo được khi có vật cản, (m/s)

+  $v_k$  là vận tốc đo được khi không có vật cản, (m/s)

+  $v$  là giá trị vận tốc danh nghĩa tại mức kiểm tra, (m/s)

## 8. Ước lượng độ không đảm bảo đo (ĐKĐBĐ)

### 8.1 Mô hình toán học

Từ công thức (1), hệ số hiệu chỉnh vận tốc tại mỗi điểm vận tốc  $i$  được xác định:

$$K_i = \frac{\bar{v}_{std}(ij)}{\bar{v}_{swt}(ij)} = \frac{\bar{v}_{std}(ij)}{\bar{v}_{dis}(swt_{ij}) + \delta v} \quad [8]$$

Trong đó:  $\bar{v}_{dis}(swt_{ij})$ : vận tốc chỉ thị của SWT;  $\delta v$ : các yếu tố ảnh hưởng đến sự phân bố của trường vận tốc trong SWT.

Độ không đảm bảo đo của hệ số hiệu chỉnh  $K_i$  trong phép hiệu chuẩn SWT được ước lượng từ hai yếu tố ảnh hưởng đến kết quả giá trị  $K_i$ :

+ Thứ nhất, ĐKĐBĐ của chuẩn

+ Thứ hai, ĐKĐBĐ của hệ thống SWT với các yếu tố ảnh hưởng;

ĐKĐBĐ được tính toán cho từng điểm vận tốc  $i$  và lấy giá trị lớn nhất cho toàn dải đo, cụ thể như sau:

### 8.2 ĐKĐBĐ tổng hợp của $K_i$ : $u_c$

Từ công thức (8), ĐKĐBĐ tổng hợp  $u_c$  của phép xác định hệ số  $\alpha$  được tính theo công thức sau:

$$u_c = \frac{\sqrt{c_A^2 u_A^2 + c_{std}^2 u_{std}^2 + c_{SWT}^2 u_{SWT}^2}}{K} \quad (\%) \quad [9]$$

Trong đó:

- +  $u_A$  : ĐKĐBĐ loại A của  $K_i$  (1)
- +  $u_{std}$  : ĐKĐBĐ của chuẩn sử dụng (m/s)
- +  $u_{SWT}$ : ĐKĐBĐ của SWT (m/s)
- +  $c_A$ ;  $c_{std}$ ;  $c_{SWT}$ ; là hệ số nhạy của các ĐKĐBĐ thành phần  $u_A$ ;  $u_{std}$ ;  $u_{SWT}$ ;

Chi tiết giá trị các đại lượng ĐKĐBĐ thành phần được xác định theo hướng dẫn trong *phụ lục 2*.

### 8.3 Độ không đảm bảo đo mở rộng

ĐKĐBĐ mở rộng ( $U$ ) được xác định theo công thức (6):

$$U = k.u_c \quad (\%) \quad [10]$$

Trong đó:  $k$  là hệ số phủ,  $k = 2$  ứng với độ tin cậy  $p \approx 95\%$ .

### 8.4 Độ không đảm bảo đo mở rộng

ĐKĐBĐ mở rộng ( $U$ ) được xác định theo công thức (12):

$$U = k.u_c \quad (\%) \quad [11]$$

Trong đó:  $k$  là hệ số phủ,  $k = 2$  ứng với độ tin cậy  $p \approx 95\%$ .

## 9. Xử lý chung

9.1 Hệ thống chuẩn vận tốc gió sau khi hiệu chuẩn, nếu  $|\text{sai số}| + U \leq mpe$  (2,5 %FS) sẽ được dán tem, cấp giấy chứng nhận hiệu chuẩn kèm theo kết quả hiệu chuẩn và giá trị ĐKĐBĐ.

9.2 Chu kỳ hiệu chuẩn của hệ thống chuẩn vận tốc gió là 12 tháng.

**TÊN ĐƠN VỊ**

**BIÊN BẢN HIỆU CHUẨN**

.....

Số : .....

