

**WYKORZYSTANIE ZOBRAZOWAŃ HIPERSPEKTRALNYCH  
I WSKAŹNIKÓW WEGETACYJNYCH DO WYRÓŻNIANIA OBIEKTÓW  
SZTUCZNYCH Z TŁA NATURLANEGO**

**RECOGNITION OF ARTIFICIAL OBJECTS AGAINST A NATURAL  
BACKGROUND WITH THE USE OF HYPERSPECTRAL IMAGERY  
AND VEGETATION INDICES**

**Wiesław Dębski, Piotr Walczykowski, Agata Orych, Aleksandra Rosińska**

Wojskowa Akademia Techniczna im. J. Dąbrowskiego

SŁOWA KLUCZOWE: rozpoznanie, technika hiperspektralna, indeks wegetacyjny

STRESZCZENIE: Wyróżnienie i identyfikacja obiektów wojskowych maskowanych i nie maskowanych jest głównym celem wojskowego rozpoznania obrazowego. Rozpoznanie obiektów może odbywać się przy wykorzystaniu technik hiperspektralnych, które umożliwiają tworzenie stycznych, nierozłącznych i bardzo wąskich zakresów rejestracji. Pozyskane w ten sposób zobrażenia w zakresie VIS oraz NIR, mogą być wykorzystane w celach rozpoznania na różnych poziomach szczegółowości. W dobie rozwijających się technik rozpoznawczych pojawiła się potrzeba prowadzenia rozpoznania w czasie rzeczywistym, dlatego też prowadzono badania nad wykorzystaniem wskaźników wegetacyjnych (jak np. NDVI) w celu wyróżnienia obiektów sztucznych z naturalnego tła. W artykule przedstawiono prace doświadczalne związane z doбором odpowiednich scen hiperspektralnych dla wybranego wskaźnika wegetacyjnego. Analizy dokonano na podstawie obrazów hiperspektralnych roślin naturalnych i sztucznych. Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych prac badawczych nad doбором optymalnego zakresu, w którym występują największe różnice pomiędzy charakterystykami odbiciowymi wyróżnianego obiektu i tła. Jednocześnie zastosowanie filtra elektrooptycznego VIS ograniczyło zakres badań do 400-720nm.

## **1. WSTĘP**

Pozyskiwanie informacji obrazowej z wykorzystaniem techniki hiperspektralnej stosuje się w systemach teledetekcyjnych satelitarnych i lotniczych. Technika hiperspektralna w teledetekcyjnych systemach naziemnych do tej pory jest wykorzystywana tylko w niewielkim stopniu. Wykorzystanie techniki hiperspektralnej do naziemnego rozpoznania obrazowego obiektów wojskowych z tła naturalnego stanowi treść niniejszego artykułu.

Istotnym problem w wojskowym obrazowym rozpoznaniu jest wyróżnianie obiektów maskowanych z tła naturalnego.

Maskowanie jest jednym ze sposobów zabezpieczenia wojsk i stanowi w działaniach bojowych jedno z najistotniejszych przedsięwzięć mających na celu wprowadzenie przeciwnika w błąd, co do rozmieszczenia sił, ich przeznaczenia

i zamiaru. Efekt maskowania uzyskuje się na drodze odpowiednich przedsięwzięć, z których najistotniejsze to: ukrywanie, imitacja, przedsięwzięcia demonstracyjne i dezinformujące.

Warunkiem skutecznego zamaskowania obiektu jest zmniejszenie widzialności obiektu do granicy progowej lub zakrycie obiektu.

Zmniejszenie widzialności obiektu do granicy progowej uzyskuje się na drodze zmniejszenia wartości kontrastu luminancji. Natomiast zmiana kształtu obiektu może nastąpić np. na drodze malowania kamuflażowego i upodobnienia maskowanego obiektu do tła. Natomiast obiekty pozorne (makiety) wprowadzone do tła muszą posiadać wszystkie cechy obiektów rzeczywistych, szczególnie kształt i wymiary detali powinny być odtworzone w stopniu wyższym niż możliwości techniki rozpoznania.

