

Pomiary temperatury

Temperatura to miara ciepła jakim charakteryzuje się konkretne ciało poddane pomiarowi. Wielkość ta jest miarą pozwalającą określić stopień nagrzania ciał.

Temperatura to wartość ściśle powiązana ze średnią energią kinetyczną zarówno ruchu jak i drgań wszelkich cząsteczek, które wchodzą w skład konkretnego układu.

Skale temperatur

- Używana w Polsce i wielu innych krajach Europy skala to stopnie Celsjusza oznaczane °C, przy interpretowaniu ich na stopnie Kalwina możemy posłużyć się tym wzorem:

$$T[K] = t[°C] + 273.15$$

- W USA, w dalszym ciągu używa się stopni Fahrenheita. W tej skali temperatura zamarzania wody jest równa 32 °F a wrzenia 212 °F. Wzór przeliczający stopnie Fahrenheita na stopnie Celsjusza:

$$T[°C] = (5/9) \cdot (t_F[°F] - 32)$$

Sposoby pomiaru:

- Pomiar dotykowy –czujnik (termometr) styka się z obiektem, którego temperaturę mierzymy.
- Pomiar bezdotykowy- poprzez pomiar parametrów promieniowania elektromagnetyczne-go emitowanego przez rozgrzane ciało, lub emitowanej energii przez obiekt.

- Termorezystory
- Termistory
- Termometry półprzewodnikowe
- Termopary
- Mierniki promieniowania

Termorezystor metalowy (RTD – Resistance Temperature Detector) wykonuje się z materiałów, których opór właściwy rośnie liniowo w funkcji temperatury (w ograniczonym zakresie temperatur) stanowi uzwojenie wykonane z metalu (niklu, platyny, miedzi) nawinięte na kształtkę z materiału izolacyjnego. Działanie jego polega na zmianie rezystancji przewodnika pod wpływem zmiany temperatury. Powstałe w ten sposób zmiany rezystancji są mierzone i stanowią miarę temperatury.

Opór metalu zależy od jego przekroju, długości i oporu właściwego:

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

$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha (t - t_0)]$$

gdzie α (1/°C) – współczynnik temperaturowy



Materiał na RTD powinien mieć właściwości:

- być plastyczny, (cienkie druty)
 - mieć stabilną i powtarzalną charakterystykę
- Temperatura – opór
- być odporny na korozję
 - powinien być niedrogi

Stosowane są: złoto, srebro, miedź, wolfram, nikiel, najczęściej platyna
(Pt) – metal szlachetny, o wysokim oporze właściwym,

Pt - Najlepsza dokładność i stabilność, liniowa charakterystyka, najszerszy zakres temperatur (-200°C to 850°C), duża oporność: dostępne w wersjach 100W 200W 500W 1000W przy 0°C (Pt100-Pt1000); niewielka ilość potrzebna na czujnik. Stosowany Stosowany najczęściej w laboratoriach i przemyśle.

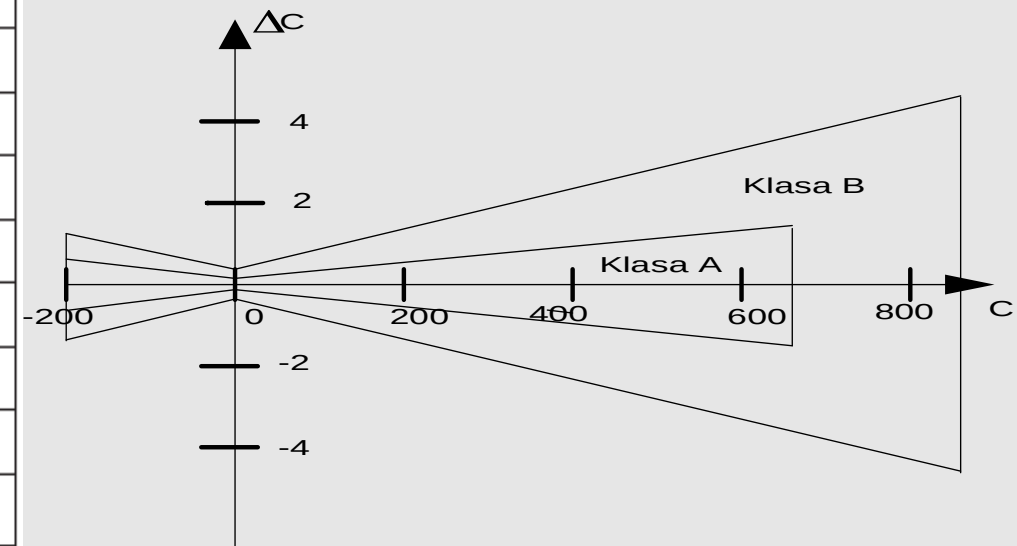
Ni – Najwyższy współczynnik temperaturowy (najwyższy sygnał), gorsza stabilność niż Pt. Zakres: -40°C to 300°C . Po przekroczeniu punktu Curie (352°C) nieprzewidywalna histereza. Spiralny przetwornik. Tani – stosowany klimatyzacja, sprzęt AGD

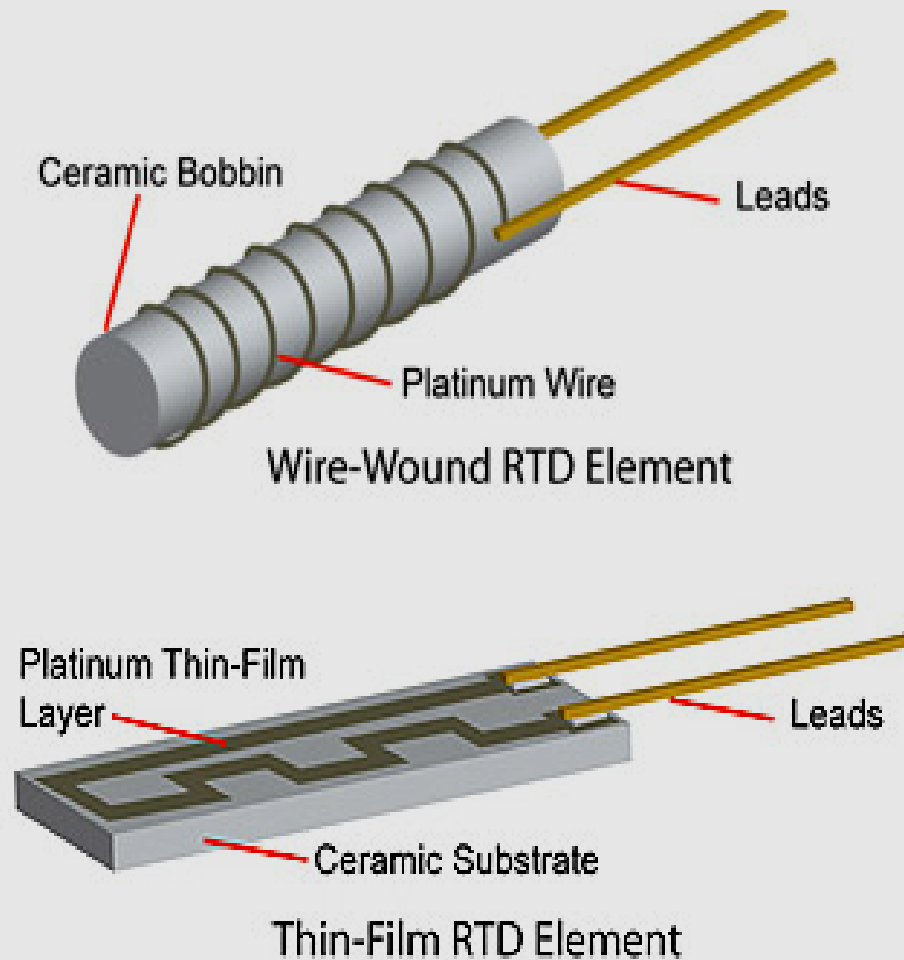
Cu - Najbardziej liniowa charakterystyka, lecz mały zakres temperatur (-73°C to 149°C). Bardzo niska oporność – potrzebny długi drut do stworzenia przetwornika (spirala lub trawiona folia). Przetworniki miedziane - rzadko. Stosowane, gdy uzwojenie i tak istnieje np. w silnikach i generatorach

