

**INSTYTUT INFORMATYKI, AUTOMATYKI I ROBOTYKI
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ**

I-6

**LABORATORIUM URZĄDZEŃ I
UKŁADÓW AUTOMATYKI**

Ćwiczenie nr 1

**CZUJNIKI POMIAROWE, IDENTYFIKACJA
OBIEKTU.**

1.Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z różnego rodzaju czujnikami do pomiaru temperatury, poziomu, prędkości obrotowej, parametrów chemicznych i położenia.

2.Zakres ćwiczenia:

Program ćwiczenia zawiera:

- zapoznanie się z budową następujących czujników temperatury : rozszerzalnościowych, manometrycznych, rezystancyjnych i termoelektrycznych.
- pomiar charakterystyki statycznej wybranego czujnika,
- pomiar charakterystyki dynamicznej wskazanego czujnika i obiektu ,
- określenie parametrów transmitancji obiektu na podstawie pomiarów jego charakterystyki statycznej i dynamicznej,
- identyfikację wskazanego czujnika,
- poznanie metod poprawnego pomiaru temperatury czujnikami rezystancyjnymi i termoelektrycznymi,
- zapoznanie się z ultradźwiękowymi czujnikami do pomiaru poziomu cieczy i ciał sypkich,
- zapoznanie się z czujnikami prędkości obrotowej i pomiar ich charakterystyk statycznych,
- poznanie czujników niektórych parametrów chemicznych,
- badanie czujników zbliżeniowych.

3.Opis przebiegu ćwiczenia.

3.1.Czujniki temperatury.

Temperatura jest jednym z ważniejszych parametrów fizycznych w technice i mimo że jest łatwo wyczuwalna pomiary jej nastroczają wiele problemów. Wynika to z faktu , że nie możemy jej mierzyć w sposób bezpośredni. W trakcie rozwoju termometrii powstało wiele skal temperatur. Obecnie powszechnie stosowana jest międzynarodowa skala temperatur wyznaczona przez kilka punktów stałych (temperatura wrzenia lub krzepnięcia niektórych ciał). Te punkty stałe podano w Tabeli 1.1.

Do pomiaru temperatur wykorzystuje się różne zjawiska fizyczne. W związku z tym rozróżnia się następujące rodzaje termometrów:

a) rozszerzalnościowe , w których wykorzystuje się zjawisko rozszerzalności cieczy lub ciał stałych w zależności od temperatury. Należą do nich termometry: cieczowe szklane, dylatacyjne i bimetaliczne,

b) manometryczne, działające na zasadzie zmiany ciśnienia gazu lub cieczy w zamkniętej objętości,

c) termoelektryczne w których wykorzystuje się zjawisko powstawania siły termoelektrycznej na styku dwóch różnych metali . Warunkiem powstania tej siły jest wystąpienie różnicy temperatur między złączem dwóch metali (spoina pomiarowa) a wolnymi końcami termoelementu (zimne końce termoelementu),

d) rezystancyjne - oparte na zmianie rezystancji niektórych metali (platyny, niklu, miedzi) oraz pewnych półprzewodników pod wpływem temperatury,

e) pirometryczne w których wykorzystuje się zjawisko emitowania promieniowania ciepłego przez ciało , którego temperaturę chcemy zmierzyć. Zakres stosowalności pirometrów wynosi zwykle od 0 °C do 3000 °C.

Wszystkie podane wyżej rodzaje termometrów są stosowane w technice pomiarów temperatury w praktyce. Dobór odpowiedniego przyrządu zależy od bardzo wielu czynników z których najważniejszym jest wymagany zakres pomiarowy. Zakresy pomiarowe poszczególnych termometrów pokazuje Tabela 1.2.

Tabela 1.1. Punkty stałe międzynarodowej skali temperatur.

Lp.	Stan równowagi	Temperatura	
		⁰ K	⁰ C
1	Między ciekłym i gazowym stanem tlenu (punkt wrzenia tlenu)	90,188	- 182,962
2	Między stałym, ciekłym i gazowym stanem wody (punkt potrójny wody)	273,16	0,01
3	Między ciekłym i gazowym stanem wody (punkt wrzenia wody)	373,15	100
4	Między stałym i ciekłym stanem cynku (punkt krzepnięcia cynku)	692,73	419,58
5	Między stałym i ciekłym stanem srebra (punkt krzepnięcia srebra)	1235,08	961,93
6	Między stałym i ciekłym stanem złota (punkt krzepnięcia złota)	1337,58	1064,43

Tabela 1.2. Zakresy pomiarowe termometrów

⁰C: -270 -200 0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 2000 3000

Dylatacyjne	[Bar chart showing range from approx. -100 to 400]									
Manometryczne	[Bar chart showing range from approx. -100 to 600]									
Bimetaliczne	[Bar chart showing range from approx. 0 to 400]									
Rezystancyjne	[Bar chart showing range from approx. -100 to 800]									
Termoelektryczne	[Bar chart showing range from approx. -100 to 1600]									
Optyczne	[Bar chart showing range from approx. 0 to 3000]									

3.1.1. Termometry mechaniczne.

W tej grupie termometrów można wyróżnić termometry rtęciowe, dylatacyjne, manometryczne i bimetaliczne.

a) Termometry rtęciowe. Używane powszechnie w medycynie. Techniczne termometry rtęciowe posiadają obudowę chroniącą termometr przed uszkodzeniem. Pomiar temperatury powinien być dokonany tak aby wysokość słupka rtęci była zanurzona w badanej cieczy na wysokość aktualną słupka rtęci. W przypadku różnicy tych wysokości popełnia się błąd, który można wyliczyć i wprowadzić odpowiednią poprawkę. (Uwaga: termometry techniczne skalowane są przy głębokości zanurzenia zaznaczonego na jego obudowie). Sposób wprowadzenia poprawki pokazuje rys.1.1.

b) Termometry dylatacyjne. W tych termometrach wykorzystuje się zjawisko rozszerzalności cieplnej metali:

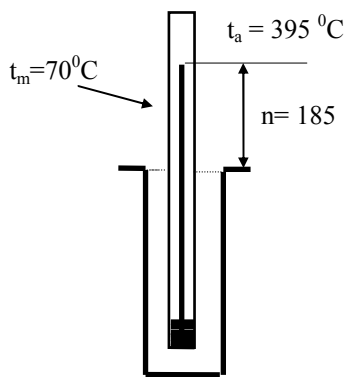
$$l = l_0(1 + \lambda \Delta t)$$

l - długość elementu w temperaturze t

l_0 - długość elementu w temperaturze t_0

λ - temperaturowy współczynnik rozszerzalności liniowej danego metalu,

Δt - różnica temperatur $\Delta t = t - t_0$



$$\Delta t = \alpha * n (t_a - t_m)$$

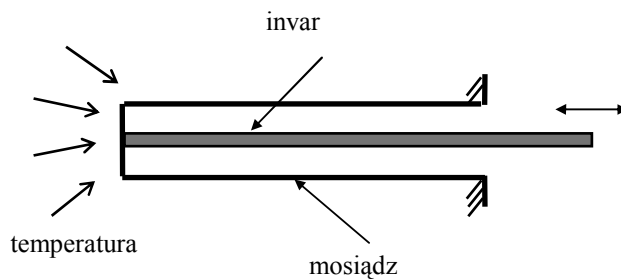
n - wysokość w $^{\circ}\text{C}$ wynurzonej części słupka rtęci,

t_a - temperatura wskazywana przez termometr,

t_m - średnia temperatura wystającego słupka rtęci (zmierzona np. dodatkowym termometrem),

α - względny współczynnik rozszerzalności rtęci w odniesieniu do szkła (średnio $\alpha = 0,000158$ dla szkła jenajskiego normalnego i termometrów rurkowych w zakresie od 0 do 400°C)

Rys.1.1. Pomiar temperatury termometrem rtęciowym i przykładowe wyniki pomiarów.