Dlatego nie jest sztuką wykrycie obiektu nawet z dużej odległości, ale sztuką jest stwierdzić czy obiekt ten jest prawdziwy.

Na podstawie przeprowadzonego rozpoznania literaturowego można sądzić, że państwa mające duże osiągnięcia w zakresie wojskowego rozpoznania obrazowego wykorzystują technikę hiperspektralną nie ujawniają jednak swoich rozwiązań technicznych w tej dziedzinie, a w kraju ten problem nie był rozwiązywany.

W dobie rozwijających się technik rozpoznawczych pojawiło się nowe pojęcie rozpoznania w czasie rzeczywistym. Termin "czas rzeczywisty" może być używany w celu opisanego dowolnej działalności związanej z przetwarzaniem informacji w ramach której należy odpowiadać na zewnętrznie generowane zdarzenia w skończonym i z góry określonym czasie.

W tym przypadku system pozyskiwania informacji w czasie rzeczywistym powinien zapewnić w jak najkrótszym czasie pozyskanie scen hiperspektralnych oraz ich cyfrowe przetworzenie.

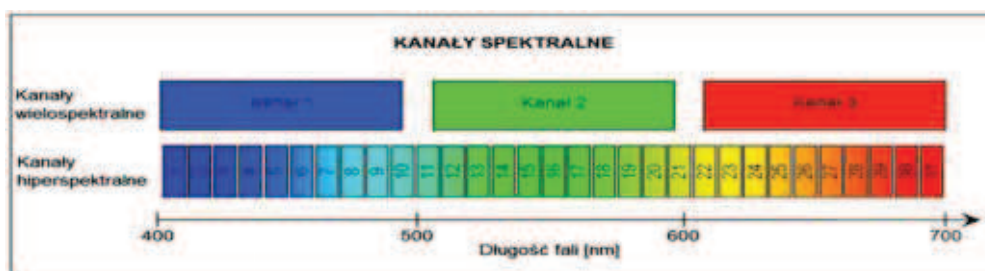
Dla europejskiego teatru bojowych działań charakterystyczne jest występowanie roślinności jako tła naturalnego dla obiektów wojskowych. Zastosowanie indeksów wegetacyjnych pozwoliło na skrócenie czasu wyróżnienia obiektów z tła naturalnego do czasu zbliżonego do rzeczywistego. W tej metodzie niezbędne jest znalezienie tylko dwóch obrazów, w których kontrast między badanymi obiektami jest największy.

Ostatnio na rynku pojawiły się cyfrowe wysokorozdzielcze kamery video oraz filtry optoelektroniczne umożliwiające pozyskanie informacji hiperspektralnej w warunkach naziemnych. Elementy powyższe postanowiono wykorzystać do stworzenia zestawu do „Wykrywania obiektów maskowanych w czasie rzeczywistym”.

## **2. TECHNIKA HIPERSPEKTRALNA**

W ostatnim okresie nastąpił znaczny postęp w rozwoju tzw. techniki wielospektralnej, pozwalającej na jednoczesną rejestrację obrazu tego samego terenu w różnych zakresach widma elektromagnetycznego. Operację tę wykonuje się zarówno metodą bezpośrednią, poprzez układ optyczny na materiale światłoczułym, jak i metodą pośrednią, przy użyciu fotodetektorów umożliwiających uzyskanie obrazu z szerokiego zakresu promieniowania elektromagnetycznego.

Technika hiperspektralna, tak jak wielospektralna, umożliwia jednoczesną rejestrację obrazów tego samego terenu w różnych zakresach spektrum. Różnica polega na tym, iż w przypadku obrazu hiperspektralnego mamy do czynienia ze zdecydowanie większą liczbą kanałów (od kilkudziesięciu do kilkuset). Technika wielospektralna pozyskuje zdjęcia w określonej liczbie nieciągłych, stosunkowo szerokich kanałach. Natomiast technika hiperspektralna pozyskuje zdjęcia w sąsiadujących, wąskich zakresach spektralnych i umożliwia analizę danych spektroskopowych. Poszczególne kanały są znacznie gęściej rozmieszczone i obejmują niewielkie fragmenty spektrum elektromagnetycznego (10-20 nm).



