

# ZASADY BEZSTYKOWEGO POMIARU TEMPERATURY Z UŻYCIEM NOWOCZESNYCH PIROMETRÓW

## PRINCIPLES OF NON-CONTACT TEMPERATURE MEASUREMENT USING MODERN PYROMETERS

inż. Adam DZIEWIECKI

Centrum Rzecznictwa Budowlanego Sp. z o.o., Warszawa

Artykuł recenzowany

---

### Streszczenie

Postęp w rozwoju elektroniki cyfrowej zrewolucjonizował w ostatnich latach sposób działania termometrów bezdotykowych. Większość nowoczesnych pirometrów wykazuje się wysoką dokładnością i stabilnością pomiaru w warunkach laboratoryjnych, jednakże, w realnych sytuacjach ich wyniki naznaczone są pewnymi błędami. Pomimo tego branża budowlana z powodzeniem wykorzystuje pirometry cyfrowe do uzyskiwania miarodajnych pomiarów badanych obiektów.

**Słowa kluczowe:** Termometr bezdotykowy, emisyjność, ciało doskonale czarne

---

### Summary

Advanced innovations and modern digital electronics have revolutionized infrared thermometers in recent years. Most modern pyrometers are highly accurate, precise and stable when used in a clean and controlled calibration laboratory; yet, incorrect performance is frequently obtained when general – purpose sensors are applied throughout the real – life situations. However, civil engineering industry has directly benefitted from the introduction of infrared pyrometers to produce reliable temperature readings under demanding empirical conditions.

**Keywords:** infrared thermometer, emissivity, black body

---

Pomiary temperatury są jednym z najczęściej mierzonych parametrów wśród wielkości nieelektrycznych, zaraz po pomiarze czasu. Temperatura odgrywa bardzo ważną rolę jako wskaźnik stanu produktu, procesu, obiektu, klimatu, czy stanu zdrowia pacjenta. Dzięki monitorowaniu zmian temperatury uzyskujemy istotne informacje dotyczące prognozowania zmian pogody, stanu zdrowia lub przebiegu procesów technologicznych.

Temperatura jest miarą tego, co nazywamy ciepłem lub zinnem w odniesieniu do jakiegoś ciała. Nie należy mylić tego pojęcia z ciepłem, gdyż ciepło jest ilością energii cieplnej.

Energia cieplna przepływa od ciała cieplejszego do zimniejszego, czyli od ciała posiadającego wyższą temperaturę do ciała o niższej temperaturze. Ciepło może być przekazywane przez przewodzenie, konwekcję lub promieniowanie.

Sposób przekazywania ciepła przez przewodzenie lub konwekcję wykorzystano do budowy termometrów stykowych. W skład takiego termometru wchodzi odpowiedni czujnik i urządzenie wyświetlające. Taka metoda pomiaru temperatury stosowana jest powszechnie w wielu dziedzinach techniki. Nie jest ona jednak wolna od pewnych wad. Właśnie sposób przekazywania energii między medium a czujnikiem powoduje powstawanie błędów pomiarowych. Błędy pomiarowe mogą wynikać z zaburzenia środowiska wywołanego pojawieniem się czujnika pomiarowego.

Sposobem na uniknięcie tego typu problemów jest wykorzystanie właściwości, iż każda forma materii o temperaturze powyżej zera absolutnego ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) emituje promieniowanie temperaturowe (obejmujące promieniowanie widzialne i podczerwone). Przedstawiona właściwość została wykorzystana do bezstykowego pomiaru temperatury.

Najprostszym sposobem bezstykowego określenia temperatury jest wykorzystanie ludzkiego oka do określenia charakterystycznych barw. W przypadku wysokich temperatur niektóre materiały np. stal emitują niewielkie ilości promieniowania widzialnego. Doświadczony kowal, hutnik może dość dokładnie oszacować temperaturę na podstawie koloru podgrzanego metalu. Oprócz wielu zalet pomiaru temperatury metodą bezstykową występują też pewne ograniczenia dotyczące stosowania tej metody pomiaru. Mimo tych ograniczeń następuje szybki rozwój tej bardzo użytecznej techniki pomiaru, chociażby w wyszukiwaniu wad konstrukcyjnych budynków. Jednym z urządzeń stosowanych z powodzeniem w wykonywaniu tego typu pomiarów jest pirometr.

