

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI
INSTYTUT MASZYN I URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH

Pomiar ciśnień

Laboratorium metrologii

(M - 4)

Opracował: mgr inż. Aleksandra DRYJAŃSKA
Sprawdził: dr inż. Daniel WĘCEL
Zatwierdził: prof. dr hab. inż. Janusz KOTOWICZ

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest poznanie metod i przyrządów służących do pomiaru ciśnienia wraz z uwzględnieniem błędów i nieprawidłowości, które mogą wystąpić w trakcie pomiaru ciśnienia.

2. WPROWADZENIE TEORETYCZNE

Naprężenie występujące w płynach, wywołane działaniem zewnętrznych czynników, takich jak zmiany objętości, zmiany cieplne, prędkości, przyspieszenia itp. charakteryzuje się wielkością nazywaną **ciśnieniem**.

Wartość ciśnienia p jest definiowana jako siła F działająca prostopadle na powierzchnię A :

$$p = \frac{F}{A}$$

W przypadku słupów cieczy lub gazów o wysokości h :

$$p = h g \rho$$

gdzie:

ρ - gęstość

g - przyspieszenie ziemskie

Podstawowa **jednostka** ciśnienia według układu SI to paskal:

$$1Pa = 1 \frac{N}{m^2} = 1 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

jednostka		przelicznik
1bar	bar	1bar = 10 ⁵ Pa
1 $\frac{kg}{m^2}$	kilogram na metr kwadratowy	1 $\frac{kg}{m^2}$ = 9,80665Pa
1at	atmosfera techniczna	1at = 1 $\frac{kG}{cm^2}$ = 98066,5Pa
1Atm	atmosfera fizyczna	1atm = 760mmHg = 101325Pa
1mmHg	milimetr słupa rtęci	1mmHg = 133,322Pa
1mmH ₂ O	milimetr słupa wody	1mmH ₂ O = 9,80665Pa

W technice pomiarowej rozróżnia się następujące **rodzaje ciśnień**:

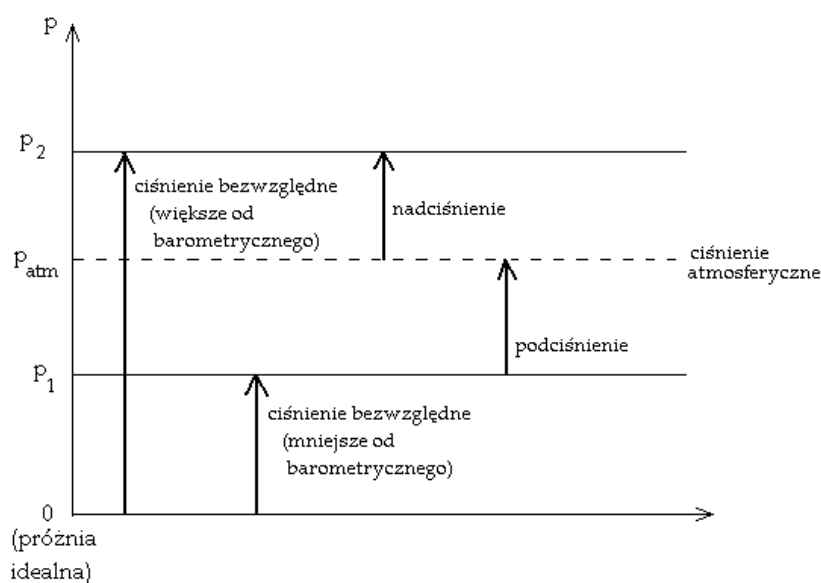
- ciśnienie atmosferyczne (barometryczne) $\rightarrow p_{ot}$ \rightarrow ciśnienie wywołane ciężarem słupa powietrza atmosfery ziemskiej
- ciśnienie absolutne (bezwzględne) $\rightarrow p_a$ \rightarrow całkowite ciśnienie, jakiemu poddawany jest czynnik
- ciśnienie manometryczne $\rightarrow p_m$:

- nadciśnienie \rightarrow dodatnia różnica między ciśnieniem bezwzględnym i barometrycznym:

$$p_m = p_a - p_{ot} \quad (p_a > p_{ot})$$

- podciśnienie \rightarrow ujemna różnica między ciśnieniem bezwzględnym i barometrycznym:

$$p_m = p_a - p_{ot} \quad (p_a < p_{ot})$$



Rys.1. Rodzaje ciśnień

Gdy rozpatrywany jest czynnik poruszający się, rozróżnia się:

