

# **Instrukcja do laboratorium z fizyki budowli**

Ćwiczenie:

**DIAGNOSTYKA TERMOWIZYJNA**

## 1. PODSTAWY TEORETYCZNE

**Termografia** – określenie i przedstawienie rozkładu temperatury powierzchni oraz pomiar natężenia promieniowania podczerwonego z powierzchni, z uwzględnieniem interpretacji przypadkowych zjawisk wywołujących zniekształcenia obrazów cieplnych.

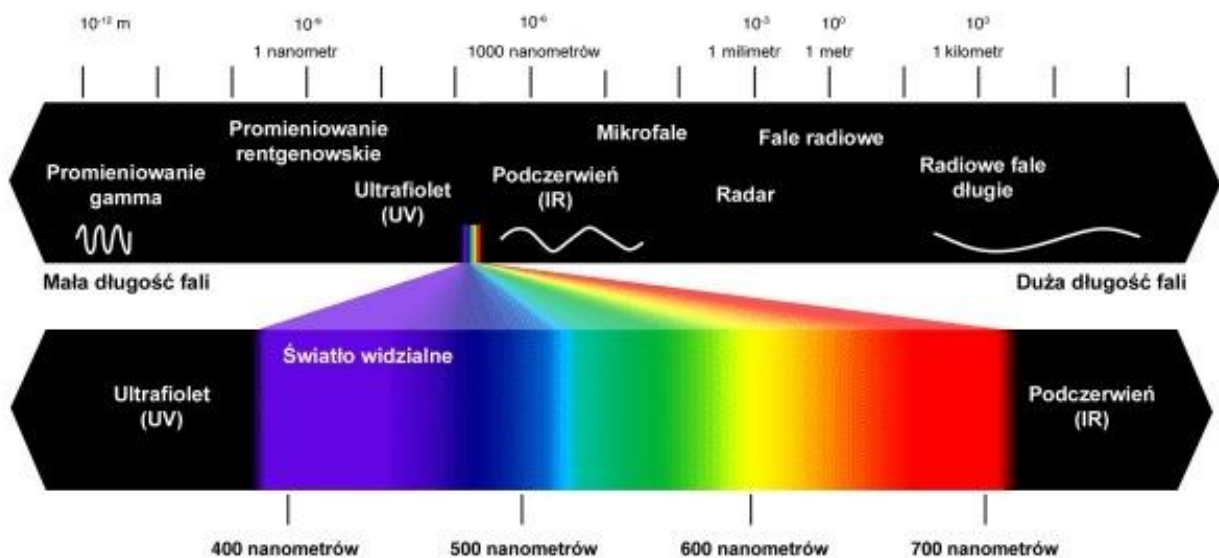
**Termografia budynku** – metoda wskazywania i przedstawiania rozkładu temperatury na powierzchni przegrody budynku.

Pomiary termowizyjne polegają na rejestracji i pomiarze natężenia promieniowania podczerwonego (fale elektromagnetyczne – Rys. 1), które jest emitowane przez wszystkie ciała o temperaturze wyższej od temperatury 0K (-273,15°C).

Powierzchnie ciał stałych emitują elektromagnetyczne promieniowanie ciepłe o widnie ciągłym. Promieniowanie podczerwone to zakres fali  $\lambda = 7 - 1000 \mu\text{m}$ .

Przyjęto umowny podział przedziału tego promieniowania na:

- bliska podczerwień NIR  $\lambda = 0,7 - 3 \mu\text{m}$ ,
- średnia podczerwień MIR  $\lambda = 3 - 6 \mu\text{m}$ ,
- daleka podczerwień FIR  $\lambda = 6 - 15 \mu\text{m}$ ,
- bardzo daleka podczerwień XIR  $\lambda = 15 - 1000 \mu\text{m}$



Rys. 1. Fale elektromagnetyczne

**Prawo promieniowania ciepłego Kirchoffa** - prawo, zgodnie z którym, w ustalonej temperaturze stosunek zdolności emisyjnej ciała do jego zdolności absorpcyjnej jest uniwersalną funkcją, taką samą dla wszystkich ciał.

$$\frac{E(\nu, T)}{A(\nu, T)} = \varepsilon(\nu, T)$$

gdzie:

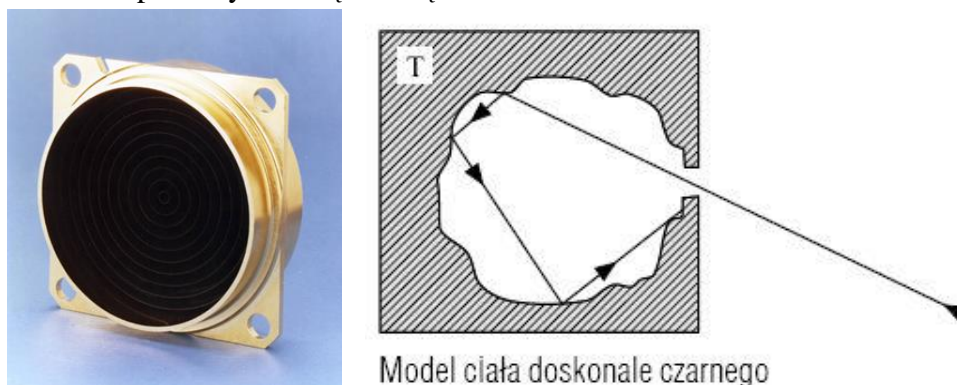
$E(\nu, T)$  - zdolność emisyjna ciała w dziedzinie częstości,

$A(\nu, T)$  - zdolność absorpcyjna ciała w dziedzinie częstości,

$\varepsilon(\nu, T)$  - uniwersalna funkcja Kirchoffa.

**Ciało doskonale czarne** -pojęcie stosowane w fizyce dla określenia ciała pochłaniającego całkowicie padające na niepromieniowanie elektromagnetyczne, niezależnie od temperatury tego ciała, kąta padania i widma padającego promieniowania. Współczynnik pochłaniania dla takiego ciała jest równy jedności dla dowolnej długości fali.

Ciało doskonale czarne (Rys. 2) nie istnieje w rzeczywistości, ale dobrym jego modelem jest duża wnęka z niewielkim otworem, pokryta od wewnątrz czarną substancją (np. sadzą). Promieniowanie wpadające do wnęki odbija się wielokrotnie od jej ścian i jest niemal całkowicie pochłaniane, natomiast parametry promieniowania wychodzącego z jej wnętrza zależą tylko od temperatury wewnątrz wnęki.



Rys. 2. Ciało doskonale czarne

**Prawo Stefana-Boltzmann**a opisuje całkowitą zdolność emisyjną ciała doskonale czarnego i wyraża się zależnością:

$$\Phi = \sigma T^4$$

gdzie:

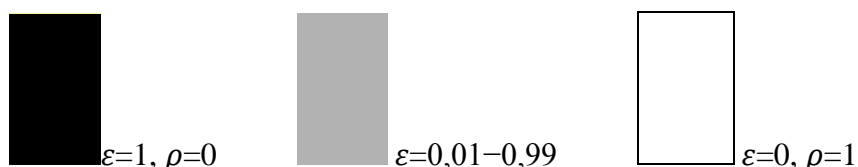
$\Phi$  - strumień energii wypromieniowany z jednostki powierzchni ciała [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],

$\sigma$  - stała Stefana-Boltzmana ( $\approx 5,67 \cdot 10^{-8}$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ ]),

$T$  - temperatura w skali Kelvina.

**Ciało szare** – ciało, które pochłania określoną współczynnikiem absorpcji część promieniowania padającego na to ciało bez względu na długość fali padającego promieniowania i temperaturę ciała. Wyznacza się stałą w czasie wartość absorpcyjności przy różnych długościach fal.

**Ciało doskonale białe** - modelowe ciało całkowicie rozpraszające padające na nie promieniowanie elektromagnetyczne, niezależnie od temperatury i widma padającego promieniowania.



Rys. 3. Współczynniki emisyjności odpowiednio dla: ciała doskonale czarnego, ciała szarego, ciała białego.