Rys.1.2. Czujnik termometru dylatacyjnego.

Sam czujnik takiego termometru składa się z rury wykonanej np. z mosiądzu i zamocowanego w środku pręta z invaru (materiał o bardzo małym współczynniku rozszerzalności cieplnej).

Tak np. dla mosiądzu $\lambda = 0,0000184 [1/^{\circ}\text{C}]$,

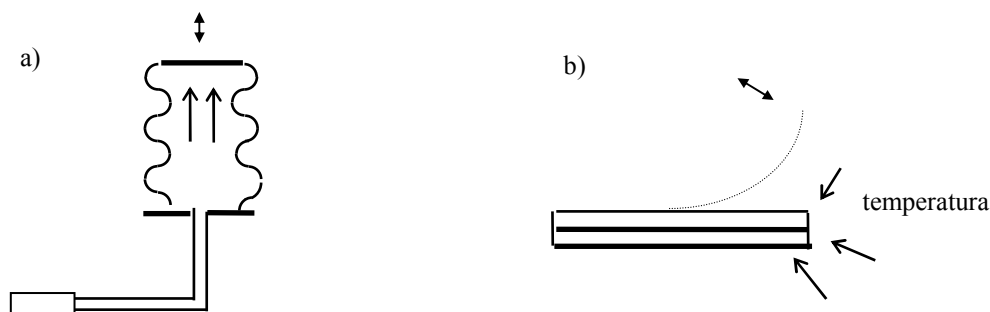
dla invaru $\lambda = 0,0000009 [1/^{\circ}\text{C}]$.

Pod wpływem temperatury końcówka pręta invarowego ulega przesunięciu co może być wykorzystane do wskazywania temperatury lub częściej do przełączania styków (regulatory dwustawne).

c) Termometry manometryczne. Działanie tych termometrów oparte jest na zjawisku rozszerzalności cieplnej cieczy, gazów lub par (par cieczy o dużej lotności). (rys.1.3.a)

d) Termometr bimetaliczny. Zbudowany jest z dwóch połączonych z sobą materiałów - jednego o dużym temperaturowym współczynniku rozszerzalności liniowej i drugiego o małym współczynniku λ . Pod wpływem temperatury następuje odkształcenie tak wykonanego

czujnika co jest wykorzystywane do wskazywania temperatury lub przełączania zestyków.(rys. 1.3.b)



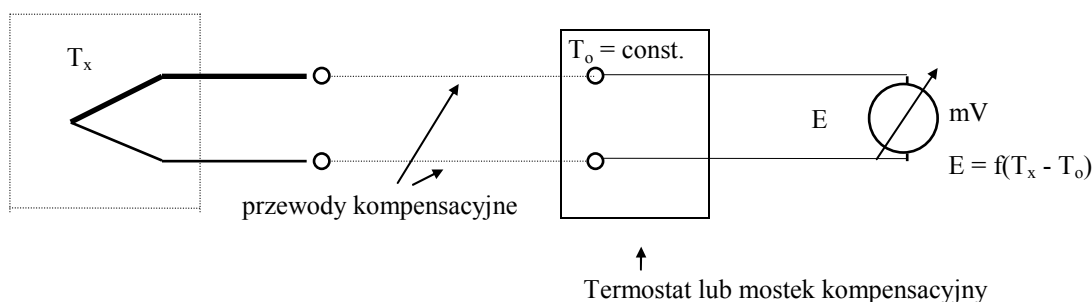
Rys.1.3. Czujniki termometrów.

a) manometrycznego, b) bimetalicznego.

Końcówkę tego termometru stanowią zamknięte układy membran, mieszkań sprężystych (rys.1.3.a lub rurek Bourdona).

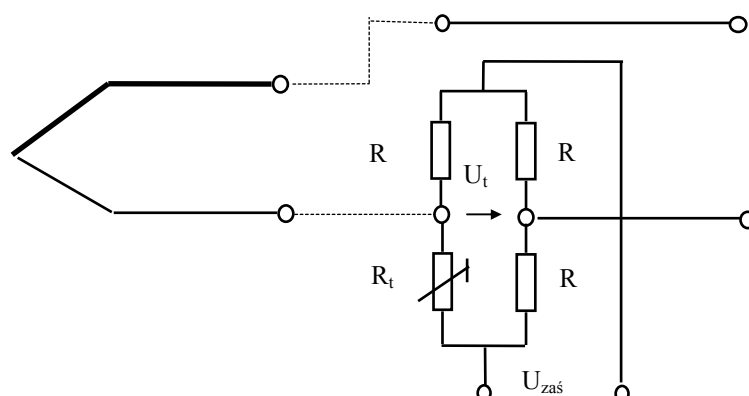
3.1.2. Termometry termoelektryczne.

Termoelement zbudowany jest z dwóch różnych materiałów połączonych trwale na jednym końcu (spaw) zwanym spoiną pomiarową. Drugie otwarte końce termoelementu noszą nazwy spoiny odniesienia, wolnych końców termoelementu lub zimnych końców termoelementu. Schemat układu pomiarowego temperatury przy pomocy termoelementu pokazuje rys.1.4.



Rys.1.4. Pomiar temperatury przy pomocy termoelementu.

Ponieważ sygnałem wyjściowym termoelementu jest napięcie zależne od różnicy temperatur między temperaturą mierzoną a temperaturą wolnych końców termoelementu, stąd istnieje konieczność stabilizacji temperatury wolnych końców termoelementu. Stabilizacja taka często nie jest możliwa bezpośrednio na końcach termoelementu i trzeba ją przenieść nieco dalej. Oddalenie to wykonuje się przewodami kompensacyjnymi, które dla tanich termoelementów wykonane są z tych samych materiałów z jakich zbudowany jest termoelement a dla drogich ze specjalnych stopów. Stabilizacja temperatury wolnych końców może być zrealizowana przy pomocy termostatu lub mostka kompensacyjnego.



Rys.1.5. Mostek kompensacyjny w układzie pomiaru temperatury termoelementem.

W mostku kompensacyjnym pokazanym na rys.1.5. jeden z rezystorów (R_t) jest rezystorem, którego rezystancja zależy od temperatury otoczenia (wykonany jest z miedzi). Pozostałe rezystory są wykonane z wysokostabilnych materiałów oporowych (manganin, konstantan). Mostek jest tak zaprojektowany żeby dla wybranej temperatury np. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $U_t = 0\text{ mV}$. Przy zmianie temperatury pojawia się na przekątnej mostka napięcie U_t , zależne od zmian temperatury otoczenia w rejonie mostka kompensacyjnego. W ten sposób automatycznie wprowadza się do układu pomiarowego korektę od zmian temperatury otoczenia. W tabeli 1.3. zestawiono najczęściej spotykane termoelementy.

