

Termodynamika techniczna

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Ekologiczne Źródła Energii II rok

Pomiar wilgotności powietrza
Instrukcja do ćwiczenia

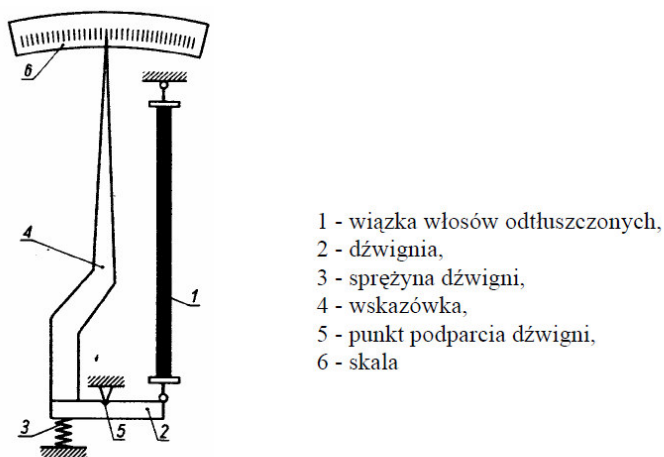
1. INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

1.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przyrządami oraz metodami służącymi do pomiaru wilgotności powietrza. Są to kolejno: higrometry włosowe, psychrometr Assmanna oraz termohigrometr cyfrowy z czujnikiem pojemnościowym.

1.2. Pomiar wilgotności względnej powietrza higrometrami włosowymi

Metody higroskopowe wykorzystują się zmianę pewnych cech fizycznych substancji pod wpływem zmian wilgotności powietrza. Różne są zatem konstrukcje przyrządów pomiarowych. Wśród nich, ze względu na prostotę i niski koszt, najbardziej rozpowszechnione są higrometry włosowe (Rys. 1). Wykorzystują one efekt zmiany długości włosa lub specjalnego włókna pod wpływem zmian wilgotności względnej powietrza.



Rys.1. Budowa higrometru włosowego [1]

Dokładność pomiaru higrometrem włosowym zawiera się typowo w granicach od $\pm 3\%$ do $\pm 5\%$ wilgotności względnej. Wydłużenie włosa w zakresie zmiany wilgotności względnej powietrza od 0 do 100% wynosi przeciętnie od 1,5 do 2,5% jego długości. W zakresie wilgotności wysokich przyrost długości jest nieznaczny, co ogranicza stosowanie higrometrów włosowych do zakresu 0-90%. Proces wysychania włosów powoduje, iż co określony czas (według wskazówek producenta) higrometr należy poddać procesowi regeneracji (odświeżania). Z reguły wygląda to tak, że na pasmo włosów nakłada się wilgotną tkaninę umieszczoną w specjalnej obudowie. W tych warunkach w otoczeniu włosa uzyskuje się wilgotność około 97% i na taką wartość ustawia się położenie wskazówki higrometru.

Wpływ zmiany temperatury na wartość pomiaru jest niewielki i może być pominięty. Natomiast zdolność higroskopowa włosów ludzkich zanika w temperaturze 50°C . Dlatego też dla wyższych temperatur, do około 120°C , stosuje się włókna sztuczne. Zaletą włókien sztucznych jest także około 2-3 krotnie wyższa wartość wydłużenia pod wpływem wilgoci, niż włosa ludzkiego.

1.3. Tok postępowania podczas badania

1. Zanotować wartość temperatury oraz ciśnienia atmosferycznego w pomieszczeniu laboratorium.

Temperatura:°C

Ciśnienie atmosferyczne:hPa

2. Zapoznać się z budową higrometrów znajdujących się na stanowisku pomiarowym.
3. W tabeli pomiarowej (Tab. 1) zanotować wartość wilgotności względnej wskazywanej przez kolejne higrometry.

Tab.1. Tabela pomiarowa.