Ni-Fe (30-70%) Wysoki współczynnik temperaturowy, zmienny od wytopu do wytopu (stop!). Zakres temperatur: -46°C to 343°C . Przetwornik: spirala lub trawiona folia. Jeszcze tańsze niż Ni

Niepewność czujnika związana z jego klasą wg IEC 751 PN-EN-60751

Interchangeability in °C				
Temp °C	Class B	Class A	⅓ DIN	⅒ Din
-200	1.30	—	—	—
-100	0.80	—	—	—
-50	0.55	0.25	0.18	—
0	0.30	0.15	0.10	0.03
100	0.80	0.35	0.27	0.08
200	1.30	0.55	0.43	—
250	1.55	0.65	0.52	—
300	1.80	0.75	—	—
350	2.05	0.85	—	—
400	2.30	0.95	—	—
450	2.55	1.05	—	—
500	2.80	—	—	—
600	3.30	—	—	—

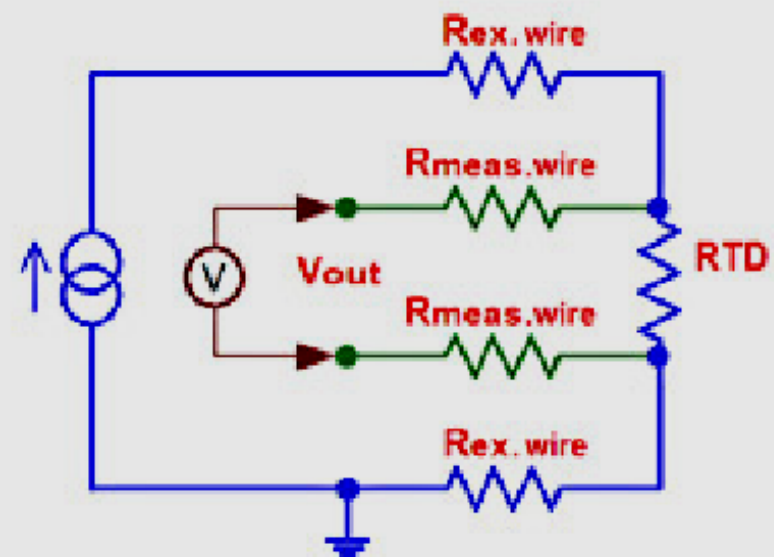
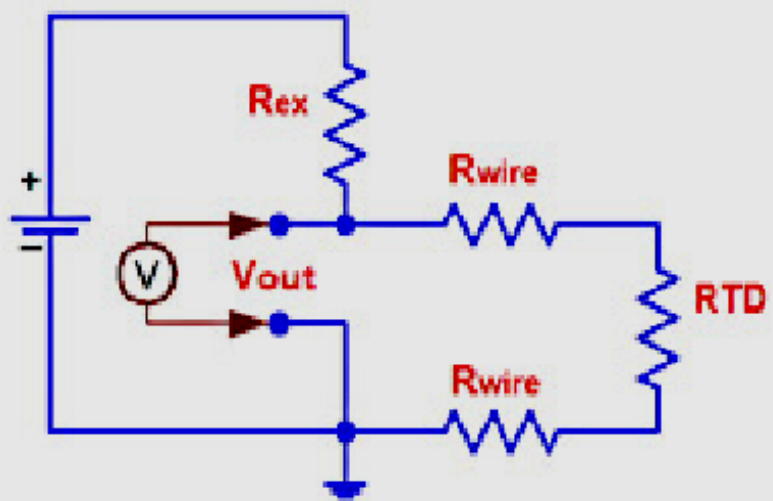
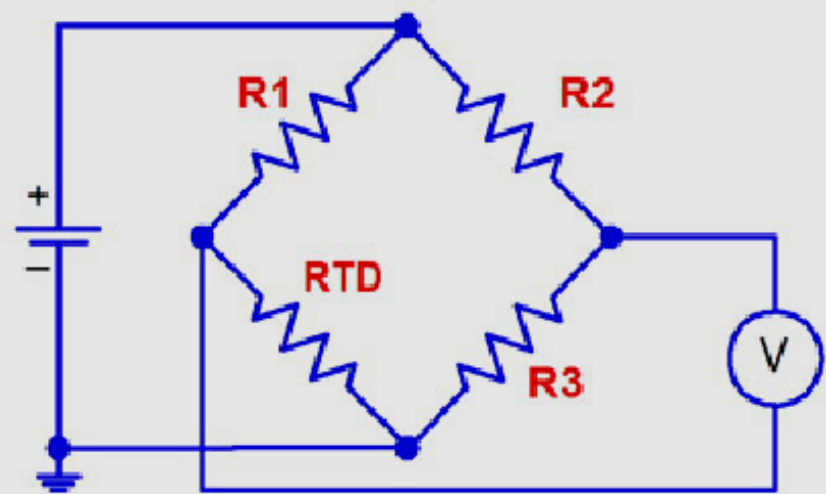
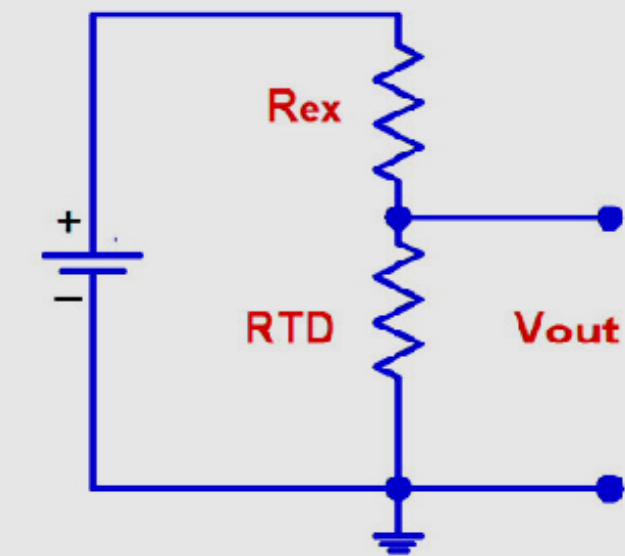




- Przetworniki RDT nie mogą być używane „luzem” – są zbyt delikatne.
- Są zwykle zabudowane w osłonie – najczęściej jest to rurka o średnicy 3-15 mm, i długości 250- 1000 mm wypełniona smarem przewodzącym ciepło i tłumiącym drgania

Stosując termorezystory (RTD) należy zwrócić uwagę na:

