

Rola kamuflażu dla długotrwałego funkcjonowania urządzeń elektrycznych podwójnego zastosowania

Streszczenie. Artykuł przedstawia rolę kamuflażu jako jedną z podstawowych form maskowania w ochronie własnych sił, a w szczególności urządzeń elektrycznych, przed rozpoznaniem nieprzyjaciela w zakresie optycznym. Proponowane rozwiązania przedstawiono na przykładzie małogabarytowych urządzeń – źródeł energii składających się z ogniw słonecznych (krzemowych lub barwnikowych) oraz magazynów energii (baterii litowo-jonowych lub superkondensatorów).

Abstract. The paper presents the role of camouflage as one of the basic forms of masking in protecting one's own forces, and in particular electrical devices, against recognizing the enemy in the optical scope. It was shown on the example of small-size devices – hybrid energy sources consisting of solar cells (silicon or dye) and energy storage (lithium-ion batteries or supercapacitors) –. (*The role of camouflage for the long-term operation of dual-use electrical devices*).

Słowa kluczowe: urządzenia elektryczne, panele fotowoltaiczne, hybrydowe źródła energii, wojsko, maskowanie, kamuflaż.

Keywords: electrical device, photovoltaic panel, hybrid energy sources, military, camouflage.

Wstęp

WITI od wielu lat specjalizuje się w technice kamuflażu i maskowania dla zastosowań wojskowych. Opracowywane, wdrażane oraz użytkowane systemy maskowania taktycznego wymagają oceny skuteczności maskowania. Badania skuteczności maskowania są przeprowadzane w terenie dla różnych scenarii [1] (las iglasty, liściasty, mieszany, teren zurbanizowany, pustynny, półpustynny, skalisty, stepowy i in.); pór roku (wiosna, lato, jesień, zima bezśnieżna, zima śnieżna); i metod obserwacji (oko nieuzbrojone VIS, lornetka, noktowizor NV, bliska podczerwień NIR) w oparciu o normy obronne [2, 3] i metodyki badań opracowywane w WITI [4, 5]. Indywidualny ekran maskujący został opracowany przez WITI i firmę LUBAWA pod konkretne, zgłoszone potrzeby żołnierzy (<https://portal-mundurowy.pl/index.php/component/k2/item/11149-nowosci-witi-i-lubawy-indywidualny-ekran-maskujacy-iem>).

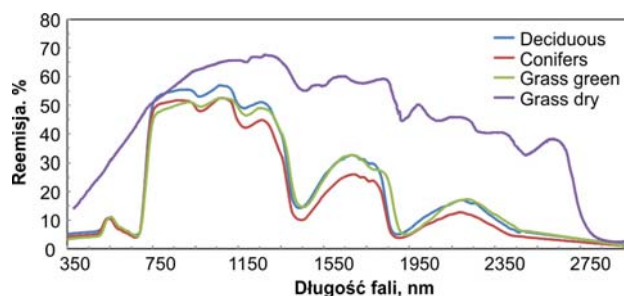
Maskowanie, jest dość szerokim pojęciem i obejmuje różne horyzonty: strategiczny, operacyjny i taktyczny (bezpośredni) [6]. W artykule odnosimy się do maskowania bezpośredniego, gdzie ukrycie się przed przeciwnikiem jest jednym ze skutecznych sposobów dla długotrwałego funkcjonowania na polu walki. Maskowanie, a w szczególności jedna z jego form – kamuflaż jest podstawową formą ochrony własnych urządzeń, w tym elektrycznych, przed nieprzyjacielem. Szybki rozwój i coraz większe możliwości stosowania multispektralnych sensorów optoelektrycznych umożliwia prowadzenie rozpoznania wojskowego w szerokim zakresie. Stąd rozróżnia się zakres optyczny (ultrafiolet, pasmo widzialne, bliska podczerwień), termalny (daleką podczerwień), radiolokacyjny, magnetyczny czy akustyczny. Artykuł skupia się na paśmie widzialnym, w którym, pomimo rozwoju techniki, oko ludzkie w dalszym ciągu jest głównym optycznym „przyrządem” rozpoznawczym [7÷11]. Przyjmuje się, że zakres widzialny obejmuje promieniowanie elektromagnetyczne w przedziale 380÷700 nm.

