

Metrologia cieplna i przepływowa

Systemy, Maszyny i Urządzenia Energetyczne, I rok mgr

Pomiar małych ciśnień 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 małych ciśnień (do kilku kPa). Zakres ćwiczenia obejmuje pomiary ciśnienia wytwarzanego przez wentylator w rurociągu za pomocą manometrów cieczowych i manometru piezoelektrycznego.

1.2 Stanowisko laboratoryjne i opis przyrządów pomiarowych

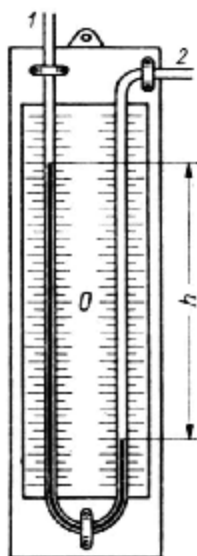
Na stanowisku laboratoryjnym znajdują się następujące przyrządy pomiarowe:

- manometr cieczowy dwuramienny (U-rurka) z wodą,
- manometr cieczowy dwuramienny (U-rurka) z alkoholem,
- manometr cieczowy z rurką pochyłą (manometr Recknagla),
- mikromanometr kompensacyjny,
- manometr z czujnikiem piezoelektrycznym.

Manometr cieczowy dwuramienny

Manometr dwuramienny, zwany również U-rurką, służy do pomiaru nadciśnienia, podciśnienia oraz różnicy ciśnień. Gdy mierzymy nadciśnienie lub podciśnienie jeden z końców rurki przyłączony jest do przestrzeni o mierzonym ciśnieniu p_1 , a drugi króciec połączony jest z atmosferą. Zatem zawsze ciśnienie atmosferyczne jest jednym z porównywanych ciśnień.

W przypadku pomiaru różnicy ciśnień oba końce rurki są połączone z przestrzeniami mierzonych ciśnień p_1 i p_2 .



Rys.1. Manometr cieczowy dwuramienny [1]

Wiedząc, że bezwzględny błąd odczytu na podziałce milimetrowej wynosi w granicach $0,25 \div 0,5$ mm, błąd dwóch odczytów, potrzebnych do określenia różnicy ciśnień, będzie miał wartość $0,5 \div 1$ mm. Zatem jeśli chcemy dokonać odczytu z dokładnością nie mniejszą niż 1%, to wysokość słupa cieczy musi wynosić co najmniej $h = 100$ mm. Dla konkretnej różnicy ciśnień, wysokość h będzie zależeć tylko od gęstości cieczy manometrycznej:

$$h = \frac{\Delta p}{r g} \quad (1)$$

Dlatego do mierzenia niewysokich ciśnień (różnic ciśnień), w celu zminimalizowania błędu odczytu, powinno używać się cieczy o małej gęstości.

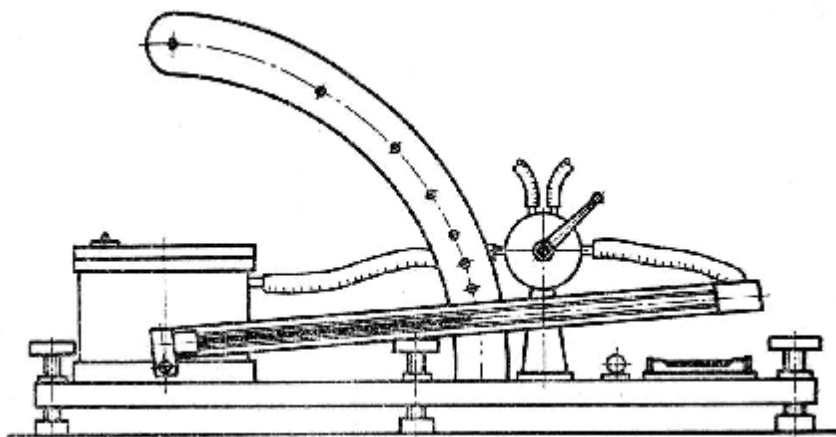
Manometr Recknagla (z rurką pochylą)

Manometr z rurką pochylą służy do pomiaru małych ciśnień, których pomiar manometrami o rurkach pionowych, jest obciążony zbyt dużym względnym błędem odczytu. Zwiększenie dokładności pomiaru osiągnięto przez zastosowanie rurki pochylonej o kąt φ od poziomu i pomiar długości słupa cieczy l . Im mniejszy kąt nachylenia rurki, tym większą dokładność odczytu otrzymujemy.