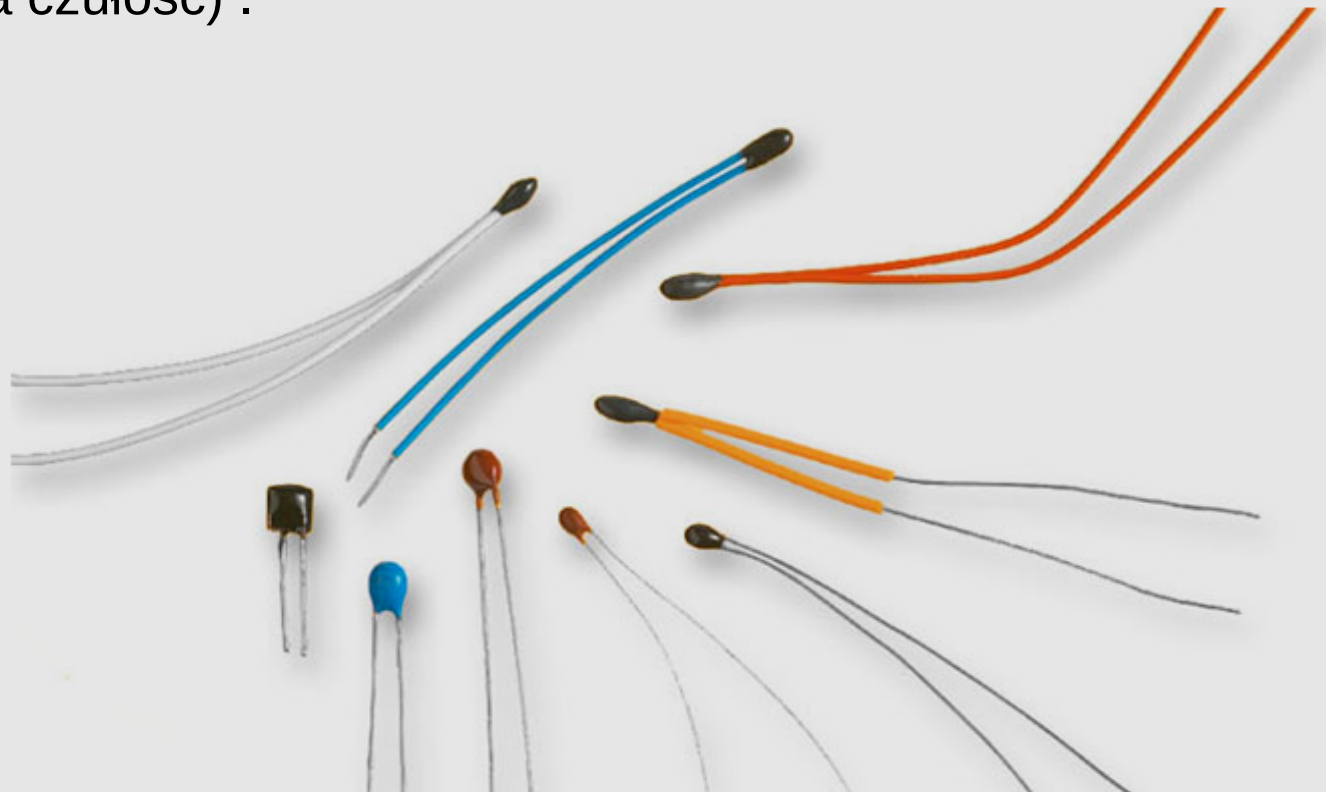
- konfigurację połączeń,
- samo-nagrzewanie – sam przepływ prądu powoduje poniesienie temp. czujnika,
- dokładność,
- stabilność,
- powtarzalność,
- czas odpowiedzi,



- Do pomiaru zmiany oporu potrzebny jest prąd (jak np. w tensometrach).
- Prąd wytwarza ciepło w ilości $= I^2 \cdot R$
- Zwykle prąd zasilający = 1mA
- Temperatura wskazywana przez czujnik jest wyższa niż rzeczywista, zwykle $0.1^{\circ}\text{C} \div 1.5^{\circ}\text{C}$
- Samo-nagrzewanie zależy od środowiska, sposobu montażu czujnika, (odprowadzania ciepła itp.).

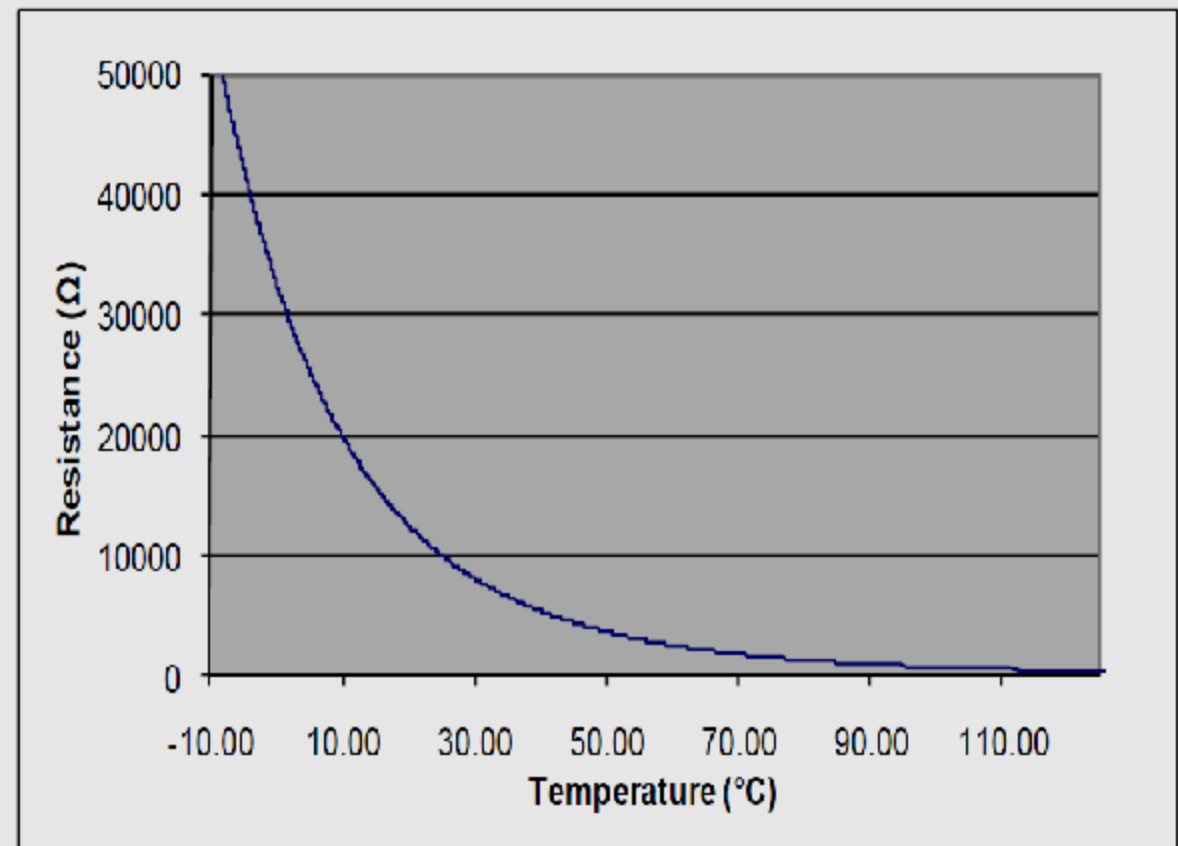
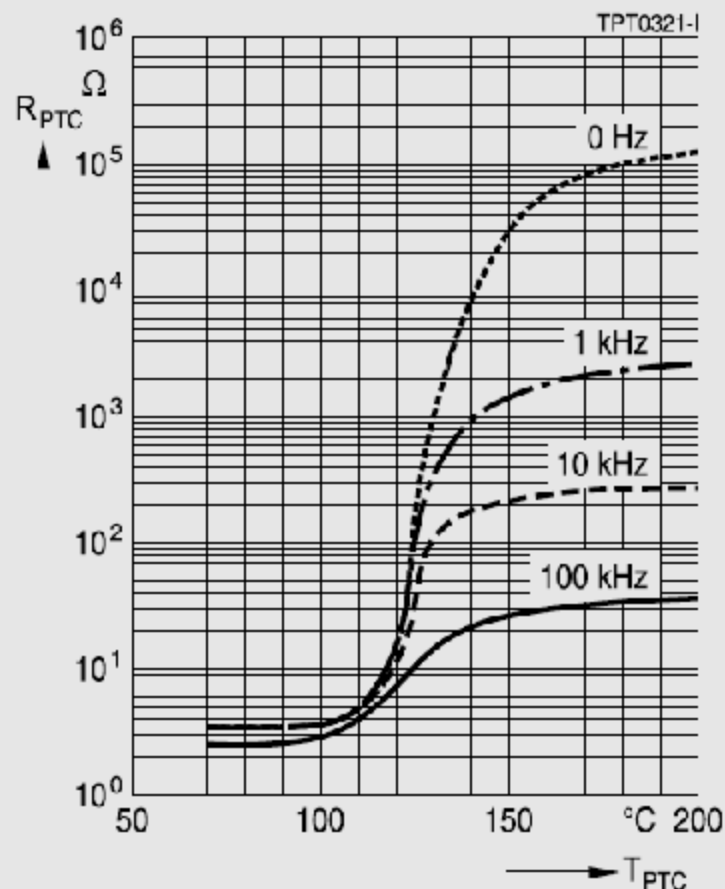
- Termistor (Thermally sensitive resistor):
- półprzewodnik wykonany ze sprasowanych, spieczonych tlenków metali, w postaci małego koralika, dysku lub w innym kształcie, pokryty tworzywem lub szkłem.