L.p.	Higrometr	Wilgotność względna [%]
1		
2		
3		
4		
5		
Średnia	-	

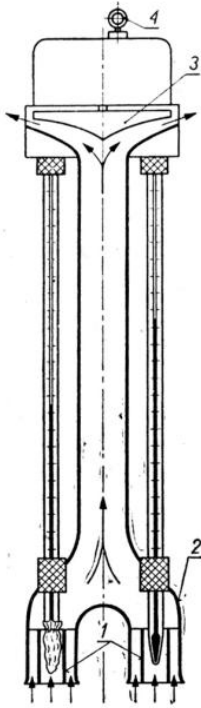
1.4. Analiza wyników badań

1. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów określić średnią wartość wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu laboratoryjnym.
2. W oparciu o wyliczoną średnią wilgotność względną, temperaturę oraz ciśnienie atmosferyczne powietrza w pomieszczeniu a także dane z tablic termodynamicznych, wyznaczyć pozostałe parametry powietrza wilgotnego:
 - wilgotność bezwzględną [g/m^3]
 - zawartość wilgoci [g/kg]
 - stopień nasycenia [-]

2. POMIAR WILGOTNOŚCI POWIETRZA PSYCHROMETREM ASSMANNA

2.1. Stanowisko laboratoryjne

Na stanowisku laboratoryjnym znajduje się psychrometr Assmanna z napędem elektrycznym. Na rysunku 1 przedstawiono w sposób uproszczony budowę takiego psychrometru.



Rys. 2. Uproszczony schemat psychrometru Assmanna.

Składa się on z dwóch termometrów, tzw. termometru suchego (po prawej stronie) i termometru mokrego (po lewej stronie). Oba termometry są zabezpieczone ekranami (1) przed wpływem promieniowania. Termometr suchy wskazuje temperaturę powietrza. Czujnik termometru mokrego jest owinięty higroskopijną koszulką (wykonaną np. z batystu, muślinu) zwilżaną wodą destylowaną. Wskazuje on tzw. temperaturę termometru mokrego. W górnej części korpusu jest zamocowany zespół wentylacyjny (3) wymuszający przepływ powietrza wokół termometrów ze stałą prędkością. Może on posiadać napęd sprężynowy lub elektryczny.

2.2. Zasada pomiaru wilgotności psychrometrem Assmanna

Podstawą pomiaru wilgotności za pomocą psychrometru Assmanna jest fakt, że przy parowaniu wody pobierane jest ciepło parowania. Zakłada się, że w warstwie powietrza graniczącego bezpośrednio z naczyniem termometru mokrego ustali się stan nasycenia powietrza parą wodną. Na skutek różnicy ciśnień cząstkowych pary wodnej w tej warstwie granicznej i w dalszych warstwach powietrza będzie miało miejsce parowanie wody z gazy termometru mokrego. Parowanie to obniży temperaturę powietrza naokoło naczynia termometru mokrego, który z tego powodu wskazuje temperaturę niższą, niż suchy.

Różnicę wskazań termometru suchego i mokrego nazywa się różnicą psychrometryczną. Jest ona tym większa, im powietrze otaczające jest bardziej suche. W powietrzu nasyconym (linia $\phi=1$; 100%) oba termometry wskazują jednakową temperaturę.

Znając temperaturę termometru suchego t_s (która jest równa temperaturze badanego powietrza) oraz temperaturę termometru mokrego t_m , można wyznaczyć z dostateczną dokładnością wilgotność powietrza dla temperatury do 50°C ze wzoru Sprunga:

$$\varphi = \frac{p_p}{p_{ps}} = \frac{p_{pm}'' - A(t_s - t_m)p_b}{p_{ps}} 100\% \quad (1)$$

Gdzie:

p_p - ciśnienie składnikowe pary wodnej w badanym powietrzu, [Pa]

p_{pm}'' - ciśnienie nasycenia pary wodnej w temperaturze termometru mokrego, [Pa]

p_{ps}'' - ciśnienie nasycenia pary wodnej w temperaturze termometru suchego, [Pa]

p_b - ciśnienie barometryczne w chwili pomiaru, [Pa]

t_s - temperatura termometru suchego, [°C] lub [K]

t_m - temperatura termometru mokrego, [°C] lub [K]

A - stała psychrometryczna lub współczynnik psychrometryczny, [1/°C] lub [1/K].

