

## Ćwiczenie L1 – teoria

### Temperatura

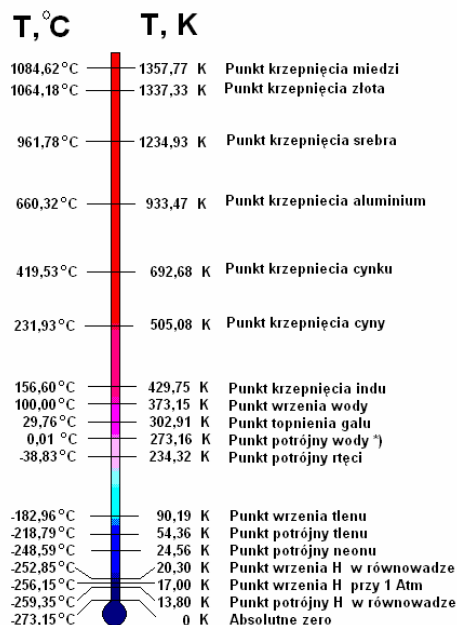
Temperatura to główny parametr wielu procesów technologicznych służy do analizy i kontroli procesów produkcyjnych. Pomiar temperatury jest konieczny do zapewnienia bezpieczeństwa pracowników i trwałości maszyn oraz aparatury. Parametr temperatury znajduje swoje zastosowanie w wielu bardzo różnych i odległych od siebie dziedzinach m.in. budownictwo, geologia, energetyka i ciepłownictwo, medycyna, ochrona środowiska, rolnictwo i leśnictwo, przemysł. Jednak bez względu na rodzaj zastosowania temperatury jej definicja jest niezmienna. „Temperatura - skalarna wielkość fizyczna, jeden z parametrów określających stan układu termodynamicznego.

Dla układów pozostających ze sobą w równowadze termicznej (cieplnej) temperatura przyjmuje tę samą wartość (zerowa zasada termodynamiki; termodynamiki zasady); jeżeli układy będące w kontakcie termicznym mają różne temperatury, to układ o temperaturze wyższej przekazuje energię układowi o temperaturze niższej (następuje wyrównanie temperatur); stanowi to podstawę termometrii (termometr), w której miarą temperatury ciała jest zmiana właściwości ciała wzorcowego (tzw. właściwości termometrycznej) znajdującego się w kontakcie termicznym z ciałem badanym; tak określona temperatura jest w termodynamice nazywana temperaturą empiryczną. Wartość temperatury przypisana danemu stanowi układu zależy od wyboru skali temperatury. Druga zasada termodynamiki umożliwia wprowadzenie temperatury empirycznej, niezależnej od ciała wzorcowego, zwanej temperaturą termodynamiczną (bezwzględną). Zgodnie z tą zasadą stosunek temperatur termodynamicznych dwu ciał  $\theta_1/\theta_2$  wiąże się ze sprawnością  $\eta$  odwracalnego obiegu Carnota, przeprowadzonego między tymi ciałami, wzorem:  $\theta_1/\theta_2 = 1 - \eta$ . W klasycznej fizyce statystycznej temperaturę termodynamiczną interpretuje się jako miarę średniej energii kinetycznej ruchu cząstki:  $E_{kin} = 3/2(kBT)$ .

Jednostkami temperatury są (w zależności od skali) m.in.: kelwin K (układ SI), stopień Celsjusza °C, stopień Fahrenheita °F. Temperaturę układu można mierzyć metodą stykową, w której czujnik przyrządu pomiarowego jest w kontakcie z badanym układem (np. za pomocą termometru, termoelementu i termistora) lub metodą bezstykową (za pomocą pirometru, radiometru).

### Skale termometryczne

Temperatura cechuje się tym że do jej określenia konieczne jest przyjęcie odpowiedniej skali temperatur bazujących na stałych punktach termometrycznych. Obecnie wykorzystywana skala w układzie SI nosi nazwę International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) jest ona zdefiniowana metodami pomiarów w poszczególnych zakresach i punktach charakterystycznych dla kilku związków chemicznych, np. punkcie potrójnym wody, tlenu, lub punkcie topnienia miedzi przy ciśnieniu 101325 Pa a wykorzystywaną jednostką jest Kelwin. W użyciu są jeszcze inne skale temperatur takie jak na przykład skala Celsjusza, którą charakteryzują dwa punkty stałe wyznaczone przy niezmiennym ciśnieniu równym 1 atmosfery (101 325 Pa). Pierwszy charakteryzuje temperaturę topnienia lodu – 0°C, a drugi temperaturę wrzenia wody – 100°C.