Podobnie jak w termorezystorach, ich opór zależy od temperatury (ale większe zmiany rezystancji, większa czułość) .



Są dwa rodzaje termistorów:

- o ujemnym współczynniku temperaturowym (NTC – negative temperature coefficient), których opór maleje z temperaturą silnie nieliniowo,
- o dodatnim współczynniku temperaturowym (PTC – positive temperature coefficient), których opór rośnie proporcjonalnie do temperatury



Przykład :

- Termistor, rezystancja w zakresie $2252\Omega \div 10000\Omega$ przy $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Termistor 5000Ω ma współczynnik temperaturowy ok. $200\Omega/^{\circ}\text{C}$ czyli bardzo wysoki, (dla termorezystora np. Pt 100 to tylko $0.4\text{ }\Omega/^{\circ}\text{C}$!)
- Mogą pracować do ok. 300°C ,mniejszy zakres niż termorezystorów.
- Delikatne, często montowane w stalowych obudowach ochronnych, wypełnionych smarem co pogarsza ich czułość.

Zalety:

- Niski koszt (bez obudowy)
- Wysoki opór, opór przewodów ma pomijalny wpływ,
- wysoka dokładność i stabilność (0.1 °C lub lepsza),
- wysoka czułość,
- niewielkie wymiary,
- niska masa termiczna,
- pomiary punktowe,
- krótki czas odpowiedzi.

Wady:

- Nieliniowość (zwłaszcza NTC).
- Słaba zamienność (powtarzalność) między producentami, (ostatnio lepsza).
- Niewielkie natężenie prądu zasilającego, (wysoki opór = silne samonagrzewanie)
- Niewielki zakres pomiarowy ze względu na temperaturę topnienia lutu (współcześnie pojawiają się luty wysokotemperaturowe)

Termometry półprzewodnikowe

- Wytwarzane jak inne obwody scalone (mikroprocesory).
- Dostępne u różnych dostawców – zupełna dowolność, brak unifikacji.
- Liniowe wyjście (linearyzacja wewnątrz), małe wymiary, ograniczony zakres temperatur ($-40 \div 150^{\circ}\text{C}$ – krzem).
- Dostępne z wyjściem napięciowym, prądowym lub cyfrowym.
- Tanie, ale delikatne. Najchętniej stosowane do pomiaru temperatury urządzeń elektronicznych, wewnątrz nich.

Termopary należą do najpopularniejszych przyrządów do pomiaru temperatury. Jest to spowodowane bardzo szerokim zakresem pomiarowym, możliwością wykonywania pomiarów punktowych, dużą ilością różnych wykonania specjalnych.



RODZAJE TERMOPAR

Do budowy termopar wykorzystuje się kilka rodzajów stopów metali.

Każdy stop oferuje charakterystyki przeznaczone do specyficznych zastosowań.

Typ termoelementu	Klasa 1		Klasa 2	
	Zakres stosowania °C	Tolerancja °C	Zakres stosowania °C	Tolerancja °C
T Cu-CuNi	od -40 do +125 od +125 do +350	$\pm 0,5$ od -40 $\pm 0,004/t/$	do +133 ± 1 od +133 do +350	od -67 $\pm 0,0075/t/$
E NiCr-CuNi	od -40 do +375 od +375 do +800	$\pm 1,5$ od -40 $\pm 0,004/t/$	do +333 $\pm 2,5$ od +333 do +900	od -167 $\pm 0,0075/t/$
J Fe-CuNi	od -40 do +375 od +375 do +750	$\pm 1,5$ od -40 $\pm 0,004/t/$	do +333 $\pm 2,5$ od +333 do +750	$\pm 0,0075/t/$
K NiCr-Ni	od -40 do +375 od +375 do +1000	$\pm 1,5$ od -40 $\pm 0,004/t/$	do +333 $\pm 2,5$ od +333 do +1200	od -167 $\pm 0,0075/t/$
N NiCrSi-NiSi	od -40 do +375 od +375 do +1000	$\pm 1,5$ od -40 $\pm 0,004/t/$	do +333 $\pm 2,5$ od +333 do +1200	$\pm 0,0075/t/$
R PtRh13-Pt	od 0 do +1000 od +1100	± 1 od 0 $\pm (1+0,003$	do +600 $\pm 1,5$ od +600 do +1600	$\pm 0,0025/t/$
S PtRh10-Pt	do +1600	$)/t/-1100))$		
B PtRh30-PtRh6		od +600	do +1700 od +800 do +1700	$\pm 0,0025 /t/$ $\pm 0,005/t/$

Zalety:

Duży zakres mierzonych temperatur (w zależności od typu termopary) -200C – 1600C.

Mała bezwładność termiczna (mała masa czujnika).

Duża dokładność pomiaru (szczególnie wysokich temperatur, często lepsza niż 1C).

Wady:

Konieczność kompensacji temperaturowej tzw. „zimnych końców”.

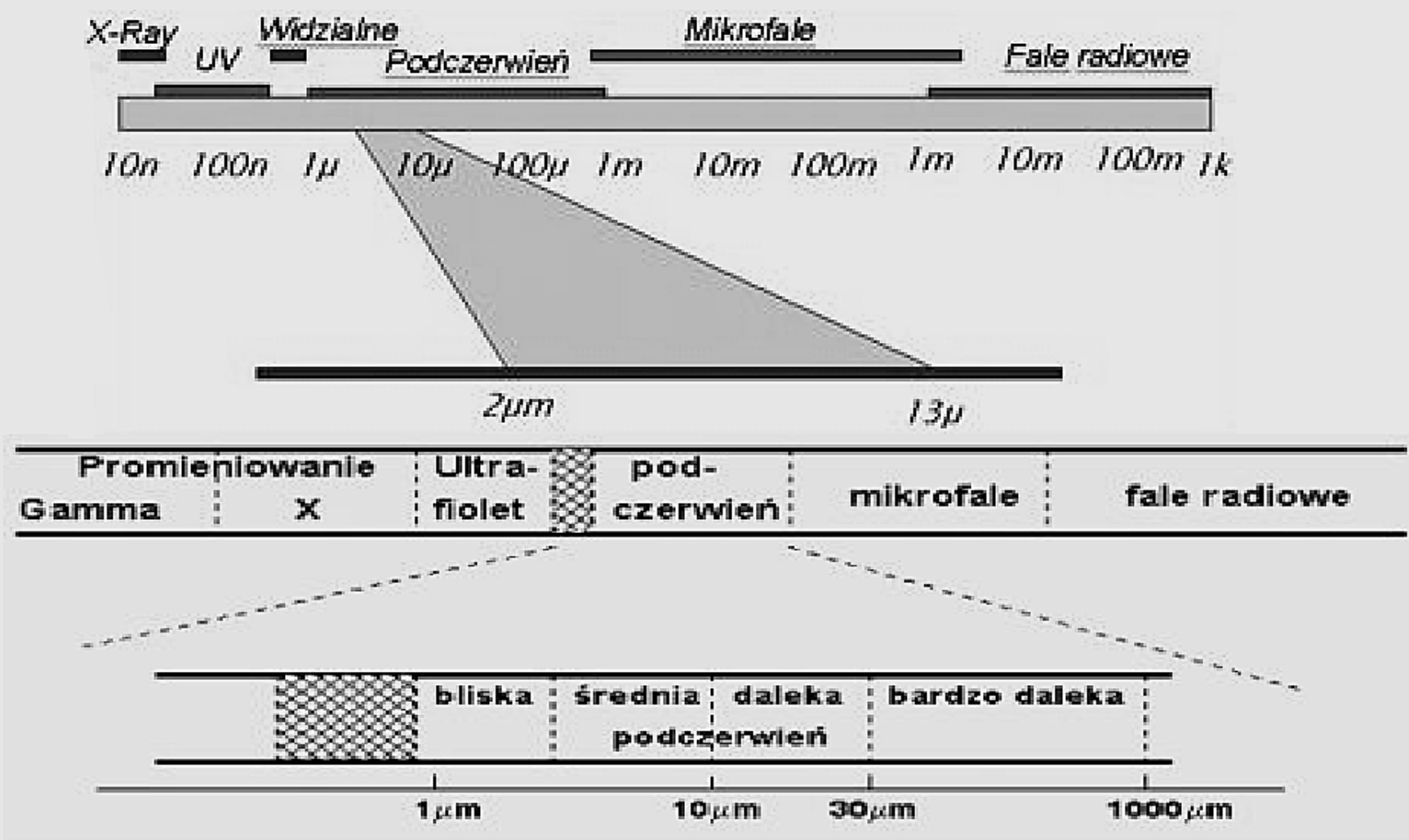
Nieliniowość w zakresie niskich temperatur.