- ciśnienie statyczne $\rightarrow p_s$ \rightarrow wskazywane przez manometr poruszający się z prędkością czynnika
- ciśnienie dynamiczne $\rightarrow p_d$ \rightarrow przyrost ciśnienia przy wyhamowaniu czynnika do prędkości $w = 0$
- ciśnienie całkowite $\rightarrow p_c$ \rightarrow suma ciśnień statycznego i dynamicznego

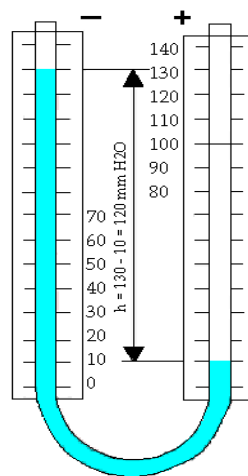
$$p_c = p_s + p_d$$

3. PRZYRZĄDY DO POMIARU CIŚNIENIA (RÓŻNICY CIŚNIEŃ)

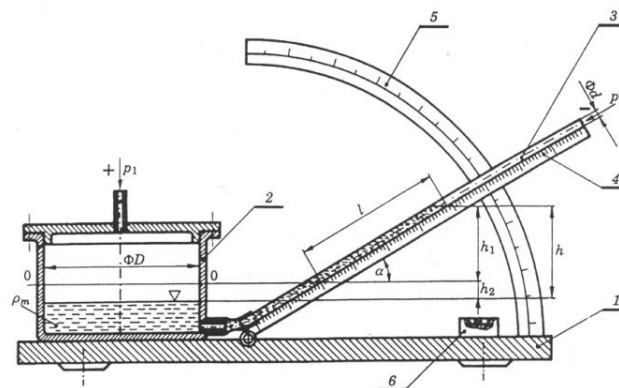
Manometry hydrostatyczne (U-rurki)

U-rurka jest najprostszym przyrządem do pomiaru ciśnienia. Składa się najczęściej z rurki szklanej wygiętej w kształt litery U. Cieczami manometrycznymi najczęściej są woda, rtęć lub alkohol. Zakres pomiarowy zwykle od 0 do 1000 mm słupa cieczy. Dokładność pomiarowa to ok. 1 mm słupa cieczy.

Stosowane są manometry jedno- i dwuramienne oraz mikromanometry do pomiaru małych ciśnień.



Rys.2. Manometr cieczowy dwuramienny (U-rurka)