\*) jest to czysta woda o składzie izotopowym wód oceanicznych.

**Rys. 1 Punkty charakterystyczne dla skal temperatur według Międzynarodowej Skali Temperatur (MST-90)**

W niektórych krajach zastosowanie znajdują również takie skale temperaturowe jak Reaumura, Fahrenheita, Rankine'a, które swoje nazwy i jednostki odziedziczyły po nazwiskach autorów. Skala Reaumura - wprowadzona przez francuskiego fizyka R.A.F. de Réaumura używana głównie we Francji zakłada że  $0^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{Re}$  a  $100^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{Re}$  i przelicza się ją w podany poniżej sposób.

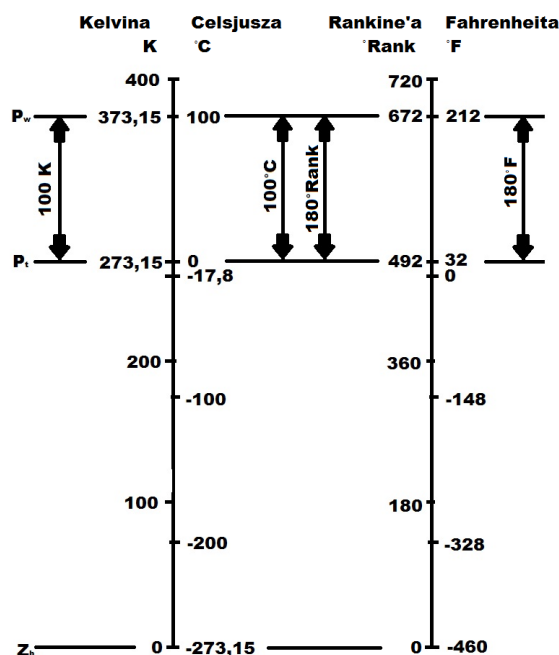
$$T_{\text{Reaumur}} = T_{\text{Celsjusz}} \cdot \frac{4}{5} \quad (1)$$

Skala Fahrenheita – skala temperatury stosowana w krajach anglosaskich przyjmująca za  $0^{\circ}\text{F}$  temperaturę zamarzania mieszaniny wody i lodu z salmiakiem lub solą, a  $32^{\circ}\text{F}$  temperaturę topnienia lodu.

$$T_{\text{Fahrenheit}} = 32 + \frac{9}{5} * T_{\text{Celsjusz}} \quad (2)$$

Ostatnią omawianą przeze mnie skalą jest skala Rankine'a wykorzystywana w Anglii, której punktem odniesienia jest punkt potrójny wody odpowiadający  $491,67^{\circ}\text{R}$

$$T_{\text{Rankine}} = T_{\text{Fahrenheit}} + 459,67 \quad (3)$$



Rys. 2. Porównanie skal temperatur

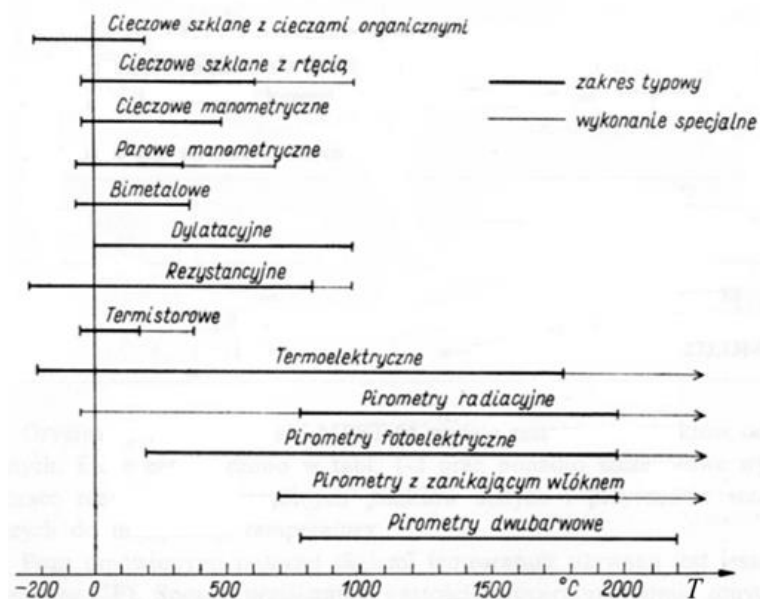
### Metody pomiaru temperatury i podział narzędzi pomiarowych.

