

# Badanie skuteczności materiałów siatek maskujących w aspekcie obserwacji z pozycji BSP

Anna Szajewska

Akademia Pożarnicza, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa

Paweł Kalinowski

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, ul. Księcia Bolesława 6, 01-494 Warszawa

Krzysztof Szajewski

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Cybernetyki, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki obserwacji wykonanych z powietrza za pomocą BSP w podczerwieni. Warunki obserwacji były zbliżone do rzeczywistych warunków pola walki. Wyniki obserwacji porównano z badaniami laboratoryjnymi, w których użyto wzorca ciała czarnego do pomiaru transmisji radiacyjnej 11 różnych materiałów siatek maskujących. W badaniach odniesiono się do zmierzonej procentowej przepuszczalności promieniowania badanych materiałów, oznaczonych dalej w artykule współczynnikiem transparentności. Z przeprowadzonych badań wynika, że korelacja między transparentnością w świetle widzialnym i promieniowaniem podczerwonym przechodzącym przez materiał maskujący dla przebadanych materiałów nie jest zbieżna. Biorąc pod uwagę fakt, że siatki maskujące i materiały, z których są one wykonywane, stały się wyposażeniem bardzo pożądanym na współczesnym polu walki i wiele podmiotów rozpoczęło ich produkcję, powstała silna potrzeba opracowania szybkiej metody oceny przydatności takich materiałów w aspekcie kamuflażu termicznego. W pracy zaproponowano zastosowanie prostego wskaźnika oceny kamuflażu wyznaczanego na podstawie transparentności w dwóch zakresach spektralnych.

**Słowa kluczowe:** BSP, kamuflaż termiczny, rozpoznanie w podczerwieni, siatki maskujące, teledetekcja, ocena kamuflażu

## 1. Wprowadzenie

Motyacją do podjęcia badań są braki w literaturze w zakresie skuteczności materiałów siatek maskujących w aspekcie obserwacji z pozycji BSP. Obowiązujące normy pokryć maskujących dotyczą wyłącznie oceny za pomocą obserwacji z poziomu ziemi. Trwający w Ukrainie konflikt dowiódł, że najczęściej występującym rozpoznaniem pozycji wroga jest teledetekcja z powietrza za pomocą BSP i z tego powodu obowiązujące normy nie przystają do panujących realiów pola walki. Doświadczenia na Ukrainie obserwowane od początku konfliktu wskazują na dynamiczne zmiany zachodzące w sposobie prowadzenia współczesnych konfliktów zbrojnych, w których rozpoznanie obrazowe jest kluczowym elementem. Rozpozna-

nie obrazowe polega na gromadzeniu, analizie i interpretacji informacji wizualnych zebranych z różnych źródeł w celu uzyskania precyzyjnego obrazu sytuacji na polu walki. Szczególnym rodzajem rozpoznania obrazowego jest EO IMINT (ang. *Electrooptical Imagery Intelligence*), które polega na pozyskiwaniu informacji metodami teledetekcji wykorzystującymi promieniowanie własne ciał (emisję) oraz promieniowanie odbite. Celem jego jest wykrycie kontrastu emisyjnego lub odbiciowego między obiektem oraz tłem. Obserwowany kontrast jest wynikiem zmian temperatury lub różnic emisyjności w obrębie sceny. Obecnie do obserwacji EO IMINT w przeważającej liczbie przypadków wykorzystuje się bezałogowe statki powietrzne (BSP) klasy mini lub micro. Przed inwazją Rosji na Ukrainę w rozwiązaniach militarnych BSP dominowały przeważnie drogie i skomplikowane konstrukcje klasy II MALE (ang. *Medium Altitude Long Endurance*) o masie do 600 kg na szczeblu taktycznym. W aktualnych rozwiązaniach poza klasą II dominują relatywnie tanie i mobilne BSP klasy I mini (zasięg do 25 km) i micro (zasięg do 5 km) [1]. Stanowią one podstawowe wyposażenie rozpoznawcze pola walki na niższych szczeblach dowodzenia a nierzadko przybierając charakter osobistego wyposażenia. Rosyjska inwazja na Ukrainę doprowadziła do pierwszej wojny, w której obserwuje się wykorzystanie wojskowych i komercyjnych BSP na tak dużą skalę

### Autor korespondujący:

Anna Szajewska, aszajewska@apoz.edu.pl

### Artykuł recenzowany

nadesłany 01.08.2023 r., przyjęty do druku 31.08.2023 r.



