

Krzysztof DZIARSKI*, Arkadiusz HULEWICZ*,
Zbigniew KRAWIECKI*

TERMOWIZYJNE OBSERWACJE MAŁYCH ELEMENTÓW

W artykule opisano wpływ odległości pomiędzy obiektywem kamer termowizyjnych, a obserwowaną powierzchnią na ostrość uzyskanego obrazu. Pokazano zależność wielkości pola widzenia matrycy detektorów od odległości pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią oraz zależność wielkości pola widzenia pojedynczego detektora od odległości pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią. Wyjaśniono wpływ rozdzielczości matrycy na wielkość pola widzenia pojedynczego detektora. Zaproponowano, w jaki sposób dobrać obiektyw, by uzyskany termogram był ostry oraz możliwe było osiągnięcie takiej rozdzielczości geometrycznej, która pozwoli wystarczająco dokładnie odwzorować rozkład temperatur na obserwowanej powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: termowizja, metrologia, elektronika.

1. WSTĘP

W praktyce pomiarowej co pewien czas zachodzi potrzeba zarejestrowania rozkładu temperatury na niewielkiej powierzchni [1, 3, 4], na przykład na obudowie elementu elektronicznego przeznaczonej do montażu powierzchniowego. Rozkład temperatur na obudowie elementu może dostarczyć istotnych informacji na temat jego działania. Wykrycie obszaru o temperaturze wyższej od dopuszczalnej może oznaczać, że punkt pracy elementu został niewłaściwie dobrany. Zbyt wysoka lub zbyt niska temperatura obudowy może również oznaczać uszkodzenie elementu. Omawiany obszar obudowy w przypadku wielu elementów elektronicznych, aktywnych i pasywnych, ma niewielką powierzchnię rzędu mikrometrów kwadratowych. Z tego powodu wykonanie pomiaru temperatury tego obszaru jest utrudnione. Użycie metody stykowej, polegającej na przyłożeniu czujnika temperatury do obudowy, może skutkować zmianą temperatury diagnozowanego elementu. Wymiary czujnika często są większe od wymiarów fragmentu obudowy, którego temperaturę chcemy wyznaczyć. Wartość temperatury wskazana przez czujnik jest średnią wartością temperatury powierzchni przyłożonej do jego obudowy. Gdy powierzchnia czujnika jest większa od ob-

* Politechnika Poznańska

serwowanego fragmentu obudowy, zmierzona temperatura będzie średnią wartością temperatury interesującego obszaru i obszaru bezpośrednio z nim sąsiadującego. Jeżeli wymiary obudowy obserwowanego elementu elektronicznego są porównywalne z wymiarami obudowy czujnika, to za pomocą przyłożonego czujnika można wyznaczyć jedynie średnią wartość temperatury obudowy. Dodatkowym problemem może być zapewnienie właściwego połączenia termicznego pomiędzy czujnikiem temperatury a obudową. Informacje diagnostyczne pozyskane za pomocą takiego pomiaru mogą okazać się błędne. Takich problemów można uniknąć stosując termowizję. Wykorzystanie tej bezstykowej metody pozwala na wyznaczenie rozkładu temperatury na powierzchni elementu elektronicznego, identyfikację obszarów o podwyższonej temperaturze oraz wyznaczenie temperatury diagnozowanych obszarów. Termowizja pomimo istotnych zalet ma również ograniczenia. Używając tej metody należy zwrócić uwagę na dobór właściwego sprzętu i jego poprawne skonfigurowanie. Z uwagi na rozdzielczość matrycy detektorów oraz ogniskową obiektywu nie każda kamera umożliwi odwzorowanie temperatur na powierzchni elementu elektronicznego z odpowiednią rozdzielczością. Użycie w trakcie obserwacji obiektywu o niewłaściwych parametrach, spośród których należy wymienić kąt widzenia i ogniskową, uniemożliwia uzyskanie właściwej powierzchni pola widzenia matrycy detektorów. Konieczne jest używanie szerokokątnego obiektywu. Użycie takiego obiektywu powoduje, że głębia ostrości się zmniejsza. Uzyskanie właściwej ostrości termogramu jest trudniejsze. Należy również pamiętać, że odległość pomiędzy obiektywem i obserwowanym obiektem wpływa na wielkość pola widzenia pojedynczego detektora, od którego zależy wielkość najmniejszej powierzchni, którą można wyróżnić na termogramie. Z tego powodu ważny jest dobór właściwej odległości pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią. Nie uwzględnienie parametrów matrycy detektorów i parametrów układu optycznego może spowodować, że niepewność takiego pomiaru będzie większa od niepewności pomiaru wykonanego za pomocą czujnika temperatury. Z tego powodu postanowiono wyjaśnić, w jaki sposób dobrać odległość pomiędzy obserwowanym obiektem i obiektywem kamery, by uzyskać właściwą wielkość pola widzenia i ostrość otrzymanego termogramu oraz jak parametry matrycy detektorów wpływają na rozdzielczość geometryczną i dokładność otrzymanego odwzorowania.