Pirometr jest bezstykowym optycznym urządzeniem odbierającym promieniowanie cieplne (radiacyjne) obiektu i służące do pomiaru temperatury powierzchni tego obiektu. Tym samym jest to pewien rodzaj termometru, a dokładniej termometru radiacyjnego.

Pirometr składa się z:

- systemu optycznego,
- detektora
- układu pomiarowego z wyświetlaczem.

Pomiary za pomocą pirometrów całkowitego promieniowania (radiacyjnych) oparte są na porównaniu parametrów promieniowania obiektu mierzonego z własnościami promieniowania ciała doskonale czarnego. Zmierzona w ten sposób wielkość jest zwana temperaturą czarną promieniowania całkowitego. Jest to temperatura bezwzględna ciała czarnego emitującego promieniowanie o takim samym natężeniu, co natężenie promieniowania badanego ciała.

Temperaturę rzeczywistą można obliczyć z zależności:

$$T_{rz} = T_{cz} \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon}}$$

gdzie:

$T_{rz}$  – temperatura rzeczywista;

$T_{cz}$  – zmierzona piometrem temperatura czarna;

$M$  – współczynnik emisyjności dla pełnego zakresu widma promieniowania.

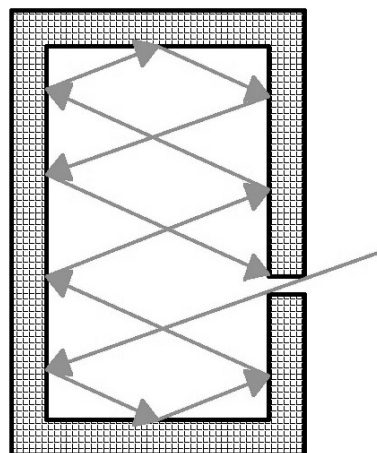
Pomiar temperatury piometrem radiacyjnym sprowadza się do skierowania piometru na mierzony obiekt i odczytanie wartości mierzonej temperatury na przyrządzie wskazującym.

Istniejące pole temperaturowe nie ulega zakłóceniu. Wykorzystano zjawisko promieniowania temperaturowego, które jest jednym z rodzajów promieniowania elektromagnetycznego. W wyniku oddziaływania ciepła cząsteczki znajdujące się na powierzchni zwiększają ruch, powodując przemieszczanie się ładunków, wywołując jednocześnie promieniowanie elektromagnetyczne. Mierzona temperatura określana jest na podstawie natężenia promieniowania wyemitowanego przez monitorowany obiekt. Strumień cieplny padający na określoną powierzchnię podlega:

- pochłanianiu  $A$ ,
  - odbiciu  $R$ ,
  - przepuszczeniu  $P$ .
- Suma tych strumieni dla każdego ciała wynosi:

$$A + R + P = 1$$

Jeżeli strumień jest całkowicie pochłaniany przez ciało, czyli  $A=1$ ,  $R=0$ ,  $P=0$ , to mamy do czynienia z ciałem doskonale czarnym. Przykładem takiego rozwiązania jest model przedstawiony na rysunku poniżej. Warunkiem całkowitego pochłaniania strumienia jest wielokrotne odbicie wewnątrz przedstawionego modelu.



Rys. 1. Model ciała doskonale czarnego

Ciało czarne to obiekt, który pochłania całe padające na niego promieniowanie, niezależnie od długości fali. Prawo Kirchhoffa (od nazwiska Gustava Roberta Kirchhoffa, 1824–1867) mówi, że ciało zdolne do absorpcji całego promieniowania o dowolnej długości fali jest również zdolne do emitowania promieniowania. Jeśli temperatura promieniowania ciała czarnego wzrośnie powyżej 525°C (977°F), staje się ono widzialne i przestaje być postrzegane jako czarne. Jest to początkowo barwa czerwona, która wraz z dalszym wzrostem temperatury przechodzi w barwę pomarańczową lub żółtą. W istocie tak zwana temperatura barwowa ciała jest definiowana jako temperatura, do której musi zostać ogrzane ciało czarne, aby wyglądało tak samo, jak dane ciało.

