

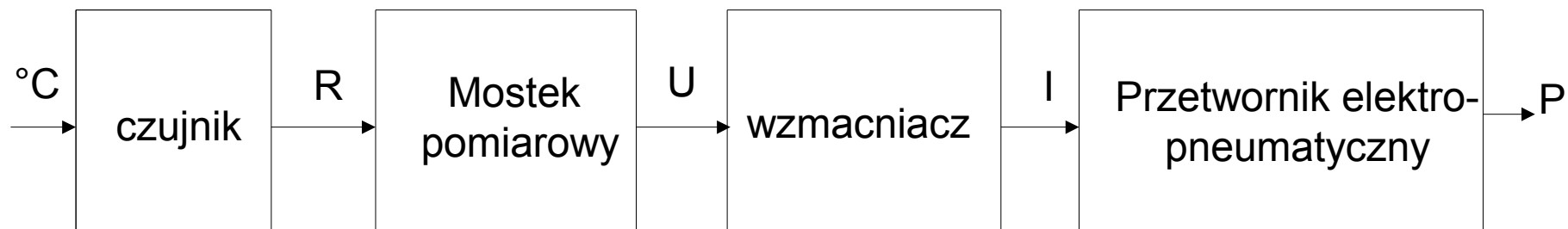
Urządzenia pomiarowe w układach regulacji automatycznej

Czujniki i przetworniki wielkości
elektrycznych i nieelektrycznych

Podstawowe funkcje układów pomiarowych

- a) dostarczenie obsłudze informacji o bieżącej wartości kontrolowanych parametrów;
- b) rejestrowanie wyników pomiarowych;
- c) wytwarzanie sygnału przeznaczonego dla układu regulacji (regulatora) zgodnego z wymaganiami stawianymi przez ten układ;

- d) opracowanie wyników pomiarów, porządkowanie ich oraz określenie wskaźników pośrednich i globalnych, obliczanie wartości średnich;
- e) sygnalizowanie nadmiernych odchyłek od pożądanej wartości określonych wielkości



Przykład schematu blokowego do pomiaru temperatury z wyjściem pneumatycznym

Własności urządzeń pomiarowych

Własności każdego urządzenia określa jego charakterystyka statyczna i dynamiczna

Charakterystyka statyczna to

$$y = f(x)$$

ale z reguły różni się od charakterystyki idealnej

$$y^* = f(x)$$

stąd każdy pomiar obarczony jest błędem, a jego wartość bezwzględną określa się

$$\Delta y = y - y^*$$

a wartość bezwzględną określa zależność

$$\delta = \Delta y / (y_{\max} - y_{\min})$$

jest to tak zwany błąd podstawowy i jest wyrażany w procentach.

Klasa dokładności dla danego typu przyrządu z reguły pokrywa się błędem podstawowym

wartości liczbowe klasy dokładności są znormalizowane. Tworzą one szereg liczbowy

0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; (0,5); 0,6; 1,0;
2,5; 4; 6;

Warunki znormalizowane

Temperatura otoczenia	20° C
Ciśnienie otoczenia	1013hPa
Wilgotność względna powietrza	65%
Napięcie zasilania	230V+/-10%
Częstotliwość zasilania	50 Hz
Ciśnienie zasilania	140kPa

Niejednoznaczność sygnału wyjściowego jest to różnica między wartościami sygnałów wyjściowych, otrzymywanych dla danej wartości wejściowej przy dochodzeniu do niej od wartości większych i od wartości mniejszych.

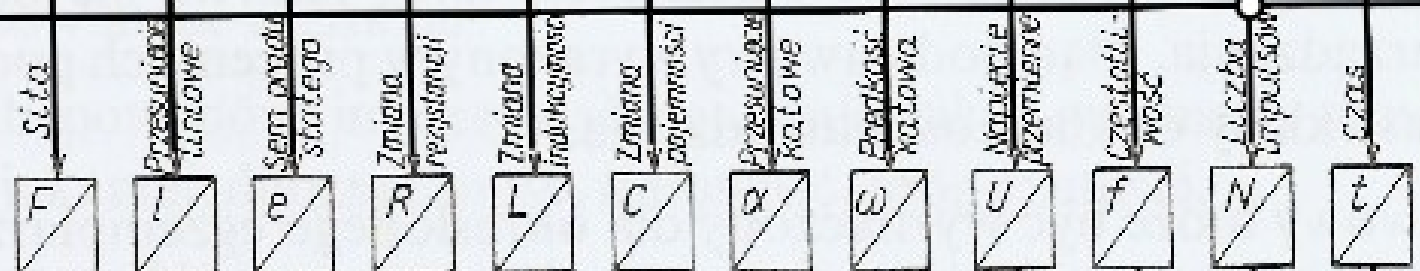
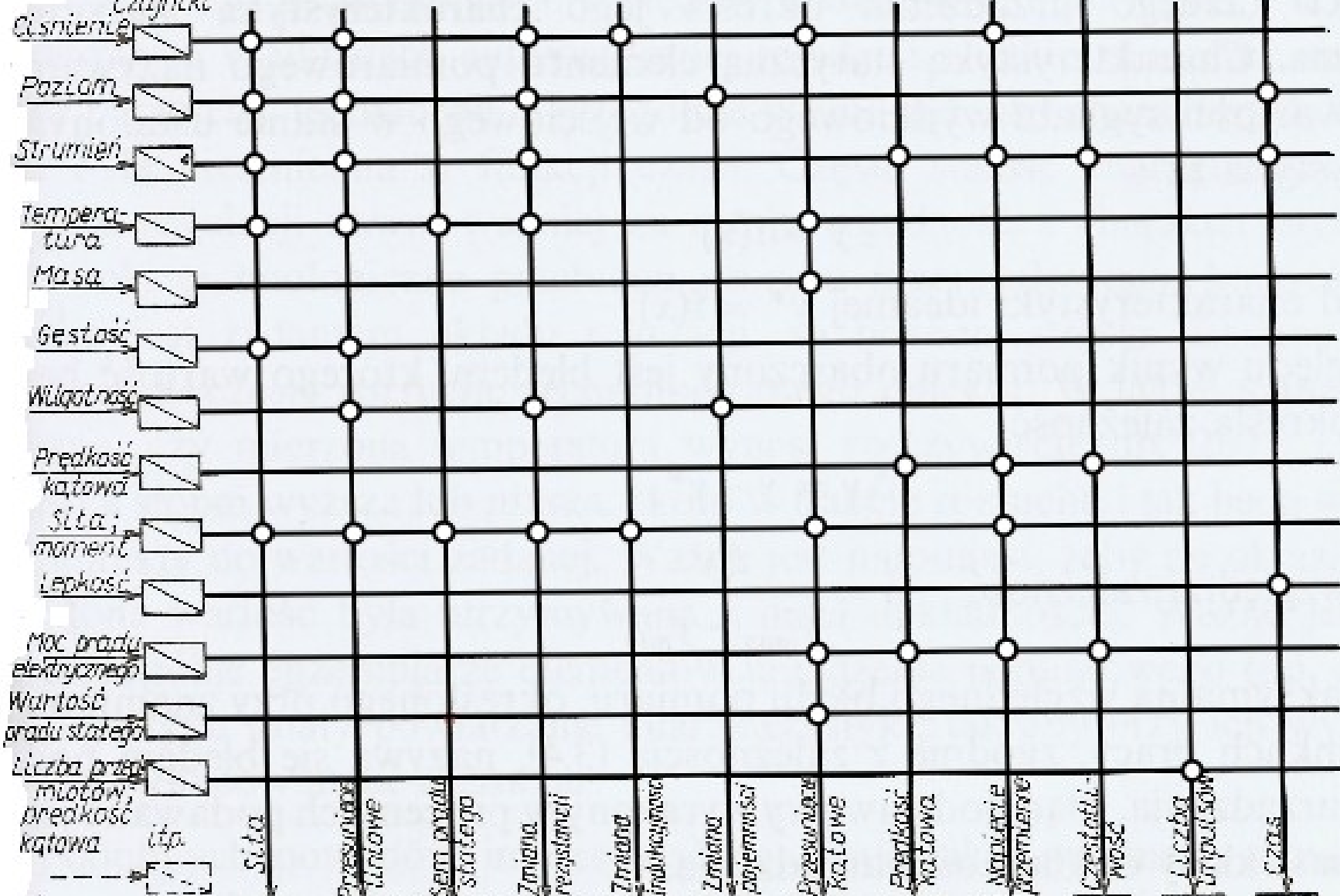
- **Liniiowość**, podawana również w procentach zakresu pomiarowego, jest to największe odchylenie charakterystyki statycznej urządzenia pomiarowego od teoretycznej linii prostej, wyznaczającą tę charakterystykę.
- **Próg czułości** urządzenia pomiarowego jest to, wyrażona w procentach zakresu pomiarowego, najmniejsza zmiana wielkości wejściowej powodująca zauważalną zmianę sygnału wyjściowego

- **Zakresem pomiarowym** urządzenia nazywa się zakres wielkości wejściowej, w którym pracuje on z zachowaniem określonej klasy dokładności.
- **Własności dynamiczne** określane są w ujęciu częstotliwościowym przez podanie częstotliwości granicznej. W ujęciu czasowym rozpatruje się przebieg na wyjściu przy skokowej zmianie sygnału wejściowego, podając czas ustalania się odpowiedzi