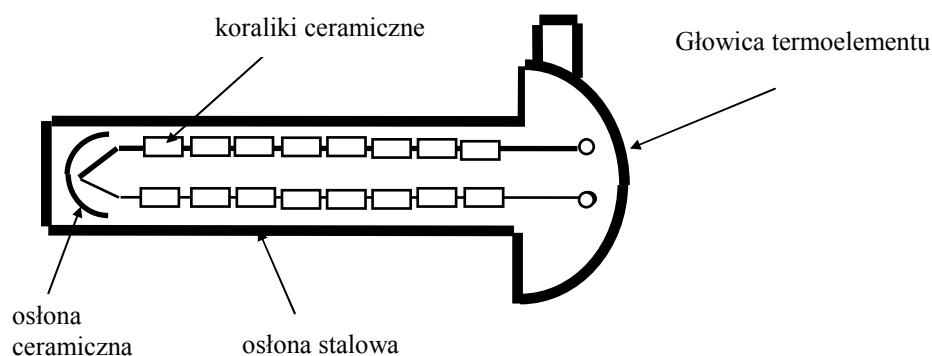
Tabela 1.3.

Parametry typowych termoelementów

L.p.	Typ	Nazwa i skład ramion		Zakres pomiarowy $^{\circ}\text{C}$	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Napięcie mV
		+	-			
1	S	Platyna -rod 90% + 10%	Platyna	0...1300 (do 1600 $^{\circ}\text{C}$ przez 20 sek.)	0	0
					100	0,645
					200	1,440
					300	2,323
					400	3,260
					500	4,234
					1000	9,585
2	J	Żelazo	Konstantan Cu + Ni 60% 40%	-200 ... +800	0	0
					50	2,585
					100	5,268
					150	8,008
					200	10,777
					250	13,553
					300	16,325
3	K	Chromel Ni + Cr 90% + 10%	Alumel Ni + Mn + Al + Si 94%+3%+2%+1%	-200 ...+1100	0	0
					100	4,095
					150	6,137
					200	8,137

					250	10,151
					300	12,207
					900	37,325
4	T	Miedź	Konstantan Cu + Ni 60% + 40%	-200 ... +400	0	0
					50	2,138
					100	4,277
					150	6,782
					200	9,286
					250	12,073
					300	14,860

Przemysłowe termoelementy produkowane są o różnych długościach i zwykle zamknięte są w obudowie stalowej zakończonej głowicą z zaciskami elektrycznymi lub przetwornikiem pomiarowym. Tak wykonany termoelement posiada znaczną stałą czasową. Obudowa termoelementu jest często niezbędna, bowiem chroni go przed uszkodzeniem mechanicznym oraz „zatruciem” chemicznym. Znajdujące się wewnątrz obudowy izolatory ceramiczne zapobiegają zwarciom przewodów termoelementów.



Rys.1.6. Budowa termoelementu przemysłowego.

3.1.3. Termometry rezystancyjne.

Termometry rezystancyjne wykorzystują zależność oporności metali i półprzewodników a także innych materiałów od temperatury. W pomiarach przemysłowych najczęściej stosowane są termometry rezystancyjne wykonane z platyny, niklu lub miedzi. W tabeli 1.4. zestawiono parametry typowych czujników rezystancyjnych (termometrów oporowych).

Tabela 1.4.

Parametry typowych czujników rezystancyjnych.

L.p.	Nazwa	Zakres stosowalności °C	Temperatura °C	Rezystancja Ω
1	Pt100	-200 ... +850	0	100,00
			20	107,79
			40	115,54
			60	123,24
			80	130,89
			100	138,50
			120	146,06

			140	153,58
			160	161,04
			180	168,46
			200	175,84
			220	183,17
			240	190,45
			260	197,69
			280	204,88
			300	212,02
2	Ni100	-60 ... + 180	0	100,00
			100	161,71
			180	223,10
			$\alpha = 5,4 \cdot 10^{-3} [1/^{\circ}\text{C}]$	
3	Cu	-200 ... +150	0	100,00
			$\alpha = 4,31 \cdot 10^{-3} [1/^{\circ}\text{C}]$ $R_t = R_o(1 + \alpha \Delta t)$	

Czujniki rezystancyjne wykonane są w postaci nawiniętego na karkasie ceramicznym drutu oporowego. Przemysłowe czujniki rezystancyjne posiadają obudowy podobne do tych jakie stosowane są w czujnikach termoelektrycznych. Oprócz tego typu czujników rezystancyjnych do pomiaru temperatury używa się również czujników termistorowych. Stosowane są do tego celu termistory NTC (ujemny współczynnik temperaturowy), PTC (dodatni współczynnik temperaturowy) i PTC (skokowa zmiana rezystancji).

NTC - negativ temperature coefficient,

PTC - positive temperature coefficient,

CTR - critical temperature resistor.

Zależność rezystancji czujnika od temperatury jest nieliniowa i wyraża się ogólnym wzorem:

$$R_t = R_o \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

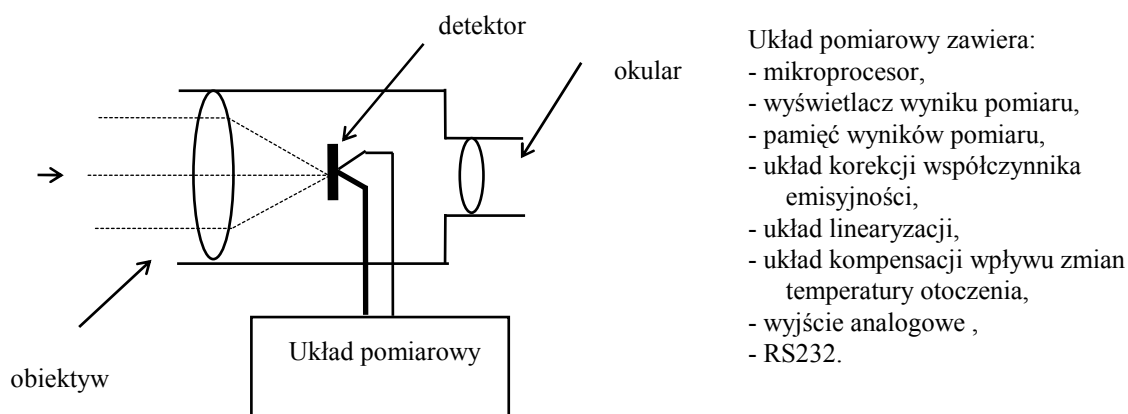
R_o - rezystancja termistora w znanej temperaturze T_0 (zwykle $298,15 \text{ }^{\circ}\text{K}$)

β - stała materiałowa termistora.

