



MINISTERSTWO EDUKACJI  
NARODOWEJ



**Paweł Religa**

## **Wykonywanie pomiarów parametrów procesowych 815[01].Z1.02**

**Poradnik dla ucznia**

**Wydawca**  
**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy**  
**Radom 2007**

Recenzenci:

dr inż. Magdalena Rychlik

mgr inż. Kazimierz Lubaś

Opracowanie redakcyjne:

dr inż. Paweł Religa

Konsultacja:

mgr inż. Halina Bielecka

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 815[01].Z1.02 „Wykonywanie pomiarów parametrów procesowych”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu operator urządzeń przemysłu chemicznego.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

# SPIS TREŚCI

<b>1. Wprowadzenie</b>	3
<b>2. Wymagania wstępne</b>	5
<b>3. Cele kształcenia</b>	6
<b>4. Materiał nauczania</b>	7
<b>4.1. Klasyfikacja metod i przyrządów pomiarowych. Symbole i oznaczenia punktów pomiarowych. Rachunek błędów. Opracowanie i interpretacja wyników pomiarów</b>	7
4.1.1. Materiał nauczania	7
4.1.2. Pytania sprawdzające	16
4.1.3. Ćwiczenia	16
4.1.4. Sprawdzian postępów	18
<b>4.2. Pomiar podstawowych wielkości elektrycznych</b>	19
4.2.1. Materiał nauczania	19
4.2.2. Pytania sprawdzające	23
4.2.3. Ćwiczenia	24
4.2.4. Sprawdzian postępów	25
<b>4.3. Pomiar podstawowych parametrów procesowych: temperatury, ciśnienia, poziomu cieczy, natężenia przepływu cieczy i gazów</b>	26
4.3.1. Materiał nauczania	26
4.3.2. Pytania sprawdzające	39
4.3.3. Ćwiczenia	40
4.3.4. Sprawdzian postępów	44
<b>4.4. Pomiar podstawowych właściwości fizycznych surowców, półproduktów i produktów chemicznych: wilgotności, lepkości, gęstości, masy</b>	45
4.4.1. Materiał nauczania	45
4.4.2. Pytania sprawdzające	51
4.4.3. Ćwiczenia	51
4.4.4. Sprawdzian postępów	53
<b>5. Sprawdzian osiągnięć</b>	54
<b>6. Literatura</b>	59

# 1. WPROWADZENIE

Poradnik, który otrzymujesz będzie Ci pomocny w zdobyciu niezbędnych umiejętności związanych z wykonywaniem pomiarów parametrów procesowych.

Poradnik ten zawiera:

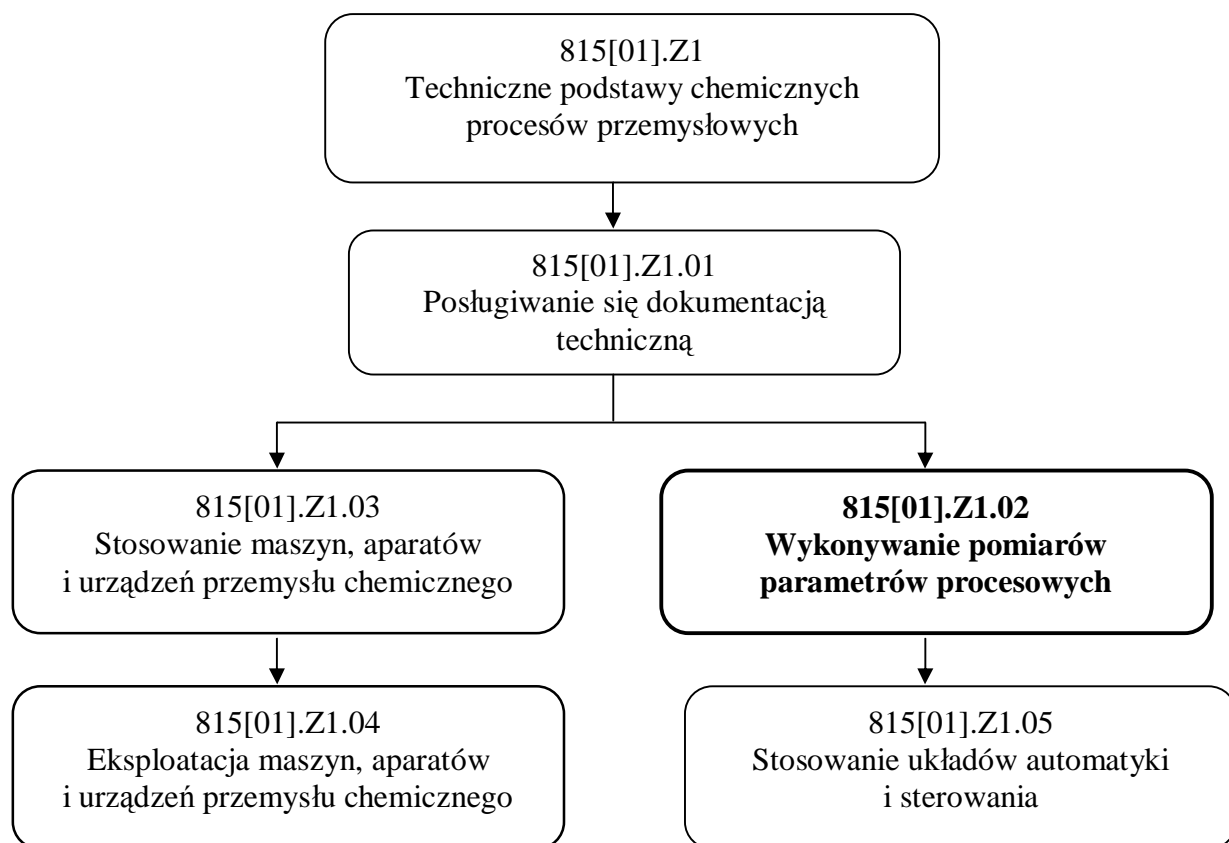
- wymagania wstępne – wykaz umiejętności, jakie powinieneś mieć już ukształtowane, abyś bez problemów mógł korzystać z poradnika,
- cele kształcenia – wykaz umiejętności, jakie ukształtujesz podczas pracy z poradnikiem,
- materiał nauczania – wiadomości teoretyczne niezbędne do opanowania treści jednostki modułowej,
- zestaw pytań, abyś mógł sprawdzić, czy już opanowałeś określone treści,
- ćwiczenia, które pomogą Ci zweryfikować wiadomości teoretyczne oraz ukształtować umiejętności praktyczne,
- sprawdzian postępów,
- sprawdzian osiągnięć, przykładowy zestaw zadań. Zaliczenie testu potwierdzi opanowanie materiału całej jednostki modułowej,
- literaturę uzupełniającą.

Jeżeli masz trudności ze zrozumieniem tematu lub ćwiczenia, to poproś nauczyciela o wyjaśnienie i ewentualne sprawdzenie, czy dobrze wykonujesz daną czynność.

Po opracowaniu materiału spróbuj rozwiązać sprawdzian z zakresu jednostki modułowej. Jednostka modułowa: Wykonywanie pomiarów parametrów procesowych, której treści teraz poznasz jest podstawową jednostką przygotowującą do ukształtowania kolejnych umiejętności z modułu Techniczne podstawy chemicznych procesów przemysłowych (schemat str.4)

## Bezpieczeństwo i higiena pracy

W czasie pobytu w pracowni musisz przestrzegać regulaminów, przepisów bhp i higieny pracy oraz instrukcji przeciwpożarowych, wynikających z rodzaju wykonywanych prac. Przepisy te poznałeś już podczas trwania nauki i należy je bezwzględnie stosować.



Schemat układu jednostek modułowych

## **2. WYMAGANIA WSTĘPNE**

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- korzystać z różnych źródeł informacji,
- posługiwać się technologią informacyjną,
- organizować stanowisko pracy z zachowaniem zasad ergonomii,
- prowadzić proste obliczenia matematyczne,
- znać i przeliczać jednostki miar,
- planować i organizować pracę zgodnie z zasadami bhp.

### 3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- rozróżnić rodzaje pomiarów: bezpośrednie i pośrednie,
- scharakteryzować pojęcia: wielkość fizyczna, obiekt mierzony, przyrząd pomiarowy, klasa dokładności przyrządu, czułość przyrządu, błąd pomiarowy, niepewność pomiaru,
- rozróżnić rodzaje błędów pomiarowych: systematyczny, przypadkowy, grubo, bezwzględny, względny,
- scharakteryzować metody pomiarów parametrów procesowych,
- dobrać przyrządy w zależności od parametrów badanego układu i założonej dokładności,
- posłużyć się instrukcjami obsługi podczas użytkowania przyrządów pomiarowych,
- zastosować przyrządy kontrolno-pomiarowe oraz sondy pomiarowe będące na wyposażeniu przyrządów pomiarowych,
- obliczyć i oszacować błędy pomiarów wartości wielkości fizycznej,
- rozpoznać na uproszczonych schematach punkty pomiaru parametrów procesowych: temperatury, ciśnienia, strumienia objętości lub masy, poziomu cieczy, masy, lepkości oraz gęstości,
- zmierzyć podstawowe wielkości elektryczne: napięcie, natężenie prądu, moc i rezystancję,
- zmierzyć wielkości charakteryzujące proces technologiczny: temperaturę, ciśnienie, poziom cieczy, natężenie przepływu cieczy i gazów, wilgotność, lepkość i gęstość płynów,
- wyjaśnić przyczyny powstawania błędów w pomiarach parametrów procesowych,
- zastosować komputer do obróbki wyników pomiarów,
- wykorzystać racjonalnie substancje i czynniki energetyczne,
- prowadzić dokumentację pomiarową,
- zinterpretować wyniki przeprowadzonych pomiarów,
- zorganizować stanowisko pracy laboratoryjnej,
- zastosować przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy oraz przeciwpożarowe podczas wykonywania prac pomiarowych.

## 4. MATERIAŁ NAUCZANIA

### 4.1. Klasyfikacja metod i przyrządów pomiarowych. Symbole i oznaczenia punktów pomiarowych. Rachunek błędów. Opracowanie i interpretacja wyników pomiarów

#### 4.1.1. Materiał nauczania

##### Pomiary

Prawidłowy przebieg procesów technologicznych uzależniony jest w dużej mierze od odpowiednio dobranej aparatury kontrolno-pomiarowej. Kontrola procesu pozwala na zachowanie optymalnych warunków jego przebiegu, dobór najważniejszych parametrów i otrzymanie produktów spełniających rygorystyczne wymogi jakościowe. Prowadzenie kontroli wiąże się z koniecznością dokonania pomiarów szeregu wielkości przy użyciu różnorodnych metod pomiarowych.

Wielkość oznacza cechę charakterystyczną jakiegoś ciała lub zjawiska. Wielkości, które ściśle określają cechy fizyczne ciała, nazywamy **wielkościami fizycznymi** lub mierzalnymi.

**Pomiar** dowolnej wielkości polega na porównaniu jej z inną wielkością tego samego rodzaju, zwaną miarą, przyjętą za jednostkę miary, np. porównanie długości odcinka z miarą linijki. Liczba wyrażająca stosunek mierzonej wielkości do jednostki miary nosi nazwę liczbowej wartości wielkości mierzonej.

Miara wielkości jest zawsze wielkością mianowaną i składa się z jednostki miary, która ma swoją nazwę, i z liczby, która wskazuje ile razy dana jednostka mieści się w wielkości mierzonej.

Pomiary dzielą się na: bezpośrednie i pośrednie.

**Pomiary bezpośrednie** – wartość wielkości mierzonej określa się przez bezpośrednie porównanie jej z jednostką miary lub odczytuje się na podziałce przyrządu pomiarowego. Podstawowymi metodami pomiarów bezpośrednich są: metoda bezpośredniego porównania, metoda różnicowa i metoda kompensacyjna (zerowa).

W metodzie bezpośredniego porównania przyrząd wskazuje lub zapisuje bezpośrednio wartość wielkości mierzonej. Metodę bezpośredniego porównania stosuje się szeroko w przemysłowych przyrządach kontrolnych (termometry rtęciowe, manometry sprężynowe, naczynia o określonej objętości do pomiaru objętości cieczy i in.).

W metodzie różnicowej mierzy się różnicę między wartościami wielkości mierzonej i pewnej wielkości znanej (wzorcowej). Metoda różnicowa jest bardzo dokładną metodą pomiaru i znajduje zastosowanie głównie do pomiaru wielkości liniowych.

Metoda kompensacyjna polega na zrównoważeniu wielkości mierzonej z wielkością znaną. Wartość wielkości mierzonej określa się po osiągnięciu równowagi ze znaną wartością tej wielkości. Moment równowagi określa się za pomocą odpowiedniego mechanizmu lub przyrządu zwanego wskaźnikiem zera.

Do przyrządów, w których zastosowano metodę kompensacyjną należą: manometry różnicowe z kompensacją siły, wagi równoramienne i in. Metoda kompensacyjna jest metodą bardziej dokładną niż metoda bezpośredniego porównania.

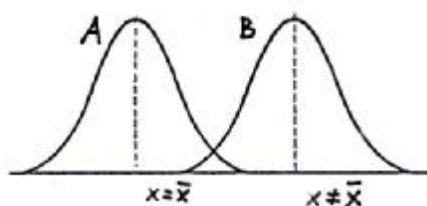
**Pomiary pośrednie** – wielkość mierzoną określa się na podstawie wyników bezpośredniego pomiaru innej wielkości związanej jednoznacznie zależnością z wielkością mierzoną. Przykładem pomiarów pośrednich są: określanie gęstości ciała na podstawie masy



i wymiarów geometrycznych, mocy prądu z napięcia i natężenia, wydajności na podstawie spadku ciśnienia itd.

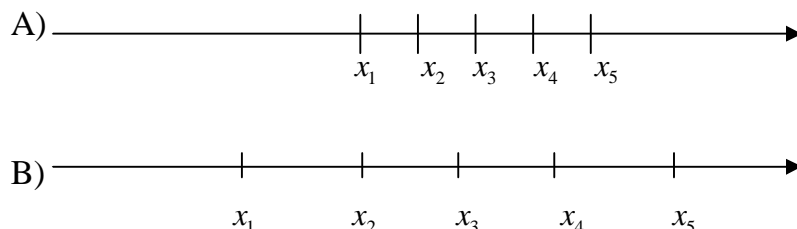
### Dokładność i precyzja metody pomiarowej

Jeżeli w wyniku pomiaru nastąpi zgodność wyników otrzymanych z „rzeczywistą” wartością badanej wielkości to mówi się o **dokładności metody pomiarowej**. Rozkład A (rys.1) przedstawia sytuację, w której wartość przeciętna wyników ( $\bar{x}$ ) w sposób losowy odchyłających się od „rzeczywistej” wartości badanej cechy ( $x$ ) jest jej równa. W tym przypadku mówi się, że metoda jest dokładna. Gdy wartość przeciętna ( $\bar{x}$ ) różni się od „rzeczywistej” wartości badanej cechy ( $x$ ) – metoda jest mniej dokładna (rozkład B).



Rys. 1. Rozkłady wyników pomiaru możliwe do uzyskania daną metodą: A) metoda dokładna, B) metoda niedokładna [3, s.23]

**Precyzja metody pomiarowej** określa rozproszenie wyników niezależnych analiz dokonanych określoną metodą przy wielokrotnym powtarzaniu doświadczenia w tych samych warunkach. Precyzja metody zwiększa się, jeśli wyniki są bardziej skupione. W przypadku kiedy wyniki ulegają dużemu rozproszeniu metoda jest mniej precyzyjna (rys.2).



Rys. 2. Precyzja metody pomiarowej: A) metoda bardziej precyzyjna, B) metoda mniej precyzyjna [3, s. 21]

Zmierzenie dowolnej wielkości wymaga uprzedniego ustalenia jednostki miary. Takie jednostki są podane w odpowiednich przepisach państwowych. W Polsce od 1966 roku obowiązuje Międzynarodowy Układ Jednostek Miar, zwany w skrócie **układem SI**.

Układ SI opiera się na: 7 jednostkach podstawowych i 2 jednostkach uzupełniających.

Jednostki podstawowe ustala się niezależnie od wymiaru innych jednostek. Zasadniczym warunkiem wyboru jednostek podstawowych jest możliwość ich dokładnego odtworzenia. Do nich należą: metr, sekunda, amper, kandela, kilogram, kelwin, mol. Jednostki uzupełniające to: radian i steradian.

Podstawowe i uzupełniające jednostki miar służą za podstawę do tworzenia jednostek pochodnych. Pochodne jednostki miar są to jednostki miar wielkości pochodnych, to znaczy wielkości wynikających z równań definicyjnych. Określają one pewne zależności między jednostkami podstawowymi.

### Przyrządy pomiarowe

**Przyrządami pomiarowymi** nazywa się wszystkie urządzenia służące do bezpośredniego i pośredniego porównywania mierzonych wielkości z jednostkami miary.

Narzędzia pomiarowe można klasyfikować biorąc pod uwagę rozmaite kryteria. W zależności od zasady działania rozróżnia się przyrządy mechaniczne, hydrauliczne, elektryczne, optyczne i inne.

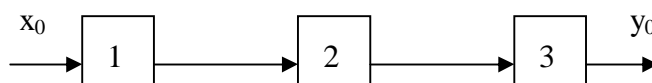
Ze względu na przeznaczenie narzędzia pomiarowe można podzielić na robocze i wzorcowe. Podział ten łączy się zwykle z dokładnością pomiaru, którą można uzyskać za pomocą danego narzędzia. Narzędzia wzorcowe odznaczają się najwyższą dokładnością i służą do sprawdzania i wzorcowania innych przyrządów pomiarowych. Wśród roboczych narzędzi pomiarowych można wyróżnić narzędzia (przyrządy, aparaty) techniczne (przemysłowe) i laboratoryjne. Ze względu na warunki pracy dzieli się je na stacjonarne i przenośne. Ważnym wyróżnikiem jest działanie miernika. Rozróżnia się przyrządy wskazujące i rejestrujące.

Istnieje poza tym wiele innych kryteriów umożliwiających klasyfikowanie narzędzi pomiarowych (np. mierzona wielkość, umiejscowienie miernika itd.).

Szczegółowej klasyfikacji narzędzi pomiarowych dokonuje się w poszczególnych grupach, przeznaczonych do pomiarów określonych wielkości w zależności od potrzeb.

