

**KLASYFIKACJA OBIEKTOWA UŻYTKÓW ZIELONYCH  
Z WYKORZYSTANIEM WIELOLETNICH ZMIAN NDVI  
I FILTRACJI KIERUNKOWYCH OBRAZU SATELITARNEGO**

**OBJECT GRASSLAND CLASSIFICATION USING MULTI-YEAR NDVI  
CHANGES AND DIRECTIONAL FILTERING OF SATELLITE IMAGE**

**Krzysztof Kosiński, Anna Hoffmann-Niedek**

Institut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

SŁOWA KLUCZOWE: użytki zielone, klasyfikacja obiektowa, NDVI, filtracja kierunkowa, Landsat

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono algorytm półautomatycznej klasyfikacji obiektowej kompleksów krajobrazowo-roślinnych użytków zielonych na podstawie dwóch zobrażeń satelitów serii Landsat, wykonanych w odstępnie 17 lat. NDVI z dwóch terminów, wskaźnik wieloletnich zmian NDVI oraz wskaźnik struktury pasowej wykorzystano do wydzielenia użytków zielonych spośród innych form użytkowania. Przedstawiono mapę poklasyfikacyjną okolic Bełchatowa. Wyróżniono 5 kategorii użytków zielonych.

## **1. WSTĘP**

W pracy przedstawiono jeden z etapów opracowania metody ekologicznej waloryzacji użytków zielonych z wykorzystaniem narzędzi teledetekcji. Wysokość plonów oraz walory ekologiczne użytków zielonych zależą w znacznej mierze od ich uwilgotnienia (Kozłowska, 2005). W monitoringu użytków zielonych z rozróżnieniem różnych form wilgotnościowych wykorzystuje się wieloczasowe dane spektralne (Debinski *et al.*, 2000). Podejmowane są próby wykorzystania znormalizowanego indeksu wegetacji NDVI do szacowania plonów i wysokości traw (Dąbrowska-Zielińska, 1995, Kozłowska *et al.*, 2000) oraz badania uwilgotnienia i jego zmian (Miatkowski *et al.*, 2006) na obszarach użytków zielonych.

Celem pracy jest klasyfikacja użytków zielonych na podstawie wieloletnich zmian wartości NDVI. Dotychczas wykonane analizy kompozycji NDVI z lat 1987 i 2001 wskazują na przydatność wskaźnika struktury pasowej WSP (Kosiński, Kozłowska, 2003, Kozłowska *et al.*, 2004) do rozróżniania gruntów orných od użytków zielonych nadmiernie uwilgotnionych.

W klasyfikacji łąk wysokogórskich (nierozdzielonych) na zdjęciach hiperspektralnych uzyskuje się dokładność 90-100% (Zagajewski *et al.*, 2005).

W niniejszej pracy zmierzano do identyfikacji kompleksów przestrzennych, zgrupowanych w kilka jednostek typologicznych, których definicje odwołują się do podstawowych kategorii niżowych zbiorowisk i siedlisk łąkowych.

## 2. DANE I METODYKA

Wykonano półautomatyczną klasyfikację obiektową (Kosiński, 2005) użytków zielonych. Metoda ta umożliwia wydzielenie (Kosiński, Hoffmann-Niedek, Zawila, 2006) i klasyfikację (Kosiński, 2005, Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2006) segmentów obrazu satelitarnego jako reprezentacji kompleksów krajobrazowo-roślinnych (Matuszkiewicz, 1990, 1992) zróżnicowanych pod względem ekologicznym i produkcyjnym. Wykorzystano zdjęcia satelitarne serii Landsat:

- Landsat 5 TM
  - 3 maja 1987
- Landsat 7 ETM+
  - 10 września 1999
  - 1 maja 2001.

Klasyfikację użytków zielonych przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie dokonano segmentacji obrazu w celu wydzielenia segmentów w randze przestrzennej kompleksu krajobrazowo-roślinnego. W drugim etapie przeprowadzono klasyfikację wydzielonych segmentów.

Kompleksy krajobrazowo-roślinne wykazują powierzchnię rzędu  $10^4 \div 10^5 \text{ m}^2$  (rozciągłość – kilkaset metrów w terenie). Do segmentacji obrazu wykorzystano dane panchromatyczne – z uwagi na większą, niż w przypadku danych spektralnych, rozdzielczość przestrzenną (wymiar terenowy piksela 15 m). Porównano wizualnie wiele kompozycji utworzonych z danych panchromatycznych, z których do dalszych analiz wybrano jedną, najlepiej różnicującą użytki zielone (Kosiński, 2004): kompozycję w barwach naturalnych z Landsata7 ETM+ (*red*: ETM8 z 10 września 1999; *green*: ETM8 z 1 maja 2001; *blue*: ( ETM1 + ETM2 + ETM3 ) / ETM8 z 10 września 1999).