Pomiar temperatury może zostać wykonany na wiele sposobów. W zależności od interakcji pomiędzy przedmiotem którego temperaturę mierzymy a czujnikiem pomiarowym wyróżniamy przyrządy pomiarowe stykowe i bezstykowe.

Przyrządy stykowe (termometry) dzielą się na elektryczne i nieelektryczne a czujnik pomiarowy styka się z obiektem mierzonym.

Przyrządy bezstykowe (pirometry) za pomocą których możliwy jest pomiar parametrów promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez ciało, np. długości fali, lub ilości emitowanej energii.

W zależności od ośrodka i zakresu mierzonej temperatury dobierane są odpowiednie metody pomiarowe oraz urządzenia pomiarowe. (Rys.3)



Rys. 2 Zakresy zastosowania przyrządów do pomiaru temperatury

Aby określić wartość temperatury mierzy się własności fizyczne, których zmiana jest proporcjonalna do temperatury i może to być:

- odkształcenie bimetalu,
- wytworzenie napięcia elektrycznego na styku dwóch metali w różnych temperaturach,
- zmiana rezystancji elementu,
- zmiana objętości cieczy, gazu, lub długości ciała stałego,
- zmiana barwy.

### Promieniowanie podczerwone.

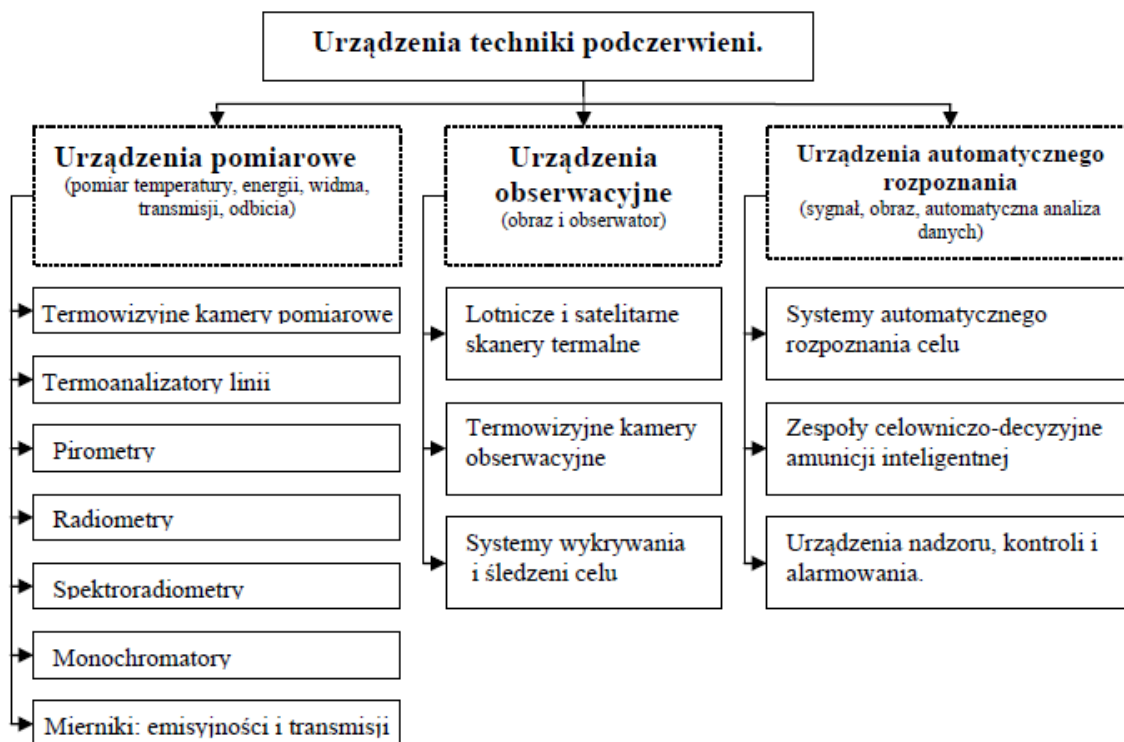
Podczerwień to promieniowanie elektromagnetyczne o zakresie długości fal większym od promieniowania widzialnego lecz nie przekraczającym 1mm. Promieniowanie podczerwone dzieli się na trzy zakresy:

1. bliska podczerwień ( 0,7-5 $\mu$ m)
2. średnia podczerwień (5-30 $\mu$ m)
3. daleka podczerwień (30-1000 $\mu$ m)

W dziedzinie termowizji działa się w zakresie dalekiej podczerwieni.

Promieniowanie podczerwone powstaje w wyniku ruchu drgającego i obrotowego atomów i molekuł z czego wynika że każde ciało jest źródłem promieniowania podczerwonego jeżeli jego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego.

Obecnie pomiar temperatury przy pomocy technik podczerwieni jest bardzo popularny i znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach a wykorzystywany w tym celu sprzęt można podzielić na trzy grupy takie jak: urządzenia pomiarowe, obserwacyjne, automatycznego rozpoznawania przedstawione na poniższym rysunku. (rys.4)



Rys. 4, Urządzenia wykorzystywane w technice podczerwieni

### Źródła promieniowania podczerwonego.

Źródła promieniowania podczerwonego wykorzystywanego w technice podczerwieni dzielą się na:

- źródła sztuczne czyli obiekty których temperaturę podnosimy świadomie do celów badawczych aby emitowały promieniowanie podczerwone, takie źródła to na przykład ciało doskonale czarne, promienniki podczerwieni
- źródła naturalne są to wszelakie obiekty, ciała znajdujące się na ziemi (ludzie, zwierzęta, woda, roślinność, zakłady przemysłowe) w atmosferze (obłoki, gazy, pary, zorza polarna) czy kosmosie (gwiazdy, Słońce, Księżyc).

### **Promieniowanie ciała doskonale czarnego.**

Ciało doskonale czarne charakteryzuje się całkowitym pochłanianiem padającego nań promieniowania bez względu na długość jego fali czy kąt padania. Prawo promieniowania ciała doskonale czarnego zostało sformułowane w 1900 roku przez Maxa Plancka a pojęcie ciała doskonale czarnego zostało wprowadzone aby uniezależnić wyniki pomiarów od jakości powierzchni badanego obiektu. W przyrodzie nie występują ciała które charakteryzowałyby się większym promieniowaniem lecz istnieje ewentualność wytworzenia ciał doskonale czarnych o właściwościach bardzo bliskich teoretycznym. Przykładem takiego ciała może być przestrzeń kulista o rozpraszającym promieniowanie, znajdujących się w tej samej niezmienniej temperaturze, nieprzeźroczystych ściankach.

### **Promieniowanie ciał rzeczywistych.**

Ciało doskonale czarne nie istnieje w rzeczywistości a w praktyce promieniowanie różnych obiektów różni się od promieniowania ciała doskonale czarnego. Z powodu występujących zjawisk absorpcji i odbicia moc promieniowania obiektów rzeczywistych jest mniejsza. Do porównania promieniowania ciał doskonale czarnego i rzeczywistych opracowano współczynnik emisyjności, który określa ile razy promieniowanie ciała rzeczywistego jest mniejsze od promieniowania ciała doskonale czarnego.

Wielkość współczynnika emisyjności zależy od długości fali promieniowej, rodzaju temperatury i stanu powierzchni badanego ciała.

Biorąc pod uwagę właściwości emisyjne ciała można na dwie grupy:

- ciała promieniujące selektywnie
- ciała szare

Charakterystyczną cechą ciał promieniujących selektywnie jest zależność pomiędzy współczynnikiem emisyjności a długością fali. W ograniczonych przedziałach długości fal moc promieniowania może być taka sama jak ciała doskonale czarnego.

Ciało szare natomiast jest odznacza się tym że współczynnik emisyjności w całym interesującym przedziale długości fal jest stały.