### Czułość i dokładność przyrządu pomiarowego

Zmiana wielkości mierzonej na wyjściową bardzo rzadko odbywa się w sposób bezpośredni. Na ogół przyrząd pomiarowy składa się z wielu członów (rys.3), z których każdy, w mniejszym lub większym stopniu, wpływa na wynik pomiaru.





Rys. 3. Schemat blokowy przyrządu pomiarowego.  $x_0$  – wielkość sygnału wejściowego,  $y_0$  – wielkość sygnału wyjściowego [5, s. 19]

Dla pewnej wartości  $x_{sr}$  sygnału wejściowego następuje skokowa zmiana wartości sygnału wyjściowego. Stosunek przesunięcia wskazówki do przyrostu wartości wielkości mierzonej, powodującej to przesunięcie, nazywa się **czułością przyrządu pomiarowego**. Im większa jest czułość przyrządu, tym mniejszy ułamek wielkości mierzonej można zmierzyć. Czułość jest zatem miarą służącą do porównywania ze sobą przyrządów tego samego typu.

Ze względu na występowanie tarcia w mechanizmach przyrządów pomiarowych występuje tzw. próg czułości, czyli najmniejsza wartość wielkości mierzonej, jaką może wskazać dany przyrząd pomiarowy.

W technice stosuje się przyrządy, za pomocą których wykonuje się pomiary z określonym z góry błędem, tzw. błędem dopuszczalnym. W zależności od wielkości błędów dopuszczalnych przyrządy pomiarowe dzielą się na klasy dokładności. **Klasa dokładności** charakteryzuje zatem wartość graniczną niedokładności wskazań wyrażoną w procentach wartości umownej. Wartością umowną jest najczęściej górna granica zakresu pomiarowego, ale może nią być też wartość wskazana, zakres wskazań, długość podziałki. Informacje o rodzaju wartości umownej podane są na przyrządzie w formie odpowiedniego symbolu, np.:

0,5	- przyrząd klasy 0,5, dla którego wartością umowną jest zakres pomiarowy
	- przyrząd klasy 0,5, ale wartością umowną jest wartość wskazana
	- przyrząd klasy 0,5, dla którego wartością umowną jest zakres wskazań

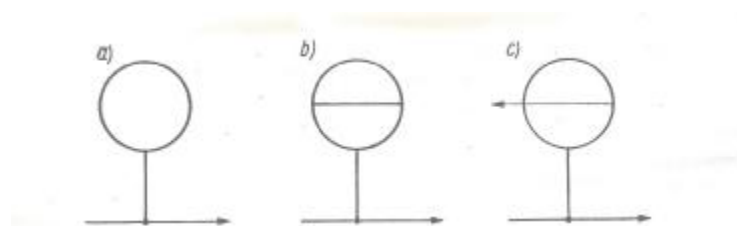
Przemysłowe przyrządy pomiarowe są znormalizowane szeregiem: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5. Na przykład przyrząd klasy 1 będzie wskazywał mierzoną wartość z błędem  $\pm 1\%$  w każdym punkcie zakresu pomiarowego.

### Symbole i oznaczenia

Na schematach automatycznej kontroli i sterowania produkcji występują symbole graficzne i oznaczenia literowo-cyfrowe układów pomiarowych i automatyki. Wszystkie stosowane symbole i oznaczenia na schematach technologicznych powinny być zgodne z polską normą PN-83/M-42007. Automatyka przemysłowa. Symbole i oznaczenia na schematach technologicznych.

W wymienionej normie występują graficzne oznaczenia symboli, którymi oznakowano punkty pomiarowe, elementy wykonawcze oraz linie sygnałowe.

Na rysunku 4 pokazano oznakowanie punktów pomiarowych. W zależności od charakteru pracy punktu pomiarowego występują dalsze znaki na tym okręgu.



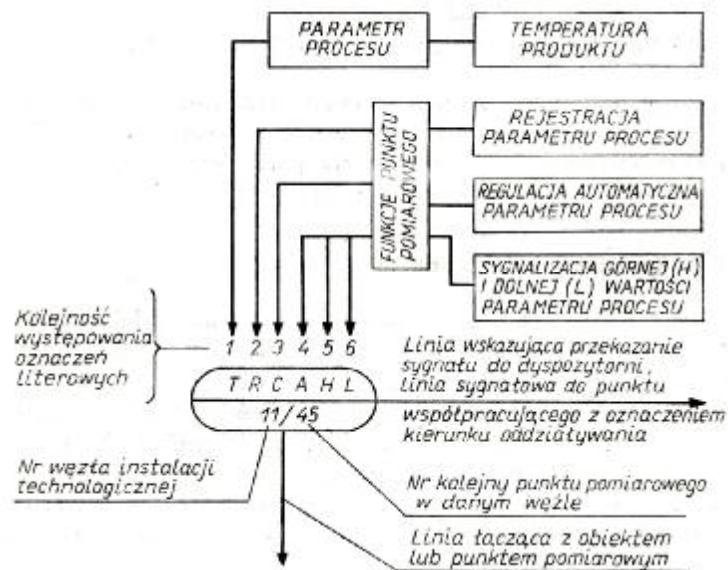
Rys. 4. Przykładowe oznaczenia punktów pomiarowych [2, s.192]

Rys. 4a i b przedstawiają ogólny symbol elementu wykonawczego, rys. 4c stanowi element wykonawczy z kierunkiem działania określonym strzałką. Linie sygnałowe są przedstawione w postaci linii cienkiej ciągłej ze strzałkami wskazującymi kierunek przekazania sygnałów lub wzajemnie się przecinających w przypadku wspólnego działania impulsów.

W normie podano następujące oznaczenia literowe występujące przy graficznych symbolach układów pomiarowych i automatyki:

A	- sygnalizacja	L	- poziom, zakres minimum
B	- litera zerowa	M	- wilgotność
C	- regulacja automat	N, O	- litery rezerwowe
D	- gęstość, masa	Q	- jakość, całkowanie, sumowanie
E	- wielkości elektryczne	P	- ciśnienie, próżnia
F	- natężenie przepływu	R	- radioaktywność regulacja
G	- wymiar, położenie	S	- prędkość
H	- sterowanie ręczne, zakres max.	T	- temperatura
I	- wskazania	U	- wartość wielu zmiennych
J	- komutacja	W	- siła, ciężar
K	- czas, program	V	- lepkość
Z	- droga, przesunięcia położenia		

Niezależnie od podanego określenia każdej litery, ich znaczenie zależy od kolejności występowania w opisie graficznym punktu pomiarowego. Miejsce pierwsze lub pierwsze i drugie są przeznaczone do oznakowania wartości mierzonych lub sterowanych. Następne kolejne oznaczenia wskazują funkcję przyrządów pomiarowych i elementów automatyki. Na rysunku 5 pokazano przykład oznaczenia punktu pomiarowego temperatury produktu.



Rys. 5. Przykład oznaczenia punktu pomiarowego temperatury produktu [2, s.193]

### Rodzaje błędów

Jeśli zachodzi niezgodność wyniku pomiaru z wartością wielkości mierzonej to wynik taki obarczony jest błędem. Źródłami błędów mogą być: metoda, sposób pomiaru, wpływ temperatury, przedmiot mierzony, narzędzie pomiarowe oraz odczytanie wskazania. Według podziału klasycznego wyróżnia się następujące błędy:

- systematyczne,
- przypadkowe,
- grube (nadmierne).

### Błędy systematyczne

Błędy systematyczne powstają podczas wielu pomiarów tej samej wielkości i w tych samych warunkach. Niezmienione warunki uzyskuje się, gdy pomiar wykonuje się tą samą metodą pomiarową, tym samym narzędziem pomiarowym, oraz gdy pomiar wykonuje ta sama osoba, w krótkim przedziale czasu.

Błędy systematyczne mogą być wywołane przez przyczyny tkwiące w samym przyrządzie i przez przyczyny zewnętrzne. Błędy wywołane przez przyczyny tkwiące w przyrządzie (błędy systematyczne wewnętrzne – niedokładności w wykonaniu przyrządu, podziałości) dadzą się wyeliminować przez tzw. wzorcowanie przyrządu, tzn. porównanie jego wskazań ze wskazaniami bardzo dokładnego przyrządu wzorcowego. Błędy systematyczne powstałe z przyczyn zewnętrznych muszą być eliminowane w konkretnych warunkach pomiaru. Najczęściej wystarczy wybór odpowiedniej metody pomiarowej wykluczającej powstawanie tych błędów.

### Błędy przypadkowe

Błędy przypadkowe nie dają się wyeliminować, ani nie można ich nawet przewidzieć, natomiast możemy określić granice ich zmienności. Błędy przypadkowe powstają z wielu drobnych błędów i podczas wielu powtórzeń pomiaru mogą zmieniać się w sposób nieprzewidywany.

Błędy przypadkowe mogą być wywołane przez następujące przyczyny:

- z winy wykonującego pomiar: wada wzroku, niedostateczne wykszolenie, zły stan zdrowia, trudne warunki odczytu (złe oświetlenie skali, odbicie światła, cień, zjawisko paralaksy), itp.,
- określone statyczne lub/i dynamiczne własności przyrządu, zmienne i nieokreślone wpływy otoczenia i metody pomiaru.

### **Błędy grube (nadmierne)**

Wyniki znacznie odbiegające swoją wartością od pozostałych nazywamy błędami grubymi. Przyczyną ich powstawania może być uszkodzenie przyrządu, zły montaż lub wyjątkowa niefachowość personelu wykonującego pomiary. Ten rodzaj błędów można w prosty sposób wyeliminować. Po odrzuceniu wyników analizy obarczonych błędami nadmiernymi możemy dopiero przystąpić do ich dalszej analizy.

### **Zasady zaokrąglania liczb**

Zebrane na podstawie doświadczeń dane są następnie poddawane określonemu postępowaniu matematycznemu w celu określenia czy szansa otrzymania spodziewanej odpowiedzi jest mała czy duża. Dokonując obliczeń należy obchodzić się z liczbami w ten sposób, aby nie dawały one fałszywego wrażenia dokładności pomiarów, ani nie były tak zaokrąglone, aby dawały fałszywe wrażenie stałości wyników, np. wynik pomiaru temperatury dokonany termometrem z podziałką  $0,1^{\circ}\text{C}$  podamy z dokładnością do jednego miejsca po przecinku.

W celu zapewnienia systematycznej procedury obliczeń podaje się kilka zasad, które mają zapewnić dwie rzeczy: żeby podane liczby były istotne i żeby żadna liczba istotna nie została pominięta w obliczeniach.

Dane powinny być podawane do ostatniej cyfry znaczącej. Istotą tej zasady jest to, że danych nie powinno się zaokrąglać nim się je przeanalizuje statystycznie, ponieważ zazwyczaj miejsca zaokrąglone stanowią o różnicy między zbiorami pomiarów.

Przy obliczaniu odchylenia standardowego lub innych statystyk należy wykonywać obliczenia bez zaokrąglania jakichkolwiek liczb dopóki obliczenie nie jest zakończone.

Przy zaokrąglaniu odrzucić wszystkie cyfry, które mają być odrzucone w jednym działaniu. Zaokrąglając liczby pamiętamy, że jeżeli pierwsza z wykreślonych cyfr jest:

- mniejsza niż 5, to ostatnia cyfra pozostająca nie ulega zmianie,
- większa niż 5, to ostatnią cyfrę pozostającą zwiększa się o jeden,
- równa 5, to należy zwiększyć ostatnią cyfrę o jeden, jeśli jest ona nieparzysta, a pozostawić bez zmian jeśli jest parzysta.

### **Analiza błędów**

#### **Eliminacja błędów grubych**

W statystyce matematycznej zostało opracowane kilka metod eliminacji wyników nadmiernych. Jedną z nich została zaproponowana przez Dixona dla obserwacji o małej liczbie pomiarów. W tej metodzie obserwacje są uporządkowane w sposób rosnący lub malejący (pomiar wątpliwy zawsze jako pierwszy).

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$$

Znając liczbę pomiarów  $n$  możemy obliczyć parametr  $u$ .

$$\begin{aligned} \text{dla } n < 8 \quad u &= \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1} \\ \text{dla } 8 \leq n < 15 \quad u &= \frac{x_3 - x_1}{x_{n-1} - x_1} \\ \text{dla } n > 15 \quad u &= \frac{x_3 - x_1}{x_{n-2} - x_1} \end{aligned}$$

przy czym  $x_1$  jest wynikiem wątpliwym.

**Tabela 1.** Wartości parametru  $u_a(n)$  testu Dixona [3, s. 86]

Liczba obserwacji $n$	$\alpha$			Liczba obserwacji $n$	$\alpha$		
	0,10	0,05	0,01		0,1	0,05	0,01
3	0,886	0,941	0,988	12	0,490	0,546	0,642
4	0,679	0,765	0,889	13	0,467	0,521	0,615
5	0,557	0,642	0,780	14	0,448	0,501	0,593
6	0,482	0,560	0,698	15	0,472	0,525	0,616
7	0,434	0,507	0,637	16	0,454	0,507	0,595
8	0,650	0,710	0,829	17	0,438	0,490	0,577
9	0,594	0,657	0,776	18	0,424	0,475	0,561
10	0,5,1	0,612	0,726	19	0,412	0,462	0,547
11	0,517	0,576	0,679	20	0,401	0,450	0,535

Wartość  $u$  porównujemy z wartością krytyczną  $u_a(n)$  odczytaną z tabeli 1 dla założonego poziomu ufności  $1-\alpha$  i dla znanego  $n$ . Jeśli  $u > u_a(n)$  to wynik wątpliwy  $x_i$  zostaje odrzucony.

### Rachunek błędów przypadkowych

Przeprowadzając analizę jakiejś wielkości  $x$  otrzymujemy szereg wyników  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  obarczonych pewnym błędem. Do określenia wartości wielkości najbardziej zbliżonej do wielkości rzeczywistej ( $\bar{x}$ ) wykorzystujemy średnią arytmetyczną z wyników pomiarów:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

gdzie:  $x_i$  - wynik pomiaru  
 $n$  - ilość pomiarów.

Średnia arytmetyczna ze skończonej ilości pomiarów, przyjęta jako wynik ostateczny pomiaru, jest również obarczona błędem (wynika to z faktu popełnienia błędów przy pojedynczym pomiarze). Średni błąd pojedynczego pomiaru:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Błąd średni średniej arytmetycznej będzie  $\sqrt{n}$  razy mniejszy od błędu średniego poszczególnych pomiarów, czyli:

$$s_s = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}}$$

Jak widać  $s_s = \frac{S}{\sqrt{n}}$  maleje ze wzrostem ilości pomiarów, a więc zwiększając ilość pomiarów można zwiększyć dokładność ostatecznego wyniku.

Ostateczny wynik pomiaru podaje się w postaci:

$$x = \bar{x} \pm k \cdot s_s \quad (1)$$

Przedział dookoła wartości oszacowanej  $\bar{x}$  określa z zadaniem prawdopodobieństwem, że wartość oczekiwana  $x$  jest w nim zawarta. Tak określony przedział nazywa się przedziałem ufności. Wartość prawdopodobieństwa, przy którym spełniony jest ten warunek, nazywa się poziomem ufności.

Ponieważ szerokość przedziału ufności zależy od przyjętego poziomu ufności  $(1-a)$ , należy zdecydować, jak wielkie może być prawdopodobieństwo umiejscowienia wartości  $x$  poza wyznaczonym przedziałem. Przy opracowywaniu wyników pomiarów technicznych przyjmuje się zwykle  $a = 0,05$ , przy pomiarach zaś laboratoryjnych  $a = 0,01$  lub nawet niekiedy  $a = 0,001$ . Zatem, przy założeniu, że  $a = 0,05$  ( $a = 0,01$ ) można stwierdzić z prawdopodobieństwem popełnienia błędu równym 5% (1%), że wartość prawdziwa wielkości mierzonej znajduje się w określonym przedziale ufności.

Wartość wyniku ustalona wzorem (1) odpowiada prawdopodobieństwu 68%. Chcąc mieć większą pewność można przyjąć wartość  $3 \cdot s_s$  jako niepewność oznaczenia mierzonej wielkości. Przy tym założeniu ostateczny wynik należy podać w postaci:

$$x = \bar{x} \pm 3 \cdot s_s$$

Błąd równy  $3 \cdot s_s$  nazywamy błędem maksymalnym ( $\Delta x$ ). W ten sposób ostateczny wynik ustalony jest z prawdopodobieństwem równym 0,997.

### Opracowywanie i interpretacja wyników pomiarów

W zależności od rodzaju pomiarów określających wymagania odnośnie dokładności wyników ustala się: klasę dokładności przyrządów, które powinny być użyte do wykonania danych pomiarów, czułości wskazań przyrządów i zakres wskazań. Zakres wskazań ustala się przez założenie, że maksymalna wartość wielkości mierzonej jest równa 3/4 wartości końcowej skali przyrządu.

Przy pomiarach, gdzie ostateczny wynik zależy od szeregu wielkości ustalonych przez pomiar, należy dokonać wstępnej analizy błędów, która pozwoli na zorientowanie się, jak poszczególne wielkości wpływają na błąd ostatecznego wyniku, to znów da możliwość ustalenia dokładności poszczególnych pomiarów.

Wyniki pomiarów układa się zwykle w przejrzyste tablice. Każda tablica powinna posiadać swoją nazwę, numer, datę i miejsce wykonania pomiarów oraz czytelny podpis wykonującego pomiary. Przyjęte oznaczenia muszą być zgodne z normami. W razie przyjęcia innych oznaczeń należy podać ich znaczenie. Jednostki, w których podawane są wyniki, powinny być w tablicach wyraźnie oznaczone. Nie należy również przepisywać notatek, stwarza to dodatkowe źródło błędów.