3.1.4. Pirometry.

Podstawą fizyczną działania pirometrów jest fakt, że wszystkie ciała o temperaturze wyższej od zera absolutnego ($0 \text{ }^{\circ}\text{K}$) emitują promieniowanie cieplne. Pomiar natężenia tego promieniowania jest wykorzystywany w pirometrach do określenia temperatury ciała. Odbywa się to w sposób pośredni poprzez pomiar temperatury ciała doskonale czarnego, które pochłania promieniowanie cieplne emitowane z obiektu którego temperaturę chcemy zmierzyć. Odbywa się to w sposób bezstykowy. Odpowiedni układ optyczny pozwala po skierowaniu lunetki pomiarowej na mierzony obiekt określić jego temperaturę. Pomiar ten wymaga ustawienia czujnika od obiektu w zakresie odległości ustalonych przez producenta. Dla ułatwienia wycelowania piometr posiada lunetkę optyczną lub w nowszych wykonaniach celownik laserowy. Każdy bezstykowy piometr promieniowania podczerwonego składa się z układu optycznego skupiającego na detektorze emitowane przez badany obiekt promieniowanie podczerwone, detektora promieniowania i czujnika temperatury otoczenia do kompensacji wpływu tej temperatury na wyniki pomiarów. Nowoczesne piometry zawierają

mikroprocesor, wyświetlacz cyfrowy, wyjście analogowe o standardzie prądowym i złącze komunikacyjne np. typu RS 232.

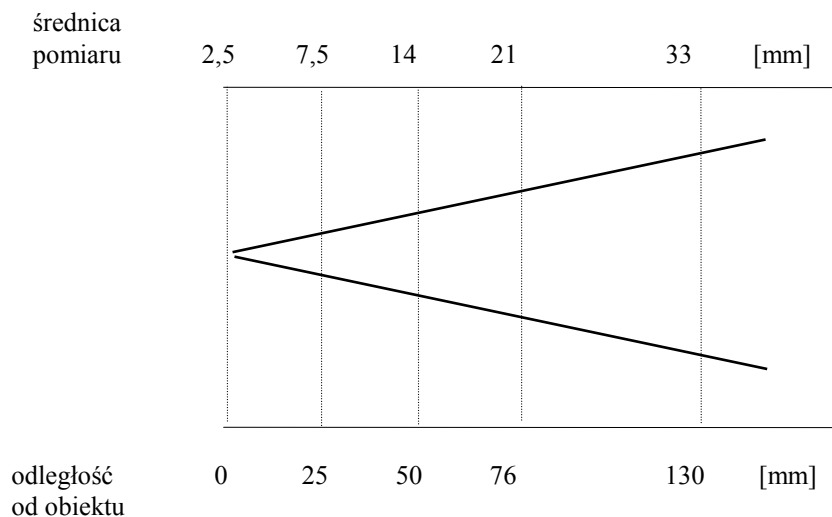


Rys.1.7. Zasada pracy pirometru optycznego.

Ostatnie lata przyniosły znaczny postęp w technologii wytwarzania pirometrów promieniowania podczerwonego co umożliwiło zwiększenie niezawodności oraz długo czasowej stabilności parametrów. Ogromny postęp został osiągnięty w produkcji elementów optycznych, detektorów promieniowania podczerwonego, elektronice oraz w technologii związanej z produkcją hermetycznych i trwałych obudów. Szeroki zakres temperatur, duża dokładność, odporność na warunki zewnętrzne spowodowały gwałtowny wzrost zapotrzebowania na ten typ urządzeń pomiarowych. W wielu procesach technologicznych nie jest możliwe umieszczenie na stałe czujnika temperatury np. w przemyśle szklarskim, produkcji asfaltu, laminowaniu tkanin i wtedy przydatny jest pomiar na odległość. Podobnie chwilowe pomiary temperatury urządzeń wirujących (przekładni, łożysk), układów elektronicznych, izolacji cieplnych są możliwe przy pomocy pirometrów. Zastosowanie chłodzenia detektora ciekłym azotem lub ostatnio coraz częściej chłodziarką termoelektryczną znacznie zwiększyło zakres pomiarowy temperatur i rozszerzyło zakres ich stosowalności. Zakres temperatur mierzonych pirometrami podawany przez producentów wynosi od -30°C do $+3000^{\circ}\text{C}$. Obudowy przemysłowych pirometrów są przystosowane do chłodzenia wodą lub powietrzem. Dzięki temu mogą pracować w temperaturach otoczenia do 175°C . Parametry dynamiczne pirometrów określa czas ustalania się wyniku pomiarów. Czas ten w zależności od modelu pirometru wynosi od 80 do 1000 ms.

- Pirometr typ IP f-my Raytek.

Pirometrem można mierzyć temperaturę w zakresie -18°C do $+260^{\circ}\text{C}$. Dokładność pomiaru wynosi $\pm 2\%$. Pirometr posiada wyjście standardowe termoparowe typu K, które można połączyć z miernikiem cyfrowym EMT-302. Czas ustalania się pomiaru wynosi 1s. Zakres pomiarowy pirometru pokazano na rys.1.8.



Rys.1.8. Zakres pomiarowy pirometru typu IP.

3.1.5. Zadanie do wykonania.

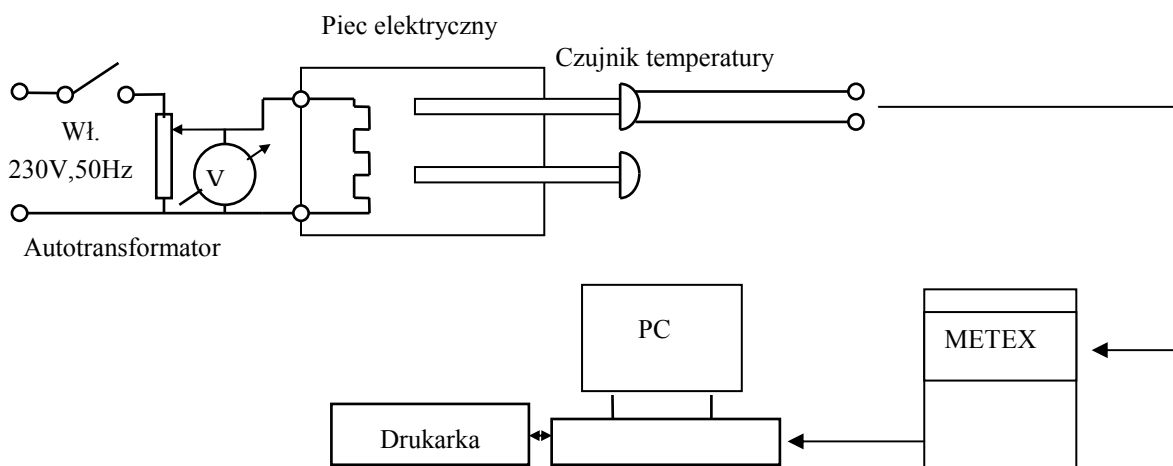
3.1.5.1. Zapoznanie się z budową różnych czujników temperatury.

- Należy oglądnąć budowę zwykłego termometru rtęciowego i zwrócić uwagę na warunki poprawnego pomiaru temperatury tym przyrządem.
- Rozebrać jeden z termoelementów w obudowie. Zobaczyć sposób zabezpieczenia przewodów termoelektrycznych przed zwarcie między sobą i do obudowy. Zwrócić uwagę na połączenia w głowicy termoelementu (biegun plus i minus).
- Dokonać oględzin wybranego czujnika manometrycznego (np. z regulatora temperatury w chłodziarce lub piecyku gazowym). Zwrócić uwagę na ochronę przed uszkodzeniem mechanicznym.
- Znaleźć wśród czujników element bimetaliczny i zapoznać się z jego budową. Wykorzystując źródło ciepła sprawdzić jego działanie.
- Zapoznać się z pirometrem optycznym. Przeczytać instrukcję użytkowania oraz zwrócić uwagę na warunki poprawnego pomiaru temperatury tym przyrządem.