W wysokich temp. zachodzi degradacja złącza termopary – konieczność okresowego sprawdzania, wymiany.

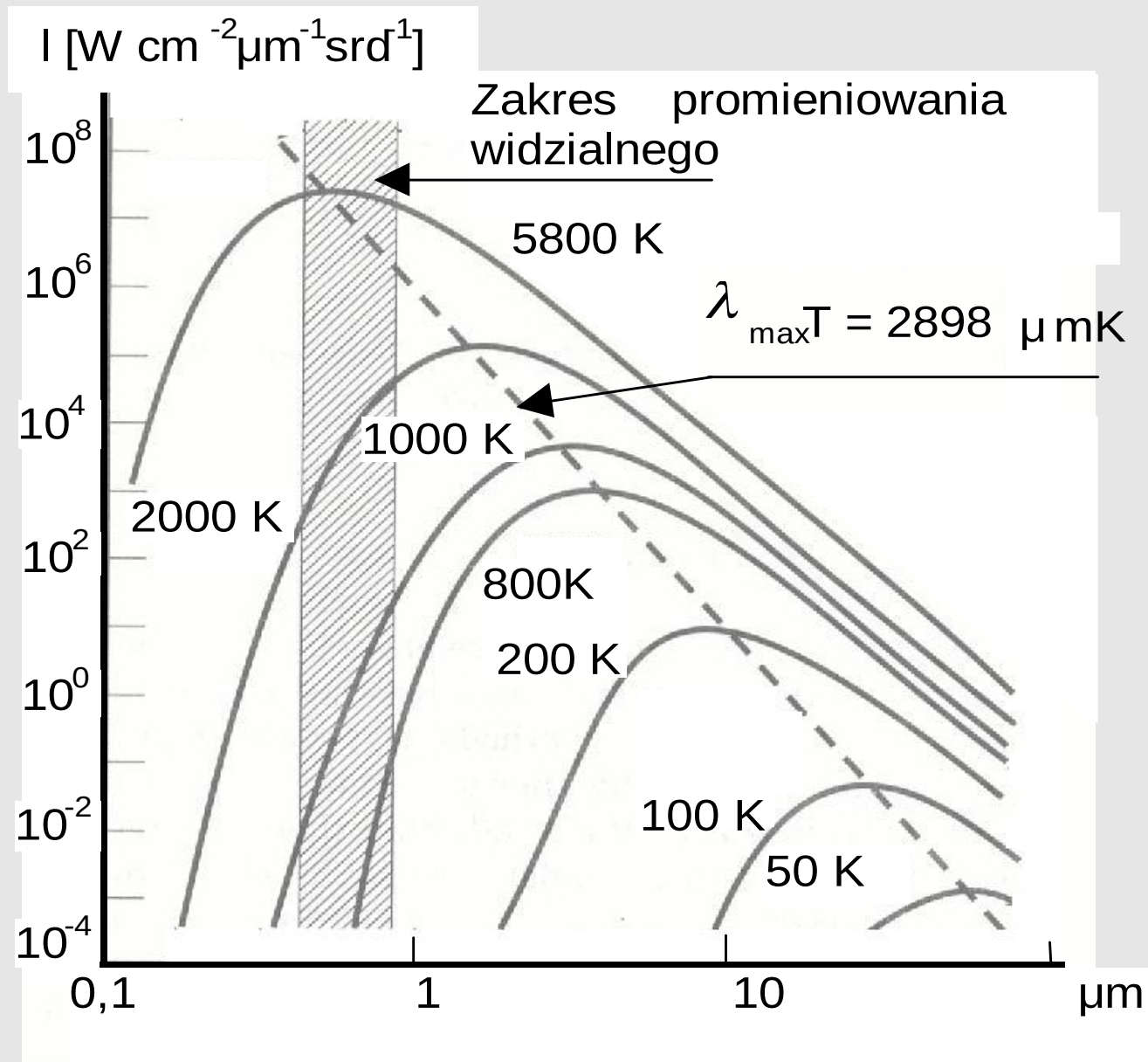
TERMOWIZJA

Pomiar temperatury na podstawie pomiaru natężenia promieniowania podczerwonego – emitowanego przez nadzorowane obiekty.

Widmo elektromagnetyczne



Podział widma elektromagnetycznego ze względu na długość fali

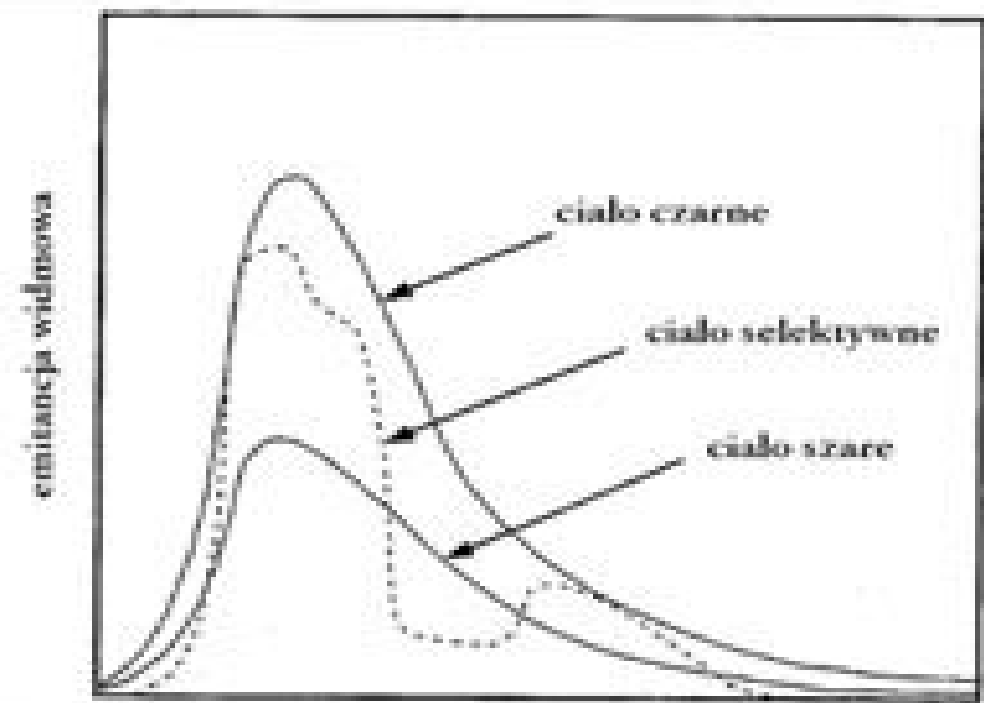
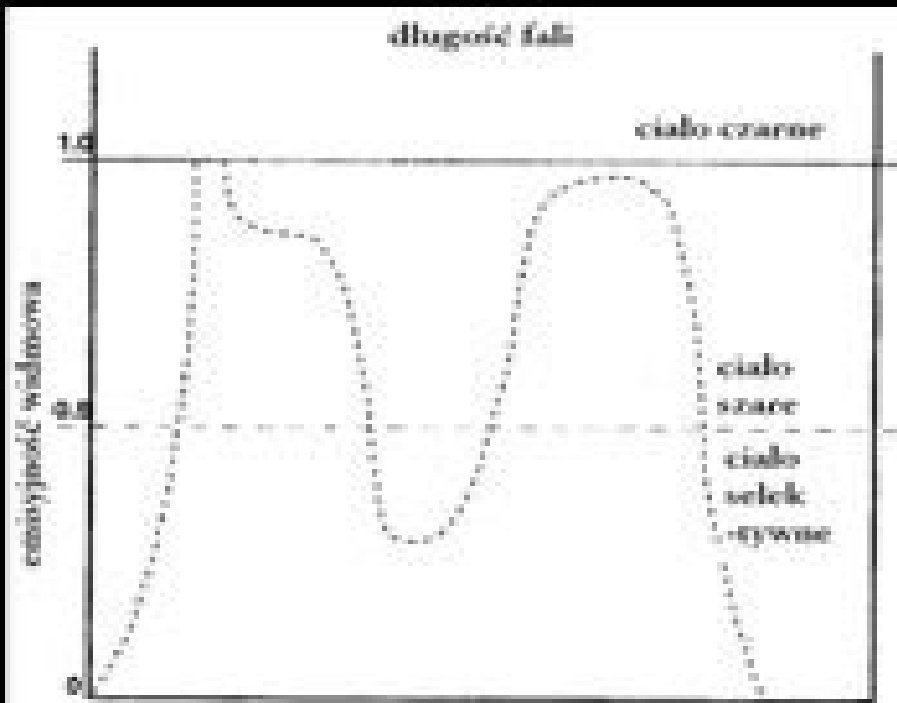