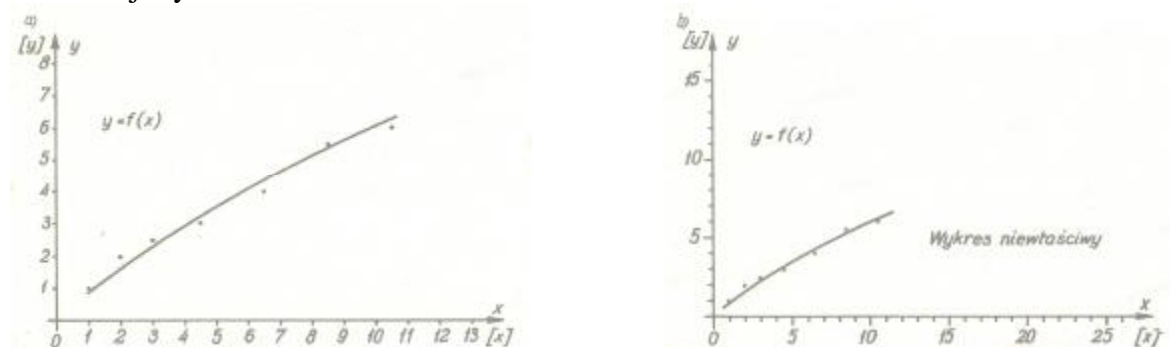
Tabelaryczne ujęcie wyników jest jednak mało przejrzyste, nie daje poglądu na charakter zależności między występującymi wielkościami. Poza tym, przy korzystaniu z wyników pomiarów kłopotliwe jest określanie punktów pośrednich, nie wyznaczonych przez pomiar i obliczenia. Zwykle tabelaryczne ujęcie jest traktowane jako materiał wyjściowy do

opracowania graficznego. Konstruując wykres na osi odciętych odkłada się zmienną niezależną, a na osi rzędnych wielkości  $y$ . Skale należy tak dobrać, aby charakter krzywej wyraźnie występował. Oprócz tego, odczyt wielkości przedstawionych graficznie winien gwarantować dokładność wyznaczoną obliczonym błędem pomiaru.

Ekstrapolowanie krzywych poza obszar określony pomiarami jest na ogół niedopuszczalne; możliwe tylko w przypadku, kiedy charakter krzywych jest znany.

W oparciu o wyniki pomiarów można, używając metody „najmniejszych kwadratów”, przedstawić konkretne zależności (krzywe) przy pomocy odpowiednio dobranych funkcji. Jest to sposób dokładny, używany powszechnie w opracowaniach naukowych.

Istotną rolę przy sporządzaniu wykresu odgrywa zastosowana na tym wykresie podziałka. Przy jej wyborze należy przede wszystkim uwzględnić to, aby punkty pomiarowe, przez które przechodzi wykreślana krzywa, rozłożone były na całej powierzchni sporządzanego wykresu, co ilustruje rys.6.

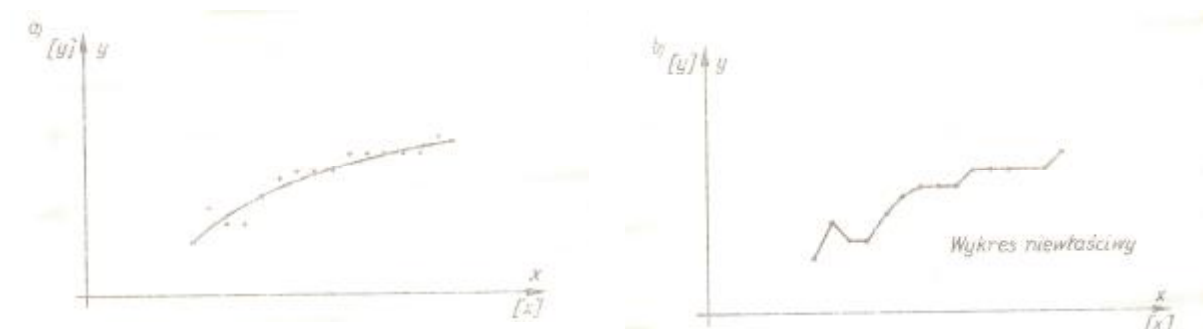


Rys. 6. Właściwe (a) i niewłaściwe (b) wykorzystanie płaszczyzny wykresu [7, s.109]

Jeżeli na wykresie oprócz krzywej empirycznej przedstawiona jest dla porównania krzywa teoretyczna lub jeżeli pokazywanych na nim krzywych jest więcej niż jedna, to krzywe te należy odpowiednio oznaczyć kolorami lub przy pomocy symboli.

Często dzieje się tak, że punkty wytyczone przez pomiar nie leżą na krzywej; jest to wynik błędów, jakimi obarczone są wyniki pomiarów. W zdecydowanej większości przypadków nie wolno łączyć poszczególnych punktów danej przedstawianej na danym wykresie krzywą łamaną. Ilustruje to rys.7. Krzywą zwykle kreśli się w ten sposób, aby suma kwadratów odległości punktów od krzywej była minimalna, poza tym krzywa musi być ciągła i regularna. Takie wykreślenie krzywej nazywamy graficznym wyrównaniem. Wartości, które daje krzywa są najbardziej zbliżone do rzeczywistych.

Graficzne wyrównanie jest względnie łatwe przy dużej dokładności pomiarów, przybliżonej znajomości charakteru krzywej i dostatecznej ilości punktów określonych przez pomiar. Należy określić przynajmniej 5 punktów. Najwięcej kłopotu sprawia zwykle poprowadzenie końca krzywej, dlatego celowym jest zagęszczenie punktów w tym miejscu. Dla większości pomiarów technicznych takie graficzne wyrównanie jest wystarczające.



Rys. 7. Właściwe (a) i niewłaściwe (b) poprowadzenie krzywej wykresu [7, s.112]



### 4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest wielkość fizyczna i na czym polega pomiar wielkości fizycznej?
2. Scharakteryzuj podstawowe metody pomiarów bezpośrednich?
3. Scharakteryzuj pomiar pośredni?
4. Podaj przykład pomiaru pośredniego?
5. Jaki układ jednostek obowiązuje w Polsce?
6. Co to jest przyrząd pomiarowy?
7. Wymień podstawowe kryteria klasyfikacji przyrządów pomiarowych i scharakteryzuj je?
8. Od czego zależy znaczenie oznakowania punktów pomiarowych?
9. Wymień i scharakteryzuj rodzaje błędów pomiarowych?
10. Jakie czynniki są najczęściej przyczyną powstawania błędów pomiarowych?
11. Jaki rodzaj błędów jest eliminowany jako pierwszy w procesie analizy błędów?
12. Na czym polega graficzne wyrównanie danych pomiarowych?
13. Co to jest ekstrapolacja i kiedy jest dopuszczalna?

### 4.1.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Przedstaw wartości podanych wielkości w jednostkach obowiązującego układu SI:

$$500 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3} =$$

$$3 \frac{\text{km}}{\text{h}} =$$

$$250 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} =$$

$$600 \text{ g} =$$

$$996 \text{ hPa} =$$

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) postępując zgodnie z zasadami zamiany jednostek podać wartości podanych wielkości w jednostkach obowiązującego układu SI,
- 3) zapisać wyniki pracy w zeszycie.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- Poradnik dla ucznia.

#### Ćwiczenie 2

W pewnym procesie należy kontrolować ciśnienie, którego wartość waha się w granicach 40 bar. Wybierz, spośród proponowanych manometrów, właściwy przyrząd. Uzasadnij swój wybór.

- manometr o klasie dokładności 1, zakresie pomiarowym 0–300 bar,
- manometr o klasie dokładności 1,5, zakresie pomiarowym 0–100 bar.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) określić wielkość błędu dla proponowanych manometrów uwzględniając ich dokładność i zakres pomiarowy,
- 3) zaprezentować efekty swojej pracy na forum grupy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura,
- materiały piśmiennicze,
- kalkulator.

### Ćwiczenie 3

Wykonano serię pomiarów temperatury produktu w pewnym procesie. Uzyskano następujące wyniki:

T, °C	21,2	21,6	21,3	21,2	21,7	22,2	21,0	21,5	21,3	21,4	21,3	21,1	21,5	21,0
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Przeprowadź ich analizę błędów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

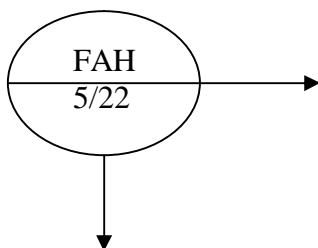
- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) przeprowadzić analizę pod kątem występowania błędów grubych,
- 3) przeanalizować błędy przypadkowe,
- 4) podać wynik pomiaru,
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy na forum grupy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- materiały piśmiennicze,
- literatura.

### Ćwiczenie 4

Przeanalizuj oznaczenie punktu pomiarowego.



Rysunek do ćwiczenia 4

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) podać znaczenie oznaczeń występujące w podanym przykładzie,
- 3) porównać wyniki swojej pracy z wynikami pozostałych uczniów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- materiały piśmiennicze,
- norma: PN-83/M-42007. Automatyka przemysłowa. Symbole i oznaczenia na schematach technologicznych.

### Ćwiczenie 5

Zbadano zależność pomiędzy mocą urządzenia grzewczego (P) a temperaturą medium ogrzewanego (T). Uzyskano następujące wyniki:

P, W	50	100	150	200	250	300	350	400
T, °C	15	17	20	21	23	25	26	29

Jaka będzie temperatura badanego medium dla mocy urządzenia 180 W? Zakładając, że zależność pomiędzy badanymi wielkościami jest w całym zakresie prostoliniowa podaj temperaturę medium dla mocy urządzenia 550 W. Ćwiczenie wykonaj ręcznie oraz za pomocą dowolnego programu komputerowego służącego do obróbki danych. Porównaj rezultaty.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) przedstawić wyniki w formie graficznej wykorzystując zasadę graficznego wyrównania,
- 3) odczytać szukaną wartość temperatury w badanym zakresie,
- 4) dokonać ekstrapolacji wyników poza zakres przeprowadzonych badań,
- 5) dokonać odczytu wartości temperatury w zakresie ekstrapolacji,
- 6) przeanalizować zalety graficznej prezentacji wyników pomiarów na forum grupy,
- 7) zapisać wnioski w formie notatki.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- komputer z oprogramowaniem do graficznej obróbki danych,
- literatura.

### 4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wyjaśnić co to jest wielkość fizyczna i na czym polega pomiar wielkości fizycznej?	..	..
2) zastosować przyrząd w zależności od parametrów badanego układu i założonej dokładności?	..	..
3) rozróżnić rodzaje błędów pomiarowych i przeprowadzić ich analizę?	..	..
4) rozpoznać na uproszczonych schematach punkty pomiaru parametrów procesowych i objaśnić je?	..	..
5) prowadzić dokumentację pomiarową?	..	..
6) zastosować komputer do obróbki wyników pomiarów?	..	..
7) przedstawić graficznie wyniki pomiarów?	..	..

## 4.2. Pomiar podstawowych wielkości elektrycznych

### 4.2.1. Materiał nauczania

#### Podstawowe wielkości elektryczne

**Prąd elektryczny** – ruch ładunków elektrycznych wzdłuż przewodnika. Dobrymi przewodnikami elektryczności są: metale, węgiel oraz roztwory wodne kwasów, zasad i soli.

**Natężenie prądu elektrycznego** – wartość ładunku elektrycznego przepływającego przez jednostkowy przekrój przewodnika w jednostce czasu. Jednostką natężenia prądu jest amper (**A**), a symbolem natężenia we wzorach fizycznych jest **I**.

**Napięcie elektryczne** – różnica potencjałów elektrycznych między dwoma punktami obwodu elektrycznego lub pola elektrycznego. Napięcie elektryczne to stosunek pracy wykonanej podczas przenoszenia ładunku między punktami, dla których określa się napięcie do wartości tego ładunku. W przypadku źródła napięcia (prądu) elektrycznego jest jego najważniejszym parametrem i określa zdolności źródła energii elektrycznej do wykonania pracy. Jednostką napięcia jest wolt (**V**), a symbolem napięcia we wzorach fizycznych jest **U**.

**Opór elektryczny (rezystancja)** – jest miarą oporu, z jaką dany materiał przeciwstawia się przepływowi prądu elektrycznego. Zwyczajowo rezystancję oznacza się symbolem **R**. Jednostką rezystancji jest om ( **$\Omega$** )

**Moc elektryczna** – jest to ilość energii elektrycznej dostarczana w jednostce czasu. Moc elektryczną mierzymy w watach W, a symbolem mocy elektrycznej we wzorach fizycznych jest **P**.

#### Mierniki podstawowych wielkości elektrycznych

**Miernikami** nazywa się przyrządy pomiarowe wywzorcowane w jednostkach miary wielkości mierzonej. Podzespół miernika, w którym pod wpływem wielkości mierzonej następuje wskazanie wartości mierzonej, nazywa się **urządzeniem pomiarowym**.

Ze względu na sposób przetwarzania sygnału pomiarowego w procesie pomiarowym, przyrządy pomiarowe wielkości elektrycznych dzielą się na analogowe i cyfrowe.

Mierniki można podzielić na mierniki o działaniu bezpośrednim i mierniki o działaniu pośrednim.

Mierniki o działaniu bezpośrednim są to mierniki, w których wartość wielkości mierzonej otrzymuje się bezpośrednio, bez potrzeby wykonywania dodatkowych obliczeń opartych na zależności funkcjonalnej wielkości mierzonej od innych wielkości.

Mierniki o działaniu pośrednim są to mierniki, w których wartość wielkości mierzonej otrzymuje się pośrednio z pomiarów bezpośrednich innych wielkości związanych zależnością funkcjonalną z wielkością mierzoną.

Urządzenie odczytowe w miernikach analogowych składa się z podzielnicy (częściej nazywanej skalą) z naniesioną nań podziałką oraz wskazówki. Długość podziałki i liczba działek jest ściśle związana z klasą miernika. Podziałki mierników klasy 0,1 mają długość od 200 mm do 300 mm i 150 do 200 działek, klasy 0,2 – około 150 mm i 100 do 120 działek, a podziałki mierników pozostałych klas mają długość od 60 mm do 120 mm i od 40 do 120 działek. Wskazówki mierników mogą być materialne lub świetlne.

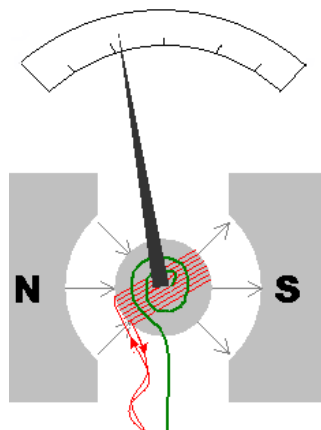
W urządzeniach cyfrowych wynik pomiaru wyświetlany jest na ekranie miernika jako wartość dyskretna wielkości mierzonej.

W celu poinformowania użytkownika o rodzaju miernika i jego właściwościach metrologicznych w widocznym miejscu na podzielnicy lub obudowie powinny być umieszczone, między innymi, następujące dane (norma PN-92/E-06501/01):

- symbol legalnej jednostki wielkości mierzonej (np. A, V, W itp.);
- nazwa lub znak wytwórcy;
- numer fabryczny, a dla mierników o wskaźniku klasy dokładności 0,3 i mniejszym - data produkcji (co najmniej rok);
- symbol rodzaju miernika i ewentualnie przetwornika pomiarowego;
- symbol klasy dokładności;
- symbol rodzaju prądu i liczby ustrojów pomiarowych;
- symbol napięcia probierczego obwodów pomiarowych względem obudowy;
- oznaczenie fabryczne typu.

### Amperomierze

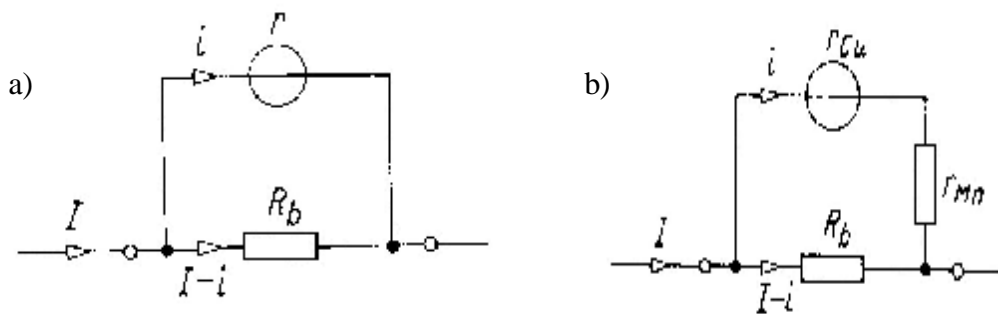
Amperomierz – przyrząd pomiarowy służący do pomiaru natężenia prądu elektrycznego. Pomiaru natężenia prądu dokonuje się poprzez oddziaływanie przewodnika z prądem i pola magnetycznego (rys.8). Najprostszym miernikiem natężenia prądu jest amperomierz bezpośredni. W amperomierzu tym cały mierzony prąd płynie przez urządzenie pomiarowe. Zrozumiałe jest, że ze względu na sprężyny lub taśmy zawieszenia i obciążalność cewki prąd doprowadzony nie może być duży. Stąd też największy prąd znamionowy amperomierzy bezpośrednich nie przekracza na ogół 25 mA.



**Rys. 8.** Zasada działania amperomierza [5].

— - przewody doprowadzające prąd mierzony, — - sprężyna napinająca wskazówkę

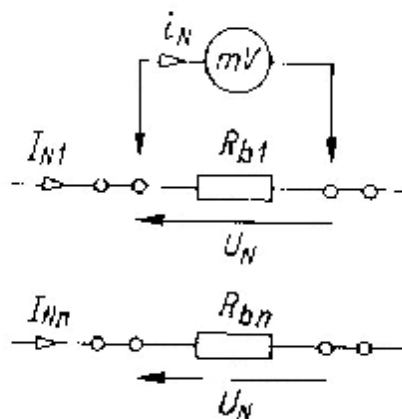
W celu zwiększenia zakresu pomiarowego amperomierza ponad 25 mA bocznikuje się jego cewkę za pomocą opornika zwanego bocznikiem. Przez cewkę płynie wówczas tylko część mierzonego prądu, a reszta przez bocznik. Układ takiego amperomierza przedstawiono na rys. 9a. Uzwojenie cewki i bocznik są wykonane z materiału o znikomym współczynniku temperaturowym rezystancji, np. manganinu. Jednakże cewki nie nawijają się przewodem manganinowym, gdyż jej rezystancja wzrosłaby 24-krotnie w porównaniu z cewką miedzianą (rezystywność manganinu jest 24-krotnie większa od rezystywności miedzi). Wywołałoby to zwiększenie rezystancji bocznika, a w konsekwencji 24-krotny wzrost mocy pobieranej przez miernik. W praktyce wykonuje się bocznik z manganinu, a w celu zmniejszenia wpływu zmian rezystancji cewki (na skutek zmian temperatury) włącza się z nią szeregowo opornik z manganinu. Układ amperomierza stanowią teraz dwie równoległe gałęzie (rys. 9b).



**Rys. 9.** Układ amperomierza z: a) bocznikiem, b) bocznikiem i opornikiem korygującym błąd temperaturowy  
 $I$  – prąd mierzony,  $i$  – prąd ustroju,  $R_b$  – rezystancja bocznika,  $r$  – rezystancja ustroju,  $r_{Mn}$  – rezystancja opornika [1, s. 208]

Amperomierze bezpośrednie wywzorcowane w mikroamperach lub miliamperach nazywa się odpowiednio mikroamperomierzami i miliamperomierzami.