Zatem głównym zadaniem kamuflażu jest zniwelowanie cech demaskujących czyli takich, które umożliwiają odróżnienie jednych obiektów od drugich. W zakresie widzialnym będą to np. kolor, kształt, wielkość, połysk, faktura. W tym celu stosuje się głównie trzy techniki: maskowanie doraźnymi naturalnymi środkami dostępnymi

w terenie (np. elementy roślin takie jak gałęzie, liście), malowanie lub wyklejanie maskujące – powłoki trwale związane z maskowanym obiektem oraz pokrycia maskujące (tzw. siatki maskujące) – zdejmowane z obiektu. W projekcie Techmatstrateg do maskowania urządzeń wykorzystano specjalnie zadrukowane folie termo.

Kolor

W środowisku naturalnym rzadko mamy do czynienia z promieniowaniem o jednej długości fali, zwykle jest to przewaga pewnej lub pewnych częstotliwości, które decydują o wrażeniu odbierania koloru, np. fiolet – 390 nm, niebieski – 460 nm, zielony – 550 nm, żółty 580 nm, pomarańczowy – 600 nm, czerwony – 700 nm, karmazynowy (magenta) – 460 nm i 700 nm. Główne źródło światła na Ziemi – Słońce charakteryzuje się w miarę równomiernym rozkładem fal, dając światło białe. W rzeczywistości zdecydowanie częściej jednak odbieramy światło odbite od obiektów, które jednocześnie pochłaniają część energii o charakterystycznych częstotliwościach dla materii z jakiej są zbudowane. Można zatem wyznaczyć charakterystyki spektralne dla poszczególnych obiektów czy materiałów (rys. 1).



Rys. 1. Charakterystyki spektralne terenów zielonych iglastych, liściastych i traw (*Aster Spectral Library*)

Jednak ludzkie oko nie odbiera ciągłej charakterystyki spektralnej. Zgodnie z teorią Younga-Helmholtza zbudowane jest z trzech rodzajów receptorów (czopków) uwrażliwionych na bodźcowanie tylko z pewnego zakresu widzialnego i z wyraźnymi maksimumi dla wybranych częstotliwości: receptor L – maksimum czułości ok. 565 nm,

receptor M – maksimum czułości ok. 530 nm, receptor S – maksimum czułości ok. 420 nm [12].

W oparciu o tę właściwość ludzkiego zmysłu widzenia zbudowano modele koloru niezależne od urządzenia: CIE XYZ, CIE Lab – służące od opisywania barw widzianych przez człowieka oraz modele zależne od urządzenia RGB, CMYK – służące do akwizycji, generowania i prezentowania obrazów kolorowych (skanery, kamery, monitory, projektory, drukarki).

Inną konsekwencją w istocie tej niedoskonałości wzroku człowieka jest zjawisko metameryzmu, czyli wrażenia postrzegania identycznej barwy dla obiektów o różnej charakterystyce spektralnej.

Zatem w opracowaniu kamuflażu pierwszym etapem było zebranie informacji o barwach tła terenu dla którego przygotowany był kamuflaż. Dokonano zarówno zbierając charakterystyki spektralne, jak i współrzędne barw w jednym z niezależnych modeli koloru (CIE Lab), który charakteryzuje się percepcyjną równomiernością, a to z kolei umożliwiało stosunkowo łatwe określanie różnic kolorów ΔE (1) [13].

$$(1) \quad \Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

gdzie: ΔL – różnica jasności dla porównywanych kolorów, Δa – różnica składowej chromatycznej a , Δb – różnica składowej chromatycznej b .

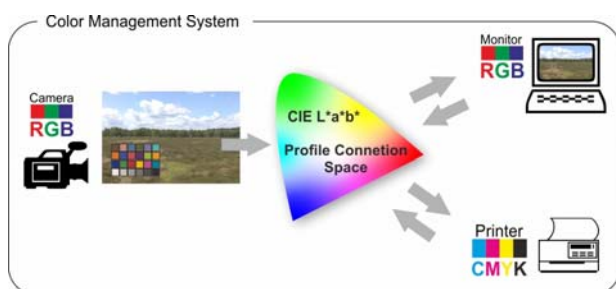
Przyjmuje się, że dla $\Delta E < 1$, nie zauważa się różnicy kolorów, a w zakresie $1 < \Delta E < 2$ jedynie doświadczony obserwator jest w stanie zauważyć różnicę [14].