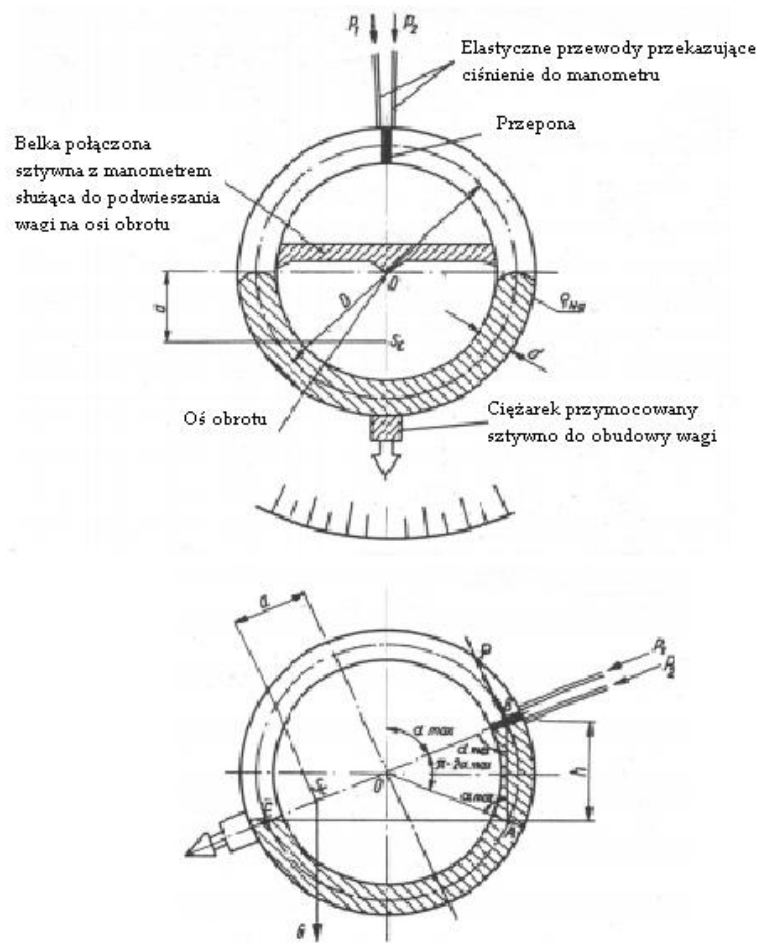


Rys.3. Manometr z rurką pochylą

- 1 – podstawa
- 2 – naczynie
- 3 – rurka pomiarowa
- 4 – liniał z podziałką
- 5 – kątomierz
- 6 – poziomica

Manometry pierścieniowe (wagi pierścieniowe)

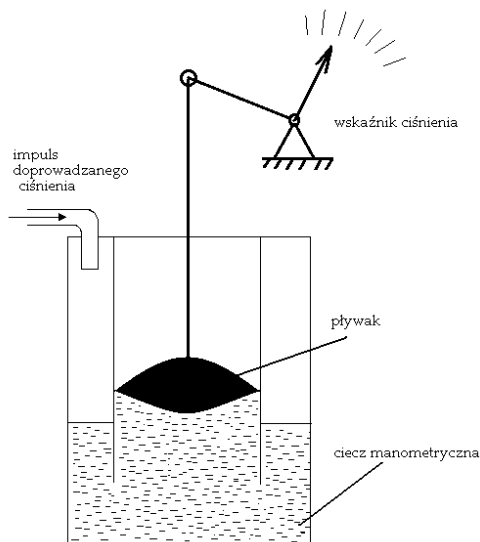
Podstawowym elementem manometru pierścieniowego jest ruchomy pierścień częściowo wypełniony cieczą pomiarową. Punkt podparcia pierścienia znajduje się nieco powyżej środka ciężkości. W położeniu zerowym ciecz stoi po obu stronach na tej samej wysokości. Pod wpływem jednostronnego nadciśnienia Δp równowaga ta zostaje zakłócona, po drugiej stronie ciecz się wychyla i na komorę zaczyna działać moment obrotowy. Wywołuje to moment przeciwny (od środka ciężkości komory) aż do uzyskania równowagi. Mierzona różnica ciśnień jest proporcjonalna do sinusa kąta wychylenia α .



Rys.4. Waga pierścieniowa

Manometry pływakowe i dzwonowe

Składają się z wypełnionej cieczą obudowy oraz pływającego dzwonu zanurzeniowego, pod który zostaje doprowadzony impuls mierzonego ciśnienia. Przyrząd ten służy głównie do pomiaru małych wartości ciśnienia oraz jako czujnik rejestratorów. Podobnie działa manometr pływakowy.