Najczęściej występującym błędem dodatkowym w amperomierzach jest błąd temperaturowy. Błąd ten pochodzi ze zmian momentu zwracającego sprężyn i indukcji magnetycznej magnesów. W celu zmniejszenia błędu temperaturowego wprowadza się szeregowo do układu amperomierza manganinowy opornik.



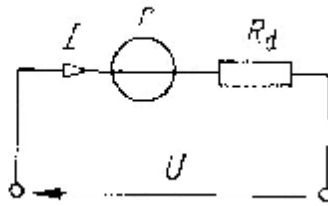
**Rys. 10.** Układ amperomierza z bocznikami wymiennymi [1, s.211]

Amperomierze tablicowe mają zwykle jeden zakres pomiarowy, amperomierze laboratoryjne - kilka do kilkunastu zakresów. Zwiększenie liczby zakresów uzyskuje się bądź przez wyposażenie miernika w kilka boczników wymiennych (rys. 10), bądź też przez zastosowanie bocznika uniwersalnego. Rezystancją boczników wymiennych dobiera się w taki sposób, aby spadek napięcia  $U_N$  na każdym boczniku był taki sam.

Często celem zmniejszenia liczby zacisków stosuje się przełącznik obrotowy, za pomocą którego można nastawić wymagany zakres pomiarowy.

## Woltomierze

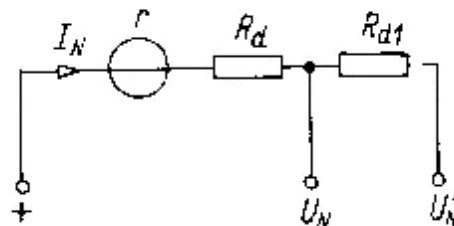
Woltomierz – jest to przyrząd pomiarowy za pomocą którego mierzy się napięcie elektryczne. Pomiar napięcia umożliwia magnetoelektryczny ustrój pomiarowy z szeregowo włączonym opornikiem (rys. 11), wykonanym z manganinu, konstantanu lub innego materiału o małym współczynniku temperaturowym rezystancji. Idealny woltomierz posiada nieskończenie dużą rezystancję wewnętrzną. W związku z tym oczekuje się pomijalnie małego upływu prądu przez cewkę pomiarową.



Rys. 11. Układ woltomierza [1, s.212]

Odchylenie organu ruchomego woltomierza jest proporcjonalne do mierzonego napięcia. Podziałkę można wywzorcować bezpośrednio w jednostkach napięcia: woltach, kilowoltach lub miliwoltach. Woltomierze wywzorcowane w kilowoltach lub miliwoltach nazywa się odpowiednio kilowoltomierzami i woltomierzami.

Poszerzenia zakresu pomiarowego woltomierza dokonuje się przez zwiększenie rezystancji układu. Włączenie szeregowo dodatkowego opornika (rys.12) zwiększa rezystancję miernika. Łącząc szeregowo dalsze oporniki, można zbudować woltomierz o większej liczbie zakresów.



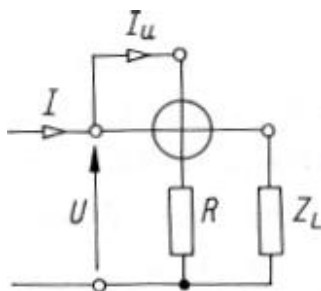
Rys. 12. Układ woltomierza dwuzakresowego [1, s.212]

Wartość prądu znamionowego pobieranego przez woltomierz decyduje o jego przydatności do pomiarów. W obwodach energetycznych używa się woltomierzy o prądzie znamionowym 1 mA, co odpowiada rezystancji  $1000 \Omega \cdot V^{-1}$ .

W obwodach elektronicznych pomiary napięcia przeprowadza się za pomocą woltomierzy o bardzo małym prądzie znamionowym, a więc o dużej rezystancji wewnętrznej (do  $100 k\Omega \cdot V^{-1}$ ). Wykonywanie oporników dla takich woltomierzy z drutów manganinowych byłoby kosztowne, a często z braku miejsca wręcz niemożliwe. W takich przypadkach stosuje się oporniki warstwowe metalowe. Właściwości temperaturowe takich oporników są niewiele gorsze od właściwości oporników manganinowych.

### Watomierze

Watomierz – jest przyrządem przeznaczonym do pomiaru mocy czynnej. Najprostszy układ watomierza przedstawiono na rys. 13. Cewka nieruchoma ustroju, tzw. cewka prądowa, jest włączona szeregowo z odbiornikiem, a cewka ruchoma, tzw. cewka napięciowa – równoległe do odbiornika.



Rys. 13. Układ połączeń watomierza [1, s.246]

W obwodzie cewki napięciowej umieszcza się opornik manganinowy. Przez cewkę prądową płynie prąd  $I$  pobierany przez odbiornik. Biorąc pod uwagę, że rezystancja  $R$  cewki napięciowej i włączonego w szereg opornika jest wielokrotnie większa od reaktancji cewki, można przyjąć, że prąd  $I_u$  jest w fazie z napięciem  $U$ . Zatem odchylenie organu ruchomego jest proporcjonalne do mierzonej mocy  $P$ .

Watomierz wskazuje moc znamionową przy znamionowym prądzie, znamionowym napięciu oraz znamionowym współczynniku mocy. Do celów specjalnych są budowane watomierze o mniejszych znamionowych współczynnikach mocy: 0,8 lub 0,5 a nawet 0,1. W celu obliczenia mocy wskazywanej przez watomierz należy znać jego stałą. Stałą oblicza się ze wzoru:

$$c = \frac{U_N \cdot I_N \cdot \cos \varphi_N}{\text{liczba działek podziałki}}$$

Watomierze często mają wbudowany przełącznik do zmiany kierunku prądu płynącego przez cewkę napięciową podczas pomiarów. W ten sposób unika się przełączenia przewodów doprowadzających prąd do watomierza przy zmianie kierunku przepływu mocy.

Watomierze elektrodynamiczne są budowane wyłącznie jako mierniki laboratoryjne klas 0,1 i 0,2, a watomierze ferrodynamiczne jako mierniki klas 0,5; 1 i 1,5. Moc pobierana przez obwód prądowy watomierza wynosi kilka woltoamperów. Prąd w obwodzie napięciowym wynosi 2 - 30 mA.

#### 4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są definicje podstawowych wielkości elektrycznych.
2. Co to jest ustrój pomiarowy?
3. Jakie informacje powinien zawierać miernik wielkości elektrycznych?
4. Scharakteryzuj zasadę działania amperomierza..
5. W jaki sposób zwiększa się zakres pomiarowy amperomierzy?
6. Jakie są źródła powstawania błędów temperaturowego?
7. Co to jest woltomierz?
8. W jaki sposób zwiększa się zakres pomiarowy woltomierzy?
9. Do czego służy watomierz?



### 4.2.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Na podstawie schematu połącz przyrządy pomiarowe: analogowy miernik napięcia i natężenia prądu, tak aby wyznaczyć moc grzałki.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) zapoznać się z dokumentacją techniczną przyrządów pomiarowych,
- 3) zapoznać się ze schematem,
- 4) połączyć zgodnie ze schematem układ pomiarowy,
- 5) włączyć grzałkę,
- 6) odczytać wskazania amperomierza i woltomierza,
- 7) wyznaczyć moc grzałki,
- 8) zapisać spostrzeżenia,
- 9) sformułować wnioski i sporządzić notatkę.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- schemat układu pomiarowego,
- woltomierz,
- amperomierz,
- przewody,
- naczynie z wodą zaopatrzone w grzałkę,
- materiały piśmiennicze.

#### Ćwiczenie 2

Jakie informacje o rodzaju miernika i jego właściwościach metrologicznych zamieszczono na poniższym mierniku?



Rysunek do ćwiczenia 2

## Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) przeanalizować symbole i oznaczenia znajdujące się na przedstawionym mierniku,
- 3) opisać występujące symbole i oznaczenia,
- 4) zaprezentować wnioski na forum grupy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- plansza przedstawiająca dowolny miernik bądź miernik wielkości elektrycznej,
- norma PN-92/E-06501/01.

### 4.2.4. Sprawdzian postępów

**Czy potrafisz:**

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) dobrać przyrządy pomiarowe do wyznaczenia podstawowych wielkości elektrycznych?	..	..
2) zmierzyć podstawowe wielkości elektryczne?	..	..
3) połączyć układ pomiarowy na podstawie schematu?	..	..
4) skorzystać z informacji przedstawionych na przyrządach do pomiaru wielkości elektrycznych?	..	..

### 4.3. Pomiar podstawowych parametrów procesowych: temperatury, ciśnienia, poziomu cieczy, natężenia przepływu cieczy i gazów

#### 4.3.1. Materiał nauczania

##### Klasyfikacja przyrządów do pomiaru temperatury

Temperatura jest bardzo ważnym parametrem w chemicznych procesach technologicznych. W przemyśle chemicznym mamy do czynienia z bardzo szerokim zakresem kontrolowanych temperatur i różnorodnością warunków jej zmiany. To jest powodem stosowania różnych metod pomiaru i różnorodnych przyrządów pomiarowych.

Wszystkie przyrządy do pomiaru temperatury dzielą się umownie na termometry i pirometry. Termometry są to przyrządy mierzące temperatury do 660°C, natomiast pirometry to przyrządy do pomiaru wyższych temperatur. Inny podział opiera się na zasadzie działania i jest następujący:

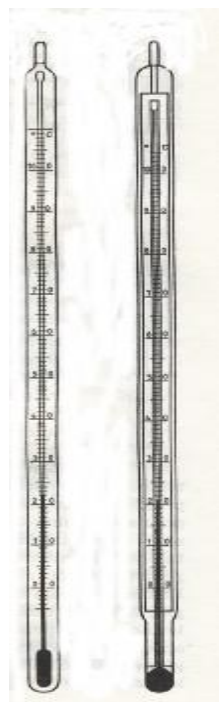
- termometry rozszerzalnościowe – oparte na zmianie objętości cieczy lub wymiarów liniowych ciał stałych przy zmianie temperatury,
- termometry termoelektryczne – oparte na zmianie wartości siły termoelektrycznej przy nagrzaniu spoiny różnorodnych pod względem termoelektrycznym przewodników,
- termometry oporowe – oparte na zmianie oporu elektrycznego przewodników i półprzewodników przy zmianie ich temperatury,
- pirometry.
- Na podstawie tej klasyfikacji zostaną omówione przyrządy do pomiaru temperatury.

##### Termometry rozszerzalnościowe

Zasada działania termometrów rozszerzalnościowych jest oparta na zależności objętości ciała termometrycznego od wartości temperatury. Jako ciała termometryczne można stosować gazy, ciecze lub ciała stałe. Jeżeli znana jest zależność między objętością ciała termometrycznego a jego temperaturą, to na podstawie zmierzonych zmian objętości można określić zmiany temperatury.

Największą dokładność w grupie termometrów rozszerzalnościowych posiadają **termometry gazowe**. Umożliwiają one pomiar temperatury ze znaczną dokładnością i w bardzo dużym zakresie: od -269°C (temperatura skraplania helu pod ciśnieniem 0,1 MPa) do 1000°C. Są one jednak niedogodne w użyciu, ze względu na zwykle duże rozmiary i znaczny ciężar oraz konieczność częstego sprawdzania szczelności układu.

W **termometrach rozszerzalnościowych cieczowych** ciałem termometrycznym jest ciecz, która nie krzepnie i nie wrze w zakresie pomiarowym termometru. Najczęściej stosowane ciecze termometryczne to: rtęć, toluen, alkohol etylowy, pentan.. Termometr cieczowy (rys.14) składa się ze zbiornika z cieczą oraz połączonej z nim kapilary wyskalowanej w °C. Objętość cieczy w kapilarze jest nieznaczna w porównaniu z objętością cieczy w zbiorniku. Zbiornik z cieczą, stanowiący czujnik przyrządu, powinien znajdować się w miejscu, w którym chcemy zmierzyć temperaturę.



Rys. 14. Termometry cieczowe: a) bagietkowy, b) rurkowy [2, s.23]

Przy pomiarze temperatury termometrem cieczowym należy brać pod uwagę możliwość popełnienia następujących błędów.

- błąd paralaksy (niewłaściwe usytuowanie oka obserwatora względem poziomu zwierciadła cieczy w rurce termometru).
- błąd spowodowany niewłaściwym zanurzeniem termometru. Termometry mogą być wywzorcowane przy całkowitym zanurzeniu lub przy zanurzeniu tylko zbiorniczka z cieczą i pewnej części słupka. Błędy spowodowane niewłaściwym zanurzeniem termometru mogą być dość duże i przy dokładnych pomiarach należy je zawsze brać pod uwagę.

Termometry cieczowe, zwłaszcza rtęciowe, mają bardzo szerokie zastosowanie w laboratoriach i przemyśle, głównie ze względu na prostą budowę, niską cenę oraz stosunkowo dużą dokładność pomiaru. Wadą tych termometrów jest niemożliwość rejestracji wyników.

W termometrach opartych na rozszerzalności cieplnej ciał stałych (**bimetalicznych**) wykorzystuje się różnice współczynników rozszerzalności liniowej dwu różnych metali. Zakres pomiarowy termometrów bimetalicznych wynosi od  $-150$  do  $+700^{\circ}\text{C}$ , a dokładność wskazań przeciętnie 1–2%. Zaletą tych termometrów jest ich trwałość oraz mała podatność na uszkodzenia.

### Termometry oporowe

Pomiar temperatury termometrami oporowymi jest oparty na wykorzystaniu własności przewodników i półprzewodników, które zmieniają swój opór przy zmianie temperatury.

Opór elektryczny przewodników i półprzewodników zależy od temperatury. W przewodnikach elektrycznych opór ten rośnie wraz ze wzrostem temperatury, a w półprzewodnikach maleje. Wartość zmiany oporu przy zmianie temperatury jest zależna od rodzaju materiału.

Termometr oporowy składa się z czujnika oporowego, miernika oporu elektrycznego, przewodów łączących i źródła prądu. Czujnikiem w termometrach oporowych jest zwykle

drut metalowy. Druty w czujniku pomiarowym mają średnice od 0,05 do 1 mm. Zwykle są one nawinięte na ceramiczną kształtkę. Z zewnątrz są obudowane osłoną metalową lub ceramiczną, która zabezpiecza czujnik przed mechanicznym uszkodzeniem. Do budowy czujników termometrów oporowych można stosować różne metale. Powinny one wykazywać liniową zależność oporności od temperatury oraz odpowiednio dużą wrażliwość oporności na zmiany temperatury. Wymagania te najlepiej spełniają: platyna, miedź, nikiel i żelazo.

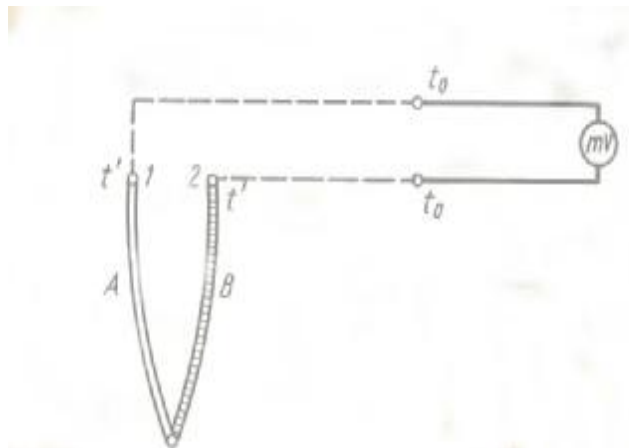
Do czujnika jest doprowadzony prąd stały. Źródło prądu stanowi zwykle ogniwo. Miernikiem jest przyrząd magnetyczny zwany logometrem lub miernikiem o cewkach skrzyżowanych.

Termometry oporowe mają wiele zalet w porównaniu z termometrami rozszerzalnościowymi: charakteryzują się większą dokładnością pomiaru, możliwością przekazywania pomiaru na większą odległość, możliwością centralnej kontroli temperatury przez łączenie (za pośrednictwem przełącznika) niektórych termometrów z jednym przyrządem mierniczym. Wadą termometrów oporowych jest konieczność ich zasilania z dodatkowego źródła prądu.

### Termometry termoelektryczne

Pomiar temperatury termometrami termoelektrycznymi jest oparty na wykorzystaniu zjawiska powstawania w zamkniętym obwodzie, złożonym z dwu lub więcej różnorodnych pod względem termoelektrycznym przewodników prądu elektrycznego, jeśli chociaż dwie spoiny przewodników mają różne temperatury.

Obwód złożony z dwóch różnorodnych pod względem termoelektrycznym przewodników nosi nazwę termoelementu (rys.15). Spoina mająca temperaturę  $t'$  nosi nazwę mierniczej (gorące końce), natomiast druga mająca stałą temperaturę  $t_0$  - spoiny odniesienia (zimne końce). Przewodniki A i B nazywamy termoelektrodami.



Rys. 15. Schemat termoelementu z przewodami kompensacyjnymi [5, s.75]

Wartość siły termoelektrycznej, więc także i wartość prądu, zależy od rodzaju materiałów termoelementu i od różnicy temperatury pomiędzy zimnymi a gorącymi końcami. Przez pomiar siły termoelektrycznej (dokonujemy go zwykle za pomocą miliwoltomierza) możemy określić temperaturę.

Metale (lub ich stopy), z których składa się termoelement, powinny być odporne na działanie podwyższonej temperatury i czynników mechanicznych. Powstała siła termoelektryczna powinna być jak największa i wprost proporcjonalna do temperatury.

Materiały, z których są wykonane termoelementy, są stosunkowo drogie. Ponieważ miernik umieszcza się zwykle w odległości kilku lub kilkunastu metrów od czujnika,

termoelementy przedłuża się za pomocą specjalnych przewodów, tzw. przewodów kompensacyjnych. Są one wykonane z tańszych materiałów.

Przedłużenie termoelementu za pomocą przewodów kompensacyjnych umożliwia przeniesienie spoin odniesienia (zimnych końców) do miejsca; gdzie można utrzymać stałą temperaturę. Warunkiem dokładnego pomiaru jest bowiem utrzymanie spoin odniesienia w określonej temperaturze, w której układ został wywzorcowany.

