

Wpłynęło 25.04.2012 r.  
Zrecenzowano 29.05.2012 r.  
Zaakceptowano 20.07.2012 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

## **Zastosowanie technik satelitarnych w rolnictwie zrównoważonym – wybrane przykłady zastosowań**

**Marek BANASZKIEWICZ**<sup>ABCDEF</sup>, **Stanisław LEWIŃSKI**<sup>ABCDEF</sup>,  
**Sebastian ALEKSANDROWICZ**<sup>ABCDEF</sup>, **Edyta WOŹNIAK**<sup>ABCDEF</sup>,  
**Andrzej KOTARBA**<sup>ABCDEF</sup>, **Michał KRUPIŃSKI**<sup>ABCDEF</sup>

*Centrum Badań Kosmicznych PAN*

### **Streszczenie**

Teledetekcja satelitarna jest obecnie jednym z podstawowych źródeł informacji o środowisku przyrodniczym i o procesach zachodzących na powierzchni Ziemi. Zdjęcia satelitarne o różnej rozdzielczości przestrzennej, spektralnej oraz radiometrycznej umożliwiają pozyskanie informacji o charakterze przestrzennym, które mogą być interpretowane w sposób bezpośredni lub mogą być wykorzystane w procesach modelowania matematycznego. Na ich podstawie można określić m.in. klasy pokrycia i użytkowania terenu, strukturę upraw, kondycję roślinności, dostępność wody. W pracy przedstawiono wybrane przykłady możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej w monitoringu zmian przestrzeni rolniczej: wyznaczanie stref buforowych, detekcja zmian pokrycia terenu, ocena stanu roślinności oraz zróżnicowania środowiska przyrodniczego.

**Słowa kluczowe:** rolnictwo zrównoważone, teledetekcja satelitarna, zdjęcia satelitarne

### **Wstęp**

Rozwój zrównoważony, określany też jako ekorozwój, stał się jednym z priorytetów krajów Unii Europejskiej. Jego celem jest zaspokojenie potrzeb obecnego pokolenia bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na życie w odpowiednich warunkach. Teoria rozwoju zrównoważonego zakłada utrzymywanie równowagi między trzema składowymi: społeczeństwo, ekonomia i środowisko. Interakcje zachodzące między nimi powinny być „znośne” dla społeczeństwa i środowiska, „sprawiedliwe” ze względów społecznych i ekonomicznych oraz „wykonalne”, biorąc pod uwagę racjonalność ekonomiczną i korzystanie z zasobów środowiska.



Założenia rozwoju zrównoważonego odnoszą się do wszystkich dziedzin gospodarki, niemniej jednak w przypadku rolnictwa nabierają one szczególnego znaczenia. Wynika to zarówno z konieczności zaspokojenia podstawowych potrzeb społeczeństwa, jak i silnej interakcji ze środowiskiem. Na poziomie kraju rolnictwo zrównoważone charakteryzuje się następującymi cechami [KUKUŁA, KRASOWICZ 2007]:

- racjonalnym wykorzystaniem rolniczej przestrzeni produkcyjnej,
- utrzymaniem potencjału produkcyjnego gleb,
- zapewnieniem samowystarczalności żywnościowej kraju,
- produkcją bezpiecznej żywności,
- produkcją surowców o wysokich parametrach jakościowych,
- ograniczeniem lub eliminacją zagrożeń dla środowiska naturalnego,
- zachowaniem bioróżnorodności,
- uzyskiwaniem zysków porównywalnych z innymi działami gospodarki,
- zapewnieniem środków finansowych na modernizację i rozwój.

W celu realizacji jednego z głównych założeń rolnictwa zrównoważonego kluczową rolę odgrywa zarówno rozpoznanie stanu obecnego, jak i zmian zachodzących w środowisku. Dzięki temu możliwe jest prawidłowe zaplanowanie działań gospodarczych. Teledetekcja satelitarna oraz ściśle z nią związane systemy informacji geograficznej (GIS) są obecnie jednym z podstawowych źródeł informacji o środowisku przyrodniczym i o procesach zachodzących na powierzchni Ziemi. Na podstawie zdjęć satelitarnych o różnej rozdzielczości przestrzennej, spektralnej oraz radiometrycznej pozyskuje się informacje o charakterze przestrzennym, które mogą być interpretowane w sposób bezpośredni lub mogą być wykorzystane w procesach modelowania matematycznego. Na ich podstawie można określić między innymi klasy pokrycia i użytkowania terenu oraz kondycję roślinności, wywołaną czynnikami naturalnymi oraz antropogenicznymi. Ze względu na różne charakterystyki zdjęcia satelitarne mogą być wykorzystywane zarówno w skalach przeglądowych, jak i lokalnych, wieloczynnych z różnym okresem powtórzeń.