Informacjami uzupełniającymi były również zdjęcia tła terenu (rys. 2), które charakteryzowały się odpowiednią ilością informacji (rozdzielczość przestrzenna) oraz jej jakością (rozdzielczość tonalna i poprawność kolorystyczna). W tym celu wykonywano zobrazowania o odpowiedniej rozdzielczości i przy użyciu wzorcowych tablic kolorów i bieli (*Colorchecker*) oraz zapisywano w bezstratnych formatach plików [15].



Rys. 2. Przykładowe zobrazowanie terenu dla Europy Środkowej

Urządzenia zobrazujące (aparaty fotograficzne, monitory, drukarki) pracowały w podzakresie przestrzeni zależnej AdobeRGB, natomiast obróbka kolorystyczna odbywała się w oparciu o percepcję ludzkiego oka i aby zapewnić zgodność kolorystyczną obrazów w całym torze edycji skorzystano z systemu zarządzania barwą CMS (*Color Management System*) (rys. 3), uprzednio dokonując kalibracji wszystkich urządzeń.



Rys. 3. Cyfrowy system zarządzania barwą

Wzór kamuflażowy

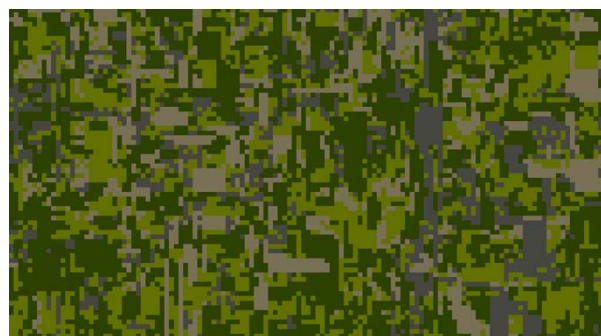
Zebrane informacje o kolorach w tym zobrazowaniu posłużyły do wygenerowania czterech kolorów bazowych oraz ich udziałów procentowych dla każdego z dedykowanych kamuflażu [16]: *Woodland* (Europa Środkowa) oraz *Desert* (pustynia skalisto-piaszczysta). Wykorzystano oprogramowanie wytworzone w Instytucie, a oparte na algorytmie Otsu (najmniejszej wariancji).

Uzyskane dane – kolory i ich udziały – posłużyły do wygenerowania wzorów kamuflażowych dla poszczególnych układów zasilających: z ogniwem barwnikowym i superkondensatorami pastylkowymi (BPV-BLJ-SCP) z wzorem desert (rys. 4), z ogniwem barwnikowym i superkondensatorami (BPV-BLJ-SC) z wzorem pustynnym oraz z ogniwem krzemowym i superkondensatorami (Si-BLJ-SC) z wzorem woodland (rys. 5).

Prezentowane ładowarki słoneczne zostały skonstruowane w WITI w ramach realizowanego projektu (TECHMATSTRATEG1/347431/14/NCBR/2018) w oparciu o innowacyjną myśl inżynierską i doświadczenie gdzie elementami składowymi były zarówno komercyjne jak i dostarczone przez Partnerów projektu (ML System, UW WCh) elementy składowe [17-20].

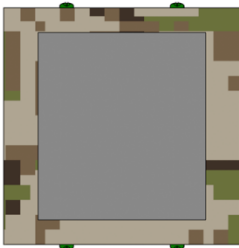


Rys. 4. Fragment wygenerowanego wzoru kamuflażowego dla terenów pustynnych (desert)



Rys. 5. Fragment wygenerowanego wzoru kamuflażowego dla terenów leśnych

Kamuflaż pikselowy pustynny by I.Piebankiewicz:
 Beż L81 a3 b19
 Brąz L45 a 7 b18
 Zieleni L50 a-10 b29
 Grafit L24 a5 b9