### Emisyjność powierzchni wybranych materiałów budowlanych:

Nazwa materiału i stan powierzchni:	Emisyjność	
	Promieniowanie niskotemperaturowe	Promieniowanie wysokotemperaturowe
Marmur szary szlifowany	0,93	0,30
Marmur ciemny szlifowany	0,93	0,65
Wapień jasny szlifowany	0,95	0,35
Wapień ciemny szlifowany	0,95	0,50
Piaskowiec szlifowany	0,83	0,54-0,73
Cegła ceramiczna czerwona	0,93	0,30
Cegła ceramiczna jasnobrązowa	0,93	0,65
Cegła ceramiczna biała glazurowana	0,95	0,35
Beton o powierzchni gładkiej	0,90	0,60
Tynk jasny	0,91	0,42
Tynk ciemny	0,94	0,73
Tynk gipsowy	0,90	
Azbest biały	0,88	0,38
Azbestocement biały	0,96	0,61
Drewno niemalowane	0,86	0,36
Papa czarna	0,88	0,91
Stal niskowęglowa polerowana	0,07	0,37
Stal niskowęglowa ocynkowana	0,28	0,64
Aluminium polerowane	0,04	0,30
Aluminium matowe	0,055	0,52
Szkoło okienne grubości 4,5mm	0,94	0,04

### Zastosowanie termowizji, stwierdzenie:

- wad technologicznych przegród budynków, błędów w dociepleniu, mostków cieplnych, zawilgoceń, filtracji powietrza,
- lokalizacji rur z ciepłą wodą, oraz wycieków i nieszczelności,
- zwiększonej rezystancji dla rozdzielni wszystkich napięć, transformatorów, szafek elektrycznych, uszkodzonych bezpieczników, linii WN i wszelkich złączy elektrycznych,
- złego stanu izolacji cieplnej kotłów, rurociągów, izolowanych kanałów, elektrofiltrów, kadzi (diagnostyka przedremontowa i powykonawcza),
- lokalizacji przebiegu sieci ciepłowniczej (inventaryzacja),
- złego stanu przewodów doprowadzających gazy,
- złego stanu wanień szklarskich i elektrolitycznych,
- wadliwie pracujących urządzeń mechanicznych (nadmierne przegrzanie),
- wewnętrznych samozapłonów hałd węglowych,
- uszkodzeń wymurówki pieców, kominów żelbetowych,
- ognisk pożarów leśnych,
- chorób (zastosowania medyczne).

### Zalety:

- termografia podczerwieni jest metodą badań nieniszczącą,

- metoda bezkontaktowa,
- promieniowanie bezpieczne dla otoczenia,
- szeroki zakres zastosowań oraz szeroki zakres mierzonych temperatur,
- umożliwia obserwację wartości temperatury badanego wycinka obiektu jednocześnie w każdym jego punkcie, bez konieczności żmudnego zbierania informacji punkt po punkcie,
- pomiar dokonywany jest w czasie rzeczywistym, obraz rozkładu temperatury badanego obiektu otrzymujemy natychmiast w chwili dokonywania pomiaru natychmiast może być on analizowany, przesłany, archiwizowany,
- umożliwia skuteczny pomiar temperatury panującej na powierzchni obiektów trudnodostępnych np: kominy, wysoko ulokowane rurociągi napowietrzne,
- eliminuje błąd wpływu czujnika na wynik pomiaru, co ma miejsce przy metodach tradycyjnych np: termometr stykowy,
- pozwala precyzyjnie i natychmiast wskazać miejsce awarii, co skutecznie skraca czas trwania i bezpośrednio wpływa na obniżenie jej kosztów,
- pozwala ograniczyć zakres prowadzonych remontów i napraw do elementów, które faktycznie tego wymagają, co skutkuje oszczędnością czasu i kosztów materiałowych,
- pozwala precyzyjnie określić jakość dokonanych remontów, co przekłada się na wymierne oszczędności.

#### **Wady:**

- wysoki koszt aparatury (w przypadku termografii aktywnej dodatkowy koszt układu stymulacji cieplnej),
- między kamerą podczerwieni, a powierzchnią badaną nie mogą znajdować się przeszkody,
- zjawiska konwekcji, promieniowania i przewodnictwa ciepła zakłócają pomiar,
- trudności otrzymania jednorodnego nagrzewania dużej powierzchni przy stosowaniu aktywnej termografii podczerwieni,
- przy zastosowaniu aktywnej podczerwieni można wykryć defekty tylko w powierzchniowej warstwie materiału,
- wyznaczanie rozkładu na powierzchni obiektu nieprzezroczystego dla podczerwieni wymaga znajomości wartości emisyjności powierzchni.

