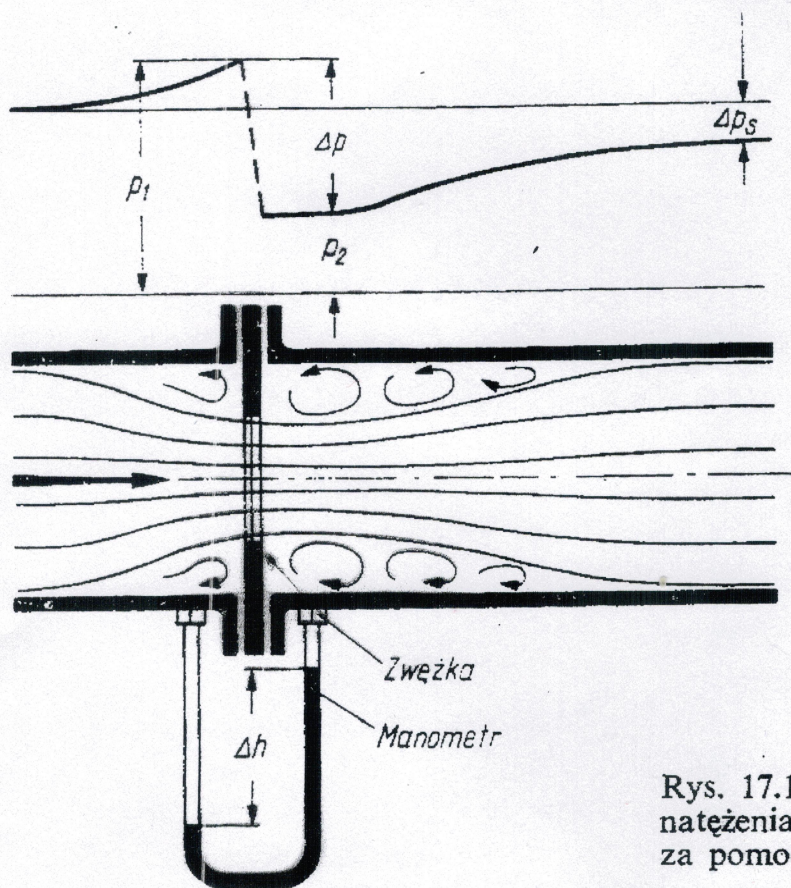


15.1. Pojęcie przepływu

Transport surowców lub paliw płynnych (tzn. ciekłych lub gazowych) odbywa się najczęściej rurociągami. Zachodzi więc potrzeba określenia, dla celów sterowania lub bilansowych, wielkości strumieni lub ilości tych substancji. **Strumieniem (natężeniem przepływu)** nazywa się masę lub objętość substancji płynącej przez dany przekrój przewodu w jednostce czasu — mówi się wtedy odpowiednio o strumieniu **masowym** (kg/s) lub **objętościowym** (m³/s). Przyrządy służące do pomiaru strumienia płynu nazywa się **przepływomierzami**. W celu znalezienia objętości lub masy dostarczonej substancji, należy scałkować wartość chwilową sygnału (strumień chwilowy); przepływomierze wyposażone w urządzenia zliczające (całkujące) — wyskalowane w jednostkach objętości, masy lub energii nazywa się **licznikami**.

Przyrządy do pomiaru natężenia przepływu i ilości cieczy. Natężeniem przepływu nazywa się objętość cieczy przepływającej w czasie jednostkowym przez dany przekrój kanału. Wielkość tę nazywa się również wydajnością cieczy. Do pomiaru natężenia przepływu szeroko stosowana jest metoda zwężkowa. Do pomiarów tą metodą potrzebne są: a) organ powodujący spadek ciśnienia - zwężka (rys. 17.17), którą wmontowuje się w przewód z przepływającym płynem (zwężka przepływowa),