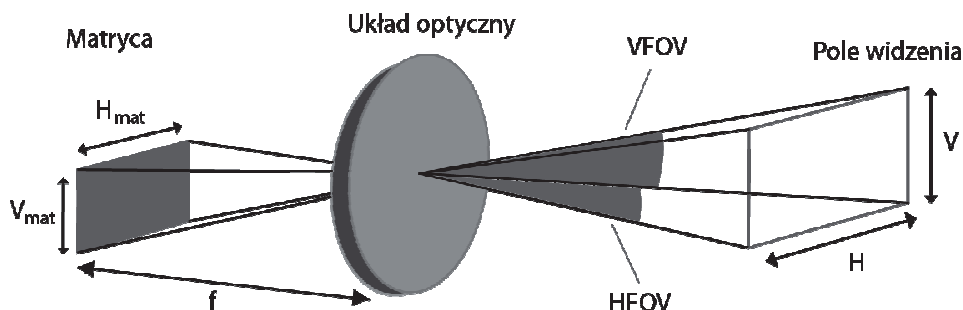
2. UZYSKANIE PRAWIDŁOWEJ OSTROŚCI

Uzyskanie prawidłowej ostrości termogramu przedstawiającego obudowę elementów elektronicznych jest uzależnione od trzech czynników. Jako pierwszy z nich można wskazać odległość pomiędzy obiektywem i obserwowanym obiektem. Zakres odległości, w którym możliwe jest uzyskanie właściwego odwzorowania kształtu obserwowanego elementu jest określany jako głębia ostrości.

Obrazy obiektów znajdujących się poza tym zakresem, czyli zbyt blisko lub zbyt daleko od obiektywu, są nieostre. Wpływ na ostrość termogramu, o złożonej scenerii, ma również migawka (shutter). Tylko niektóre kamery termowizyjne są wyposażone w automatyczną migawkę. Oprócz odległości i migawki ostrość uzyskanego termogramu jest zależna od parametrów użytego obiektywu. Im szerszy jest kąt widzenia obiektywu, tym mniejsza jest wartość jego ogniskowej. A im mniejsza ogniskowa użytego obiektywu, tym mniejszy zakres odległości pomiędzy obserwowaną powierzchnią i obiektywem, w którym można uzyskać ostry termogram. Wymienione czynniki wpływające na ostrość termogramu mogą wzajemnie się kompensować. W praktyce pomiarowej odległość jest dobierana eksperymentalnie w taki sposób, by obserwowany obiekt zajmował możliwie największą część uzyskanego termogramu. Następnie poprzez ruch pierścienia umieszczonego na obiektywie reguluje się położenie soczewek tak, by wszystkie szczegóły obrazu były możliwie dokładnie odwzorowane. Minimalna odległość obiekt – obiektyw kamery umożliwiająca uzyskanie ostrego termogramu jest zamieszczana w dokumentacji technicznej kamery (minimum focus distance). Należy pamiętać, że wraz ze zmianą odległości pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią zmianie ulega wielkość pola widzenia matrycy detektorów. Nie zawsze możliwe jest uzyskanie właściwej wielkości pola widzenia matrycy detektorów przy takiej odległości pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią, która znajduje się w zakresie umożliwiającym uzyskanie ostrego termogramu.