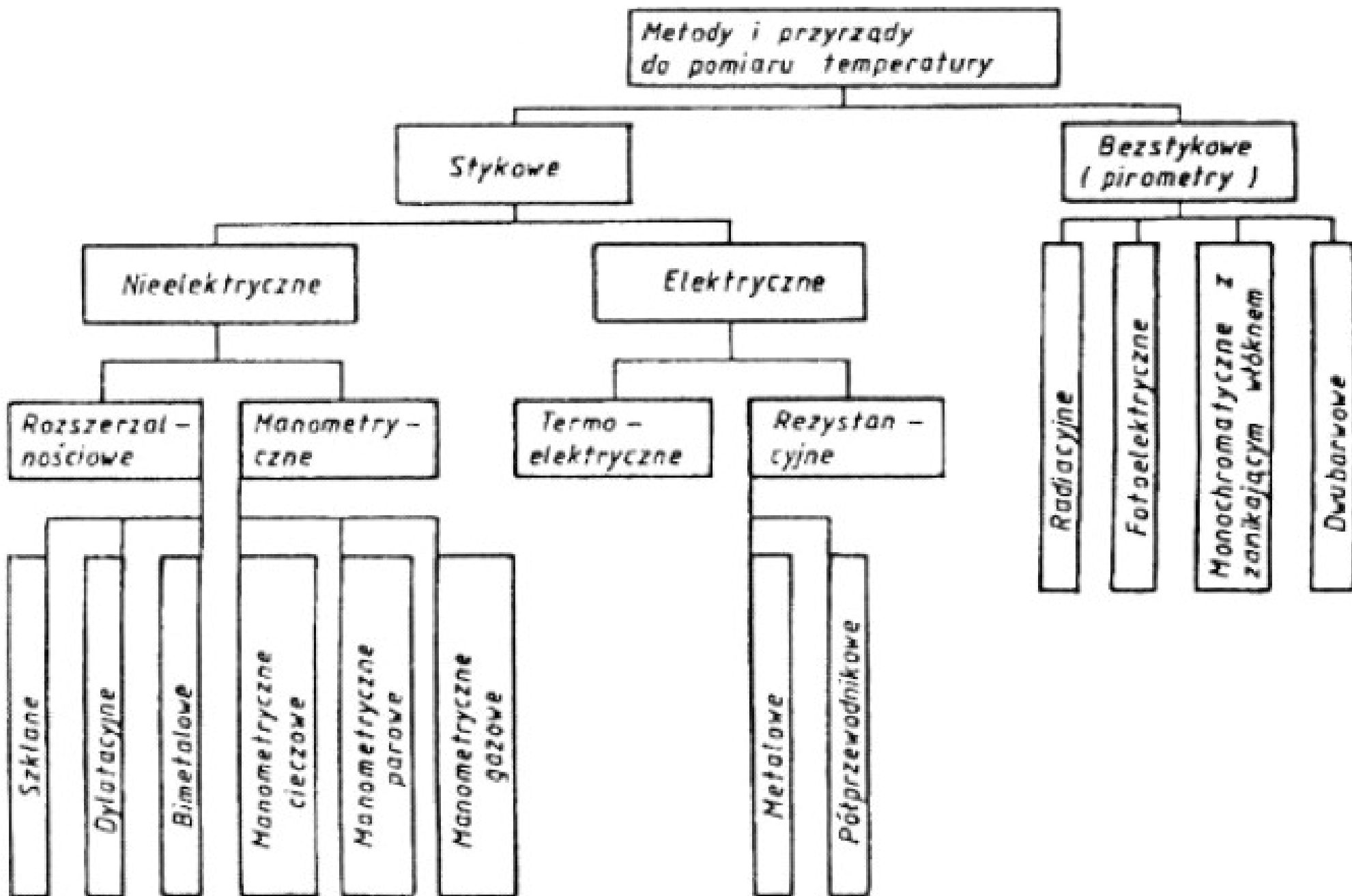
- **Źródła błędów pomiarowych**

- Instalacja czujnika nie może zmieniać warunków pracy obiektu;
- Miejsce zainstalowania czujnika powinno być wybrane tak, aby wynik pomiarowy był reprezentatywny dla wielkości kontrolowanej;
- Miejsce i sposób instalacji czujnika powinny być wybierane z uwzględnieniem warunków wynikających z fizycznej zasady pomiaru
- Itd.

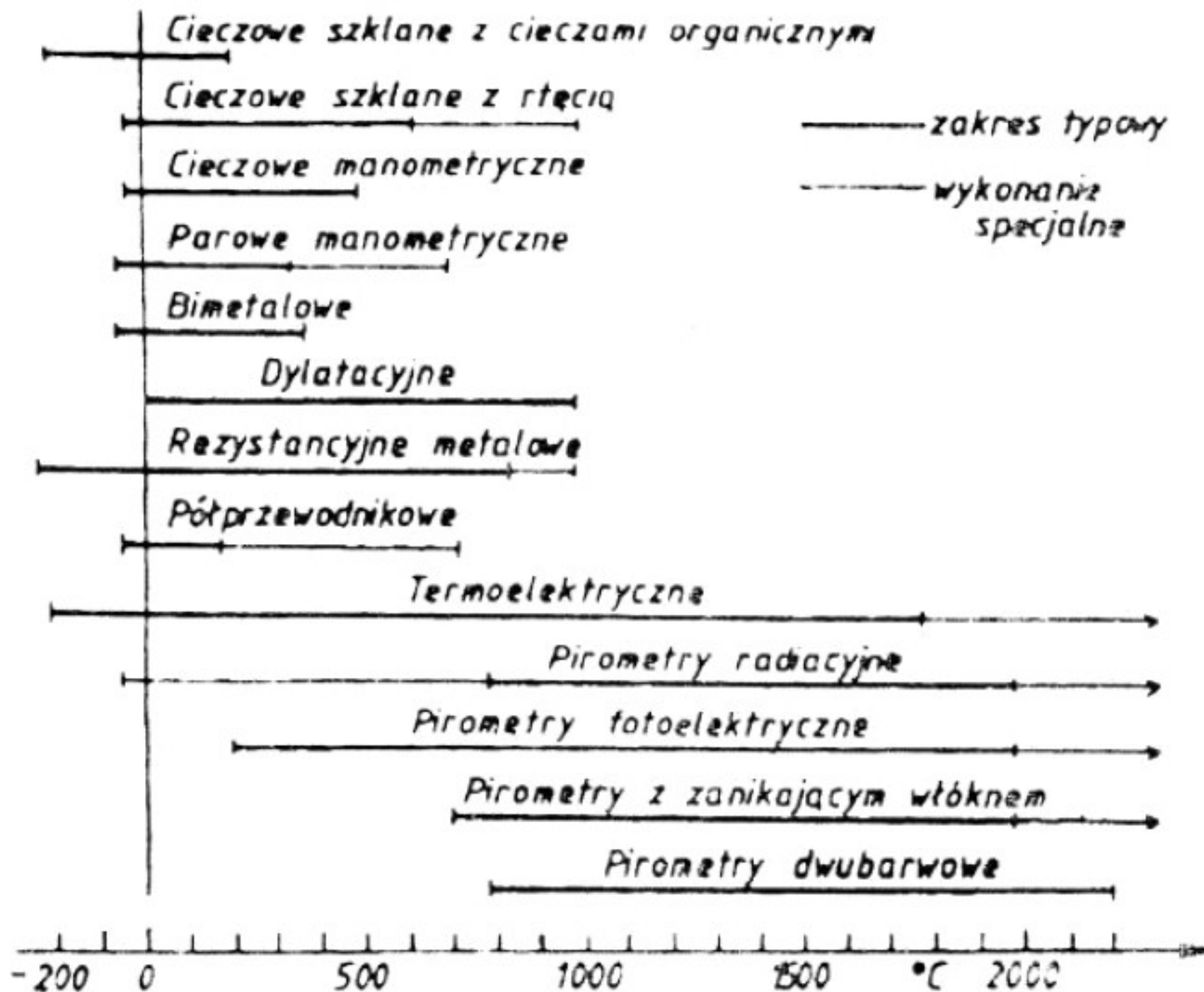
Czujniki



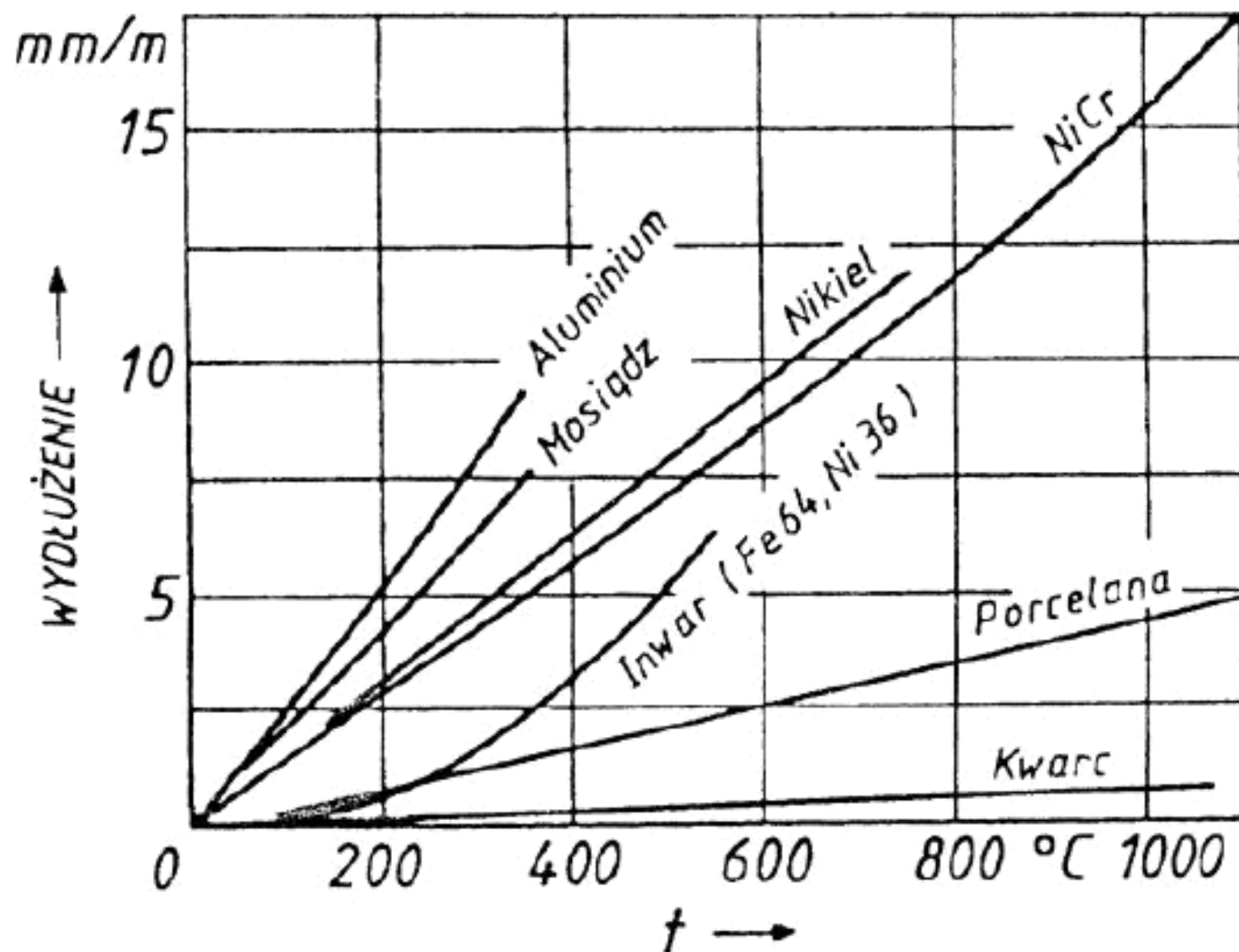
Sygnal wejściowy regulatorów elektrycznych
 Sygnal wejściowy regulatorów pneumatycznych