Rys.1. Porównanie ilości kanałów wielospektralnych i hiperspektralnych w zakresie widzialnym

Idea obrazowań hiperspektralnych przedstawia się następująco. Im więcej zarejestrujemy kanałów tym więcej będziemy mieć możliwości wykrycia różnic w charakterystyce odbicia spektralnego badanych przez nas obiektów. Jednocześnie coraz bardziej zbliżać się będziemy do kształtu rzeczywistych krzywych spektralnych tych obiektów. Jeżeli zarejestruje się odpowiednio wiele, wąskich fragmentów spektrum, to jest możliwość rozpoznawać obiekty poprzez porównanie zarejestrowanych odpowiedzi spektralnych z krzywymi spektralnymi uzyskanymi z pomiarów spektrometrycznych. Krzywe takie publikowane są w formie tzw. bibliotek spektralnych.

### 3. INDEKSY WEGETACYJNE

W telelekcji jedną z głównych metod, wykorzystywanych przy badaniu zielonej roślinności, jest metoda oparta o indeksy wegetacyjne, zwane również wskaźnikami wegetacji lub wskaźnikami roślinnymi. Są one wykorzystywane do oceny kondycji roślin pod względem jakościowym i ilościowym. Współczynnik odbicia roślin zmienia się na całej długości spektrum elektromagnetycznego. Zdrowe rośliny zielone pochłaniają promieniowanie niebieskie oraz czerwone, które są nieodzownym elementem w procesie fotosyntezy. Z drugiej strony zdrowe rośliny charakteryzują się większym współczynnikiem odbicia w zakresie zielonym, dlatego też postrzegamy je jako zielone.

Do wyznaczenia indeksów wegetacyjnych wykorzystywane są obrazowania o różnej rozdzielczości przestrzennej pozyskane z pułapu naziemnego, lotniczego lub satelitarnego. Ze względu na fakt, że zdrowa roślinność charakteryzuje się różnym stopniem pochłaniania promieniowania w paśmie bliskiej podczerwieni i czerwonym, wymienione zakresy spektrum wykorzystywane są do obliczania wskaźników roślinności.

*RED* – wielkość odbicia promieniowania w zakresie czerwieni;

*NIR* – wielkość odbicia promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni.

- *Ratio Vegetation Index*

$$RATIO = \frac{NIR}{RED} \quad (1)$$

Ten rodzaj indeksu został opracowany do przetwarzania obrazów LANDSAT TM. Zadaniem wskaźnika było sprawne odróżnienie obszarów pokrytych roślinnością od tych terenów, które były jej pozbawione.

- *Normalized Difference Vegetation Index*

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (2)$$

Indeks NDVI jest najpopularniejszy wśród wskaźników z uwagi na odporność na błędy oraz łatwość w wyznaczeniu. Umożliwia identyfikację typu pokrywy roślinnej oraz określenie stopnia jej rozwoju.

- *Vegetation Index*

$$VEG\_INDEX = NIR - RED \quad (3)$$

Wskaźnik *Vegetation Index* jest jedną z najprostszych operacji wskaźnikowych pozwalających na odróżnienie roślinności naturalnej z tła nie-roślinnego

Do innych, rzadziej używanych indeksów wegetacyjnych zalicza się również Corrected Transformed Vegetation Index, Transformed Vegetation Index, Thiam's Transformed Vegetation Index, Ratio Vegetation Index, Normalized Ratio Vegetation Index, Perpendicular Vegetation Index, Soil Adjusted Vegetation Index.

#### 4. ZESTAW HIPERSPEKTRALNY

Aparatura użyta do zrealizowania pomiarów to zaprojektowany i wykonany w Wojskowej Akademii Technicznej zestaw hiperspektralny (Dębski et al. 2008a, 2008b, 2008c) składający się z następujących elementów:

- Monochromatyczna cyfrowa kamera wizyjna.
- Wąskopasmowy filtr optoelektroniczny z jednostką sterującą.
- Oprogramowanie do sterowania hiperspektralną akwizycją obrazów.