### **Emisyjność.**

Emisyjność jest to współczynnik informujący o zdolności obiektu do wypromieniania energii. Im wyższa wartość współczynnika emisyjności tym jest on łatwiejszy do zmierzenia przez kamerę termowizyjną. W przypadku gdy współczynnik emisyjności jest bliski zeru oznacza to że przedmiot pomiarów będzie trudny do zmierzenia co wiąże się z wpływem promieniowania otoczenia odbijającego się od obiektu.

Wartość współczynnika emisyjności zależy między innymi od wykończenia i rodzaju badanego materiału, geometrii powierzchni, temperatury [T], długości fali obserwacji [ $\lambda$ ] oraz kąta obserwacji co można zapisać wzorem:

$$\varepsilon = f(\alpha, \lambda, T, \tau) \quad (7)$$

gdzie:

- $\tau$  – czas [s],
- T – temperatura materiału [°C],
- $\lambda$  – długość fali obserwacji [ $\mu\text{m}$ ],
- $\alpha$  – kąt obserwacji [rad].

Znajomość współczynnika emisyjności jest konieczna do wykonywania badań za pomocą kamer termowizyjnych. Poniżej tabela przedstawiająca współczynnik emisyjności dla typowych materiałów:

<b>Material</b>	<b>Emisyjność*</b>
Papier azbestowy	0,94
Mosiądz, polerowany	0,03
Cegła, standardowa	0,85
Węgiel, oczyszczony	0,8
Żeliwo, surowy odlew	0,81
Węgiel drzewny, miął	0,96
Gлина, wypalona	0,91
Cement	0,54
Miedź, utleniona szerniała	0,88
Zmrożona ziemia	0,93
Szkło	0,92
Złoto, polerowane	0,02
Lód	0,97
Sadza	0,96
Ołów, szary	0,28
Rtęć, czysta	0,1
Stal, blacha, walcowana	0,56
Woda	0,98
Cynk, blacha	0,2

**Tabela 1. Przykładowe wartości współczynników emisyjności dla typowych materiałów**

#### **Zasada działania urządzenia termowizyjnego.**

Badania termowizyjne najczęściej znajdują zastosowanie do zobrazowania rozkładów temperatury na powierzchni badanego obiektu. Zachodzi taka sposobność ponieważ moc promieniowania ciała jest zależna od jego temperatury i właściwości emisyjnych. Zatem termowizja umożliwia określenie temperatury lub emisyjności na powierzchni badanego obiektu. Schematycznie zasada działania urządzenia termowizyjnego z zastosowanym przetwornikiem promieniowania w postaci detektora fotonowego lub termicznego przedstawia się następująco. Promieniowanie podczerwone emitowane przez obserwowany obiekt pada na obiektyw i otrzymuje się obraz obiektu w płaszczyźnie elementu czułego kamery termowizyjnej (detektora), analogicznie jak w kamerze telewizyjnej. Następnie element czuły przetwarza padające promieniowanie podczerwone na proporcjonalne do mocy promieniowania sygnały elektryczne które są przekazywane do odpowiednich układów obróbki elektronicznej i dalej do układów odtwarzania i/lub zapisu obrazu.

#### **Wpływ otoczenia na pomiary termowizyjne.**

Każdy obiekt znajdujący się w przestrzeni pomiędzy urządzeniem termowizyjnym a badanym ciałem emituje pewną ilość promieniowania podczerwonego pewną absorbuje i przepuszcza co wpływa na wyniki badań. Atmosfera, chmury i opady także emitują promieniowanie zniekształcając efekty pomiarów. Ocena zakłóceń powodowanych przez te czynniki jest dość trudna lecz większość występujących w środowisku zakłóceń można usunąć poprzez staranna kalibracje urządzenia pomiarowego oraz dobranie dogodniejszych warunków pomiarów. W sytuacji gdy zakłócenia pochodzące z otoczenia nie mogą zostać usunięte operator zmniejszyć dystans bądź kierunek obserwacji obiektu albo zastosować inne urządzenie pomiarowe.