Techniki teledetekcyjne i GIS są używane do wspomagania rolnictwa precyzyjnego na całym świecie. W Stanach Zjednoczonych Ameryki tygodniowe dane o wartościach wskaźnika roślinności *NDVI* (ang. „Normalized Difference Vegetation Index”) wykorzystuje się w celu określania wielkości nawożenia związkami azotu oraz optymalnego czasu stosowania nawozów [SEELAN i in. 2003]. Zdjęcia satelitarne wykorzystywane są również do potrzeb nawadniania pól [BASTIAANSEN i in. 2000]. BEERI i in. [2007] określili jakość pastwisk, wykorzystując w tym celu dane hiperspektralne. Przykłady teledetekcyjnego badania bioróżnorodności podali w swojej pracy ROY i TOMAR [2000].

W niniejszej pracy przedstawiono wybrane przykłady możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej w monitoringu zmian przestrzeni rolniczej: wyznaczenie stref buforowych, detekcja zmian pokrycia terenu, ocena stanu roślinności oraz różnicowania środowiska przyrodniczego.

## Teledetekcja satelitarna

W lipcu 1972 r. został wprowadzony na orbitę amerykański satelita Landsat 1, początkowo oznaczony symbolem ERTS (Earth Resources Technology Satellite). Zapoczątkował on pierwszy program monitoringu powierzchni Ziemi. W tym roku mija 40. rocznica tego wydarzenia. Od tamtej pory zdjęcia satelitarne stały się dostępnym i szeroko wykorzystywanym źródłem informacji. Obecnie powierzchnia Ziemi jest monitorowana przez urządzenia zainstalowane na pokładach wielu satelitów. Są to skanery rejestrujące promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie widzialnym, bliskiej i dalekiej podczerwieni, w zakresie termalnym oraz również w zakresie mikrofalowym. Najczęściej zdjęcia są charakteryzowane rozdzielczością przestrzenną, od której uzależniony jest stopień szczegółowości obserwacji. Równie istotną cechą jest liczba oraz szerokość kanałów spektralnych, co decyduje o możliwości rozróżnienia i rozpoznania obiektów znajdujących się na powierzchni Ziemi. Parametrem o coraz istotniejszym znaczeniu jest częstość pozyskiwania zdjęć. Parametry orbit, po których poruszają się satelity, rejestracja zdjęć nie tylko w nadirze, ale również pod kątem oraz możliwość korzystania ze zdjęć z różnych satelitów powoduje, że obserwacje tego samego miejsca mogą być wykonywane codziennie, a nawet kilka razy w ciągu dnia.

Coraz częściej wykorzystywane są zdjęcia radarowe. Ze względu na charakter rejestrowanego obrazu, który składa się z amplitudy i fazy sygnału odbitego od powierzchni Ziemi, wymagają one złożonych metod przetwarzania. Umożliwiają jednak wykonywanie obserwacji nawet w przypadku całkowitego zachmurzenia. Drugim, oprócz zdjęć radarowych, kierunkiem rozwoju współczesnej teledetekcji satelitarnej są zdjęcia hiperspektralne. Skanery hiperspektralne rejestrują obrazy w kilkudziesięciu, a nawet w kilkuset kanałach spektralnych równocześnie. Pozwala to na wykonywanie precyzyjnych pomiarów jakościowych i ilościowych.

W pierwszych latach teledetekcji satelitarnej dane obrazowe opracowywano przede wszystkim z zastosowaniem interpretacji wizualnej, której wyniki były uzależnione od doświadczenia interpretatora. Tradycyjny sposób postępowania, ze względu na dużą czasochłonność i związane z tym koszty, zastępowany jest metodami automatycznymi. Jednak w dalszym ciągu istnieje wiele zastosowań, w których algorytmy automatyczne nie mogą w pełni dorównać wiedzy i zdolnościom analitycznym człowieka. Przykładem jest program CORINE, w ramach którego co kilka lat dla całej Europy opracowywane są bazy danych o pokryciu i użytkowaniu ziemi [CORINE Land Cover 1993]. Obecnie najszybciej rozwijającą się metodą automatycznej klasyfikacji zdjęć satelitarnych jest podejście obiektowe [BLASCHKE i in. 2000; LEWIŃSKI 2007]. W przeciwieństwie do tradycyjnych metod klasyfikacji, których podstawy określono w latach 70., w klasyfikacji obiektowej nie analizuje się wartości pojedynczych pikseli, ale tzw. obiektów, które są grupami pikseli spełniających ustalone zasady jednorodności. W procesie rozpoznania wykorzystywane są nie tylko cechy spektralne obiektów, lecz również relacje zachodzące między nimi, parametry statystyczne obliczane na podstawie pikseli tworzących obiekty oraz parametry opisujące kształt obiektów.

