

Wykład 3

Pomiary wielkości fizycznych i środowiskowych

dr inż. Robert Kazała

Rodzaje pomiarów

- pomiary temperatury
- pomiary ciśnienia
- pomiary przepływu
- pomiary poziomu
- pomiary siły
- pomiary wilgotności
- pomiary oświetlenia
- pomiary parametrów chemicznych

Sygnały standardowe w automatyce

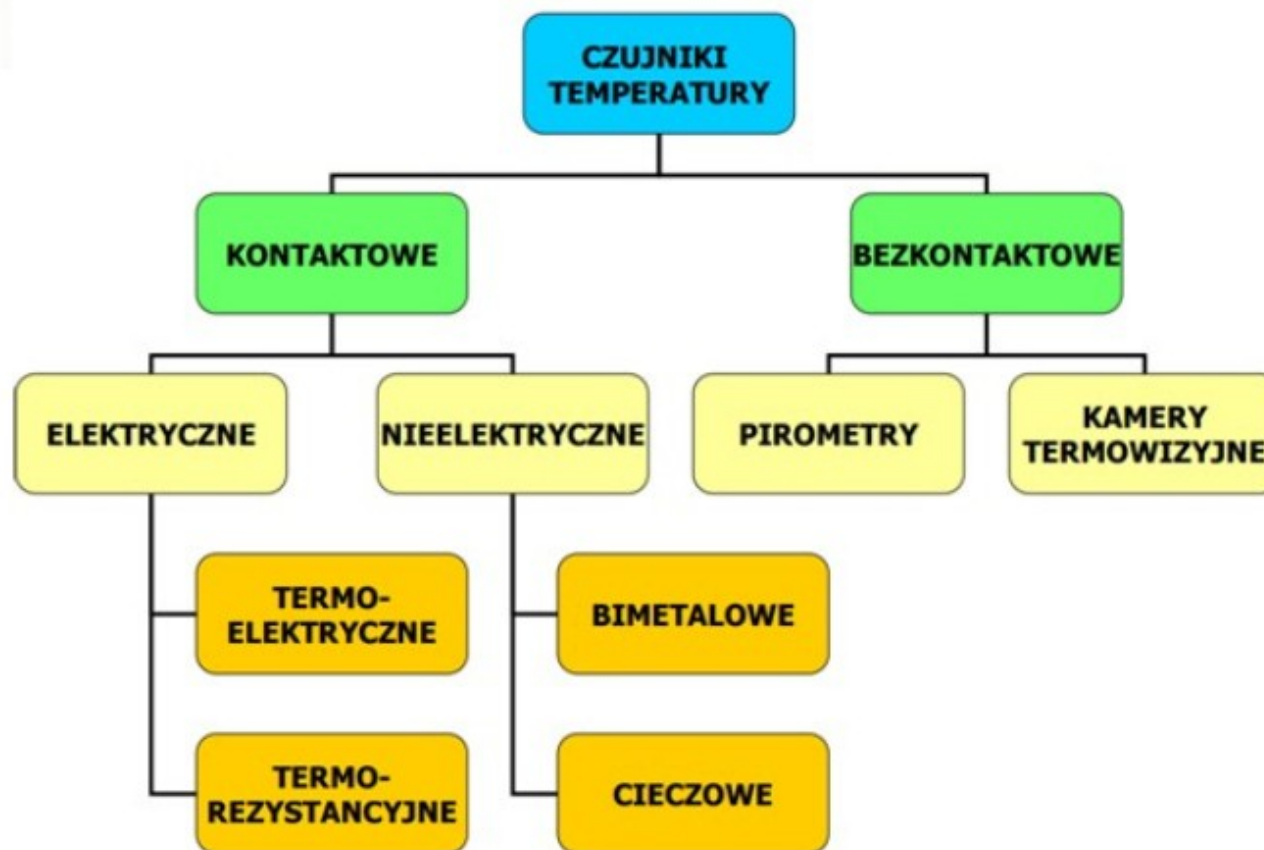
Rodzaj sygnału	Wartość lub zakres zmian wartości sygnału
Pneumatyczny	20 ÷ 100 kPa
Hydrauliczny	1.0 MPa 6.0 MPa 10.0 MPa 16.0 MPa
Elektryczny	0 ÷ 5 mA 0 ÷ 10 mA 0 ÷ 20 mA 4 ÷ 20 mA
	0 ÷ 5 V 0 ÷ 10 V 1 ÷ 5 V

Pomiary temperatury

- Temperatura jest podstawową wielkością fizyczną, która jest mierzona, regulowana, rejestrowana oraz monitorowana w niemal wszystkich procesach technologicznych, w różnych gałęziach przemysłu, budownictwie oraz w środowisku w którym przebywa człowiek.
- Czujniki temperatury to przyrządy do pomiaru temperatury cieczy, gazów, elementów maszyn, urządzeń oraz instalacji przemysłowych.
- Do pomiaru i monitoringu temperatury stosowane są różnego rodzaju czujniki temperatury wykorzystujące różne zjawiska fizyczne

Pomiary temperatury – zjawiska fizyczne

- zmiana rezystancji elementu pomiarowego
- generowanie napięcia przez element pomiarowy (zjawisko termoelektryczne)
- emisja podczerwieni mierzonego elementu

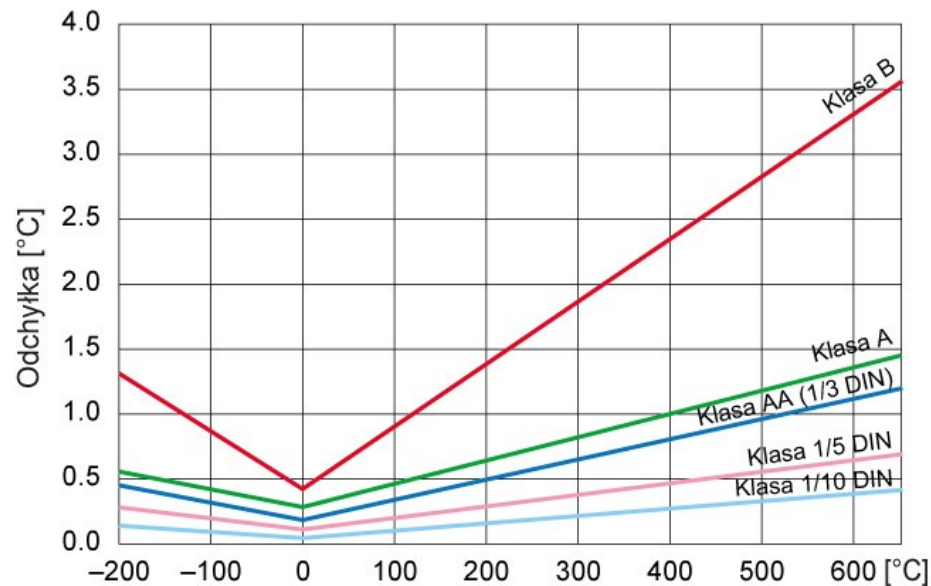


Rezystancyjne czujniki temperatury (RTD)

- Rezystancyjne czujniki temperatury (RTD) to czujniki, które do pomiaru temperatury wykorzystują zjawisko zmiany rezystancji metalu (przewodnika) z którego są wykonane pod wpływem przyłożonej temperatury.
- Elementem pomiarowym rezystancyjnego czujnika temperatury (RTD) jest rezystor pomiarowy (termorezystor), którego rezystancja zmienia się wraz ze zmianą temperatury.
- W praktyce najczęściej stosuje się czujniki platynowe (Pt100, Pt500, Pt1000), których zależność pomiędzy mierzoną temperaturą, a rezystancją określa norma PN-EN60751:2009.
- Oprócz czujników platynowych stosuje się również czujniki niklowe (Ni100, Ni1000) oraz czujniki półprzewodnikowe (termistory NTC lub pozystory PTC).

Dopuszczalne odchyłki czujników platynowych.

- Dopuszczalne odchyłki dla platynowych czujników temperatury zostały dokładnie opisane w normie PN-EN60751:2009.
- Norma ta rozróżnia dwie klasy dokładności AA, A oraz klasę B.
- Podstawową klasą dokładności stosowaną dla przemysłowych czujników temperatury jest klasa B.
- Klasy AA i A są dokładniejsze ale wymagają zastosowania obwodu pomiarowego 3 lub 4 przewodowego oraz urządzenia pomiarowego z takim podłączeniem.