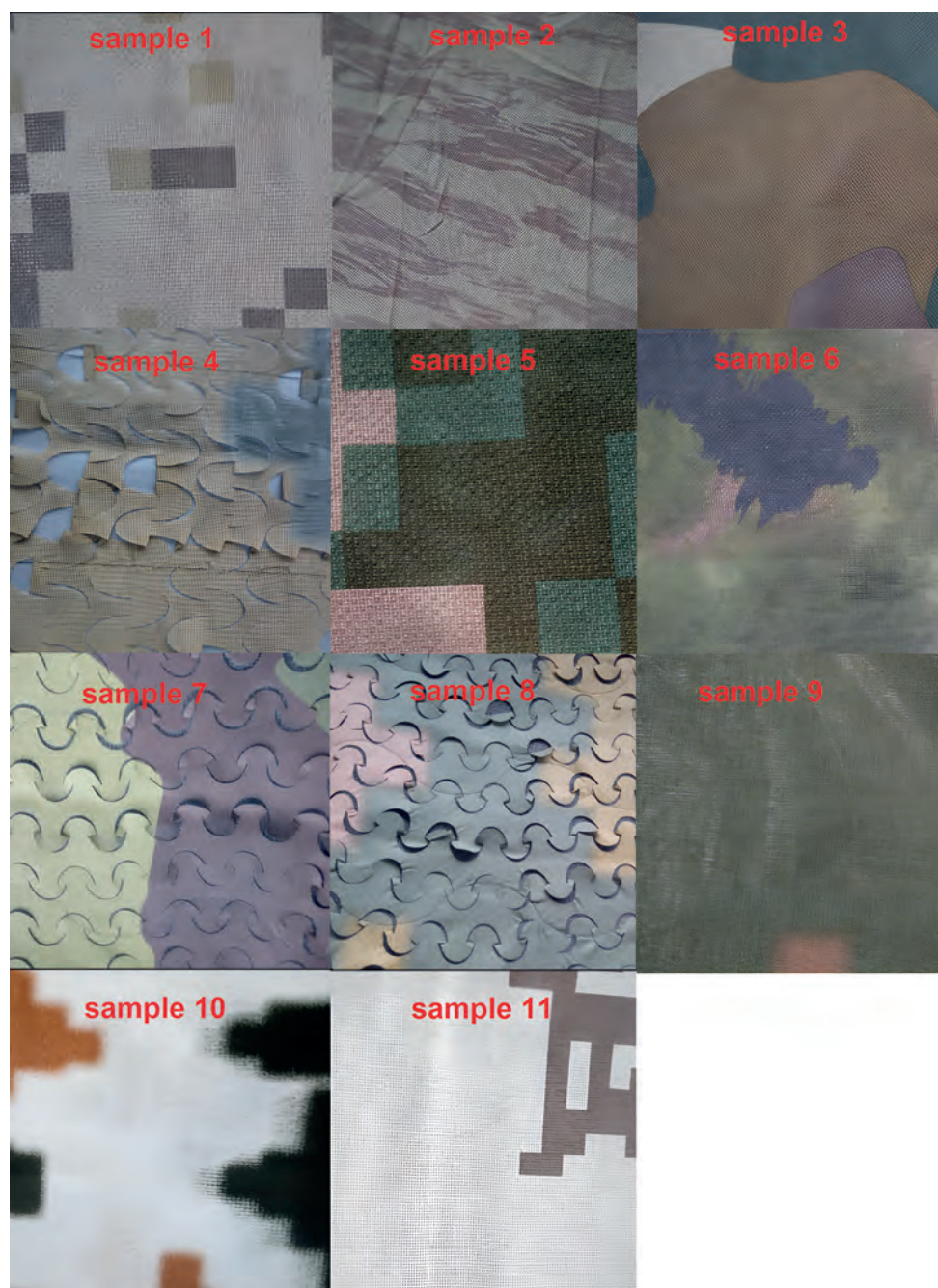
Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

przez obie strony konfliktu. Prawdopodobnymi przyczynami powszechności wykorzystania BSP w klasie mini i micro są:

- Dostępność tanich i lekkich akumulatorów litowo-polimerowych o dużej gęstości energetycznej, dzięki którym możliwe jest prowadzenie rozpoznania za pomocą wielowirnikowców o czasie lotu do godziny i płatowców z czasem lotu do kilku godzin.
- Dostępność tanich akcelerometrów i żyroskopów wykonywanych w technologii MEMS (ang. *Micro Electromechanical System*) stosowanych w układach sterowania autopilotów.
- Dostępność techniki umożliwiającej realizację komunikacji radiowej za pomocą cyfrowego radia SDR (ang. *Software Defined Radio*), co umożliwiło zastąpienie kosztownych filtrów analogowych przez programowe filtry cyfrowe i umożliwia realizację cyfrowego kodowania sygnału radiowego.
- Stosowanie na szeroką skalę telekomunikacyjnego systemu satelitarnego Starlink. Jest on wykorzystywany nie tylko do korzystania z systemów zarządzania walką np. ukraińskiego systemu *Pokrzywa* (ukr. *Кропива*), ale również do bezpośredniego strumieniowania obrazu do dowódców wyższego

szczebla [2]. Takie rozwiązanie pomaga w naprowadzaniu i korygowaniu ognia artylerii, jak również w dowodzeniu podczas szturmów zapewniając rozszerzenie świadomości sytuacyjnej przy jednoczesnej decentralizacji elementów rozpoznawczych.

