

Politechnika Wroclawska

Podstawy Metrologii i Techniki Eksperymentu

Laboratorium

**METODA PODSTAWOWA
POMIARU NA PRZYKŁADZIE
WYZNACZANIA GĘSTOŚCI.
BŁĘDY W METODZIE
POŚREDNIEJ**

Instrukcja do ćwiczenia nr 3

Opracował: dr inż. Arkadiusz Świerczok

Zakład Miernictwa i Ochrony Atmosfery

Wrocław, luty 2014 r.

METODA PODSTAWOWA POMIARU NA PRZYKŁADZIE WYZNACZANIA GĘSTOŚCI. BŁĘDY W METODZIE POŚREDNIEJ

1. WSTĘP

Metody pomiarowe to sposób wykorzystania zjawisk fizycznych i środków pomiarowych w celu uzyskania poprawnego wyniku (pomiaru). Ze względu na występowanie różnych układów, o różnych zasadach działania, metody pomiarowe można klasyfikować w różnorodny sposób [1, 2].

Metody, ze względu na sposób otrzymywania wyniku pomiaru, dzielą się na:

- **Podstawowe** (bezwzględne), kiedy wartość wielkości mierzonej wyznaczana jest na podstawie równania definicyjnego tej wielkości, przykładowo ciśnienie jako siła działająca na jednostkę powierzchni: $p=F/A$. W celu wyznaczenia wartości ciśnienia należy dokonać pomiaru siły F i powierzchni na jaką ona oddziałuje A , co realizowane jest za pomocą manometrów tłokowych.
- **Porównawcze**, kiedy wartość wielkości mierzonej otrzymuje się przez porównanie z inną wartością tej samej wielkości, należącą do zbioru znanych wartości (np. pomiar masy z wykorzystaniem wagi szalkowej i kompletu odważników)

Metody, ze względu na sposób wyznaczanie wartości mierzonej, dzielą się na:

- **Bezpośrednie**, kiedy w wyniku pomiaru uzyskuje się wprost wartość badanej wielkości, np. pomiar napięcia woltomierzem, pomiar masy wagą elektroniczną itp.
- **Pośrednie**, kiedy wartość wielkości mierzonej jest funkcją innych wielkości fizycznych mierzonych bezpośrednio. Wartość wielkości mierzonej wyznacza się po wykonaniu określonych działań matematycznych, np. pomiar gęstości cieczy na podstawie masy i objętości, pomiar ciśnienia manometrami cieczowymi.

2. POMIAR GĘSTOŚCI

2.1. POJĘCIA PODSTAWOWE

Gęstość (masa właściwa) to stały, charakterystyczny dla każdego materiału (ciała stałego, cieczy i gazu) stosunek masy m ciała do jego objętości V , oznaczany jest on zwykle grecką literą ρ („ro”):

$$\rho = m/V \tag{1}$$

Jednostką gęstości jest kilogram na metr sześcienny (kg/m^3). Gęstość wyraża więc liczbowo, ile kilogramów ma masa jednego metra sześciennego danego materiału.

Gęstość to parametr fizyczny o bardzo istotnym znaczeniu w wielu dziedzinach techniki. Gęstość różnych gazów w stosunku do powietrza powoduje, że balon napełniony helem unosi się do góry, natomiast gaz propan-butan zalega w zagłębieniach terenu stwarzając niebezpieczeństwo wybuchu lub zatrucia ludzi. Różna **gęstość cieczy manometrycznych** umożliwia budowanie manometrów cieczowych o różnych zakresach pomiarowych oraz powoduje, że w manometrze dwieczowym nie następuje mieszanie tych cieczy. W przypadku pyłów należy rozróżnić dwa pojęcia:

- Gęstość rzeczywista ρ_r (tzw. piknometryczna) opisująca gęstość ziaren pyłu, bez uwzględniania zawartego pomiędzy nimi powietrza, wyznaczana np. za pomocą piknometrów. Jest to wielkość mająca znaczenie przy analizie zjawisk związanych z ruchem poszczególnych cząstek pyłu, decydująca np. o możliwości odpylania cząstek o danej wielkości.