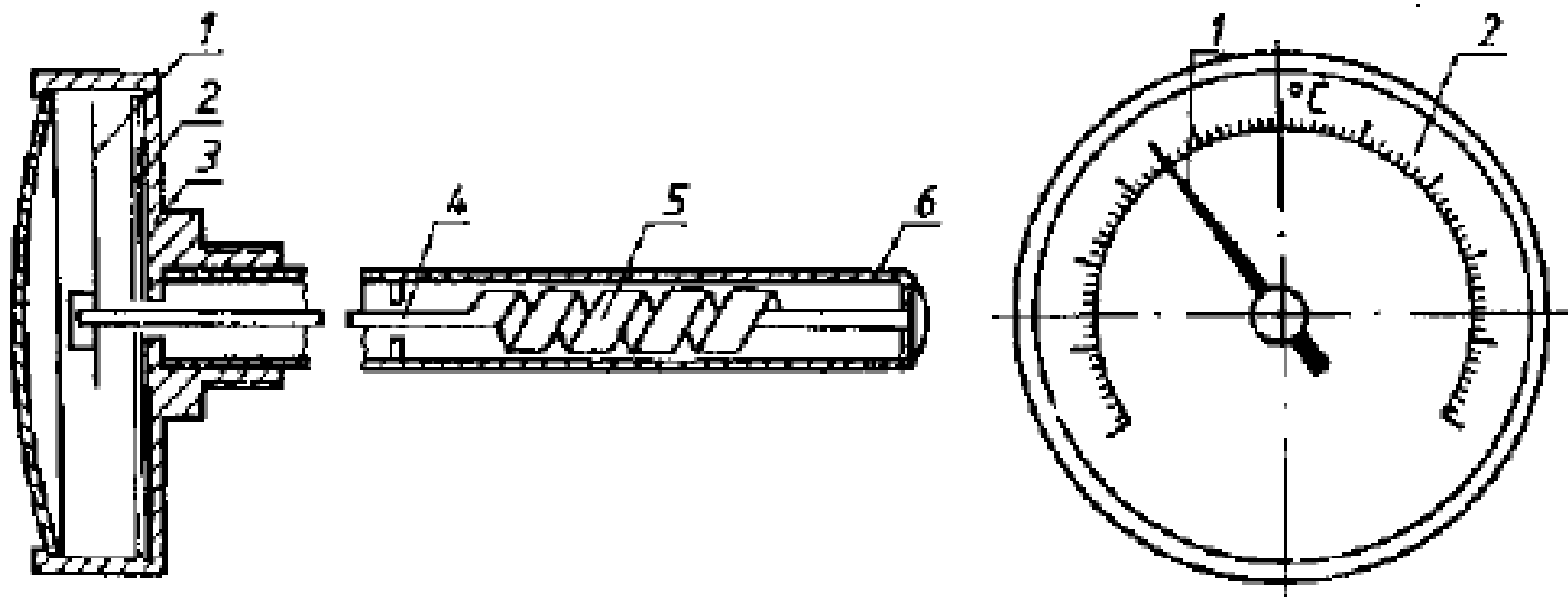
Rys. 1 Klasyfikacja metod i przyrządów do pomiaru temperatury



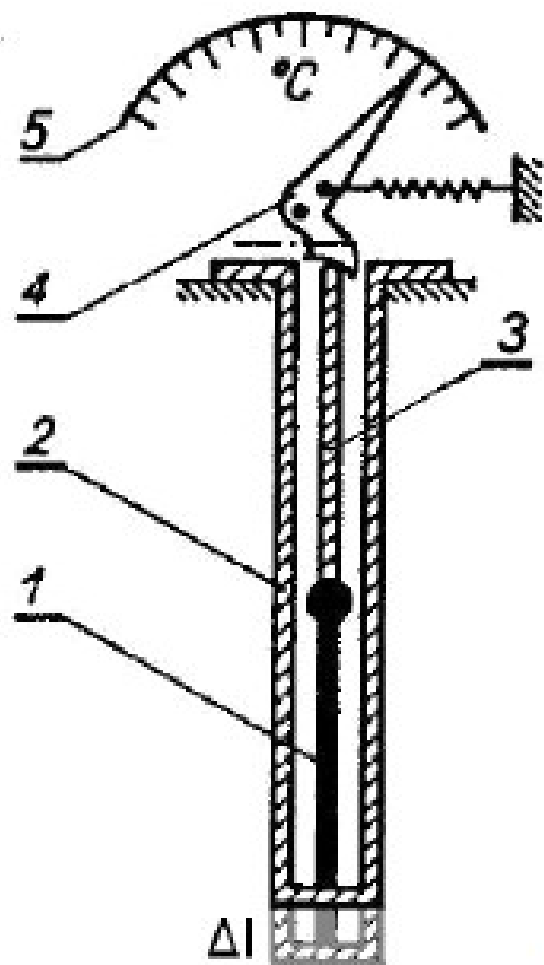
Rys. 2. Zakresy stosowania przyrządów do pomiaru temperatury



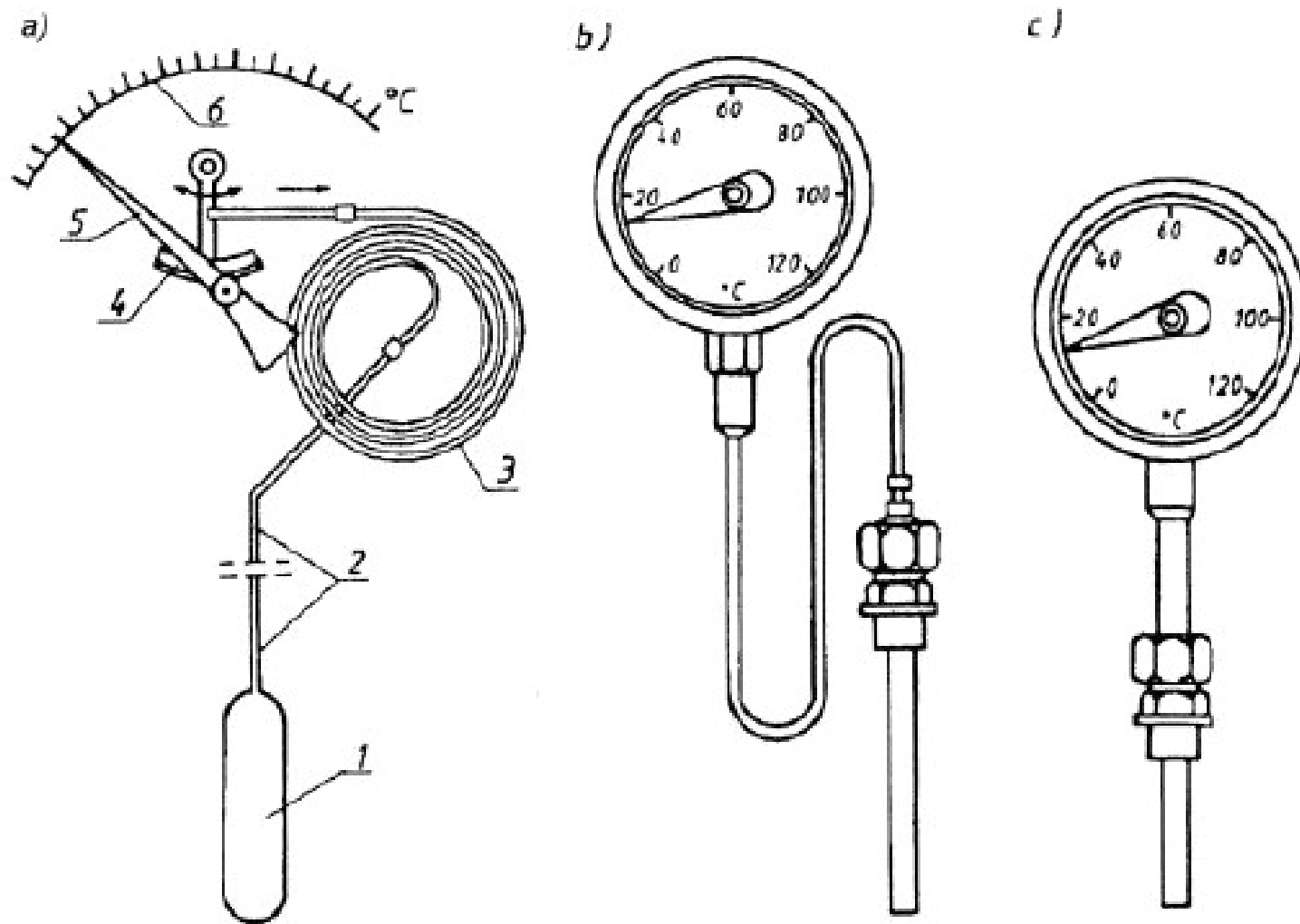
Rys. 5. Zależność wydłużenia względnego od temperatury t dla materiałów stosowanych do budowy termometrów rozszerzalnościowych metalowych