Tên phương tiện đo: **Hệ thống chuẩn vận tốc gió**

Kiểu:.....Số:.....

Cơ sở sản xuất:.....Năm sản xuất: .....

Đặc trưng kỹ thuật : Phạm vi đo:.....Cấp chính xác: .....

Cơ sở sử dụng: .....

Phương pháp thực hiện: **ĐLVN 391 : 2025**

Chuẩn, thiết bị chính được sử dụng: .....

Điều kiện môi trường: Nhiệt độ: ..... °C Độ ẩm: ..... %RH

Người thực hiện:.....Ngày thực hiện: / / 20.....

Địa điểm thực hiện:.....

**Kết quả hiệu chuẩn**

1.Kiểm tra bên ngoài:  Đạt  Không đạt

2. Kiểm tra kỹ thuật:  Đạt  Không đạt

3. Kiểm tra đo lường

3.1 Xác định hệ số hiệu chỉnh vận tốc của SWT

Chu trình 1 (chu trình giảm vận tốc)

S T T	Vận tốc danh nghĩa (m/s)	Điều kiện môi trường			Chuẩn (.....)	SWT (.....)
		Nhiệt độ (° C)	Độ ẩm (%)	Áp suất (.....)		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

8						
9						
10						

Chu trình 2 (chu trình tăng vận tốc)

S T T	Vận tốc đanh nghĩa (m/s)	Điều kiện môi trường			Chuẩn (.....)	SWT (.....)
		Nhiệt độ (° C)	Độ ẩm (%)	Áp suất (.....)		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

3.2 Đánh giá phân bố vận tốc của SWT

a. Kiểm tra độ đồng đều vận tốc theo phương dọc

S T T	Vận tốc đanh nghĩa (m/s)	Điều kiện môi trường			Giá trị chuẩn	
		Nhiệt độ (° C)	Độ ẩm (%)	Áp suất (.....)	Mặt A-A (.....)	Mặt B-B (.....)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

## ĐLVN 391 : 2025

b. Kiểm tra độ hồi trễ của vận tốc trong SWT

S T T	Vận tốc đanh nghĩa (m/s)	Điều kiện môi trường			Giá trị chuẩn	
		Nhiệt độ (° C)	Độ ẩm (%)	Áp suất (.....)	Chu trình tăng (.....)	Chu trình giảm (.....)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

c. 3.6 Kiểm tra ảnh hưởng của vật chován chỗ đến vận tốc của SWT

S T T	Vận tốc đanh nghĩa (m/s)	Điều kiện môi trường			Giá trị chuẩn	
		Nhiệt độ (° C)	Độ ẩm (%)	Áp suất (.....)	Có vật cản (.....)	Không vật cản (.....)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

d. Kiểm tra độ đồng đều vận tốc theo phương ngang

S T T	V danh nghĩa (m/s)	Giá trị chuẩn (.....)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	

Người soát lại

Người thực hiện

*Handwritten signature*



## HƯỚNG DẪN ƯỚC LƯỢNG ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO CÁC CHUẨN THÀNH PHẦN

Từ công thức (8), hệ số hiệu chỉnh vận tốc tại mỗi điểm vận tốc  $i$  được xác định:

$$K_i = \frac{\bar{v}_{std}(ij)}{\bar{v}_{swt}(ij)} = \frac{\bar{v}_{std}(ij)}{\bar{v}_{dis}(swt_{ij}) + \delta v} \quad [8]$$

Các hệ số nhạy có giá trị:

$$c_A = 1; \quad c_{std} = \frac{1}{\bar{v}_{dis}(swt_{ij}) + \delta v};$$

$$c_{SWT} = c_{\delta v} = -\frac{v_{std}}{(\bar{v}_{dis}(swt_{ij}) + \delta v)^2}$$

### I. Ước lượng ĐKĐBBĐ chuẩn thành phần: $u_{AK}$

*(Sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu)*

Từ kết quả hiệu chuẩn các điểm hiệu chuẩn trên toàn dải, giá trị của chuẩn và AUT thông thường có mối quan hệ theo đường tuyến tính:  $Y = a + bX$