Rozkład widmowy promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego z ciała doskonale czarnego opisał Max Planck:

$$u(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^3} \cdot \frac{d\lambda}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

gdzie:

$h$  – stała Plancka;

$T$  – temp. ciała doskonale czarnego;

$c$  – prędkość światła w próżni;

$k$  – stała Boltzmanna;

$\lambda$  – długość fali promieniowania

Należy pamiętać, że stała Boltzmanna nie jest tożsama ze stałą Stefana-Boltzmanna. Wzór Plancka przedstawiony w postaci wykresu dla różnych temperatur jest zbiorem krzywych. Na dowolnej krzywej Plancka emitancja widmowa wynosi zero przy  $\lambda = 0$ , a następnie gwałtownie rośnie do maksimum przy długości fali  $\lambda_{max}$ , za którą ponownie spada do zera przy bardzo dużych

długościach fal. Im wyższa temperatura, tym mniejsze długości fal, przy których występuje maksimum.

Szybkość przekazywania ciepła  $Q_r$  między źródłem promieniowania a dowolnym punktem ma postać:

$$Q_r = \varepsilon K A T^4$$

gdzie:

$\varepsilon$  – współczynnik emisyjności powierzchni,

$K$  – stała Stefana – Boltzmana,

$A$  – powierzchnia promieniująca,

$T$  – temperatura powierzchni

Z tej zależności wynika, że emisyjność powierzchni jest bardzo istotnym czynnikiem.

Emisyjność, z wyjątkiem powierzchni metalowych, nie jest uzależniona od temperatury i długości fali. Jest ona natomiast uzależniona od stanu powierzchni i jej jednorodności. Wymienione czynniki wpływają na wielkość błędów pomiarowych występujących przy bezdotykowym pomiarze temperatury.

Emisyjność jest w uproszczeniu miarą intensywności promieniowania emitowanego z obiektu w stosunku do intensywności promieniowania emitowanego przez ciało doskonale czarne o tej samej temperaturze. Różne materiały i ich obrobione powierzchnie charakteryzują się emisyjnością w zakresie od 0,1 do 0,95. Dobrze wypolerowane (lustrzane) powierzchnie mają emisyjność poniżej 0,1. Oksydowane lub pomalowane mają większą. Farba olejna, niezależnie od jej koloru w świetle widzialnym, ma w obszarze podczerwieni emisyjność ponad 0,9. Skóra ludzka wykazuje emisyjność od 0,97 do 0,98. Nieoksydowane metale są skrajnym przypadkiem połączenia doskonałej nieprzezroczystości i wysokiego współczynnika odbicia, który w niewielkim stopniu zależy od długości fali. Wskutek tego emisyjność metali jest niewielka, a jej wartość zwiększa się ze wzrostem temperatury. W przypadku niemetali emisyjność jest na ogół wysoka, a jej wartość zmniejsza się ze wzrostem temperatury.

Całkując wzór Plancka w granicach  $\lambda = 0$  do  $\lambda = \infty$ , otrzymujemy znany wzór Stefana-Boltzmana, określający emitancję ciała doskonale czarnego:

$$E_0 = \sigma T^4$$

gdzie:

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>] – stała Stefana-Boltzmana,

$T$  – temperatura w Kelvinach

Z powyższego wynika też, że ciało rzeczywiste (zwane szarym) emituje i absorbuje mniej energii  $E$  niż ciało doskonale czarne, ponieważ  $E = E_0 \cdot \beta$ , a  $\beta < 1$ .

Natomiast pole powierzchni pod krzywą Plancka obrazuje ilość energii zawartej w promieniowaniu o danej temperaturze. Emisyjności nie należy mylić z emitancją, będącą miarą mocy promieniowania przechodzącego przez jednostkowy element powierzchni. Zazwyczaj podaje się ją w W/m<sup>2</sup>.