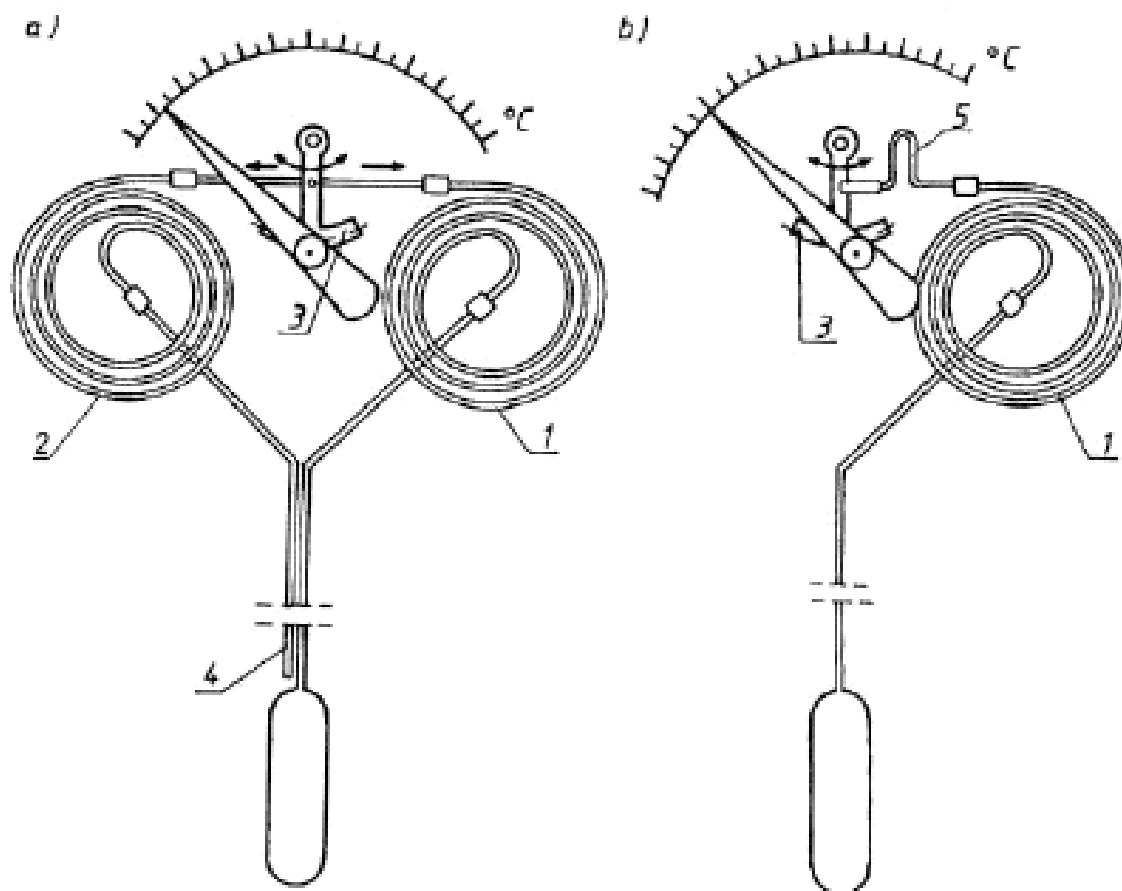
Rys. 7. Zasada działania termometru bimetalowego



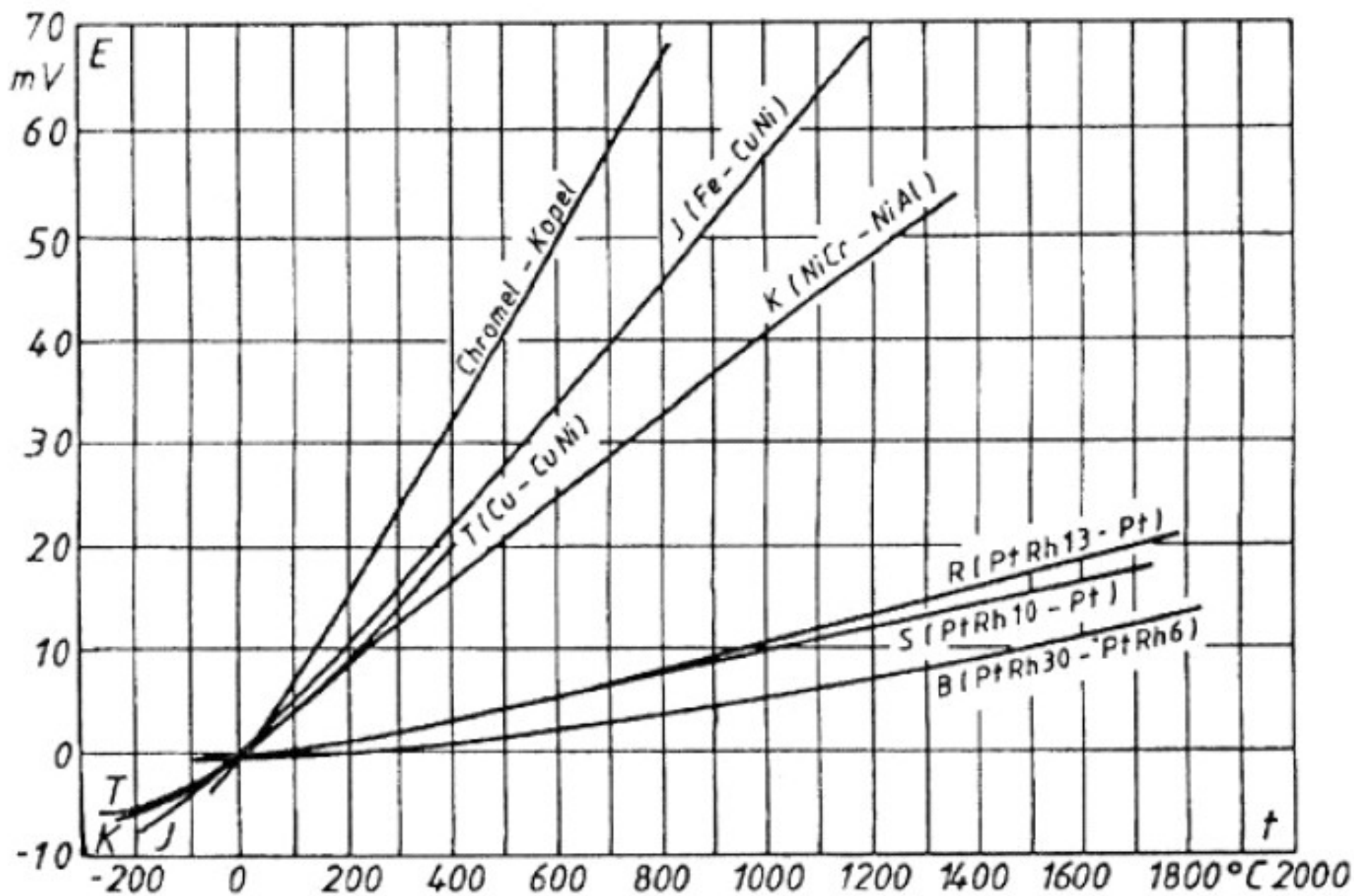
Rys. 6. Zasada działania termometru dylatacyjnego



Rys. 8. Termometr manometryczny cieczowy a) budowa b) i c) widok termometru manometrycznego do pomiarów zdalnych (z kapilarą) i miejscowych (bez kapilary): 1 - czujnik, 2 - kapilara, 3 - element sprężysty, 4 - segment zębaty, 5 - wskazówka, 6 - skala



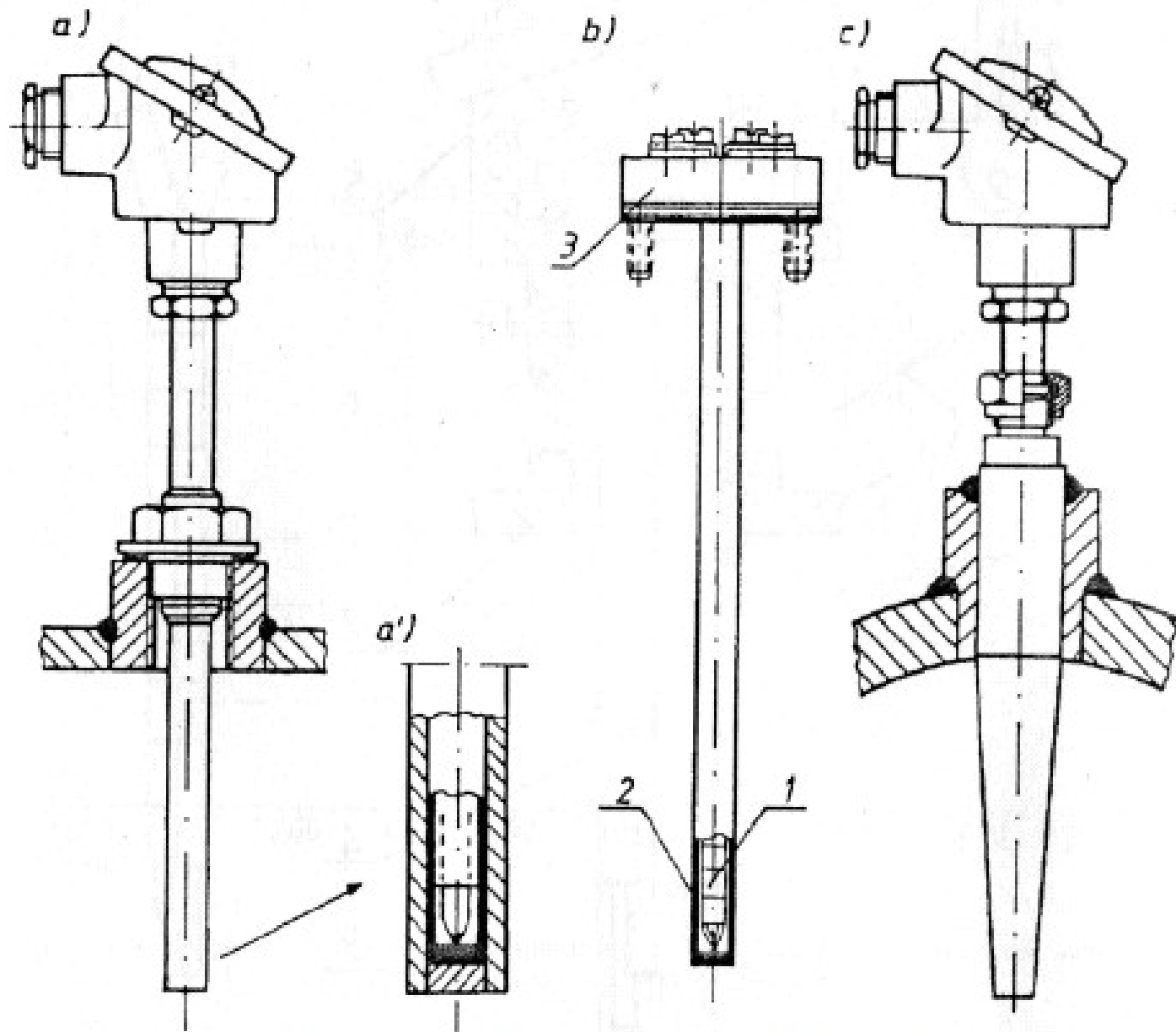
Rys. 9. Termometr manometryczny cieczowy: a) z pełną kompensacją błędów temperaturowego, b) z kompensacją elementem bimetalowym: 1 - element sprężysty układu pomiarowego, 2 - element sprężysty układu kompensacyjnego, 3 - segment zębany, 4 - kapilara kompensacyjna, 5 - bimetal