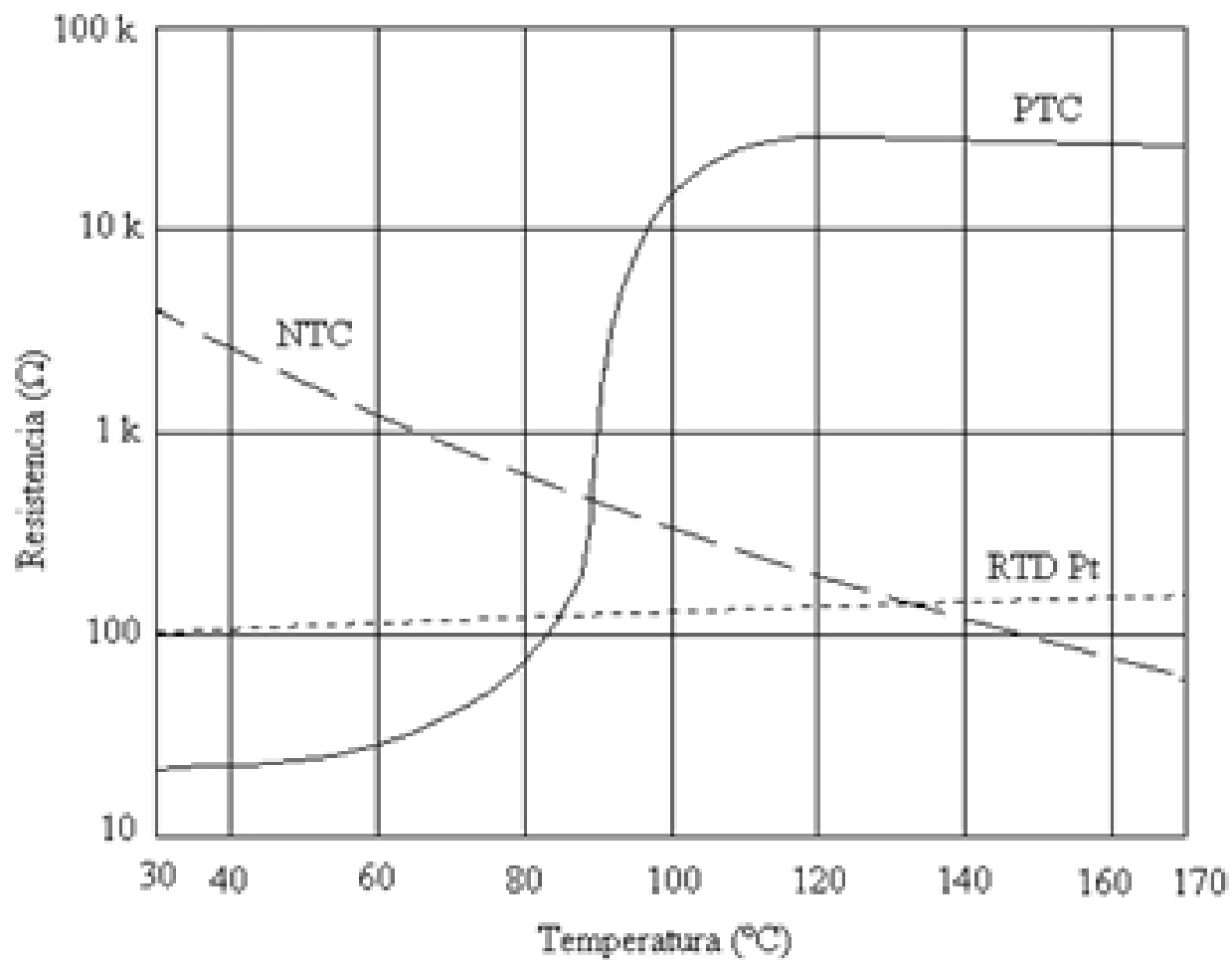
Wartości dopuszczalnych odchyłek dla rezystancyjnych czujników temperatury Pt100

<i>Temperatura [°C]</i>	<i>Dopuszczalne odchyłki</i>		
	<i>Klasa AA [°C]</i>	<i>Klasa A [°C]</i>	<i>Klasa B [°C]</i>
-196			±1,28
-100	-	±0,35	±0,80
-50	±0,185	±0,25	±0,55
0	±0,10	±0,15	±0,30
100	±0,27	±0,35	±0,80
200	±0,44	±0,55	±1,30
250	±0,525	±0,65	±1,55
300	-	±0,75	±1,80
350	-	±0,85	±2,05
400	-	±0,95	±2,30
450	-	±1,05	±2,55
500	-	-	±2,8
600	-	-	±3,30

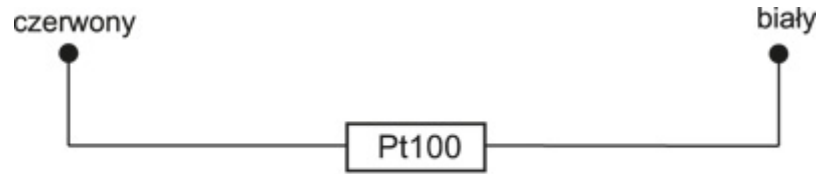
Rodzaje termistorów

- Termistor – typ opornika, którego rezystancja (opór) znacznie zależy od temperatury, tzn. w dużo większym stopniu niż w przypadku standardowych oporników.
- Najczęściej półprzewodnikowy lub metalowy. Wykonuje się je z tlenków: manganu, niklu, kobaltu, miedzi, glinu, wanadu i litu. Od rodzaju i proporcji użytych tlenków zależą właściwości termistora.
- NTC – o ujemnym współczynniku temperaturowym (ang. negative temperature coefficient) – wzrost temperatury powoduje zmniejszanie się rezystancji;
- PTC – (pozystor) o dodatnim współczynniku temperaturowym (ang. positive temperature coefficient), wzrost temperatury powoduje wzrost rezystancji;
- CTR – o skokowej zmianie rezystancji (ang. critical temperature resistor) – wzrost temperatury powyżej określonej powoduje gwałtowną zmianę (wzrost albo spadek) rezystancji. W termistorach polimerowych następuje szybki wzrost rezystancji (bezpieczniki polimerowe), a w ceramicznych, zawierających związki baru – spadek.

Termistory - charakterystyki



Obwody pomiarowe czujników rezystancyjnych



Linia 2-przewodowa: tylko klasa B



Linia 3-przewodowa: klasa A, B lub wyższa

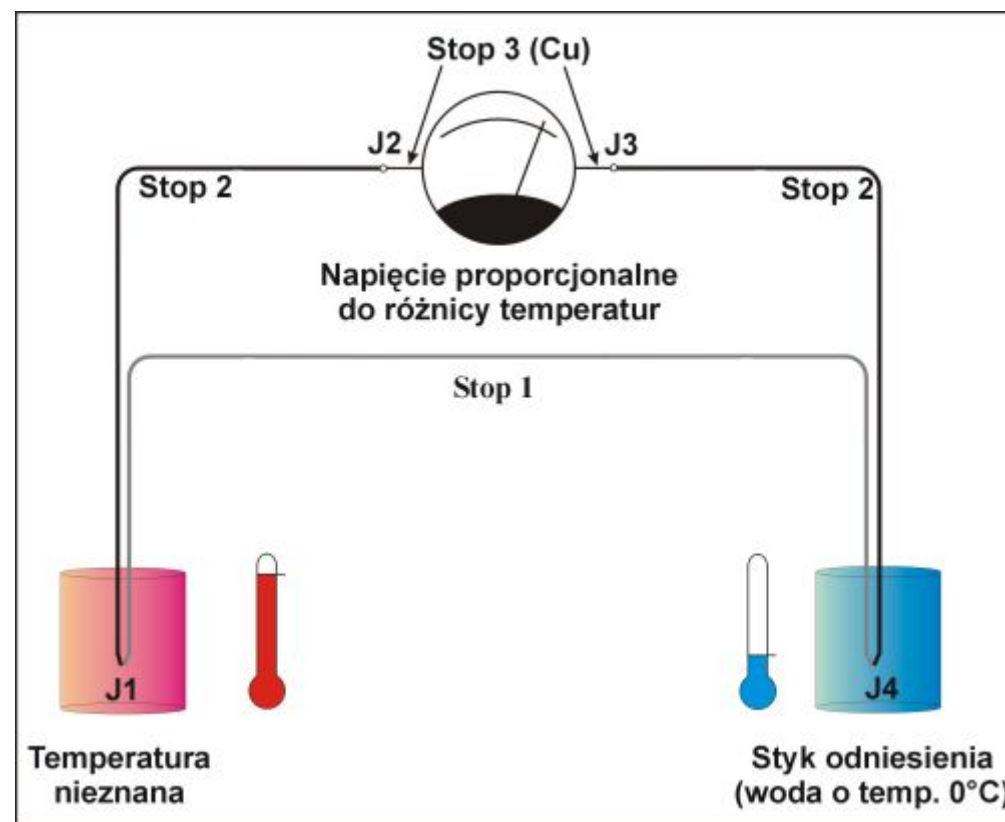


Linia 4-przewodowa: klasa A, B lub wyższa

Termoelektryczne czujniki temperatury – termopary (J, K, N, E, T, R, S, B)

- Drugą grupę czujników temperatury stanowią czujniki termoelektryczne (znane również jako termopary), mierzą temperaturę na podstawie zmiany napięcia termoelektrycznego wbudowanego w nie termoelementu.
- Napięcie generowane przez termoparę zmienia się wraz ze zmianą temperatury (im temperatura wyższa tym generowane jest wyższe napięcie).
- Termopara składa się z dwóch drutów, każdy z drutów termopary wykonany jest z innego materiału (metal lub stopu metalu).
- W zależności od zastosowanych materiałów generowane jest różne napięcie termoelektryczne.
- Charakterystyki termopar są unormowane, a wartość siły termoelektrycznej dla poszczególnych materiałów oraz dopuszczalne odchyłki są opisane normą PN-EN60584-1: 2014-04

Termoelektryczne czujniki temperatury – termopary (J, K, N, E, T, R, S, B)



$$V = \alpha (T_{\text{NIEZNANA}} - T_{\text{ODN}})$$

- α jest współczynnikiem Seebecka.
- Różne termopary mają różne współczynniki, których wartości są publikowane w notach informacyjnych termopar.