Trong đó:  $X$  là giá trị tham chiếu (chuẩn),  $Y$  là giá trị đo được trên AUT, tại mỗi điểm đo sẽ là  $(x_i; y_i)$ ; tại điểm hiệu chuẩn:  $\bar{x} = \Sigma x_i / 2$ ;  $\bar{y} = \Sigma y_i / 2$  (2 chu trình đo)

Các hệ số độ róc và hệ số chặn được xác định theo công thức (P2.1) và (P2.2)

$$b = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\Sigma(x_i - \bar{x})^2} \quad [P2.1]$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad [P2.2]$$

Độ lệch chuẩn của  $Y$  là  $\delta_y$ :

$$\delta_y = \sqrt{\frac{\Sigma(Y_i - a - bX_i)^2}{n - 2}} \quad [P2.3]$$

Độ lệch chuẩn của  $a$  là  $\delta_a$ :

$$\delta_a = \delta_y \times \sqrt{\frac{\Sigma X_i^2}{n \Sigma X_i^2 - (\Sigma X_i)^2}} \quad [P2.4]$$

Độ lệch chuẩn của  $b$  là  $\delta_b$ :

$$\delta_b = \delta_y \times \sqrt{\frac{n}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}} \quad [P2.5]$$

hệ số tương quan  $r_{(a,b)}$  được tính:

$$r_{(a,b)} = -\frac{\sum X_i}{\sqrt{n \sum X_i^2}} \quad [P2.6]$$

Độ không đảm bảo kiểu A được xác định:

$$u_A = \sqrt{\delta_a^2 + X_i^2 \delta_b^2 + 2X_i \cdot \delta_a \cdot \delta_b \cdot r_{(a,b)}} \quad (\text{m/s}) \quad [P2.7]$$

$$u_{AK} = \frac{u_A}{v_{std}} \quad (1) \quad [P2.8]$$

$$u_{AK} (\%FS) = \frac{u_A}{v_{max}} \times 100 \quad (\%FS) \quad [P2.9]$$

## II. Ước lượng ĐKĐBĐ các thành phần của chuẩn sử dụng: $u_{std}$

### IA. Chuẩn sử dụng là LDA

$$u_{std} = \sqrt{u_{A(std)}^2 + u_{cer(std)}^2} \quad (\%) \quad [P2.10]$$

$$u_{A(std)} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{i(std)} - \bar{v}_{std})^2}{n(n-1)}}}{v} \cdot 100 \quad (\%) \quad [P2.11]$$

### IB. Chuẩn sử dụng là ống Pitot

Từ công thức xác định vận tốc của ống Pitot:  $v_{PT(std)}$

$$v_{PT(std)} = \alpha(1 - \epsilon) \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (\text{m/s}) \quad [P2.12]$$

$$u_{PT(std)} = \frac{\sqrt{c_a^2 u_a^2 + c_\epsilon^2 u_\epsilon^2 + c_{1\Delta P}^2 u_{\Delta P}^2 + c_\rho^2 u_\rho^2}}{v_{PT(std)}} \times 100 \quad (\%) \quad [P2.13]$$

Trong đó:  $u_a$ ;  $u_\epsilon$ ;  $u_{\Delta P}$ ;  $u_\rho$  là ĐKĐBĐ tương ứng của các thành phần  $\alpha$ ;  $\epsilon$ ,  $\Delta P$ ,  $\rho$

$c_a$ ;  $c_\epsilon$ ;  $c_{1\Delta P}$ ;  $c_\rho$  là hệ số độ nhạy của các thành phần  $u_a$ ;  $u_\epsilon$ ;  $u_{\Delta P}$ ;  $u_\rho$

$$c_\alpha = (1 - \varepsilon) \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}; \quad c_\varepsilon = -\alpha \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}};$$

$$c_{1\Delta p} = -\frac{1}{2} \alpha (1 - \varepsilon) \sqrt{\frac{2}{\Delta p \cdot \rho}}; \quad c_p = -\frac{1}{2} \alpha (1 - \varepsilon) \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho^3}}$$