Drugim nurtem klasyfikacyjnym są metody związane z sieciami neuronowymi, które znajdują zastosowanie zarówno w analizach pikselowych, jak i obiektowych. Są one stosowane przede wszystkim w przypadku danych hiperspektralnych; rozpoznanie poszczególnych klas następuje na podstawie analizy porównawczej bibliotek spektralnych. Bez względu na stosowane algorytmy istotnym zagadnieniem jest selekcja optymalnych kanałów spektralnych. Procesy klasyfikacyjne wykonywane są również z zastosowaniem danych przetworzonych (np. funkcje tekstury, tzw. wskaźniki, przekształcenia kanoniczne). Oprócz metod klasyfikacyjnych rozwijane są badania związane z oceną kondycji roślinności. W tym celu wykorzystywane są wskaźniki roślinności (o różnym stopniu złożoności) oraz modelowanie matematyczne, w którym dane teledetekcyjne nie są jedynym źródłem informacji wejściowych. Wysoka częstotliwość pozyskiwania zdjęć satelitarnych umożliwia wykonywanie analiz szeregów czasowych, utworzonych z wartości reprezentujących ten sam obszar. Na ich podstawie można określić zmiany kondycji roślin, które są skorelowane między innymi z dostępnością wody w glebie, z nawożeniem oraz z przeprowadzanymi zabiegami agrotechnicznymi.

W ostatnich latach, ze względu na dostępność historycznych danych satelitarnych, intensywnie rozwijane są metody detekcji zmian. Polegają one na porównaniu zdjęć z różnych terminów, w celu wskazania na nich miejsc występowania różnic. W ten sposób pozyskiwane są informacje o zmianach zachodzących w środowisku przyrodniczym.

### **Interpretacja wizualna stref buforowych**

Mimo ciągłego dążenia do automatyzacji procesów związanych z przetwarzaniem obrazów satelitarnych, interpretacja wizualna wciąż odgrywa fundamentalną rolę. Przykładem może być identyfikacja, a także określenie zasięgu i geometrii stref buforowych wokół cieków i zbiorników wodnych. Występują one na granicy gruntów ornych z wodami powierzchniowymi. Mają istotne znaczenie ekologiczne i są uwzględniane w zarządzaniu środowiskiem, a także w inżynierii lądowej. Strefy buforowe spełniają wiele ważnych funkcji. Jedną z nich jest rola naturalnego filtra zanieczyszczeń, chroniącego wody powierzchniowe przed chemicznymi środkami ochrony roślin (przeważnie związkami azotu i fosforu). Mają duże znaczenie dla zachowania bioróżnorodności [MAISONNEUVE, RIOUX 2001], a także zapewniają pokarm wielu gatunkom zwierząt, w tym wrogom szkodników upraw. Na zdjęciu satelitarnym Kompsat-2 (fot. 1), na którym obraz powierzchni Ziemi jest zobrazowany w czterech zakresach promieniowania elektromagnetycznego (niebieskim, zielonym, czerwonym i bliskiej podczerwieni) z rozdzielczością przestrzenną 4 m oraz w kanale panchromatycznym o rozdzielności 1 m, przedstawiono okolice miejscowości Czarnowo (województwo zachodniopomorskie, powiat pyrzycki). Na podstawie interpretacji wizualnej zidentyfikowano zasięg wód powierzchniowych (linia niebieska) i stref buforowych (linia zielona). Oba zbiorniki wodne osłonięte są strefą buforową, podobnie jak większość kanałów. Analiza wizualna umożliwiła identyfikację kanałów, które takich stref nie posiadają. Okazało się, że 33% linii brzegowej kanałów nie ma ochrony naturalnej.

Porównując zobrażenia wykonane w kolejnych latach można nie tylko monitorować stan stref buforowych, ale także badać relacje zachodzące między jakością wód powierzchniowych w miejscach osłoniętych strefami buforowymi oraz ich pozbawionymi, czyli w miejscach bardziej narażonych na zanieczyszczenia chemiczne, spływające z pól.



Źródło: zdjęcie satelitarne Kompsat-2. Source: satellite image Kompsat-2.