TECHMAT
STRATEG

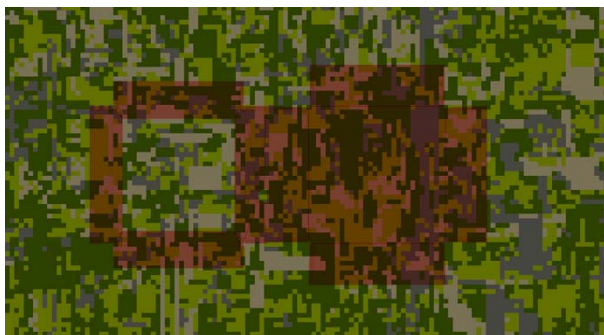
KAMUFLAŻ PODSTAWOWY – P/1 - góra
 Układ zasilający z ogniwem barwnikowym BPV-BLJ-SC

Opisował:
 Inżynier Piebankiewicz
 Wojciech Piłytył

Rys. 6. Katalog wzoru kamuflażowego podstawowego (widoku z góry) dla układu zasilającego z ogniwem barwnikowym i superkondensatorami

W oparciu o wzory kamuflażowe i projekty obudów urządzeń wykonano katalogi wzorów kamuflażowych (rysunek 6).

Wzory kamuflażowe wydrukowano na specjalnej folii odpornej na warunki atmosferyczne (deszcz, woda, UV), a następnie w oparciu o katalogi (rys. 7) naniesiono je na obudowy urządzeń. Termokurczliwość folii umożliwiła dobre przyleganie i dopasowanie się również do wyoblen.



Rys. 7. Wzór kamuflażowy z naniesioną rozwiniętą siatką obudowy.

Gotowe układy zasilające przedstawiono na rys.8 i 9.



Rys. 8. Układ zasilający z ogniwem barwnikowym i superkondensatorami w kamuflażu pustynnym



Rys. 9. Układ zasilający z ogniwem krzemowymi i superkondensatorami w kamuflażu leśnym

Podsumowanie

Ocenę skuteczności maskowania przeprowadzono w warunkach poligonowych, umieszczając obiekty (układy zasilające) w naturalnym środowisku, w miejscach przeznaczonych do ich użytkowania (rys. 10 i 11). Brak rozpoznania (określenie, że obiekt wykryty to konkretny typ obiektu) lub identyfikacji (określenie, że obiekt rozpoznany to konkretny typ obiektu) czy nawet wykrycia (stwierdzenie obecności obiektu o potencjalnym znaczeniu wojskowym) świadczył o prawidłowym doborze kształtów plam, kolorach i ich udziale w dedykowanych wzorach kamuflażowych.



Rys. 10. Układ zasilający w trakcie badań poligonowych



Rys. 11. Miejsce lokalizacji układu zasilającego w trakcie badań poligonowych

Podziękowania dla Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) za wsparcie finansowe projektu „Wydajne i lekkie układy zasilające złożone z ogniw słonecznych i baterii litowo-jonowej oraz ogniw słonecznych i superkondensatora przeznaczone do zastosowań specjalnych” otrzymane w ramach Strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Nowoczesne technologie materiałowe”. (Nr TECHMATSTRATEG1 / 347431 / 14 / NCBR / 2018).

Podziękowania dla firmy ML System za współpracę i dostarczenie barwnikowych ogniw słonecznych do konstrukcji ładowarki słonecznej.

Podziękowania dla UW WCh (dr M. Skunik-Nuckowska, prof. P. Kulesza) za współpracę i dostarczenie superkondensatorów do konstrukcji ładowarki słonecznej.

Podziękowania dla UW WCh (dr B. Hamankiewicz, prof. A. Czerwiński) za współpracę i dostarczenie baterii litowo-jonowych do konstrukcji ładowarki słonecznej.

Autorzy: mgr inż. Wojciech PRZYBYŁ, Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, e-mail: przybyl@witi.wroc.pl; mgr inż. Ireneusz PLEBANKIEWICZ, Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, E-mail: plebankiewicz@witi.wroc.pl, dr Krzysztof A. BOGDANOWICZ, Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław,

e-mail: bogdanowicz@witi.wroc.pl, dr hab. Adam JANUSZKO, profesor Instytutu, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, E-mail: januszko@witi.wroc.pl; prof. dr hab. Agnieszka IWAN, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, E-mail: iwan@witi.wroc.pl;