Różniczkując równanie Plancka względem  $\lambda$  i wyznaczając maksimum, otrzymujemy prawo przesunięcia Wiena:

$$\lambda_{\max} = 2898/T \text{ [}\mu\text{m]}$$

Wyraża ono matematycznie znane zjawisko zmiany kolorów od czerwonego do żółtego w miarę wzrostu temperatury ciała. Długość fali barwy jest taka sama jak wyznaczona długość fali  $\lambda_{\max}$ . Dobre przybliżenie wartości  $\lambda_{\max}$  dla danej temperatury ciała czarnego można uzyskać, stosując eksperymentalnie wyznaczoną skalę  $3000/T \mu\text{m}$ . A zatem w przypadku bardzo gorących gwiazd, takich jak Syriusz (11 000 K), emitujących światło niebieskawo-białe, szczyt emitancji widmowej przypada na niewidoczną część widma w obszarze ultrafioletu, przy długości fali 0,27  $\mu\text{m}$ . Słońce (około 6 000 K) emituje światło żółte, a jego maksimum przypada na wartość 0,5  $\mu\text{m}$ , pośrodku widma światła widzialnego. W temperaturze pokojowej (300 K) szczyt emitancji przypada na długość fali 9,7  $\mu\text{m}$  i znajduje się w dalekiej podczerwieni, a w temperaturze ciekłego azotu (77 K) maksimum znikomej emitancji przypada na długość fali 38  $\mu\text{m}$  i znajduje się w bardzo dalekiej podczerwieni.

Jako przykład można zauważyć, że płomień świecy, rozżarzony węgiel, sztaba żelaza nagrzana w palenisku, oraz surówka w piecu hutniczym są doskonale widoczne. Barwy tych przedmiotów świadczą o wartości emitowanego promieniowania elektromagnetycznego, co w sposób bezpośredni przekłada się na temperaturę. Jeżeli temperatura przedmiotu osiągnie wartość 525 °C, wtedy przedmiot emituje promieniowanie elektromagnetyczne w dolnym przedziale pasma widzialnego i taki przedmiot widoczny jest w kolorze ciemno bordowym. Wraz ze wzrostem temperatury kolor obserwowanego obiektu nabiera barwy czerwonej, następnie pomarańczowej, żółtej, białej. Dlatego też kolor płomienia świecy widzimy jako pomarańczowy, gdyż najwyższa temperatura może wynosić około 800°C. Słońce ma temperaturę około 6.000°C i dlatego widzialne światło słoneczne postrzegane jest jako białe.

Jak wcześniej wspomniano, doskonałym źródłem promieniowania jest ciało czarne. Jego współczynnik emisyjności wynosi 1. Wartości emisyjności dla różnych materiałów są zróżnicowane.

**Tabela 1.** Przykładowe współczynniki emisyjności

Materiał	Typowa wartość $\varepsilon$	Materiał	Typowa wartość $\varepsilon$
Utlenione aluminium	0,11	Stal	0,80÷0,95
Miedź neutleniona	0,20÷0,30	Cegła (szorstka czerwona)	0,91÷0,94
Mosiądz	0,60	Porcelana (szklawiona)	0,91÷0,94
Miedź utleniona	0,60	Farby	0,91÷0,94
Żelazo	0,65÷0,80	Sadza	0,95÷0,99
Węgiel	0,80	Lód	0,95÷0,99
Papier	0,90	Woda	0,95÷0,99

Główną zaletą pirometrów jest możliwość pomiaru zdalnego. Kontakt z powierzchnią nie jest wymagany, badane jest tylko promieniowanie wysyłane przez powierzchnię, której temperaturę należy zmierzyć. Stąd pirometrami mierzy się temperaturę powierzchni trudno dostępnych, Współczynnik emisyjności dla danego materiału należy uwzględnić przy wykonywaniu pomiarów. Promieniowanie przebywając drogę wypełnioną materią, wytraca część

energii. Para wodna, zanieczyszczenia w postaci pyłu, dymu, dwutlenku węgla, stają się wtórnym źródłem promieniowania cieplnego. Wymienione czynniki mają wpływ na dokładność wykonywanych pomiarów.