Wykorzystano kamerę QImaging QICAM Fast 1394 , która jest wyposażona w monochromatyczną progresywną matrycę CCD (Sony ICX205

Zastosowany filtr VariSpec firmy CRi jest filtrem typu LCTF, czyli ciekłokrystalicznym filtrem przestrajalnym. Działa na zasadzie wysokiej jakości filtru interferencyjnego z tym, że długości fali elektromagnetycznej, które filtr przepuszcza są kontrolowane elektronicznie, zapewniając szybkie wybranie dowolnego zakresu spektrum widzialnego.

Na potrzeby badań został stworzony program „Wiano”, który służy do pozyskiwania obrazów hiperspektralnych. Oprogramowanie komputerowe steruje pracą układu

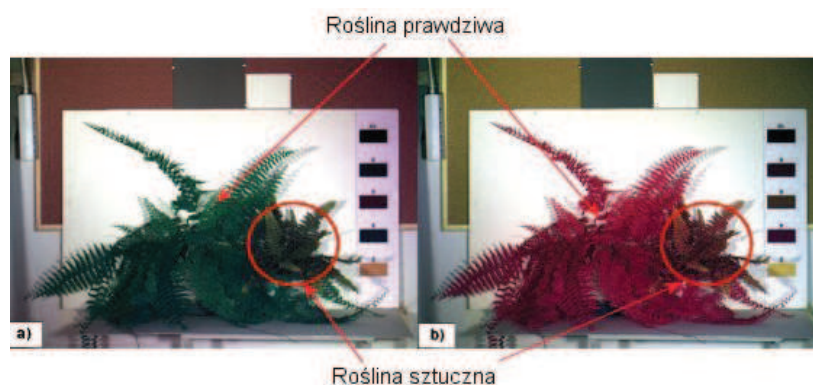
monochromatycznej cyfrowej kamery wizyjnej sprzężonej z ciekłokrystalicznym elektronicznie przestrajalnym filtrem.

## 5. POZYSKIWANIE I ANALIZA ZOBRAZOWAŃ

Spektralna charakterystyka odbiciowa roślinności naturalnej i sztucznej została opracowana na podstawie zdjęć pozyskanych zestawem hiperspektralnym. Zobrazowania przedstawiają kompozycję roślinną, w której skład wchodzi paproć sztuczna i paproć naturalna.

Wszystkie zdjęcia zostały wykonane w zakresie fal widzialnych VIS począwszy od długości fali 420 nm aż do 720 nm. Krok z jakim były wykonywane serie zdjęć to 5 nm, co dało łącznie 61 zdjęć.

Wykorzystanie obrazów scen hiperspektralnych z trzech zakresów: 460 nm, 560 nm i 660 nm umożliwiło utworzenie obrazu zbliżonego do barwnego zobrazowania panchromatycznego. Na obrazie obie rośliny wyglądają tak samo, zatem brak jest charakterystycznych szczegółów, które pozwoliłyby wyróżnić ze sceny paproć sztuczną.



Rys. 2. Kompozycje roślinne powstałe z nałożenia a) kanałów 460, 560 i 660 nm oraz b) kanałów 560, 660 i 720 nm

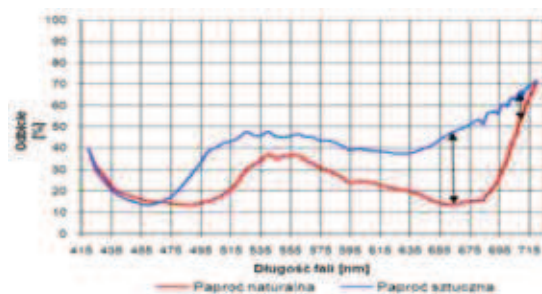
Wyróżnienie sztucznej paproci powinna ułatwić kompozycja kanałów: zielonego, czerwonego i bliskiej podczerwieni, mająca zalety filmu spektrostrefowego

Ograniczenie zakresu do długości fali tylko 720nm, co wynikało z ograniczeń systemu pomiarowego, nie pozwoliło na jednoznaczne wyróżnienie sztucznej paproci z tła naturalnego.