Ekonomiczne aspekty prowadzenia działań bojowych doprowadziły do sytuacji, w której przystosowuje się tanie komercyjne rozwiązania BSP, nie pomijając modeli dostępnych na popularnych portalach internetowych. Komercyjne modele przystosowywane są do przenoszenia ładunków bojowych lub do rozpoznania teledetekcyjnego. Wraz ze zwiększającą się liczbą BSP po obu stronach konfliktu, pojawiły się również skuteczne metody ich neutralizacji i dlatego obecnie średni czas życia systemu bezałogowego jest znacznie krótszy niż miało to miejsce przed konfliktem w Ukrainie. Skrócona żywotność systemu BSP stała się dodatkowym bodźcem dla konstruktorów bezałogowych systemów do poszukiwania tanich rozwiązań konstrukcyjnych. W rozpoznawczych systemach bezałogowych wykorzystywane są



Rys. 1. Widok próbek siatek maskujących w świetle widzialnym

Fig. 1. View of camouflage nets samples in visible light

dwa rodzaje detektorów podczerwieni: długofalowe kamery na podczerwień LWIR (ang. *Longwave Infrared*), które działają w zakresie długości fal elektromagnetycznych 8–14  $\mu\text{m}$ , oraz średniofalowe kamery na podczerwień MWIR (*Medium Wavelength Infrared*), które działają w zakresie 3–5  $\mu\text{m}$ . Mimo niewątpliwych zalet kamer pracujących w zakresie MWIR, tj. zwiększony zasięg działania i mniejsze zakłócenia spowodowane warunkami atmosferycznymi, zwykle wymagają one systemów chłodzenia, co sprawia, że takie rozwiązania są kosztowne, cięższe i bardziej awaryjne. Niechłodzone kamery bolometryczne LWIR są mniejsze, lżejsze i znacznie tańsze niż kamery z chłodzonym detektorem, dlatego właśnie niechłodzone detektory bolometryczne są obecnie najszerszym wykorzystanym rozwiązaniem w rozpoznaniu z użyciem BSP na szczeblach kompanii i niższych. Stosowane obecnie w BSP kamery termowizyjne należą do grupy kamer obserwacyjnych, zatem analiza zarejestrowanych termogramów nie polega na poszukiwaniu określonej temperatury radiacyjnej, lecz może polegać na ocenie różnic wartości poszczególnych pikseli w obrazie, poszukiwaniu kształtów lub ocenie histogramów. Obecnie do wykrywania zamaskowanego rzeczywistego obrazu zastępuje się zmysły ludzkie zaawansowanymi algorytmami komputerowymi. Wykorzystywane są technologie takie jak np. analiza obrazu przeprowadzana przez dyskryminatory zbudowane w oparciu o sieci neuronowe [3] lub analiza współczynników określających teksturę, kształt i statystyczny rozkład promieniowania cieplnego [4]. Nie są to jednak metody powszechnie stosowane w tanich najczęściej występujących konstrukcjach. Obecnie najczęściej stosowaną techniką rozpoznania jest nadal wprawne oko pilota BSP.

Rozpoznanie termiczne prowadzone na szeroką skalę powoduje konieczność redukcji emisji ciepła do otoczenia przez ludzi i sprzęt. Najczęściej stosowanym środkiem redukcji emisji jest kamuflaż termiczny w postaci siatki maskującej. Istnieją również środki maskowania mobilnego, które są integralnym elementem pojazdów wojskowych i ograniczają wykrycie pojazdów zarówno w trakcie ruchu jak i postoju.