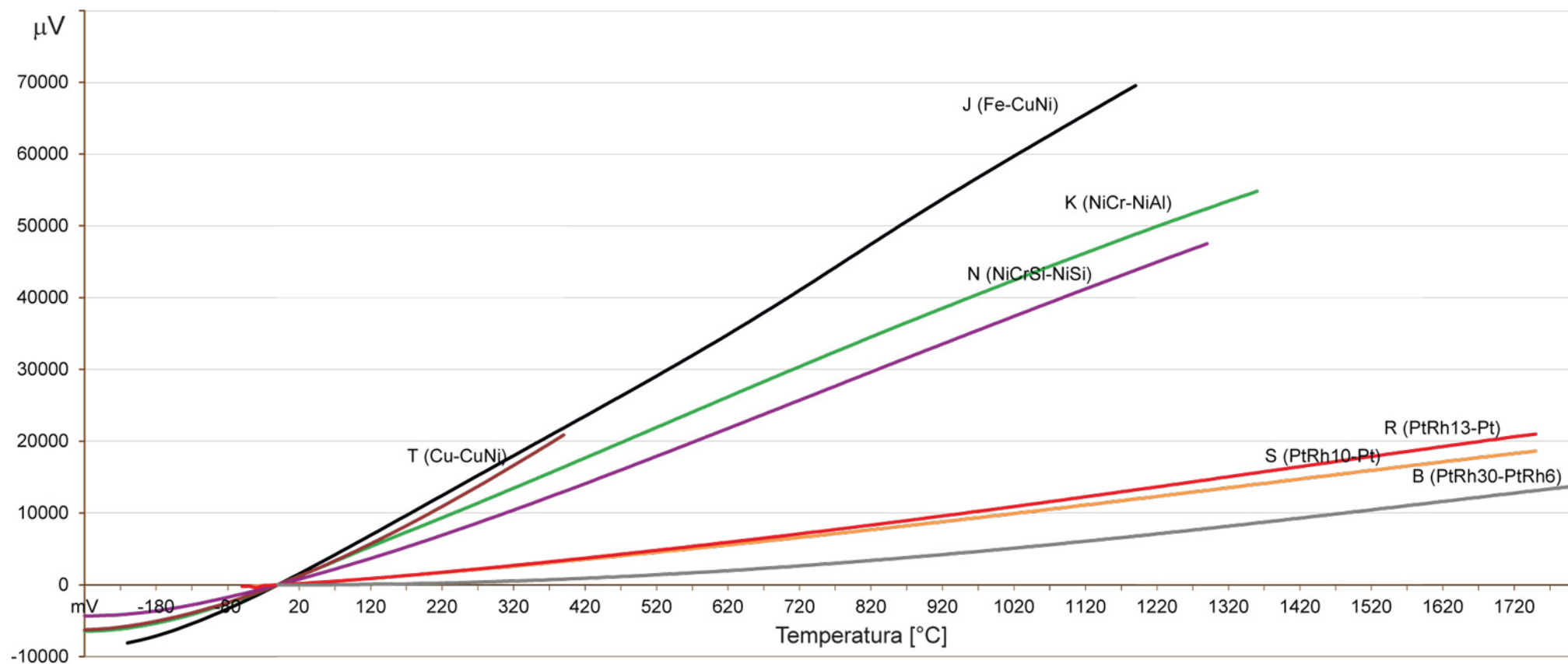
Termopary podstawowe (E, J, K, N, T)

- Termopary typu E (NiCr-CuNi) jeden biegun składa się z NiCr a drugi z konstantanu (CuNi). Zakres stosowania termopary typu E wynosi $-200...+900^{\circ}\text{C}$, a czułość to $68\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, jest ona największa w porównaniu do innych termopar. Termopary typu E mogą być używane w atmosferze obojętnej i utleniającej, natomiast nie należy ich używać w atmosferze redukującej i w próżni.
- Termopary typu J (Fe-CuNi) wykonane są z żelaza (Fe) w połączeniu konstantanem (CuNi). Zakres stosowania termopary typu J wynosi $-40...+750^{\circ}\text{C}$, a czułość to $55\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Termopary typu J (Fe-CuNi) przeznaczone są do pomiaru temperatury w atmosferze obojętnej, redukującej, utleniającej, jak i w próżni.
- Termopary typu K (NiCr-Ni) wykonane są z NiCr-Ni, zakres stosowania termopary typu K wynosi $-200...+1200^{\circ}\text{C}$, a ich czułość to $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Termopary typu K charakteryzują się większą odpornością na utlenianie, niż termopary typu E, J i T, nie jest zalecane używanie termopar typu K w atmosferze redukującej i próżni.
- Termopary typu N (NiCrSi-NiSi) wykonane są ze stopów NiCrSi-NiSi, zakres pomiarowy temperatury termopary typu N wynosi $-200... +1200^{\circ}\text{C}$, a czułość to $39\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Termopary typu N odporne są na utlenianie, nawet w wysokich temperaturach.
- Termopary typu T (Cu-CuNi) składają się z Cu-CuNi, termopary typu T przeznaczone są do pomiaru temperatury w zakresie $-200...+350^{\circ}\text{C}$. Czułość termopary T wynosi $30\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Nadają się one do pomiarów temperatury w atmosferze utleniającej, redukującej, obojętnej i w próżni.

Termopary wysokotemperaturowe (E, J, K, N, T)

- Drugą grupę termopar stanowią termopary wysokotemperaturowe, wykonane z metali szlachetnych, głównie platyny i platyny z domieszką rodu (termopary platynowe).
- Termopary te to termopary typu B (PtRh30-PtRh6), R (PtRh13-Pt) i S (PtRh10-Pt), różnią się one zawartością rodu.
- Termopary platynowe przeznaczone są głównie do pomiaru wysokich temperatur $+1600^{\circ}\text{C}$ (termopary typu R, S) i $+1800^{\circ}\text{C}$ (termopary typu B).
- Charakteryzuje je mała czułość $10\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ w przypadku czujników typu S oraz $14\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ w przypadku typu R.
- Termopary platynowe mogą pracować w atmosferze obojętnej, utleniającej oraz w próżni, natomiast nie powinny pracować w atmosferze redukującej.
- Termopary platynowe są znacznie droższe niż termopary typu E, J, K, T i N oraz łatwo je uszkodzić, ponieważ są umieszczane są w osłonach ceramicznych.
- Do pomiaru bardzo wysokich temperatury stosowane są termopary wolframowe, są to termopary typu C (W5%Re–W26%Re) lub D (W3%Re–W25%Re).
- Termopary te służą do pomiaru temperatury w zakresie nawet do 2300°C .

