

DOI 10.21008/j.1897-0737.2020.104.0010

Paweł KOWALSKI\*, Robert SMYK\*

## WPLYW ODLEGŁOŚCI NA WYNIK TERMOWIZYJNEGO POMIARU TEMPERATURY

Kamery termowizyjne umożliwiają bezdotkowy pomiar temperatury przy pośrednim wykorzystaniu techniki pomiaru promieniowania docierającego do sensora optycznego. Pomiaru takie zazwyczaj są wykonywane z niewielkich odległości od kilku centymetrów do kilku metrów. Zasadniczo podczas pomiarów uwzględniane są właściwości fizyczne badanego ciała mające wpływ na emisyjność. Jednak w praktyce przy pomiarze temperatury z większych odległości, sięgających kilkudziesięciu metrów, uzyskuje się inne wartości niż w przypadku pomiaru z małej odległości. Może to świadczyć o wpływie na błąd pomiaru temperatury losowych czynników pochodzących od środowiska. W ramach pracy przeprowadzone zostały badania polegające na bezdotkowym pomiarze temperatury na dystansie od 1 do 56 metrów. Wyznaczona została zależność błędu odczytanej temperatury od odległości.

**SŁOWA KLUCZOWE:** bezdotkowy pomiar temperatury, termowizja, kamera termowizyjna, przetwarzanie obrazu.

### 1. WSTĘP

Bezdotkowy pomiar temperatury w warunkach przemysłowych współcześnie bardzo często wykonywany jest za pomocą kamer termowizyjnych. Specyficznym przykładem może być tu ocena występowania lub niewystępowania uszkodzenia infrastruktury technicznej znajdującej się na hali produkcyjnej. Innym przykładem mogą być pomiary wykonywane w celu oceny strat ciepła w budynkach [1, 2]. W tym celu wykrywano są miejsca o względnie wysokiej temperaturze na zewnątrz budynku lub względnie niskiej temperaturze wewnątrz budynku. Miejsca takie z reguły oznaczają obszary charakteryzujące się wysokimi stratami ciepła. Innym przykładem zastosowania termogramów są badania nieniszczące materiałów kompozytowych [3]. Specyficznym przykładem wykorzystania termowizji jest wykrywanie defektów typu hot-spot w elektroenergetycznych liniach wysokiego napięcia lub w innych urządzeniach elektrycznych i elektronicznych [4, 5].

---

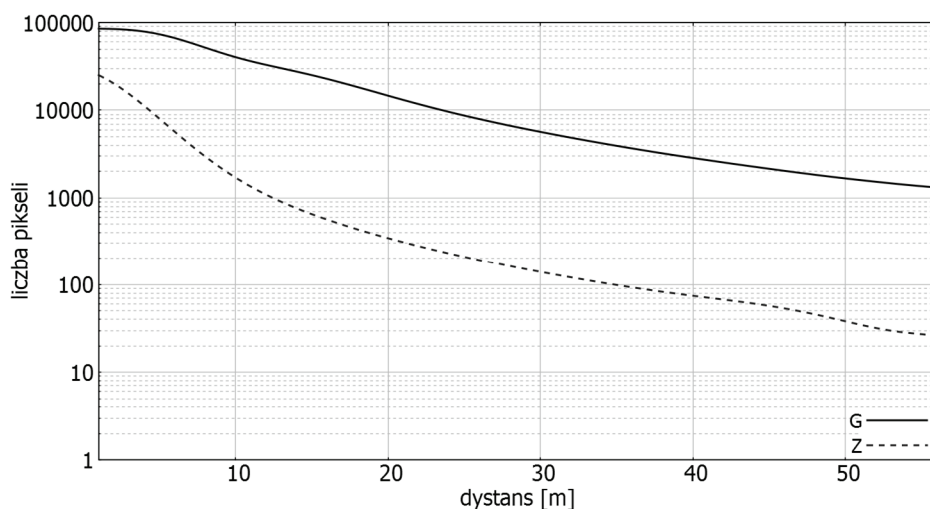
\* Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Elblągu

Wśród kamer termowizyjnych można wyróżnić kamery przystosowane do pomiaru bezwzględnej temperatury za pomocą każdego z czujników matrycy rejestrującej obraz termowizyjny. W takim wypadku jasność każdego piksela zarejestrowanego obrazu jest liniowo zależna od zmierzonej temperatury. Tego typu urządzenia nazywane są kamerami radiometrycznymi [6]. Takie urządzenia mają szerokie zastosowanie np. w medycynie do pomiaru temperatury ciała [7]. Zazwyczaj jest to badanie przeprowadzane ze stosunkowo niewielkiej odległości. Jednak może zachodzić potrzeba precyzyjnego wyznaczenia temperatury z większej odległości. W takim przypadku wraz z jej wzrostem może wzrastać błąd pomiaru temperatury. Wskazane jest wówczas wyznaczenie charakterystyki zależności błędu od odległości i ewentualna korekta takiego błędu. W niniejszym artykule przeprowadzono eksperyment pozwalający na uzyskanie charakterystyki zmierzonej temperatury w funkcji odległości od badanego obiektu.