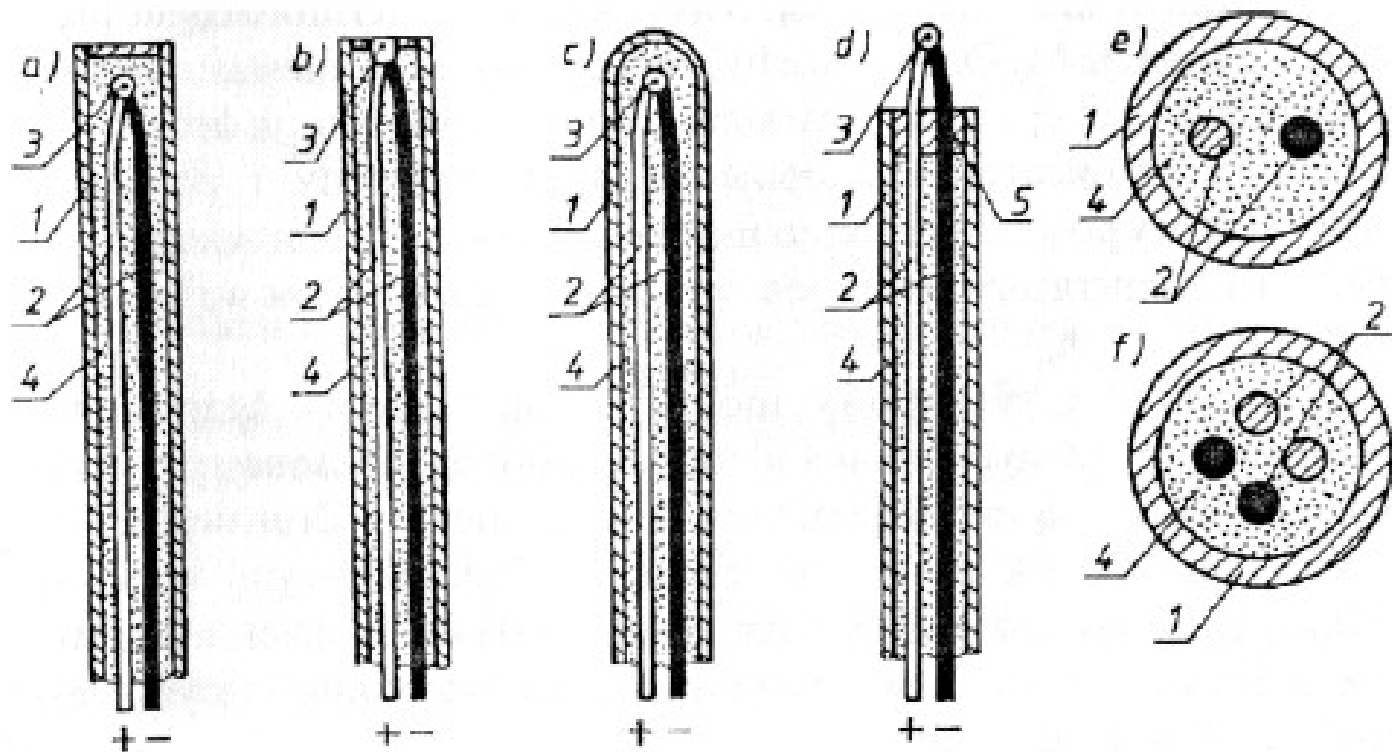
Rys. 15. Charakterystyki termometryczne najczęściej stosowanych termoelementów

Tabela 4. Charakterystyki termometryczne termoelementu Fe-Konst, NiCr-NiAl i PtRh10-Pt

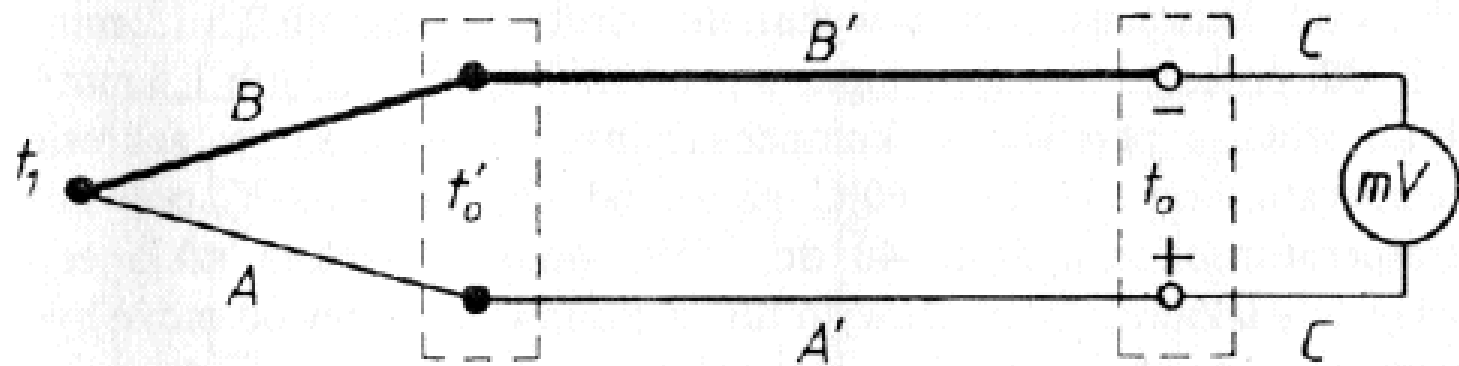
Tempera- tura [°C]	Rodzaj termoelementu					
	Fe-CuNi		NiCr-NiAl		PtRh10-Pt	
	E [mV]	k [μV/K]	E [mV]	k [μV/K]	E [mV]	k [μV/K]
- 50	- 2,437	48,74	- 1,889	37,78	- 0,236	4,72
0	0	50,45	0	39,45	0	5,04
+50	2,586	51,70	2,022	40,44	0,299	5,98
100	5,268	53,66	4,095	41,46	0,645	6,92
150	8,008	54,80	6,137	40,84	1,029	7,68
200	10,777	55,38	8,137	40,00	1,440	8,22
250	13,553	55,52	10,151	40,28	1,873	8,66
300	16,325	55,44	12,207	41,12	2,323	9,00
350	19,089	55,28	14,292	41,17	2,786	9,26
400	21,846	55,14	16,395	42,06	3,260	9,48
450	24,607	55,22	18,513	42,36	3,743	9,66
500	27,388	55,62	20,640	42,54	4,234	9,82
600	33,096	57,08	24,902	42,62	5,237	10,03
700	39,130	60,34	29,128	42,26	6,274	10,37
800			33,277	41,49	7,345	10,77
900			37,325	40,48	8,448	11,03
1000			41,269	39,44	9,585	11,37
1100			45,108	38,39	10,754	11,69
1200					11,947	11,93
1300					13,155	12,08



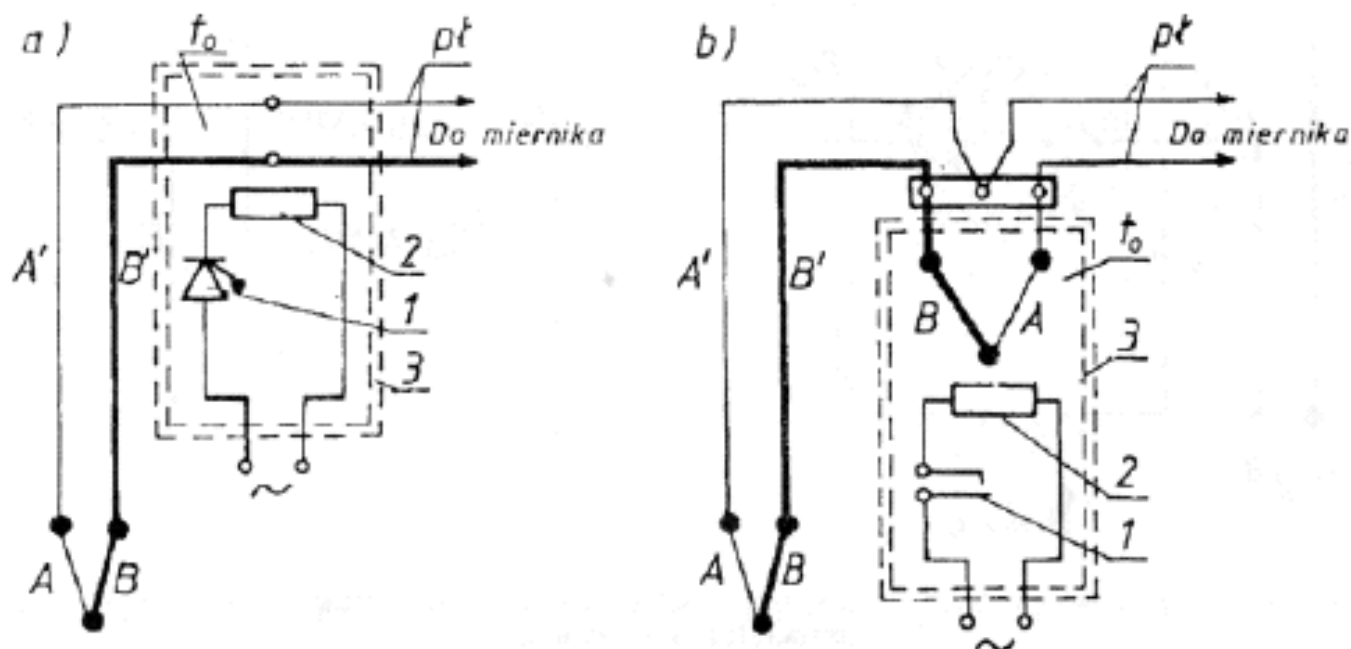
Rys. 18. Ciśnieniowe czujniki termoelektryczne: a) czujnik cylindryczny, b) wkładka pomiarowa, c) czujnik stożkowy; 1 - termoelektrody z izolacją, 2 - osłona wewnętrzną, 3 - płytką zaciskową