3.1.5.2. Pomiar charakterystyki dynamicznej obiektu.

Schemat układu do pomiaru charakterystyk dynamicznych obiektu przedstawia rys.1.9.

□



Rys.1.9.Układ do pomiaru charakterystyki dynamicznej obiektu.

Krzywą narostu sygnału wyjściowego czujnika zaobserwować na ekranie monitora a następnie zarejestrować.

3.1.5.3. Określenie parametrów transmitancji mierzonego obiektu.

a) Na podstawie zarejestrowanego przebiegu $E = f(t)$ określić parametry transmitancji metodą Kűpfműllera:

$$K(s) = \frac{k}{Ts + 1} e^{-sT_o}$$

gdzie:

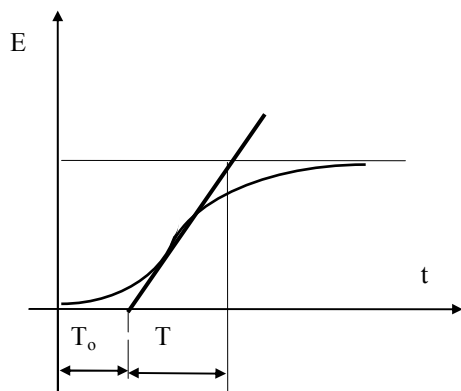
k = współczynnik proporcjonalności, $[V/V]$

T - stała czasowa, $[s]$

T_o - czas opóźnienia, $[s]$

Parametry T , T_o określamy z wykresu.

Sposób pomiaru podanych wyżej parametrów pokazano na rys.1.10.



Rys.1.10. Sposób obliczenia parametrów transmitancji .

b) Na podstawie zarejestrowanego przebiegu $E = f(t)$ określić parametry transmitancji metodą Strejca:

Model Strejca ma następującą postać:

$$K(s) = \frac{k}{(Ts + 1)^n} e^{-s\tau}$$

Sposób określania parametrów podaje rys.1.11.

Rys.1.11. Aproksymacja Strejca .

Postępowanie jest następujące :

- a) Na wyznaczonej eksperymentalnie charakterystyce odpowiedzi skokowej nanosi się styczną przechodzącą przez punkt przegięcia A , następnie wyznaczamy wartości t_i , T_m i T_z oraz wyliczamy stosunek:

$$\left\{ \frac{T_m}{T_z} \right\}_{\text{exp}}$$

- b) z tablicy określamy rząd n modelu na podstawie wyliczonego stosunku

$$\left\{ \frac{T_m}{T_z} \right\}_{\text{exp}}$$

Jeżeli wartość :

$$\left\{ \frac{T_m}{T_z} \right\}_{\text{exp}}$$

znajduje się między dwiema wartościami w tablicy , należy przyjąć mniejszy rząd przetwornika a T_m zmniejszyć o taką wartość τ , aby nowy stosunek :

$$\left\{ \frac{T_m}{T_z} \right\}_{\text{tab}}$$

odpowiadał dokładnie modelowi n - tego rzędu.

$$\tau = \left[\left(\frac{T_m}{T_z} \right)_{\text{exp.}} - \left(\frac{T_m}{T_z} \right)_{\text{tab.}} \right] * T_z [s]$$

- c) stałą czasową przetwornika otrzymujemy z trzeciej kolumny tabelki, po podstawieniu wartości t_i dla wcześniej określonego rzędu przetwornika.

Tabela 1.5.

n	T_m/T_z	t_i/T
1	0,000	0
2	0,104	1
3	0,218	2
4	0,319	3
5	0,410	4
6	0,493	5
7	0,570	6
8	0,642	7
9	0,709	8
10	0,773	9

3.1.5.4.. Pomiary temperatury przy pomocy pirometru.

Zapoznać się z charakterystyką pomiarową pirometru. Dokonać pomiaru temperatury wskazanego obiektu i zaobserwować jak wpływa zmiana odległości od źródła promieniowania na dokładność pomiaru.

3.1.6. Wykaz aparatury i urządzeń.

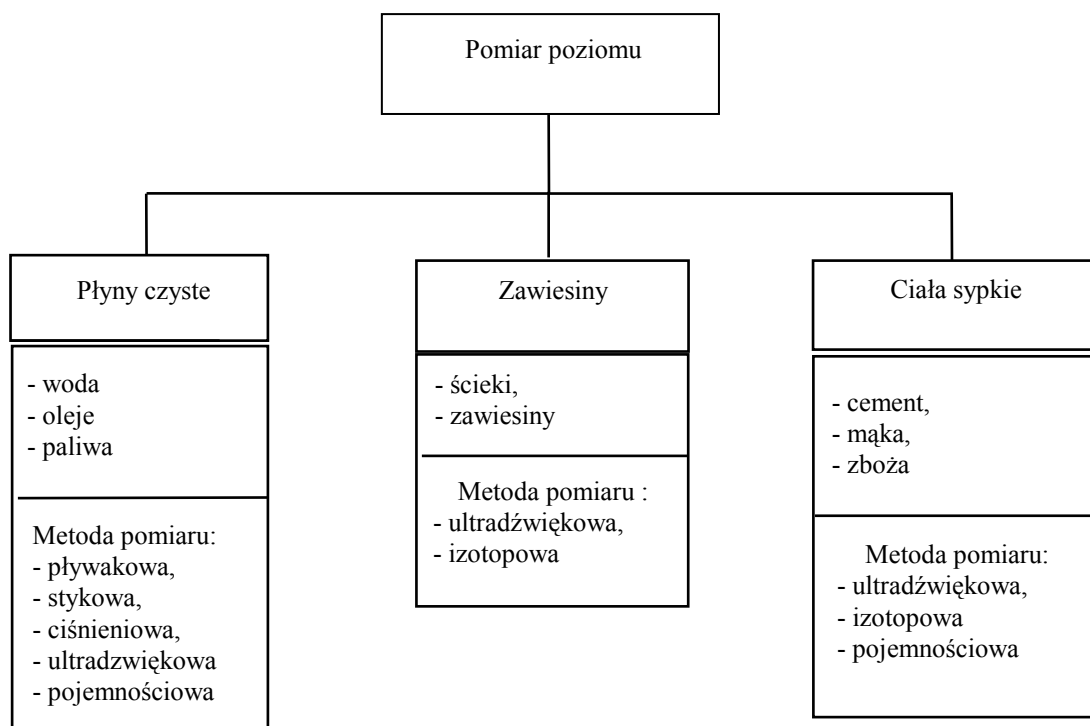
1. Piec elektryczny z nastawianą temperatura.
2. Zestaw różnych czujników temperatury.
3. Miernik METEX 3850
4. Rejestrator cyfrowy.
5. Miernik temperatury EMT-302.
6. Kalibrator SP21.
7. Pirometr typ IP-K lub inny.