Termoelektryczne czujniki temperatury – termopary (J, K, N, E, T, R, S, B)



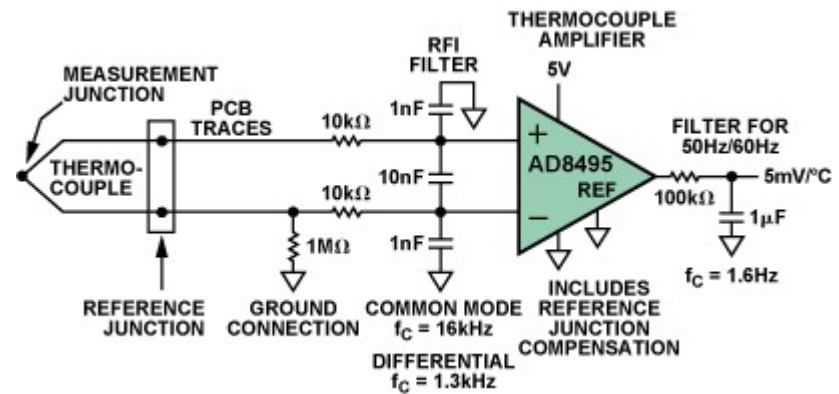
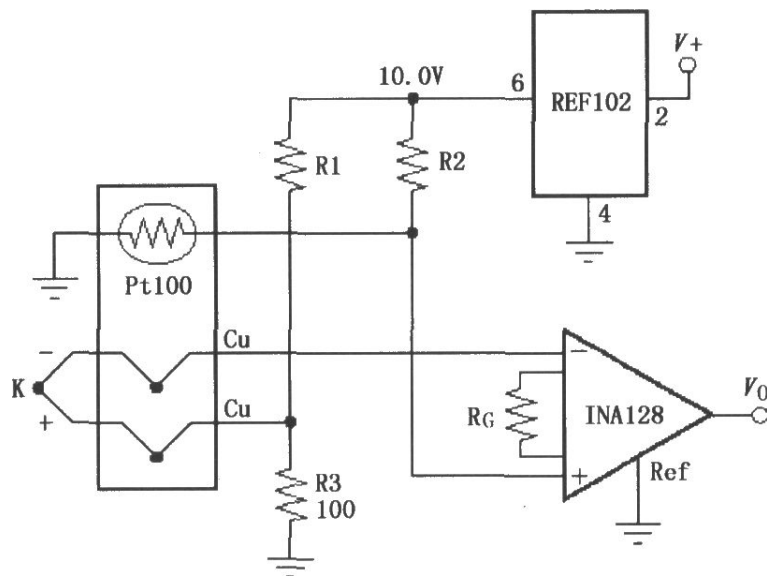
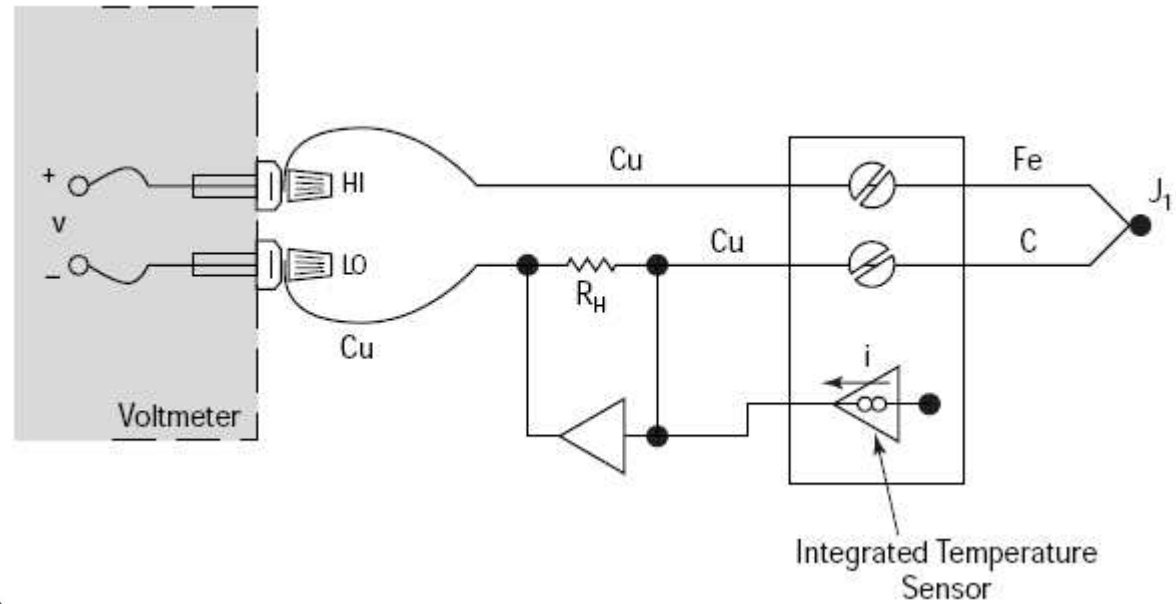
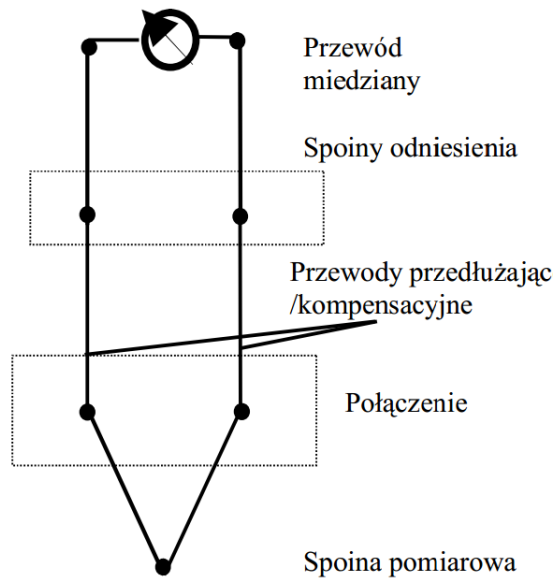
Czujniki termoelektryczne – zalety i klasy

- Zaletą czujników termoelektrycznych jest ich prosta budowa, wysoka trwałość, szybki czas odpowiedzi i możliwość stosowania w wyższych temperaturach niż czujniki rezystancyjne.
- Termopary jednak wymagają do podłączenia specjalnych przewodów kompensacyjnych, przedłużających oraz specjalnych złącz termoparowych (wtyków i gniazd), odpowiednich do zastosowanej termopary.
- Czujniki termoelektryczne wykonywane są w dwóch klasach dokładności, klasie 1 i klasie 2 (wg. PN-EN60584).
- Na życzenie wykonywane są również termopary w klasie wyżej niż klasa 1, są to termopary których maksymalny błąd pomiarowy wynosi w całym zakresie $\pm 1,1^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,4\%$) wg AMS2750E.
- Stosowane są one w urządzeniach i liniach produkcyjnych muszących spełniać wysokie wymagania jakościowe, co, do jakości produktu końcowego (NADCAP, AMS2750 i inne), szczególnie w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym.

Dopuszczalne odchyłki dla czujników termoelektrycznych wg PN-EN60584: 2014-04

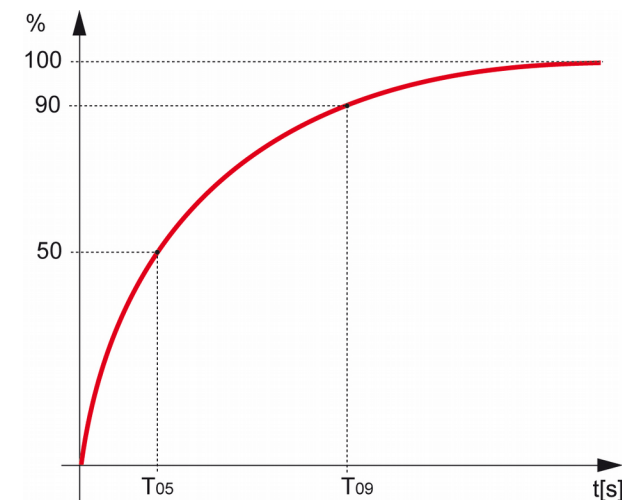
Typ termopary	Klasa dokładności 1		Klasa dokładności 2	
	Zakres [°C]	Odchyłki [°C]	Zakres [°C]	Odchyłki [°C]
Cu-CuNi (T)	-40...+125	±0,5	-40...+133	±1
	+125...+350	±0,004 t	+133...+350	±0,0075 t
NiCr-CuNi (E)	-40...+375	±1,5	-40...+333	±2,5
	+375...+800	±0,004 t	+333...+900	±0,0075 t
Fe-CuNi (J)	-40...+375	±1,5	-40...+333	±2,5
	+375...+750	±0,004 t	+333...+750	±0,0075 t
NiCr-Ni (K)	-40...+375	±1,5	-40...+333	±2,5
	+375...+1000	±0,004 t	+333...+1200	±0,0075 t
NiCrSi-NiSi (N)	-40...+375	±1,5	-40...+333	±2,5
	+375...+1000	±0,004 t	+333...+1200	±0,0075 t
PtRh13-Pt (R), PtRh10-Pt (S)	0...+1000	±1,0	0...+600	±1,5
	+1100...+1600	±(1+0,003 (t -1100))	+600...+1600	±0,0025 t
PtRh30-PtRh6 (B)	—	—	+600...+1700	±0,0025 t