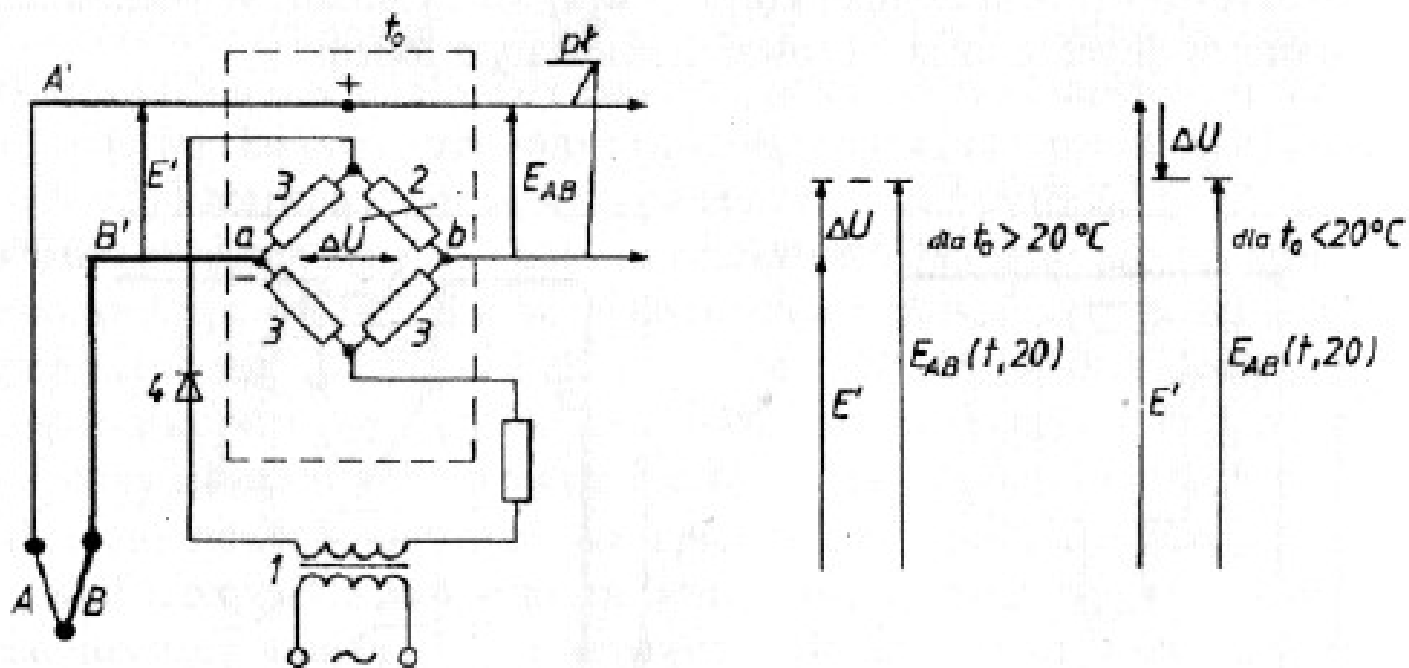
Rys. 19. Wykonanie termoelementu płaszczowego : a) spoina odizolowana od osłony (denko wspawane), b) spoina wspawana w denko, c) spoina odizolowana od osłony (osłona bez szwu), d) spoina wystająca z osłony, e) i f) powiększone przekroje termoelementu pojedynczego (dwuelekt-rodowego) i podwójnego (czteroelektrodowego); 1 - osłona, 2 - elektrody termoelementu. 3 - spoina pomiarowa, 4 - izolacja ceramiczna, 5 – cement ogniotrwały



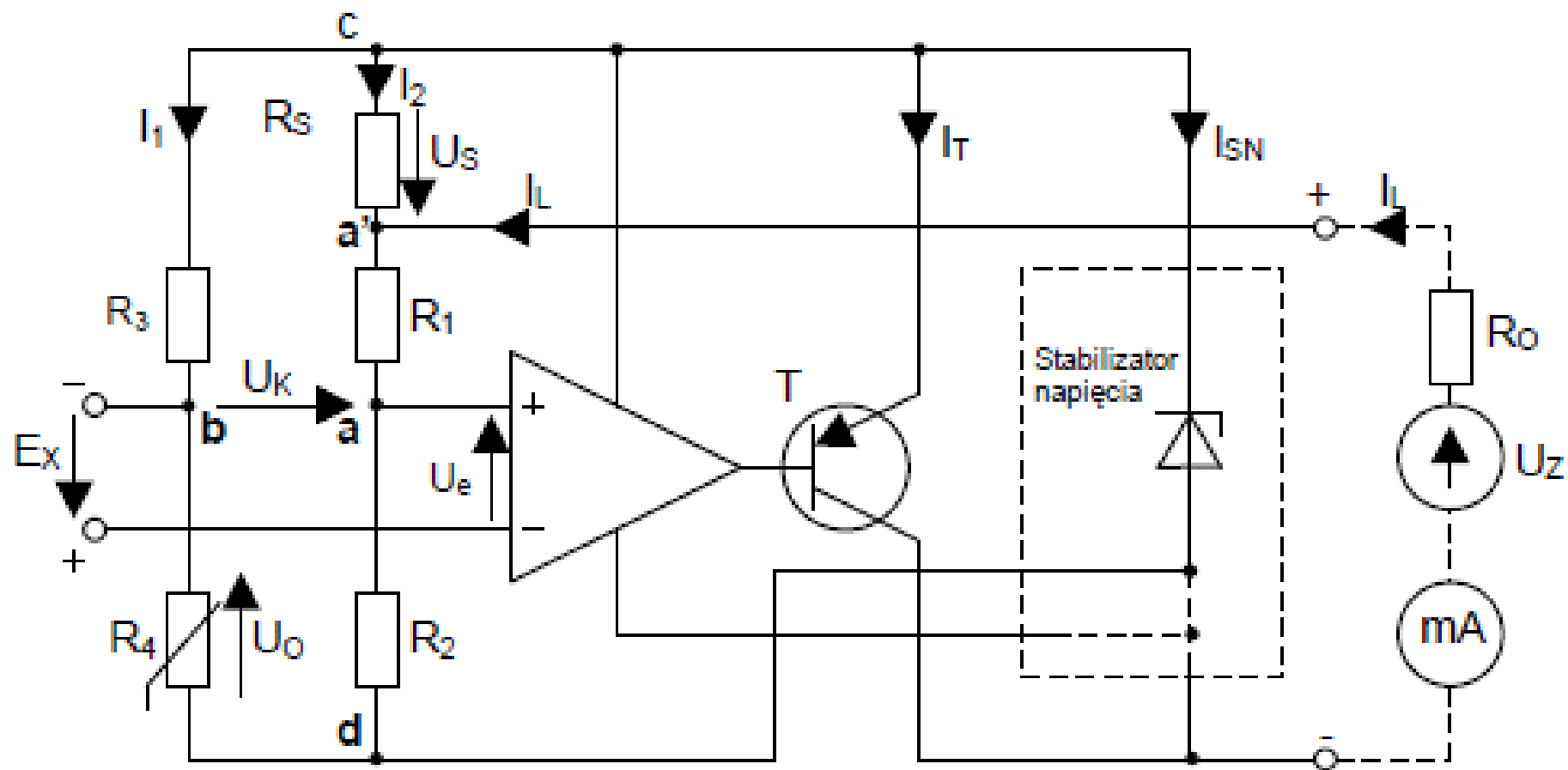
Rys. 20. Obwód termoelementu AB z przewodami kompensacyjnymi $A'B'$ i przewodami miedzianymi C : t_1 - temperatura spoiny pomiarowej, t'_0 - temperatura miejsca połączenia termoelementu z przewodami kompensacyjnymi, t_0 temperatura odniesienia



Rys. 21. Schematy ideowe elektrycznych termostatów temperatury odniesienia: a) wykonanie z umieszczeniem wolnych końców w temperaturze odniesienia, b) wykonanie z pomocniczą spoiną odniesienia; 1 - element sterujący (tyrystor lub zestyki przekaźnika) mocą pobieraną przez element grzewczy 2, 3 - izolacja cieplna, A'B' - przewody kompensacyjne, pt - miedziane przewody łączeniowe, t₀ - temperatura odniesienia (t₀ = 50°C)



Rys. 22. Mostkowa przystawka korekcyjna - schemat elektryczny i zasada kompensacji zmian temperatury otoczenia t_0 : 1 - transformator, 2 - rezystor z miedzi lub niklu, 3 - rezystory manganinowe, 4 - prostownik



Rys. 23. Uproszczony schemat ideowy przetwornika APU-315.

8.1. Rezystory termometryczne metalowe

Dla metali o przewodności elektronowej zależność rezystancji R_t w funkcji temperatury t można przedstawić przybliżonym wzorem

$$R_t = R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^3 + \dots) \quad (27)$$

gdzie: $R_0 = \frac{l}{S} \cdot \rho_0$ - rezystancja przewodu o długości l i przekroju poprzecznym S ,

wykonanego z metalu o rezystywności ρ_0 w temperaturze $t_0 = 0^\circ\text{C}$,

A, B, C - cieplne współczynniki zmian rezystywności,

przy czym: $A > 0$, $|B| \ll A$ oraz $|C| \ll A$.

Jako wartość charakterystyczną dla rezystorów termometrycznych podaje się średni temperaturowy cieplny współczynnik zmian rezystywności w zakresie od 0 do 100°C zdefiniowany jako:

$$\alpha = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{R_{100} - R_0}{100} \quad (28)$$

gdzie: R_{100} - rezystancja rezystora w temperaturze 100°C ,

R_0 - rezystancja rezystora w temperaturze 0°C .