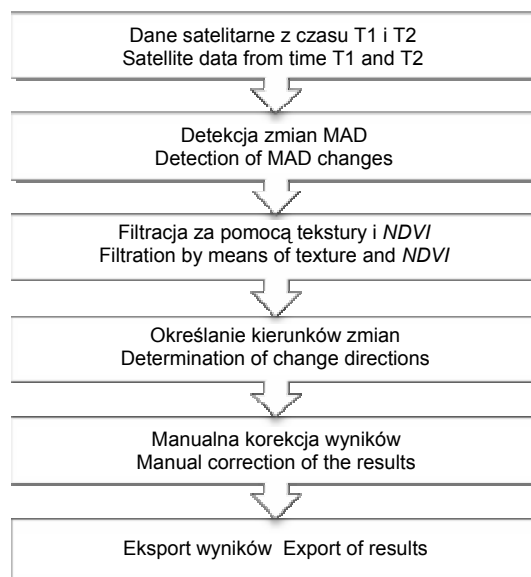
Fot. 1. Interpretacja wizualna zbiorników wodnych i stref buforowych, Czarnowo (województwo zachodniopomorskie)

Photo 1. Visual interpretation of the ponds and riparian zones. Czarnowo (West Pomeranian region)

### Detekcja zmian

Detekcja zmian jest obecnie jednym z podstawowych kierunków klasyfikacji zdjęć satelitarnych. Polega ona na określeniu różnic w pokryciu terenu zobrazowanym na zdjęciach zarejestrowanych w dwóch terminach. Najprostszą stosowaną metodą jest interpretacja wizualna, umożliwiająca względnie szybkie znalezienie różnic na niewielkim obszarze. W przypadku dużych obszarów zobrazowanych na zdjęciach wysokiej rozdzielczości do detekcji zmian wykorzystywane są narzędzia automatyczne. Znanych jest wiele algorytmów detekcji

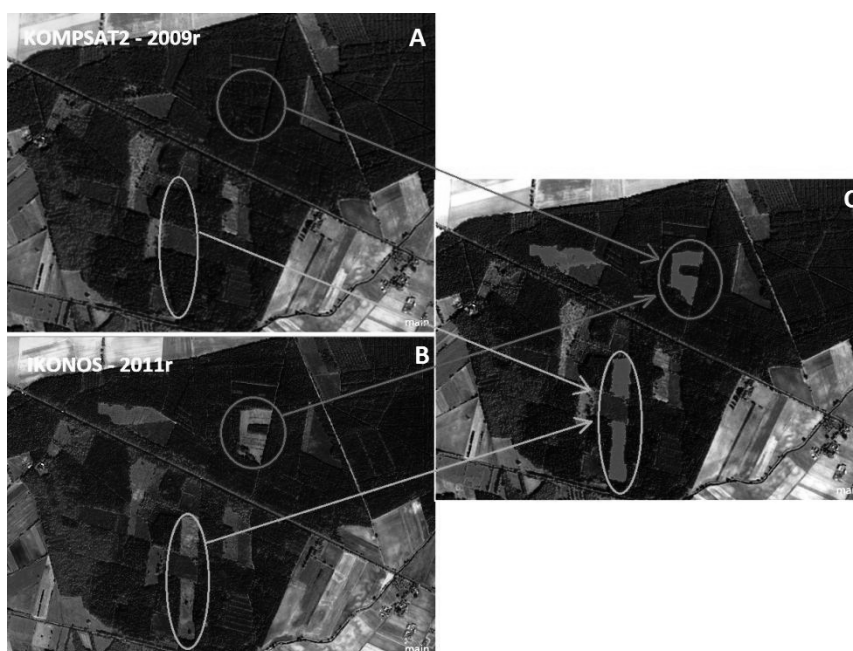
zmian [COPPIN i in. 2004]. Różnią się one stopniem złożoności oraz dokładnością wyników, które można za ich pomocą uzyskać. W ramach projektu Geoland2 – SATChMo (Seasonal and Annual Change Monitoring) w Centrum Badań Kosmicznych PAN opracowano algorytm detekcji zmian, którego schemat przedstawiono na rysunku 1. Jest on oparty na analizie składowych transformacji MAD (ang. „Multivariate Alteration Detection”), za pomocą której wszystkie kanały spektralne przekształcane są w taki sposób, aby otrzymać maksimum informacji o zmianach [NIELSEN 2007]. W celu oddzielenia informacji o zmianach trwałych (np. wylesienia, pojawianie się i wysychanie zbiorników wodnych lub ekspansja terenów zurbanizowanych) od informacji o zmianach fenologicznych, dodatkowo wykorzystano różnice parametrów tekstury, a także wartości wskaźnika *NDVI* [ALEKSANDROWICZ 2012]. Proces detekcji zmian zautomatyzowano dzięki zastosowaniu parametrów statystycznych, charakteryzujących przetwarzane obrazy. W kolejnych krokach otrzymana warstwa zmian jest analizowana z użyciem algorytmu opracowanego w Instytucie Geodezji i Kartografii w celu określenia charakteru zmiany. Odbywa się to z wykorzystaniem mapy klasyfikacyjnej, stworzonej dla pierwszego zobrazowania. Algorytm został zaimplementowany w środowisku klasyfikacji obiektowej z zastosowaniem interfejsu „architekt” oprogramowania eCognition.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 1. Schemat algorytmu detekcji zmian  
Fig. 1. Scheme of change detection algorithm