- **Gęstość nasypowa** ρ_n warstwy pyłu; to wielkość uwzględniająca fakt obecności pomiędzy ziarnami pyłu powietrza (lub innego gazu). Gęstość nasypowa ma znaczenie przykładowo przy składowaniu materiałów sypkich, a także w zagadnieniach transportu pyłów za pomocą przenośników mechanicznych, gdzie mamy do czynienia nie z poszczególnymi cząstkami pyłu lecz z jego warstwą.

Gęstość rzeczywista jest oczywiście większa od gęstości nasypowej dla tego samego pyłu, natomiast wartość tej różnicy zależy przede wszystkim od sposobu nasypania warstwy pyłu. Przykładowo dla popiołów lotnych $\rho_r \approx 2000 \text{ kg/m}^3$, a $\rho_n \approx 1000 \text{ kg/m}^3$.

2.2. METODY POMIARU GĘSTOŚCI

Do wyznaczenia gęstości cieczy wystarczy posłużyć się naczyniem miarowym o określonej objętości (np. menzurką) i wagą o odpowiednio dobranym zakresie pomiarowym i dokładności wskazań. Sposób ten bezpośrednio nawiązuje do równania definicyjnego gęstości, jako że określamy masę danej, zmierzonej objętości cieczy (metoda podstawowa pomiaru). Biorąc z kolei pod uwagę, że wartość gęstości określamy ze wzoru (1) na podstawie pomiarów wielkości m i V to mamy równocześnie do czynienia z pomiarem pośrednim.

Wyznaczenie gęstości nasypowej pyłu również wymaga zastosowania naczynia o określonej objętości i wagi. Dodatkowo jednak konieczny jest układ umożliwiający zasypywanie pyłu każdorazowo w ten sam sposób (z tej samej wysokości), w celu uzyskania powtarzalności wyników pomiaru. Należy zwrócić tu uwagę, że w zależności od stopnia zagęszczenia warstwy pyłu (może ono wynikać z zasypywania pyłu z większej wysokości lub „utrząsienia” pyłu w naczyniu) w naczyniu miarowym, zależec będzie wynik oznaczenia gęstości. Im pył jest bardziej „ubity” tym wynik gęstości nasypowej jest większy, gdyż cząstki pyłu bardziej do siebie dolegają i mniej pomiędzy nimi powietrza.

3. CEL I PRZEBIEG ĆWICZENIA

Podstawowym celem ćwiczenia jest określenie gęstości wybranej cieczy manometrycznej (denaturat) i gęstości nasypowej pyłu (piasek) oraz przeprowadzenie analizy niepewności uzyskanych na drodze pomiaru wyników.

3.1. Wyznaczenie gęstości cieczy wymaga wykonania następujących czynności:

- zważyć masę suchego naczynia miarowego na wadze elektronicznej m_0 ,
- nalać do zważonego naczynia określoną, stałą za każdy razem objętość badanej cieczy V , w razie rozlania osuszyć naczynie ręcznikiem papierowym,
- zważyć naczynie miarowe z cieczą na wadze elektronicznej m_1 ,
- wylać ciecz do pojemnika zbiorczego,
- powtórzyć powyższe czynności 5 razy.