Charakterystyka termometryczna rezystorów platynowych dla zakresu temperatur $(0 \div 850)^\circ\text{C}$ jest opisana zależnością:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + 3,9083 \cdot 10^{-3} \cdot t - 5,775 \cdot 10^{-7} \cdot t^2) \quad (29)$$

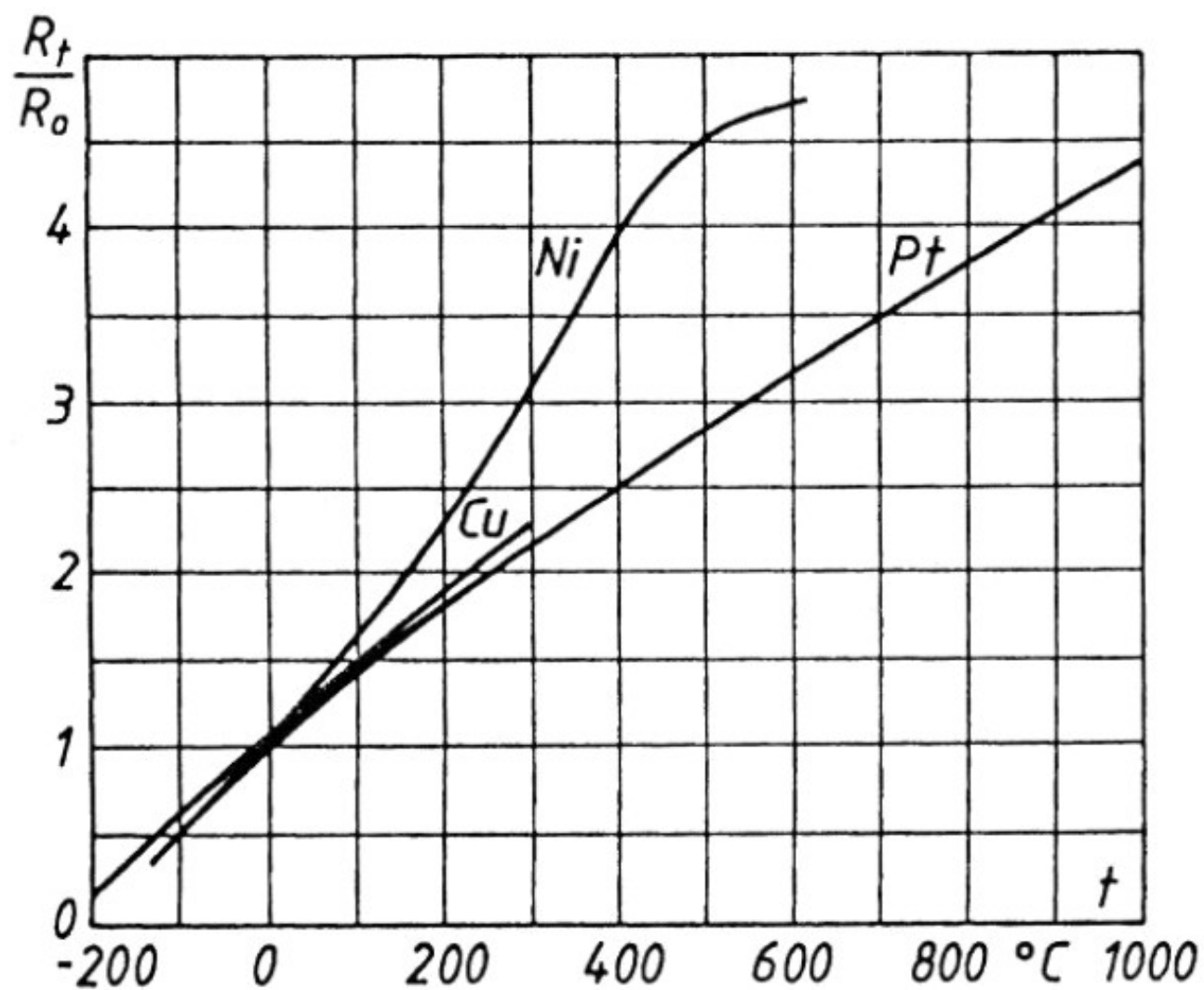
Rezystancja znamionowa rezystora termometrycznego jest to jego rezystancja w temperaturze odniesienia 0°C .

Tabela 5. Właściwości metali stosowanych na rezystory termometryczne

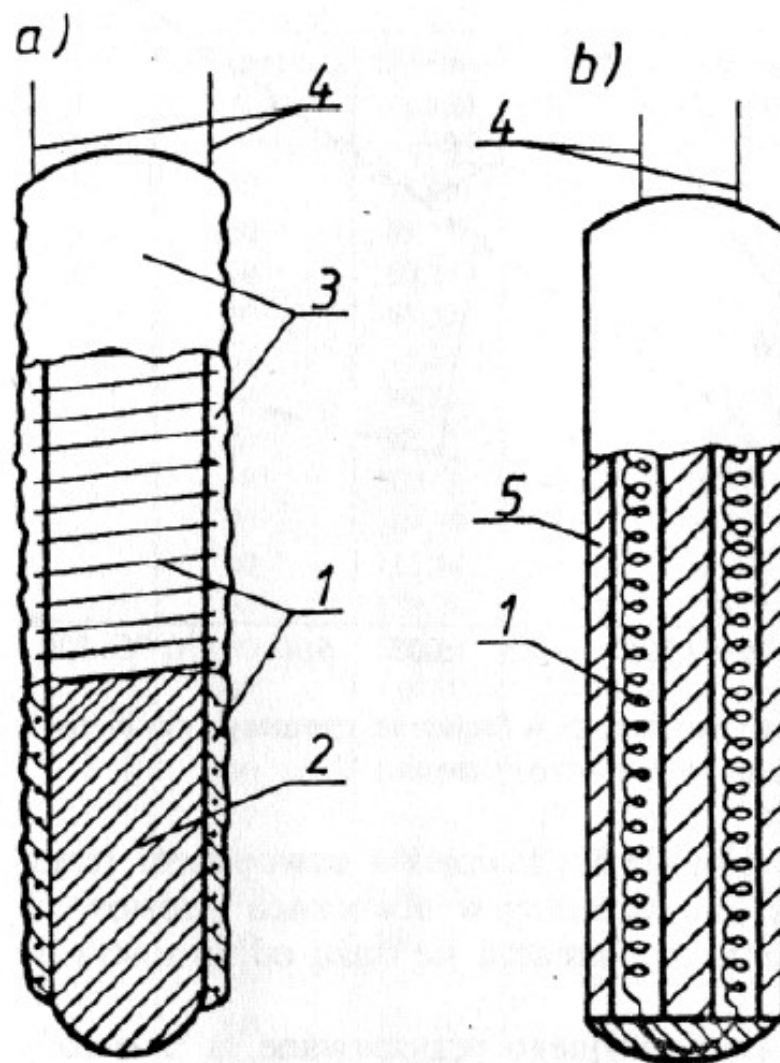
Materiał	Zakres stosowania [°C]		Rezystowność [Ω·m]	$\frac{R_{100}}{R_0}$
	typowy	graniczny		
Platyna	-200 + +850	-250 + +1000	$(1,0+1,1) 10^{-7}$	1,385
Nikiel	-60 + +150	-60 + +180	$(0,9+1,1) 10^{-7}$	1,617
Miedź	-50 + +150	-	$(1,7+1,8) 10^{-8}$	1,426

Tabela 6. Znormalizowane wartości rezystancji w Ω rezystorów termometrycznych w zależności od temperatury

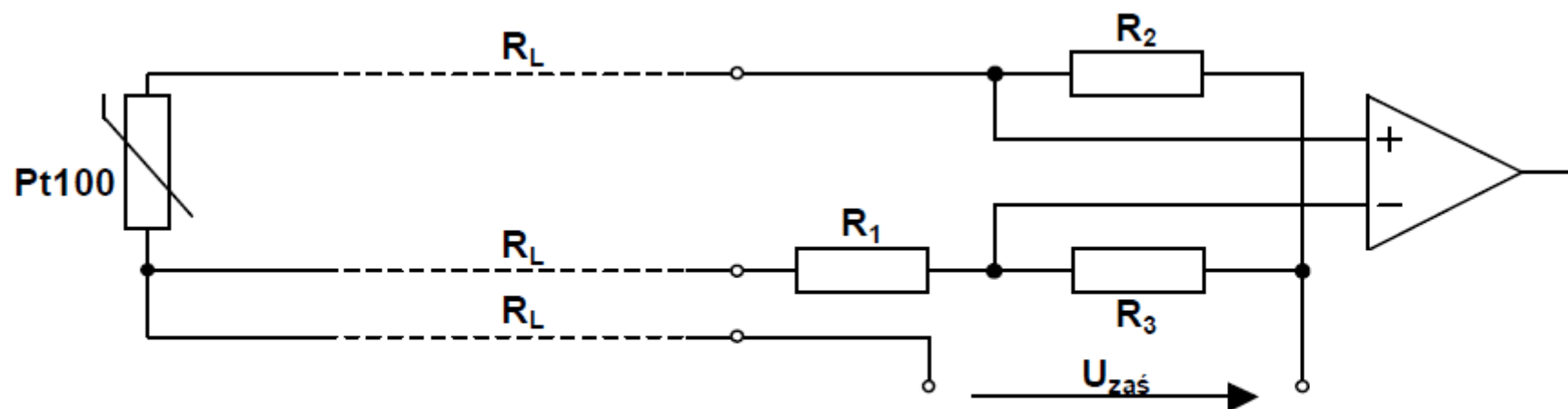
Temperatura °C	Platyna Pt100	Nikiel Ni100	Miedź Cu100	Temperatura °C	Platyna Pt100
-200	18,49			380	240,13
-150	39,71			400	247,04
-100	60,25			420	253,09
- 80	68,33			440	260,72
- 60	76,33	69,51		460	267,49
- 40	84,21	79,06	82,96	480	274,22
- 20	92,13	89,26	91,48	500	280,90
0	100,00	100,00	100,00	520	287,53
20	107,79	111,25	108,52	540	294,11
40	115,54	123,01	117,04	560	300,65
60	123,24	135,3	125,56	580	307,15
80	130,89	148,19	134,08	600	313,59
100	138,50	161,71	142,60	620	319,99
120	146,06	175,94	151,12	640	326,35
140	153,58	190,93	159,64	660	332,66
160	161,04	206,70	168,16	680	338,92
180	168,46	223,10	176,68	700	345,13
200	175,84			720	351,30
220	183,17			740	357,42
240	190,45			760	363,50
260	197,69			780	369,53
280	204,88			800	375,51
300	212,02			820	381,44
320	219,12			840	387,33
340	226,17			850	390,26
360	233,17				



