

Jaka kamera do jakich zastosowań czyli jeszcze raz o termowizji

Często spotykamy się z pytaniami na co należy zwracać uwagę przy wyborze kamery lub co oznaczają w praktyce różne parametry kamer. Niejednokrotnie pytani jesteśmy także czy kamera termowizyjna „widzi” więcej niż noktowizor lub kamera z diodami na podczerwień. Choć już kilkakrotnie „Pod kontrolą” poruszał kwestię termowizji, mając na uwadze powtarzające się wątpliwości, postanowiliśmy raz jeszcze zebrać najważniejsze informacje dotyczące tej relatywnie nowej technologii.

NOKTOWIZJA, PODCZERWIEŃ, TERMOWIZJA

Termowizja to w rzeczywistości potoczna nazwa termografii, czyli dziedziny techniki zajmującej się detekcją i rejestracją, a w konsekwencji przetwarzaniem i wizualizacją niewidzialnego promieniowania podczerwonego emitowanego przez obiekty. Kamera termowizyjna ma za zadanie skupienie energii promieniowania poprzez układ optyczny na detektorze. W konsekwencji, po przejściu przez układ elektroniczny, otrzymujemy wynik pomiaru w formie termogramu. Jest to chyba najprostsze przedstawienie pojęcia termowizji, jednak to dokładne zrozumienie zjawiska promieniowania podczerwonego i jego pomiaru jest podstawą do prawidłowego posługiwania się termowizją.

Podstawowy opis pojęcia termowizji wskazuje nam cechę, która stanowi różnicę między kamerami termowizyjnymi, a noktowizorami czy kamerami z diodami podczerwieni. Różnica owa polega na tym, iż noktowizor czy kamera IR wykorzystują tylko i wyłącznie promieniowanie odbite, pracując przy tym w innych zakresach promieniowania. W przypadku noktowizora będącego de facto wzmacniaczem obrazu, jest to światło odbite od księżyca, gwiazd, czy innych źródeł. Charakterystyczny, zielony obraz wynika tylko z tego, iż kolor zielony charakteryzuje się największą ilością odcieni z pośród barw światła.

W kamerach obserwacyjnych, które dodatkowo umożliwiają obserwację nie tylko w nocy ale również w dzień, stosuje się diody IR. Największą wadą kamer wykorzystujących światło odbite jest jednak łatwość z jaką można oślepić je poprzez mocne źródło światła lub promienniki podczerwieni (bardzo ważne kryterium w przypadku obserwacji np. ważnych obiektów rządowych). Kolejną wadą kamer IR jest również zasięg, który wynosi około 100 m (w zależności od mocy doświetlenia).

Kamery termowizyjne, oprócz promieniowania odbitego wykorzystują także promieniowanie emitowane przez obiekty. Wpływa to między innymi na zasięg kamer termowizyjnych, który może wynosić nawet 1 km (termowizja również może być stosowana do celów obserwacyjnych).

Poza wymienionymi różnicami, najważniejszą jest oczywiście jedna. Termowizja służy głównie do pomiaru temperatury i wizualizacji rozkładu temperatury (oraz obserwacji), noktowizja i kamery IR natomiast wykorzystywane mogą być jedynie do obserwacji, bez możliwości pomiaru.

CO WIDZI CZŁOWIEK, A CO KAMERA

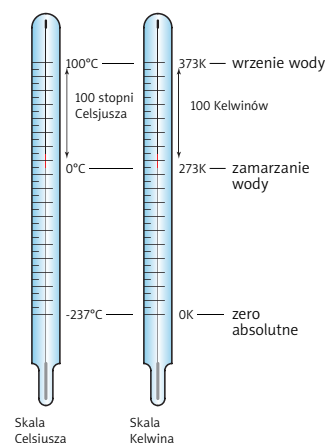
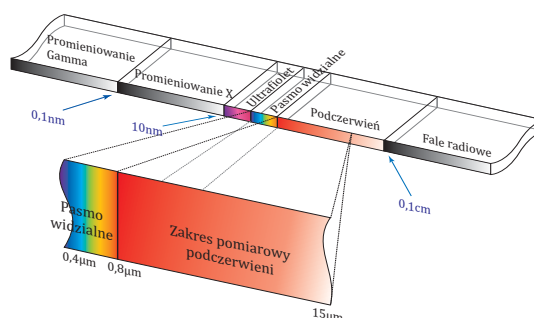
Każdy obiekt o temperaturze powyżej zera bezwzględnego (-273°C) emituje promieniowanie elektromagnetyczne, które możemy poczuć oraz zobaczyć, jednak tylko w określonym zakresie.