Istnieją cztery podstawowe cechy rozpoznania obrazowego dotyczącego rozpoznania obrazu w podczerwieni: temperatura, tekstura, kształt i statystyczny rozkład promieniowania cieplnego. Obecnie najczęściej stosowanym kryterium określającym skuteczność środków maskujących jest odległość, w jakiej nastąpiło rozpoznanie. Maskowanie uznaje się za skuteczne, jeśli odległość ta jest mniejsza niż zasięg rażenia bezpośredniego, ukrywanego obiektu. Metody określające spełnienie wymagań w kwestii maskowania termicznego pokryć i kompletów maskujących są opisane w [5]. Na uwagę zasługuje fakt, że badania zawarte w normie oparte są wyłącznie na obserwacji pomiarową kamerą termowizyjną zamontowaną na statywie stojącym na ziemi natomiast kryterium oceny jest oparte na arbitralnej ocenie trzech niezależnych obserwatorów. W normie nie ma wyszczególnionego zakresu widmowego podczerwieni, czułości detektora, jak również jego typu. Badania mogą być wykonywane wyłącz-

nie w temperaturze dodatniej, przez co z badań wykluczone są zimowe pokrycia maskujące, które powinny być badane w warunkach zimowych.

Inną miarą skuteczności kamuflażu jest średnia różnica temperatur tła i ukrywanego obiektu [2]. Ponadto można wyszczególnić 11 pomocniczych wskaźników obrazu, które mogą przyczynić się do rozpoznania poszukiwanego obiektu w obrazowanej scenie [6]. Wspomniane wskaźniki dotyczą promieniowania podczerwonego bez odniesienia do transparentności w świetle widzialnym. Transparentność w świetle widzialnym jest ściśle związana ze stopniem perforacji materiału. Duży stopień perforacji umożliwia odprowadzanie ciepła na drodze konwekcji. Dzięki temu zamaskowany żołnierz leżący na ziemi pod siatką maskującą ma większy komfort termiczny. Ten aspekt nabiera dużego znaczenia podczas obserwacji z powietrza za pomocą BSP. Żołnierze chcąc ukryć się przed obserwacją prowadzoną z BSP zmuszeni są do szczelnego zakrywania całego ciała włącznie z głową. Dlatego siatki o małym stopniu perforacji powodują duży dyskomfort żołnierzy. Z kolei zbyt duże otwory ujawniają sygnaturę termalną oraz obraz w świetle widzialnym, zatem wielkość otworów stanowi pewien kompromis między tymi dwiema przeciwstawnymi właściwościami.

## 2. Metodyka badań

Badaniu poddano 11 rodzajów materiałów siatek maskujących stosowanych na polu walki. Wygląd materiałów siatek maskujących przedstawiono na rys. 1. Celem badań było określenie korelacji między transparentnością w świetle widzialnym oraz w podczerwieni względem kontrastu termicznego ukrytego człowieka za materiałem siatki maskującej.

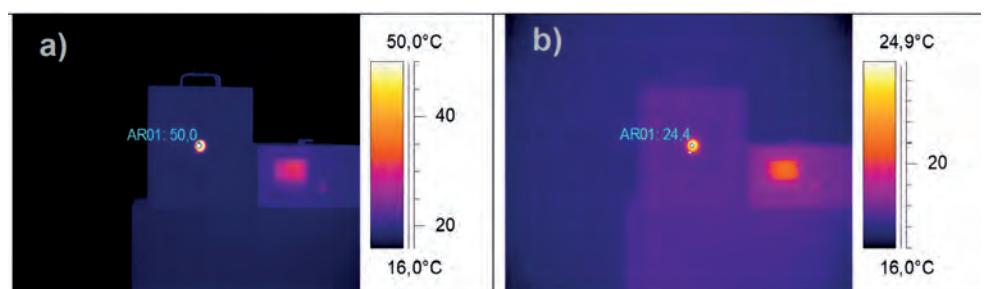
Transparentność materiałów maskujących w świetle widzialnym wyznaczono na podstawie pomiarów wycinków siatek maskujących. W całkowitym zaciemnieniu oświetlono luksomierz i zanotowano wynik pomiaru. Następnie światło lampy przesłonięto materiałem siatki maskującej i ponownie włączono lampę. Transparentność stanowi procentowa przepuszczalność światła. Badanie przeprowadzono stosując metodę opisaną w normie [5] za pomocą źródła światła oraz luksomierza. Badanie polegało na wyznaczeniu stosunku ilości światła docierającego bezpośrednio ze źródła do detektora oraz ze źródła poprzez materiał maskujący do detektora. Detektor mierzył ilość światła widzialnego o temperaturze barwowej 4000 K.

W kolejnym badaniu przeprowadzono serię 11 pomiarów polegających na zmierzeniu różnicy promieniowania między wzorcem ciała czarnego i promieniowaniem docierającym do detektora przez materiał siatki maskującej. Badanie przeprowadzono w warunkach pozbawionych bezpośredniego wpływu światła słonecznego w stałej temperaturze powietrza 8 °C. Przykładowe porównanie promieniowania wzorca ciała czarnego oraz promieniowania poprzez materiał siatki maskującej przedstawiono na rys. 2.