## 2. WARUNKI PRZEPROWADZANIA POMIARÓW

W celu zbadania wpływu odległości na błąd pomiaru temperatury przeprowadzono eksperyment z pomiarem temperatury w odległości od 1 m do 56 m. Badanie przeprowadzono w zamkniętym pomieszczeniu pozbawionym urządzeń wymuszających ruchy powietrza. W badaniu wykorzystano dwa obiekty, jeden o rzeczywistej temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  oraz jeden o temperaturze wynoszącej  $42^{\circ}\text{C}$ . Obiekt o rzeczywistej temperaturze  $42^{\circ}\text{C}$  był obiektem o najwyższej temperaturze w pomieszczeniu. Jednocześnie oprócz jednego człowieka oraz jednego komputera przenośnego był to jedyny obiekt o temperaturze wyższej niż temperatura otoczenia. Natomiast obiekt o temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  był obiektem o najniższej temperaturze w pomieszczeniu. Był to plastikowy pojemnik wypełniony wodą z lodem. Podczas pomiarów temperatura obiektów była kontrolowana metodą kontaktową przy użyciu termopary. Współczynniki emisyjności obu obiektów wynoszą 94%. Podczas pomiarów nie zaobserwowano zmian temperatury obiektów przy pomiarze termoparą. Temperatura otoczenia wynosiła  $21^{\circ}\text{C}$ . Badania zostały przeprowadzone z użyciem kamery termowizyjnej ustawionej prostopadle do badanych obiektów. Wykorzystano kamerę Flir Tau2 w wersji radiometrycznej wraz z obiektywem 50 mm. Jej rozdzielczość wynosi  $336 \text{ px} \times 256 \text{ px}$ , a czułości  $50 \text{ mK}$  [6, 8]. Transmisyjność soczewki została przez producenta ustawiona na 83%. Emisyjność obiektu została ustawiona na 100%, a transmisyjność atmosfery na 100%. Parametry pracy zostały tak dobrane, aby wewnętrzne algorytmy korekty temperatury nie wpływały na wartość odczytanej temperatury. W ten sposób uzyskane zostały surowe wartości zarejestrowane przez poszczególne czujniki matrycy. Użyta kamera jest przystosowana do rejestracji obrazu w zakresie długiej podczerwieni, czyli fal o długości od  $7,5 \mu\text{m}$  do  $13,5 \mu\text{m}$ . W zakresie tym emitancja widmowa ciała doskonale czarnego o temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  oraz  $42^{\circ}\text{C}$  osiąga maksymalną wartość [9].

Pomiary były wykonywane z krokiem pomiarowym równym 1 m, w odległości kamery od 1 m do 56 m od obiektu. W każdym punkcie pomiarowym zapisywane były dwa obrazy zarejestrowane przez kamerę termowizyjną. Powierzchnia i położenie badanych obiektów w obrazie została określona arbitralnie. Oznacza to, że piksele reprezentujące obiekt G oraz Z zostały określone ręcznie dla każdego zarejestrowanego zdjęcia i zapisane w postaci masek bitowych wykorzystywanych w dalszym przetwarzaniu obrazów. Pozwoliło to na wyznaczenie obszaru pikseli należących do każdego z obiektów. Zbiór pikseli reprezentujących obiekt o temperaturze wyższej od temperatury otoczenia został oznaczony jako G, natomiast zbiór pikseli reprezentujących obiekt o temperaturze niższej od temperatury otoczenia został oznaczony jako Z. Na rysunku 1 przedstawiono zależność liczby pikseli należących do obiektu G oraz liczby pikseli należących do obiektu Z od odległości z jakiej zostały one zarejestrowane.