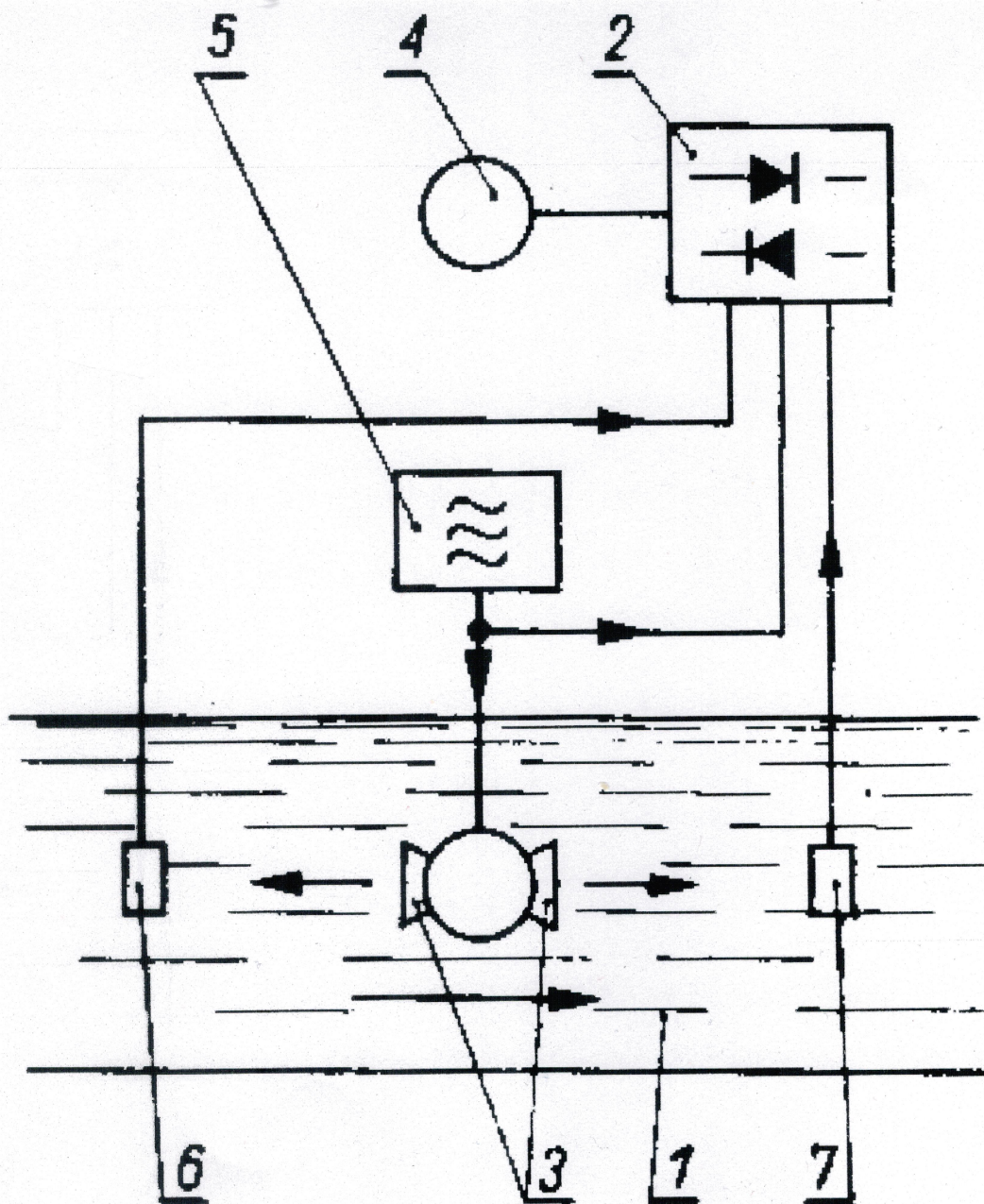


Rys. 17.17. Zasada pomiaru natężenia przepływu za pomocą zwężek

b) organ do mierzenia różnicy ciśnień statycznych przed i za zwężką - manometr różnicowy. Organ manometryczny może być wywzorcowany wprost w jednostkach natężenia przepływu. Najczęściej spotykane zwężki miernicze dzielą się na kryzy i dysze. Kryza (rys. 17.18a) jest to zwężka w kształcie płyty z otworem pośrodku. Podczas przepływu cieczy przez kryzę struga ulega dalszemu zwężeniu poza otworem wylotowym. Stosunek najwęższego przekroju strugi do najwęższego przekroju zwężki jest $\mu < 1$.

4. PRZEPLYWOMIERZE ULTRADŹWIĘKOWE

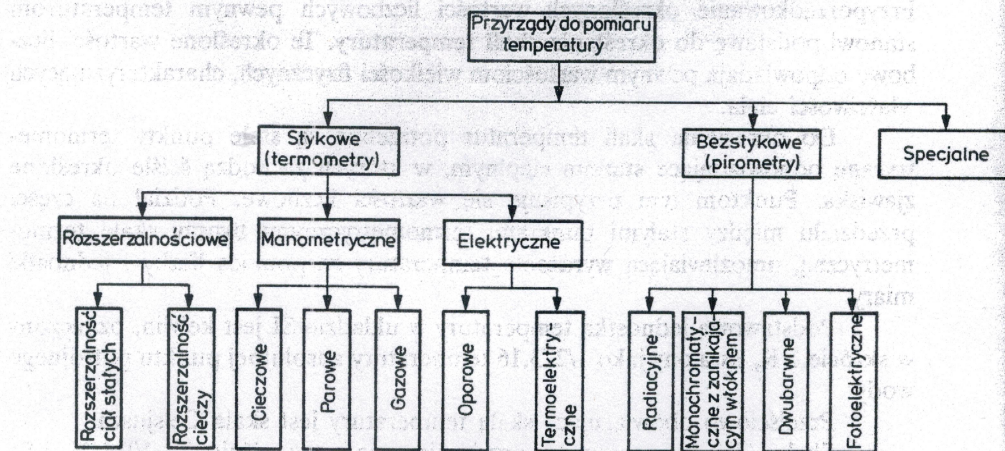
W przepływomierzach ultradźwiękowych wykorzystana jest zależność między prędkością przepływu ośrodka, w którym rozchodzi się fala akustyczna, a czasem przebiegu sygnału akustycznego między dwoma punktami. Schemat przepływomierza ultradźwiękowego przedstawiony jest na rys. VII-36. W przewodzie 1 umieszczony jest elektrostrykcyjny (piezoelektryczny) nadajnik impulsów akustycznych 3. Sterowany przez generator 5 nadajnik wysyła impulsy o częstotliwości kilkudziesięciu kHz. Impulsy odbierane są przez dwa piezoelektryczne czujniki 6 i 7 umieszczone w różnych odległościach od nadajnika. Gdy czynnik wypełniający przewód jest nieruchomy, czas, po jakim impuls dotrze do czujników, jest jednakowy i wynosi t_1