Promieniowanie elektromagnetyczne zostało podzielone na kilka typów, m.in. promieniowanie podczerwone, promienie Roentgena czy fale radiowe. Jediną różnicą pomiędzy tymi pasmami jest długość fali.

Ludzkie oko widzi tylko określony zakres promieniowania elektromagnetycznego, a promieniowanie widzialne zawiera się w przybliżeniu w zakresie długości fal od 400 nm do 800 nm. Dla porównania zakres, w którym pracują noktowizory wynosi od 0,4 μm do około 0,95 μm , a kamer termowizyjnych od 8 do 14 μm .

Oczywistym jest fakt, że im wyższa temperatura, tym więcej energii obiekt będzie emitował. Inną dobrze znaną prawdą jest to, że jeśli obiekt posiada temperaturę wyższą niż jego otoczenie, to emituje więcej energii aniżeli jej pochłania, czyli po prostu stygnie. Jeżeli natomiast obiekt jest chłodniejszy niż jego otoczenie, będzie on pochłaniał więcej promieniowania niż sam emituje, więc w konsekwencji jego temperatura wzrośnie (zostanie ogrzany).

Wartość wypromieniowanej energii rośnie zatem wraz ze wzrostem temperatury obiektu. Możemy to zauważyć na własne oczy podgrzewając stal. Stal o temperaturze około 580°C odbierana przez nas będzie jako obiekt w kolorze brązowo czerwonym. Po podgrzaniu do około 1250°C stal będzie posiadała kolor biały. Wynika to z faktu, że stal podgrzana do takiej temperatury posiada na tyle dużą energię, iż promieniuje w wychwy-

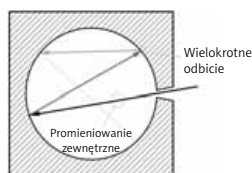


Skale temperatury

Promieniowanie elektromagnetyczne

tywanym przez ludzkie oko zakresie podczerwieni.

Wszystkie ciała stałe, ciecze oraz gazy, których temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego wysyłają promieniowanie cieplne, choć większość tego promieniowania nie jest widoczna dla naszego oka. Istotnym jest również fakt, iż strumień promieniowania cieplnego jest różny dla wielu ciał, pomimo, że ich temperatura jest taka sama. Dzieje się to dlatego, że **każde ciało ma określoną zdolność do emitowania promieniowania**, co wynika z jego składu i rodzaju powierzchni (chropowata, wypolerowana). Zdolność ta charakteryzuje się współczynnikiem zwanym **emisyjnością**.



Ciała doskonale czarne



Wzorce kalibracyjne firmy LAND

EMISYJNOŚĆ, CIAŁO DOSKONAŁE CZARNE, REFLEKSYJNOŚĆ

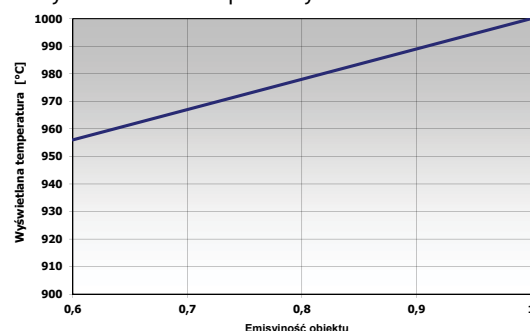
Emisyjność materiału jest to **stosunek energii wypromieniowanej przez obiekt do energii wypromieniowanej przez ciało doskonale czarne w tej samej temperaturze**. Ciało doskonale czarne to pojęcie, które wprowadzono dla lepszego zrozumienia praw rządzących promieniowaniem cieplnym. Jest to ciało, które pochłania całe padające na niego promieniowanie ciepłe niezależnie od długości fali. Nie oznacza to wcale, że ciało doskonale czarne jest czarne, a jedynie to, że ciało doskonale czarne nie odbija światła, mogąc jednak je emitować. **Emisyjność jest więc miarą zdolności materiału do wchłaniania i emitowania energii.**

Teoretyczna emisyjność ciała doskonale czarnego wynosi 1, choć ciało to nie istnieje w rzeczywistości. Stworzony został jedynie model ciała doskonale czarnego – wzorec kalibracyjny, którego emisyjność wynosi 0.998.