Typowy przenośny pirometr może mierzyć z odległości 1 m średnią temperaturę powierzchni kołowej o średnicy kilku centymetrów. Im większa jest odległość pirometru od przedmiotu, tym większa jest średnica koła, z którego pirometr zbiera promieniowanie podczerwone. Dla łatwiejszego zlokalizowania powierzchni, z której zbierane jest promieniowanie, pirometry są zwykle wyposażone w celownik laserowy. Promień lasera jest widoczny w postaci czerwonej plamki na przedmiocie. Położenie tej plamki wskazuje środek koła, stanowiącego pole widzenia pirometru. Niektóre pirometry są wyposażone w celownik dwupunktowy. W tym przypadku dwie plamki wskazują dwa przeciwległe skrajne punkty pola widzenia termometru, co umożliwia ocenę wielkości pola widzenia na przedmiocie.

Dla wykonania prawidłowego pomiaru jest konieczne, aby pole widzenia pirometru nie wychodziło poza przedmiot, którego temperaturę mierzymy. W przeciwnym przypadku pirometr będzie zbierał promieniowanie podczerwone nie tylko z przedmiotu, ale także z otoczenia (tła). Spowoduje to błędny wynik pomiaru. Typowy zakres pomiarowy pirometru wynosi od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $500^{\circ}\text{C}$ . Pirometry do celów przemysłowych mierzą temperatury nawet do  $2000^{\circ}\text{C}$ . Dla pirometrów dokładność jest podawana zwykle jako odchylenie od wartości rzeczywistej oraz odchylenie procentowe, np.  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  i  $\pm 2\%$ . Przy ocenie dokładności wyniku przyjmuje się większą z tych dwóch wartości. Np. jeśli odczytany wynik wynosi  $30^{\circ}\text{C}$ , to 2% tej wartości wynosi  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Przyjmujemy, że możliwy błąd to  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , a temperatura rzeczywista mieści się w zakresie  $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Jeśli wynik wynosi  $100^{\circ}\text{C}$ , to 2% tej wielkości stanowi  $2^{\circ}\text{C}$ . Przyjmujemy, że możliwy błąd to  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , a wynik mieści się w zakresie  $100 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Rozdzielczość optyczna pirometru jest stosunkiem odległości od przedmiotu do średnicy kołowego pola widzenia pirometru. Parametr ten jest stały i pozwala wyznaczyć średnicę pola widzenia na danej odległości. Typowe wartości rozdzielczości optycznej pirometrów wynoszą od 3:1 do 100:1. W praktyce pole widzenia nie ma ostrej granicy, ani też nie jest idealnie kołowe. Dlatego należy pozycjonować pole widzenia na przedmiocie tak, aby powierzchnia przedmiotu wykraczała poza teoretyczne, kołowe pole widzenia. Rozdzielczość optyczna bywa też nazywana ogniskową lub optyką pirometru. Będących w ruchu, agresywnych chemicznie, odległych lub powierzchni o najwyższych temperaturach. Dodatkową zaletą jest też niezakłócanie istniejącego pola temperatury oraz szeroki zakres i możliwość pomiaru najwyższych temperatur.

Natomiast główne wady pirometrów to: zależność wyniku pomiarów od emisyjności i kierunkowości promieniowania powierzchni, duża czułość na zakłócenia (promieniowanie postronne, pochłanianie promieniowania), cena urządzenia.

Zalety stosowania pirometru:

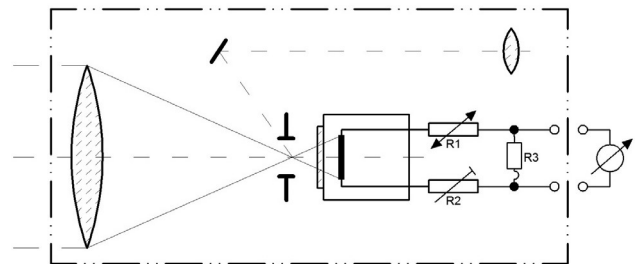
- bardzo szybki pomiar,
- możliwość pomiaru elementów poruszających się,