Termopary – układy pomiarowe



Własności dynamiczne czujników temperatury wg PN-EN 60751: 2009

- Czas odpowiedzi jest to czas, który potrzebuje czujnik temperatury po skokowej zmianie temperatury, aby wskazać określoną część wartości skoku temperatury.
- Stała czasowa [t05]: jest to czas, po którym czujnik temperatury wskaże 50% wartości wymuszonego skoku temperatury.
- Stała czasowa [t09]: jest to czas, po którym czujnik temperatury wskaże 90% wartości wymuszonego skoku temperatury.
- Czasy odpowiedzi wyznaczane są dla następujących warunków:
- Stała czasowa czujników temperatury w powietrzu:
 - *prędkość przepływu: $V = 3 \pm 0,3 \text{ m/s}$*
 - *temperatura powietrza: $T_0 = 10 \div 30^\circ\text{C}$*
 - *skok temperatury: $\Delta T = 10 \div 20^\circ\text{C}$*
 - *min. zanurzenie = (długość + 15 średnic części czułej czujnika)*
- Stała czasowa czujników temperatury w wodzie:
 - *prędkość przepływu: $V = 0,4 \pm 0,05 \text{ m/s}$*
 - *temperatura początkowa: $T_0 = 5 \div 30^\circ\text{C}$*
 - *skok temperatury: $\Delta T = 10^\circ\text{C}$*
 - *min. zanurzenie = (długość + 5 średnic części czułej czujnika)*



Czujniki temperatury - rodzaje obudów



Głowicowe



Przewodowe



Płaszczowe



Puszkowe



Higieniczne



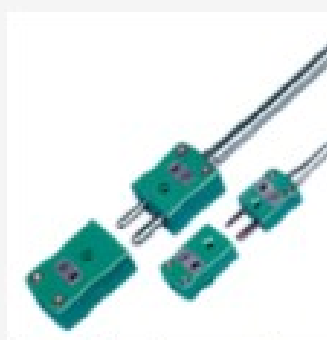
**Ze złączami GDM,
GDS**



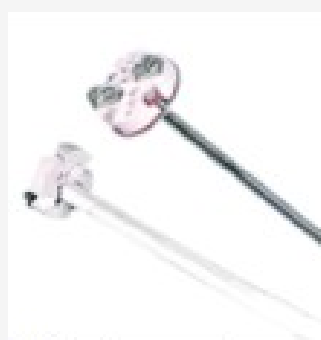
Ze złączami M12



Ze złączami CLAMP



**Ze złączami
kompensacyjnymi**



Wkłady pomiarowe

Pomiary ciśnienia

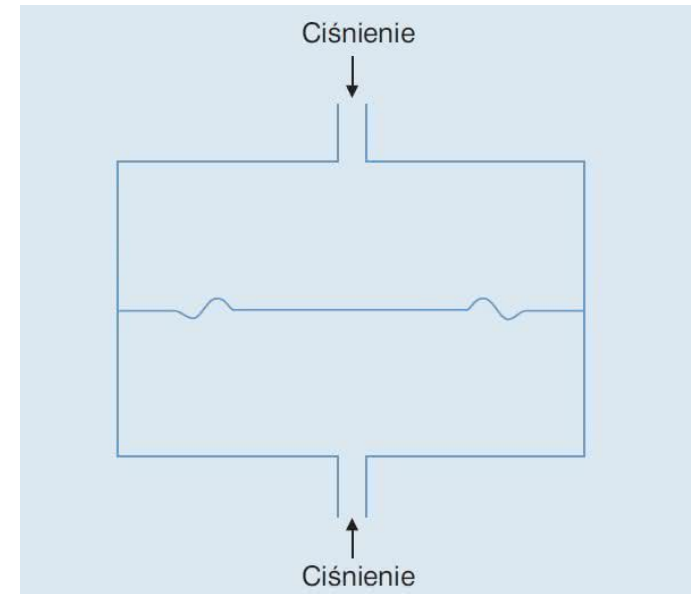
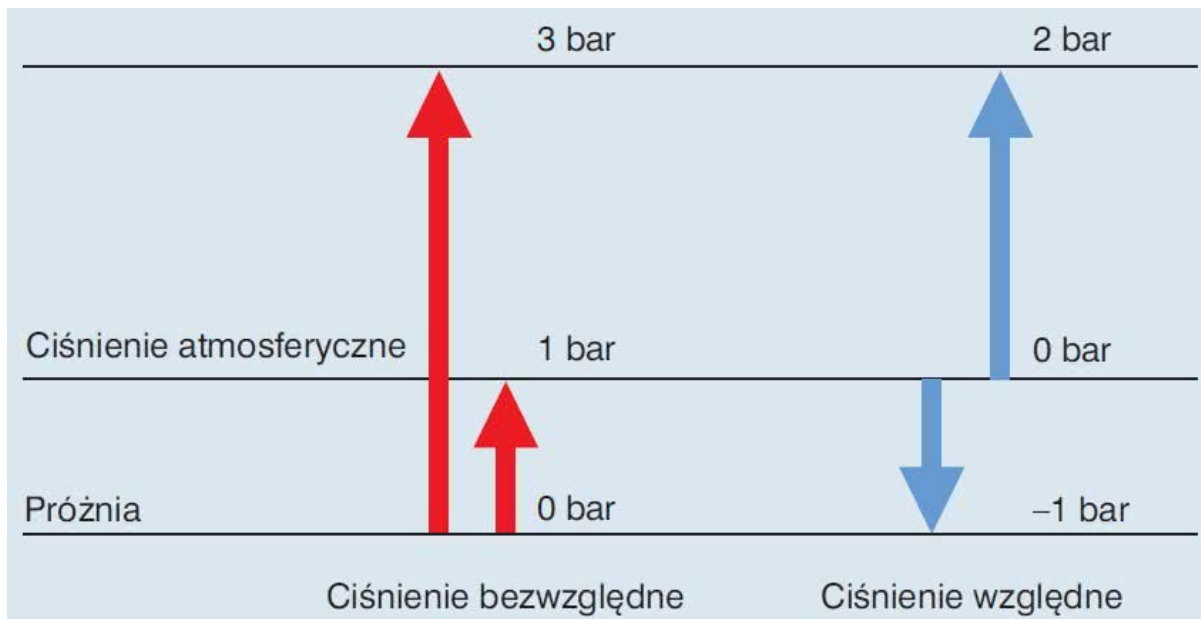
- Ciśnienie – wielkość skalarna określona jako wartość siły działającej prostopadle do powierzchni podzielona przez powierzchnię na jaką ona działa

$$p = \frac{F_n}{S}$$

p – ciśnienie (Pa), F_n – składowa siły prostopadła do powierzchni (N),
 S – powierzchnia (m²).

- Rodzaje pomiarów ciśnienia
 - *bezwzględne*
 - *względne*
 - *różnicowe*

Pomiary ciśnienia



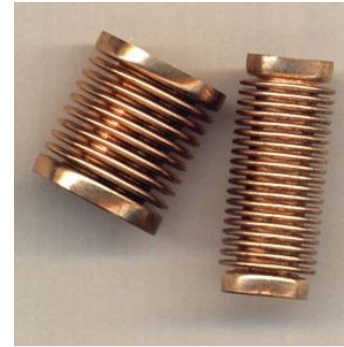
Ciśnienie różnicowe

Pomiary ciśnienia - jednostki

	paskal	bar	N/mm ²	kG/m ²	kG/cm ² atmosfera techniczna (at)	atmosfera fizyczna (atm)	tor [Tr] mmHg	psi [psi] psi
1 Pa (N/m ²) =	1	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	0,102	0,102·10 ⁻⁴	0,987·10 ⁻⁵	0,0075	145,038·10 ⁻⁶
1 bar (daN/cm ²) =	100000	1	0,1	10200	1,02	0,987	750	14,5038
1 N/mm ² =	10 ⁶	10	1	1,02·10 ⁵	10,2	9,87	7500	145,038
1 kG/m ² =	9,81	9,81·10 ⁻⁵	9,81·10 ⁻⁶	1	10 ⁻⁴	0,968·10 ⁻⁴	0,0736	14,223·10 ⁻⁴
1 atmosfera techniczna (at) = 1 kG/cm ² =	98100	0,981	0,0981	10000	1	0,968	736	14,223
1 atmosfera fizyczna (atm) = (760 tor [Tr]) =	101325	1,013	0,1013	10330	1,033	1	760	14,696
1 tor [Tr] = 1 mmHg =	133	0,00133	1,33·10 ⁻⁴	13,6	0,00132	0,00132	1	19,3367·10 ⁻³
1 psi	6894,76	68,9476·10 ⁻³	68,9476·10 ⁻⁴	702,99	70,307·10 ⁻³	68,046·10 ⁻³	51,7151	1

