

5. Elementarne doświadczenia z powietrzem wilgotnym

1. Wprowadzenie

Powietrze jest przykładem roztworu gazowego, w którym jednym ze składników jest para wodna.

Ilość pary wodnej w powietrzu wilgotnym przy ustalonym ciśnieniu i temperaturze jest zmienna, stąd żeby określić stan powietrza wilgotnego należy podać zawartość wilgoci. Do tego celu służą następujące wielkości: *wilgotność bezwzględna* ρ_p , *wilgotność względna* j i *stopień zawilżenia* X . Bezpośredni pomiar wilgotności bezwzględnej lub stopnia zawilżenia nie jest prosty. W technice najbardziej rozpowszechniła się metoda oparta na użyciu dwóch termometrów: suchego i mokrego.

2. Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest obserwacja zjawiska fizycznego polegającego na tym, że każde ciało owinięte zwilżoną w wodzie gazą i umieszczone w powietrzu (ruchomym lub nieruchomym) o $j < 1$ zmienia swoją temperaturę, która po pewnym czasie się ustala. Tę temperaturę nazywamy temperaturą termometru mokrego.

Zjawisko to zostało wykorzystane w technice do konstrukcji przyrządów mierzących wilgotność względną j powietrza (psychrometrów).

3. Opis doświadczenia

3.1 Zbiorniczki z rtęcią dwóch szklanych termometrów owijamy (dwa zwoje) gazą, a następnie każdy z nich zanurzamy w wodzie o temperaturze mniejszej od temperatury otoczenia i większej od temperatury otoczenia. Termometry umieszczamy w nieruchomym powietrzu i notujemy ich wskazania w funkcji czasu. Odczyt prowadzimy co 1 minutę przez około 15 minut.

W czasie doświadczenia mierzymy także temperaturę powietrza trzecim termometrem, którego zbiorniczek z rtęcią nie jest owinięty wilgotną gazą. Termometr ten nazywamy suchym. Przebieg zmian temperatury $t_m = f(t)$ i $t_s = f(t)$ nanosimy na wspólny wykres. Co charakterystycznego można zauważyć na wykresie?

3.2 Czynności opisane w p. 3.1 powtarzamy, umieszczając tym razem termometr suchy i termometry mokre w strudze powietrza wypływającego z wentylatora. Wyniki przedstawiamy na wykresie jak wyżej. Czy wilgotność względna powietrza wypływającego z wentylatora jest taka sama jak powietrza dopływającego do wentylatora?

3.3 Włączamy termowentylator, z następnie umieszczamy termometr suchy w takiej odległości od wylotu z termowentylatora, aby wskazywał on temperaturę $t < 35 - 40^{\circ}C$. W tej samej odległości umieszczamy termometr mokry i czekamy, aż jego wskazania się ustalą.

Eksperymenty pokazują, że ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu jest funkcją temperatury t_s i t_m . Wyznaczenie kształtu tej funkcji będzie przedmiotem ćwiczenia 15. Ponieważ $j = (p_p/p_n)_{p,T}$, więc znając wartości p_p i p_n można obliczyć φ .

Doświadczalnie wyznaczono zależność $p_n = f(t_s, t_m)$. Najczęściej spotykanym wzorem jest wzór Sprunga:

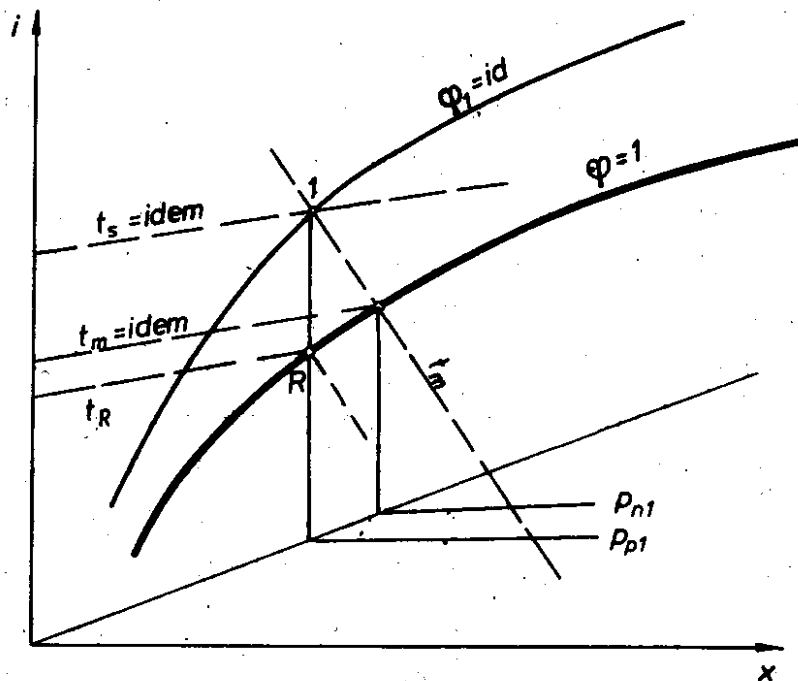
$$p_p [\text{mmHg}] = p_n(t_m) [\text{mmHg}] - 0,5 \cdot p_b [\text{mmHg}] \cdot \frac{(t_s - t_m)}{755}$$

$$750 \text{ mm Hg} = 10^5 \text{ Pa}$$

W powyższym wzorze poszczególne wielkości oznaczają kolejno:

p_p – ciśnienie składnikowe pary wodnej,
 p_n – ciśnienie nasycenia,
 t_m – temperatura termometru mokrego,
 t_s – temperatura termometru suchego,
 p_b – ciśnienie barometryczne.

Wyniki otrzymane w obliczeniach należy przeliczyć wg wzoru. Wartość ciśnienia nasycenia p_n wyznaczamy przy pomocy wykresu $i - X$ powietrza wilgotnego w sposób pokazany na poniższym rysunku:



1 - znaleźć na wykresie izotermę odpowiadającą temperaturze t_m termometru mokrego
 2 - przedłużyć izotermę aż do przecięcia z izotermą o wartości t_s termometru suchego
 3 - punkt przecięcia (1) określa stan powietrza przepływającego przez psychrometr.

Uwaga:

Para termometrów „suchy i mokry” umieszczonych w powietrzu nieruchomym jest modelem psychrometru Augusta.

Para termometrów „suchy i mokry” umieszczonych w powietrzu ruchomym jest modelem Asmanna.

4. Opracowanie wyników

1. Narysować przebieg zmian temperatury termometru mokrego t_m oraz termometru suchego t_s w czasie.
2. W punktach 3.2 i 3.3 podać wartość temperatury termometru mokrego w stanie ustalonym.
3. Wiedząc, że $j = (p_p/p_n)_T$, i korzystając ze wzoru *Sprunga* oraz z wykresu $i - X$, obliczyć wartości j w stanie ustalonym oraz dla trzech wybranych stanów wcześniejszych.
4. Jaki stąd wypływa wniosek?

5. Pytania sprawdzające

1. Podaj definicję wilgotności względnej j bezwzględnej r_p , stopnia zawilżenia X , entalpii i_{I+X} . Jakie są wymiary tych wielkości w układzie [SI]?
2. Czy przy budowie wykresu $i - X$ korzystamy z prawa Daltona? Uzasadnij odpowiedź.
3. Naszkicuj wykres $i - X$ wraz z podstawowymi przemianami powietrza wilgotnego.
4. Opisz zasadę działania psychrometru Asmanna.
5. Na podstawie odczytu temperatury t_s i t_m na psychrometrze określ na wykresie $i - X$ stan powietrza wilgotnego.