Wyniki działania algorytmu przedstawiono na zdjęciach 2 i 3. W pierwszym przypadku (fot. 2), porównano dwa zdjęcia satelitarne Kompsat-2 z 2009 r. oraz IKONOS z 2011 r. Badany obszar to okolice wsi Marianowo Brodowskie k. Środy



Źródło: zdjęcie satelitarne Kompsat-2 oraz IKONOS. Source: satellite image Kompsat-2 and IKONOS.

Fot. 2. Przykłady wylesień wykrytych na zdjęciach satelitarnych z 2009 (A) i 2011 r. (B), obiekty sklasyfikowane jako zmiany w pokryciu terenu (C) – okolice wsi Marianowo Brodowskie (województwo wielkopolskie)

Photo 2. Examples of deforestations detected on satellite images of 2009 (A) and 2011 (B); objects classified as the changes in land cover (C) – surroundings of Marianowo Brodowskie village (Wielkopolska region)

Wielkopolskiej (województwo wielkopolskie). Zaznaczone są tereny wylesień, rozpoznane automatycznie przez algorytm.

W przypadku zbiorników wodnych (fot. 3) można zaobserwować zwiększenie ich powierzchni.

Metody detekcji zmian stosuje się w celu pozyskiwania informacji o zmianach pokrycia terenu. Jest to bezpośrednio związane z monitorowaniem bioróżnorodności i występowaniem zagrożeń dla środowiska naturalnego. Algorytm może być adaptowany do monitorowania racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej.

### Ocena stanu roślinności

Zdjęcia satelitarne są wykorzystywane nie tylko w celu uzyskania obrazu powierzchni Ziemi. Dane teledetekcyjne umożliwiają również określanie własności biofizycznych roślinności. W zależności od długości fali rejestrowanego promienio-



Źródło: zdjęcie satelitarne Kompsat-2 oraz IKONOS. Source: satellite image Kompsat-2 and IKONOS.

Fot. 3. Maska zmian, jakie zaszły w zbiornikach wodnych, zdjęciach satelitarnych z 2009 (A) i 2011 r. (B), obiekty sklasyfikowanej jako zmiana w pokryciu terenu (C) – okolice wsi Grójec (województwo wielkopolskie)

Photo 3. Mask of the changes occurred in water bodies, satellite images of 2009 (A) and 2011 (B), objects classified as a change in land cover (C) – surroundings of village Grójec (Wielkopolska region)

wania można określić zawartość chlorofilu i innych pigmentów w roślinach, określić wielkość promieniowania związanego z procesami fotosyntezy (światło widzialne), strukturę wewnętrzną liści (bliska podczerwień), zawartość wody (średnia podczerwień), temperaturę powierzchni liścia (podczerwień termalna) oraz strukturę przestrzenną roślinności (mikrofale). Poszczególne cechy biofizyczne określa się najczęściej na podstawie tzw. wskaźników roślinności, opracowanych na podstawie zakresu promieniowania widzialnego oraz podczerwieni.

Pierwszą grupą wskaźników są wskaźniki opisujące aktywność fotosyntetyczną roślinności (zawartość chlorofilu): *NDVI* – Normalized Difference Vegetation Index [ROUSE i in. 1974], *SAVI* – Soil Adjusted Vegetation Index [HUETE 1988], *GEMI* – Global Environmental Monitoring Index [PINTY i in. 1992], *VARI* – Visible Atmospheric Resistant Index [GITELSON i in. 2002], *EVI* – Enhanced Vegetation Index [HUETE i in. 2002]. Najczęściej wykorzystywanym wskaźnikiem jest *NDVI*. Jest on obliczany jako stosunek różnicy odbicia w kanale podczerwonym i czerwonym do sumy odbicia w tych kanałach (1). Na jego podstawie oznacza się aktywność fotosyntetyczną roślin oraz stan struktur komórkowych. Wykorzysty-



wany jest do określania kondycji roślinności, jej etapu rozwoju, prognozowania plonów oraz ilości biomasy. Duże wartości wskaźnika oznaczają dobry stan roślinności oraz brak narażenia na czynniki stresogenne.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

gdzie:

$NIR$ ,  $R$  – wartości współczynnika odbicia w zakresie bliskiej podczerwieni i czerwonym.