Gęstość badanej cieczy należy obliczyć jako średnią arytmetyczną z 5 pomiarów, według następującej zależności:

$$\rho_c = \Sigma(m_{1i} - m_0) / n \quad (2)$$

gdzie: m_{1i} – to kolejny z n -pomiarów
 n – to ilość pomiarów

3.2. Wyznaczenie gęstości nasypowej pyłu przeprowadzone zostanie na stanowisku, które schematycznie przedstawiono na rys. 1 i wymaga wykonania następujących czynności:

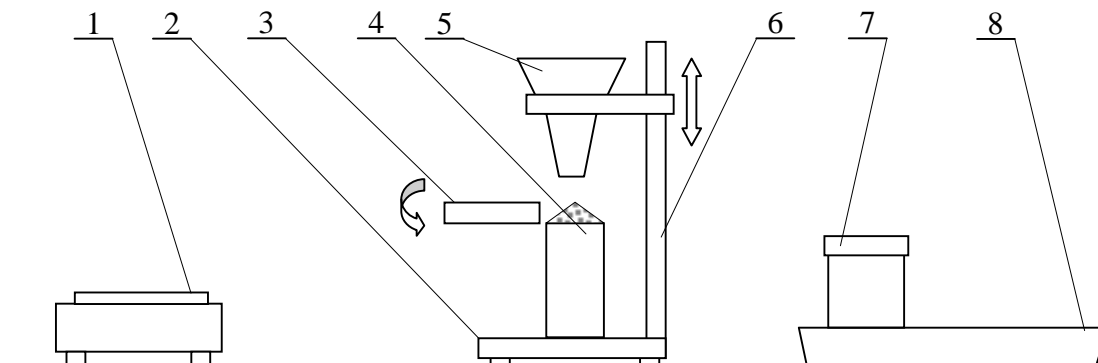
- zważyć masę naczynia miarowego (4) na wadze elektronicznej (1), m_0 ,
- postawić puste naczynie miarowe na podstawie (2) przyrządu do nasypywania pyłu (6), ustawić określoną, stałą dla każdego z pomiarów, wysokość lejka zasypowego (5) nad podstawą (2),
- zdjąć naczynie z przyrządu do nasypywania (6), zgarnąć nadmiar pyłu równo z górną krawędzią naczynia miarowego za pomocą metalowego liniału (3) do kuwety (8),
- zważyć naczynie miarowe (4) z pyłem na wadze elektronicznej, m_1 ,

- wysypać pył z naczynia miarowego (4) do pojemnika z pyłem (7),
- powtórzyć powyższe czynności 5 razy.

Gęstość nasypową badanego pyłu należy obliczyć jako średnią arytmetyczną z 5 pomiarów, według następującej zależności:

$$\rho_n = \Sigma(m_{li} - m_0) / n \quad (3)$$

gdzie: m_{li} – to kolejny z n-pomiarów
 n – to ilość pomiarów



Rys. 1. Schemat układu do wyznaczania gęstości nasypowej pyłu:

1 – waga elektroniczna, 2 – podstawa, 3 – metalowy linał wyrównujący, 4 – naczynie miarowe, 5 – lejek zasypowy z zaworem odcinającym, 6 – przyrząd do nasypywania pyłu, 7 – pojemnik z pyłem, 8 – kuweta

4. OPRACOWANIE WYNIKÓW, ANALIZA NIEPEWNOŚCI

Za wyniki oznaczenia gęstości cieczy i pyłu należy przyjąć wartości średnie z wykonanych n -pomiarów, przy czym zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami należy dodatkowo oszacować niepewność przeprowadzonych pomiarów i prawidłowo zapisać ostateczny wynik.

Zarówno pomiar gęstości cieczy manometrycznej jak i pomiar gęstości nasypowej pyłu są przykładami pomiarów metodą pośrednią, kiedy to mierzymy wielkości podstawowe (w rozpatrywanym przypadku: m i V), a wynik końcowy uzyskujemy po wykonaniu odpowiednich przeliczeń. Jeśli więc wielkość mierzona Y związana jest z innymi wielkościami znaną funkcją [3]:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (4)$$

to wówczas niepewność wielkości Y wylicza się z ogólnej zależności

$$u(Y) = \sqrt{\sum_1^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 u^2(X_i)} \quad (5)$$

przy założeniu, że wielkości X_i są wzajemnie niezależne (co ma miejsce w rozpatrywanym przypadku).