Rys. 1. Liczba pikseli reprezentujących obiekt G oraz Z w funkcji odległości

W obrazie zarejestrowanym z odległości do 2 m obiekt G zajmuje całą powierzchnię obrazu, 86016 pikseli. Natomiast obiekt Z w obrazie zarejestrowanym z odległości 1 m zajmuje 31088 pikseli. Wraz ze wzrostem odległości liczba pikseli reprezentujących każdy z obiektów maleje. W obrazie zarejestrowanym z odległości 56 m obiekt G został zarejestrowany przez 1274 piksele, a obiekt Z przez 24 piksele.

Pomiar temperatury z użyciem obrazu termowizyjnego, pozyskanego przy użyciu kamery, został zrealizowany z wykorzystaniem procedury obróbki obrazu w trybie post processingu. W tym celu posłużono się specjalnie opracowaną autorską aplikacją napisaną w języku C++.

### 3. KOMENTARZ WYNIKÓW POMIARU TEMPERATURY

Dane rejestrowane przez kamerę termowizyjną zapisywane są w postaci obrazu rastrowego. Graficznie obraz taki jest reprezentowany poprzez zestaw pikseli i może zostać wyświetlony w skali szarości lub przy użyciu odpowiedniej palety barw. W przypadku obrazu w skali szarości z każdym pikselem powiązana jest informacja o jego jasności. W pamięci obraz taki może być reprezentowany w postaci macierzy, w której każdy element odpowiada pojedynczemu pikselowi. Wartość pojedynczego elementu wyznacza jasność odpowiedniego piksela w obrazie. W dalszej części pojęcie obraz będzie rozumiane jako macierz reprezentująca obraz, a jej pojedyncze elementy będą skrótowo nazywane pikselami. W takim przypadku można mówić o wartości piksela, która jest wartością elementu macierzy reprezentującej obraz.

Wykorzystana kamera FLIR Tau2 umożliwia rejestrację obrazów w trybie *TLinear* [10]. Oznacza to, że wartość pojedynczego piksela reprezentuje bezwzględną temperaturę zmierzoną przy użyciu pojedynczego czujnika matrycy. Surowy wynik pomiaru jest reprezentowany przez 14-bitową liczbę całkowitą. Jej wartość jest liniowo zależna od zmierzonej temperatury. Rejestracja obrazu możliwa jest w dwóch trybach *TLinear*: wysokiej rozdzielczości (ang. high resolution) oraz niskiej rozdzielczości (ang. low resolution) [10]. W przypadku wysokiej rozdzielczości, jednostkowa różnica w surowej wartości jest przeliczana na różnicę temperatury równą 0,04 K. Natomiast w przypadku niskiej rozdzielczości jednostkowa różnica w wartości surowej jest przeliczana na różnicę temperatury równą 0,4 K.

W ramach pracy przeprowadzono badania z wykorzystaniem obrazów zarejestrowanych w trybie *TLinear* o wysokiej rozdzielczości. Obiekt w takim obrazie jest reprezentowany przez pewien zbiór pikseli. Wartość każdego z pikseli jest w rzeczywistości wynikiem pomiaru temperatury niewielkiego obszaru tego obiektu. W obrębie jednego obiektu wartości pojedynczych pikseli mogą się od siebie różnić. W celu zbadania wielkości tych różnic zostało wyznaczone odchylenie standardowe  $\sigma(G)$  dla pikseli reprezentujących obiekt  $G$  oraz obiekt  $Z$ . Poniższa formuła (1) pozwala na wyznaczenie odchylenia standardowego  $\sigma(G)$  w funkcji wartości pikseli w obiekcie  $G$

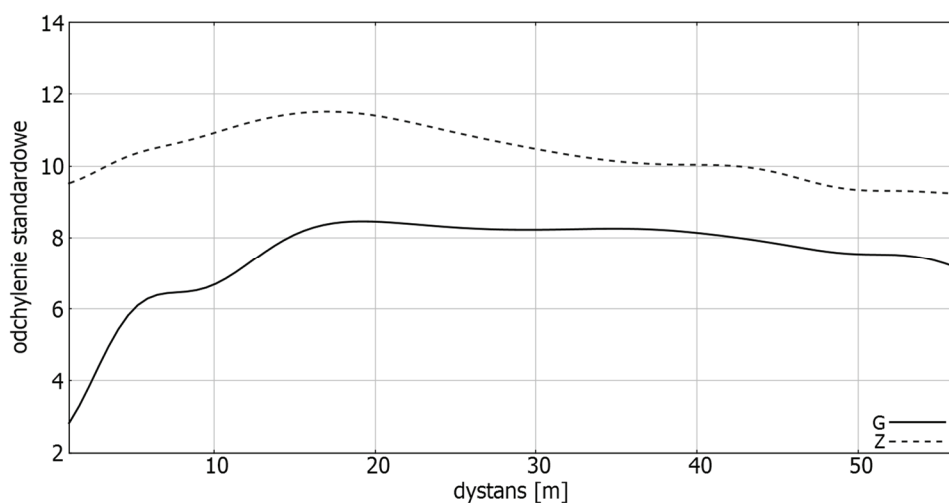
$$\sigma(G) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{size(G)} (\bar{g} - g_i)^2}{size(G)}} \quad (1)$$