W termometrach laboratoryjnych przy bardzo dokładnych pomiarach utrzymuje się zwykle temperaturę spoin równą 0°C. Osiąga się to przez umieszczenie spoiny odniesienia w naczyniu Dewara wypełnionym topniejącym lodem. Często również, ze względów praktycznych, spoiny odniesienia utrzymuje się w stałej temperaturze 20°C. Spoiny umieszcza się wtedy w naczyniu wypełnionym olejem.

## Pirometry

Pirometry pracują na zasadzie pomiaru energii wypromieniowanej przez nagrzane ciało. Energia promieniowania jest emitowana z nagrzanego ciała w postaci fal o różnych długościach. W niskich temperaturach nagrzane ciało emituje promieniowanie podczerwone nie dostrzegalne okiem ludzkim. W miarę podwyższania temperatury ciało emituje promieniowanie o wszystkich długościach fal, jakie rozróżnia oko ludzkie. Jednocześnie następuje gwałtowny wzrost natężenia monochromatycznego (promieniowanie o określonej długości fali), a także znacznie zwiększa się całkowite natężenie promieniowania (zdolność promieniowania źródła). Te dwie właściwości nagrzanych ciał pozwalają na zmierzenie ich temperatury. Odpowiednio do tych dwóch właściwości rozróżniamy pirometry promieniowania cząstkowego (optyczne) i promieniowania całkowitego.

W porównaniu z innymi miernikami temperatury pirometry mają następujące zalety:

- pomiar odbywa się bezstykowo, tzn. nie wprowadza się czujnika przyrządu w środowisko, którego temperaturę mierzymy,
- nieograniczoność górnego zakresu pomiarowego,
- możliwość pomiaru temperatury płomieni i wysokich temperatur gazów przepływających z dużymi prędkościami, co jest bardzo trudne przy stosowaniu innych metod pomiaru.

## Klasyfikacja przyrządów do pomiaru ciśnienia

Przyrządy do pomiaru ciśnienia w zależności od zasady ich działania dzieli się na:

- hydrostatyczne (cieczowe),
- hydrauliczne,
- sprężynowe,
- elektryczne.

Biorąc pod uwagę rodzaj ciśnienia przyrządy te można podzielić na:

- manometry – do pomiaru nadciśnienia,
- wakumetry – do pomiaru podciśnienia,
- barometry – do pomiaru ciśnienia atmosferycznego.

## Barometry

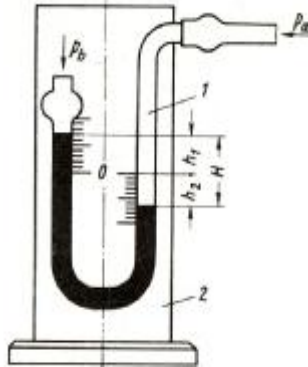
Barometry służą do pomiaru ciśnienia atmosferycznego. Są one zbudowane z rurki szklanej w kształcie litery U, której koniec jednego ramienia jest zawsze zatopiony. Rurka wypełniona jest rtęcią. W zaślepionym ramieniu rurki nad rtęcią panuje próżnia. Wartość ciśnienia odczytuje się ze skali naniesionej na końcu/końcach rurki.

Rozróżnia się dwa typy **barometrów rtęciowych: naczyniowy i lewarowy.**

Przy pomiarach ciśnienia atmosferycznego należy uwzględnić wpływ temperatury. Przy bardzo dokładnych pomiarach ciśnienia atmosferycznego należy także uwzględnić poprawkę wynikającą ze zmiany przyspieszenia ziemskiego.

## Manometry hydrostatyczne

Działanie manometrów hydrostatycznych oparte jest na zasadzie równoważenia mierzonego ciśnienia ciśnieniem hydrostatycznym słupa cieczy. Przyrządy te charakteryzują się prostą budową, niską ceną i stosunkowo dużą dokładnością. Z tego względu są one szeroko stosowane w przemyśle i laboratoriach. Cieczą manometryczną jest najczęściej rtęć lub woda.



Rys. 16. Manometr typu U-rurka [4, s.158]

Najpopularniejszym manometrem hydrostatycznym jest **manometr z U-rurką**. Przyrząd ten zbudowany jest z rurki szklanej wygiętej w kształcie litery U i napełnionej do połowy cieczą (rys.16). Rurka jest przymocowana do podzielnicy z podziałką milimetryczną. W czasie pomiaru ramiona rurki muszą zajmować położenie pionowe. Jedna końcówka U-rurki połączona jest z przestrzenią, w której mierzone jest ciśnienie, druga zaś pozostaje otwarta – (połączona z ciśnieniem atmosferycznym).

Wskutek różnicy ciśnień w obu ramionach U-rurki następuje przemieszczenie poziomów cieczy. Odczytuje się różnicę poziomów cieczy manometrycznej w obu ramionach. Wartość mierzonego ciśnienia można wyznaczyć z zależności:  $p - p_a = H \cdot (r_m - r) \cdot g$

gdzie:  $p$  – mierzone ciśnienie, Pa

$p_a$  – ciśnienie atmosferyczne, Pa

$H$  – różnica poziomów cieczy, m

$r_m$  – gęstość cieczy manometrycznej,  $kg \cdot m^{-3}$

$r$  – gęstość gazu,  $kg \cdot m^{-3}$

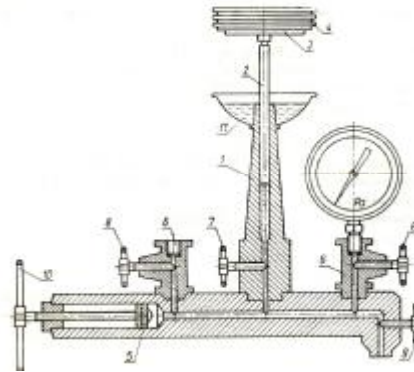
$g$  – przyspieszenie ziemskie,  $m \cdot s^{-2}$

Manometr z U-rurką służy do pomiaru ciśnienia i podciśnienia w zakresie do 0,1 MPa oraz do pomiaru różnicy ciśnień między dwiema zamkniętymi przestrzeniami.

Do manometrów hydrostatycznych zaliczamy również: **manometry naczyniowe** (pomiar ciśnień do 100 kPa), **manometry z rurką pochylą** (pomiar bardzo małych ciśnień do 2,5 kPa), **manometry pływakowe**.

## Manometry hydrauliczne

Manometry hydrauliczne pracują na zasadzie równowagi hydraulicznej między ciśnieniem mierzonym działającym na jedną stronę ruchomej przegrody a siłą lub ciśnieniem działającym na drugą stronę tej przegrody. Podstawową funkcją tych manometrów jest wzorcowanie i sprawdzanie innych manometrów



**Rys. 17.** Manometr tłokowy

1- cylinder, 2 – tłok pionowy, 3 – szalka, 4 – obciążniki, 5 – tłok poziomy, 6 – miejsce zamocowania manometrów, 7, 8, 9 – zawory, 10 – pokrętło śruby, 11 – lejek [2, s.52]

Szczególną rolę odgrywają w tym zakresie **manometry tłokowe** (rys.17). Pracują one w następujący sposób. Na tłok 2 poruszający się swobodnie w kanale pionowym działa siła ciężkości szalki 3 wraz z ciężarkami 4. W kanale poziomym znajduje się tłok 5 przesuwany za pomocą pokrętła śruby 10. Sprawdzane manometry wkręca się w otwory 6. Przystępując do wykonania pomiaru do kanałów wlewa się olej przez lejek 11, wkłada tłok 2 i pokręca się śrubą, przesuwając tłok 5 tak, aby tłok 2 zanurzył się do 2/3 wysokości. Następnie na szalkę 3 nakłada się obciążniki w celu uzyskania odpowiedniego ciśnienia i obserwuje się położenie wskazówki wzorcowanego lub sprawdzanego manometru. Na podstawie liczby nałożonych ciężarów oblicza się przyłożone ciśnienie. Manometr tłokowy może służyć także do porównania wskazań dwóch manometrów, które wkręca się w otwory 6.

### Manometry sprężynowe

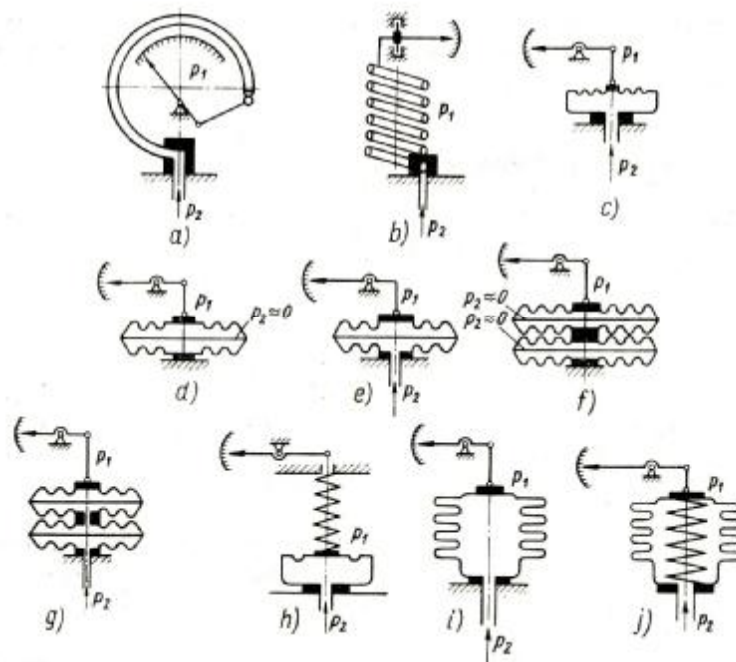
Prosta budowa, łatwość użytkowania, mały ciężar oraz szeroki zakres pomiarowy to główne przyczyny olbrzymiej popularności manometrów sprężynowych. Ich działanie opiera się na zasadzie pomiaru odkształceń ciała sprężystego pod wpływem ciśnienia działającego na to ciało. Odkształcenie czujnika sprężystego jest przekształcane za pomocą odpowiednich mechanizmów na wskazania na podziałce kątowej lub liniowej przyrządu.

Manometry sprężynowe dzieli się według typu elementu sprężystego na następujące grupy:

- rurkowe (rys.18 a, b),
- membranowe (rys.18 c, d, e, f, g),
- sprężynowo-membranowe z elastyczną membraną (rys.18 h, j),
- przyrządy z mieszkem sprężystym (rys.18 i)

Wadą manometrów sprężynowych jest stosunkowo duża histereza. Zjawisko histerezy polega na tym, że manometr jakby „nie nadąża” wskazywać zmian ciśnienia. Przy pomiarach ciśnienia wzrastającego przyrząd często nie wskazuje ciśnienia aktualnie występującego, lecz ciśnienie niższe, które panowało wcześniej. Przy pomiarach ciśnienia malejącego wskazania przyrządu, z tego samego powodu, mogą być za duże. Zakres pomiarowy manometrów sprężynowych powinien być o 30-50% większy od wartości mierzonych ciśnień.





**Rys. 18.** Typy manometrów sprężynowych: a), b) rurkowe, c), d), e), f), g) membranowe, h), j) sprężynowo-membranowe z elastyczną membraną, i) przyrządy z mieszkem sprężystym [5, s.191]

### Manometry elektryczne

Działanie tych przyrządów jest oparte na pomiarze niektórych właściwości elektrycznych materiałów ulegających zmianom pod wpływem ciśnienia. Manometry elektryczne są zwykle stosowane w pracach badawczych do pomiarów bardzo szybkich zmian ciśnienia. Nadają się one do pomiaru wysokich podciśnień i dużych nadciśnień. Do najczęściej używanych należą **manometry piezoelektryczne**.

Działanie manometrów piezoelektrycznych opiera się na zjawisku powstawania ładunków elektrycznych pod wpływem ciśnienia (zjawisko piezoelektryczne). Właściwości piezoelektryczne mają niektóre substancje, np. kwarc, turmalin. W czujniku piezoelektrycznym kryształ jednej z tych substancji jest umieszczony pomiędzy dwiema płytkami metalowymi - elektrodami. Ładunki elektryczne, gromadzące się na płytkach pod wpływem działającego ciśnienia, powodują powstanie między płytkami różnicy napięć proporcjonalnej do ciśnienia.

### Klasyfikacja przyrządów do pomiaru poziomu cieczy

Najczęściej spotykanymi przyrządami do pomiaru poziomu cieczy są poziomowskazy szklane (cieczowskazy rurkowe), poziomomierze pływakowe, hydrostatyczne, elektryczne, radioaktywne i ultradźwiękowe.

### Cieczowskazy rurkowe

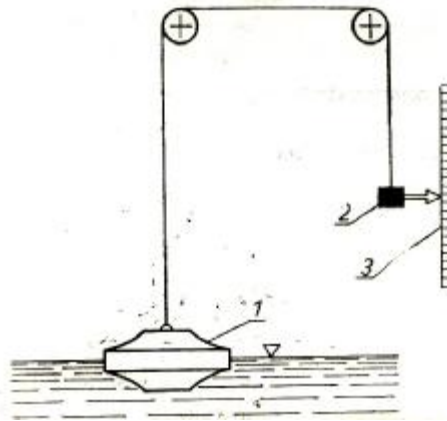
Rurki wskaźnikowe poziomu cieczy pracują na zasadzie naczyń połączonych. Cieczowskaz wskaźnikowy jest połączony z naczyniem dolnym końcem (dla naczyń otwartych) lub dwoma końcami (w zbiornikach z dużym nadciśnieniem czy próżnią).

Obserwując położenie poziomu cieczy w szklanej rurce, uzyskuje się informacje o zmianie poziomu w naczyniu.

### Poziomomierze pływakowe

W poziomowskazach pływakowych ze zmianą poziomu cieczy zmienia swe położenie pływak, którego przesunięcie przekazywane jest do miernika lub urządzenia rejestrującego. Stosuje się w nich pływaki powierzchniowe o stałym zanurzeniu i pływaki o zmiennym zanurzeniu.

Na rys.19 przedstawiono proste urządzenie z pływakiem powierzchniowym. Zasada działania takiego poziomowskazu polega na tym, że na powierzchni cieczy umieszcza się pływak, do którego jest umocowana linka. Linka ta - poprzez szereg bloczków – jest prowadzona do miejsca, w którym można umieścić podziałkę do odczytywania poziomu cieczy w zbiorniku. Na końcu tej linki zazwyczaj mocuje się przeciwcieżar, który równocześnie odgrywa rolę wskaźnika zmian poziomu cieczy w zbiorniku.



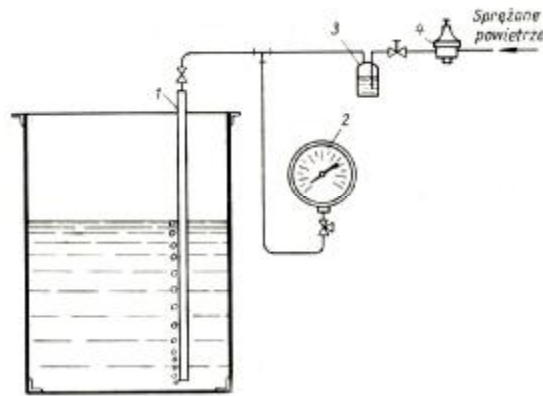
**Rys. 19.** Prosty poziomomierz pływakowy  
1 – pływak, 2 – przeciwcieżar, 3 – podziałka [5, s. 326]

Wadami takiego poziomowskazu są: odwrócona podziałka (z zerem w górze zbiornika), trudność odczytu na początku podziałki w przypadku wysokiego zbiornika; błędy przy zmianie siły naciągającej linkę (przy wzroście poziomu do siły ciężkości przeciwcieżaru dochodzi jeszcze siła ciężkości liny).

### Poziomomierze hydrostatyczne

W przyrządach tych pomiar poziomu cieczy o stałej gęstości sprowadza się do pomiaru ciśnienia hydrostatycznego badanej cieczy. Najczęściej poziomowskazy hydrostatyczne są wykonane ze stałym przepływem powietrza lub gazu (rys. 20). Zasada działania poziomomierza hydrostatycznego jest następująca. Sprężone powietrze lub gaz po przejściu przez reduktor i naczynko kontrolne 3, dochodzi za pośrednictwem przewodu do rurki piezometrycznej 1 znajdującej się w zbiorniku. Ciśnienie powietrza (gazu), mierzone manometrem dowolnego typu, charakteryzuje poziom cieczy w zbiorniku. Do kontroli podawanego gazu najczęściej stosuje się naczynko barbotażowe i kontrolne.

Położenie poziomu cieczy w zamkniętych zbiornikach oraz w sytuacji gdy brak jest dostępu do zbiornika można mierzyć przy pomocy **poziomomierzy ultradźwiękowych** lub **radioaktywnych**. W pierwszym przypadku wykorzystuje się zasadę odbicia fal dźwiękowych od granicy faz ciecz-gaz (powietrze). W drugim przypadku pomiar opiera się na pomiarze pochłaniania promieniowania  $\gamma$  podczas jego przejścia przez warstwę substancji. Pochłanianie promieniowania jest proporcjonalne do grubości warstwy.



**Rys. 20.** Poziomomierz hydrostatyczny

1 – rurka piezometryczna, 2 – manometr, 3 – zbiornik kontrolny, 4 – reduktor [5, s. 336]

### **Klasyfikacja przyrządów do pomiaru natężenie przepływu cieczy i gazów**

Przepływomierze do pomiaru ilości przepływającego płynu dzielą się w zależności od zasady działania na:

- objętościowe: wodomierze wirnikowe, komorowe, gazomierze. Zasada działania objętościowych przepływomierzy polega na pomiarze określonej ilości płynu wytłoczonej z komory pomiarowej pod działaniem różnicy ciśnień. Główną zaletą tych przepływomierzy jest mały błąd i stosunkowo duży zakres pomiaru.
- prędkościowe: zwężkowe, rurki spiętrzające, rotametry. Zasada działania tych przyrządów opiera się na pomiarze średniej prędkości przepływającej cieczy.

Wyznaczenie prędkości przepływającego płynu pozwala na określenie natężenia przepływu tego płynu z prostej zależności:

$$\dot{V} = w \cdot A, m^3 \cdot s^{-1}$$

gdzie:  $w$  – średnia prędkość płynu,  $m \cdot s^{-1}$

$A$  – przekrój rurociągu lub aparatu,  $m^2$

Pomiar średniej prędkości płynu jest ważnym również ze względu na możliwość określenia charakteru przepływu płynu. Charakter przepływu, czyli stopień uporządkowania przepływającego płynu, można określić na podstawie wartości liczby Reynoldsa:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot r}{m}$$

gdzie:  $d$  – średnica rurociągu lub aparatu,  $m$

$r$  - gęstość płynu,  $kg \cdot m^{-3}$

$m$  - lepkość płynu,  $Pa \cdot s$

Dla przepływu w rurociągach wartość  $Re < 1200$  określa ruch laminarny (uporządkowany wzajemny ruch cząstek płynu). Wartość  $Re > 1200$  określa ruch burzliwy (chaotyczny ruch cząsteczek płynu względem siebie).