Pomiary wykonano kamerą pomiarową Flir SC550 w zakresie spektralnym 8–12  $\mu\text{m}$  o rozdzielczości 640 × 480 pikseli.

**Rys. 2. Przykładowy pomiar za pomocą wzorca ciała czarnego a) Bezpośrednie promieniowanie wzorca ciała czarnego 50 °C, b) Ciało czarne przesłonięte materiałem siatki maskującej nr 2**

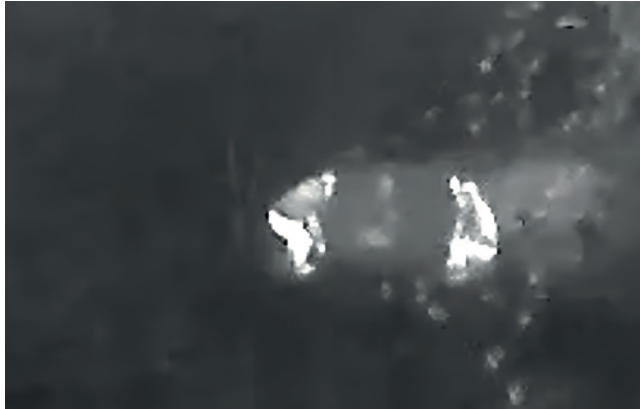
Fig. 2. Example measurement using a black body reference: a) Direct radiation from the black body reference 50 °C, b) Black body covered with masking material No. 2



Wzorzec ciała czarnego stanowił przyrząd Mikron M360 ustawiony na temperaturę 50 °C. Wzorzec ciała czarnego był ustawiony w odległości 1 m. od wieszaka na którym zawieszano siatki, które przesłaniały promieniowanie docierające z wzorca do kamery. Kamera stała w odległości 5 m od wzorca ciała czarnego. Badanie miało na celu określenie transparentności materiałów maskujących dla promieniowania podczerwonego.

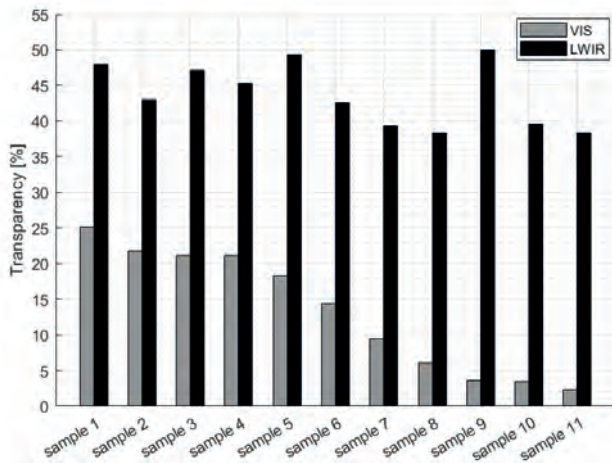
Kolejne badanie wykonano w warunkach polowych z użyciem obserwacyjnej kamery termowizyjnej KTX firmy Etronika. Przeprowadzone badanie polegało na obserwacji człowieka w ubraniu cywilnym ukrytego za materiałem siatki maskującej w warunkach obserwacji z powietrza za pomocą BSP (rys. 3). Tłem obserwacji była pokrywa śnieżna o grubości 5 cm.

Detektor podczerwieni użyty w BSP stanowiła kamera obserwacyjna KTX firmy Etronika z niechłodzoną matrycą bolome-

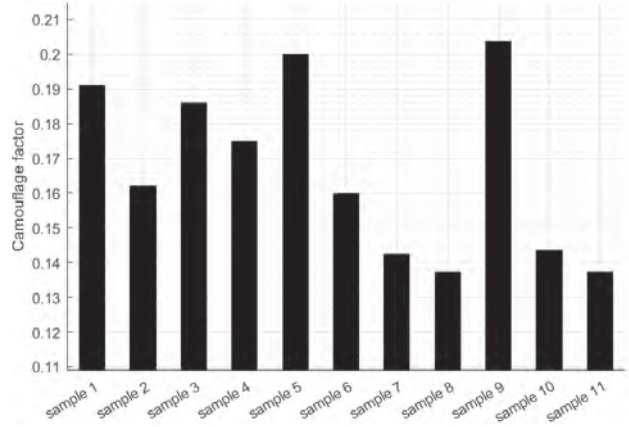


Rys. 3. Przykład wycinka termogramu z człowiekiem ukrytym za siatką maskującą. Odległość kamery od obiektu wynosiła 70 m  
Fig. 3. An example of a thermogram with a man hidden behind a camouflage net. The distance of the camera from the object 70 m