Na wartości  $NDVI$ , poza stanem roślinności, mają również wpływ inne czynniki, takie jak odbicie promieniowania od powierzchni gleby oraz rozproszenie w atmosferze. Dlatego też wskaźnik  $NDVI$  został wielokrotnie zmodyfikowany lub rozbudowany. Przykładem tego jest wskaźnik  $SAVI$  (2), którego konstrukcja ma na celu ograniczenie wpływu na wyniki odbicia od gleby natomiast  $VARI$  (3) redukuje wpływ atmosfery.

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR - R)}{NIR + R + L} \quad (2)$$

gdzie:

$NIR$ ,  $R$  – wartości współczynnika odbicia w zakresie bliskiej podczerwieni i czerwonym,

$L$  – współczynnik odbicia gleby.

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B} \quad (3)$$

gdzie:

$B$ ,  $G$ ,  $R$  – wartości współczynnika odbicia w zakresie niebieskim, zielonym i czerwonym.

Drugą grupę stanowią wskaźniki operujące w bliskiej  $NIR$  i średniej  $SWIR$  podczerwieni, w pasmach typowych dla absorpcji wody. Do tej grupy wskaźników zaliczane są:  $NDII$  – Normalized Difference Infrared Index [HARDISKY i in. 1983] (4),  $MSI$  – Moisture Stress Index [ROCK i in. 1986],  $LWCI$  – Leaf Water Content Index [HUNT i in. 1987],  $WI$  – Water Index [PANUELAS i in. 1993],  $NDWI$  – Normalized Difference Water Index [GAO 1996],  $GVMi$  – Global Vegetation Moisture Index [CECCATO i in. 2002],  $SRWI$  – Simple Ratio Water Index [ZARCO-TEJADA i in. 2003],  $SIWSI_{(MidIR, G)}$  – Shortwave Infrared Water Stress Index [FENSHOLT, SANDHOLT 2003]. Wskaźniki te informują o ewentualnych niedoborach wody.

$$NDII = \frac{NIR - MidIR}{NIR + MidIR} \quad (4)$$

gdzie:

$NIR$ ,  $MidIR$  – wartości współczynnika odbicia w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni.

Trzecią grupę stanowią wskaźniki relacjonujące stres wodny z charakterystykami termicznymi roślinności: *CWSI* – Crop Water Stress Index [JACKSON i in. 1981], *ST* – Surface Temperature [JACKSON 1986], *WDI* – Water Deficit Index [MORAN i in. 1994], *SI* – Stress Index [VIDAL i in. 1994].

Na podstawie wyżej wymienionych wskaźników określany jest stan roślinności, będący między innymi odzwierciedleniem efektywności zabiegów agrotechnicznych i nawożenia. Dokładna znajomość rozkładu przestrzennego tempa wzrostu roślinności umożliwia na przykład dokładniejszy dobór dawek nawozów lub bardziej precyzyjne i wydajne nawadnianie. Zróżnicowanie w rozwoju roślinności w obrębie grupy pól, określone na podstawie wartości wskaźnika *NDVI*, przedstawia zdjęcie 4.



Źródło: zdjęcie satelitarne Kompsat-2. Source: satellite image Kompsat-2.

Fot. 4. Rozkład wartości wskaźnika *NDVI* w okolicach miejscowości Mirosław (województwo wielkopolskie)  
Photo 4. The distribution of *NDVI* values in the vicinity of Mirosław locality (Wielkopolska region)

### Teledetekcyjna ocena zróżnicowania środowiska przyrodniczego

Obszary przyrodnicze, naturalne oraz użytkowane przez człowieka (np. rolnicze), można oceniać ze względu na bioróżnorodność, którą określa się liczbą gatunków roślin i zwierząt, przypadających na daną powierzchnię. Teledetekcja satelitarna pokrycia i użytkowania terenu zazwyczaj nie pozwala na analizę środowiska na poziomie gatunkowym, niemniej dostarcza cennej informacji o podstawowych cechach środowiska – miejscu i zasięgu występowania zasadniczych typów pokrycia terenu, stopniu fragmentacji krajobrazu oraz intensywności antropopresji.

Mapy pokrycia terenu można poddawać interpretacji pod względem cech ekologii krajobrazu, mówiących o bioróżnorodności środowiska. Jednym z popularniejszych wskaźników, opisujących zróżnicowanie środowiska, jest wskaźnik Simpsona [SIMPSON 1949] (5).