### **Wodomierze wirnikowe**

Wodomierze wirnikowe charakteryzują się tym, że elementem pomiarowym jest wirnik, umieszczony w komorze wirnikowej, przez którą przepływa woda. Prędkość obrotowa wirnika zależy od natężenia przepływu, a liczba wykonanych obrotów jest automatycznie wskazywana przez wskazówkę na tarczy lub przez liczby na bębnie urządzenia zliczającego. Urządzenie zliczające umożliwia stały odczyt objętości wody, jaka przepłynęła przez

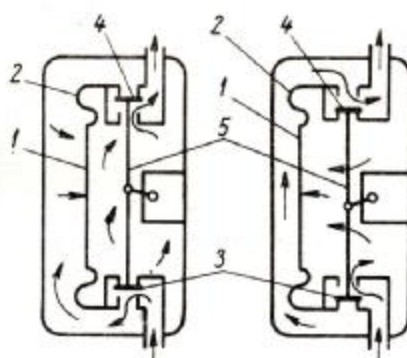
wodomierz. W zależności od konstrukcji samego wirnika rozróżniamy wodomierze: śrubowe, skrzydełkowe i turbinowe.

### Przepływomierze komorowe

Wodomierze komorowe należą do bardzo dokładnych urządzeń pomiarowych i z tego względu są stosowane jako wodomierze kontrolne (wzorcowe). Zasada ich działania polega na odmierzaniu określonej objętości przepływającej cieczy, równej pojemności komory pomiarowej oraz rejestrowaniu liczby odmierzonych porcji. Błąd pomiaru tego typu wodomierzem nie przekracza  $\pm 1\%$ .

Istnieje wiele typów wodomierzy komorowych: tłokowe, puszkowe, tarczowe, rotacyjne, bębnowe, nieckowe, eliptyczne i ślimakowe.

Odmianą przepływomierzy komorowych służących do pomiaru natężenia przepływu gazów są **gazomierze**. Schemat gazomierza miechowego przedstawia rys. 21.



**Rys. 21.** Schemat gazomierza miechowego  
1 – przegroda, 2 – miechy, 3 i 4 – zawory, 5 – dźwigny [5, s.245]

Gazomierz składa się z komory z miechami 2 przedzielonej na dwie części przegoną 1. Przegona jest wykonana jako tarcza metalowa. Miechy są wykonane z materiału elastycznego (polichlorek winylu lub skóra). Gaz dopływa do lewej części komory poprzez otwór wejściowy i dolny zawór 3. Z prawej części gaz wypływa poprzez górny zawór 4 do sieci. W miarę odpływu gazu z prawej części i napełniania się lewej części komory przegroda przesuwana się w prawo i w jej skrajnym położeniu przesuwana się dźwigną 5 z zaworami 3 i 4.

Po zmianie położenia zaworów gaz dopływa do prawej części komory, a z lewej części odpływa do sieci. Przegona zaczyna przesuwana się w lewo i w jej skrajnym położeniu – lewym - następuje ponowna zmiana położenia zaworów i powtórny cykl pracy. Przesuwanie się dźwigni, a razem z nią zaworów jest przekazywane przez przekładnię cierną do mechanizmu liczącego, który sumuje liczbę objętości (porcji) gazu przepływającego przez gazomierz. Błąd gazomierzy miechowych wynosi od  $\pm 2$  do  $+3\%$  w zależności od natężenia przepływu gazu.

Do pomiaru dużych objętości gazu stosuje się gazomierze rotorowe. Kiedy wymagana jest duża dokładność pomiaru, przy niewielkich przepływach gazu stosuje się gazomierze bębnowe.

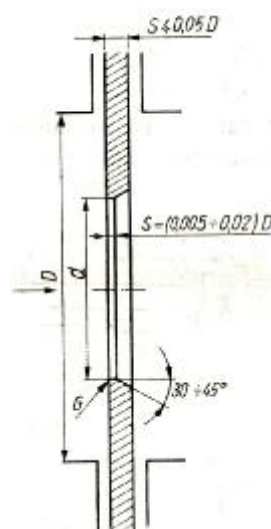
### Zwężki

W pomiarach przepływu cieczy w rurociągach znajdują zastosowanie zwężki w postaci: kryz, dysz oraz zwęzek Venturiego. Prosty i najbardziej rozpowszechniony przyrządem pomiarowym jest kryza. Jest ona ponadto łatwa w wykonaniu i instalowaniu. Najtrudniejsza do wykonania i instalowania jest zwężka Venturiego. Zwężki charakteryzują się tym, że w wyniku przebiegu przez przyrząd strugi cieczy następuje strata ciśnienia. Przyczyny tych

strat są spowodowane głównie powstawaniem obszarów zawirowań w obrębie elementu pomiarowego, a ich wielkość zależy od kształtu przyrządu. Największe ubytki energetyczne występują przy przepływie przez kryzę, następnie dyszę, a najmniejsze są w klasycznej zwężce Venturiego.

Warunkiem zapewniającym dokładność pomiaru przepływu z użyciem zwężki jest prawidłowość jej instalowania w przewodzie. Rurociąg przed miejscem umieszczenia przyrządu musi być w całości wypełniany cieczą. Oś zwężki musi się pokrywać z osią rurociągu. Wszelkie połączenia muszą być bardzo szczelne, a uszczelki nie mogą wystawać wewnątrz przewodu i zmniejszać jego średnicy. Istotnym warunkiem jest również zapewnienie odpowiednio długich prostych odcinków rurociągu za i przed zwężką. Na odcinkach tych nie może być żadnych urządzeń ani występować zakłócających przepływ, a średnica rurociągu powinna być stała. Ważny jest również warunek zachowania minimalnych długości odcinków prostych od zmian średnicy rurociągu.

**Kryza** jest najprostszą zwężką stosowaną do pomiaru przepływów w rurociągach, zbudowaną w postaci cienkiej tarczy ze stali nierdzewnej lub brązu i wstawioną w przewód pomiędzy dwa kołnierze rur. W środku kryzy wykonany jest okrągły otwór, którego środek znajduje się w osi rurociągu. Na rys. 22 przedstawiono przekrój kryzy oraz jej znormalizowane wymiary. Kryzy stosuje się do pomiarów w rurociągach o średnicach od 2 do 100 cm.



Rys. 22. Schemat kryzy

d - średnica otworu kryzy, D - średnica rurociągu [2, s.91]

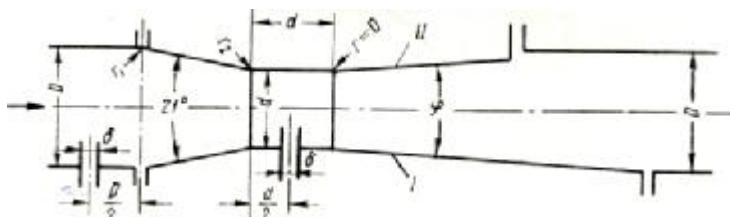
Natężenie przepływu cieczy jest wyznaczane w oparciu o pomiar ciśnienia przed i za kryzą. Natężenie przepływu można obliczyć ze wzoru:

$$\dot{V} = 0,01252 \cdot a \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{r \cdot g}}, m^3 \cdot h^{-1}$$

gdzie:  $a$  - współczynnik przepływu, -  
 $p_1$  - ciśnienie przed kryzą, Pa  
 $p_2$  - ciśnienie za kryzą, Pa  
 $g$  - przyspieszenie ziemskie,  $m \cdot s^{-2}$

**Dysza** jest to również znormalizowane urządzenie do pomiaru natężenia przepływu w rurociągach o średnicach od 5 cm do 50 cm. Pomiary ciśnienia wykonuje się podobnie jak w kryzach – poprzez otwory lub koronę pierścieniową.

**Zwężki Venturiego** są stosowane do pomiaru natężenia przepływu w rurociągach o średnicach od 6,5 cm do 50 cm. Klasyczna zwężka Venturiego składa się z wejściowego stożka (konfuzora), cylindrycznej części środkowej i stożka wyjściowego (dyfuzora) (rys. 23). Pomiar ciśnienia odbywa się przed przewężeniem oraz w części cylindrycznej. Ze względu na małe straty energii występujące w zwężce Venturiego jest ona stosowana w rurociągach z niskim ciśnieniem.



Rys. 23. Klasyczna zwężka Venturiego [5, s.265]

### Rurki spiętrzające

Pomiar natężenia przepływu płynu za pomocą rurek spiętrzających opiera się na wykorzystaniu zależności ciśnienia dynamicznego od prędkości przepływu strumienia mierzonego płynu. Najprostszym przyrządem tego typu jest rurka Pitota (rys. 24).

Zgodnie z równaniem Bernoulliego różnica między ciśnieniem całkowitym a statycznym wynosi:

$$p - p_s = \frac{w^2 \cdot r}{2}$$

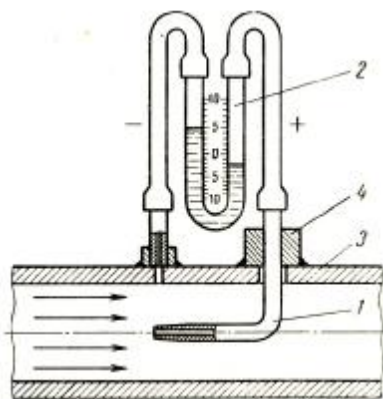
stąd prędkość:

$$w = \sqrt{\frac{2}{r} \cdot (p - p_s)} = \sqrt{\frac{2}{r} \cdot p_w}$$

gdzie  $p$  - ciśnienie całkowite, Pa;  $p_s$  - ciśnienie statyczne, Pa;  $p_w$  - ciśnienie dynamiczne, Pa;  $w$  - prędkość przepływu płynu,  $m \cdot s^{-1}$ ;  $r$  - gęstość płynu,  $kg \cdot m^{-3}$ .

Ciśnienie dynamiczne, a tym samym i prędkość, mierzy się odpowiednimi rurkami połączonymi z manometrem różnicowym. Na rysunku rurka znajdująca się z lewej strony mierzy ciśnienie statyczne. Rurka z prawej strony, której ramię jest ustawione w kierunku napływającej cieczy, mierzy ciśnienie całkowite.





**Rys. 24.** Schemat pomiaru rurką spiętrzającą Pitota: 1 – rurka pomiarowa, 2 – manometr różnicowy, 3 – przewód, 4 – dławik; - ramię manometru wskazujące wartość ciśnienia statycznego (ciśnienie spowodowane ciężarem płynu), + ramię manometru wskazujące wartość ciśnienia całkowitego (statyczne i dynamiczne, związane z ruchem płynu) [5, s.]

Połączony z obiema rurkami manometr różnicowy wykazuje różnicę między ciśnieniem całkowitym a statycznym, tzn. ciśnienie dynamiczne. Jeżeli przy tym różnica poziomów cieczy manometrycznej wynosi  $h$ , to ciśnienie dynamiczne jest równe:

$$p_w = h \cdot r \cdot (r_m - r)$$

gdzie:  $r_m$  - gęstość cieczy manometrycznej,  $kg \cdot m^{-3}$ ;  $g$  - przyspieszenie ziemskie,  $m \cdot s^{-2}$ .

Ostatecznie otrzymamy zależność:

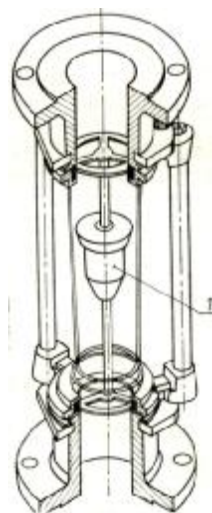
$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{r} \cdot h \cdot (r_m - r)}, m \cdot s^{-1}$$

### Rotametry

Rotometr stanowi pionowo usytuowana, paraboliczna rurka szklana rozszerzająca się ku górze, w środku której umieszczony jest specjalnie uformowany pływak 1 (rys. 25). Górna część pływaka ma śrubowe nacięcia, dzięki którym przepływający płyn wprawia go w ruch obrotowy. Ruch ten zwiększa stabilność pływaka i nie pozwala na przyklejanie się go do ścianki rurki. W czasie pomiaru pływak jest zawieszony w przepływającym płynie. Gdy przepływ wzrasta, prędkość płynu w szczelinie między ścianami pływaka a rurką szklaną również wzrasta, co powoduje spadek ciśnienia nad pływakiem. Równowaga jest przywrócona, gdy pływak wzniesie się w górę. Jeśli przepływ maleje, ruch pływaka jest odwrócony. Każdemu zatem natężeniu przepływu odpowiada określone położenie pływaka w rurce.

Rotametry są wzorcowane przez wytwórnictwo do określonych rodzajów płynów. Górna krawędź pływaka odgrywa rolę wskaźnika, pokazującego na podziałce naniesionej na obudowie szklanej rury natężenie przepływu badanego płynu.

Rotametry znalazły szerokie zastosowanie w kontroli procesów technologicznych. Charakteryzują się dużą czułością i dostateczną dokładnością pomiaru.



Rys. 25. Rotometr: 1 – pływak [2, s.96]

### 4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jak dzielimy przyrządy do pomiaru temperatury ze względu na zasadę ich działania?
2. Na czym opiera się zasada działania termometrów rozszerzalnościowych?
3. Jakie warunki musi spełniać ciecz termometryczna?
4. Jakiego rodzaju błędów należy się spodziewać przy pomiarze temperatury termometrem cieczowym?
5. Jaka jest zasada działania termometrów bimetalicznych?
6. Na czym opiera się zasada działania termometrów oporowych?
7. Jaką pełni funkcję i jak jest zbudowany czujnik w termometrze oporowym?
8. Na czym opiera się zasada działania termometrów termoelektrycznych?
9. Co to jest termoelement?
10. Na jakiej zasadzie pracują pirometry?
11. Wymień zalety pirometrów w porównaniu z innymi miernikami temperatury.
12. Jak dzielimy przyrządy do pomiaru ciśnienia w zależności od zasady ich działania?
13. Na czym opiera się zasada działania barometrów?
14. Scharakteryzuj zasadę działania manometrów hydrostatycznych.
15. Scharakteryzuj zasadę działania manometrów hydraulicznych.
16. Jakie są zalety i wady manometrów sprężynowych?
17. Wymień zalety i wady poziomowskazów pływakowych.
18. Jaka jest zasada działania poziomowskazów hydrostatycznych?
19. Jak dzielimy przepływomierze w zależności od zasady działania?
20. Jak nazywamy przepływomierze do pomiaru przepływu gazów?
21. Jaka jest zasada pomiaru przepływu płynu kryzą?
22. Jaka jest zasada pomiaru przepływu płynu za pomocą rurki pitota?
23. Wyjaśnij na czym polega pomiar przepływu płynu rotametrem?



### 4.3.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Przeanalizuj wpływ zanurzenia termometrów cieczowych na dokładność pomiaru temperatury wody.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) zapoznać się z dokumentacją techniczną termometrów,
- 3) przygotować tabelę do zapisu wyników pomiarów,
- 4) przygotować stanowisko pracy: naczynie z wodą zaopatrzone w grzałkę i mieszadło,
- 5) nastawić grzałkę na daną moc i odczekać około 10 minut dla ustabilizowania się temperatury wody w naczyniu (pamiętaj o mieszaniu wody w naczyniu),
- 6) zmierzyć temperaturę wody zanurzając termometr w wodzie na różną głębokość (odczyt temperatury dokonujemy po około 5 minutach od zanurzenia termometru w wodzie),
- 7) powtórzyć pomiar temperatury wody dla różnej głębokości zanurzenia termometru co najmniej 3 razy,
- 8) wykonać czynności z pkt. 4 i 5 dla innych termometrów cieczowych,
- 9) zapisać spostrzeżenia,
- 10) sformułować wnioski i sporządzić notatkę.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura,
- termometry cieczowe wywzorcowane przy całkowitym zanurzeniu lub przy zanurzeniu tylko zbiorniczka z cieczą i pewnej części słupka,
- naczynie z wodą,
- grzałka, mieszadło,
- zegarek/stoper.

#### Ćwiczenie 2

Dokonaj pomiaru temperatury w piecu elektrycznym za pomocą termometru oporowego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) zapoznać się z dokumentacją techniczną termometru oporowego,
- 3) przygotować tabelę do zapisu wyników pomiarów,
- 4) włączyć piec,
- 5) dokonać pomiaru temperatury w ustalonych przez prowadzącego przedziałach czasu,
- 6) zapisać wyniki,
- 7) powtórzyć czynności z pkt. 4 i 5 co najmniej trzykrotnie,
- 8) opracować wyniki graficznie wykorzystując program komputerowy do obróbki danych,
- 9) sformułować wnioski i sporządzić notatkę.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- piec z zamocowanym termometrem oporowym,
- dokumentacja techniczna termometru,
- materiały piśmiennicze,
- zegarek/stoper,
- komputer z oprogramowaniem do obróbki danych.

### Ćwiczenie 3

Przeanalizuj wpływ zmiany temperatury otoczenia na pomiar temperatury w piecu elektrycznym za pomocą termometru termoelektrycznego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) zapoznać się z dokumentacją techniczną termometru termoelektrycznego,
- 3) przygotować tabelę do zapisu wyników pomiarów,
- 4) włączyć piec,
- 5) zmierzyć temperaturę w piecu dla różnej temperatury otoczenia ( $10^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ),
- 6) zapisać wyniki,
- 7) sformułować wnioski.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- piec z zamocowanym termometrem termoelektrycznym,
- dokumentacja techniczna termometru.

### Ćwiczenie 4

Dokonaj pomiaru zmian ciśnienia w zbiorniku ciśnieniowym manometrem sprężynowym.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) zapoznać się z dokumentacją techniczną manometru,
- 3) przygotować tabelę do zapisu wyników pomiarów,
- 4) włączyć sprężarkę,
- 5) mierzyć wzrastające wartości ciśnienia w zbiorniku w ustalonych przez prowadzącego odstępach czasowych do momentu osiągnięcia ciśnienia maksymalnego,
- 6) wyłączyć sprężarkę,
- 7) zmierzyć wartości ciśnienia w zbiorniku indywidualnie dla ustalonych okresów czasowych,
- 8) włączyć sprężarkę i ustalić ciśnienie maksymalne w zbiorniku,
- 9) przeprowadzić czynności z pkt. 5, 6 i 7 dla malejącego ciśnienia,
- 10) zapisać wyniki,
- 11) przeprowadzić analizę graficzną uzyskanych wyników,
- 12) sformułować i zapisać wnioski.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zbiornik ciśnieniowy (sprężarka) z manometrem sprężynowym,
- dokumentacja techniczna manometru,
- stoper.