W procesie zdalnego rozpoznania obiektów zasadnicze znaczenie ma nie tyle poziom jasności spektralnej obiektów, ile wzajemny kontrast między nimi w poszczególnych zakresach spektralnych. Kontrast wyznaczany jest pomiędzy krzywymi charakterystycznymi badanych obiektów. Opracowana przez autorów metoda pozwala pozyskać ze scen hiperspektralnych krzywe charakterystyczne badanych obiektów. (Dębski et al. 2008a, 2008c).

Wyznaczone w warunkach laboratoryjnych charakterystyki odbiciowe ze scen hiperspektralnych roślinności sztucznej i naturalnej, przedstawione na rysunku 3,

umożliwiają wyznaczenie długości fali, dla których występuje maksymalny kontrast pomiędzy obiektami. Według badań najwyższy kontrast pomiędzy dwoma badanymi obiektami występuje w zakresie 660nm.



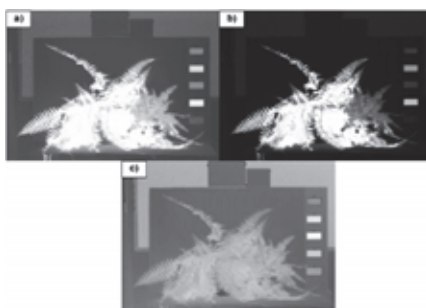
Rys.3 Charakterystyki spektralne paproci naturalnej i sztucznej wyznaczone ze zdjęć hiperspektralnych

## 6. WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW WEGETACYJNYCH

Kolejnym etapem badań było wyznaczenie indeksów wegetacyjnych, które wykorzystują kombinację dwóch kanałów: czerwonego i bliskiej podczerwieni. Do wyliczania wskaźników wegetacyjnych posłużył program *ERDAS IMAGINE 8.7*.

W przypadku zdjęć pozyskanych kamerą QImaging QICAM Fast 1394 przy wyznaczeniu wskaźników wegetacyjnych należy mówić o długościach fal, które będą odpowiadać za wartość odbicia promieniowania w zakresie czerwieni (660nm - *RED*) oraz bliskiej podczerwieni (720nm - *NIR*).

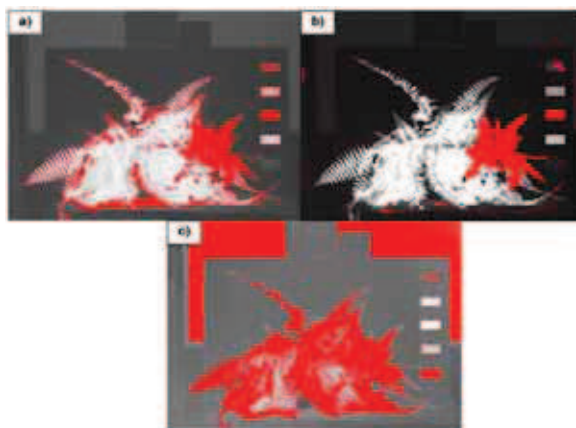
W oparciu o dane z tych kanałów, przy użyciu narzędzia *Interpreter/Spectral Enhancement/Indices* w systemie *ERDAS IMAGINE wersja 8.7*, zostały wyznaczone wskaźniki roślinności. Ostatecznym wynikiem tych obliczeń jest mapa przedstawiająca przestrzenne rozmieszczenie wartości tych trzech indeksów.



Rys. 4. Mapa wskaźników (660 nm i 720 nm): a) NDVI b) RATIO c) VEG\_INDEX, w odcieniach szarości

Przedstawione na rysunkach 4a-c. zdjęcia to mapy wskaźników dla trzech wymienionych indeksów wegetacyjnych. Obrazy wynikowe to obrazy w skali szarości. Zastosowana metoda pseudokolorowania pozwoliła na wydobycie ze zdjęcia większej

ilości informacji czyli ułatwia ona wyróżnienia obiektu z tła. Poniżej przedstawione zostały obrazy z rysunku 5a-c. po wykonanym pseudokolorowaniu.