Biorąc pod uwagę postać zależności opisującej gęstość (wzór (1)), w celu wyliczenia niepewności względnej można posłużyć się następującym wzorem:

$$\frac{u(\rho)}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m} \right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V} \right)^2} \quad (6)$$

W celu wyznaczenia niepewności składowych $u(m)$ i $u(V)$ można skorzystać z zależności na niepewność standardową złożoną (wzór (4) z instrukcji do ćwiczenia nr 2: *Błędy w pomiarach bezpośrednich*) uwzględniając te składniki niepewności odnośnie, których posiadane są dane liczbowe. Należy zatem uwzględnić: niepewność wskazania (obliczana z

rozrzutu wyników jako standardowe odchylenie wartości średniej) oraz niepewność poprawki wskazania (obliczana z błędu granicznego użytych przyrządów).

Po wyliczeniu niepewności bezwzględnej $u(\rho)$ (z przekształcenia wzoru (6)) należy policzyć niepewność rozszerzoną $U(\rho)$, dla wybranego współczynnika rozszerzenia k , z zależności:

$$U(\rho) = k \cdot u(\rho) \quad (7)$$

Na końcu należy poprawnie zapisać wynik pomiaru gęstości cieczy manometrycznej i pyłu wraz z informacją o niepewności rozszerzonej i przyjętym poziomie ufności.

5. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

W celu wyznaczenia gęstości cieczy manometrycznej użyto: menzurki o błędzie granicznym $\Delta g_V = 1$ ml oraz wagi elektronicznej o błędzie granicznym $\Delta g_m = 0,01$ g. Uzyskano następujące wartości średnie (na podstawie pięciu pomiarów): $m_{sr} = 57,34$ g i $V_{sr} = 70$ ml i odpowiednie standardowe odchylenia wartości średnich $u(W_m) = 0,386$ g i $u(W_V) = 0,316$ ml.

Niepewność standardową złożoną masy $u(m)$ wyliczono z zależności:

$$u(m) = \sqrt{(u(W_m))^2 + \left(\frac{\Delta g_m}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,386 \text{ g}$$

Niepewność standardową złożoną objętości $u(V)$ wyliczono z zależności:

$$u(V) = \sqrt{(u(W_V))^2 + \left(\frac{\Delta g_V}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,658 \text{ g}$$

Niepewności względna gęstości zgodnie ze wzorem (6) ma wartość:

$$\frac{u(\rho_c)}{\rho_c} = \sqrt{\left(\frac{0,386}{57,34}\right)^2 + \left(\frac{0,658}{70}\right)^2} = 0,0116 \approx 1,2 \%$$

Poszukiwaną gęstość oblicza się ze wzoru definicyjnego:

$$\rho_c = \frac{m_{sr}}{V_{sr}} = \frac{57,34}{70} = 0,819 \text{ g/ml} = 819 \text{ kg/m}^3$$

Niepewność bezwzględną oblicza się następująco:

$$u(\rho_c) = \rho_c \cdot 0,0116 = 9,5 \text{ kg/m}^3$$

Niepewność rozszerzona na poziomie ufności 95% wynosi:

$$U(\rho_c) = 2 \cdot 9,5 = 19 \approx 2 \cdot 10 \text{ kg/m}^3$$

Ostatecznie wynik pomiaru gęstości cieczy manometrycznej należy zapisać następująco:

$$\rho_c = 819 \pm 20 \text{ kg/m}^3 = (82 \pm 2) \cdot 10 \text{ kg/m}^3$$

LITERATURA

- [1] – Strzelczyk F.: *Metody i przyrządy w pomiarach cieplno-energetycznych*, Łódź : Politechnika Łódzka, 1993
- [2] – Negrusz A., Stańda J.: *Badania procesów termoenergetycznych, cz. I, Podstawy miernictwa parametrów w procesach termoenergetycznych*, Wydawnictwo PWr, Wrocław, 1980
- [3] – Arendarski J.: *Niepewność pomiarów*, Oficyna Wydawnicza politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003