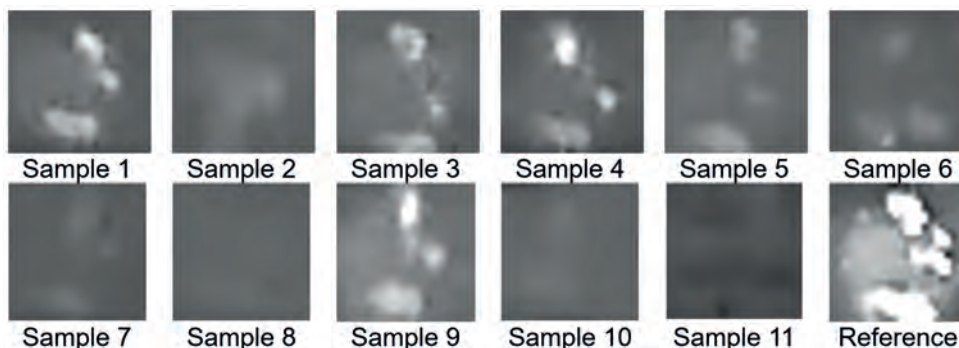
tryczną o rozdzielczości 1024 × 768 pikseli. Zakres spektralny kamery wynosił 8–12 μm. Wielkość piksela wynosiła 17 μm. Użyto obiektywu o ogniskowej 35 mm FOV 32,34 × 24,55°. Różnica temperatury równoważna szumom NETD (ang. *Noise Equivalent Temperature Difference*) wynosiła 50 mK. Kamera termowizyjna została zamontowana w głowicy umożliwiającej sterowanie kamerą oraz stabilizację mechaniczną w trzech osiach: pochylenia, przechylenia i odchylenia. Wykorzystany w badaniu BSP był czterowirnikowy mikroewiropląt Atrax, który dzięki swojej konstrukcji umożliwił zawis na określonej wysokości. Temperatura otoczenia podczas badań wynosiła -6 °C, prędkość wiatru około 7 m/s, wilgotność względna 90 %. Odległość między BSP i obserwowanym człowiekiem wynosiła 70 m pod kątem 45°. Za pomocą kamery umieszczonej na pokładzie BSP zarejestrowano termogram człowieka bez maskowania oraz 11 termogramów z człowiekiem umieszczonym za siatką dla wszystkich próbek materiałów. Na podstawie wycinków z termogramów obejmujących materiał siatki maskującej wyznaczono średni kontrast termiczny. Ponieważ kamera umieszczona w BSP nie jest kamerą pomiarową tylko obserwacyjną, kontrast wyznaczano na podstawie odchylenia standardowego wartości binarnych pikseli z zakresu 0–255 wycinków obrazów. Wyznaczono również średni kontrast referencyjny (obiekt obserwacji bez siatki maskującej). Transparentność dla podczerwieni  $TR_{LWIR}$  wyznaczono stosując wzór 1. Pomiar wykonywany był dla współczynnika emisyjności wzorca ciała czarnego  $\epsilon = 1$  bez uwzględniania współczynnika emisyjności materiałów siatek maskujących. Zmierzona transparentność w podczerwieni stanowi procentowy udział promieniowania wzorca ciała czarnego przesłoniętego siatką maskującą w stosunku do promieniowania tego samego ciała czarnego, którego promieniowanie dociera bezpośrednio do kamery pomiarowej. Pomiar powinien być wykonywany bez obecności innych źródeł ciepła.



Rys. 4. Transparentność materiałów dla światła widzialnego i dla podczerwieni w zakresie LWIR  
Fig. 4. Transparency of materials for visible light and infrared in the LWIR range



Rys. 5. Wyznaczone współczynniki jakości kamuflażu na podstawie wzoru 2  
Fig. 5. Calculated camouflage quality factors based on formula 2



Rys. 6. Obrazy termalne kucającego człowieka zastąpionego próbkami materiałów siatek maskujących. W prawym dolnym rogu – obraz człowieka bez kamuflażu  
Fig. 6. Thermal images of a crouching man obscured by samples of camouflage nets materials. In the lower right corner – an image of a man without camouflage

$$TR_{LWIR} = \frac{t_{det} \cdot 100\%}{t_{black}} \quad (1)$$

gdzie:  $TR_{LWIR}$  – transparentność dla zakresu podczerwieni LWIR;  $t_{det}$  – temperatura radiacyjna zmierzona kamerą,  $t_{black}$  – temperatura wzorca ciała czarnego.