3. POLE WIDZENIA MATRYCY DETEKTORÓW

Pole widzenia matrycy detektorów jest to taki obszar obserwowanej powierzchni, który jest widoczny na uzyskanym termogramie. Powierzchnia pola widzenia matrycy detektorów jest zależna od kątów widzenia (określanych oddzielnie w osi pionowej i poziomej, a zależnych od parametrów matrycy i obiektywu) oraz odległości pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią. O kątach widzenia informuje parametr katalogowy *FOV* (ang. *Field of View*). Jest to parametr przedstawiający wartości dwóch kątów wyrażonych w stopniach. Pierwszy z nich to *VFOV* (ang. *Vertical Field of View*), który jest kątem widzenia w płaszczyźnie pionowej, natomiast drugi to *HFOV* (ang. *Horizontal Field of View*), który jest kątem widzenia w płaszczyźnie poziomej. Zdarza się, że parametr katalogowy *FOV* informuje, jaka będzie długość pionowej krawędzi pola widzenia (*VFOV*) oraz poziomej krawędzi pola widzenia (*HFOV*) przy zachowaniu określonej odległości *WD* (ang. *Work Distance*). W celu odróżnienia wartości wyrażonych w jednostkach długości w dalszej części artykułu będą one zapisywane z indeksem dolnym m. Wraz ze wzrostem odległości obiektyw – obserwowana powierzchnia wzrasta pole widzenia matrycy. Zależność ta została pokazana na rys. 1.



Rys. 1. Graficzna interpretacja $VFOV$ i $HFOV$. f – długość ogniskowej, H_{mat} – pozioma krawędź matrycy detektorów, V_{mat} – pionowa krawędź matrycy detektorów, V – pionowa krawędź pola widzenia, H – pozioma krawędź pola widzenia

W celu określenia wymiarów pola widzenia w osi poziomej H oraz w osi pionowej V należy skorzystać z zależności (1), (2) i (3).

$$V = 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{VFOV}{2}\right) \quad (1)$$

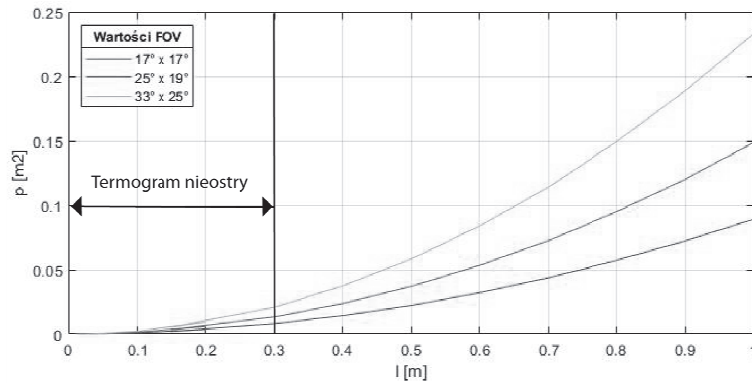
$$H = 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{HFOV}{2}\right) \quad (2)$$

$$P = V \cdot H = 4 \cdot l^2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{VFOV}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{HFOV}{2}\right) \quad (3)$$

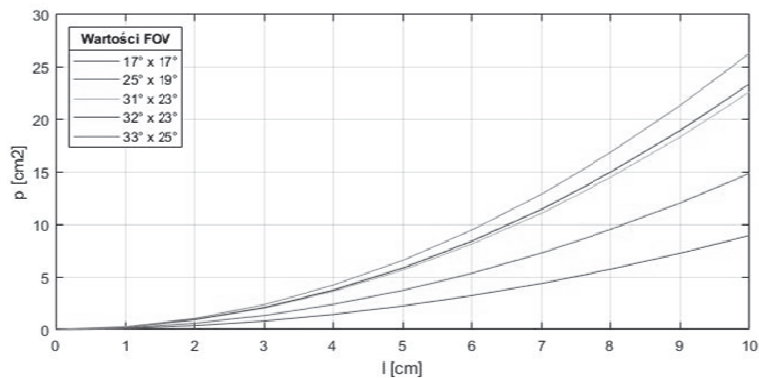
w których: P – powierzchnia pola widzenia, V – długość pionowej krawędzi pola widzenia, H – długość poziomej krawędzi pola widzenia, l – odległość pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią.