### Ćwiczenie 5

Przeanalizuj wpływ zmiany przekroju rurociągu na zmianę ciśnienia przepływającego płynu. Pomiar ciśnienia wykonaj za pomocą U-rurki.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) zapoznać się z dokumentacją techniczną manometru,
- 3) przygotować tabelę do zapisu wyników pomiarów,
- 4) odszukać i zapisać wartości parametrów fizykochemicznych potrzebnych do obliczeń,
- 5) zapoznać się ze stanowiskiem pomiarowym,
- 6) zmierzyć różnicę ciśnień dla jednego i drugiego kierunku przepływu wody w rurociągu,
- 7) zapisać wyniki,
- 8) przeprowadzić obliczenia,
- 9) sformułować i zapisać wnioski.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- rurociąg o zmieniającym się przekroju z możliwością zasilania wodą z obu końców. Z rurociągiem, za pomocą węży elastycznych, połączony jest manometr typu U-rurka,
- dokumentacja techniczna manometru,
- materiały piśmiennicze.

### Ćwiczenie 6

Za pomocą manometru tłokowego sprawdź działanie manometru sprężynowego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) zapoznać się z dokumentacją techniczną manometru,
- 3) zamocować sprawdzany manometr w gnieździe pomiarowym,
- 4) przyłożyć zadane ciśnienie na manometrze tłokowym,
- 5) porównać wskazania sprawdzanego manometru,
- 6) zapisać wyniki,
- 7) przeprowadzić dyskusję w grupach na temat rezultatów pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- manometr tłokowy,
- dokumentacja techniczna manometru,
- manometr(y) do sprawdzenia/wzorcowania.

## Ćwiczenie 7

Przeanalizuj gdzie i w jakim celu używane są poziomowskazy w gospodarstwie domowym.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) odszukać przyrządy do pomiaru poziomu płynów w gospodarstwie domowym,
- 3) opisać i schematycznie przedstawić zastosowane rozwiązania,
- 4) przeanalizować znaczenie poziomowskazów dla prawidłowego funkcjonowania urządzeń/systemów w gospodarstwie domowym,
- 5) zaprezentować wyniki na forum grupy,
- 6) przeprowadzić dyskusję na temat rezultatów pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- schematy typowych instalacji w gospodarstwie domowym,
- dokumentacja techniczna urządzeń hydraulicznych stosowanych w gospodarstwie domowym.

## Ćwiczenie 8

Wyznacz, za pomocą rurki spiętrzającej, kryzy pomiarowej, rotametry natężenie przepływu i prędkość wody w rurociągu. Określ jej charakter przepływu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją techniczną przyrządów pomiarowych,
- 2) przygotować tabelę do zapisu wyników pomiarów,
- 3) odszukać i zapisać wartości parametrów fizykochemicznych potrzebnych do obliczeń,
- 4) zapoznać się ze stanowiskiem pomiarowym,
- 5) wyznaczyć prędkość płynu w rurociągu dla poszczególnych przyrządów pomiarowych,
- 6) zapisać wyniki,
- 7) określić charakter przepływu wody obliczając liczbę Reynoldsa,
- 8) sformułować i zapisać wnioski.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna rurki spiętrzającej, kryzy, rotametry,
- rurociąg z gniazdem do zamocowania rurki spiętrzającej, kryzy, rotametry,
- tablice fizykochemiczne.

#### 4.3.4. Sprawdzenie postępów

##### Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) określić jakiego rodzaju błędów należy się spodziewać przy pomiarze temperatury termometrem cieczowym i jak ich uniknąć?	..	..
2) wyjaśnić wpływ temperatury otoczenia na wynik pomiaru termometrem termoelektrycznym?	..	..
3) przewidzieć jak zmieni się ciśnienie w rurociągu przy zmianie jego przekroju?	..	..
4) sprawdzić prawidłowości wskazań manometrów sprężynowych?	..	..
5) wyznaczyć prędkość płynu w rurociągu za pomocą rotametu, rurki spiętrzającej, kryzy?	..	..
6) określić charakter przepływu cieczy na podstawie danych eksperymentalnych?	..	..
7) wyjaśnić zasadę działania przyrządów do pomiaru podstawowych parametrów procesowych?	..	..
8) przedstawić schematycznie budowę przyrządów do pomiaru podstawowych parametrów procesowych?	..	..
9) dobrać przyrządy pomiarowe zapewniające kontrolę i prawidłowy przebieg procesu?	..	..
10) zastosować przyrządy pomiarowe do kontroli podstawowych parametrów procesowych?	..	..

## 4.4. Pomiar podstawowych właściwości fizycznych surowców, półproduktów i produktów chemicznych: wilgotności, lepkości, gęstości, masy

### 4.4.1. Materiał nauczania

#### Pomiar wilgotności gazów

Do pomiaru wilgotności gazów stosuje się przyrządy, w których wykorzystuje się różne zasady działania. W higrometrach wykorzystano zjawisko wpływu zawartości pary wodnej w powietrzu na wymiary niektórych ciał, jak na przykład włosów ludzkich. Osobną grupę przyrządów stanowią psychrometry, które służą do wyznaczania ciśnienia pary wodnej pośrednio - przez pomiar temperatury, w której to ciśnienie staje się równe ciśnieniu pary wodnej nasyconej.

#### Higrometry

Do pomiarów wilgotności za pomocą higrometrów wykorzystuje się zdolność odtłuszczonych włosów ludzkich do zmiany długości w zależności od zmian wilgotności powietrza. Podczas badań stwierdzono, że przyrost długości włosa przy zmianie wilgotności od 0 do 100%, wynosi około 2,5% jego długości początkowej. Wydłużenie włosa, wyrażone w jednostkach długości, zmienia się powoli w czasie, a szybkość tych zmian zależy w znacznym stopniu od jakości włosa i staranności jego konserwowania. Jednostkowy przyrost długości włosa nie następuje równomiernie w całym zakresie zmian wilgotności; jest on większy przy wilgotnościach niskich i mniejszy przy wyższych. Ta nieliniowość powoduje, że w **higrometrach włosowych** podziałka naniesiona na tarczy odczytowej jest nierównomierna. W higrometrach elementy pomiarowe wykonane są na ogół z pasm składających się z kilkunastu pojedynczych włosów.

Element włosowy nie jest czujnikiem sprężystym, dlatego dla prawidłowej pracy przyrządu niezbędne jest napinanie włosa za pomocą obciążników lub sprężyn spiralnych. Czujnik włosowy jest wrażliwy na różnego rodzaju zanieczyszczenia, szczególnie osady tłuszczu, jak też zanieczyszczenia w postaci pyłu, kurzu itp..

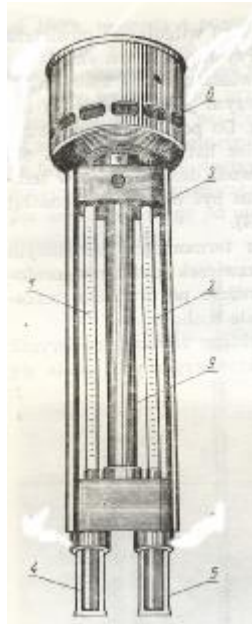
Charakterystyczną cechą tego typu czujnika jest również mała odporność na rozciąganie. Sprawny czujnik pracuje poprawnie zarówno w temperaturze ujemnej, jak i dodatniej i zapewnia mały błąd pomiaru rzędu  $\pm 3\%$ .

Odmianą higrometrów włosowych są **higrometry z elektrycznym stykiem** zwane inaczej higrometrami kontaktowymi. Położenie elektrycznego styku jest ustawiane pokrętką na podziałce. Po osiągnięciu przez wskazówkę higrometru określonej wartości wilgotności następuje zamknięcie obwodu elektrycznego i pojawia się sygnał dźwiękowy.

#### Psychrometry

Psychrometry służą do pomiaru wilgotności powietrza przy wykorzystaniu zjawiska pobierania ciepła przez ciecz, która paruje. Jako ciecz jest najczęściej stosowana woda, której ciepło parowania ma stosunkowo dużą wartość. Każdy psychrometr składa się z dwóch jednakowych termometrów, umieszczonych we wspólnej oprawie lub statywie. Jeden mierzy temperaturę otaczającego powietrza i nosi nazwę termometru suchego. Drugi termometr, tzw. termometr zwilżony, jest wyposażony w zbiorniczek z rtęcią, owinięty warstwą batystu zwilżonego wodą destylowaną. Jeśli wilgotność względna powietrza jest mniejsza od 100%, to woda z powierzchni batystu paruje, a intensywność parowania zależy od wilgotności otaczającego powietrza. Temperatura wskazywana przez termometr zwilżony jest niższa od temperatury wskazywanej przez termometr suchy, co jest spowodowane tym, że woda parując

z powierzchni batystu pobiera ciepło od zbiorniczka termometru zwilżonego. Jednocześnie do zbiorniczka tego termometru dopływa ciepło od otoczenia. Gdy ilość ciepła pobieranego od zbiorniczka z rtęcią równoważy się z ilością ciepła doprowadzanego od otoczenia, temperatura termometru zwilżonego ustala się. Na podstawie wskazań obu termometrów oraz tablic psychrometrycznych ustala się podstawowe charakterystyki wilgotności gazów (powietrza).



**Rys. 26.** Psychrometr Assmanna: 1 – termometr suchy, 2 – termometr zwilżony, 3 – obudowa, 4, 5 – kanały boczne obudowy, 6 – głowica [2, s.42].

Do pomiaru wilgotności w rurociągach służy **psychrometr Assmanna** (rys. 26), nazywany również aspiracyjnym. Charakteryzuje się on stałą prędkością wentylacji (opływu) termometrów przez powietrze, nie mniejszą niż 2 m/s. Psychrometr ten składa się z dwóch termometrów rtęciowych podwieszonych na specjalnych ramionach statywu, przy czym jeden z nich ma batyst założony na zbiorniczek z rtęcią. Do pomiaru temperatury powietrza powyżej 0°C zwisający koniec batystu o długości ok. 10 cm jest zanurzony w naczynku z wodą destylowaną. W temperaturze poniżej 0°C knot batystu musi być obciążony tuż poniżej jego dolnego przewiązania nitką. Termometry znajdują się w specjalnej obudowie z głowicą, w której jest zainstalowany wentylator napędzany sprężyną lub silniczkiem elektrycznym. Na podstawie wskazań obu termometrów oraz tablic psychrometrycznych ustala się podstawowe charakterystyki wilgotności gazów (powietrza).

### **Pomiar lepkości**

Dla wielu substancji lepkość jest wielkością określającą ich jakość i skład, dlatego w wielu przypadkach ważny jest ciągły, automatyczny pomiar lepkości.

Lepkość mierzy się lepkościomierzami (wiskozymetrami), których budowa jest dostosowana między innymi do następujących metod pomiaru: momentu skręcającego, metoda wibracji i ultradźwiękowa.

Podczas wszystkich pomiarów lepkości należy brać pod uwagę, że wielkość ta zmniejsza się ze wzrostem temperatury. Dlatego też temperatura, w której dokonuje się pomiaru lepkości płynu, powinna być dokładnie znana i utrzymywana jako wartość stała w czasie pomiaru.

## Wiskozymetry rotacyjne

Działanie tych przyrządów jest oparte na pomiarze momentu skręcającego wywołanego oporem cieczy. Przestrzeń między dwoma współosiowymi cylindrami zostaje wypełniona badaną cieczą. Podczas obrotu jednego z cylindrów ze stałą prędkością kątową ciecz stara się nadać obrót drugiemu cylindrowi.

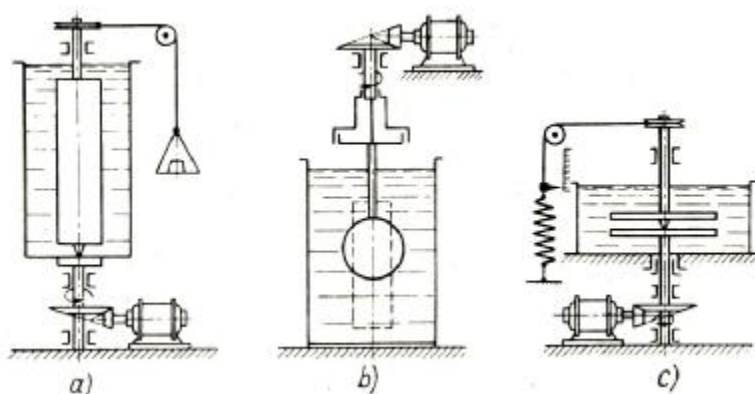
W celu zapobieżenia ruchowi drugiego cylindra należy do niego przyłożyć moment równy, lecz o znaku przeciwnym znakowi momentu przekazywanego przez ciecz.

Wartość momentu skręcającego, wywołanego przez ciecz, wyraża się liniową zależnością:

$$M = k \cdot m \cdot \omega$$

gdzie:  $k$  – stała przyrządu, zależna od rozmiarów geometrycznych obu cylindrów,  $m$  – dynamiczna lepkość cieczy,  $\omega$  – stała prędkość kątowa obracającego się cylindra.

Budowa lepkościomierzy rotacyjnych jest różna, różne są ich konstrukcje oraz sposoby pomiaru momentu skręcającego. Na rys. 27 przedstawiono schematy trzech podstawowych rodzajów lepkościomierzy rotacyjnych.



Rys. 27. Schematy lepkościomierzy rotacyjnych: a) lepkościomierz z współosiowymi cylindrami, b) lepkościomierz z obracającym się wirnikiem zanurzonym w cieczy, c) lepkościomierz z równoległymi tarczami [5, s. 506]

Stale lepkościomierzy rotacyjnych określa się albo analitycznie, albo doświadczalnie za pomocą cieczy wzorcowych. Charakterystyczną własnością lepkościomierzy rotacyjnych jest dość szeroki zakres pomiarów: od 0,01 do 1000 Pa·s.

Lepkościomierze rotacyjne stosuje się nie tylko w celu oznaczania lepkości, ale i badania reologicznych własności substancji. Lepkościomierze rotacyjne mogą być wykorzystane jako wzorcowe przyrządy do pomiaru cieczy o średniej i dużej lepkości.

## Lepkościomierze wibracyjne

W tych przyrządach lepkość oznacza się na podstawie zmian amplitudy wahań rdzenia wykonanego z miękkiej stali i umocowanego w układzie elektromagnetycznym ze zmiennym polem magnetycznym, które współdziała z polem stałych magnesów i wytwarza okresową siłę działającą na rdzeń. W takich warunkach rdzeń będzie wykonywał ruchy drgające. Amplituda wymuszonych drgań zależy od wielkości strat energii wibrujących, ruchomych części przyrządu przy stałości wszystkich innych warunków. Te straty są zależne od lepkości cieczy, odkształcenia sprężystych taśm i od siły tarcia w powietrzu.

Wielkości dwóch ostatnich strat w określonych warunkach są stosunkowo małe i dlatego można określić lepkość cieczy na podstawie wartości amplitudy wahań rdzenia.



## Lepkościomierze ultradźwiękowe

W środowisku o dużej lepkości amplituda swobodnych drgań ciała stopniowo zmniejsza się i to tym bardziej, im większy jest opór wewnętrzny. Mierząc stopień wygasania drgań można wnioskować o lepkości cieczy. Na tej zasadzie pracuje większość lepkościomierzy ultradźwiękowych. Przyrządy te są wykorzystywane do ciągłej kontroli wielu cieczy bezpośrednio w liniach technologicznych. Ich zakres pomiarowy jest w granicach od 0,0001 do 100 Pa·s.

## Pomiar gęstości

Gęstość mierzy się w celu określenia jakości i jednorodności substancji. Przyrządy do automatycznego pomiaru gęstości są bardzo ważnymi elementami kompleksowej automatyzacji wielu procesów przemysłu chemicznego.

Przyrządy do pomiaru gęstości cieczy w zależności od metody pomiaru dzieli się na pływakowe, wagowe, hydrostatyczne i ultradźwiękowe.

## Gęstościomierze pływakowe

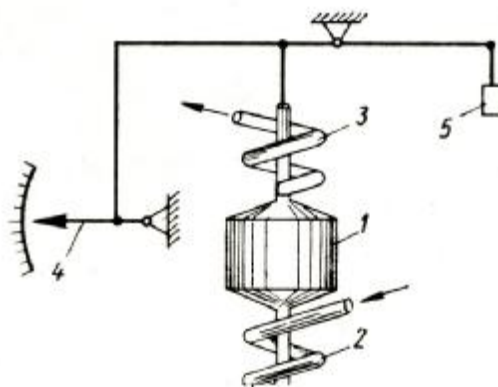
W przyrządach tych gęstość określa się przez stopień zanurzenia pływaka o określonym kształcie i o stałej masie.

Gęstościomierz pływakowy składa się ze zbiornika pomiarowego, w którym jest umieszczony metalowy pływak. Badana ciecz przepływa przez zbiornik. Prędkość przepływu reguluje się dławikiem. Zmiana gęstości cieczy wywołuje zmianę zanurzenia pływaka. Błąd gęstościomierza pływakowego jest rzędu  $\pm 1\%$ .

Główną wadą gęstościomierzy pływakowych jest ich rozmiar. Tej wady nie mają gęstościomierze z całkowicie zanurzonym pływakiem, gdyż głębokość zanurzenia pływaka jest praktycznie stała. W gęstościomierzach z całkowitym zanurzeniem pływaka zmienia się działająca na pływak siła wyporu, proporcjonalna do gęstości cieczy.

## Gęstościomierze wagowe

Gęstościomierze wagowe stosuje się do pomiaru gęstości nie tylko czystych cieczy, lecz również zawiesin i cieczy zawierających stałe składniki.



**Rys. 28.** Gęstościomierz wagowy sprężynowy: 1 – zbiornik pomiarowy, 2, 3 – rurki spiralne, 4 – wskazówka, 5 – ciężarek wymienny [5, s.495]

Na rys. 28 przedstawiono schemat wagowego gęstościomierza sprężynowego, w którym badana ciecz w sposób ciągły przepływa przez naczynie pomiarowe. Naczynie jest zawieszona na dwóch elastycznych rurkach, skróconych spiralnie. Te spiralne rurki spełniają także rolę króćców, przez które ciecz jest doprowadzana i odprowadzana z naczynia. Zmiana gęstości cieczy powoduje zmianę masy naczynia pomiarowego, a dzięki elastyczności

spiralnych rurek następuje proporcjonalnie do tej zmiany przemieszczenie naczynia. To przemieszczenie jest przekazywane wskazówce. Gęstościomierz nastawia się na określony zakres pomiarów za pomocą wymiennego ciężarka.