Stała psychrometryczna jest zależna od rodzaju gazu, prędkości przepływu gazu wokół czujnika termometru mokrego, temperatury termometru mokrego oraz od konstrukcji psychrometru. Na podstawie badań ustalono empiryczny wzór dla powietrza dla typowych psychrometrów Assmanna:

$$A = \left(65 + \frac{6,75}{w} \right) \cdot 10^{-5} \quad 1/K \quad (2)$$

gdzie: w jest prędkością przepływu powietrza wokół czujnika termometru mokrego, m/s.

W typowych psychrometrach Assmanna przepływ powietrza jest wymuszony z prędkością 1,5 - 4 m/s. Zakres pomiarowy wilgotności względnej wynosi 5-95% dla temperatur 0-50°C. Przy temperaturach wyższych od 50°C rośnie błąd spowodowany nieadiabaticznym procesem nawilżania.

W niskich temperaturach badanego powietrza woda w koszulce termometru mokrego może zamarznąć, co spowoduje pewną zmianę stałej psychrometrycznej. W związku z powyższym nie należy dokonywać pomiaru psychrometrem, gdy na koszulce termometru znajduje się jednocześnie woda i lód.

Jeżeli są znane odczyty termometrów suchego i mokrego, to wilgotność względną powietrza można wyznaczyć:

1) Ze wzoru (2) określa się stałą psychrometryczną A. Następnie, w chwili pomiaru mierzy się ciśnienie barometryczne. Z tablic opracowanych dla pary nasyconej lub z wykresu i-x określa się wartości ciśnienia nasycenia p_{ps}'' oraz p_{pm}'' pary wodnej. Następnie korzysta się ze wzoru (1).

2) Odczytując z gotowych tablic lub wykresów psychrometrycznych. Przy posługiwaniu się psychrometrem Assmanna można korzystać z tablic psychrometrycznych, które opracowano dla ciśnienia = 1007 hPa, stałej psychrometrycznej: dla wody, dla lodu oraz dla temperatury od -30°C do + 50°C. Tablice umożliwiają wprowadzenie pewnych poprawek w zależności od aktualnego ciśnienia barometrycznego. Dla odczytanej temperatury termometru suchego i różnicy psychrometrycznej odczytuje się wilgotność względną.

2.3. Tok postępowania podczas badania

1. Wyjąć psychrometr z pojemnika trzymając go za uchwyt, zwilżyć wodą zbiornik prawego termometru oznaczony kolorem niebieskim.
2. Podłączyć zasilacz do psychrometru i uruchomić wentylator.
3. Po ustaleniu się równowagi cieplnej (może to trwać kilka minut) odczytać temperatury t_s oraz t_m . Wykonać kilka takich pomiarów.
4. Odczytać na barometrze ciśnienie atmosferyczne panujące w pomieszczeniu podczas pomiarów.
5. Wyniki zanotować i na podstawie obu przedstawionych w instrukcji metod wyznaczyć wartość wilgotności względnej.

Tabela 1 jest przykładową tabelą pomiarową, służącą do gromadzenia danych pomiarowych.

Tab. 2. Tabela pomiarowa.

L.p.	Temperatura termometru suchego t_s [°C]	Temperatura termometru mokrego t_m [°C]	Różnica psychrometryczna $t_s - t_m$ [°C]
1			
2			
3			
4			
5			
Średnia			

2.4. Analiza wyników badań

1. Określić stałą psychrometryczną A z zależności (2) przyjmując prędkość $w = 2$ m/s.
2. Określić wartość wilgotności względnej φ dla psychrometru oboma metodami. Rezultaty obliczeń zamieścić w tabeli 3.

Tab. 3. Tabela pomiarowa.