3.1.7. Pytania i zadania kontrolne:

1. Podać warunki poprawnego pomiaru temperatury termoelementem i czujnikiem termorezystancyjnym.
2. Co to jest dwu lub trójprzewodowe podłączenie czujnika rezystancyjnego ?
3. Jakie są źródła błędów przy pomiarach temperatury różnymi czujnikami ?
4. Dlaczego przemysłowe termoelementy posiadają osłony i jak one wpływają na dynamikę pomiaru temperatury.
5. Gdzie stosuje się pomiar temperatury przy pomocy pirometru ?
6. Na jakiego rodzaju uszkodzenia narażone są termoelementy i termorezystory. Jakie konsekwencje tych uszkodzeń mogą wystąpić w układach regulacji ?

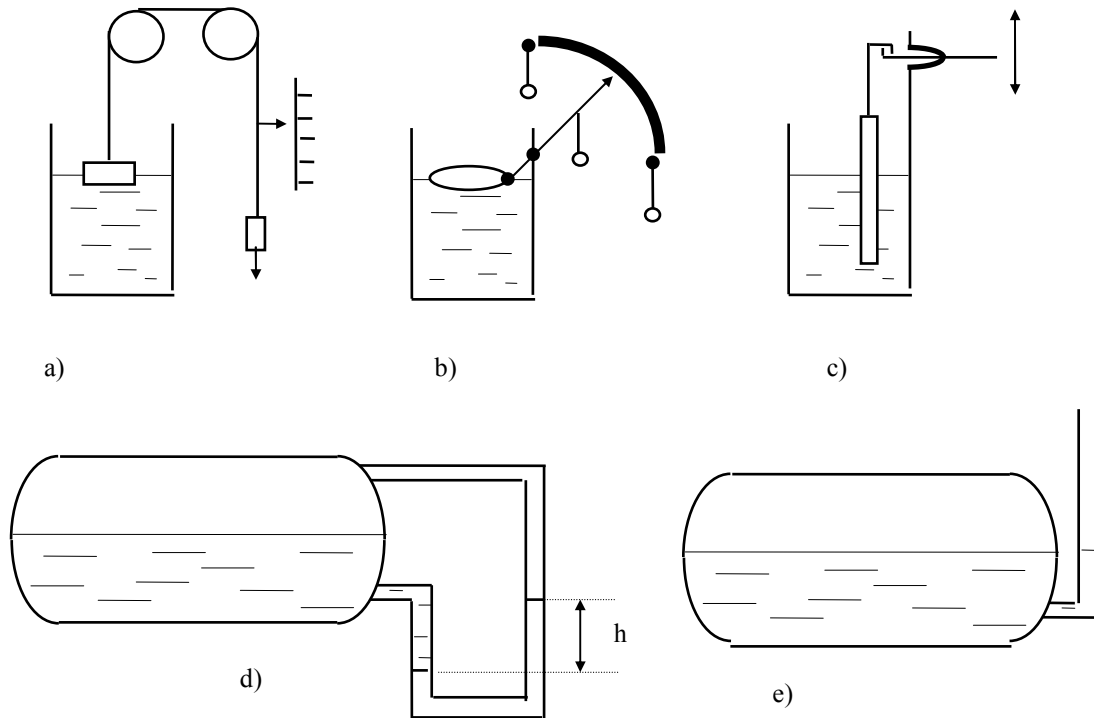
3.2. Czujniki poziomu.

Pomiar poziomu napełnienia różnego rodzaju zbiorników należy do grupy pomiarów bardzo często potrzebnych w przemyśle. Dotyczy to np. zbiorników mediów płynnych (woda, paliwa), materiałów sypkich (cement, kreda, farby) i zbóż (w silosach) itp. Pomiarów te wykonywane są dla potrzeb regulacji jak również informacji o ilości zawartego w zbiorniku medium. Bardzo często w zbiorniku wymagane jest utrzymanie zawartego w nim medium między zadanymi granicami (górną i dolną). W tym ostatnim przypadku sygnały z zadanych poziomów powodują otwieranie zaworu napełniającego zbiornik a po przekroczeniu granicy górnej wyłączają napełnianie. Ze względu na różnorodność mediów stosowane są różne metody pomiarowe. Można je podzielić wg zasad podanych na rys.1.12.



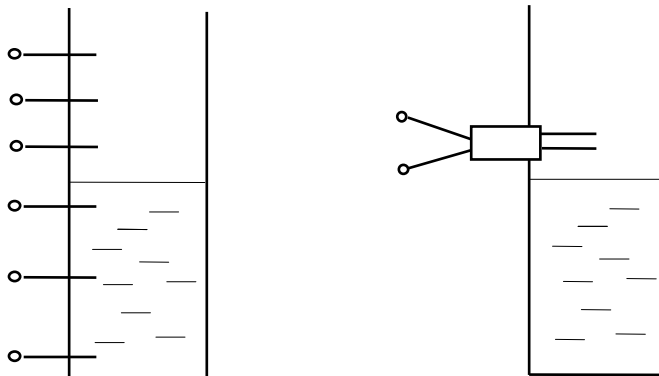
Rys.1.12. Metody pomiaru poziomu różnych materiałów.

Dla wszystkich wymienionych materiałów można stosować różne metody pomiarowe. Dla pomiaru poziomu napełnienia zbiorników płynami czystymi jedną z prostych metod jest wykorzystanie do tego celu pływaków sprzężonych z urządzeniem pomiarowym, wskaźnikiem, pisakiem czy potencjometrem. W przypadku płynów czystych nie tworzących osadu można również stosować U-rurki.



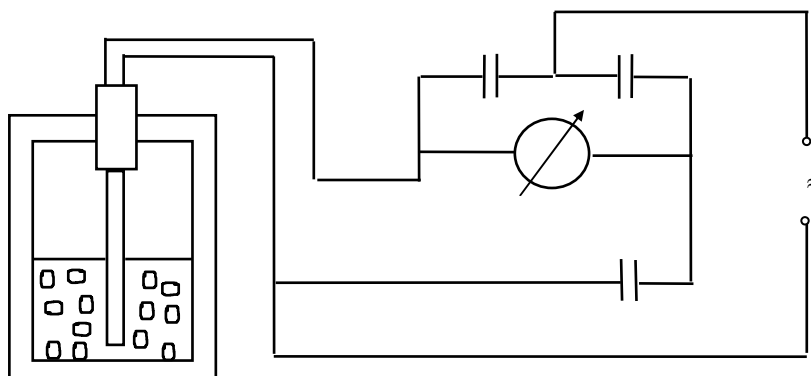
Rys.1.13. Proste metody pomiaru poziomu stosowane dla zbiorników z płynami czystymi.
 a) pływakowa, b) pływakowa z potencjometrem, c) wypornościowa z elastycznym przegubem,
 d) hydrostatyczna, e) na zasadzie naczyń połączonych.

Do pomiaru lub sygnalizacji poziomu cieczy przewodzących można użyć elektrod stykowych umieszczonych w ściankach naczynia lub czujników z dwoma elektrodami.