Rys.5. Manometr dzwonowy

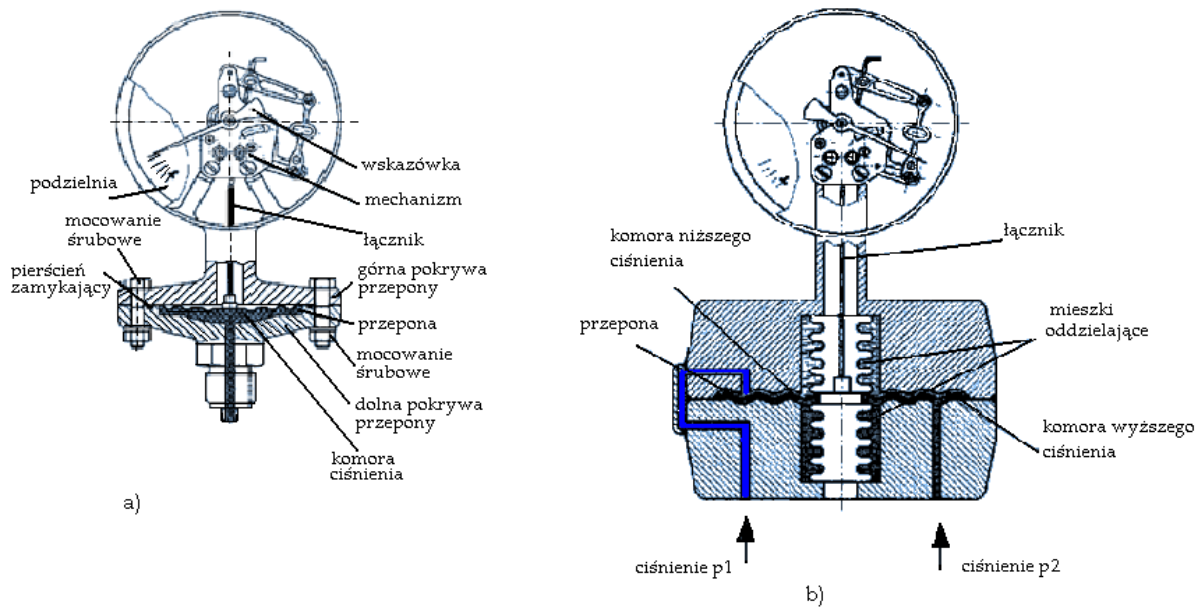
Manometry sprężynowe

Czujnikiem pomiarowym jest z reguły sprężyna metalowa.

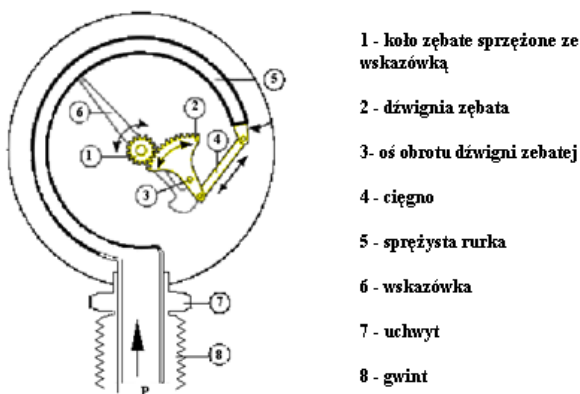
W grupie tej można wyróżnić:

- manometry przeponowe
- manometry rurkowe
- manometry puszkowe i mieszkowe.

Zaletami są niewrażliwość na wstrząsy, niski koszt produkcji oraz możliwość pomiaru dużych ciśnień. Wadą jest konieczność wzorcowania oraz stosowania odpowiednich warunków zabudowy przy pomiarze ciśnień cieczy gorących (np. pary wodnej).



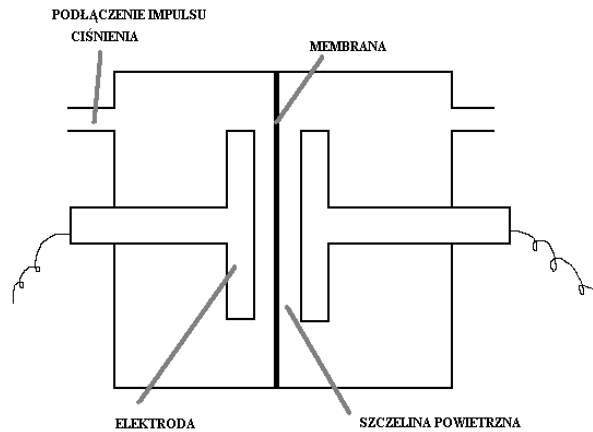
Rys.6. Manometry sprężynowe: a) przeponowy b) mieszkowy



Rys. 7. Manometr sprężynowy rurkowy (z rurką Bourdona)