W przypadku niechłodzonej matrycy detektorów bolometrycznych o rozdzielczości 180 x 240 pikseli (detektorów) o wymiarach 50 μm rozmiar matrycy wynosi 1,2 cm x 0,9 cm. Stosując wzory (1), (2) i (3) można zauważyć, że gdy wartość FOV wynosi 25° x 19° a odległość pomiędzy matrycą i obserwowaną powierzchnią wynosi 0,4 m, wymiary pola widzenia wyniosą około 19 cm x 14 cm. Gdy odległość pomiędzy obserwowaną powierzchnią i obiektywem wyniesie 1 m wymiary pola widzenia matrycy wzrosną do około 44 cm x 33 cm. W celu przedstawienia zależności pomiędzy wartością pola widzenia matrycy p i odległością pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią l wyznaczono pola widzenia matrycy dla wybranych odległości. Dokonując przeglądu danych katalogowych kamer termowizyjnych dostępnych w handlu zauważono, że wartości FOV kamer termowizyjnych ogólnego przeznaczenia zawierają się w przedziale od 17° x 17° do 32° x 23°. Dla tych wartości FOV wyznaczono wartości powierzchni pola widzenia matrycy detektorów p w funkcji odległości obiektywu od obserwowanej powierzchni l . Graficzną reprezentację zależności $p = f(l)$ dla l mieszczącego się w zakresie od 0 do 1 m przedstawiono na rys. 2. Na rys. 3 przedstawiono graficzną reprezentację zależności $p = f(l)$ dla najczęściej spotykanych wartości FOV

układów optycznych stosowanych w kamerach termowizyjnych ogólnego przeznaczenia dla l mieszczącego się w zakresie od 0 do 10 cm.



Rys. 1. Otrzymane zależności $p = f(l)$ przy $FOV 25^\circ \times 19^\circ$ w zakresie 0–1 m



Rys. 2. Otrzymana zależność $p=f(l)$ dla wybranych wartości FOV w zakresie 0–10 cm

Zależności przedstawione na rys. 2 i 3 są silnie nieliniowe. Wymiary obudów elementów elektronicznych przeznaczonych do montażu powierzchniowego (SMD) wynoszą zazwyczaj kilka milimetrów. Analizując zależności przedstawione na rys. 2 i 3 można zauważyć, że w celu wykonania takiego termogramu obudowy elementu elektronicznego, którego dużą część zajmuje obserwowana obudowa, odległość pomiędzy obiektywem i obserwowaną obudową powinna być mniejsza niż 10 cm. Problem ten można rozwiązać poprzez wymianę obiektywu zamontowanego w kamerze na obiektyw szerokokątny (obiektyw o większej wartości FOV) lub zamontować dodatkowy, szerokokątny obiektyw. W przypadku wymiany obiektywu nowy obiektyw można dobrać sprawdzając, czy wartość FOV umożliwi uzyskanie odpowiedniej wartości pola widzenia matrycy w takim zakresie odległości pomiędzy obiektywem i obserwowaną

powierzchnią, w którym można uzyskać ostry termogram. W tym celu należy użyć równań (1), (2) i (3). Sposób doboru dodatkowego obiektywu umieszczonego na już zamontowany obiektyw zostanie opisany w dalszej części artykułu.