Przy zbyt małych kątach nachylenia φ , menisk staje się niewyraźny, pomimo zastosowania rurki o średnicy wewnętrznej $1,5 \div 2$ mm i cieczy manometrycznej o małej lepkości (np. alkoholu).

Manometry z rurką pochylą wykonywane są w dwóch wariantach, jako manometr z rurką o stałym kącie nachylenia (manometr Krella) oraz o zmiennym kącie nachylenia (manometr Recknagla).

Ważne jest aby podczas pomiaru manometry te były wypoziomowane. Dlatego wyposaża się je w poziomice. Błąd wynikający z nieodpowiedniego ustawienia przyrządu rośnie wraz ze zmniejszaniem się kąta nachylenia rurki φ . Na rysunku 2 pokazano konstrukcję manometru Recknagla z rurką pochylą.



Rys.2 Manometr Recknagla [1]

Przy założeniu, że przekrój naczynia z cieczą manometryczną jest wielokrotnie większy od przekroju rurki kapilarnej, można napisać, iż wysokość pionowego słupa cieczy manometrycznej względem poziomu cieczy w zbiorniczku, wynosi:

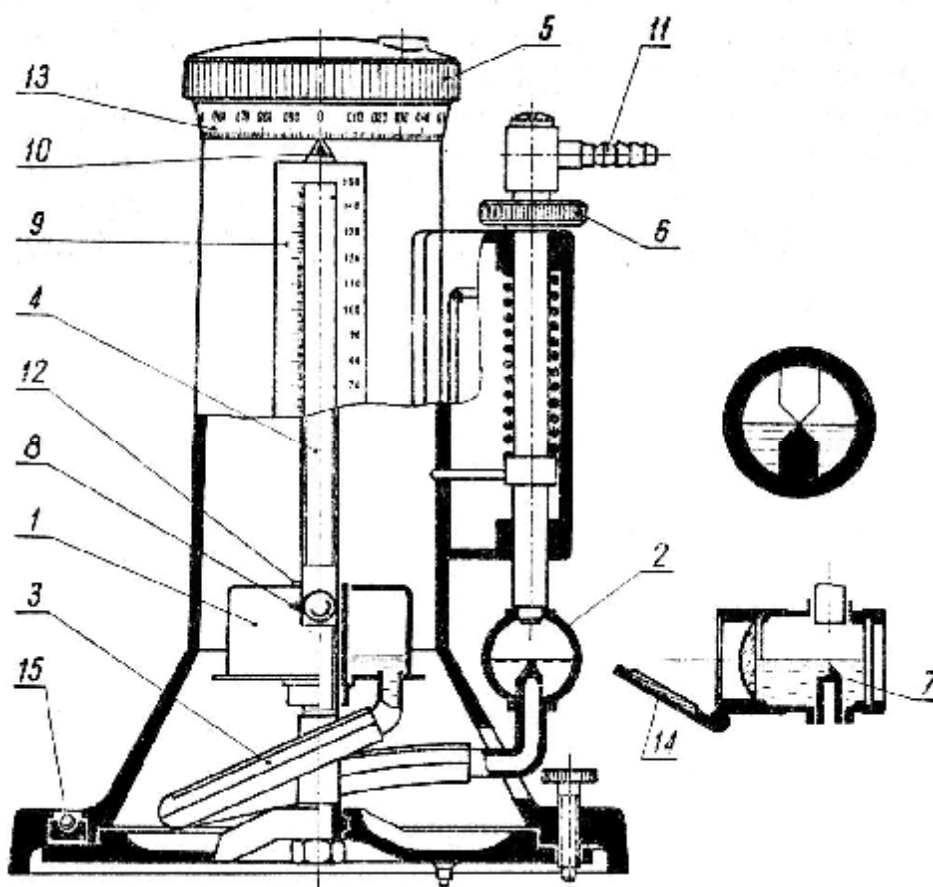
$$h = l \cdot \sin\varphi \quad (2)$$

Manometry o stałym kącie nachylenia skaluje się dla konkretnych cieczy manometrycznych. Dla manometrów o zmiennym kącie nachylenia rurki, skalę wykonuje się dla jednego z ustawień kąta φ . Dla innych ustawień podaje się tzw. przełożenie manometru i , zaznaczone na manometrze dla każdego z ustawień, i wtedy:

$$h = \frac{l}{i} \quad (3)$$

Mikromanometr kompensacyjny

Mikromanometrem kompensacyjnym możemy mierzyć bardzo niskie ciśnienia, przy zachowaniu dużej dokładności pomiaru. Mikromanometry pozwalają na dokonanie pomiaru różnicy ciśnień z dokładnością do $0,01 \div 0,05 \text{ mm H}_2\text{O}$. Szczególną uwagę należy zwrócić na odpowiednio dokładne wypoziomowanie przyrządu. Konstrukcję mikromanometru pokazano na rys. 3.