Rodzaje czujników ciśnienia

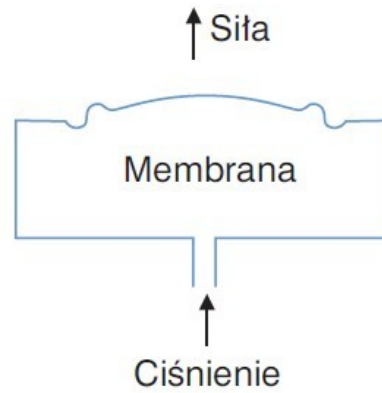
- mechaniczne
- tensometryczne
- piezorezystancyjne
- pojemnościowe
- piezoelektryczne



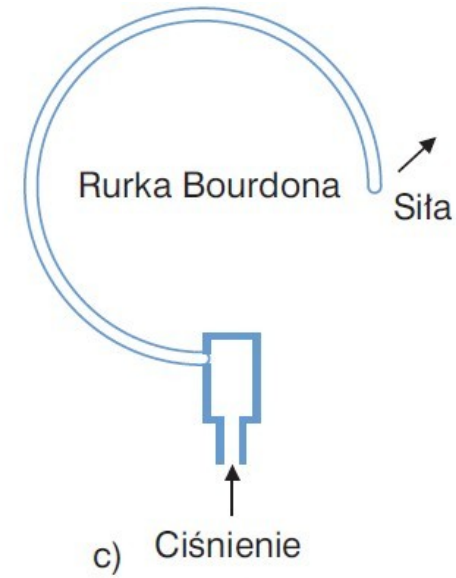
Pomiary ciśnienia – manometry mechaniczne



a)



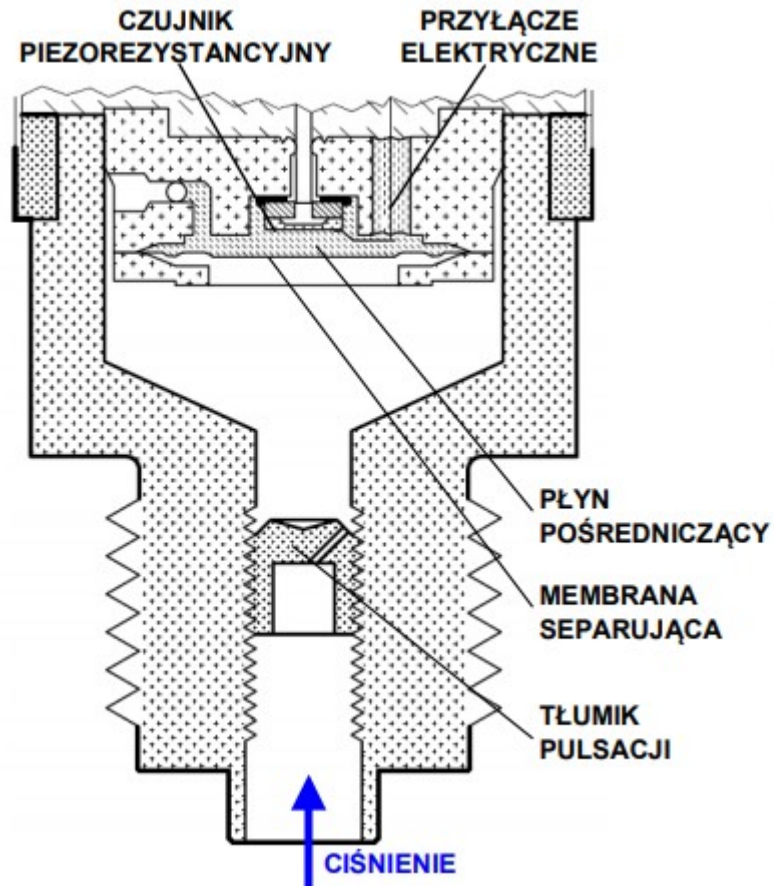
b)



c)



Przetworniki ciśnienia



Przetworniki ciśnienia Do ogólnych zastosowań przemysłowych Model A-10

Karta katalogowa WIKA PE 81.60



inne aprobaty
patrz strona 9

Zastosowanie

- Budowa maszyn
- Budownictwo okrętów
- Technologia pomiarowa i kontrolna
- Hydraulika i pneumatyka
- Pompy i kompresory

Specjalne właściwości

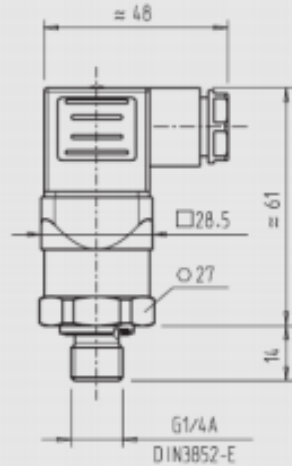
- Zakresy pomiarowe od 0 ... 0,05 do 0 ... 1,000 bar
- Nieliniowość 0.25 % lub 0.5 %
- Wyjście 4 ... 20 mA, DC 0 ... 10 V, DC 0 ... 5 V i inne
- Przyłącze elektryczne: wtyczka kątowna forma A i C, wtyczka okrągła M12 x 1, wyjście kablowe 2 m
- Przyłącze procesowe G ¼ A DIN 3852-E, ¼ NPT i inne