Rys. VII-36. Przepływomierz ultradźwiękowy

2.3. PODZIAŁ TERMOMETRÓW

Przyrządy służące do pomiaru temperatur w zależności od sposobu przyjmowania ciepła pomiędzy czujnikiem przyrządu a ciałem lub ośrodkiem mierzonym dzielą się na termometry stykowe oraz bezstykowe pirometry.



Rys. 2.1. Klasyfikacja przyrządów do pomiaru temperatury

2.3.1.2. Termometry cieczowe

Przy budowie termometrów cieczowych wykorzystano zjawisko zmiany objętości cieczy wraz ze zmianą temperatury. Zmiana objętości cieczy pod wpływem zmiany temperatury wyraża się zależnością:

$$V = V_0 \cdot \alpha_p (T_1 - T_2)$$

gdzie:

V_0 — objętość cieczy w temperaturze T_1 ,

V — zmiana objętości cieczy przypadającej na różnicę temperatur $T_1 - T_2$,

α_p — średni pozorny cieplny współczynnik rozszerzalności objętościowej cieczy termometrycznej dla danego gatunku szkła.

Ciecze termometryczne stosowane w konstrukcji termometrów cieczowych powinny mieć następujące właściwości:

- stałe właściwości fizyczne i chemiczne w czasie,
- niską temperaturę krzepnięcia i wysoką wrzenia,
- stały cieplny współczynnik rozszerzalności objętościowej w szerokim zakresie zmiany temperatury.

Najczęściej stosowanymi cieczami termometrycznymi są: rtęć, alkohol etylowy, toluen, pentan.

Najwięcej zalet z wymienionych cieczy ma rtęć.

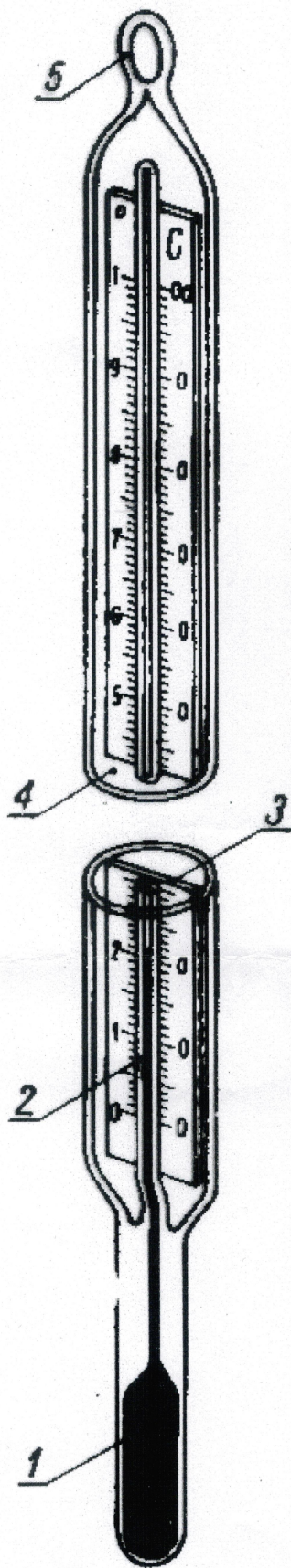
Do zalet należy zaliczyć:

- duży zakres wskazań — 38,87°C do 356,58°C (234,28 K – 629,73 K),
- niezwilżalność szkła,
- dobry przewodnik ciepła.

Termometry cieczowe są przyrządami wskazującymi. Są one zbudowane ze zbiornika napełnionego cieczą termometryczną, rurki pomiarowej, kapilar oraz podziałki.

Najczęściej stosuje się termometry cieczowe pałeczkowe i rurkowe.