Rys. Błąd! W dokumencie nie ma tekstu o podanym stylu.. Mikromanometr kompensacyjny [1]

Przed dokonaniem pomiaru ciśnienia przyrząd należy ustawić w pionie według poziomicy 15. Przy odłączonych źródłach ciśnienia należy wyzerować wskazanie początkowe mikromanometru. W tym celu, ustawiamy zerowe wskazanie podziałki 13 znajdującej się na pokrętle 5 śruby mikrometrycznej 4, a wskaźnik 8 ustawiamy na zerze skali zgrubnej 9.

Następnie musimy doprowadzić do tego, aby wierzchołek ostrza 7 znajdował się na tym samym poziomie, co lustro cieczy w naczyniu 2. Dokonujemy tego poprzez kręcenie pokrętle 6. Powinniśmy wtedy w zwierciadle 14 zaobserwować obraz ostrza 7, pokazany na rys. 3. Po wyzerowaniu przyrządu możemy przystąpić do pomiaru różnicy ciśnień pamiętając o tym, że wyższe ciśnienie doprowadzamy do króćca 11, a niższe do króćca 12.

Wskutek doprowadzenia różnych ciśnień, ciecz manometryczna przepłynie przez przewód elastyczny 3 i nastąpi podniesienie się poziomu cieczy w naczyniu 1 oraz obniżenie w naczyniu 2. Kręcąc głowicą 5, podnosimy naczynie 1, aż do przywrócenia poprzedniego stanu w naczyniu 2 (ponowne zaobserwowanie obrazu pokazanego na rys. 3.10). Odczytana na zgrubnej 9 oraz dokładnej podziałce 13 wartość, odpowiada wysokości słupa cieczy manometrycznej kompensującego różnicę ciśnień.

1.3 Tok postępowania podczas badania

1. Źródłem ciśnienia badanego jest rurka Prandtla znajdująca się w rurociągu z wentylatorem ssawnym.
2. Wszystkie manometry należy podłączyć tak, aby mierzyły tą samą różnicę ciśnień (jednym z ciśnień może być ciśnienie atmosferyczne).
3. Wypoziomować oraz tam, gdzie to konieczne, wyzerować manometry.
4. Po załączeniu wentylatora dobrać odpowiednio jego prędkość tak, aby uzyskać odpowiednio duże ciśnienie i wychylenia manometrów.
5. Dokonać odczytów wskazań manometrów dla kilku punktów pomiarowych.
6. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli pomiarowej 1.

Tab.1 Tabela pomiarowa

Rodzaj ciśnieniomierza	Wskazania (mm słupa cieczy manometrycznej lub Pa)				
	1	2	3	4	5
U-rurka z wodą					
U-rurka z alkoholem					
Manometr Recknagla					
Mikromanometr kompensacyjny					
Manometr z czujnikiem piezoelektrycznym					

2. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Z uwagi na dużą dokładność, manometrem wzorcowym dla prowadzonych pomiarów jest manometr kompensacyjny. Na podstawie prowadzonych badań zostanie określony błąd bezwzględny oraz względny dla poszczególnych manometrów.

Bezwzględny błąd pomiaru badanego manometru:

$$\Delta p = |p - p_{ref}| \text{ [Pa]} \quad (4)$$

gdzie:

p_{ref} – wskazanie manometru wzorcowego, [Pa]

p – wskazanie manometru badanego, [Pa].

Względny błąd pomiaru badanego manometru:

$$d_p = \frac{|p - p_{ref}|}{|p_{ref}|} [\%] \quad (5)$$

Tab.2 Tabela z wartościami błędów względnych

Rodzaj ciśnieniomierza	δ_p [%]				
	1	2	3	4	5
U-rurka z wodą					
U-rurka z alkoholem					
Manometr Recknagla					
Manometr z czujnikiem piezoelektrycznym					

Rysunki zaczerpnięto z: Komecki Tadeusz: *Pomiar ciśnienia*. Red. Feliks Kotlewski i Marian Mieszkowski. W: *Pomiary w technice cieplnej*. Wyd. 2. Warszawa: WNT, 1974.