#### **Błędy pomiarowe.**

Podczas wykonywania pomiarów z zastosowaniem kamer termowizyjnych należy zwrócić uwagę na możliwość występujących błędów zakwalifikowanych do trzech rodzajów:

- błędy metody
- błędy kalibracji
- błędy toru elektronicznego

**Błędy metody pomiaru termowizyjnego to:**

- błąd oszacowania emisyjności  $\epsilon$  obiektu

Uwaga ta jest ważna tym bardziej, gdy na tym samym obrazie termowizyjnym mierzone jest pole temperaturowe składające się z wielu różnych obiektów o różnej emisyjności. Jednocześnie należy zaznaczyć, że nie istnieje kamera, która umożliwiałaby precyzyjny, zdalny pomiar efektywnej emisyjności badanego obiektu i pełne wyeliminowanie wpływu błędnego oszacowania tego parametru na dokładność pomiaru. Błąd pomiaru termowizyjnego związany z błędem oszacowania emisyjności obiektu można przykładowo znacznie zmniejszyć poprzez pomalowanie obiektu farbą o znanej emisyjności, jego odpowiednie nawilżenie, lub w miarę możliwości, dokonując równomiernego nagrzewania obiektu a następnie tworząc mapę jego emisyjności.

- błąd spowodowany wpływem odbitego przez obiekt promieniowania otoczenia oraz wpływem promieniowania samego otoczenia

Podczas pomiarów termowizyjnych na zewnątrz należy się dodatkowo liczyć z błędami związanymi z wpływem promieniowania słonecznego. Słońce może być bowiem traktowane jako wysokotemperaturowe ciało czarne. Promieniowanie słoneczne padające na badany obiekt podlega filtrującemu działaniu atmosfery, zależnemu od pory dnia i warunków atmosferycznych. Analiza wpływu promieniowania słonecznego na dokładność termowizyjnego pomiaru temperatury nie jest zadaniem prostym, gdyż jego wpływ generalnie uniemożliwia pomiar – wyjątkiem może być tutaj badanie

jakościowe obiektów wysokotemperaturowych o  $\epsilon \approx 1$ . Sytuacja komplikuje się jeszcze bardziej, gdy od badanego obiektu odbija się również promieniowanie nieboskłonu i chmur. Aby skompensować te niekorzystne zjawiska, przed pomiarem, należałoby zadać odpowiednie parametry wejściowe, których określenie niekiedy może być kłopotliwe i czasochłonne,

- błąd spowodowany ograniczoną transmisją atmosfery oraz jej promieniowaniem (emisją)

Błąd emisji własnej atmosfery można pominąć, gdy odległość obiekt – kamera nie przekracza kilkunastu metrów,

- błąd spowodowany brakiem możliwości uśredniania wyników pomiarów, a tym samym redukcji wpływu szumu detektora promieniowania, związany z wymaganiami dotyczącymi szybkości pomiaru.

**Do błędów kalibracji** zaliczane są błędy dotyczące rzeczywistych warunków pomiaru termowizyjnego takie jak:

- promieniowanie własne elementów optycznych i filtrów kamery ma inne wartości niż w warunkach kalibracji i zależne jest od temperatury oraz emisyjności układów optycznych,
- odległość obiekt – kamera jest inna niż w trakcie kalibracji,
- w warunkach kalibracji precyzyjnie jest określona emisyjność obiektu, pomijalny jest natomiast wpływ: promieniowania otoczenia odbitego od ciała doskonale czarnego oraz ograniczonej rozdzielczości temperaturowej kamery,
- ograniczonej dokładności wzorca, ograniczonej ilości punktów wzorcowania i błędów interpolacji.

Na **błędy toru elektronicznego** mają wpływ:

- szumy detektora,
- niestabilność układu chłodzenia (dla kamer z matrycami chłodzonymi),
- wahania wzmocnienia przedwzmacniacza i innych układów elektronicznych kamery,
- ograniczone pasmo przenoszenia detektora i innych układów elektronicznych kamery,
- ograniczona rozdzielczość i nieliniowość przetworników analogowo-cyfrowych.

**Budowa kamery termowizyjnej.**

Ze względu na zastosowanie kamery termowizyjnej dzielą się na obserwacyjne i pomiarowe. Obydwa typy tych urządzeń zbudowane są z dwóch podstawowych elementów czyli układu optycznego z obiektywem i detektora promieniowania.

**Detektory promieniowania** są najbardziej zaawansowanymi technologicznie elementami kamer termowizyjnych i mogą mieć różną budowę. Mogą występować w postaci pojedynczej, linijkowej czy w postaci matrycy składającej się z pewnej liczby pojedynczych detektorów – pikseli (np. 160×120 czy 320×240 pikseli). Matryce detektorów są chłodzone termoelektrycznie lub ciekłym azotem. Ich chłodzenie jest konieczne ze względu na potrzebę uzyskania jak najmniejszych szumów detektora.