Na podstawie parametrów transparentności w dwóch zakresach spektralnych stosując zależność (2) wyznaczono znormalizowany różnicowy współczynnik jakości kamuflażu, który dalej będzie nazywany  $cf$  (ang. *camouflage factor*).

$$cf = \frac{(100 - TR_{VIS}) - (100 - TR_{LWIR})}{(100 - TR_{VIS}) + (100 - TR_{LWIR})} \quad (2)$$

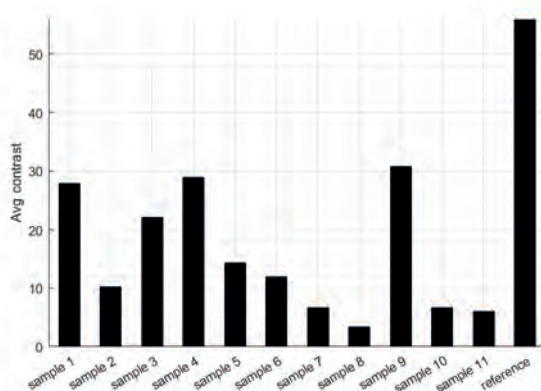
gdzie  $TR_{VIS}$  określa transparentność w świetle widzialnym.

### 3. Wyniki

Na rysunku 4 przedstawiono wykres transparentności poszczególnych próbek materiałów dla światła widzialnego oraz dla zakresu podczerwieni LWIR. Na wykresie uwidoczniono nieliniową zależność transparentności w dwóch zakresach spektralnych.

Próbki zostały ułożone na wykresie w porządku malejącej transparentności dla światła widzialnego w zakresie 2–25 %. Transparentność dla podczerwieni była badana dla temperatury wzorca ciała czarnego 50 °C w temperaturze otoczenia 8 °C. Zmierzony zakres transparentności dla zakresu LWIR wahał się od 38 % do 49 %. Na rysunku 5 przedstawiono poziomy wyznaczony bezwymiarowego współczynnika  $cf$  dla poszczególnych próbek, które wahały się w zakresie 0,13–0,20. Na rysunku 6 przedstawiono wycinki termogramów z człowiekiem znajdującym się za próbkami siatek maskujących. Ostatni wycinek w prawym dolnym rogu obrazuje człowieka bez osłony materiału maskującego.

Na rysunku 7 przedstawiono wykres średnich kontrastów termicznych wyznaczonych na podstawie termogramów pobranych za pomocą kamery KTX Etronika. Wartości pikseli w obrazie mogą przyjmować wartości w zakresie 0–255. Średnie kontrasty termiczne stanowią odchylenie standardowe wartości bezwzględnych jasności obliczone ze wszystkich pikseli z poszczególnych wycinków obrazu przedstawionych na rysunku 6. Obraz referencyjny charakteryzuje największy kontrast, którego średnia wynosi 59,94 jasności piksela. Najmniejszy kontrast obserwujemy na termogramie siatki nr 8, który wynosi 3,37.



Rys. 7. Wykres średnich kontrastów termicznych dla 11 próbek, wyznaczanych na podstawie jasności pikseli

Fig. 7. Graph of average thermal contrasts for 11 samples determined based on pixel brightness

### 4. Wnioski

Przeprowadzone pomiary na próbkach materiałów siatek maskujących wskazują, że stopień transparentności zależy od pasma promieniowania elektromagnetycznego. Z pomiarów wynika, że współczynniki transparentności dla światła widzialnego i dla podczerwieni są wzajemnie niezależne. Oryginalność zaproponowanego wskaźnika  $cf$  polega na tym, że jest on wielokryterialny, tzn. brana jest pod uwagę perforacja, która jest cechą pożądaną i zależy od transparentności w świetle widzialnym. Drugim kryterium jest stopień transparentności dla pasma podczerwieni, który powinien być mały, aby ukryć sygnaturę termiczną kamuflowanego obiektu. Wskaźnik  $cf$  może teoretycznie przyjmować wartości od  $-1$  do  $1$ , choć zazwyczaj będzie przyjmować wartość większą od  $0$ . W badaniu wartość wskaźnika wahała się w zakresie  $0,13$ – $0,20$ . Jeżeli wartość będzie dążyć do  $0$ , należy spodziewać się dobrych właściwości kamuflażu. Porównując wyznaczone współczynniki  $cf$  (rys. 5) z wycinkami termogramów (rys. 6) można łatwo dostrzec korelację między kamuflażem na termogramie i minimalną wartością wskaźnika. Kolejną ciekawą cechą jest to, że do wyznaczenia wskaźnika nie jest konieczna termowizyjna kamera pomiarowa, gdyż pomiar transparentności w podczerwieni można przeprowadzić metodą pirometryczną, dzięki czemu metoda jest prostsza w realizacji. Opracowany wskaźnik posiada podobne odwzorowanie do wskaźnika średnich kontrastów (rys. 7) z tą różnicą, że będzie on faworyzował materiały z większym współczynnikiem perforacji. W metodach tele-detekcyjnych stosuje się również analizę obrazu, gdzie wykorzystuje się podobne znormalizowane wskaźniki. Za przykład może posłużyć powszechnie stosowany wskaźnik wegetacji roślinności NDVI (ang. *Normalized Difference Vegetation Index*) [7], w którym bada się promieniowanie światła widzialnego o barwie czerwonej i promieniowania w bliskiej podczerwieni NIR.