Przetworniki elektryczne ciśnienia / różnicy ciśnień

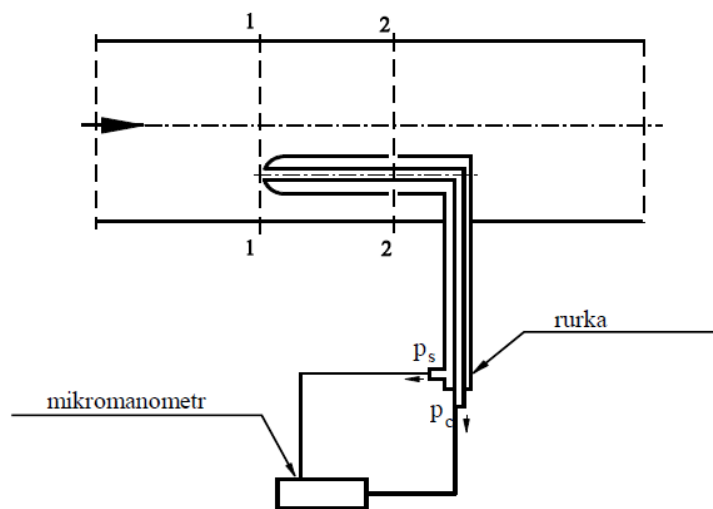
Wykorzystują różne właściwości fizyczne / elektryczne w celu określenia ciśnienia. W grupie tej występują mierniki: oporowe, piezoelektryczne i tensometryczne. Charakteryzują się dużą dokładnością przetwarzania oraz możliwością pomiaru wielkości szybkozmiennych (mała bezwładność własna czujnika). Najczęściej są zintegrowane z układami przetwarzającymi, gdzie sygnałem wejściowym jest zunifikowany sygnał napięciowy lub prądowy.



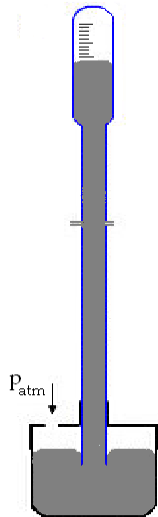
Rys.8. Elektryczny przetwornik ciśnienia

Rurki spiętrzające

Rurki spiętrzające (Prandtla i Pitota) służą do pomiaru ciśnienia dynamicznego i / lub całkowitego. Zasada działania rurek polega na przekształceniu energii dynamicznej strugi czynnika (przez wyhamowanie) na energię potencjalną ciśnienia, które jest następnie mierzone, np. przy użyciu manometru typu U-rurka lub mikromanometru.



Rys.9. Mikromanometr z rurką Prandtla



BAROMETR – Pionowa szklana rurka wypełniona rtęcią (cieczą o znacznej gęstości), zamknięta z jednej strony. Ponad rtęcią jest próżnia. Ciśnienie atmosferyczne działające na rtęć przez otwarty koniec rurki powoduje zmianę wysokości słupa rtęci, odczytywaną w mmHg.

Rys.10. Barometr

4. INSTALACJA POMIAROWA MANOMETRÓW

Prawidłowa instalacja ciśnieniomierzy jest warunkiem koniecznym do uzyskania wiarygodnych wyników pomiarów.

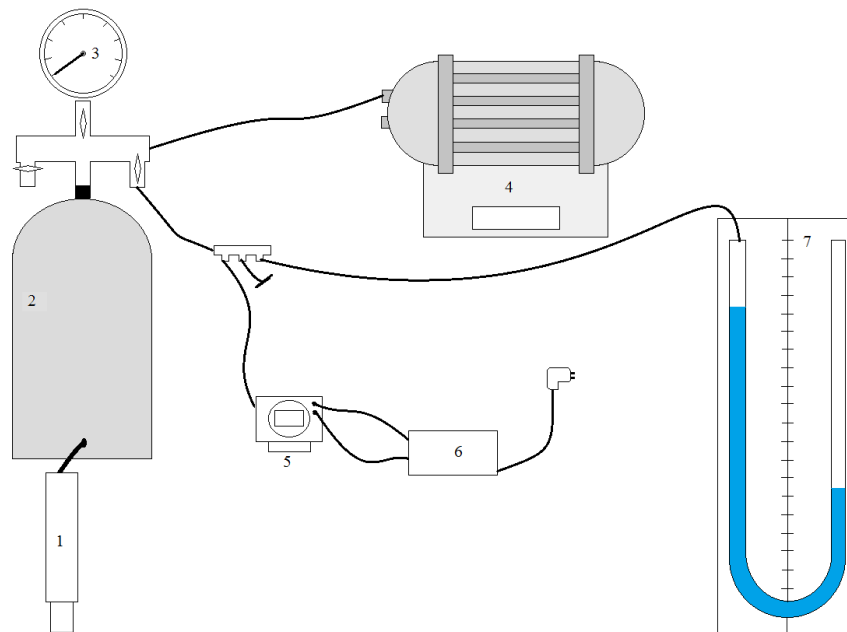
Przed każdym ciśnieniomierzem powinien się znajdować kurek trójdrożny, który umożliwi:

- odłączenie ciśnieniomierza
- włączenie ciśnienia
- sprawdzenie zerowania się ciśnieniomierza
- przyłączenie manometru kontrolnego
- przedmuchiwanie przewodu doprowadzającego ciśnienie.