## **2. URZĄDZENIA POMIAROWE I ZASADA DZIAŁANIA**

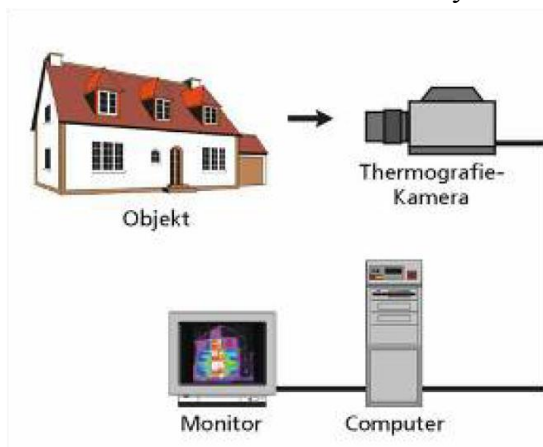
Pierwsze detektory w kamerach termowizyjnych wymagały schłodzenia ich podczas pracy do temperatury około minus 200°C za pomocą ciekłego azotu, a później mikroziębiarek sprężarkowych (czynnik roboczy – hel). Nowsze typy detektorów pracowały zadowolająco w minus 70°C (chłodzenie za pomocą chłodziarek termoelektrycznych). Współczesne detektory mikrobolometryczne działają zadowolająco w temperaturze 30°C.

Współczesne rozwiązania umożliwiają prowadzenie pomiarów za pomocą jednego urządzenia w zakresie temperatury -40°C ÷ +2000°C. Przy wysokich temperaturach

stosowane są filtry optyczne ograniczające intensywność promieniowania przechodzącego przez układ optyczny i padającego na detektor.

Równocześnie z rozszerzaniem zakresu pomiarowego temperatury poprawiana była czułość termiczna urządzeń termowizyjnych. Przy temperaturze 30°C czułość termiczna współczesnych kamer termowizyjnych o ogólnym przeznaczeniu jest na poziomie 0,08-0,1K. Parametr ten informuje o tym jaką minimalną różnicę temperatury jest w stanie wykryć detektor kamery.

Każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego jest źródłem promieniowania w paśmie podczerwieni a jego intensywność zależy od temperatury i cech powierzchni ciała. Kamery działające w podczerwieni dokonują pomiaru i zobrazowania energii podczerwonej wypromieniowywanej przez obiekt. Fakt, że promieniowanie jest funkcją temperatury powierzchni obiektu pozwala kamerze dokonać obliczenia i wyświetlenia tej temperatury.



Rys. 4. Schemat pomiaru kamerą termowizyjną – rysunek poglądowy.

Promieniowanie podczerwone wysyłane przez badany obiekt pada na obiektyw, gdzie po przejściu przez optykę otrzymuje się obraz zogniskowany na termoczułym detektorze przetwarzającym promieniowanie podczerwone na proporcjonalne sygnały elektryczne. Następnie sygnał podawany jest na przetwornik analogowo-cyfrowy i zostaje zamieniony na postać cyfrową, która jest dalej obrabiana w komputerze nadrzędnym i ostatecznie obraz jest wyświetlany na ekranie monitora w odpowiedniej skali barw: tarczy (kolory widoczne w tarczy-po rozszczepieniu światła białego), żelaza (kolory promieniowania widzialnego rozgrzewanego żelaza), stopniach szarości.

### 3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania kamery termowizyjnej oraz możliwościami pomiaru termowizyjnego. Każda grupa laboratoryjna ma za zadanie przeprowadzić kilka pomiarów dostępnych w sali laboratoryjnej obiektów ciepłych, z uwzględnieniem odpowiedniej emisyjności badanych obiektów jak również istotnych warunków pomiaru (temperatura otoczenia, wilgotność itd.). Każdy student musi dokonać prawidłowej interpretacji obserwowanego obrazu cieplnego wraz z uwzględnieniem przypadkowych zjawisk powodujących zniekształcenia obrazu.

#### **4. LITERATURA**

- [1] „Budownictwo ogólne, tom II, Fizyka budowli” (praca zbiorowa pod kierunkiem P. Klema), Arkady 2010,
- [2] „Fizyka cieplna budowli” T. Kisielewicz i in., PK, Kraków 1998,
- [3] „Fizyka podczerwieni” J.J. Houghton, Warszawa, PWN 1975
- [4] <http://www.flir.com.pl/>