

Obliczenia

I. Dane wstępne i niepewności przyrządów

- Ciśnienie atmosferyczne: $b = 1015 \text{ hPa} = 761.25 \text{ mmHg}$
- Niepewność standardowa termometrów:

$$u(t) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.0577 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Niepewność standardowa barometru (w mmHg):

$$u(b) = \frac{0.75}{\sqrt{3}} = 0.4330 \text{ mmHg}$$

2. Obliczenia krok po kroku dla każdego pomiaru

Pomiar nr I

Dane: $t_m = 17^\circ\text{C}$, $t_s = 22.5^\circ\text{C}$

A. Wyznaczenie prężności pary nasyconej:

- Dla termometru mokrego ($t_m = 17$): Wartość z tabeli dla $t = 17$.

$$p_m = 14.53 \text{ mmHg}$$

Niepewność odczytu: $\Delta p_m = 0.475$.

$$u(p_m) = \frac{0.475}{\sqrt{3}} = 0.2742 \text{ mmHg}$$

- Dla termometru suchego ($t_s = 22.5$): Interpolacja między 22°C (19.83) a 23°C (21.07).

$$p_0 = 20.45 \text{ mmHg}$$

$$u(p_0) = \frac{0.620}{\sqrt{3}} = 0.3580 \text{ mmHg}$$

B. Obliczenie prężności pary nienasyconej p :

Wzór:

$$p = p_m - 0.5 \cdot (t_s - t_m) \cdot \frac{b}{755}$$

Podstawienie:

$$p = 14.53 - 0.5 \cdot (22.5 - 17) \cdot \frac{761.2}{755}$$

$$p = 14.53 - 2.7728 = \mathbf{11.76 \text{ mmHg}}$$

C. Obliczenie niepewności $u(p)$:

$$u(p) = \sqrt{u^2(p_m) + \left(0.5 \frac{b}{755}\right)^2 u^2(t_s) + \left(0.5 \frac{b}{755}\right)^2 u^2(t_m) + \left(0.5 \frac{t_s - t_m}{755}\right)^2 u^2(b)}$$

$$u(p) = \sqrt{0.075208 + 0.000847 + 0.000847 + 0.000002}$$

$$u(p) = \sqrt{0.076905} = 0.2773 \text{ mmHg}$$

D. Obliczenie wilgotności względnej w_1 :

$$w_1 = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% = \frac{11.76}{20.45} \cdot 100\% = \mathbf{57.49\%}$$

E. Niepewność pomiaru $u(w_1)$:

$$u(w_1) = w_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{u(p)}{p}\right)^2 + \left(\frac{u(p_0)}{p_0}\right)^2}$$

$$u(w_1) = 57.49 \cdot \sqrt{\left(\frac{0.2773}{11.76}\right)^2 + \left(\frac{0.3580}{20.45}\right)^2} = 1.69\%$$

Pomiar nr 2

Dane: $t_m = 18.2^\circ\text{C}$, $t_s = 21.8^\circ\text{C}$

A. Wyznaczenie prężności pary nasyconej:

- Dla termometru mokrego ($t_m = 18.2$): Interpolacja między 18°C (15.48) a 19°C (16.48).

$$p_m = 15.68 \text{ mmHg}$$

Niepewność odczytu: $\Delta p_m = 0.500$.

$$u(p_m) = \frac{0.500}{\sqrt{3}} = 0.2887 \text{ mmHg}$$

- Dla termometru suchego ($t_s = 21.8$): Interpolacja między 21°C (18.65) a 22°C (19.83).

$$p_0 = 19.59 \text{ mmHg}$$

$$u(p_0) = \frac{0.590}{\sqrt{3}} = 0.3406 \text{ mmHg}$$

B. Obliczenie prężności pary nienasyconej p :

Wzór:

$$p = p_m - 0.5 \cdot (t_s - t_m) \cdot \frac{b}{755}$$

Podstawienie:

$$p = 15.68 - 0.5 \cdot (21.8 - 18.2) \cdot \frac{761.2}{755}$$
$$p = 15.68 - 1.8149 = \mathbf{13.87 \text{ mmHg}}$$

C. Obliczenie niepewności $u(p)$:

Wzór (złożona niepewność standardowa):

$$u(p) = \sqrt{u^2(p_m) + \left(0.5 \frac{b}{755}\right)^2 u^2(t_s) + \left(0.5 \frac{b}{755}\right)^2 u^2(t_m) + \left(0.5 \frac{t_s - t_m}{755}\right)^2 u^2(b)}$$

Podstawienie wartości kwadratów składników:

$$u(p) = \sqrt{0.083333 + 0.000847 + 0.000847 + 0.000001}$$
$$u(p) = \sqrt{0.085029} = 0.2916 \text{ mmHg}$$

D. Obliczenie wilgotności względnej w_1 :

$$w_1 = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% = \frac{13.87}{19.59} \cdot 100\% = \mathbf{70.76\%}$$