W celu zabezpieczenia termometrów przed uszkodzeniami mechanicznymi, termometry przemysłowe umieszcza się w zabudowie metalowej (rys. 2.3)



Rys. III-6.
Cieczowy
termometr
rozszerzal-
nościowy



Rys. III-7.
Termometr
pałeczkowy

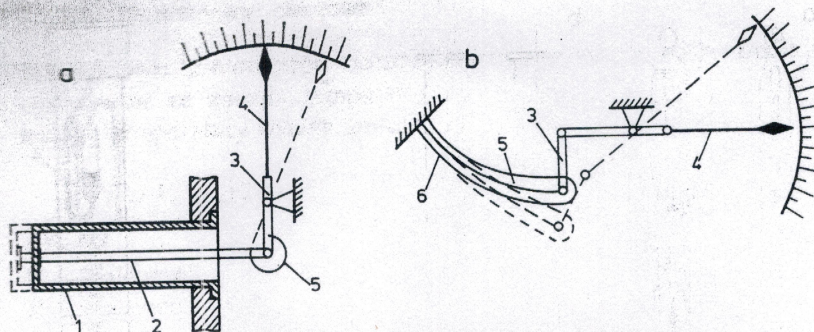
2.3.1.3. Termometry metalowe

Zasada działania termometrów metalowych polega na wykorzystaniu zjawiska rozszerzalności cieplnej dwóch ciał stałych do dużej różnicy współczynników rozszerzalności liniowej.

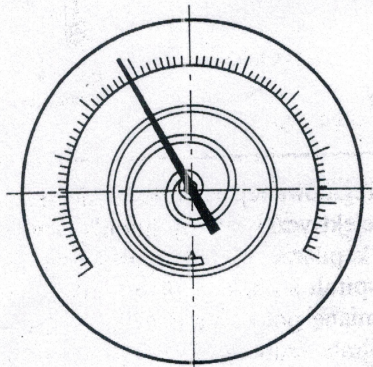
Na rysunku 2.5 przedstawiono dwa rodzaje termometrów metalowych: dylatometryczny i bimetalowy.

Czujnikiem termometru dylatometrycznego (rys. 2.5a) jest zespół składający się z rurki i pręta. Rurka 1 wykonana jest z metalu o dużym cieplnym współczynniku rozszerzalności liniowej (mosiądz, stal). Pręt 2 wykonuje się z materiału o małym współczynniku rozszerzalności, najczęściej z inwaru 36% Ni i 64% Fe. Pod wpływem przyrostu temperatury wydłuża się rurka i pręt, przy czym wydłużenie rurki jest większe.

Przesunięcie pręta 2 będące funkcją temperatury jest za pomocą dźwigni 3 przekazywane na wskazówkę 4. Moment zwrotny wytwarza sprężyna 5.



Rys. 2.5. Termometry metalowe
a - dylatometryczny, b - bimetalowy



Rys. 2.6. Termometr rozszerzalnościowy z bimetałem spiralnym

Termometry z rurką mosiężną można stosować do temperatury 573 K (300°C), a z rurką stalową do 973 K (700°C).

Czujnik termometru bimetalowego (rys. 2.5b) składa się z dwóch trwale połączonych ze sobą pasków, wykonanych z metali o różniących się współczynnikach rozszerzalności liniowej, np. inwar - mosiądz.

Czujnik ma najczęściej kształt łuku lub spirali (rys. 2.6). Pod wpływem przyrostu temperatury płytka mosiężna 5 zwiększa swoją długość bardziej niż płytka inwarowa 6. Na skutek tego promień krzywizny bimetalu zwiększa się, a swobodnie poruszający się koniec, poprzez układ dźwigniowy 3, zmienia odpowiednio położenie wskazówki 4.

Termometry bimetalowe znalazły zastosowanie w regulatorach temperatury oraz przy kompensacji wpływu temperatury na wskazania różnych przyrządów pomiarowych.

Przyrządy do pomiaru temperatury

Pirometry

Pirometr – przyrząd pomiarowy do bezdotykowego pomiaru temperatury. Działa w oparciu o analizę promieniowania cieplnego emitowanego przez badane ciała.

Wszystkie ciała o temperaturze wyższej od temperatury zera bezwzględnego emitują promieniowanie cieplne o podobnej charakterystyce zwanej promieniowaniem ciała doskonale czarnego.

Proste pirometry mierzą ilość energii emitowanej poprzez pomiar temperatury elementu, na który pada promieniowanie.

Do pomiaru temperatur powyżej 600°C używane są pirometry optyczne, w których jasność świecenia badanego obiektu jest porównywana z jasnością obiektu wzorcowego (np. żarnika).

Pirometr używany jest m.in. przez straż pożarną do mierzenia temperatury w momencie gdy nie ma możliwości podejścia do źródła ciepła.



14.1. Pojęcie ciśnienia

Pojęcie ciśnienia ma charakter względny; ciśnienie (p) w rozpatrywanej przestrzeni odnosi się do „otoczenia”, którym najczęściej jest atmosfera. Ciśnienie względem próżni nazywa się ciśnieniem bezwzględnym (absolutnym) i jest sumą algebraiczną ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia względem atmosfery, które może być niższe (podciśnienie) lub wyższe (nadciśnienie). Często mierzy się również różnicę ciśnień, przy czym bezwzględne wartości tych ciśnień mogą przewyższać o kilka rzędów wartość ciśnienia różnicowego.