Piec kalibracyjny służy do kalibracji pirometrów oraz kamer termowizyjnych i pokryty jest od wewnątrz czarną substancją, która powoduje, że promieniowanie wpadające do wnętrza odbija się wielokrotnie od jej ścian i jest niemal całkowicie pochłanianie. Parametry promieniowania wychodzącego z wnętrza zależą natomiast tylko od temperatury zadanej w piecu.

Należy zatem pamiętać, że tylko ciało doskonale czarne emituje 100% swojej energii, nie odbijając żadnej. W przypadku innych materiałów np. wypolerowane aluminium, tylko 5% energii zostaje emitowane (emisyjność 0,05), a pozostała część, czyli 95% jest promieniowaniem odbitym (wysoka refleksyjność). Wynika z tego, że dla nieprzezroczystego obiektu suma emisyjności i refleksyjności wynosi 1. W praktyce oznacza to, że powierzchnia nierefleksyjna (np. asfalt) będzie posiadała dużą emisyjność, a materiał wypolerowany (jak wspomniane aluminium) będzie posiadało niski współczynnik emisyjności.

Znajomość współczynnika emisyjności jest kluczową kwestią w pomiarach termowizyjnych. Jego błędne określenie decyduje o niepoprawności całego pomiaru, którego wyniki będą odbiegały od rzeczywistych wartości temperatury.



Błędy pomiaru w zależności od ustawionego współczynnika emisyjności

Współczynniki emisyjności możemy znaleźć w instrukcjach obsługi dołączonych do urządzeń lub w Internecie. W przypadku gdy nie wiemy z jakim materiałem mamy do czynienia lub nie posiadamy dostępu do jakichkolwiek literatury, możemy ten współczynnik określić sami za pomocą kamery termowizyjnej lub termometru kontaktowego.

Aby określić współczynnik potrzeba nam jest taśma o znanej emisyjności $E=0,95$. (OPTEX HB-250), którą należy przykleić na badanym obiekcie, przez co uzyskuje się punkt odniesienia. Następny krok to

podgrzanie obiektu do temperatury wyższej przynajmniej o 50°C od temperatury otoczenia. Po podgrzaniu należy ustawić punkt pomiarowy kamery na obiekcie w miejscu naklejenia taśmy i odczytać temperaturę punktu odniesienia. Punkt pomiarowy należy następnie skierować poza obszar z naklejoną taśmą i tak dobrać nastawę emisyjności, aby kamera wskazywała taką samą temperaturę jak na punkcie odniesienia (taśmie). W przypadku gdy mamy do czynienia z temperaturami wyższymi niż 250°C, do określenia współczynnika potrzebny nam będzie termometr stykowy, gdyż istnieje możliwość stopienia się taśmy. Postępowanie z wykorzystaniem metody stykowej wygląda podobnie jak z taśmą – określamy temperaturę odniesienia, a następnie korygujemy współczynnik emisyjności w celu otrzymania takiej samej temperatury.

BUDOWA, DZIAŁANIE, KLUCZOWE PARAMETRY

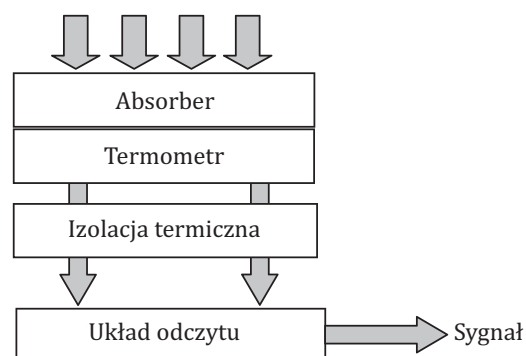
Wspominałem już, że kamera termowizyjna odbiera emitowane i odbijane przez obiekt promieniowanie i przelicza je na stopnie Celsjusza (z uwzględnieniem współczynnika emisyjności), tworząc rozkład temperatury na obiekcie. Najbardziej zaawansowanym elementem kamery jest detektor będący przetwornikiem energii promieniowania podczerwonego na inną wielkość fizyczną, czyli prąd, napięcie.