### Bibliografia

1. ATP-3.3.7 Guidance for the training of unmanned aircraft systems (UAS) operators, Edition B, Version 1, NATO Standardization Agency, 2014, 1–4.
2. Kaushik R., Selvamurthy W., *Starlink's Role in Ukraine – Portent of a Space War?*. “Journal of Defence Studies”, Vol. 17, No. 1, 2023, 25–44.
3. Kuznetsov A., Gashnikov M., *Increasing the Size of the Camouflage Area for Remote Sensing Images*. [In:] Proceedings of 2021 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT). Jekaterynburg, Rosja. 2021, 0312–0315. DOI: 10.1109/USBEREIT51232.2021.9455113.
4. Qi Lv, Baoyu Ding, Ling Li, *Research on Evaluation of Target Thermal Infrared Camouflage Effect Based on Image Features*. [In:] Proceedings of 2019 IEEE 2nd International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE), 2019, DOI: 10.1109/ICISCAE48440.2019.221678.
5. Norma Obronna NO-10-A504: 2017 „Pokrycia i komplety maskujące - Badania”.
6. Olsen F.B., *Methods for Evaluating Thermal Camouflage*, RTO SCI Symposium on “Sensors and Sensor Denial by Camouflage, Concealment and Deception”, Brussels, Belgium, 19–20 April 2004.
7. Townshend J.R.G., Goff T.E., Tucker C.J., *Multitemporal Dimensionality of Images of Normalized Difference Vegetation Index at Continental Scales*, “IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing”, Vol. GE-23, No. 6, 1985, 888–895, DOI: 10.1109/TGRS.1985.289474.

# Testing the Effectiveness of Camouflage Nets Materials in Terms of Observation from the UAV Position

**Abstract:** This article presents the results of aerial observations conducted using infrared airborne surveillance platforms. The observation conditions closely resembled real battlefield conditions. The observation results were compared with laboratory studies that utilized a black body reference to measure the radiative transmission of 11 different masking nets materials. The research referred to the measured transparency coefficient of the tested materials. The conducted research indicates that there is no consistent correlation between transparency in visible light and infrared radiation passing through the masking material for the tested materials. Considering that camouflage meshes and the materials from which they are made have become highly sought-after equipment on the modern battlefield, with many entities initiating their production, there is a strong need to develop a rapid method for assessing the suitability of such materials in terms of thermal camouflage. The study proposes the utilization of a simple camouflage evaluation index based on transparency in two spectral ranges.

**Keywords:** UAV, thermal camouflage, infrared reconnaissance, camouflage nets, remote sensing, camouflage evaluation

## dr inż. Anna Szajewska

aszajewska@apoz.edu.pl

ORCID: 0000-0001-8370-6807

Adiunkt w Akademii Pożarniczej w Warszawie, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności. Działalność naukowa: badanie rozwoju pożarów zewnętrznych, komputerowe przetwarzanie obrazów, technologia podczerwieni, zastosowania termowizji.



## por. mgr inż. Paweł Kalinowski

pawel.kalinowski@itwl.pl

ORCID: 0000-0001-6167-2140

Absolwent wydziału Mechatroniki w Wojskowej Akademii Technicznej. Kierownik Pracowni Systemów Obserwacji i Rozpoznania Zakład Kompozytowych Konstrukcji Lotniczych (Z-58) Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych. Zainteresowania naukowe: sieci neuronowe, przetwarzanie i klasyfikacja obrazów.



## mgr inż. Krzysztof Szajewski

krzysztof.szajewski@wat.edu.pl

ORCID: 0000-0002-8429-3976

Absolwent wydziału Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej. Od 2021 r. zatrudniony w Wojskowej Akademii Technicznej na wydziale Cybernetyki. Pracuje również w Pracowni Systemów Obserwacji i Rozpoznania w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Zainteresowania koncentrują się wokół prototypowania cyfrowych urządzeń elektronicznych, cyfrowego obrazowania oraz cyfrowego przetwarzania sygnałów.