Zasada działania detektorów promieniowania opiera się o kilka zjawisk fizycznych takich jak:

- bolometryczne – zmienia się rezystancja  $R$  detektora w funkcji temperatury,
- termoelektryczne – zmienia się siła termoelektryczna stosu termoelektrod w funkcji temperatury,
- fotoemisyjne – promieniowanie podczerwone wywołuje zmianę prądu detektora.

Różny rodzaj zastosowanych przetworników pozwala podzielić poszczególne kamery na takie które:

- mają możliwość pracy w pasmie dobrego przepuszczania promieniowania podczerwonego przez atmosferę, o długości fali od 3 do 5  $\mu\text{m}$  (bliska i średnia podczerwień),
- mają możliwość pracy w mniej przyjaznym środowisku pomiarowym o długości fali od 7 do 15  $\mu\text{m}$  (daleka podczerwień)

Bardzo dużą większość dostępnych na rynku kamer stanowią te pracujące w dalekiej podczerwieni, z przetwornikami pomiarowymi rejestrującymi promieniowanie o długości fali w zakresie od ok. 7 do 15  $\mu\text{m}$ .

Do najbardziej istotnych dla użytkownika parametrów są te pozwalające na prawidłowe wykonanie pożądaných pomiarów czyli:

- wymiary przetwornika (np. 320×240 pikseli),
- rozdzielczość temperaturowa (np. 0,08°C),
- częstotliwość odświeżania przetwornika (np. 9 Hz).

Rozdzielczość przetwornika to bardzo istotny parametr podczas obserwacji obiektów oddalonych lub obiektów o małych gabarytach jest on szczególnie istotny w przypadku obserwacji elementów budynków. Równie istotna podczas obserwacji budynków jest rozdzielczość temperaturowa – do większości analiz budynków wystarczający jest poziom 0,1°C.

Kolejnym parametrem jest częstotliwość odświeżania obrazu decydująca o jakości zarejestrowanego obrazu, w szczególności przy badaniach obiektów w ruchu. Obecnie większość sprzedawanych kamer wyposaża się w przetworniki działające z częstotliwością odświeżania 7 lub 9 Hz.

#### **Układy optyczne z obiektywem.**

Podstawowym zadaniem obiektywu kamery termowizyjnej i towarzyszących mu elementów optycznych jest skupianie promieniowania podczerwonego emitowanego przez obserwowany obiekt na przetworniku pomiarowym (detektorze). Kolejną funkcją obiektywu jest poprawienie stosunku sygnału użytecznego do szumu (sygnału zakłócającego), co realizowane jest przez odpowiednie dobranie przepuszczalności widmowej.

Zabieg ten sprowadza się do zapewnienia bardzo dobrej transparentności obiektywu w zakresie roboczych długości fali (sygnału użytecznego) i słabej przepuszczalności promieniowania spoza tego zakresu (szumu). Dlatego obiektywy kamer termowizyjnych pokrywa się specjalnymi powłokami antyrefleksyjnymi i instaluje się w nich filtry pasmowe.

Poza tymi ukrytymi dla użytkownika właściwościami optyki termograficznej istnieje wiele parametrów istotnych w codziennej pracy. Najistotniejszą jest ogniskowa obiektywu, która w połączeniu z określonym przetwornikiem pomiarowym daje możliwość dobrej jakości obserwacji obiektów w bezpośrednim otoczeniu operatora lub w dużym dystansie.

**Oprogramowanie** wykorzystywane do obsługi kamer termowizyjnych to bardzo ważny element podczas badań termowizyjnych umożliwiający obszerną analizę wykonanych pomiarów bardzo trudną do zrobienia za pomocą tylko małego wyświetlacza kamery. Oprogramowanie kamer termowizyjnych dostępne jest wraz ze sprzętem lub opcjonalnie a wysokiej jakości oprogramowanie gwarantuje szybka i przyjemną pracę nad wykonanymi pomiarami.