Przy przekazywaniu ciśnienia na odległość stosuje się przewody rurowe o średnicy Φ 4-6mm dla gazów i Φ 10-12mm dla cieczy.

Wskazania ciśnieniomierzy podczas pomiarów mogą być obarczone błędami spowodowanymi między innymi przez:

- zastosowanie niesprawdzanego manometru
- zatkanie się lub nieszczelność rurek impulsowych doprowadzających ciśnienie do miernika
- różnicę wysokości geodezyjnej pomiędzy punktem poboru ciśnienia i miejscem zainstalowania manometru, gdy przewody zalane są cieczą lub kondensatem (jest to błąd systematyczny)
- niecałkowite wypełnienie przewodów cieczą pośredniczącą (w przypadku tego typu pomiaru błąd klasyfikowany jako przypadkowy)
- wykroplenie się wilgoci i zalanie nią niżej położonych przewodów, w przypadku pomiaru ciśnienia gazu.



Rys.10. Schemat instalacji pomiarowej

- 1 - pompka
- 2 - zbiornik
- 3 - manometr przeponowy
- 4 - manometr różnicowy
- 5 - przetwornik różnicowy
- 6 - zasilacz
- 7 - U-rurka

5. PRZEBIEG ĆWICZENIA

- A) Poznanie budowy i zasad działania poszczególnych rodzajów manometrów
- B) Zanotowanie zakresów pomiarowych
- C) Odczytanie wysokości słupa rtęci i temperatury otoczenia dla barometru
 - obliczenie ciśnienia atmosferycznego (na podstawie odczytu wysokości słupa rtęci w barometrze oraz aktualnej temperatury otoczenia)
 - uwzględnienie poprawki temperaturowej
 - obliczenie niedokładności pomiaru spowodowanej przez niedokładność pomiaru wysokości słupa cieczy manometrycznej.
- D) Wyznaczenie charakterystyk statycznych manometrów
- E) Zanotowanie wyników pomiarów w odpowiednich tabelach

6. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

- Obliczenie wartości ciśnienia atmosferycznego na podstawie serii dokonanych pomiarów wysokości słupa rtęci i temperatury otoczenia + określenie dokładności otrzymanego wyniku
- Wykreślenie charakterystyk manometrów układu pomiarowego (manometru przeponowego oraz elektrycznego przetwornika ciśnienia przy użyciu manometru cieczowego typu U - rurka)
- (Obliczenie dokładności wartości ciśnienia mierzonego przy użyciu mikromanometru)

7. SPRAWOZDANIE

W sprawozdaniu z przeprowadzonego ćwiczenia laboratoryjnego powinny znajdować się:

1. Strona tytułowa
2. Dane przyrządów pomiarowych
3. Schemat układu pomiarowego wraz z opisem
4. Tabele wyników mierzonych wielkości
5. Obliczenia wymienionych wielkości oraz wykresy ich charakterystyk
6. Wnioski (+ uwagi)

ŹRÓDŁA

1. Poprzednia wersja „Instrukcji do ćwiczenia laboratoryjnego M-4 Pomiar ciśnień”(dr inż. Jacek Łyczko, dr inż. Jan Około-Kułąk, dr hab. inż. Janusz Kotowicz)
2. Taler D., „Pomiar ciśnienia, prędkości i strumienia przepływu płynu”, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo – Dydaktyczne, Kraków 2006

ZAŁĄCZNIK: TABELLE POMIAROWE

Pomiar ciśnienia atmosferycznego

Lp.	Imię i Nazwisko	Wysokość słupa rtęci [mmHg]	Temperatura otoczenia [°C]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

- dokładność pomiaru temperatury otoczenia: Δt_{ot} [°C]
- dokładność pomiaru wysokości słupa rtęci: Δh_{Hg} [mmHg]

Charakterystyki statyczne różnych rodzajów manometrów

Lp.	U-rurka [mmH ₂ O]			manometr membranowy [mmH ₂ O]	Przetwornik różnicy ciśnień [mV]	
	L	P	Δh			
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
11.						
12.						
13.						
14.						
15.						