Rozkład widmowy natężenia promieniowania ciała czarnego dla różnych temperatur

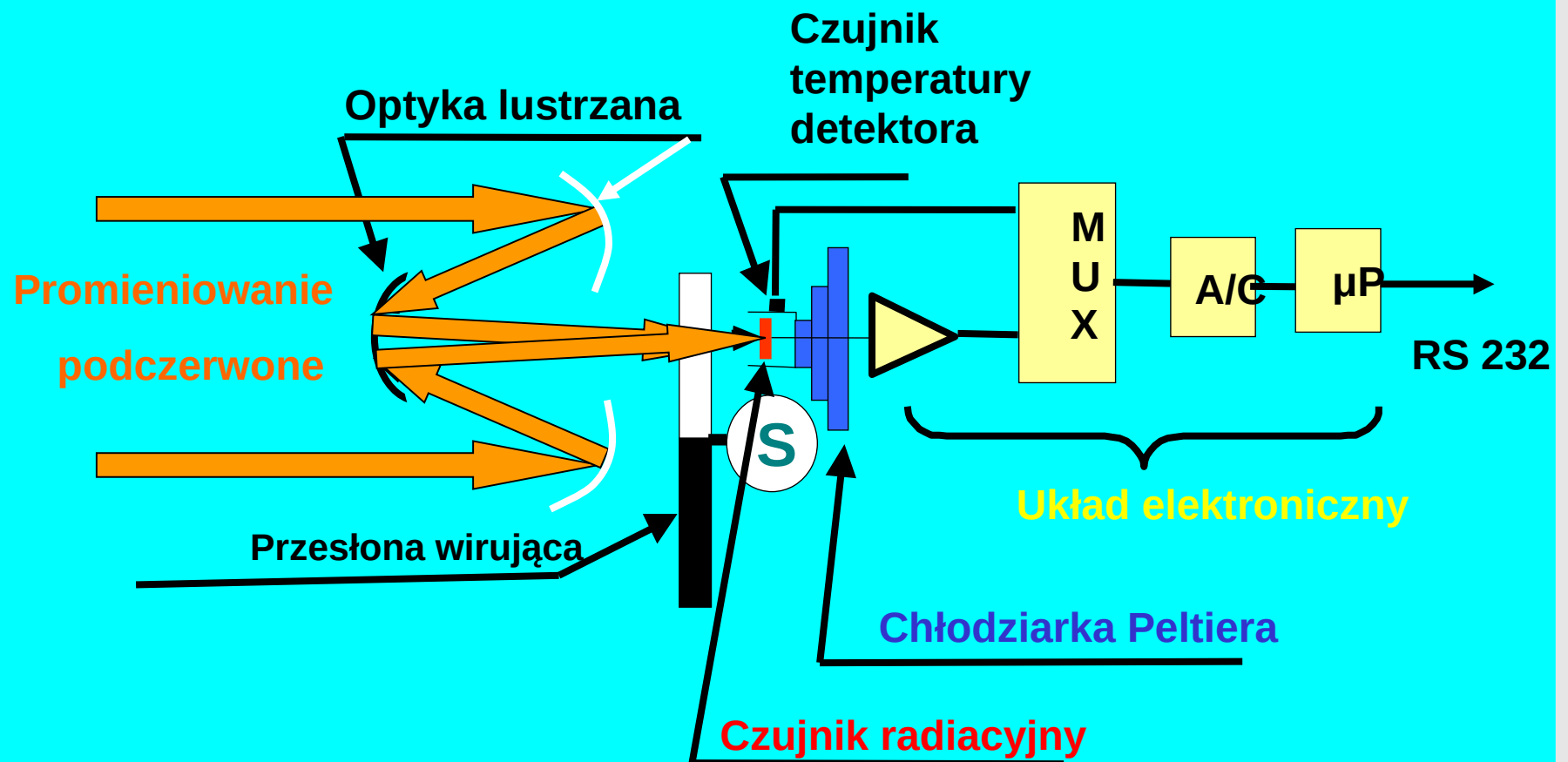
Ciało nieczarne (szare)

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ [W]}$$

ε = współczynnik emisyjności ciała szarego



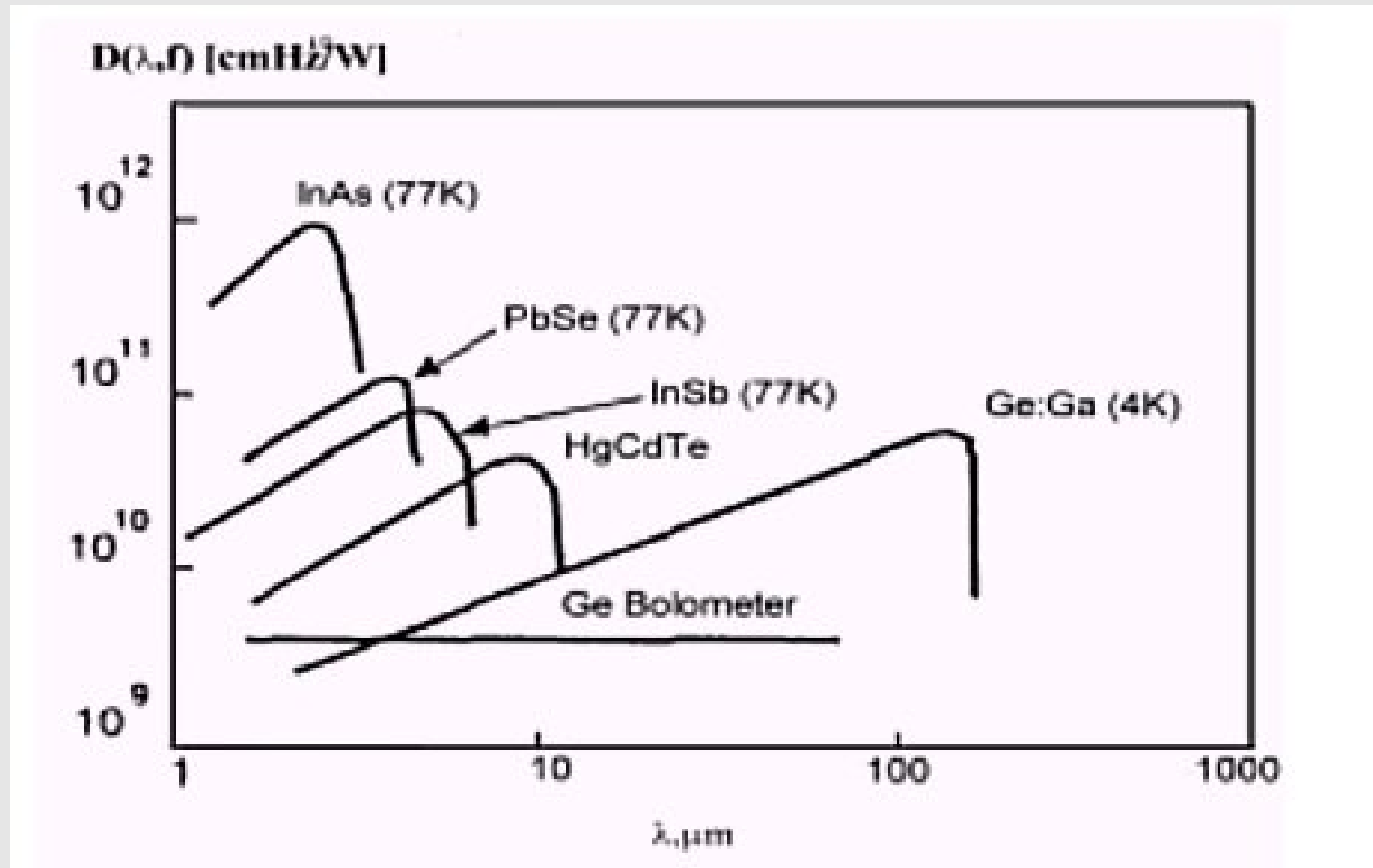
Podstawowe elementy składowe termometru radiacyjnego