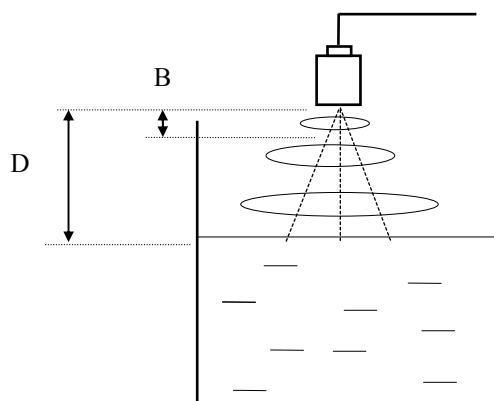
Rys.1.14. Stykowa metoda pomiaru poziomu cieczy (przewodzących).

Inną z metod jest pomiar pojemności elektrycznej między elektrodą umieszczoną zwykle centralnie w zbiorniku a jego metalową ścianką. Schemat takiego układu pokazano na rys.1.15.



Rys.1.15. Pomiar poziomu metodą pojemnościową.

Przenikalność dielektryczna ϵ_r większości cieczy jest większa niż przenikalność dielektryczna powietrza. Zmiana poziomu powoduje zmianę pojemności tak utworzonego kondensatora. metoda ta może być stosowana również do pomiaru poziomu ciał sypkich. Ma ona jednak niewielką dokładność. Jedną z dokładniejszych sposobów pomiaru poziomu jest metoda ultradźwiękowa. Zasadę tego pomiaru pokazano na rys.1.16.



Rys.1.16. Zasada pomiaru ultradźwiękowego.

Czujnik umieszczony ponad medium mierzonym wysyła impuls ultradźwiękowy poprzez powietrze w kierunku substancji, która częściowo lub całkowicie odbija impuls w kierunku czujnika. To echo jest odbierane przez ten sam czujnik, który teraz działa jak mikrofon kierunkowy i zamieniane jest w sygnał elektryczny. Czas upływający pomiędzy nadaniem a odbiorem impulsu jest wprost proporcjonalny do odległości pomiędzy czujnikiem a powierzchnią substancji. Odległość D wyznacza się na podstawie wzoru:

$$D = \frac{c * t}{2}$$

c - prędkość dźwięku = 340m/s

t - czas przebiegu impulsu dźwiękowego.

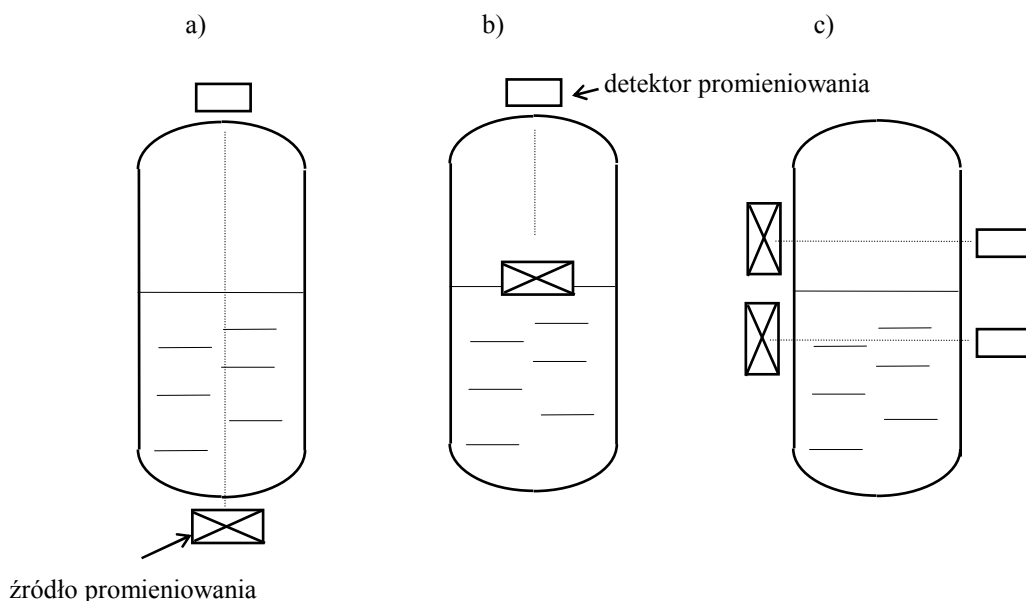
Tak na przykład impuls o czasie trwania 10 ms przebiega drogę 3,4m. Stąd odległość wynosi 1,7m. Po nadaniu impulsu czujnik wymaga pewnego czasu potrzebnego na wygaszenie oscylacji. Z tego powodu istnieje pewna strefa, tuż pod czujnikiem, z której echo nie może być odebrane. Ta tak zwana odległość blokująca B, określa początek zakresu pomiarowego (zwykle około 30 ÷ 50 cm.). Koniec zakresu pomiarowego jest określony zarówno poprzez tłumienie impulsu w środowisku jak i współczynnik odbicia od powierzchni substancji. Dokładność pomiaru zależy od:

- parametrów mierzonego medium takich jak: ciężar , przewodność , lepkość i stała dielektryczna,
- zmian temperatury otoczenia wewnątrz zbiornika (może być skompensowana przez jej pomiar czujnikiem temperatury. Sygnał z tego czujnika jest doprowadzony do układu elektronicznego przetwornika).

Przetworniki ultradźwiękowe są stosowane do pomiarów różnych mediów - płynów i drobnie sypkich. Do pomiaru poziomu napełnienia zbiorników zawierających zawiesiny (płyny mętne) można stosować metodę ultradźwiękową lub izotopową. Metoda ultradźwiękowa została opisana poprzednio. W metodzie izotopowej wykorzystuje się źródła promieniowania izotopowego takich pierwiastków jak :

- ^{210}Po (*Polon*) dla promieniowania α ,
- ^{106}Ru (*Ruten*), ^{106}Rh (*Rod*), ^{204}Tl (*Tal*), ^{147}Pm (*Promet*) dla promieniowania β ,
- ^{60}Co (*Kobalt*), ^{137}Cs (*Cez*), ^{75}Se (*Selen*), ^{170}Tl (*Tul*) dla promieniowania γ .

Detektorem promieniowania mogą być komory jonizacyjne oraz różnego typu liczniki .Na rys.1.17. pokazano różne sposoby wykorzystania źródeł promieniowania do pomiaru napełnienia zbiorników.



2. Na czym polega metoda ultradźwiękowa pomiaru poziomu cieczy i mediów sypkich.

2. Na czym polega metoda ultradźwiękowa pomiaru poziomu cieczy.

3.3. Czujniki parametrów chemicznych.

Określanie parametrów roztworów takich jak zawartość w nich tlenu czy ich charakteru (obojętny, kwaśny czy zasadowy) należy do podstawowych w układach regulacji związanych z ochroną środowiska wodnego. Charakter roztworu rzutuje na rodzaj działań jakie należy podjąć aby uzyskać na wyjściu roztwór o charakterze obojętnym z odpowiednią zawartością tlenu . Zawartość tlenu jest ważna dla podtrzymania życia biologicznego w wodzie. Oba te parametry mierzy się specjalnego typu czujnikami i przyrządami

3.3.1. Pomiar zawartości tlenu w roztworze.

Jedną ze standardowych metod pomiaru zawartości tlenu w roztworze jest metoda elektrochemiczna Clarka (ogniwo Clarka).

Rys.1.19. Czujnik do pomiaru zawartości O₂ w płynach.