LITERATURA

- [1] Plebankiewicz I., Januszko A., Kwak A., Musiał G. Przybył W., Analiza zobrazowań i danych spektralnych z wybranych miejsc półkuli północnej oraz przykładowe realizacje wzorów kamuflażowych dla tych miejsc, *Monografia: Inżynieria wojskowa problemy i perspektywy* (2018), 375-384, Wrocław, WITI
- [2] J.E.Peak, L. Hepfinger, R. Balma, G. Christopher, J. Fleuriet, T. Honke, G. Huebner, E. Mauer, P. Dotoli, P. Ronconi, P.A.M. Jacobs; Guidelines for Camouflage Assessment Using Observers, NATO 2006, TRO-AG-SCI-095(AC/323/(ACI-095)TP/96).
- [3] Norma Obronna NO-10-A504, Pokrycia i komplety maskujące Badania, 2021.
- [4] Procedura badawcza PB-DT 4-07, Określenie skuteczności maskowania uzbrojenia i sprzętu wojskowego przed rozpoznaniem optycznym, WITI, 2021.
- [5] Januszko A., Szczodrowska B., Przybył W., Dylong A., Metodyka badań skuteczności maskowania obiektów małogabarytowych, *Monografia: Inżynieria wojskowa problemy i perspektywy* (2018), 365-374, Wrocław, WITI
- [6] Maskowanie wojsk i wojskowej infrastruktury obronnej, DD/3.20, MON/SG WP, Warszawa, (2010).
- [7] Laprus M. [red.], Leksykon wiedzy wojskowej, Warszawa, (1979), Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej.
- [8] Land, E. H., McCann, J. J., Lightness and retinex theory. *Journal of the Optical Society of America*, 61, 1971. p. 1-11.
- [9] Dacey, D. M. Parallel pathways for spectral coding in primate retina. *Annual Review of Neuroscience*, 23, 2000, s. 743-775.
- [10] Hofer, H., Carroll, J., Williams, D. R. Photoreceptor mosaic. W: Squire L. R. (red.), *Encyclopedia of neuroscience*. Elsevier Ltd. 2009
- [11] Wykowska Maria, *Ergonomia*, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Kraków 1994
- [12] Barry. B. Lee., The evolution of concepts of color vision, *Neurociencias*. 2008 July 1; 4(4): 209–224.
- [13] Polska Norma PN-EN ISO 105-J03:2009, Tekstylnia – Badanie odporności wybarwień – Część J03: Obliczanie różnic barw.
- [14] Przybył W., Plebankiewicz I., Januszko A., *Koncepcja wirtualnej metody oceny skuteczności kamuflażu*, (2020), Kielce, Politechnika Świętokrzyska.
- [15] Przybył W., Plebankiewicz I., Januszko A., Śliwiński C., Malej W., *Zobrazowania środowiska oraz modele obiektów wojskowych w wirtualnej metodzie oceny skuteczności maskowania*, *Monografia: Wybrana problematyka w technologiach inżynierii mechanicznej*, (2020), 234-242, Kielce, Politechnika Świętokrzyska.
- [16] Plebankiewicz I., Przybył W., Szczodrowska B., Musiał G., Sposób generowania cyfrowego wzoru kamuflażu; Nr zgłoszenia: P.412804, Data zgłoszenia: 22.06.2015; Nr patentu: Pat.226797.
- [17] Plebankiewicz I., Bogdanowicz K.A., Iwan A. Photo-Rechargeable Electric Energy Storage Systems Based on Silicon Solar Cells and Supercapacitor-Engineering Concept , *Energies*, 13 (2020) 3867.
- [18] Plebankiewicz, I.; Bogdanowicz, K.A.; Iwan, A. Electronic System for Charger of Supercapacitors from Solar Cells. Polish Patent Application P.32868, 2020.
- [19] Skunik-Nuckowska M., Raczka P., Lubera J., Mroziewicz A.A, Kulesza P.J., Plebankiewicz I., Bogdanowicz K., Iwan A., Iodide electrolyte-based hybrid supercapacitor for compact photo-rechargeable Energy storage system utilizing silicon solar cells, *Energies* 14 (2021) 2708
- [20] Bogdanowicz, K.A.; Augustowski, D.; Dziedzic, J.; Kwaśnicki, P.; Malej, W.; Iwan, A., Preparation and characterization of novel polymer-based gel electrolyte for dye-sensitized solar cells based on poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) and poly(acrylonitrile-co-butadiene) or poly(dimethylsiloxane) bis(3-aminopropyl) copolymers, *Materials* 13 (2020) 2721.