W starszych kamerach termowizyjnych stosowano detektory pojedyncze, linijkowe lub w postaci matryc, które wymagały chłodzenia. Chłodzenie było wymagane w celu poprawienia ich czułości oraz wykrywalności. W celu chłodzenia detektora stosowane były naczynia Dewara (kriostaty), które były napełniane azotem lub helem. Taki sposób chłodzenia wpływał bardzo negatywnie na komfort stosowania kamery (krótki czas pracy po napełnieniu ciekłym azotem).

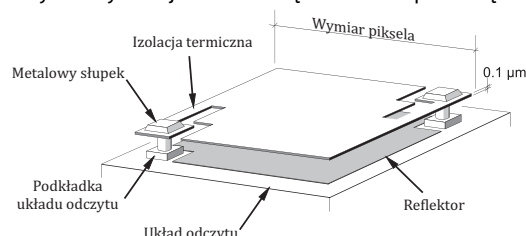
Obecnie najczęściej stosowane są detektory mikrobolometryczne, niechłodzone. Największą zaletą tego typu detektorów jest możliwość pracy w temperaturze otoczenia.

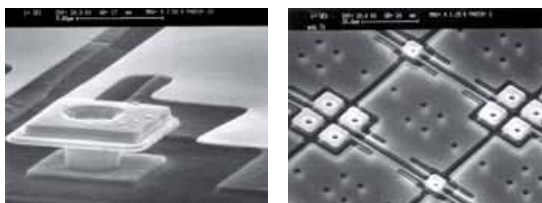
Poniżej przedstawiono schemat działania detektora.

Promieniowanie IR



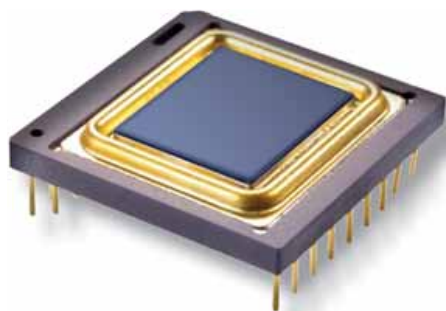
Promieniowanie padające na absorber mierzone jest przez termometr, a następnie przekształcone na sygnał elektryczny. Najczęściej do tego stosuje się bolometry, których rezystancja zmienia się wraz z temperaturą.





Mikromostek, który pełni rolę termometru, zawiera ciekłą warstwę ($0,1 \mu\text{m}$) uszlachetnionego, syntetycznego krzemu amorficznego. Izolacja cieplna służy do odizolowania cieplnego termometru od obwodu odczytu informacji. Odczyt informacji odbywa się poprzez multipleksowanie każdego piksela matrycy.

Typowy czas odczytu całości jednego cyklu informacji wynosi około 40 ms; częstotliwość odczytu: 25 lub 50 Hz dla sygnału PAL – standard europejski.



W rzeczywistości detektor wygląda jak na rysunku powyżej. Detektor może posiadać np. 384 x 288 punktów (pikseli). Oznacza to, iż kamera wyposażona w taki detektor posiada ponad 110 000 pikseli/punktów pomiarowych. Dla porównania pirometr posiada tylko 1 taki punkt.

Każdy detektor posiada takie parametry, które przekładają się na parametry kamery termowizyjnej:

- rozdzielczość detektora: 384x288 pikseli o wymiarach $50 \mu\text{m}$ każdy,
- zakres spektralny: zazwyczaj $8\div 14 \mu\text{m}$, czyli zakres długości fali jaką jest w stanie detektor wychwycić,
- rozdzielczość temperaturowa NETD $>0,8 \text{ mK}$ – im wartość mniejsza tym czułość kamery większa.