Jednostką ciśnienia jest paskal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$). Należy jednak zauważyć, że w dokumentacji aparatury firm zagranicznych można spotkać jednostkę bar ($1 \text{ bar} \approx 10^5 \text{ Pa}$) oraz psi ($1 \text{ psi} = 1 \text{ funt/cal}^2$; $15 \text{ psi} \approx 100 \text{ kPa}$). Bardzo małe wartości ciśnienia podaje się też w $\text{mm}_{\text{H}_2\text{O}}$ ($1 \text{ mm}_{\text{H}_2\text{O}} \approx 10 \text{ Pa}$).

14.2. Czujniki ciśnienia

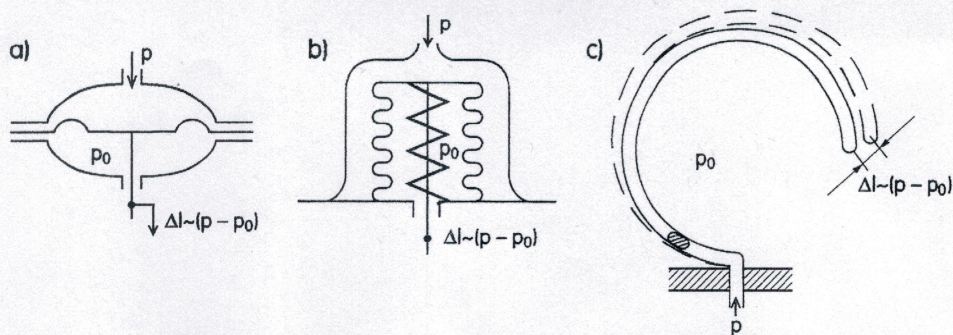
Przyrządy do pomiaru ciśnień, pozwalające na jego odczyt, noszą tradycyjne nazwy: **barometr** — do pomiaru ciśnienia atmosferycznego, **manometr** — do pomiaru ciśnienia wyższego od atmosferycznego, **wakuometr** — do pomiaru ciśnienia niższego od atmosferycznego.

Istnieją trzy grupy ciśnieniomierzy, różniące się zasadą działania:

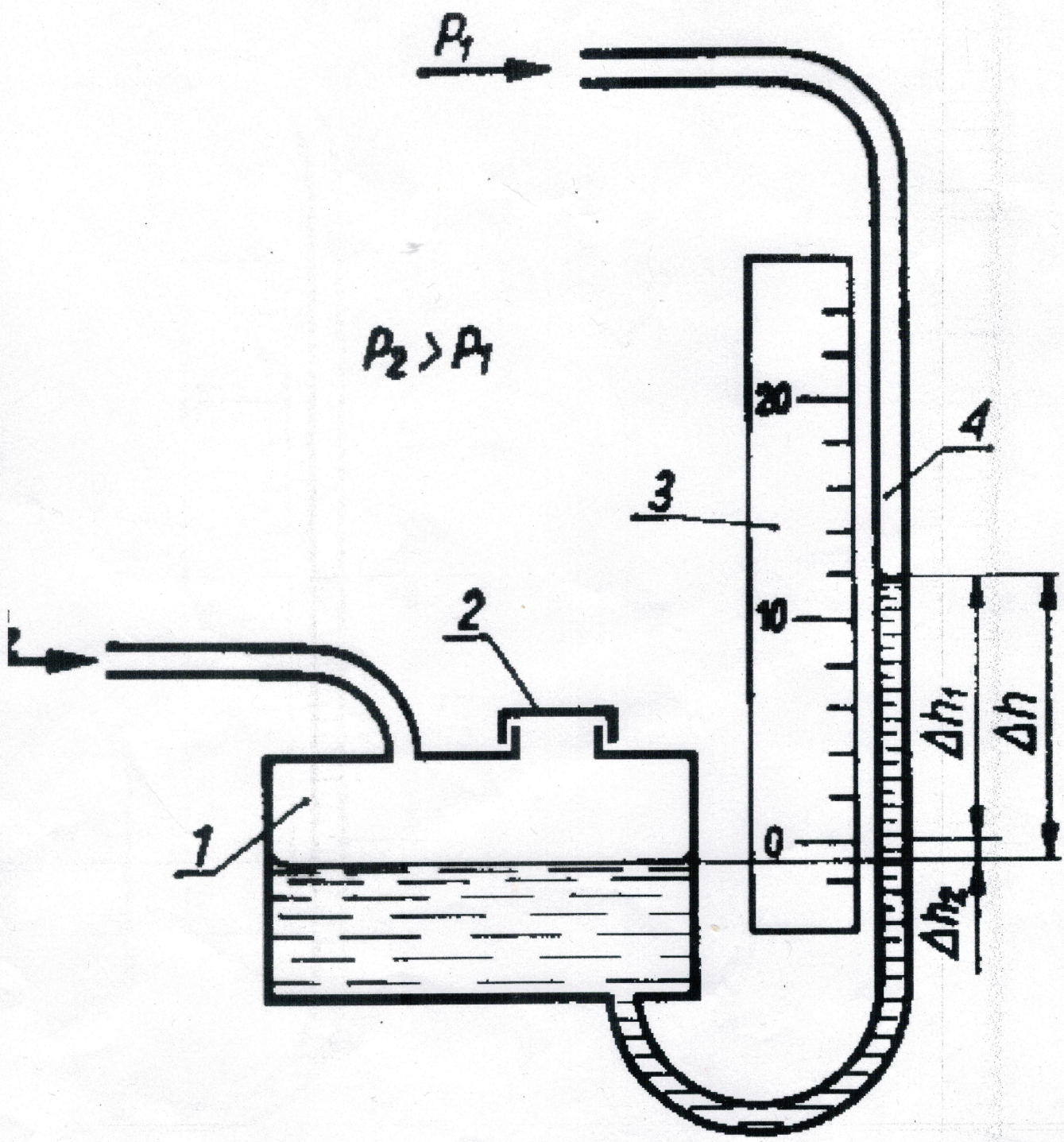
- cieczowe,
- sprężynowe,
- tensometryczne.