Detektory promieniowania

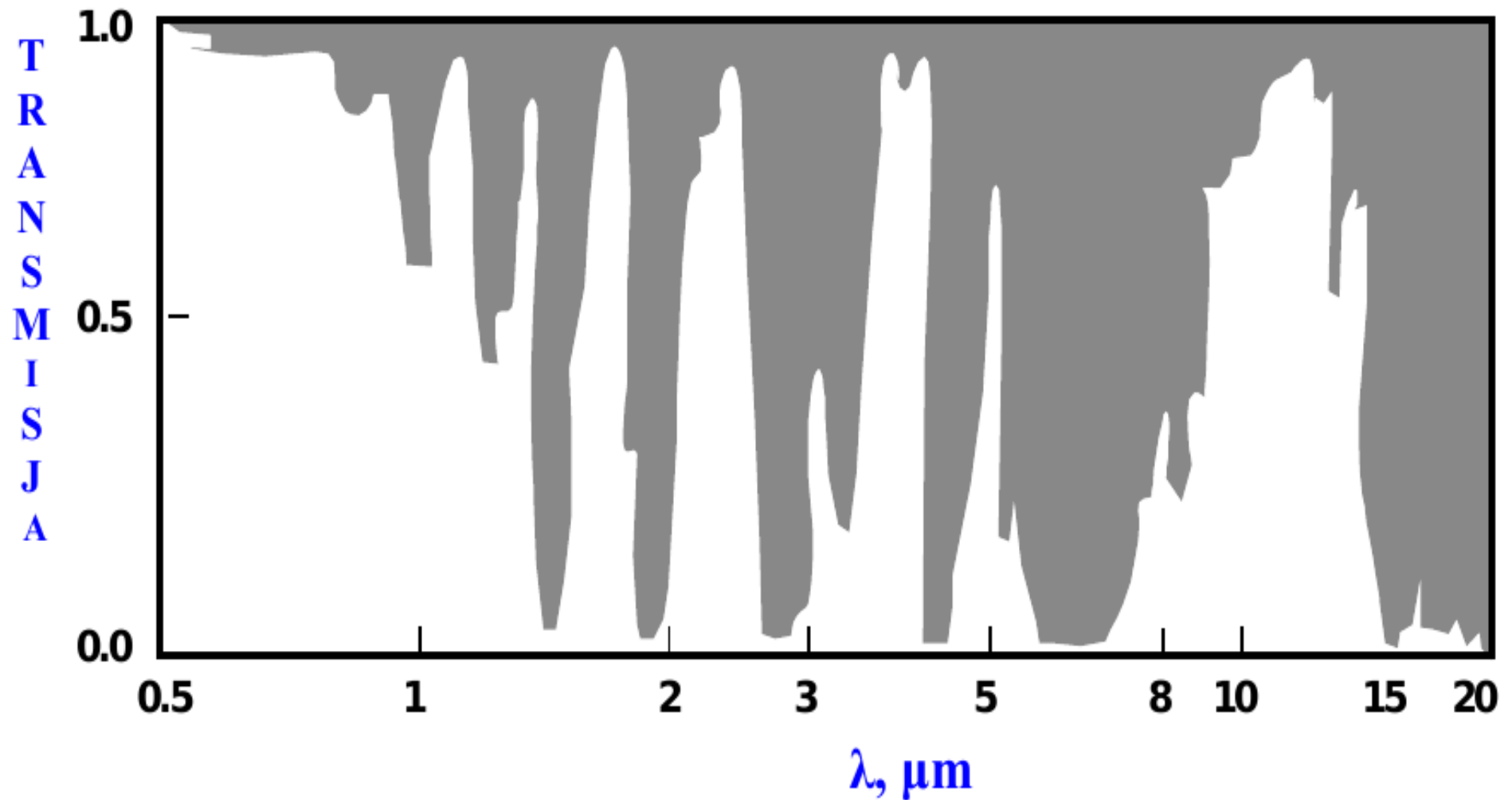
- **pojedyncze** (termometry)
- **matryce detektorów** (kamery)
 - bolometryczne
 - termoelektryczne
 - piroelektryczne
 - kwantowe

Czułość detektorów fotonowych



*Porównanie czułości detektorów
promieniowania*

Przepuszczalność atmosfery



Przepuszczalność promieniowania podczerwonego warstwy atmosfery ziemskiej w funkcji długości fali

Termometry radiacyjne

Niestety powietrze tłumi promieniowanie podczerwone (zawartość CO₂) dlatego w zależności od mierzonego zakresu temperatur stosujemy różne czujniki:

- krótkofalowe (3-5 μm) pracujące w pierwszym oknie atmosferycznym ,
- długofalowe (8-14 μm) pracujące w drugim oknie atmosferycznym.

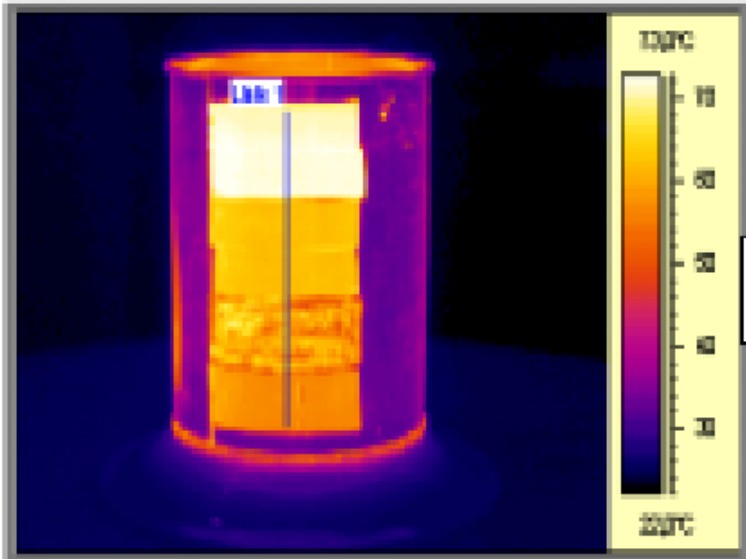
Dla dokładnych pomiarów czujniki należy chłodzić (sam czujnik też promieniuje).