Przetwornik ciśnienia, model A-10

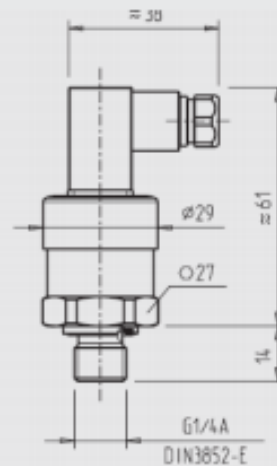
Przetwornik ciśnienia - WIKA Polska

Złącze kątowe A



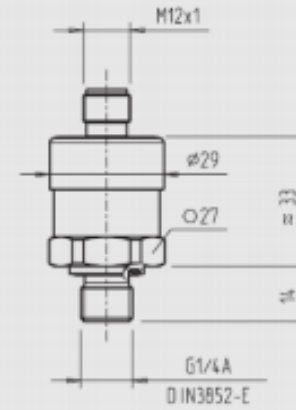
Waga ok. 80 g

Złącze kątowe C



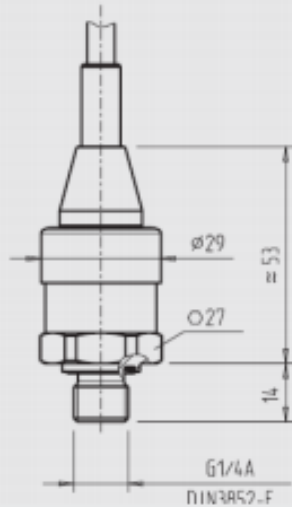
Waga ok. 80 g

Złącze okrągłe M12x1



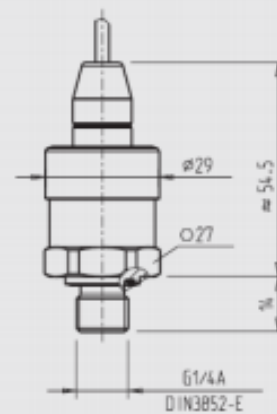
Waga ok. 80 g

Standardowe wyjście kablowe,
nieekranowane



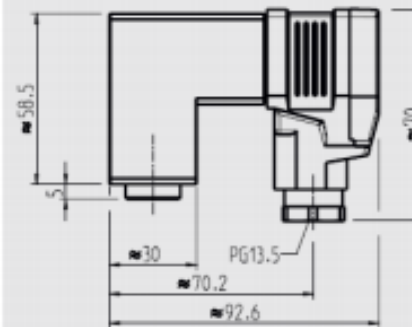
Waga ok. 80 g

Wyjście kablowe OEM, nieekranowane



Waga ok. 80 g

Złącze kątowe A, przyłącze kolnierzone



Waga ok. 350 g

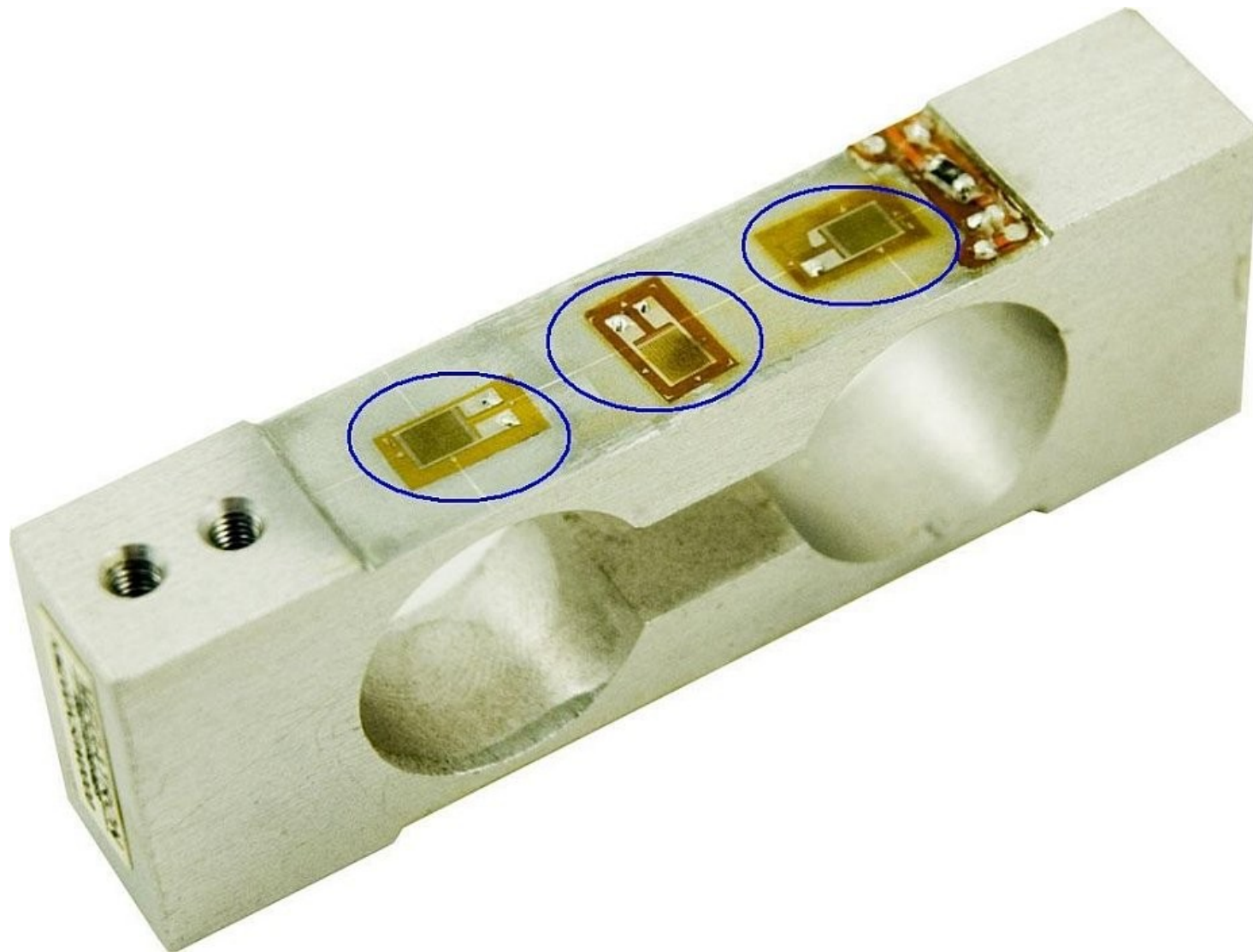
Pomiary siły - tensometry

- W pomiarach tensometrycznych wykorzystuje się zjawisko zmiany oporności elektrycznej przewodnika wynikającej z jego wydłużenia lub skrócenia.
- Zależność opisuje wzór:

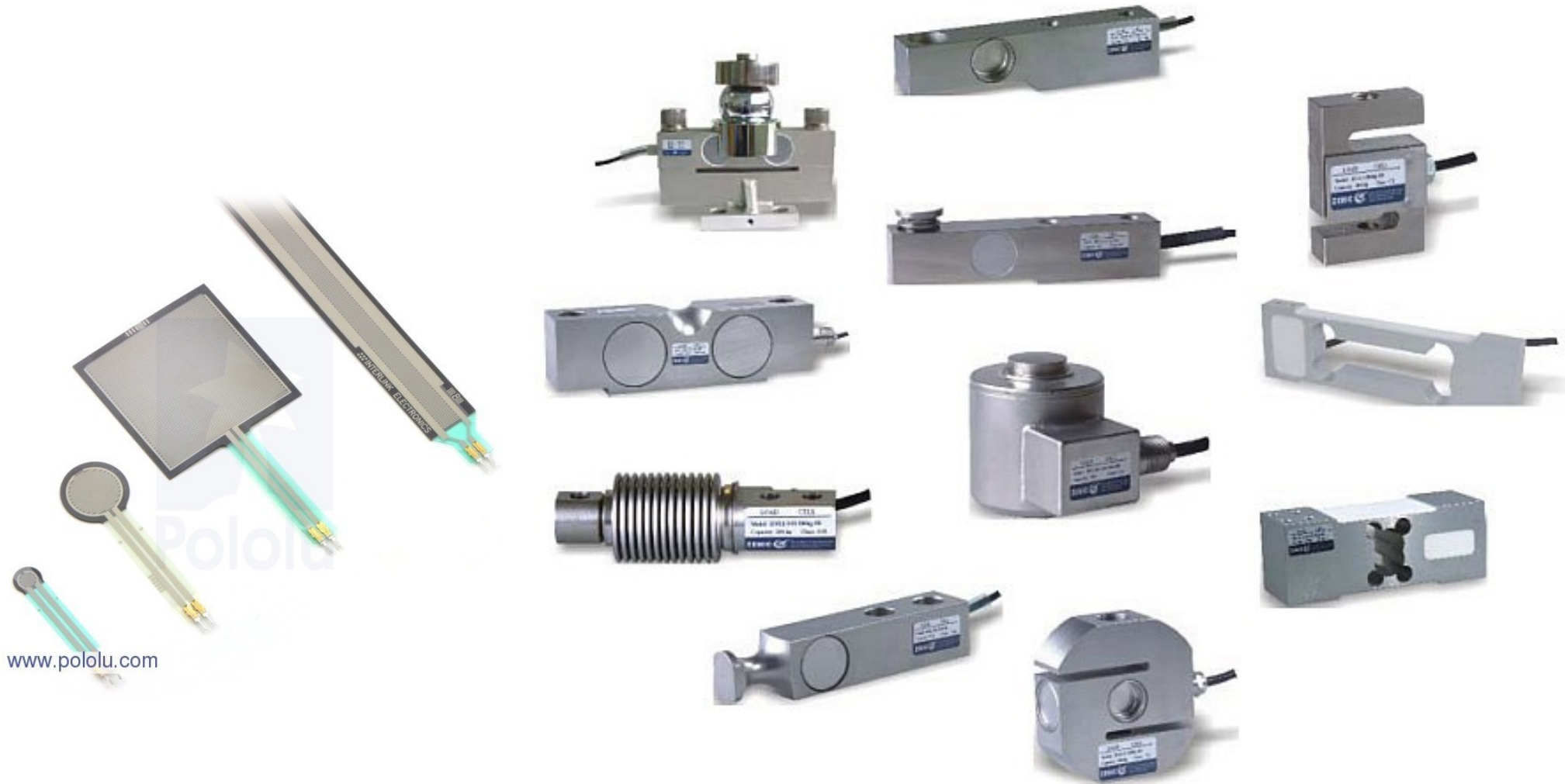
$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- gdzie: ρ – jest opornością właściwą (rezystywnością) materiału przewodnika;
 L – długość przewodnika; A – pole przekroju

Czujniki siły - tensometryczne



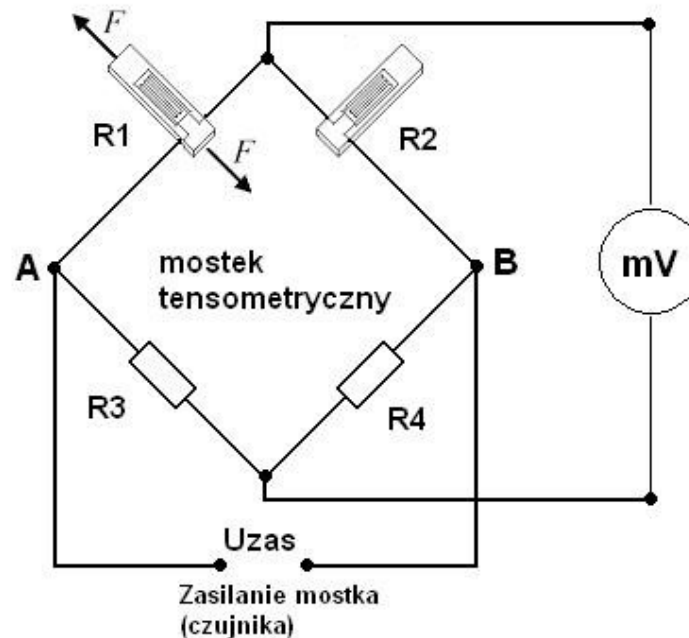
Czujniki siły - tensometryczne



www.pololu.com

Czujniki siły – układy pomiarowe

- Tensometry w technice pomiarowej pracują najczęściej w układzie tzw. mostka Wheatstone'a.