gdzie:  $G$  oznacza zbiór pikseli reprezentujących obiekt  $G$ ,  $\bar{g}$  oznacza średnią wartość piksela obiektu  $G$ ,  $g_i$  oznacza wartość pojedynczego piksela z  $G$ , a  $size(G)$  liczbę wszystkich pikseli wchodzących w skład  $G$ .

Formuła (2) została wykorzystywana do wyznaczenia  $\sigma(Z)$  reprezentującego odchylenie standardowe w funkcji wartości pikseli w pojedynczym obrazie zawierającym obiekt Z

$$\sigma(Z) = \sqrt{\sum_{i=0}^{size(Z)} \frac{(\bar{z} - z_i)^2}{size(Z)}} \quad (2)$$

gdzie: Z oznacza zbór pikseli reprezentujących obiekt Z,  $\bar{z}$  oznacza średnią wartość piksela obiektu Z,  $z_i$  oznacza wartość pojedynczego piksela z Z, a  $size(Z)$  liczbę wszystkich pikseli wchodzących w skład Z. Odchylenie standardowe zostało wyznaczone dla obiektów w obrazach zarejestrowanych na dystansie od 1 m do 56 m. Rysunek 2 ilustruje zależność wartości odchylenia standardowego temperatury reprezentowanej przez poszczególne piksele pojedynczego obrazu w funkcji odległości z zakresu od 1 m do 56 m.



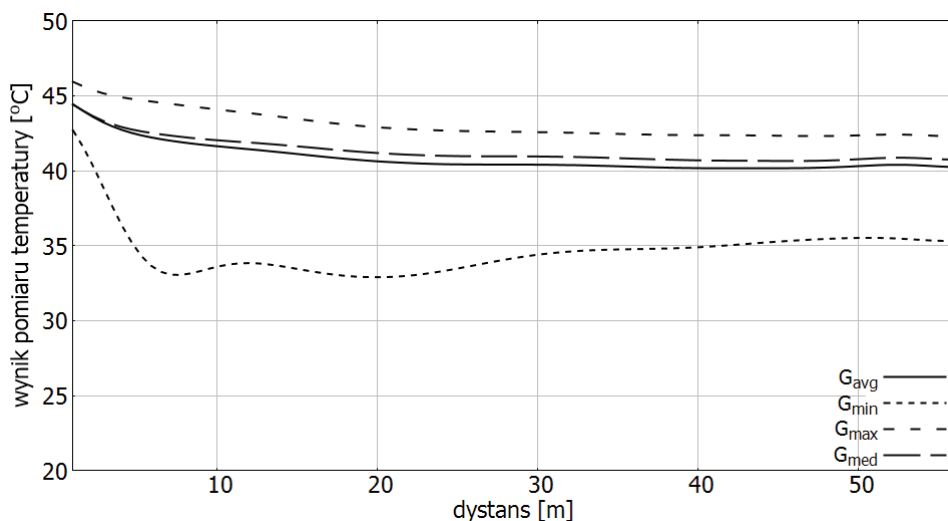
Rys. 2. Odchylenie standardowe wyników pomiaru temperatury obiektu G oraz Z w zależności od dystansu z jakiego był wykonywany pomiar

Można zauważyć, że wartość odchylenia standardowego wewnątrz grupy pikseli obiektu G jest na całym mierzonym dystansie niższa od odchylenia standardowego wewnątrz grupy pikseli reprezentujących obiekt Z. W obu przypadkach wartość odchylenia standardowego zwiększa się wraz z odległością do odległości około 17 m. Natomiast powyżej 17 m wraz ze wzrostem odległości wartość odchylenia standardowego zmniejsza się.

Zarejestrowane obrazy pozwalają na odczyt temperatury obiektu z użyciem każdego piksela wchodzącego w skład grupy pikseli skojarzonej z obiektem.