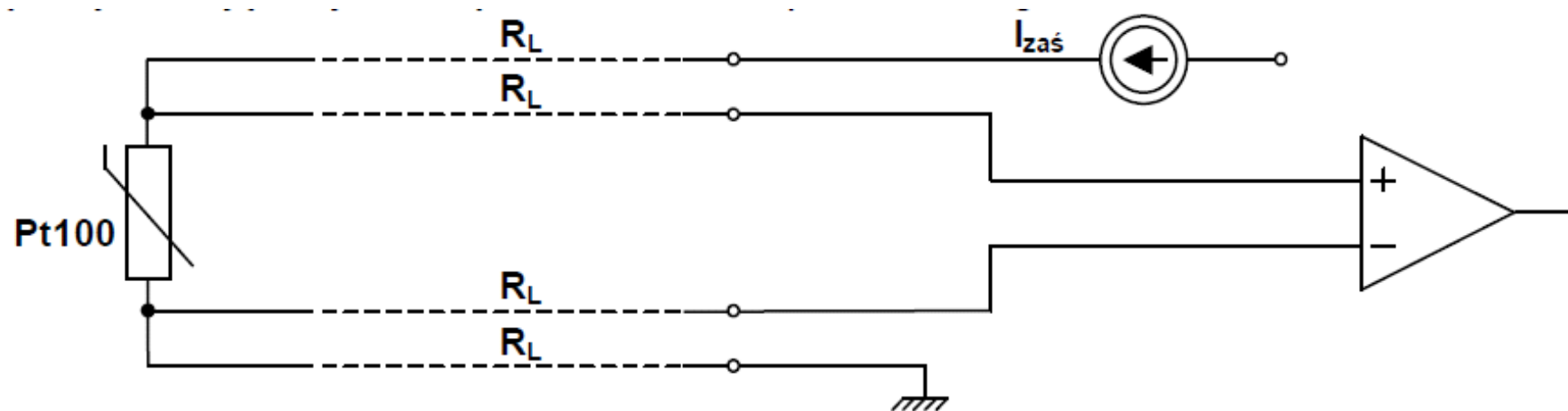
Rys. 24. Stosunek rezystancji R_t rezystora termometrycznego w temperaturze t do rezystancji R_0 w temperaturze 0°C w funkcji temperatury t dla metali stosowanych na rezystory termometryczne



Rys. 26. Rezystory termometryczne pałeczkowe platynowe: a) wykonanie z prętem, b) wykonanie z rurką otworkową, 1 - uzwojenie rezystancyjne, 2 - pręt szklany lub kwarcowy, 3 - zewnętrzna warstwa ochronna, 4 - końcówki, 5 - rurka ceramiczna

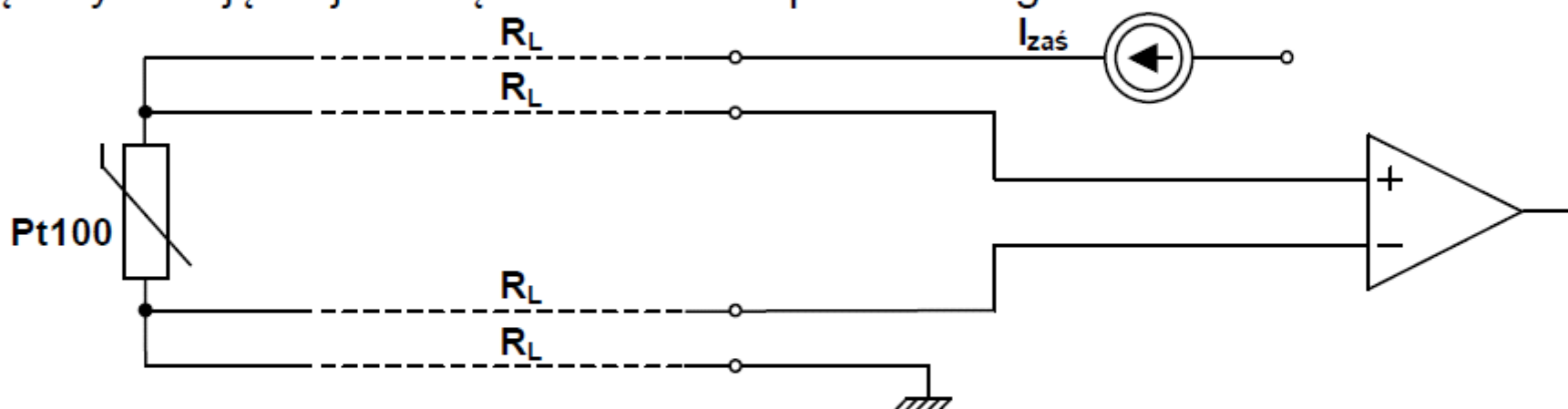


Rys. 27. Schemat ideowy układu mostkowego stosowanego do pomiaru rezystancji czujników termometrycznych.



Rys. 29. Schemat ideowy układu 4-przewodowego stosowanego do pomiaru rezystancji czujników termometrycznych.

Metoda techniczna polega na pomiarze spadku napięcia na mierzonym rezystorze przy przepływie przez niego prądu o stałej i znanej wartości. Dla uniknięcia wpływu zmian rezystancji linii łączeniowych z układem przetwarzającym stosowane są połączenia czteroprzewodowe (rys. 29). Rezystancja przewodów zasilających nie jest istotna ze względu na zasilanie prądowe (wysokostabilne źródło prądowe), a rezystancja przewodów pomiarowych (napięciowych) jest nieistotna ze względu na dużą rezystancję wejściową wzmacniacza pomiarowego.



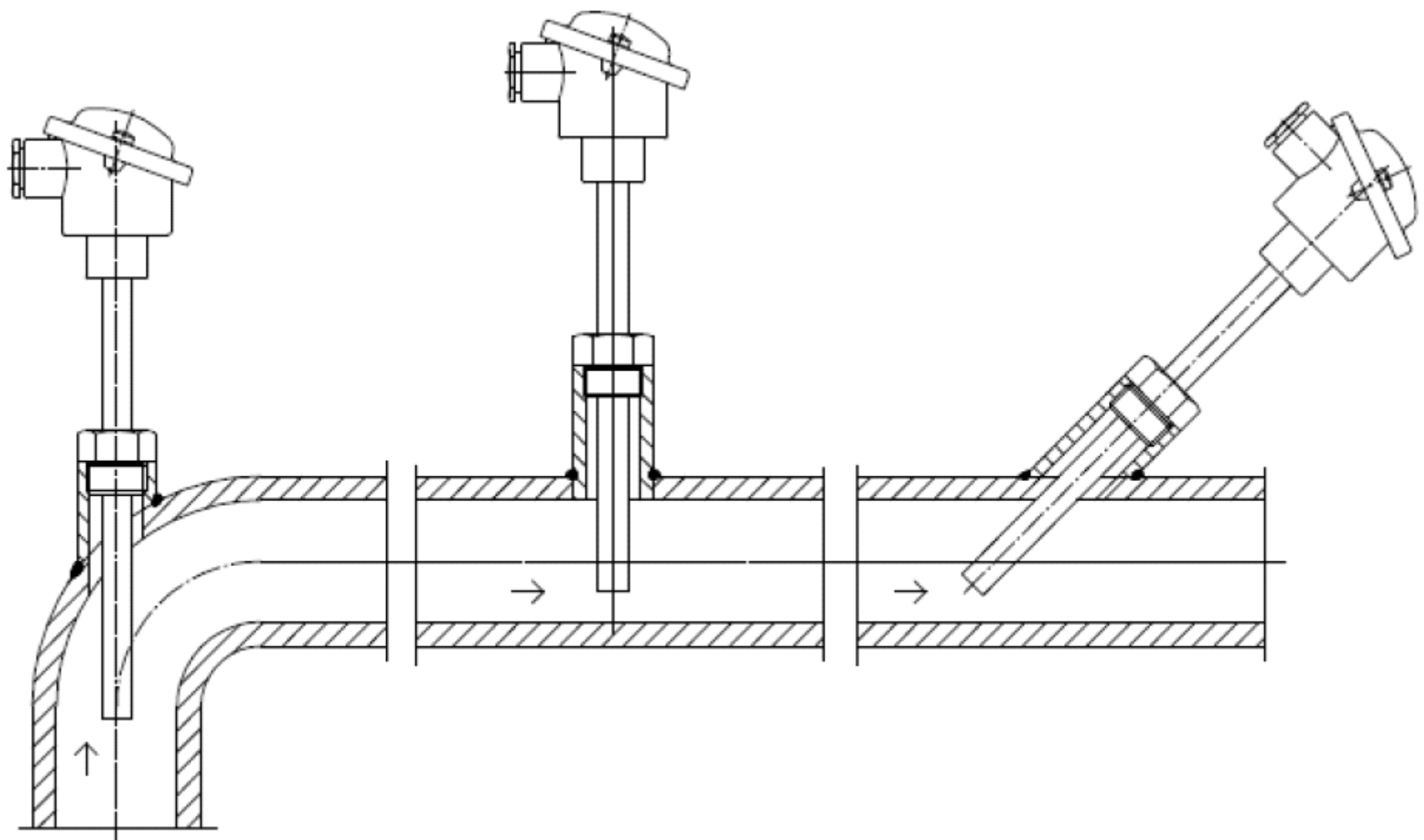
Rys. 29. Schemat ideowy układu 4-przewodowego stosowanego do pomiaru rezystancji czujników termometrycznych.

Obie metody wymagają kompensacji nieliniowości czujnika termometrycznego (rys. 24) oraz układu pomiarowego (mostek). Odbywa się to analogowo przez odpowiednią zmianę napięcia zasilającego mostek lub poprzez zmianę wartości prądu ze źródła prądowego. Można kompensacji tej również dokonać cyfrowo, po przetworzeniu sygnału analogowego na sygnał cyfrowy.





Rys. 3.30. Różne wykonania obudów rezystancyjnych czujników pomiarowych;
www.apator-kfap.pl



Rys. 31. Różne sposoby montażu rezystancyjnych czujników pomiarowych w rurociągach.