- chłodzone sprężonym argonem
- chłodzone ciekłym azotem
- chłodzone systemem Stirlinga (hel)
- nie chłodzone

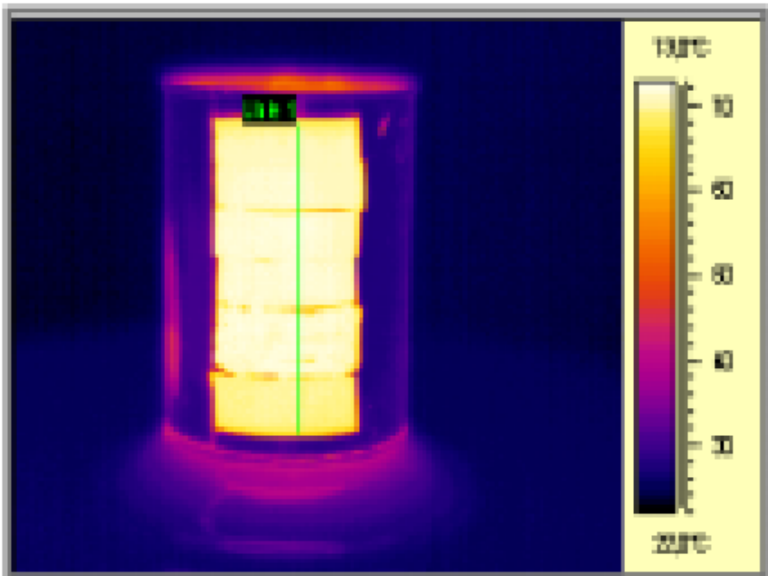
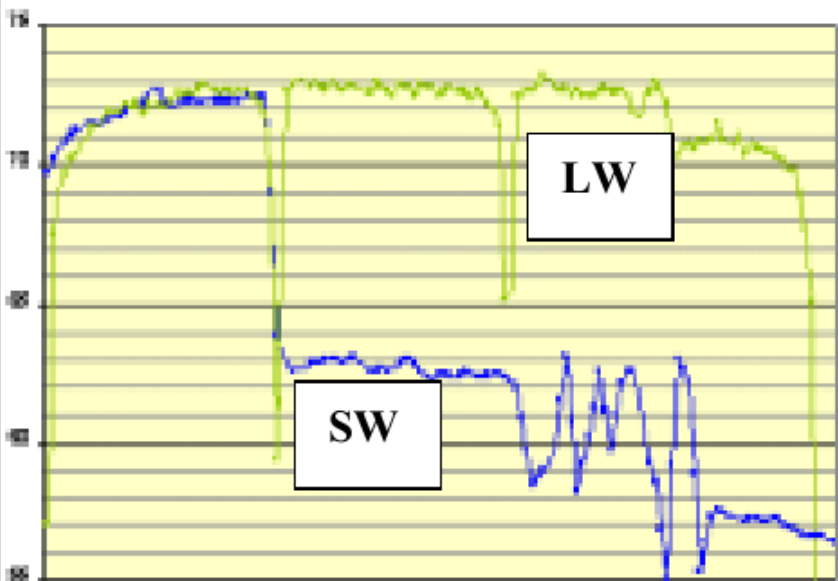
Niepewność metody

- niepewność oszacowania współczynnika emisyjności obiektu,
- niepewność spowodowana wpływem odbitego przez obiekt promieniowania otoczenia oraz wpływem promieniowania samego otoczenia,
- niepewność spowodowana ograniczoną transmisją atmosfery oraz jej promieniowaniem (emisją).
- szумы detektora,
- niestabilność układu chłodzenia (dla detektorów nie chłodzonych),
- wahania wzmocnienia przedwzmacniacza i innych układów elektronicznych kamery,
- ograniczone pasmo przenoszenia detektora i innych układów elektronicznych kamery,
- ograniczona rozdzielczość i nieliniowość przetworników analogowo – cyfrowych.

Która kamera jest lepsza, krótkofalowa czy długofalowa?

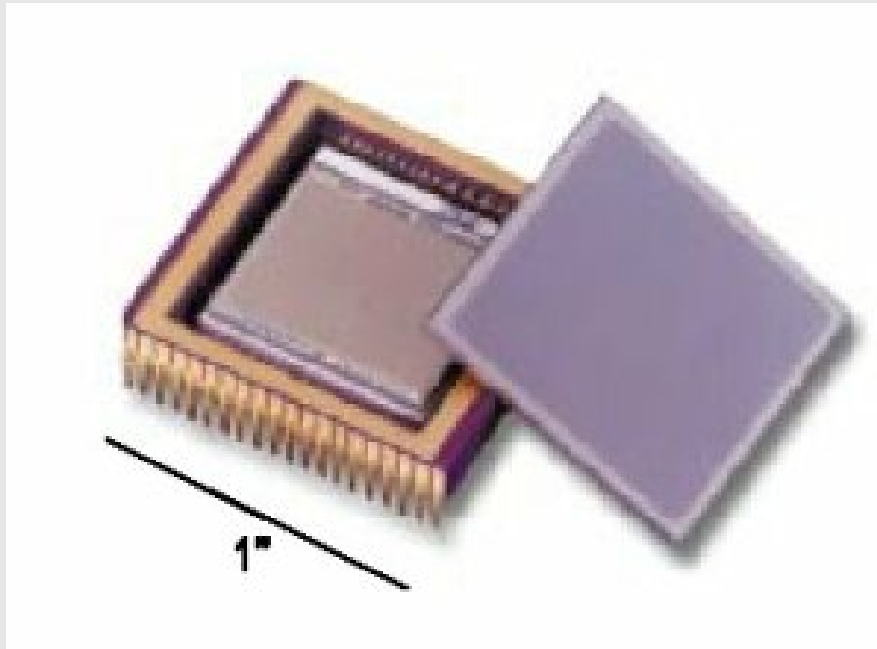


SW: 3,6-5μm



LW: 8-12μm

Wygląd matrycy detektorów - przykład



Matryca detektorów o rozmiarach 320x240



Moduł kamery obserwacyjnej

Model ThermaCAM PM 695 firmy FLIR

- Nie chłodzona, bolometryczna kamera pomiarowa rejestrująca w obu pasmach widzialnym i podczerwieni. Zakres do +1500/2000 °C. Rejestracja cyfrowa termogramów, zdjęć w paśmie widzialnym (wbudowany, cyfrowy aparat fotograficzny), cyfrowego komentarza głosowego. Pełna obróbka komputerowa danych. Kamera długofalowa (7,5 - 13 μm).



Model ThermaCAM SC 500 firmy FLIR

Bolometryczna, nie chłodzona jednostka pomiarowa z pełną rejestracją i obróbką danych. Możliwość podłączenia do komputera przez interface PCMCIA.

Główne przeznaczenie: medycyna, prace naukowo-badawcze. Kamera długofalowa (7,5 - 13 μm).



Badanie termowizyjne polega na zobrazowaniu rozkładu temperatur na powierzchni badanego obiektu. .
Za pomocą diagnostyki termowizyjnej możemy obserwować to co przedtem było niezauważalne dla człowieka .

CAŁKOWITA BEZINWAZYJNOŚĆ: Badanie termowizyjne ma tą bezwzględną zaletę nad innymi metodami, że jest badaniem całkowicie bezinwazyjnym to znaczy, że nie będziemy monować na obiekcie czujnika.

Inne zalety to:

Szybkość pomiaru, kilka milisekund i mamy pomiar rozkładu temperatur w całym obszarze badań.

Duży zakres mierzonych temperatur nawet do 2000C – niedostępny innymi metodami.

Rejestracja w czasie (film) zachodzących zmian temperatury.

Wady:

Wrażliwość na wprowadzone wartości wsp. emisji i odbicia.

Brak możliwości pomiaru temp. np. mat przezroczystych i o dużym wsp. odbicia (małej emisyjności).

Wrażliwość np.. na skład atmosfery (zawartość pary wodnej itp.).

KONIEC