- pomiar temperatury w miejscach niebezpiecznych, np. będących pod napięciem elektrycznym,
- pomiar bardzo wysokich temperatur (powyżej  $1300^{\circ}\text{C}$ ),
- brak zaburzenia pola termicznego,
- brak kontaktu mechanicznego z badanym obiektem

**Pirometry radiacyjne** tradycyjnie stosuje się do pomiarów temperatur większych od około  $1000^{\circ}\text{C}$ . Jednak postęp technologiczny w dziedzinie detektorów promieniowania pozwala na użycie pirometrów w niższych temperaturach. Sygnał wyjściowy pirometru będący siłą termoelektryczną  $E$  termoelementu jest zależny od różnicy temperatury detektora  $T_p$  („gorący” koniec termoelementu) i temperatury obudowy  $T_{ob}$  („zimny” koniec termoelementu), która jest tutaj temperaturą otoczenia.

$$E = K_e \cdot (T_p - T_{ob})$$

gdzie  $K_e$  jest współczynnikiem zależnym od rodzaju złączonych elementów



Rys. 2. Schemat Pirometru radiacyjnego

**Pirometry fotoelektryczne** należą do grupy pirometrów samoczynnych, wykorzystują określone pasma długości fal  $\lambda_1 \div \lambda_2$ , dobrane w zależności od zastosowań pirometru. Dlatego niekiedy zwane są pirometrami pasmowymi. Zależność między temperaturą wskazaną  $T_w$  przez pirometr, a rzeczywistą temperaturą obiektu  $T_r$  opisuje wzór:

$$T_r = T_w \cdot n \sqrt{\frac{1}{\epsilon_{srob}}}$$

gdzie:

$T_w$  – temperatura wskazana przez pirometr [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$T_r$  – temperatura rzeczywista obiektu [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$\epsilon_{srob}$  – oznacza średnią wartość emisyjności obiektu w paśmie długości fal w których pracuje detektor,

$n = 5 \div 12$  wykładnik, który rośnie wraz ze zmniejszaniem się szerokości wykorzystywanego pasma długości fal; jeśli  $\lambda_1 - \lambda_2$  dąży do zera, to wtedy właściwości pirometru fotoelektrycznego zbliżają się do właściwości pirometru monochromatycznego a  $n \rightarrow 12$ .

**Pirometry monochromatyczne** z zanikającym włóknem należą do grupy pirometrów obsługiwanych ręcznie, zwane także iluminacyjnymi. Pracują przy tak wąskim paśmie promieniowania temperaturowego, że można w przybliżeniu mówić o jednej długości fali  $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$ . Obecnie są rzadziej stosowane. Zależność między temperaturą

wskazaną  $T_w$  przez pirometr a rzeczywistą temperaturą obiektu  $T_r$  ujmuje wzór:

$$T_r = \frac{1}{\frac{1}{T_w} + \frac{\log \varepsilon_{ob}}{9613}}$$

gdzie:

$T_w$  – temperatura wskazana przez pirometr [°C],

$T_r$  – temperatura rzeczywista obiektu [°C],

$\varepsilon_{ob}$  – emisyjność obiektu dla długości fali  $\lambda=0,65\mu\text{m}$ .

**Pirometry dwubarwne** należą do grupy pirometrów obsługiwanych ręcznie, w których natężenie promieniowania wysyłanego w dwóch różnych długościach fal  $\lambda_1$  oraz  $\lambda_2$  zakresu widzialnego, czyli barwach, jest porównywane okiem ludzkim.

Najczęściej stosowanymi barwami są:

- zielona  $\lambda_1 = 0,55 \mu\text{m}$ ,
- oraz czerwona  $\lambda_1 = 0,65 \mu\text{m}$ .