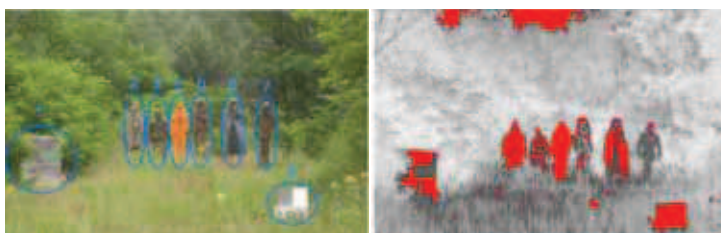


Rys. 5. Mapa wskaźników: a) NDVI b) RATIO c) VEG\_INDEX po przeprowadzeniu pseudokolorowania

Na obrazach (Rys. 5a-c) piksele, którym nadano kolor czerwony są pikselami ze ściśle określonych przedziałów, dobranych tak, aby było możliwe wyróżnienie sztucznej paproci na scenie. Pożądaný efekt przedstawiają obrazy na rysunkach (Rys. 5a i b), na których wyróżnia się w całości paproć sztuczna na tle paproci naturalnej.

## 7. BADANIA POLOWE

Serię zobrażeń hiperspektralnych sceny zawierającej umundurowania z nadrukami kamuflażowymi na tle roślinności pozyskano za pomocą opracowanego zestawu podczas badań przeprowadzonych w maju 2008r. Na podstawie uzyskanych zobrażeń, możliwe było wykreślenie krzywych charakterystycznych wszystkich obiektów znajdujących się na scenie oraz tła (Dębski *et al.* 2008c).



Rys. 6. Zobrazowanie umundurowania wykonane w zakresie widzialnym, oraz obraz wynikowy  $ndvi_{680\_720}$ . Obraz, powstały w wyniku zastosowania wskaźnika NDVI opartego na zdjęciach w zakresach 680nm oraz 720nm, pozwala na wyróżnienie obiektów sztucznych z tła naturalnego

W celu wyróżnienia ubiorów z nadrukiem kamuflażowym z tła roślinnego, analogicznie do badań laboratoryjnych, wykorzystano wskaźniki wegetacyjne dla najbardziej kontrastujących ze sobą zakresów (680nm i 720nm). Przykładem

otrzymanych zobrazowań wykorzystujących operacje wskaźnikowe jest rysunek 6, który przedstawia obraz wynikowy przekształcenia NDVI po operacji pseudokolorowania.

Wykorzystując indeksy wegetacyjne, możliwe jest wyróżnienie obiektów sztucznych z kamuflażem na tle roślinności. Stosowanie tego typu rozwiązania umożliwia wyróżnienie obiektów w stosunkowo krótkim czasie w porównaniu z innymi metodami np. operacji na kanałach spektralnych. W opisanej metodzie niezbędne jest znalezienie tylko dwóch obrazów w których kontrast między badanymi obiektami jest największy. Badania połowe wykazały poprawność przyjętych założeń.

## 8. WNIOSKI

Przetwarzanie hiperspektralnych zobrazowań potwierdza możliwość wykorzystania ich w procesie wyróżniania obiektów z tła. Metody tworzenia kompozycji barwnych jak i operacji na kanałach spektralnych są technikami złożonymi. Połączenie operacji wskaźnikowych (indeksów wegetacyjnych NDVI i RATIO) znacznie skraca czas niezbędny do wyróżnienia obiektów maskowanych z tła. Otrzymane wyniki są zadowalające, jednak, z powodu ograniczenia możliwości zestawu hiperspektralnego, w dalszych pracach zamierza się rozszerzyć zakres badań spektralnych do 1000 nm przez zastosowanie filtru przestrajanego elektronicznie w zakresie 650 – 1000 nm. Planuje się również opracowanie metodyki pozyskiwania zobrazowań zestawem hiperspektralnym z filtrem przestrajalnym w warunkach polowych dla różnych warunków oświetlenia sceny. Ponieważ taki sposób pozyskiwania informacji daje bardzo dużą ilość zobrazowań, niezbędne jest opracowanie programu do wyboru zdjęć do dalszej interpretacji na podstawie uzyskanych widmowych współczynników odbicia.