L.p.	Metoda obliczeń	
	1	2
1		
2		
3		
4		
5		
Średnia		

3. W oparciu o średnią wartość wilgotności względnej, temperaturę oraz ciśnienie atmosferyczne powietrza w pomieszczeniu a także dane z tablic termodynamicznych, należy wyznaczyć pozostałe parametry powietrza wilgotnego:
- wilgotność bezwzględną [g/m^3]
 - zawartość wilgoci [g/kg]
 - stopień nasycenia [-]

3. POMIAR PARAMETRÓW POWIETRZA WILGOTNEGO ZA POMOCĄ TERMOHIGROMETRU ELEKTRONICZNEGO

3.1. Stanowisko laboratoryjne

Pomiary przeprowadza się zgodnie ze wskazówkami prowadzącego ćwiczenie. Po zapoznaniu się z przyrządem należy dokonać pomiaru parametrów powietrza wilgotnego w tym samym miejscu, co w poprzednich punktach. Wyniki zanotować w tabeli 4.

Tab. 4. Tabela pomiarowa.

L.p.	Zmierzona wielkość	Wartość i jednostka
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

4. WYKONANIE SPRAWOZDANIA I ZALICZENIE ĆWICZENIA

4.1 Sprawozdanie

Sprawozdanie należy przygotować ręcznie na papierze kratkowanym formatu A4. W sprawozdaniu należy zamieścić kolejno, zgodnie z opisem zawartym w niniejszej instrukcji:

1. Tabelkę tytułową,
2. Krótki wstęp teoretyczny i przedstawić cel ćwiczenia,
3. Opis przeprowadzonych badań dla kolejnych punktów, pomiary i dodatkowe obliczenia zgodnie z niniejszą instrukcją, tj.:
 - 3.1 Pomiar wilgotności względnej za pomocą higrometrów włosowych wraz z przyjętymi wartościami z tablic oraz z niezbędnymi obliczeniami (punkt 1.3).

3.2 Pomiar wilgotności względnej za pomocą psychrometru Assmanna wraz z przyjętymi wartościami z tablic oraz z niezbędnymi obliczeniami (punkt 2.4).

3.3 Porównanie rezultatów pomiarów parametrów powietrza wilgotnego dla temperatury pomieszczenia laboratorium $t_{lab} = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$ oraz ciśnienia atmosferycznego $p_b = \dots\dots\dots\text{hPa}$. Wyniki obliczeń i pomiarów zestawień w tabeli 5:

Tab. 5. Tabela pomiarowa.

Nazwa wielkości	Symbol	Wartości oraz jednostki fizyczne		
		Higrometry włosowe (punkt 1.4)	Psychrometr Assmanna (punkt 2.4)	Higrometr cyfrowy
Wilgotność bezwzględna				
Wilgotność względna				
Zawartość wilgoci				
Stopień nasycenia				
Temperatura termometru suchego				
Temperatura termometru mokrego				
Różnica psychrometryczna				
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej				

Tabelkę tytułową należy wykonać i czytelnie wypełnić wg poniższego wzoru. Wielkość tabelki jest orientacyjna.

Termodynamika techniczna - Laboratorium		
Pomiar wilgotności powietrza		
Nazwisko, Imię	Data wyk.	Grupa. (np. 8A)

4.2 Zagadnienia do kolokwium zaliczeniowego po wykonaniu ćwiczenia

Warunkiem zaliczenia ćwiczenia jest zaliczenie sprawozdania oraz zaliczenie kolokwium z oceną pozytywną. Poniżej podano zagadnienia do kolokwium zaliczeniowego:

1. Powietrze wilgotne, powietrze nasycone, powietrze nienasycone.
2. Wilgotność bezwzględna i względna. Definicje, wzory, jednostki.
3. Zawartość wilgoci (stopień nawilżenia) oraz stopień nasycenia. Definicje, wzory, jednostki.
4. Budowa i zasada działania higrometru włosowego. Rodzaje stosowanych włókien, ich zalety i wady. Regeneracja higrometru.
5. Pomiar wilgotności względnej psychrometrem Assmanna. Zasada pomiaru, wyznaczanie wilgotności względnej.

4.3 Literatura

[1] Fodemski R. (red.), Pomiary cieplne. Cz. 1, Podstawowe pomiary cieplne, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.