W przeprowadzonym eksperymencie wartość temperatury obiektu była wyznaczana na cztery różne sposoby:

1.  $G_{avg}$  oraz  $Z_{avg}$  – średnia wartość wszystkich pikseli obiektu,
2.  $G_{min}$  oraz  $Z_{min}$  – wartość minimalna wśród pikseli reprezentujących obiekt,
3.  $G_{max}$  oraz  $Z_{max}$  – wartość maksymalna wśród pikseli reprezentujących obiekt,
4.  $G_{med}$  oraz  $Z_{med}$  – mediana spośród wartości pikseli reprezentujących obiekt.

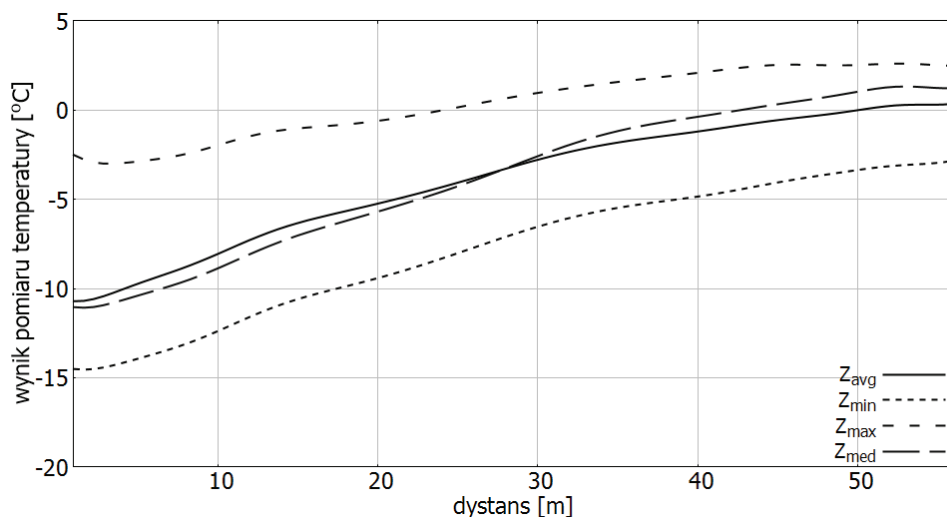


Rys. 3. Wyniki pomiaru temperatury obiektu G

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiarów temperatury obiektu Z w funkcji odległości. Wyznaczono odchylenie standardowe uzyskanych wartości temperatury ze wszystkich pomiarów. Odchylenie standardowe wyniku pomiaru temperatury na odległości od 1 m do 56 m w przypadku  $G_{avg}$  wynosi 1,01, w przypadku  $G_{max}$  wynosi 1, w przypadku  $G_{min}$  wynosi 2,74, a w przypadku  $G_{med}$  wynosi 0,9. W przypadku pomiaru  $G_{avg}$  na odległości od 1 m do 18 m odczytana temperatura, wraz ze wzrostem odległości zmniejsza się o około 5°C. Odchylenie standardowe pomiarów temperatury  $G_{avg}$  na tym odcinku wynosi 1,17. Natomiast na dystansie od 18 m do 56 m występują jedynie niewielkie różnice w odczytanej temperaturze. Odchylenie standardowe na tym dystansie dla pomiaru  $G_{avg}$  wynosi 0,32. Analogiczną zależność można zaobserwować dla  $G_{max}$  oraz  $G_{med}$ , gdzie odchylenie standardowe na dystansie od 1 m do 18 m wynosi 1,01 dla  $G_{max}$  oraz  $G_{med}$ , a na dystansie od 18 m do 56 m wynosi 0,34 dla  $G_{max}$  i 0,33 dla  $G_{med}$ . Natomiast w przypadku  $G_{min}$  wyraźne różnice w odczytywanych temperaturach można zaobserwować na dystansie od 1 m do około 30 m. Na tym dystansie zmiany wynoszą około 10°C, a odchylenie standardowe dla  $G_{min}$  wynosi 3,64. Można jednak zauważyć, że na dystansie od 30 m do 56 m temperatura się stabilizuje, a odchylenie standardowe wynosi 0,54. Najprawdopodobniej jest to spowodowane pofalowaną powierzchnią badanego obiektu. Jej

rejestracja z mniejszych odległości może skutkować pojedynczymi pikselami o podwyższonym błędzie pomiaru temperatury. Natomiast te nierówności na większym dystansie wraz z powierzchnią regularną nie przekraczają powierzchni jednego piksela. W związku z tym temperatura na tym obszarze jest uśredniana.