E. Niepewność pomiaru $u(w_1)$:

$$u(w_1) = w_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{u(p)}{p}\right)^2 + \left(\frac{u(p_0)}{p_0}\right)^2}$$
$$u(w_1) = 70.76 \cdot \sqrt{\left(\frac{0.2916}{13.87}\right)^2 + \left(\frac{0.3406}{19.59}\right)^2} = 1.93\%$$

Pomiar nr 3

Dane: $t_m = 17.8^\circ\text{C}$, $t_s = 21.4^\circ\text{C}$

A. Wyznaczenie prężności pary nasyconej:

- Dla termometru mokrego ($t_m = 17.8$): Interpolacja między 17°C (14.53) a 18°C (15.48).

$$p_m = 15.29 \text{ mmHg}$$

Niepewność odczytu: $\Delta p_m = 0.475$.

$$u(p_m) = \frac{0.475}{\sqrt{3}} = 0.2742 \text{ mmHg}$$

- Dla termometru suchego ($t_s = 21.4$): Interpolacja między 21°C (18.65) a 22°C (19.83).

$$p_0 = 19.12 \text{ mmHg}$$

$$u(p_0) = \frac{0.590}{\sqrt{3}} = 0.3406 \text{ mmHg}$$

B. Obliczenie prężności pary nienasyconej p :

Wzór:

$$p = p_m - 0.5 \cdot (t_s - t_m) \cdot \frac{b}{755}$$

Podstawienie:

$$p = 15.29 - 0.5 \cdot (21.4 - 17.8) \cdot \frac{761.2}{755}$$

$$p = 15.29 - 1.8149 = \mathbf{13.48 \text{ mmHg}}$$

C. Obliczenie niepewności $u(p)$:

Wzór (złożona niepewność standardowa):

$$u(p) = \sqrt{u^2(p_m) + \left(0.5 \frac{b}{755}\right)^2 u^2(t_s) + \left(0.5 \frac{b}{755}\right)^2 u^2(t_m) + \left(0.5 \frac{t_s - t_m}{755}\right)^2 u^2(b)}$$

Podstawienie wartości kwadratów składników:

$$u(p) = \sqrt{0.075208 + 0.000847 + 0.000847 + 0.000001}$$

$$u(p) = \sqrt{0.076904} = 0.2773 \text{ mmHg}$$

D. Obliczenie wilgotności względnej w_1 :

$$w_1 = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% = \frac{13.48}{19.12} \cdot 100\% = \mathbf{70.47\%}$$

E. Niepewność pomiaru $u(w_1)$:

$$u(w_1) = w_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{u(p)}{p}\right)^2 + \left(\frac{u(p_0)}{p_0}\right)^2}$$

$$u(w_1) = 70.47 \cdot \sqrt{\left(\frac{0.2773}{13.48}\right)^2 + \left(\frac{0.3406}{19.12}\right)^2} = 1.92\%$$

Pomiar nr 4

Dane: $t_m = 17.8^\circ\text{C}$, $t_s = 21.8^\circ\text{C}$

A. Wyznaczenie prężności pary nasyconej:

- Dla termometru mokrego ($t_m = 17.8$): Interpolacja między 17°C (14.53) a 18°C (15.48).

$$p_m = 15.29 \text{ mmHg}$$

Niepewność odczytu: $\Delta p_m = 0.475$.

$$u(p_m) = \frac{0.475}{\sqrt{3}} = 0.2742 \text{ mmHg}$$

- Dla termometru suchego ($t_s = 21.8$): Interpolacja między 21°C (18.65) a 22°C (19.83).

$$p_0 = 19.59 \text{ mmHg}$$

$$u(p_0) = \frac{0.590}{\sqrt{3}} = 0.3406 \text{ mmHg}$$

B. Obliczenie prężności pary nienasyconej p :

Wzór:

$$p = p_m - 0.5 \cdot (t_s - t_m) \cdot \frac{b}{755}$$

Podstawienie:

$$p = 15.29 - 0.5 \cdot (21.8 - 17.8) \cdot \frac{761.2}{755}$$

$$p = 15.29 - 2.0166 = \mathbf{13.27 \text{ mmHg}}$$

C. Obliczenie niepewności $u(p)$:

Wzór (złożona niepewność standardowa):

$$u(p) = \sqrt{u^2(p_m) + \left(0.5 \frac{b}{755}\right)^2 u^2(t_s) + \left(0.5 \frac{b}{755}\right)^2 u^2(t_m) + \left(0.5 \frac{t_s - t_m}{755}\right)^2 u^2(b)}$$

Podstawienie wartości kwadratów składników:

$$u(p) = \sqrt{0.075208 + 0.000847 + 0.000847 + 0.000001}$$

$$u(p) = \sqrt{0.076904} = 0.2773 \text{ mmHg}$$

D. Obliczenie wilgotności względnej w_1 :

$$w_1 = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% = \frac{13.27}{19.59} \cdot 100\% = \mathbf{67.74\%}$$