- Mostek ten zazwyczaj jest zbudowany z tensometru o oporności $R1$, tensometru kompensacyjnego o oporności $R2$ oraz dwóch oporników $R3$ i $R4$.
- Tensometr kompensacyjny kompensuje wpływy czynników ubocznych, a w szczególności temperatury i wilgotności.
- Stosuje się także inne konstrukcje, z większą liczbą tensometrów
- Zmiany ΔR są bardzo małe ($0,01-1 \Omega$), zmiany napięcia w gałęzi także są niewielkie i mieszczą się w granicach $0,1 \% U_{zas}$.
- Przykładowo, przy zasilaniu czujnika napięciem $10 V$, wyjściowe napięcie będzie zmieniało się w zakresie $0-20 mV$, w zależności od obciążenia mostka.

Czujniki momentu obrotowego



tec sis

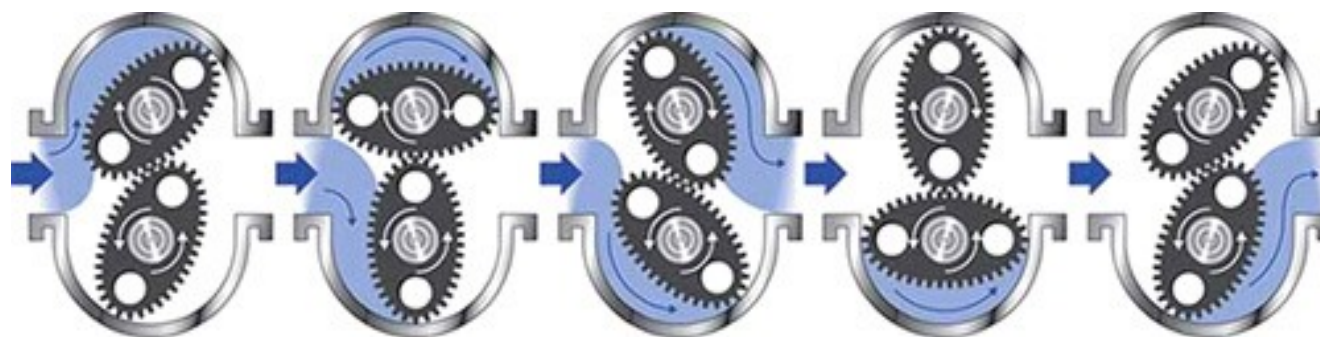


Pomiary przepływu – typy przepływomierzy

- Zębate
- Śrubowe
- Owalno-kołowe
- Wirnikowe
- Łopatkowe
- Turbinowe
- Kalorymetryczne
- Elektromagnetyczne
- Masowce
- Manometryczne

Przepływomierze owalno-kołowe

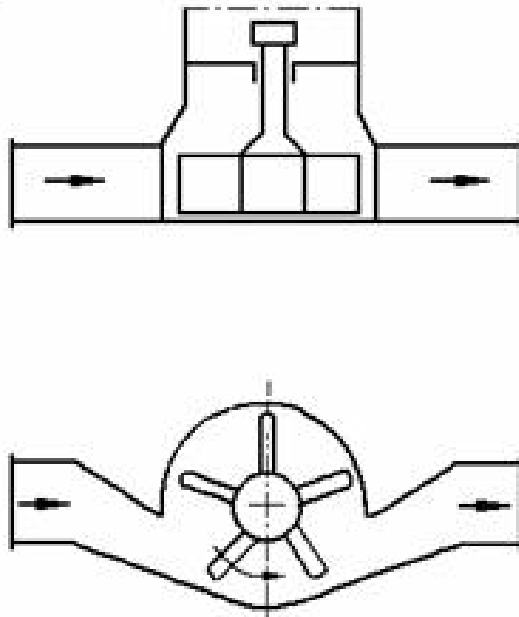
- Układ pomiarowy przepływomierzy owalno-kołowych składa się z dwóch elementów owalno-kołowych, poruszanych przez przepływające medium.
- Każdy obrót pary elementów owalno-kołowych odpowiada przemieszczeniu przez miernik dokładnie znanej objętości cieczy.
- Liczba obrotów jest proporcjonalna do prędkości przepływającego medium.



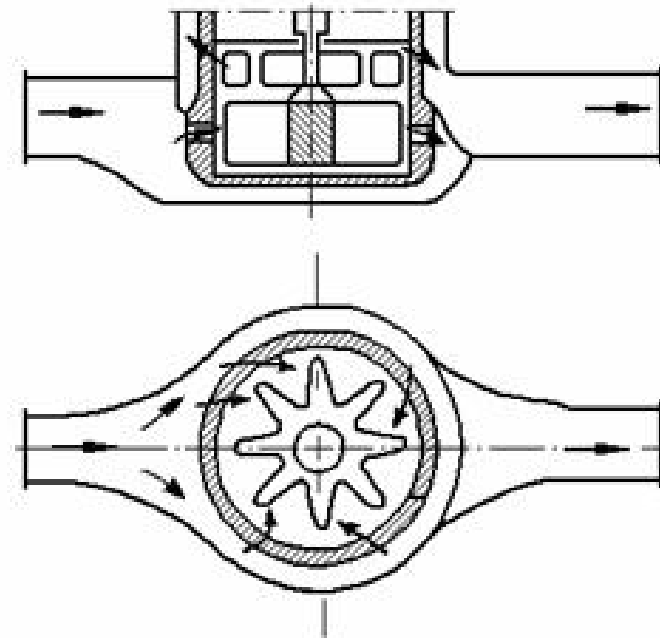
Przepływomierze wirnikowe

- Ruch cieczy ewentualnie gazu powoduje obrót wiatraczka z prędkością proporcjonalną do prędkości przepływu.
- Pracują one w połączeniu z licznikami.

a)

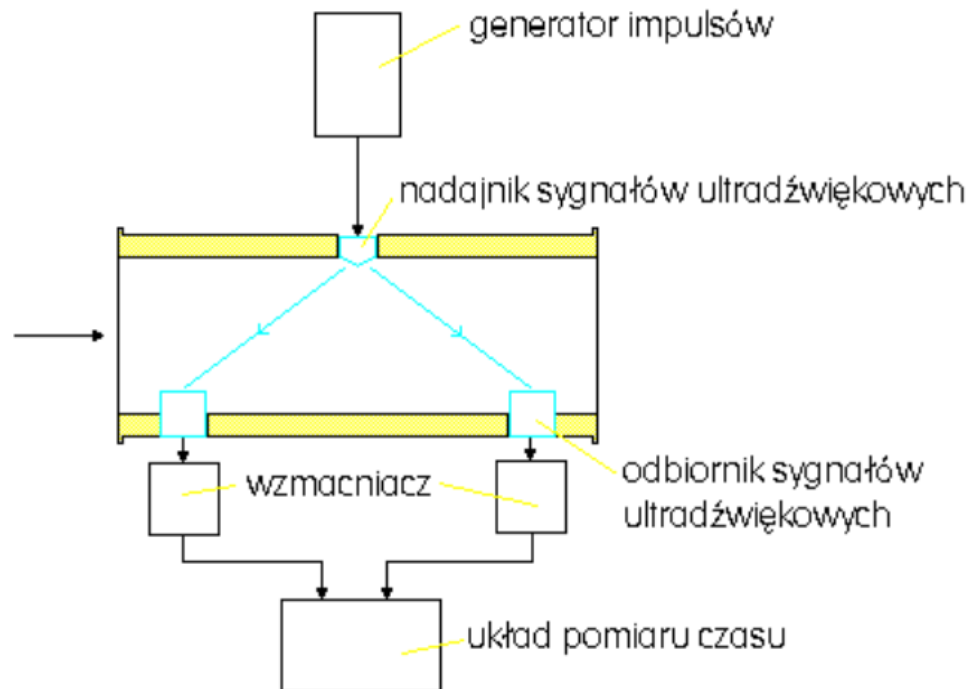


b)



Przepływomierz ultradźwiękowy

- Wykorzystuje się w nich zjawisko Dopplera.
- Drgania ultradźwiękowe odbierane są przez dwa odbiorniki umieszczone w tej samej odległości od nadajnika.
- Sygnały otrzymane z odbiorników są przesunięte w fazie.
- Wartość tego przesunięcia zależy prędkości rozchodzenia się dźwięku w danym ośrodku.
- Przepływomierze te nie wprowadzają spadków ciśnienia w rurociągu.
- Dokładność rzędu: 1%.



Przepływomierz termiczny

- W przepływomierzu termicznym, medium opływa dwa czujniki temperatury, między którymi umieszczona jest grzałka.
- Jeden z nich jest wykorzystywany jako czujnik monitorujący temperaturę medium.
- Drugi czujnik stanowi element podgrzewany przez medium ciepłem grzałki.