Analogiczne pomiary temperatury w funkcji odległości zostały przeprowadzone dla obiektu Z, którego rzeczywista temperatura odczytana za pomocą termopary wynosi  $0^{\circ}\text{C}$ . Odczyt temperatury przy użyciu zdjęć zarejestrowanych z użyciem kamery termowizyjnej został zrealizowany jako średnia wszystkich pikseli obiektu  $Z_{\text{avg}}$ , minimalna wartość wśród pikseli obiektu  $Z_{\text{min}}$ , maksymalna wartość wśród pikseli obiektu  $Z_{\text{max}}$  oraz mediana wartości temperatury obiektu  $Z_{\text{med}}$ . Wyniki pomiarów temperatury obiektu Z na dystansie od 1 m do 56 m zostały przedstawione na rysunku 4.

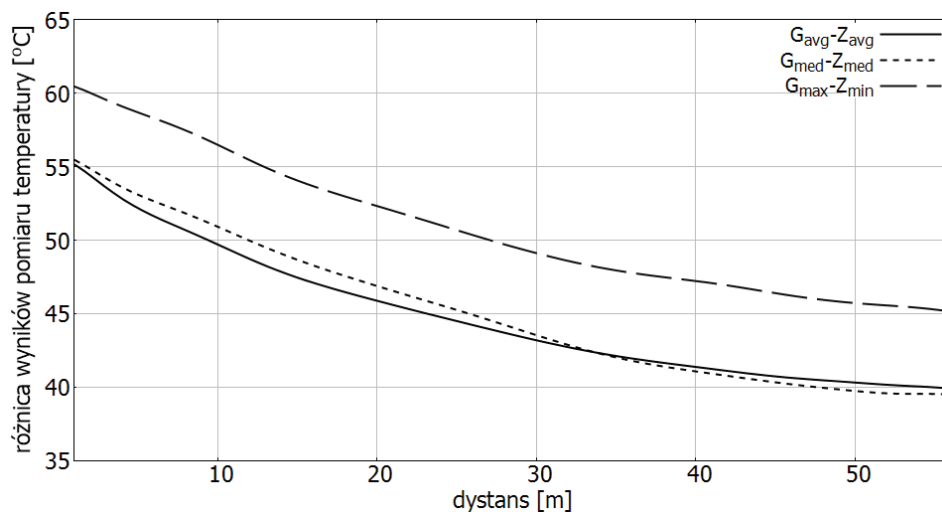


Rys. 4. Wyniki pomiaru temperatury obiektu Z

Na dystansie od 1 m do 56 m wartość odczytanej temperatury w przypadku  $Z_{\text{avg}}$ ,  $Z_{\text{min}}$  i  $Z_{\text{med}}$  wzrasta o około  $10^{\circ}\text{C}$ , natomiast w przypadku  $Z_{\text{max}}$  wzrasta o około  $5^{\circ}\text{C}$ . Odchylenie standardowe wyników odczytanej temperatury obiektu Z na dystansie od 1 m do 56 m wynosi odpowiednio 3,6 dla  $Z_{\text{avg}}$ , 3,9 dla  $Z_{\text{min}}$ , 2,3 dla  $Z_{\text{max}}$  oraz 4,3 dla  $Z_{\text{med}}$ .

Oprócz pomiaru bezwzględnej temperatury obiektu może zachodzić potrzeba pomiaru różnicy temperatur. W pracy zbadano wpływ odległości z jakiej dokonywany jest pomiar temperatury na wartość zmierzonej różnicy temperatur obiektu G oraz Z. Wyniki eksperymentu zostały przedstawione na rysunku 5. Ilustruje on różnice zmierzonej temperatury obiektu Z i G w funkcji odległości. Różnica została wyznaczona w postaci  $G_{\text{avg}}-Z_{\text{avg}}$ ,  $G_{\text{mod}}-Z_{\text{mod}}$  oraz  $G_{\text{max}}-Z_{\text{min}}$ . Wartości te na dystansie od 1 m do 56 m maleją proporcjonalnie wraz ze wzrostem odległości