Obserwator, patrząc przez pirometr na obiekt, tak ustawia filtr przesuwany, aby widzieć barwę szarą. Szczególną właściwością tych pirometrów jest fakt, że wskazana wartość temperatury obiektu (ciała szarego:  $\varepsilon_{ob}(\lambda, T) = \text{const.}$ ) nie zależy od wartości jego emisyjności  $\varepsilon_{ob}$ . Ponadto obiekt nie musi wypełniać całkowicie pola widzenia tak, jak jest to w przypadku pirometrów jednokolorowych (monochromatyczny, fotoelektryczny, radiacyjny). Jeżeli obiekt, który wypełnia pole widzenia pirometru, zostanie przysłonięty, przykładowo w połowie, to połowa natężenia promieniowania obiektu dotrze do detektora.

**Pirometr Pyrocord** może służyć do pomiarów i rejestracji temperatury, automatyzacji procesów przemysłowych, a także przy zastosowaniu układu, styków indukcyjnych do utrzymania stałej temperatury procesu technologicznego. Przeznaczony jest do pracy w ciężkich warunkach przemysłowych. Do pirometru Pyrocord w wykonaniu normalnym można zastosować dodatkowy układ optyczny, umożliwiający prowadzenia pomiarów małych obiektów promieniowania.

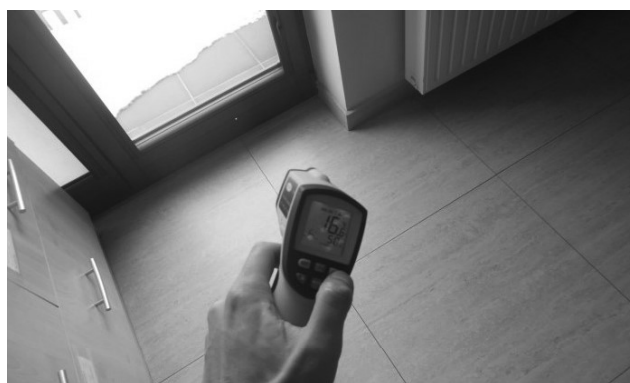
Centrum Rzeczoznawstw Budowlanego Sp. z o.o. posiada na wyposażeniu pirometr 900 – EN – 00. Używany jest najczęściej podczas oględzin obiektów inżynierskich w celu szybkiego zidentyfikowania np. mostków ciepłych, miejsc niewłaściwie ocieplonych. Jest również pomocny przy określaniu powstawania wczesnych objawów zawilgocenia.



Fot. 1. Zestaw z pirometrem używany w CRB Sp. z o.o.



Fot. 2. Pomiar temperatury grzejnika, która wynosi 28,4°C



Fot. 3. Pomiar temperatury framugi okna, która wynosi 16,6°C

## Literatura

1. Baryłka A., Baryłka J., 2016, *Eksploracja obiektów budowlanych. Poradnik dla właścicieli i zarządców nieruchomości*, Wyd. CRB, Warszawa.
2. Baryłka A., *Okresowe kontrole obiektów budowlanych w procesie ich eksploatacji*. Wyd. Centrum Rzeczoznawstwa Budowlanego, Warszawa, 2016.
3. Baryłka A., *Wprowadzenie do inżynierii bezpieczeństwa obiektów budowlanych*. Chłodnictwo 4,5/2015, Spawalnictwo 4/2015
4. Baryłka A.: Diagnostyka budowlana istotnym narzędziem inżynierii bezpieczeństwa obiektów budowlanych centrów logistycznych. Referat zgłoszony na I Ogólnopolską Konferencję Naukowo-Techniczną pt. Inżynieria bezpieczeństwa obiektów antropogenicznych. OW SIMP i CRB, 19-20.11. 2015 r.
5. Baryłka A.: Diagnostyka budowlana istotnym narzędziem inżynierii bezpieczeństwa infrastruktury kolejowej, Konferencja naukowa pt. Innowacje w infrastrukturze kolejowej aspekty logistyczne – Akademia Obrony Narodowej – 09.04.2015
6. L. Michalski, K. Eckersdorf, *Pomiary temperatury*, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 1986
7. Smolarz A. i inni: *Pirometr światłowodowy. Czujniki Optoelektroniczne*; Elektroniczna VI Konferencja Naukowa COE 2000, Warszawa 2000.
8. Bielecki Z., Rogalski A.: *Detekcja sygnałów optycznych*, WNT, Warszawa 2001