**b1. ĐKĐBĐ của hệ số hiệu chỉnh Pitot  $u_\alpha$ :** Được lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn

**b2. Ước lượng ĐKĐBĐ của hệ số hiệu chỉnh nén  $u_\varepsilon$**

Từ công thức:

$$(1 - \varepsilon) = \left[ 1 - \frac{1}{2\gamma} \frac{\Delta P}{p} + \frac{\gamma - 1}{6\gamma^2} \left( \frac{\Delta P}{p} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1) \quad [P2.14]$$

ĐKĐBĐ  $u_\varepsilon$  được xác định theo (18)

$$u_\varepsilon = \sqrt{c_{2\Delta p}^2 u_{\Delta p}^2 + c_p^2 u_p^2 + c_\gamma^2 u_\gamma^2} \quad [P2.15]$$

Trong đó:  $u_{\Delta p}$ ;  $u_p$ ;  $u_\gamma$  là ĐKĐBĐ tương ứng của các thành phần  $\Delta P$ ,  $P$ ,  $\gamma$

$c_{2\Delta p}$ ;  $c_p$ ;  $c_\gamma$  là hệ số độ nhạy của các thành phần  $u_{\Delta p}$ ;  $u_p$ ;  $u_\gamma$  và có giá trị:

$$c_{2\Delta p} = \frac{1}{2} \left( -\frac{1}{2p\gamma} + \frac{\gamma-1}{6\gamma^2} \cdot \frac{2\Delta p}{p^2} \right) \left[ 1 - \frac{1}{2\gamma} \frac{\Delta p}{p} + \frac{\gamma-1}{6\gamma^2} \left( \frac{\Delta p}{p} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

$$c_p = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2\gamma} \cdot \frac{\Delta p}{p^2} + \frac{\gamma-1}{3\gamma^3} \cdot \frac{(\Delta p)^2}{p^3} \right) \left[ 1 - \frac{1}{2\gamma} \frac{\Delta p}{p} + \frac{\gamma-1}{6\gamma^2} \left( \frac{\Delta p}{p} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad [P2.16]$$

$$c_\gamma = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2\gamma^2} \cdot \frac{\Delta p}{p} + \frac{\gamma+2}{6\gamma^4} \cdot \left( \frac{\Delta p}{p} \right)^2 \right] \times \left[ 1 - \frac{1}{2\gamma} \frac{\Delta p}{p} + \frac{\gamma-1}{6\gamma^2} \left( \frac{\Delta p}{p} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

b2.1)  $u_{\Delta p}$  được xác định trong phần b3, (Pa)

b2.2)  $u_p$  là ĐKĐBĐ của áp kế đo áp suất tĩnh trong ống khí động được lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn:  $u_p$ ; (Pa)

b2.3)  $u_\gamma$  là ĐKĐBĐ của tỷ số nhiệt dung phân tử không khí. Với khí lý tưởng, nhiệt độ khảo sát trong phạm vi ~300 K,  $\gamma$  được xác định bằng 1,4 ( $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{1,005}{0,718}$ ) với độ chính xác khoảng 1% ( $u_\gamma = 0,014$ ).

**b3. Ước lượng ĐKĐBĐ của giá trị chênh áp  $u_{\Delta P}$**

$$u_{\Delta P} = \sqrt{u_{A(\Delta P)}^2 + u_{\Delta P(cer)}^2} \quad (\text{Pa}) \quad [P2.17]$$

*Handwritten signature*

## ĐLVN 391 : 2025

Trong đó:  $u_{A(\Delta P)}$ : ĐKĐBĐ loại A của giá trị chênh áp (Pa)

$u_{\Delta P(cer)}$ : ĐKĐBĐ của thiết bị đo chênh áp (Pa)

b3.1)  $u_{A(\Delta P)}$

$$u_{A(\Delta P)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_i - \overline{\Delta P})^2}{i(i-1)}} \quad (\text{Pa}) \quad [\text{P2.18}]$$

b3.2)  $u_{\Delta P(cer)}$  được lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn:  $u_{\Delta P(cer)} = \frac{U_{\Delta P}}{2}$  (Pa)