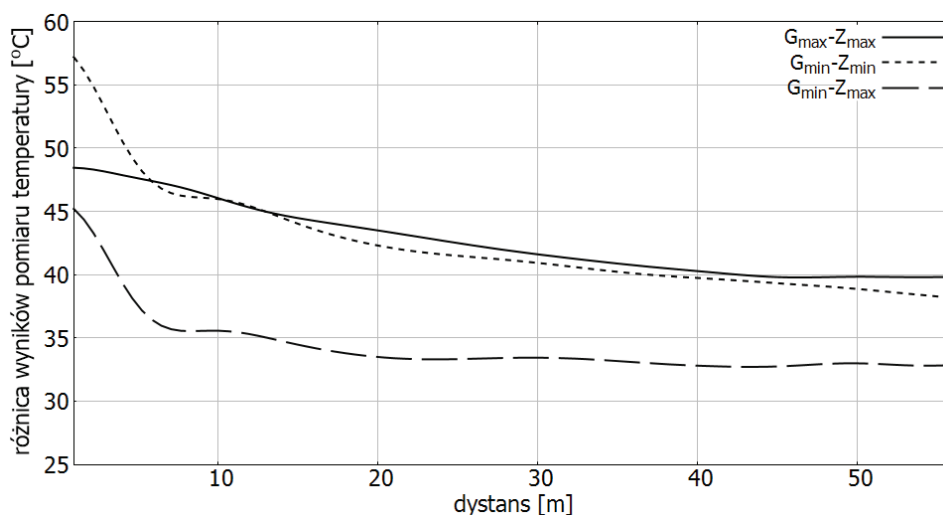
z jakiej wykonywany był pomiar. Rozbieżność między pomiarem z odległości 1 m, a 56 m wynosi około  $15^{\circ}\text{C}$ . Jednak w przypadku  $G_{\max}\text{-}Z_{\min}$  można zaobserwować różnicę temperatur wyższą o około  $5^{\circ}\text{C}$  niż w przypadku  $G_{\text{avg}}\text{-}Z_{\text{avg}}$  oraz  $G_{\text{mod}}\text{-}Z_{\text{mod}}$ . Odchylenie standardowe dla pomiarów na dystansie od 1 m do 56 m dla  $G_{\text{avg}}\text{-}Z_{\text{avg}}$  wynosi 4,4, dla  $G_{\text{med}}\text{-}Z_{\text{med}}$  wynosi 5, a dla  $G_{\max}\text{-}Z_{\min}$  wynosi 4,7.



Rys. 5. Różnica wyników pomiaru temperatury  $G_{\text{avg}}\text{-}Z_{\text{avg}}$ ,  $G_{\text{mod}}\text{-}Z_{\text{mod}}$  oraz  $G_{\max}\text{-}Z_{\min}$  w funkcji odległości

Wpływ odległości na odczytaną różnicę temperatur obiektu Z oraz G przebadano również dla  $G_{\max}\text{-}Z_{\max}$ ,  $G_{\min}\text{-}Z_{\min}$  oraz  $G_{\min}\text{-}Z_{\max}$ . Rezultaty zostały przedstawione na rysunku 6. Na dystansie od 1 m do 56 m można zaobserwować spadek  $G_{\min}\text{-}Z_{\min}$  o około  $18^{\circ}\text{C}$ ,  $G_{\min}\text{-}Z_{\min}$  o około  $12^{\circ}\text{C}$ , a  $G_{\max}\text{-}Z_{\max}$  o około  $8^{\circ}\text{C}$ . Odchylenie standardowe na tym dystansie wynosi 3 dla  $G_{\max}\text{-}Z_{\max}$ , 4,7 dla  $G_{\min}\text{-}Z_{\min}$  oraz 3,5 dla  $G_{\min}\text{-}Z_{\max}$ . Należy zauważyć, że w przypadku  $G_{\min}\text{-}Z_{\min}$  oraz  $G_{\min}\text{-}Z_{\max}$  na odcinku pierwszych ośmiu metrów można zaobserwować spadek temperatury o około  $10^{\circ}\text{C}$ , gdzie odchylenie standardowe zarówno dla  $G_{\min}\text{-}Z_{\min}$  jak i  $G_{\min}\text{-}Z_{\max}$  wynosi 7,4. Natomiast na dystansie od 8 m do 56 m można zauważyć spadek wartości  $G_{\min}\text{-}Z_{\min}$  o około  $8^{\circ}\text{C}$  oraz spadek  $G_{\min}\text{-}Z_{\max}$  o około  $2^{\circ}\text{C}$ . Odchylenie standardowe na dystansie od 8 m do 56 m dla  $G_{\min}\text{-}Z_{\min}$  wynosi 2,8, a dla  $G_{\min}\text{-}Z_{\max}$  wynosi 1,6.