W każdej z nich istnieje wiele odmian konstrukcyjnych. W warunkach laboratoryjnych można spotkać **ciśnieniomierze cieczowe** działające na zasadzie równowagi ciśnień w naczyniach połączonych: zmianom ciśnienia odpowiadają zmiany poziomu menisku cieczy manometrycznej; mają one ograniczone zakresy pomiarowe i tylko niska cena i duża dokładność uzasadniają użycie tych niewygodnych w obsłudze przyrządów. Ciśnieniomierze cieczowe nie dostarczają bezpośrednio sygnału wygodnego do przesłania na odległość, nie spełniają więc istotnego wymagania stawianego czujnikom.

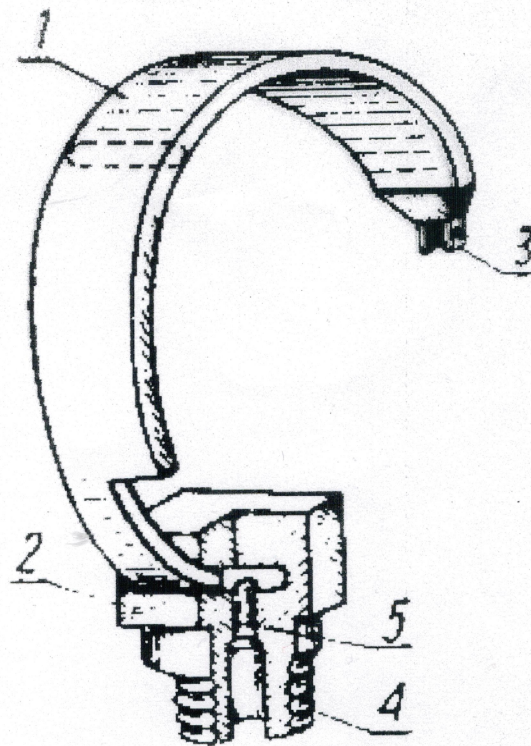
Nie mają też tej cechy **manometry sprężynowe**, w których membrany, mieszki lub rurki Bourdona (rys. 14.1) stanowią fizyczną przegrodę dwóch ośrodków.