E. Niepewność pomiaru $u(w_1)$:

$$u(w_1) = w_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{u(p)}{p}\right)^2 + \left(\frac{u(p_0)}{p_0}\right)^2}$$

$$u(w_1) = 67.74 \cdot \sqrt{\left(\frac{0.2773}{13.27}\right)^2 + \left(\frac{0.3406}{19.59}\right)^2} = 1.84\%$$

Dane: $t_m = 18.2^\circ\text{C}$, $t_s = 21.6^\circ\text{C}$

A. Wyznaczenie prężności pary nasyconej:

- Dla termometru mokrego ($t_m = 18.2$): Interpolacja między 18°C (15.48) a 19°C (16.48).

$$p_m = 15.68 \text{ mmHg}$$

Niepewność odczytu: $\Delta p_m = 0.500$.

$$u(p_m) = \frac{0.500}{\sqrt{3}} = 0.2887 \text{ mmHg}$$

- Dla termometru suchego ($t_s = 21.6$): Interpolacja między 21°C (18.65) a 22°C (19.83).

$$p_0 = 19.36 \text{ mmHg}$$

$$u(p_0) = \frac{0.590}{\sqrt{3}} = 0.3406 \text{ mmHg}$$

B. Obliczenie prężności pary nienasyconej p :

Wzór:

$$p = p_m - 0.5 \cdot (t_s - t_m) \cdot \frac{b}{755}$$

Podstawienie:

$$p = 15.68 - 0.5 \cdot (21.6 - 18.2) \cdot \frac{761.2}{755}$$

$$p = 15.68 - 1.7141 = \mathbf{13.97 \text{ mmHg}}$$

C. Obliczenie niepewności $u(p)$:

Wzór (złożona niepewność standardowa):

$$u(p) = \sqrt{u^2(p_m) + \left(0.5 \frac{b}{755}\right)^2 u^2(t_s) + \left(0.5 \frac{b}{755}\right)^2 u^2(t_m) + \left(0.5 \frac{t_s - t_m}{755}\right)^2 u^2(b)}$$

Podstawienie wartości kwadratów składników:

$$u(p) = \sqrt{0.083333 + 0.000847 + 0.000847 + 0.000001}$$

$$u(p) = \sqrt{0.085029} = 0.2916 \text{ mmHg}$$

D. Obliczenie wilgotności względnej w_1 :

$$w_1 = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% = \frac{13.97}{19.36} \cdot 100\% = \mathbf{72.15\%}$$

E. Niepewność pomiaru $u(w_1)$:

$$u(w_1) = w_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{u(p)}{p}\right)^2 + \left(\frac{u(p_0)}{p_0}\right)^2}$$

$$u(w_1) = 72.15 \cdot \sqrt{\left(\frac{0.2916}{13.97}\right)^2 + \left(\frac{0.3406}{19.36}\right)^2} = 1.97\%$$

3. Opracowanie statystyczne wyników (w_1)

Średnia arytmetyczna:

$$\bar{w}_1 = \frac{\sum w_i}{n} = \frac{338.61}{5} = \mathbf{67.72\%}$$

Niepewność typu A (statystyczna):

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum (w_i - \bar{w})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{141.00}{5 \cdot 4}} = \mathbf{2.66\%}$$

Niepewność typu B (z przyrządów - średnia):

$$u_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u(w_i) = \frac{1.69 + 1.93 + 1.92 + 1.84 + 1.97}{5} = 1.87\%$$

Całkowita niepewność standardowa:

$$u(\bar{w}_1) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{2.66^2 + 1.87^2} = \mathbf{3.25\%}$$

4. Zestawienie końcowe i porównanie metod

Wyniki końcowe:

- Psychrometr Assmanna (w_1):

$$67.72\% \pm 3.25\%$$

- Metoda tabelaryczna (w_2):

$$67.60\%$$

- Higrometr włosowy (w_3):

$$35\% \pm 2.89\%$$

- Higrometr pojemnościowy (w_4):

$$30.5\% \pm 1.44\%$$

Wnioski

- Wyniki dla higrometrów oraz psychrometru i tablic psychrometrycznych drastycznie się od siebie różnią. Higrometr włosowy wskazywał 35%, pojemnościowy 30.5% podczas, gdy

psychrometr Assmana wskazał 67.72%, a tablica psychrometryczna pokazała 67.60%.

- Takie rozbieżności mogą wynikać z niedoskonałości przyrządów. Mówimy wtedy o błędzie systematycznym.
- Należy mieć na uwadze, że ekran higrometru pojemnościowego był uszkodzony i mogło to wpłynąć na poprawny odczyt wilgotności powietrza.
- Higrometr włosowy mógł być rozkalibrowany co wpłynęło negatywnie na wynik.