4. POLE WIDZENIA POJEDYNCZEGO DETEKTORA

W przypadku termowizyjnych obserwacji powierzchni elementów elektronicznych często zachodzi potrzeba wyznaczenia temperatury tego fragmentu obudowy, który na otrzymanym termogramie różni się od pozostałych fragmentów. Z uwagi na wymiary obudowy rozważane powierzchnie są bardzo małe (rzędu mikrometrów kwadratowych). Uzasadnione jest pytanie: czy posiadana kamera termowizyjna umożliwia uzyskanie termogramu o takiej rozdzielczości geometrycznej, by wystarczająco dokładnie wyznaczyć wiarygodną temperaturę obserwowanego fragmentu obudowy? W celu uzyskania wiarygodnej wartości temperatury fragmentu obudowy musi on być przynajmniej trzykrotnie większy od powierzchni pola widzenia pojedynczego detektora promieniowania IR kamery termowizyjnej. Gdy powierzchnia pola widzenia pojedynczego detektora jest równa polu obserwowanej powierzchni, ilość energii docierająca do detektora może nie być wystarczająca do wyznaczenia właściwej wartości temperatury [2]. Powierzchnia pola widzenia pojedynczego detektora promieniowania IR jest zależna od odległości pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią oraz kąta widzenia detektora. Parametrem katalogowym opisującym kąt widzenia pojedynczego detektora jest IFOV (Instantaneous Field of View). Jest to kąt, w obszarze którego wycinek obserwowanej powierzchni wyemitował promieniowanie docierające do pojedynczego detektora. Wartość IFOV posiada podobne wyobrażenie przestrzenne do wartości FOV. Jest to kąt pomiędzy przeciwnymi ścianami ostrosłupa, którego wierzchołek znajduje się w ogniskowej obiektywu, a podstawa jest polem widzenia pojedynczego detektora. Informacja o wartości IFOV jest zazwyczaj umieszczana w dokumentacji technicznej kamery termowizyjnej jako pojedyncza wartość kąta wyrażona w miliradianach. Zdarza się, że parametr katalogowy IFOV informuje, jaka będzie długość pionowej krawędzi pola widzenia pojedynczego detektora – VIFOV (ang. *Vertical Instantaneous Field of View*) oraz poziomej krawędzi pola widzenia pojedynczego detektora – HIFOV (ang. *Horizontal Instantaneous Field of View*) przy zachowaniu określonej odległości WD . W celu odróżnienia wartości podanej w jednostkach długości w dalszej części artykułu będą one zapisywane z indeksem dolnym m . W przypadku braku wiadomości o wartości $IFOV$ wartość tę można oszacować korzystając z zależności przedstawionej w równaniu (4), znając wartość ogniskowej użytego obiektywu i typ detektorów użytych do budowy matrycy promieniowania IR.

$$IFOV = 2 \cdot \arctg\left(\frac{D_{\text{det}}}{f}\right) \quad (4)$$

gdzie: $IFOV$ – pole widzenia pojedynczego detektora, D_{det} – rozmiar pojedynczego detektora, f – długość ogniskowej obiektywu.

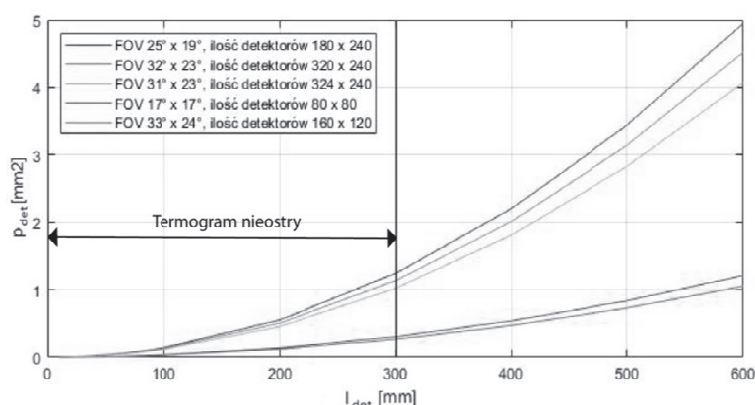
Rozmiar detektora promieniowania IR jest zależny od jego typu. W przypadku niechłodzonych detektorów mikrobolometrycznych rozmiar pojedynczego mikrobolometru wynosi od 25 μm do 50 μm , natomiast w przypadku detektorów kwantowych rozmiar pojedynczego detektora wynosi od 10 μm do 15 μm . Wartość $IFOV$ można również określić na podstawie znanej wartości FOV . W tym przypadku wartości kątów można zamienić na radiany i podzielić przez ilość detektorów znajdujących się w wierszu lub kolumnie matrycy tak, by otrzymane wartości $HIFOV$ i $VIFOV$ były w przybliżeniu równe. Na przykład, dla kamery termowizyjnej wyposażonej w obiektyw o wartości FOV 25° x 19° i matrycę o rozdzielczości 240 x 180 pikseli (detektorów) wartość $IFOV$ można określić na podstawie równania 5:

$$IFOV = \frac{19 \cdot 2\pi}{360 \cdot 180} = \frac{25 \cdot 2\pi}{360 \cdot 240} = 1,8 \text{ mrad} \quad (5)$$