### b4. Ước lượng ĐKĐBĐ của khối lượng riêng không khí $u_\rho$

Từ công thức tính  $\rho$

$$\rho = \frac{k_1 P + RH(k_2 t_a + k_3)}{t_a + 273,15} \quad [\text{P2.19}]$$

ĐKĐBĐ của  $\rho$  được xác định theo (24)

$$u_\rho = \sqrt{u_P^2 \cdot c_P^2 + u_{RH}^2 \cdot c_{RH}^2 + u_{t_a}^2 \cdot c_{t_a}^2} \quad (\text{kg/m}^3) \quad [\text{P2.20}]$$

Trong đó:  $u_P$ ;  $u_{RH}$ ;  $u_{t_a}$  là ĐKĐBĐ của các thiết bị đo điều kiện môi trường được lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn

$$u_P = \frac{U_P}{2} \text{ (Pa);} \quad u_{RH} = \frac{U_{RH}}{2} \text{ (%);} \quad u_{t_a} = \frac{U_{t_a}}{2} \text{ (}^\circ \text{C);}$$

$c_P$ ,  $c_\phi$ ,  $c_{t_a}$ : các hệ số nhạy của  $u_P$ ;  $u_{RH}$ ;  $u_{t_a}$

$$c_P = \frac{k_1}{t_a + 273,15} \quad c_{RH} = \frac{k_2 \cdot t_a + k_3}{t_a + 273,15} \quad c_{t_a} = -\frac{k_1 \cdot P - RH \cdot (k_2 \cdot 273,15 - k_3)}{(t_a + 273,15)^2}$$

## II. Ước lượng ĐKĐBĐ các thành phần của SWT: $u_{swt}$

II.1)  $u_{res(swt)}$ : ĐKĐBĐ do độ phân giải của chỉ thị vận tốc (m/s)

$$u_{res(swt)} = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad (\text{m/s}) \quad [\text{P2.21}]$$

II.2)  $u_N$ : ĐKĐBĐ độ đồng đều vận tốc theo phương ngang (m/s)

$$u_N = \frac{\delta_N}{2 \sqrt{3}} \quad (\text{m/s}) \quad [\text{P2.22}]$$

II.3)  $u_D$ : ĐKĐBĐ độ đồng đều vận tốc theo phương dọc (m/s)

$$u_D = \frac{\delta_D}{2\sqrt{3}}$$

(m/s) [P2.23]

II.4)  $u_{\delta d}$ : ĐKĐBĐ độ ổn định vận tốc

(m/s)

$$u_{\delta d} = \frac{\delta_{\delta d}}{\sqrt{n}}$$

(m/s) [P2.24]

II.5)  $u_{CC}$ : ĐKĐBĐ do vật choán chỗ

(m/s)

$$u_{CC} = \frac{\delta_{CC}}{2\sqrt{3}}$$

(m/s) [P2.25]

II.6)  $u_{HT}$ : ĐKĐBĐ do độ hồi trễ của vận tốc

(m/s)

$$u_{HT} = \frac{\Delta v_{HT}}{2\sqrt{3}}$$

(m/s) [P2.26]



*Handwritten signature*

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. ISO 5801:2007 *Industrial fans – Performance testing using standardized airways*
2. ISO 5802:2001 *Industrial fans – Performance testing using in situ*
3. ISO 3966:2008 - *Measurement of fluid flow in closed conduits*
4. ISO 5168:2005 - *Measurement of fluid flow - Procedures for the evaluation of uncertainties*
5. IEC-61400-12-1:2005 - *Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines*
6. CIPM-2007 *Metrologia* 45 (2008) 149–155, Picard A., Davis R.S., Gläser M. and Fujii K., *Revised formula for the density of moist air.*
7. MEASNET – *Anemometer calibration Procedure, Version 2, October 2009*
8. JCGM 100:2008 GUM 1995