W czujniku membranę stanowi folia polietylenowa (teflonowa) o grubości 0,02 mm. Katoda to drut platynowy w szkle. Między anodą i katodą znajduje się elektrolit. Źródło napięcia włączone jest w obwód w celu zapewnienia reakcji oksyredukcyjnych zachodzących na katodzie. Inne wykonania czujnika to np. katoda z drutu srebrnego (Ag) a anoda z cynku (Zn). Elektrolit chlorek potasu (KCl). Dyfundujący przez membranę tlen ulega redukcji na katodzie, a powstały w wyniku reakcji chemicznej sygnał elektryczny jest proporcjonalny do stężenia tlenu w badanym roztworze. Sonda ta posiada wbudowany czujnik temperatury, kompensujący wpływ temperatury na sygnał czujnika tlenowego. Rozpuszczalność tlenu w wodzie silnie zależy od temperatury. Zależność tą pokazuje Tabela 1.6.

Tab.1.6. Rozpuszczalność tlenu w mg/l w wodzie redestylowanej dla temperatur 0 do 40 °C (dla ciśnienia atmosferycznego 760 mmHg i zawartości chlorków w wodzie równej 0,0 mg Cl⁻/l)

Temp. °C	Tlen mg/litr	Temp. °C	Tlen mg/litr	Temp. °C	Tlen mg/litr	Temp. °C	Tlen mg/litr
0	14,6	11	11,0	21	8,9	31	7,4
1	14,4	12	10,7	22	8,7	32	7,3
2	14,2	13	10,5	23	8,6	33	7,2
3	13,8	14	10,3	24	8,4	34	7,1
4	13,4	15	10,1	25	8,2	35	7,0
5	13,1	16	9,8	26	8,1	36	6,8
6	12,7	17	9,6	27	8,0	37	6,7
7	12,1	18	9,4	28	7,8	38	6,6
8	11,8	19	9,2	29	7,7	39	6,5
9	11,5	20	9,1	30	7,6	40	6,4
10	11,3						

W sondzie pomiarowej zwykle dodatkowo umieszczony jest czujnik temperatury. Prąd w obwodzie jest proporcjonalny do zawartości O₂ w roztworze.

3.3.2. Potencjał Redoks (Redox).

Reakcja redoks polega na utlenianiu jednej substancji tkzw. reduktora, który traci elektrony i redukcji odpowiedniej ilości drugiej substancji tzw. utleniacza przyłączającego elektrony. Przebieg tej reakcji zależy od wartości potencjałów danego układu i od środowiska. Miarą zdolności utleniających lub redukujących układu jest tzw. potencjał utleniająco redukujący (potencjał redoks). Najbardziej dodatnie potencjały charakteryzują silne utleniacze a najbardziej ujemne silne reduktory. Pomiaru dokonuje się przy pomocy elektrod. Bezwzględnej wartości potencjału elektrody nie można zmierzyć. Mierzy się różnicę potencjałów pomiędzy rozpatrywaną elektrodą a standardową elektrodą wodorową, której potencjał przyjęto za zerowy. Standardowa elektroda wodorowa jest to elektroda gazowa, wykonana z platyny pokrytej czernią platynową i omywana strumieniem gazowego wodoru pod ciśnieniem 101,3 kPa, zanurzona w roztworze o jednostkowej aktywności jonów wodorowych, pracująca w temperaturze 2980K. Standardowy potencjał elektrody wodorowej jest z definicji równy zero. Standardowy normalny potencjał dowolnego metalu (E⁰) jest

różnicą potencjałów mierzona między półogniwem z rozpatrywanego metalu, pracującym w warunkach standardowych, a standardową elektrodą wodorową. Szereg metali uporządkowany według wzrastającego potencjału normalnego nazywamy szeregiem napięciowym. Zależność potencjału elektrody od temperatury i aktywności jonów w roztworze przedstawia równanie Nersta:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{\text{oks}}}{a_{\text{red}}}$$

gdzie:

a_{oks} i a_{red} - oznaczają odpowiednio aktywności formy utlenionej i zredukowanej (dla roztworów rozcieńczonych zamiast aktywności wprowadza się stężenia wyrażone w kmol/m^3)

E^0 - potencjał normalny elektrody,

R - stała gazowa ($8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),

T - temperatura,

n - liczba ładunków jonu,

F - stała Faradaya, (równa ładunkowi mola elektronów 96500 C)

W przypadku elektrody metalicznej zanurzonej do roztworu swych jonów, postacią zredukowaną jonu jest lity metal. Kierunek reakcji utleniająco redukującej zależy od wzajemnego położenia reagentów w szeregu napięciowym i od środowiska. Na podstawie szeregu napięciowego metali i potencjałów normalnych elektrod redoksowych można wnioskować, które reakcje oksydacyjno-redukcyjne będą przebiegały samorzutnie w określonych warunkach. W zależności od wartości potencjału normalnego układów redoks wprowadza się pomocniczą klasyfikację:

	E^0	<	-0,5V	silne reduktory	
-0,5V	<	E^0	<	0,0V	średnie reduktory
0,0V	<	E^0	<	+0,5V	słabe reduktory
+0,5V	<	E^0	<	+1,0V	słabe utleniacze
+1,0V	<	E^0	<	+1,5V	średnie utleniacze
+1,5V	<	E^0			silne utleniacze

Dobór elektrod przy pomiarach potencjałów redoks zależy od badanego medium i wykonywany jest zwykle przy pomocy tych samych przetworników co pomiar pH. Wynika to stąd, że w obu wypadkach dokonuje się pomiarów napięć (siły elektromotorycznej) inna jest tylko skala i interpretacja otrzymanego wyniku. Pomiar potencjału redoks jest istotny w nityfikacji i denityfikacji wody, który jest stosowany w procesie oczyszczania ścieków.

3.3.3. Zadanie do wykonania.

1. Zapoznać się z wyglądem, sposobem mocowania i działaniem czujników do pomiaru zawartości tlenu w roztworach i do pomiaru potencjału redoks. (Czujniki f-my "Di-box" i "Endress+Hauser").

3.3.4. Pytania i zadania kontrolne.

1. Jakie parametry chemiczne są istotne przy pomiarach zanieczyszczeń wody powietrza i ziemi ?
2. Dlaczego zawartość tlenu w wodzie jest ważnym parametrem w ochronie środowiska ?
3. Do czego służy pomiar potencjału redoks ?
4. Jaka jest żywotność elektrod do pomiarów parametrów chemicznych ?

3.4. Czujniki do pomiaru prędkości obrotowej.

Patrz str. 30 - 32 i str. 39

Skryptu: URZĄDZENIA AUTOMATYKI
Ćwiczenia laboratoryjne
Jan Klimesz , Włodzimierz Solnik
1991r.

3.5. Czujniki położenia.

3.5.1. Czujniki tensometryczne.

Patrz str. 18 - 20 i str. 33 - 36

Skryptu: URZĄDZENIA AUTOMATYKI
Ćwiczenia laboratoryjne
Jan Klimesz , Włodzimierz Solnik
1991r.

3.5.2. Czujniki zbliżeniowe.

Patrz str. 27 - 30 i str. 38 - 39.

Skryptu: URZĄDZENIA AUTOMATYKI
Ćwiczenia laboratoryjne
Jan Klimesz , Włodzimierz Solnik
1991r.