Wskazania sprężynowego gęstościomierza wagowego nie zależą od zmian ciśnienia i prędkości przepływu cieczy. Gęstościomierz ten może być stosowany do pomiaru gęstości cieczy lotnych.

### **Gęstościomierze hydrostatyczne**

Działanie gęstościomierzy hydrostatycznych opiera się na tym, że ciśnienie słupa cieczy o stałej wysokości jest miarą gęstości cieczy.

W gęstościomierzach tego typu ciśnienie słupa cieczy zwykle mierzy się pośrednio metodą ciągłego przepuszczania przez ciecz obojętnego gazu (powietrza), którego ciśnienie jest proporcjonalne do ciśnienia słupa cieczy (gęstościomierze piezometryczne). Taki sposób pomiaru ciśnienia słupa cieczy umożliwia łatwe sterowanie na odległość. Doboru obojętnego gazu dokonuje się w zależności od własności cieczy, której gęstość się mierzy.

Natężenie przepływu gazu powinno być niewielkie i stałe, ponieważ jego wahania mogą powodować dodatkowy błąd pomiaru.

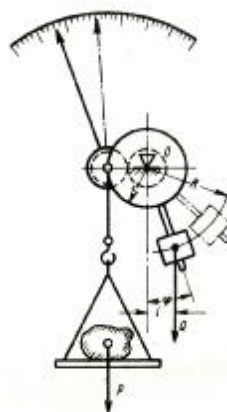
### **Gęstościomierze ultradźwiękowe**

Gęstościomierze ultradźwiękowe działają na zasadzie określenia prędkości ultradźwięku, która jest funkcją gęstości. W celu stosowania przyrządów ultradźwiękowych należy wstępnie określić tę zależność.

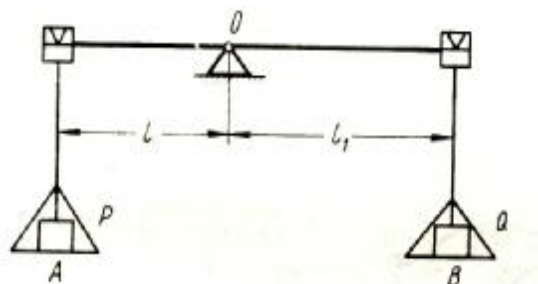
Metoda ultradźwiękowa charakteryzuje się dużą dokładnością, nie powoduje niebezpieczeństwa wybuchu lub pożaru. Charakteryzuje się przydatnością dla przezroczystych i nieprzezroczystych środowisk oraz bezpieczeństwem w stosunku do obsługującego personelu.

### **Pomiar masy**

Różnego rodzaju wagi można podzielić na dwie podstawowe grupy: uchyłne (rys. 29) i dźwigniowe (rys. 30). Zakresy pomiarowe wag uchyłnych są stosunkowo niewielkie i dlatego w praktyce powszechnie stosuje się wagi dźwigniowe.



**Rys. 29.** Schemat wagi uchyłnej [5, s.226]



Rys. 30. Schemat wagi dźwigniowej [5, s.227]

W pomiarach przemysłowych stosuje się wagi automatyczne o działaniu okresowym i ciągłym.

Do pierwszej grupy należą automatyczne **wagi porcjowe** do ważenia odpowiedniej masy materiału, dozowania różnych składników mieszaniny w procesach technologicznych okresowych i ciągłych. Główną zaletą tych wag jest stosunkowo prosta konstrukcja, duża dokładność ważenia oraz to, że nie wymagają one żadnego napędu. Wagi do ważenia ciągłego charakteryzują się tym, że konstrukcyjnie są one ściśle związane z układem przenoszącym materiał (dozowniki taśmowe).

Wagi porcjowe produkowane są o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych:

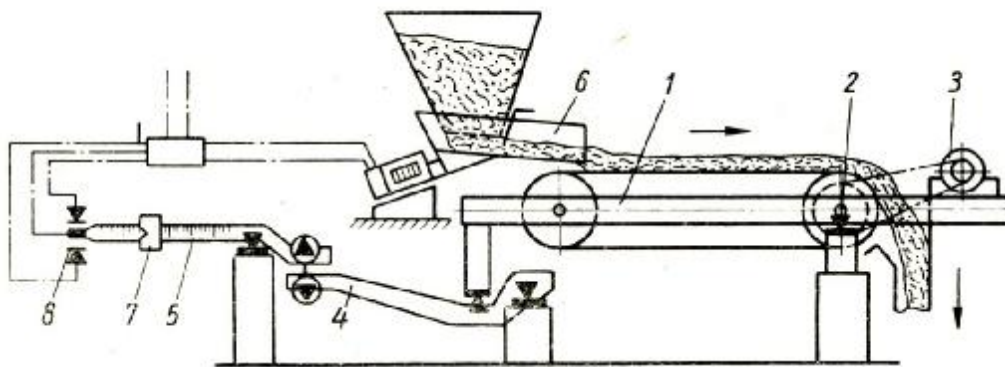
- z koszem przechylnym,
- otwieranym dnem,
- inne.

### Dozowniki taśmowe

W procesach technologicznych stosuje się najczęściej dozowniki wagowe automatyczne typu taśmowego o działaniu ciągłym, których wydajność wynosi od kilku do kilku tysięcy kilogramów materiału sypkiego na godzinę. Przenosząc materiał, ważą go i regulują jego ilość. W zależności od sposobu regulacji ilości materiału wagowe dozowniki taśmowe można podzielić na dwie grupy:

- 1) z mechanicznym (kinematycznym) sprzężeniem urządzenia regulującego, zmieniającego ilość materiału podawanego na taśmę dozownika;
- 2) z elektrycznym lub pneumatycznym sprzężeniem z zewnętrznym źródłem energii, zapewniającym automatyczną zmianę ilości materiału podawanego, odpowiednio do założonej wydajności.

Dokładność dozowników wagowych, dozujących materiał drobnoziarnisty, dochodzi do  $\pm 1\%$ , przy czym większą dokładność uzyskuje się przy mniejszych prędkościach i większych obciążeniach jednostkowych taśmy. Do wad dozowników o mechanicznym zasilaniu należą: stosunkowo duża bezwładność i powolna praca elementów mechanicznego układu regulującego ilość doprowadzanego materiału. Tych wad nie mają dozowniki o elektrycznej regulacji zasilania, odznaczające się małą bezwładnością i szybką pracą układu regulującego ilość materiału. Największe zastosowanie znalazły dozowniki o zasilaniu elektro magnetycznym. Schemat uproszczony takiego dozownika przedstawiono na rys. 31.



**Rys. 31.** Schemat wagowego dozownika o działaniu ciągłym z elektryczną regulacją ilości doprowadzanego materiału 1 – przenośnik taśmowy, 2 – podpora wahliwa, 3 – silnik elektryczny, 4 – dźwignia mechanizmu wagowego, 5 – dźwignia wagi, 6 – elektrowibracyjne urządzenie zasilające, 7 – ciężarek przesuwany, 8 – urządzenie kontaktowe [5, s.236]

#### 4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Jakie zjawiska wykorzystuje się przy pomiarze wilgotności?
2. Wpływ jakiego parametru należy wyeliminować przy pomiarze lepkości cieczy?
3. Wyjaśnij zasadę działania lepkościomierzy rotacyjnych, wibracyjnych i ultradźwiękowych?
4. W jakim celu stosuje się kontrolę gęstości półproduktów i produktów w procesie technologicznym?
5. Jakie są zalety i wady gęstościomierzy wagowych i hydrostatycznych.
6. Dokonaj podziału przyrządów do pomiaru masy stosując różne kryteria?

#### 4.4.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Dokonaj pomiaru wilgotności powietrza higrometrem i psychrometrem. Porównaj wskazania przyrządów. Poszukaj w Internecie informacji: w jakich procesach istotne znaczenie odgrywa kontrola wilgotności powietrza.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) zapoznać się z dokumentacją techniczną higrometru i psychrometru,
- 3) dokonać pomiaru wilgotności,
- 4) porównać wskazania obu przyrządów,
- 5) odszukać w Internecie informacji na temat znaczenia wilgotności dla przebiegu procesów,
- 6) przygotować krótką prezentację na ten temat,
- 7) zaprezentować wyniki pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna higrometru i psychrometru,
- komputer z łączem internetowym.

## Ćwiczenie 2

Przeanalizuj wpływ temperatury na lepkość cieczy.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) zapoznać się z dokumentacją techniczną wiskozymetru rotacyjnego,
- 3) przygotować pięć próbek oleju spożywczego o różnej temperaturze: 15, 25, 30, 40, 60<sup>0</sup>C,
- 4) zmierzyć lepkość oleju w próbkach,
- 5) zapisać wyniki,
- 6) przedstawić wyniki graficznie,
- 7) przeprowadzić analizę wyników,
- 8) sformułować i zapisać wnioski.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna wiskozymetru,
- wiskozymetr rotacyjny,
- olej spożywczy,
- zlewki laboratoryjne o pojemności 250 ml,
- papierowe ręczniki,
- płaszcz grzejny,
- termometr 0–100<sup>0</sup>C.

## Ćwiczenie3

Zaproponuj metodykę wyznaczania gęstości ciał stałych w warunkach domowych. Dokonaj pomiaru gęstości mąki, cukru, kaszy jaglanej, kaszy gryczanej, itp.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zastanowić się jakich pośrednich wielkości pomiary należy wykonać,
- 2) przygotować wykaz niezbędnych narzędzi,
- 3) wykonać pomiary,
- 4) zaprezentować wyniki pracy na forum grupy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- artykuły spożywcze,
- waga kuchenna/techniczna,
- naczynie z miarką,
- łopatka/łyżka,
- materiały piśmiennicze.

#### 4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) dokonać pomiaru podstawowych właściwości fizycznych półproduktów i produktów chemicznych?	..	..
2) wykazać zależność pomiędzy lepkością cieczy a jej temperaturą?	..	..
3) wyznaczyć gęstość ciała stałego?	..	..
4) wskazać procesy, które wymagają kontroli wilgotności dla ich właściwego przebiegu?	..	..
5) opracować i zaprezentować wyniki pracy?	..	..

## 5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

### INSTRUKCJA DLA UCZNIĄ

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
4. Test zawiera 20 zadań dotyczących wykonywania pomiarów parametrów procesowych. Wszystkie zadania są wielokrotnego wyboru i tylko jedna odpowiedź jest prawidłowa.
5. Udzielaj odpowiedzi tylko na załączonej Karcie odpowiedzi. Zaznacz prawidłową odpowiedź X (w przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową).
6. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
7. Kiedy udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci wolny czas.
8. Na rozwiązanie testu masz 30 minut.

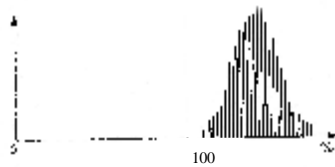
Powodzenia!

### ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

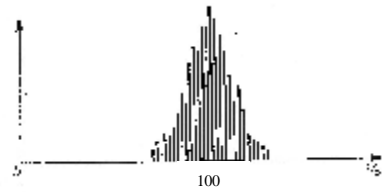
1. Pomiarom bezpośrednim jest pomiar
  - a) wydajności na podstawie spadku ciśnienia.
  - b) gęstości na podstawie masy i objętości.
  - c) mocy prądu na podstawie napięcia i natężenia.
  - d) Temperatury na podstawie jej pomiaru termometrem cieczowym.
2. Ze względu na przeznaczenie narzędzia pomiarowe można podzielić na
  - a) robocze i wzorcowe.
  - b) wskazujące i rejestrujące.
  - c) pośrednie i bezpośrednie.
  - d) cyfrowe i analogowe.
3. Pierwsze miejsce w opisie graficznym punktu pomiarowego przeznaczone jest do oznakowania
  - a) numeru węzła instalacji.
  - b) parametru procesu.
  - c) funkcji punktu pomiarowego.
  - d) numeru kolejnego punktu pomiarowego.
4. Według podziału klasycznego rozróżnia się błędy pomiarowe
  - a) bezpośrednie, pośrednie i okresowe.
  - b) systematyczne, przypadkowe i nadmierne.
  - c) duże, średnie i małe.
  - d) stylistyczne, ortograficzne i gramatyczne.

5. Wskaż metodę dokładną i precyzyjną

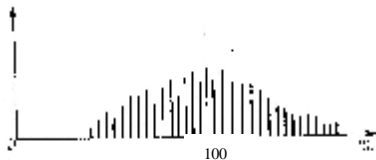
a)



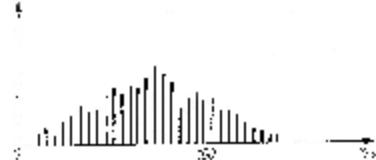
b)



c)



d)



6. Prąd elektryczny to

- a) inaczej wartość ładunku elektrycznego.
- b) różnica potencjałów.
- c) ruch ładunków elektrycznych.
- d) ilość energii elektrycznej dostarczona w jednostce czasu.

7. Mierniki elektryczne klasy 0,1 mają podziałkę o długości:

- a) 200 mm–300 mm.
- b) 100 mm–200 mm.
- c) 60 mm–120 mm.
- d) 40 mm–120 mm.

8. Amperomierz to przyrząd służący do pomiaru

- a) napięcia.
- b) natężenia prądu.
- c) mocy prądu.
- d) rezystancji.

9. Poszerzenie zakresu pomiarowego woltomierza dokonuje się przez

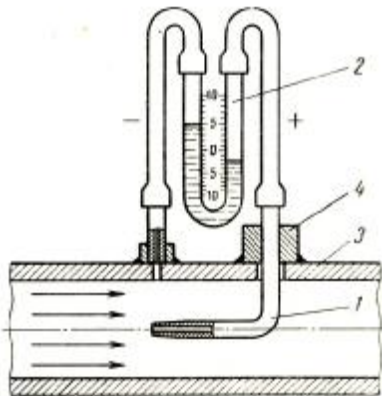
- a) zmniejszenie rezystancji układu.
- b) zmniejszenie natężenia prądu w układzie.
- c) zwiększenie natężenia prądu w układzie.
- d) zwiększenie rezystancji układu.

10. Jednostką mocy prądu elektrycznego jest

- a) amper.
- b) om.
- c) wat.
- d) wolt.



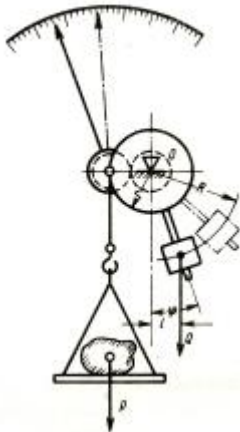
11. Zasada działania termometru rozszerzalnościowego opiera się na
- wykorzystaniu własności przewodników i półprzewodników, które zmieniają swój opór przy zmianie temperatury.
  - pomiarze energii wypromieniowanej przez nagrzane ciało.
  - wykorzystaniu zjawiska powstawania w zamkniętym obwodzie prądu elektrycznego, jeśli chociaż dwie spoiny przewodników mają różne temperatury.
  - wykorzystaniu zależności objętości ciała termometrycznego od wartości temperatury.
12. Czujniki termometrów oporowych wykonywane są z
- platyny i miedzi.
  - cynku i cyny.
  - grafitu i krzemu.
  - ołowiu i kadmu.
13. Przyrząd do pomiaru nadciśnienia to
- barometr.
  - manometr.
  - wakometr.
  - pirometr.
14. Schemat przedstawia pomiar przepływu cieczy za pomocą



- rurki Pitota.
- rotametr.
- zwężki Venturiego.
- kryzy pomiarowej.

15. Poziom cieczy w zbiorniku, gdy brak jest do niego dostępu można zmierzyć poziomowskazem
- hydrostatycznym.
  - pływakowym.
  - rurkowym
  - ultradźwiękowym
16. Psychrometr składa się z
- pływaka umieszczonego w rozszerzającej się ku górze rurze.
  - konfuzora i dyfuzora.
  - dwu jednakowych termometrów.
  - komory ze skórzanymi miechami.

17. Zakres pomiarowy wiskozymetrów rotacyjnych zawiera się w przedziale
- 0,01–1000 Pa · s
  - 1–1000 Pa · s .
  - 10–1000 Pa · s .
  - 100–1000 Pa · s .
18. Lepkościomierze wibracyjne działają na zasadzie pomiaru
- pobieranego ciepła przez ciecz, która paruje.
  - momentu skręcającego wywołwanego oporem cieczy.
  - określonej objętości cieczy i rejestracji odmierzonych porcji.
  - zmian amplitudy drgań stalowego rdzenia pod działaniem pola magnetycznego.
19. Jaką gęstość ma substancja jeżeli 500 ml tej substancji waży 0,2 kg
- 200 kg · m<sup>-3</sup> .
  - 300 kg · m<sup>-3</sup> .
  - 400 kg · m<sup>-3</sup> .
  - 500 kg · m<sup>-3</sup> .
20. Na schemacie przedstawiono wagę



- uchyłną.
- taśmową.
- magnetyczną.
- dźwigniową.

# KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko .....

## Wykonywanie pomiarów parametrów procesowych

Zakreśl poprawną odpowiedź.

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
13	a	b	c	d	
14	a	b	c	d	
15	a	b	c	d	
16	a	b	c	d	
17	a	b	c	d	
18	a	b	c	d	
19	a	b	c	d	
20	a	b	c	d	
<b>Razem:</b>					

## 6. LITERATURA

1. Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: Metrologia elektryczna. WNT, Warszawa 1998
2. Dojlido J., Ujda K., Józwick J.: Aparatura kontrolno-pomiarowa w gospodarce wodno-ściekowej. WSiP, Warszawa 1992
3. Eckschlager K.: Błędy w analizie chemicznej. PWN, Warszawa 1974
4. Kotlewski F. (red.): Pomiary w technice cieplnej. WNT, Warszawa 1974
5. Kułakow M.W.: Pomiary technologiczne i aparatura kontrolno-pomiarowa w przemyśle chemicznym. WNT, Warszawa 1972
6. [pl.wikipedia.org](http://pl.wikipedia.org)
7. Urban A.: Podstawy miernictwa. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1982