## Przykładowe zastosowania termowizji.

Badania termowizyjne znajdują zastosowanie wszędzie tam gdzie za pomocą rozkładu temperatury lub zmiany jej w czasie można wywnioskować o zachodzących zjawiskach. Pole zastosowań termowizji jest bardzo szerokie i znalazła ona miejsce np. w:

- **medycynie** przy wykrywaniu raka, stanów zapalnych (np. reumatycznych) czy też badania układu krążenia
- **elektronice** w badaniu jakości układów scalonych, poszukiwaniu uszkodzonych elementów czy przepływów ciepła w aparaturze elektronicznej
- **hutnictwie** w określaniu stanu izolacji pieców rozkładu temperatury na ich powierzchni czy badaniu jakości odlewów
- **budownictwie** przy lokalizacji miejsc ulotów ciepła, lokalizacji rur z wodą zimną i ciepłą oraz określenia jakości materiałów wykorzystanych do budowy
- **energetyce** przy badaniu stanu przewodów elektrycznych i określaniu stanów izolacji termicznej
- **rolnictwie i leśnictwie** w lokalizacji obszarów zaatakowanych przez szkodniki, wykrywaniu ognisk pożarów leśnych, określaniu stanu upraw i wilgotności gleby czy w poszukiwaniu podziemnych zbiorników wodnych
- **ochronie środowiska** w określaniu stanu skażeń wód czy zapylenia atmosfery
- **chemii** przy dokładnym określaniu miejsc w których zachodzą reakcje chemiczne

Przedstawione powyżej to tylko niektóre z możliwych zastosowań techniki termowizji które ciągle wraz z postępem technologicznym cywilizacji powiększają się.

## Specyfikacja techniczna kamery FLIR SC620

Nazwa modelu	FLIR SC620
	
<b>Jakość obrazu</b>	
<i>Termowizyjny:</i>	
Rozdzielczość	640x480 pikseli
Czułość termiczna (dla 30 °C)	
Pole widzenia	24° x 18°
Minimalna ogniskowa	0.3 m
Rozdzielczość przestrzenna (IFOV)	0.65 mrad
Częstotliwość detektora	30 Hz
Powiększenie elektroniczne	
Przesuwanie obrazu powiększonego elektronicznie (Panning)	Przesuwanie na stop klatce
Ogniskowanie	Ręczne, Auto, elektrycznie
<i>Dzenny:</i>	
Cyfrowy aparat fotograficzny	3.2 Mpiksela, z lampą
<b>Detektor</b>	
Matryca detektorów (FPA)	Niechłodzony mikrobolometr 640x480 pikseli
Zakres spektralny	7.5 do 13 µm
<b>Prezentacja obrazu</b>	
Okular	ruchomy/800x600 pikseli
Wyświetlacz	5.6" LCD /1024x600 pikseli
Ręczne dostrójenie obrazu	poziom / czułość / miń / maks
Automatyczne dostrójenie obrazu, automatyczne lub ręczne wyzwolenie	Standardowe lub na bazie histogramu opartego o zawartość obrazu

Rodzaje obrazów	
Termowizyjny (w podczerwieni)	Obraz termowizyjny z wybraną paletą kolorów
Fotograficzny (w paśmie widzialnym)	Fotograficzny (pełen kolor)
Obraz w obrazie (PIP)	Skalowalny i ruchomy obszar-IR na tle fotografii
Termal - fuzja (przenikanie dziennego i termowizyjnego)	próg powyżej, poniżej oraz przedział
Obraz odniesienia (referencyjny)	Jednoczesna prezentacja obrazów: aktualnego (live) i odniesienia
Pomiar	
Standardowy zakres temperatur	-40°C do +120°C 0°C do +500°C
Opcjonalny zakres temperatur	do +2000°C
Dokładność	± 2°C lub ± 2% odczytu
Korekcja emisyjności	Zmienna od 0.01 do 1.0 lub wybierana z edytowalnej listy materiałów
Korekcja temperatury otoczenia (temperatury odbitej)	Automatyczna, oparta o wprowadzoną temperaturę otoczenia
Korekcja transmisji optyki	Automatyczna, w oparciu o wartości z wewnętrznych czujników
Korekcja transmisji atmosfery	Automatyczna, oparta o wprowadzone wartości, temperatury atmosfery, odległości i wilgotności względnej
Zewnętrzna optyka/Korekcja okna	Automatyczna, w oparciu o wartość temperatury okna i jego transmisyjności