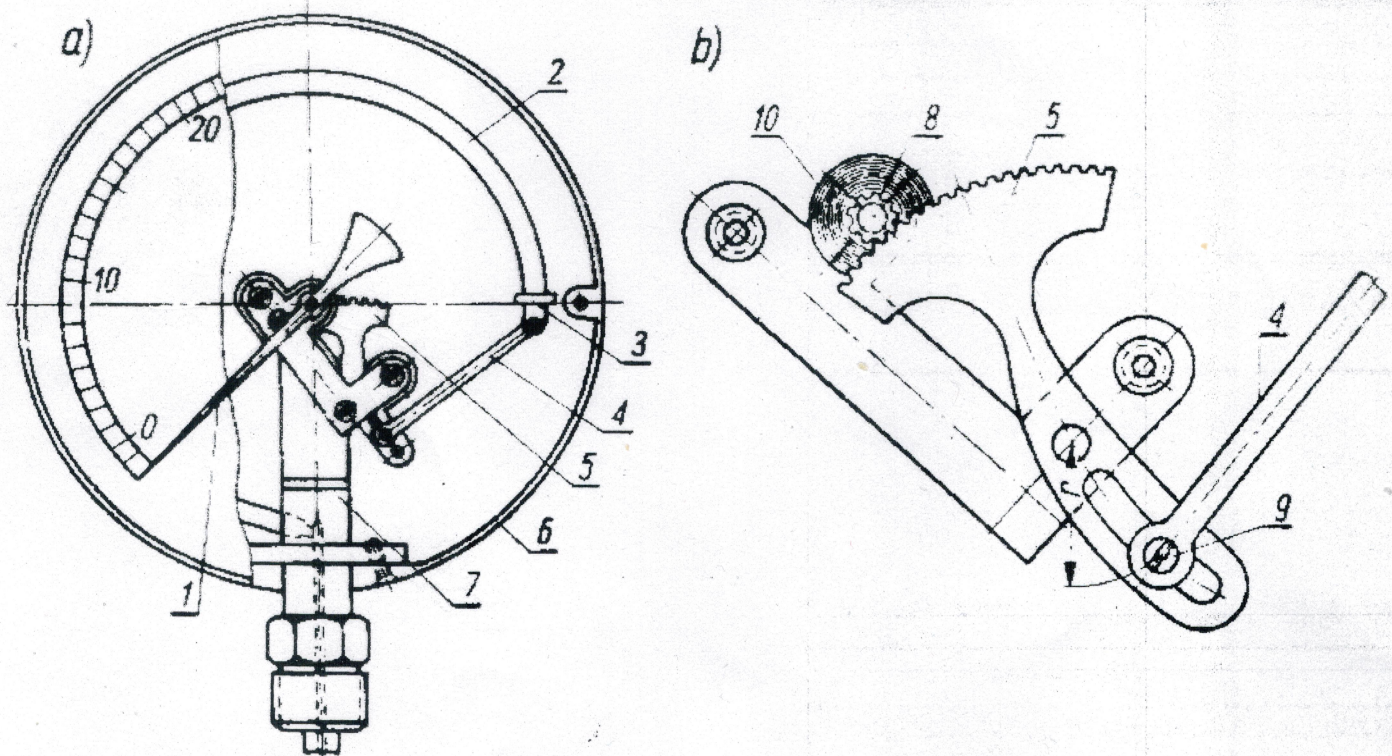
Rys. 14.1. Czujniki ciśnienia sprężynowe: a) membranowy; b) mieszkowy; c) z rurką Bourdona



Rys. IV-9. Manometr naczyniowy



Rys. IV-23. Rurka Bourdona



Rys. IV-24. Manometr prężny z rurką Bourdona: a) schemat ogólny, b) mechanizm przekładniowy

1 — wskazówka, 2 — rurka Bourdona, 3 — widelki, 4 — ciągnio, 5 — sektor zębaty, 6 — korpus, 7 — końcówka, 8 — zębnik, 9 — wkręt regulacji przełożenia, 10 — sprężyna spiralna

Przyrządy do pomiaru wilgotności

Przyrządy pomiarowe

Urządzenie, które w sposób profesjonalny wykonuje pomiary wilgotności powietrza to wilgotnościomierz. Przy jego pomocy możemy skontrolować poziom wilgotności w powietrzu, zawartości wody w materiale sypkim i stałym. Dzięki temu urządzeniu bez problemów zlokalizujemy miejsca ze zbyt wysokim poziomem wilgotności i zawnazasu zapobiegniemy niepożądanym stratom.

Testo 610

Cechy:

- Łatwy pomiar temperatury i wilgotności
- Kalkulacja punktu rosy i temperatury mokrego termometru
- Podświetlany wyświetlacz
- Czujnik pojemnościowy wilgotności zapewnia długotrwałą stabilność pomiarów

Dane techniczne:

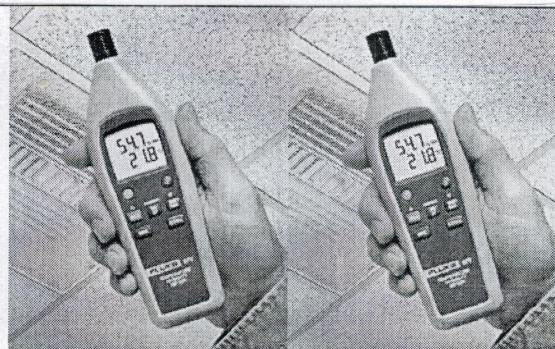
- zakres pomiarowy 0 do 100% RH
- dokładność $\pm 2,5$ %RH (5 do 95 %RH)
- rozdzielczość 0,1 %RH



fot.: Testo

Fluke 971 Miernik temperatury i wilgotności

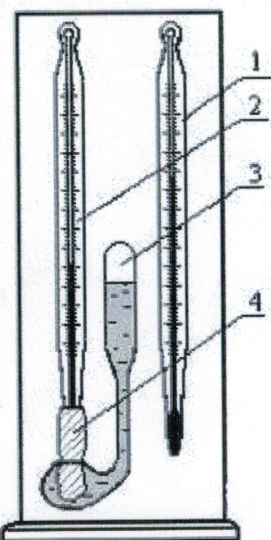
- Podświetlany, dwuwierszowy wyświetlacz
- Pomiar punktu rosy i termometru wilgotnego
- Pojemność pamięci do 99 zapisów
- Ergonomiczny kształt z wbudowanym uchwytem paskowym i futerałem ochronnym
- Quick-response capacitance sensor with protective cover
- Kompaktowy i lekki (188g / 6.6 uncji)
- Zakres temperatury -20 °C do 60 °C (-4°F do 140 °F)
- Wilgotność względna od 5% do 95%