## 9. LITERATURA

- Dębski W., Walczykowski P., Żukowicz R., 2002. *Widmowe współczynniki odbicia tła naturalnego oraz uzbrojenia i sprzętu i wyposażenia wojskowego w zakresie UV, VIS i NIR*, Warszawa, Sprawozdanie KBN WAT.
- Dębski W., Walczykowski P., 2007. *Reflection coefficients determination from hyper spectral video images acquired in laboratory conditions*, 3<sup>rd</sup> international conference Earth from space the most effective solutions. 4-6.12. Moskwa.
- Dębski W., Walczykowski P., Paluchowski Ł., 2008a. *Using a Digital Hyperspectral System In Acquiring Spectral Reflection Coefficients* – III Konferencja naukowo-techniczna - "Wykorzystanie współczesnych zobrazowań satelitarnych, lotniczych i naziemnych dla potrzeb obronności kraju i gospodarki narodowej". Serock.
- Dębski W., Walczykowski P., 2008b. *Acquiring Reflection Coefficients Using Hyperspectral Video Imagery* - XXI Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Pekin.
- Dębski W., Walczykowski P., 2008c. *Wykrywanie obiektów maskowanych w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem wielospektralnej techniki video*. Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego 0 T00A 009 30. Warszawa.
- Kurczyński Z., 2006. *Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.



Sanecki J., 2006. *Teledetekcja, pozyskiwanie danych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Sobczyński E., Przybyliński P., Dębski W., Tureniec J. i Jaroszuk.R., 2005. *Wykorzystanie danych z rozpoznania obrazowego do lokalizowania obiektów i elementów ugrupowania przeciwnika*. Sztab Generalny WP.

## **RECOGNITION OF ARTIFICIAL OBJECTS AGAINST A NATURAL BACKGROUND WITH THE USE OF HYPERSPECTRAL IMAGERY AND VEGETATION INDICES**

KEY WORDS: reconnaissance, hyperspectral technique, vegetation index

### **Summary**

As part of this study, the authors have created a set and provided the methodology for acquiring hyperspectral data in terrestrial conditions. The set is based on a monochromatic digital camera with an optoelectronic tuneable filter.

In the era of developing reconnaissance techniques, there is a need for conducting such surveys in real time. The systems used to capture imagery in real time (or close to real time) should assure a shortest possible time of hyperspectral image acquisition as well as its digital processing. For the European theatre of operations vegetation is usually the typical natural background. Therefore studies were carried out on the use of vegetation indices (e.g. NDVI) in object recognition from a natural background. The article presents research regarding the process of selecting appropriate hyperspectral scenes for a given vegetation index. The analyses were carried out based on hyperspectral images of real and artificial plants.

The imagery was acquired at the Military University of Technology in Warsaw, with the use of the hyperspectral system created. Based on the results described in this paper, it is safe to say that it is possible to acquire and process images which can be used in the recognition of artificial objects against a natural background in almost real time, with the use of a hyperspectral technique.

There is a need to continue research into the selection of a most appropriate band in which the difference between the object sought and its background are maximised. The use of an electrooptical tuneable VIS filter has limited the analysed range to 400-720nm. Using a NIR tuneable filter instead of the VIS filter would broaden the analysed range to 650-1000nm.

dr hab. inż. Wiesław Dębski,  
wdebski@wat.edu.pl,  
tel./fax: +4822 6839296

dr inż. Piotr Walczykowski,  
pwalczykowski@wat.edu.pl,  
tel./fax: +4822 6839021

mgr inż. Agata Orych  
aorych@wat.edu.pl,  
tel./fax: +4822 837148

mgr inż. Aleksandra Rosińska  
rosinskao@wp.pl,  
tel. +48697708897