Dodatkowo spotkamy się jeszcze z takimi parametrami jak:

- zakres temperaturowy: np. $-20 \div +600^\circ\text{C}$, czyli zakres temperatury jaką kamera jest w stanie zmierzyć,
- dokładność pomiarów: 2% wartości mierzonej lub 2°C , w zależności, która wartość jest większa,
- współczynnik emisyjności, $0,1\div 1$, – umożliwia dokładne zmierzenie różnych materiałów;
- pole widzenia, np. 24° – parametr ten jest ważny w przypadku, gdy mierzone przez nas elementy będą bardzo blisko kamery i są o dużych wymiarach – zaleca się wtedy wybranie obiektywu szerokokątnego.

JAKĄ KAMERĘ WYBRAĆ?

Wszystkie wspomniane parametry urządzenia mają różne znaczenie dla różnych użytkowników, a wybór konkretnego modelu powinien być podyktowany przede wszystkim przeznaczeniem kamery. Kamera, która będzie przeznaczona np. do wykonywania audytów energetycznych, powinna umożliwiać wykonywanie pomiarów ujemnych temperatur. Wysoki zakres w tym przypadku nie jest nam potrzebny (zakres $-20 \div +250^\circ\text{C}$ w zupełności jest wystarczający). Należy jednak pamiętać aby kamera posiadała detektor

o większej rozdzielczości tj. np. 384x288 i czułości – 80 mK, co w przypadku wykrywania małych ubytków ciepła jest niezbędne. Wbudowany aparat do zdjęć rzeczywistych będzie dodatkowym atutem.

Gdy natomiast kamera kupowana jest do działań utrzymania ruchu, należy wybrać model z większym zakresem pomiarowym (np. do 600 czy 1000°C), co umożliwi np. wykrywanie anomalii temperaturowych w urządzeniach elektrycznych i mechanicznych, wymurówkach kotłów lub innych instalacjach procesu technologicznego. Do takiego zastosowania wystarczy detektor o niższej rozdzielczości np. 160x120.

Odnosząc się do porównań z noktowizją, należy wspomnieć również o obserwacyjnych zastosowaniach termowizji. Obok typowego wykorzystania w monitoringu i ochronie mienia (większy zasięg nawet do 1 km oraz oszczędności wynikające z braku dodatkowego oświetlenia dużych powierzchni), urządzenia termowizyjne stosowane mogą być w wielu innych miejscach. Ciekawe zastosowanie znalazła nasza obserwacyjna kamera JK 350, która została zamontowana na suwnicy, umożliwiając obserwację terenu pod suwnicą w warunkach dużego zaparowania. Wykorzystanie w taki sposób kamery termowizyjnej wpłynęło na bezpieczeństwo pracy.



W trakcie wyboru kamery na pewno spotkamy się z dodatkowymi parametrami czy dodatkowymi funkcjami kamery. Na pewno trzeba zwrócić uwagę na wielkość wyświetlacza, aby jego przekątna wynosiła minimum 3,5". Taka wielkość zapewni nam komfortową pracę w terenie. Spośród dodatkowych funkcji przydatną okaże się funkcja fuzji obrazów, która umożliwia nakładanie na siebie obrazów termowizyjnych oraz rzeczywistych. Dodatkowym atutem przy wyborze kamery jest również oprogramowanie do analizy i tworzenia raportów. Zazwyczaj standardowa wersja oprogramowania dostarczana jest wraz z kamerą (jak w przypadku kamer HOTTIFIND).

Kończąc muszę podkreślić, że podczas zakupu kamery warto jest dokładnie przeanalizować wszystkie czynniki mające wpływ na jej pracę i to, jakie parametry są nam niezbędne. Informacje te mają znaczący wpływ na cenę oraz późniejsze pełne wykorzystanie kamery.



Mateusz Galonska

Ukończył Wydział Górnictwa i Geologii na Politechnice Śląskiej w Gliwicach. W Introlu pracuje od 2009 roku na stanowisku specjalisty ds. aparatury kontrolno-pomiarowej. Na co dzień zajmuje się między innymi doradztwem technicznym i doborem bezkontaktowych mierników temperatury do różnych wymagań i zastosowań.

Tel: 32 789 00 29



Mikromostek



Widok kilku pikseli



Detektor firmy ULIS



Obrazy z obserwacyjnych kamer termowizyjnych