fot.: Fluke

Psychrometr Augusta

Tak zwany psychrometr Augusta jest to zestaw dwóch termometrów, z których jeden jest zaopatrzony w koszulkę i zbiorniczek wody destylowanej do jej nawilżania. Psychrometr ten nie ma unormowanego przepływu powietrza naokoło swych termometrów — nie nadaje się więc do dokładnych pomiarów i wskazania jego należy traktować wyłącznie jako orientacyjne. Pomimo tych wad przyrządy te są często stosowane ze względu na prostotę i taniść.



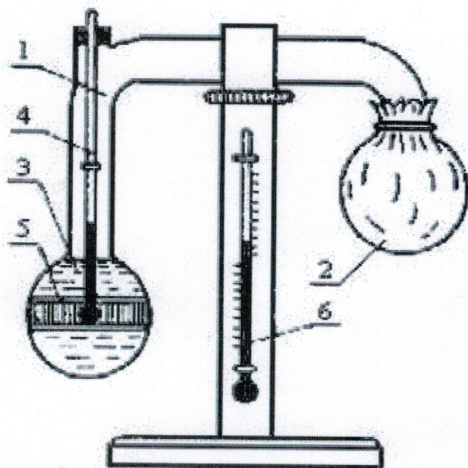
Rys. 3.

Psychrometr Augusta: 1 - termometr suchy, 2 - termometr mokry, 3 - tkanina zwilżająca, 4 - naczynie z wodą destylowaną.

Higrometry kondensacyjne

Higrometry tego typu są przyrządami opartymi na pomiarze temperatury punktu rosy, czyli temperatury, w której rozpoczyna się proces kondensacji pary wodnej z powietrza na gładkiej metalowej lub szklanej powierzchni (tzw. lustrze) - powierzchnia ta musi być chłodzona. W metodzie pomiarowej wykorzystano fakt, że chłodzenie powietrza otaczającego lustro odbywa się przy stałej zawartości wilgoci ($x = \text{const}$). Chłodzenie lustra higrometru może się odbywać różnymi sposobami, a mianowicie:

- przez wykorzystanie ciepła parowania cieczy łatwowrzących (higrometr Daniella),
- przez adiabatyczne rozprężenie gazu,
- przez wykorzystanie efektu Peltiera, czyli zjawiska chłodzenia termoelektrycznego.



Rys. 2.

Higrometr kondensacyjny Daniella: 1 - rurka szklana, 2 - kula owinięta tkaniną, 3 - kula z płynnym eterem, 4 - termometr wskazujący temperaturę rosy, 5 - metalowa blaszka, 6 - termometr wskazujący temperaturę powietrza.

Zamiana jednostek ciśnienia

	MPa	kPa	Pa	bar	mbar	kG/cm ² (at)	atm	mm H ₂ O	mm Hg (Tr)
MPa	1	1000	1000000	10	1000	10,19716	9,86923	101971,6	7500,62
kPa	0,001	1	1000	0,01	10	10,19716x10 ⁻³	9,86923x10 ⁻³	101,9716	7,50062
Pa	0,000001	0,001	1	0,00001	0,01	0,10197x10 ⁻⁶	9,86923x10 ⁻⁶	101,9716x10 ⁻³	7,50062x10 ⁻³
bar	0,1	100	100000	1	1000	1,019716	0,986923	10197,16	750,062
mbar	0,0001	0,1	100	0,001	1	1,019716x10 ⁻³	0,986923x10 ⁻³	10,19716	750,062x10 ⁻³
kG/cm ² (at)	98,0665	98,0665	98066,5	0,980665	980,665	1	0,967841	10000	735,559
atm	0,101325	101,325	101325	1,01325	1013,25	1,033227	1	10332,27	760
mm H ₂ O	9,80665x10 ⁻⁶	9,80665x10 ⁻³	9,80665	98066,5x10 ⁻³	98,0665x10 ⁻³	0,001x10 ⁻³	98,7841x10 ⁻⁶	1	0,073556
mm Hg (Tr)	133,3224x10 ⁻⁶	133,3224x10 ⁻³	133,3224	1,333224x10 ⁻³	1,333224	1,35951x10 ⁻³	1,315789x10 ⁻³	13,6	1

1 Pa = 1 N/m² (niuton na metr kwadratowy)

1 kG/cm² = 1 kp/cm² = 1 at (atmosfera techniczna)

1 atm = 1 atmosfera fizyczna

1 mbar = 1 hPa (hectopaskal)