Wartość $IFOV$ można wyrażać w stopniach. Wyrażanie tej wartości w radianach wynika z ogólnie przyjętego zwyczaju. Znając wartość $IFOV$ i stosując zależności podane w równaniach (1), (2) i (3) umieszczając wartości $VIFOV$ i $HIFOV$ w miejsce wartości $VFOV$ i $HFOV$ można wyznaczyć wielkość powierzchni pola widzenia pojedynczego detektora przy znanej odległości pomiędzy obiektywem kamery i obserwowaną powierzchnią. Korzystając z zależności (5) wyznaczono zależność powierzchni pola widzenia pojedynczego detektora p_{det} w funkcji odległości obiektywu kamery od obserwowanej powierzchni l_{det} dla najczęściej spotykanych wartości FOV i rozdzielczości matryc kamer termowizyjnych. Obliczenia przeprowadzono dla $l_{\text{det}} \leq 600$ mm. Graficzną reprezentację uzyskanych wyników przedstawiono na rys. 4.

Graficzne reprezentacje zależności $p_{\text{det}} = f(l_{\text{det}})$ przedstawione na rys. 4 dowodzą, że w przypadku standardowych obiektywów i rozdzielczości matryc promieniowania IR stosowanych w kamerach termowizyjnych ogólnego przeznaczenia możliwa jest obserwacja powierzchni mniejszej od 1 mm². W przypadku układów optycznych wybranych kamer minimalna odległość pomiędzy obserwowaną powierzchnią i obiektywem, którą należy zachować, by uzyskać ostry obraz, waha się od 300 mm do 500 mm. Z tego powodu w przypadku rozważanych układów optycznych możliwa jest obserwacja obudów elementów elektronicznych przy jednoczesnym zachowaniu ostrości, jednak powierzchnia obserwowanego elementu elektronicznego nie zajmie dużej części pola widzenia kamery. W omawianym przypadku pole widzenia pojedynczego detektora będzie pokrywało się z wielkością niektórych obudów elementu elektronicznego (np. SOT-23), uniemożliwiając pomiar temperatury wybranego fragmentu jego powierzchni. Z tego powodu

w trakcie prowadzonych pomiarów warto zmienić parametry układu optycznego poprzez zastosowanie obiektywów szerokokątnych.



Rys. 3. Otrzymane zależności $p_{det} = f(l_{det})$ w zakresie 0–600 mm dla najczęściej stosowanych wartości FOV obiektywów i rozdzielczości matryc kamer termowizyjnych

5. DOBÓR OBIEKTYWU

Współczesne kamery termowizyjne przeznaczone do celów naukowych i diagnostycznych mają możliwość wymiany zamontowanego obiektywu lub zamontowania dodatkowego. Sposób doboru obiektywu w przypadku jego wymiany omówiono w punkcie 2. W przypadku dodatkowych obiektywów wartości FOV podawane są w kątach lub jednostkach długości (najczęściej w mm) jako długość krawędzi pionowej i krawędzi poziomej pola widzenia uzyskanego przy zachowaniu określonej odległości pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią WD (Work Distance). Wartość WD jest umieszczana w dokumentacji technicznej obiektywu. W przypadku, gdy wartości FOV obiektywu są podane w kątach, można postąpić w sposób opisany w punkcie 2. W celu ułatwienia eksploatacji i doboru producenti dodatkowych obiektywów zamieszczają informacje o wartości IFOV wyrażonej w jednostkach długości, którą można uzyskać dla danej rozdzielczości matrycy przy odległości WD. Gdy wartość $IFOV_m$ nie jest umieszczona w dokumentacji w celu jej otrzymania wystarczy podzielić wartość FOV_m przez ilość detektorów znajdujących się w wierszu lub rzędzie matrycy. Na przykład stosując obiektyw o wartości FOV 16 mm x 12 mm, przy rozdzielczości matrycy 160 x 120 pikseli za pomocą równania (6) można uzyskać następującą wartość $IFOV_m$:

$$IFOV_m = \frac{16}{160} = \frac{12}{129} = 100 \mu m \quad (6)$$

Dobierając dodatkowy obiektyw przeznaczony do obserwacji fragmentów powierzchni obudów elementów elektronicznych można sprawdzić, jak zmieni się pole widzenia pojedynczego detektora w całym zakresie odległości (pomiędzy obserwowaną powierzchnią i obiektywem), w którym można uzyskać ostry obraz. W tym celu wartość FOV_m należy przeliczyć na wartość FOV wyrażoną w kątach. W tym celu można skorzystać z równań (7) i (8):

$$HFOV = 2 \cdot \arctg\left(\frac{HFOV_m}{2 \cdot WD}\right) \quad (7)$$

$$VFOV = 2 \cdot \arctg\left(\frac{VFOV_m}{2 \cdot WD}\right) \quad (8)$$

Następnie na podstawie wartości FOV ($HFOV$ i $VFOV$) należy policzyć wartość $IFOV$ wyrażoną w radianach. Można to zrobić korzystając z równań (9) i (10):

$$HIFOV = \frac{HFOV \cdot 2\pi}{360 \cdot H_{mat}} \quad (9)$$

$$VIFOV = \frac{VFOV \cdot 2\pi}{360 \cdot V_{mat}} \quad (10)$$

w których: H_{mat} – ilość detektorów w wierszu matrycy, V_{mat} – ilość detektorów w kolumnie matrycy.

Długości krawędzi pola widzenia wyrażone w milimetrach przy danej odległości obiektywu od obserwowanej powierzchni można otrzymać na podstawie równań:

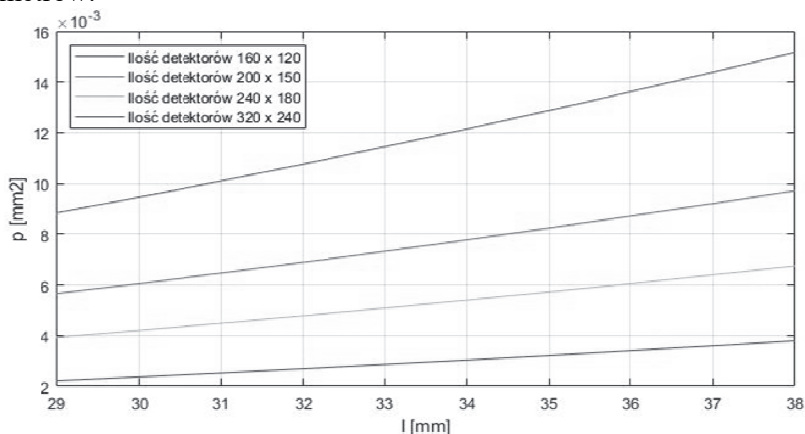
$$HIFOV_m = 2 \cdot l \cdot \tg\left(\frac{HIFOV}{2}\right) \quad (11)$$

$$VIFOV_m = 2 \cdot l \cdot \tg\left(\frac{VIFOV}{2}\right) \quad (12)$$

Stosując równania (7) – (12) wyznaczono przykładowe wartości powierzchni pola widzenia pojedynczego detektora p w funkcji odległości obserwowanej powierzchni od obiektywu l przy użyciu dodatkowego szerokokątnego obiektywu FLIR T197214 (FOV : 12 mm x 16 mm, WD : 33 mm \pm 4 mm) i rozdzielczościach matryc detektorów mikrobolometrycznych stosowanych w kamerach termowizyjnych Flir serii Exx, A3xx oraz T4xx – rys. 5 [5, 6].