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2 \quad (5)$$

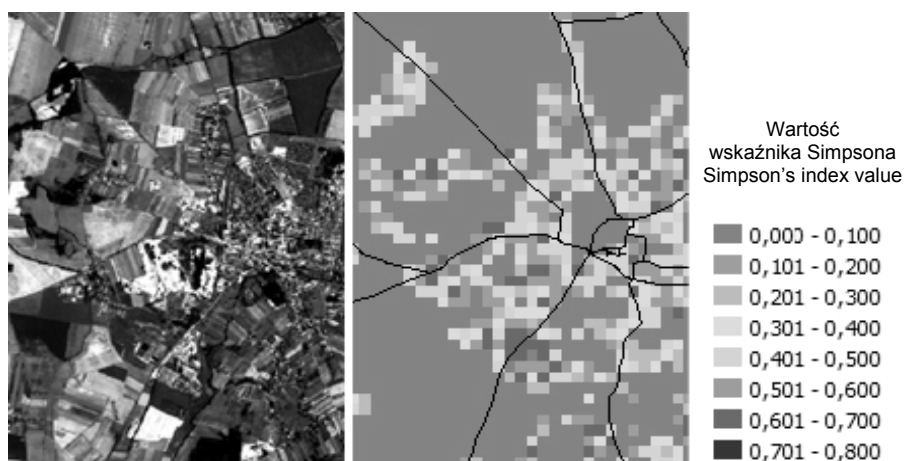
gdzie:

$P_i$  – udział danej klasy w krajobrazie,

$m$  – liczba klas pokrycia terenu,

$i$  – numer klasy.

Opisuje on liczbę klas pokrycia terenu, z uwzględnieniem relacji wielkościowych między klasami – analizowane są wielkości powierzchni zajmowanych przez poszczególne klasy. Wartość wskaźnika jest równa zero, gdy cały uwzględniony obszar wypełnia tylko jedna klasa. Ze wzrostem liczby klas wskaźnik zaczyna dążyć do jedności. Im większe wartości, tym większe zróżnicowanie środowiska. Wyniki obliczeń wskaźnika Simpsona (fot. 5) wykonano na przykładzie zdjęcia satelitarnego Kompsat-2 dla okolic Strzelna. Analizy wykonano w oknie o wielkości 150 m.



Źródło: zdjęcie satelitarne Kompsat-2. Source: satellite image Kompsat-2.

Fot. 5. Wartość wskaźnika Simpsona dla okolic Strzelna (województwo dolnośląskie)  
Photo 5. Simpson's index values for the area of Strzelin (Lower Silesia region)

Wskaźnik Simpsona, tak jak wiele innych mu podobnych [MCGARIGAL, MARKS 1995], opisuje stan środowiska w sposób syntetyczny i ilościowy. Stopień uogólnienia informacji, przekazywanej w wartościach wskaźnika, zależy od szczegółowości danych wejściowych. Dysponując mapami pokrycia terenu, rozróżniającymi rodzaje upraw, można uzyskać informację o zróżnicowaniu biologicznym terenów uprawnych.

## Podsumowanie

Teledetekcja satelitarna jest obecnie jednym z podstawowych źródeł informacji o środowisku przyrodniczym i o procesach zachodzących na powierzchni Ziemi. Zdjęcia satelitarne o różnej rozdzielczości przestrzennej, spektralnej oraz radiometrycznej umożliwiają pozyskiwanie informacji o charakterze przestrzennym.

Przedstawione w pracy przykłady wykorzystania zdjęć satelitarnych do celów rolnictwa zrównoważonego charakteryzują się różnym stopniem złożoności, od tradycyjnej interpretacji wizualnej do transformacji kanonicznej danych wielospektralnych. Uzyskane w ten sposób dane powinny zasilać systemy informacji geograficznej i przestrzennej, przystosowane do zarządzania przestrzenią rolniczą.

## Bibliografia

- ALEKSANDROWICZ S., LEWIŃSKI St., KOTARBA A. 2012. Zastosowanie transformacji ir-mad w detekcji zmian na zdjęciach satelitarnych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*.
- BASTIAANSEN W.G.M., MOLLEN D.J., MAKIN I.W. 2000. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management*. Vol. 46 s. 137–155.
- BEERI O., PHILLIPS R., HENDRICKSON J., FRANK A.B., KRONBERG S. 2007. Estimating forage quantity and quality using aerial hyperspectral imagery for northern mixed-grass prairie. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 110 (2) s. 216–225.
- BLASCHKE T., LANG S., LORUP E., STROBL J., ZEIL P. 2000. Object-oriented image processing in an integrated GIS/Remote Sensing environment and perspectives for environmental applications. *Environmental Information for Planning, Politics and the public*. Marburg. Metropolis Verlag. Vol. 2 s. 555–570.
- CECCATO P., GOBRON N., FLASSE S., PINTY B., TARANTOLA S. 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1. Theoretical approach. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 82 s. 198–207.
- COPPIN P., JONCKHEERE I., NACKAERTS K., MUYS B. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 25. No. 9 s. 1565–1596.
- CORINE Land Cover. 1993. Technical guide.
- FENSHOLT R., SANDHOLT I. 2003. Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 87 s. 111–121.
- GAO B.C. 1996. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 58 s. 257–266.
- GITELSON A.A., KAUFMAN Y.J., STARK R., RUNDQUIST D. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 80 s. 147–155.
- HARDISKY M.A., LEMAS V., SMART R.M. 1983. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral reflectance of spartina alternifolia canopies. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 49 s. 77–83.
- HUETE A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. Vol. 25 s. 295–309.