Rys. 6. Różnica wyników pomiaru temperatury  $G_{\max}-Z_{\max}$ ,  $G_{\min}-Z_{\min}$  oraz  $G_{\min}-Z_{\max}$  w funkcji odległości

Biorąc pod uwagę uzyskane rezultaty przeprowadzonych eksperymentów, można wyciągnąć wniosek, że odległość z jakiej dokonywany jest bezdotkowy pomiar temperatury w przypadku kamery Flir Tau2 wpływa na wartość błędu pomiaru temperatury. Z przeprowadzonych badań wynika, że znając charakterystyki, błąd ten w pewnym stopniu może być korygowany podczas obróbki danych pomiarowych. Stopień w jakim wartość odległości wpływa na wartość błędu jest zależny od temperatury obiektu, a w szczególności różnicy temperatury obiektu oraz otoczenia. Można zauważyć, że w przypadku obiektów o stosunkowo niskiej temperaturze, niższej od otoczenia, błąd pomiarowy może być stosunkowo wysoki.

#### 4. PODSUMOWANIE

Celem niniejszego opracowania było wyznaczenie charakterystyk błędu pomiaru temperatury w odniesieniu do odległości czujnika od badanego obiektu. W związku z tym przeprowadzono eksperyment polegający na pomiarze temperatury dwóch obiektów. Przy ustalonych warunkach temperaturowych jeden z mierzonych obiektów miał temperaturę niższą a drugi wyższą niż panująca w pomieszczeniu. Badania przeprowadzono na dystansie od 1 m do 56 m z krokiem 1 m. Dla obiektu o wyższej temperaturze niż otoczenie wykazano, że na dystansie od 1m do 56 m różnice w uzyskanych odczytach temperatur są na poziomie 5 stopni Celsjusza, lecz w odległości od 18 m do 56 m różnica ta jest poniżej jednego stopnia Celsjusza. W przypadku obiektu chłodniejszego od otoczenia, różnica między temperaturą zmierzoną przy bliskiej odległości około 1 m, a dale-

kiej około 56 m wynosi około 10 stopni Celsjusza. Warto zauważyć, że dla obiektów cieplejszych od otoczenia użyta kamera cechuje się mniejszym błędem pomiarowym, niż dla obiektów chłodniejszych od temperatury otoczenia.

## LITERATURA

- [1] Wiśniewski H, Zastosowanie termowizji w budownictwie: fibis-term, 2011.
- [2] Antczak I., Banaś A., Kapuścińska I., The use of thermovision in the estimation of thermal energy losses of buildings, *Structure and Environment*, Vol. 3, no. 4, 2011.
- [3] Świdorski W., Metody i techniki termografii w podczerwieni w badaniach nieniszczących materiałów kompozytowych, *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Volume 38, 2009.
- [4] Hulewicz A., Diagnostyka termowizyjna w elektrotechnice, *Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering*, Number 89, 2017.
- [5] Stockton G.R., Tache A., Advances in applications for aerial infrared thermography, in *Thermosense XXVIII*, 2006, Volume 6205, page 62050C.
- [6] FLIR Tau2 Product Specification. 2015.
- [7] Ring E., Ammer K., Infrared thermal imaging in medicine, *Physiological measurement*, Volume 33, Number 3, 2012.
- [8] Tau 2 Longwave Infrared Thermal Imaging Cameras. 2014.
- [9] Kowalski P., Smyk R., Bezdotykowy pomiar temperatury z wykorzystaniem matrycy IR z kompensacją błędu bazując na wyznaczeniu odległości od obiektu, *Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering*, 2017.
- [10] Advanced Radiometry, Application Note. 2013.

## THE IMPACT OF THE DISTANCE ON THE RESULT OF THERMOVISION TEMPERATURE MEASUREMENT

Thermal imaging cameras are commonly used for non-contact temperature measurement in the industry. Such measurements are usually carried out at a close distances from a few centimeters to several meters. During the measurements the object's physical properties are considered, which have an impact on the emissivity. However, when the temperature is measured from a long distance with a range of several dozen meters, the obtained values differ from the values, that are received from a short distance. This may indicate that the random environmental factors have an influence on the temperature measurement error. In this work an experiment consisting non-contact temperature measurement at a distance of 1 m to 56 m was carried out. A distance-dependent temperature error was determined and discussed.

(Received: 02.02.2020, revised: 02.04.2020)