Omawiane zależności wyznaczono dla odległości od 29 mm do 38 mm, ponieważ są to odległości umożliwiające uzyskanie ostrego termogramu. Graficzne przedstawienie zależności $p = f(l)$ przedstawione na rysunku 5 dowodzi, że nawet w niewielkim zakresie możliwych odległości można wpływać na wielkość pola widzenia pojedynczego detektora. Przy użyciu dodatkowego, szerokokątnego obiektywu i zachowaniu odpowiedniej odległości możliwe jest jednoczesne uzyskanie ostrego obrazu oraz wykonanie wiarygodnego pomiaru tempera-

tury fragmentu obudowy elementu elektronicznego o krawędzi kilkudziesięciu mikrometrów.



Rys. 4. Otrzymane zależności $p = f(l)$ dla wybranych wartości rozdzielczości matrycy w zakresie 29-38 mm, przy zastosowaniu obiektywu FLIR T197214

6. PODSUMOWANIE

Wykonanie wiarygodnego, termowizyjnego pomiaru temperatury niewielkiej powierzchni wymaga uzyskania termogramu o odpowiedniej ostrości. Jest to możliwe między innymi poprzez odpowiedni dobór odległości pomiędzy obiektywem i obserwowaną powierzchnią. Od tej odległości zależy wielkość pola widzenia matrycy detektorów i pojedynczego detektora. Gdy pole widzenia pojedynczego detektora jest większe od obserwowanej powierzchni, zmierzona temperatura powierzchni może różnić się od temperatury rzeczywistej. Nie zawsze jest możliwy taki dobór odległości obiektyw – powierzchnia by jednocześnie zapewnić odpowiednią ostrość termogramu i wartość pola widzenia pojedynczego detektora. Odczytując właściwe parametry matrycy i obiektywu kamery termowizyjnej oraz korzystając ze wskazanych zależności można sprawdzić, czy układ optyczny posiadanej kamery umożliwia wykonanie termogramu z odpowiednią rozdzielczością geometryczną przy jednoczesnym zachowaniu ostrości. Możliwe jest również precyzyjne wyznaczenie takiej odległości obiektyw – powierzchnia, by spełnić oba warunki oraz określenie wartości pola widzenia matrycy detektorów i pojedynczego detektora uzyskanych przy nastawie tej odległości.

LITERATURA

- [1] Bruckner T., Bernet., Estimation and measurement of junction temperatures in a three-level voltage source converter, Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005 Industry Applications Conference, 2005.
- [2] Minkina W., Podstawy pomiarów termowizyjnych. Część III – problemy metrologiczne, interpretacja wyników, PAK 2001.
- [3] Gajownik T., Rafał K., Bobrowska – Rafał M., Dwukierunkowy przekształtnik DC-DC w topologii trójfazowego podwójnego mostka aktywnego, Przegląd Elektrotechniczny, 5/2014, str. 14–19.
- [4] Wydźgowski L., Niewiara J., Tarczewski T., Grzesiak L., Zieliński M., Jednofazowy motekowy przekształtnik DC-AC z tranzystorami GaN GIT, Przegląd Elektrotechniczny, 3/2018, str. 111–115.
- [5] Instrukcja obsługi kamery Flir, <http://www.thermokameras.com/Verkauf/Flir%20e-Serie/Datenblatt%20FLIR%20E50%20engl.pdf>, dostęp 25.1.2019.
- [6] Instrukcja obsługi obiektywu, <https://www.infraredcamerawarehouse.com/content/FLIR%20Datashets/FLIR%20Close%20Up%20Lens%202x%20Magnification%20%28T197214%29.pdf>, dostęp 25.1.2019.

THERMOVISION MEASUREMENTS OF SMALL PARTS

The article describes the influence of the distance between the lens and the observed surface on the sharpness of the obtained image. The relation between the size of the field of view of the detector array and the distance between the lens and the observed surface as well as the dependence of the field of view of a single detector on the distance between the lens and the observed surface is shown. The effect of matrix resolution on the field of view of a single detector was explained. It was proposed how to choose the lens, so that the obtained thermogram was sharp and it was possible to achieve such a geometric resolution that allows to accurately reproduce the temperature distribution on the observed surface.

(Received: 06.02.2019, revised: 10.03.2019)