- HUETE A.R., DIDAN K., MIURA T., RODRIGUEZ E.P., GAO X., FERREIRA L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 83 s.192–213.
- HUNT E.R., ROCK B.N., NOBEL P.S. 1987. Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 22 s. 429–435.
- JACKSON R.D., IDSO S.B., REGINATO R.J., PINTER P.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*. Vol. 17 s. 1133–1138.
- JACKSON R.D. 1986. Remote sensing of biotic and abiotic plant stress. *Annual Review of Phytopathology*. Vol. 24 s. 265–286.
- KUKUŁA S., KRASOWICZ S. 2007. Główne problemy i uwarunkowania zrównoważonego rolnictwa w Polsce. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 5–15.
- LEWIŃSKI St. 2007. Obiektowa klasyfikacja zdjęć satelitarnych jako metoda pozyskiwania informacji o pokryciu i użytkowaniu ziemi. Instytut Geodezji i Kartografii. Seria Monograficzna. Nr 12 ss. 125.
- MAISONNEUVE C., RIOUX S. 2001. Importance of riparian habitats for small mammal and herpetofaunal communities in agricultural landscapes of southern Québec. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Nr 83 s.165–175.
- MCGARIGAL K., MARKS B.J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station. Portland.
- MORAN M.S., CLARKE T.R., INOUE Y., VIDAL A. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing Environment*. Vol. 49 s. 246–263.
- NIELSEN A.A. 2007. The Regularized Iteratively Reweighted MAD Method for Change Detection in Multi- and Hyperspectral Data. *IEEE Transactions on Image processing*. Vol. 16. No. 2 s. 463–478.
- PANUELAS J., FILELLA I., BIEL C., SERRANO L. 1993. The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 4 s. 1887–1905.
- PINTY B., VERSTRAETE M.M. 1992. GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetation*. Vol. 101 s. 15–20.
- ROCK B.N., VOGELMANN J.E., WILLIAMS D.L., VOGELMANN A.F., HOSHIZAKI T. 1986. Remote detection of forest damage. *Bioscience*. Vol. 36 s. 439–445.
- ROUSE J.W., HAAS R.H., SCHELL J.A., DEERING D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, 3<sup>rd</sup> Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium 1* s. 48–62.
- ROY P.S., TOMAR S. 2000. Biodiversity characterization at landscape level using geospatial modeling technique. *Biological Conservation*. Vol. 95 s. 95–109.
- SEELAN S.K., LAGUETTE S., CASADY G.M., SEIELSTAD G.A. 2003. Remote sensing application for precision agriculture: a learning community approach. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 88 s. 157–169.
- SIMPSON E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature*. Vol. 163 s. 688.
- VIDAL A., PINGLO F., DURAND H., DEVAUX-ROS C., MAILLET A. 1994. Evaluation of a temporal fire risk index in mediterranean forests from NOAA thermal IR. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 49 s. 296–303.
- ZARCO-TEJADA P.L.J., RUEDA C.A., USTIN S.L. 2003. Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 85 s. 109–124.

**Marek Banaszekiewicz, Stanisław Lewiński, Sebastian Aleksandrowicz,  
Edyta Woźniak, Andrzej Kotarba, Michał Krupiński**

**APPLICATIONS OF SATELLITE TECHNOLOGY  
IN SUSTAINABLE AGRICULTURE – SELECTED EXAMPLES  
OF THE USE DIRECTIONS**

**Summary**

Satellite remote sensing is one of the main sources of information on natural environment and the processes occurring on the surface of the Earth. Satellite images of different spatial, spectral and radiometric resolution, enable the acquisition of spatial information which may be interpreted directly, or may be used in processes of mathematical modeling. Satellite images may create a basis to determine, among the others, land cover and land use classes, cropping patterns, the condition of vegetation, water availability. This paper presents selected examples of satellite remote sensing application in monitoring of agricultural land: setting of riparian zones, detection of land cover changes, assessment of vegetation status and the diversification of natural environment.

**Key words:** sustainable agriculture, remote sensing, satellite images

Adres do korespondencji:

dr hab. Stanisław Lewiński

Centrum Badań Kosmicznych PAN

ul. Bartycka 18A, 00-716 Warszawa

tel. 22 496-63-27; e-mail: marekb@cbk.waw.pl