Klasyfikację segmentów wykonano w oparciu o dane spektralne z maja: Landsat 5 i Landsat 7, o rozdzielczości określonej wymiarem terenowym piksela 30 m. Wykorzystano dwa zdjęcia wykonane w odstępie wieloletnim (TM3 i TM4 z 3 maja 1987 oraz ETM3 i ETM4 z 1 maja 2001), wzmocnione przez obliczenie wskaźników ilorazowych i filtrację przestrzenną. Dane z terminów późniejszych, niż majowy, są obarczone dużą zmiennością wynikającą z użytkowania.

Kompleksy, w których w okresie wieloletnim zachowano określony sposób użytkowania, przyjmują w poszczególnych porach roku podobne, na przestrzeni wielolecia, wartości NDVI. Te wartości NDVI wykazują znaczną zmienność w obrębie klasy kompleksów, co utrudnia lub uniemożliwia klasyfikację pojedynczego zdjęcia. W obszarze badań pewne kategorie kompleksów podlegały zmianom, których skutkiem była zmiana wartości NDVI w badanym wieloleciu. Dzięki temu możliwe jest rozdzielanie niektórych kategorii kompleksów przez porównanie wartości NDVI ustalonych dla tej samej pory roku, ale w odstępie kilkunastu lat.

Dla każdego z majowych zdjęć obliczono indeks NDVI. Następnie obliczono wskaźnik zmian wieloletnich NDVI, zwiększając wartości NDVI o 1 w celu uniknięcia liczb ujemnych, równanie (1).

$$\text{wzNDVI}_{87/01} = (\text{NDVI}_{1987-05-03} + 1) / (\text{NDVI}_{2001-05-01} + 1), \quad (1)$$

gdzie:

wzNDVI<sub>87/01</sub> – wskaźnik zmian wieloletnich NDVI dla okresu 1987-2001

NDVI\_1987-05-03 – znormalizowany indeks wegetacji dla obrazu Landsat 5 dnia 1987.05.03

NDVI\_2001-05-01 – znormalizowany indeks wegetacji dla obrazu Landsat 5 dnia 2001.05.01

Uzyskane wartości poddano filtracji kierunkowej. W wyniku zsumowania wartości bezwzględnych różnic obliczonych dla dwóch par filtrów (poziomego z pionowym oraz prawoskośnego z lewoskośnym) obliczono wskaźnik struktury pasowej, zgodnie z równaniem (2).

$$SSI4 = |(\text{poz}) - (\text{pion})| + |(\text{psk}) - (\text{lsk})|, \quad (2)$$

gdzie:

SSI4 – czterokierunkowy wskaźnik struktury pasowej,  
poz – wynik działania filtru poziomego,  
pion – wynik działania filtru pionowego,  
psk – wynik działania filtru prawoskośnego,  
lsk – wynik działania filtru lewoskośnego.

Wskaźnik SSI4 poddano filtracji dolnoprzepustowej. W ten sposób przetworzony wskaźnik struktury pasowej oznaczono symbolem WSP (Kosiński, Kozłowska, 2003). Rozdzielczość czasowa wskaźnika zmian NDVI i wskaźników struktury pasowej określona jest czternastoletnią różnicą między terminami wykonywanych zdjęć.

Problem polega na opracowaniu algorytmu klasyfikacji i zbadaniu, w których krokach algorytmu znajduje zastosowanie WSP.

Segmentom wybranym jako pola treningowe przypisano cztery wskaźniki wyznaczone z danych spektralnych: NDVI dla dwóch terminów z początku maja w odstępie czternastoletnim (NDVI 1987-05-03 oraz NDVI 2001-05-01), wskaźnik zmian NDVI (wzNDVI87/01) oraz wskaźnik struktury pasowej (WSP). Półautomatyczną klasyfikację obiektową przeprowadzono na podstawie rozkładu klastrów reprezentujących poszczególne pola treningowe w przestrzeni wartości czterech wskaźników. Dla poszczególnych par wskaźników poleceniami systemu ERDAS tworzone wykresy rozkładu klastrów.

Wykresy analizowano wizualnie, ręcznie wyznaczając linie rozdzielające klasy obiektów. W celu uniknięcia nadmiernego dopasowania linii, starano się rozdzielać nie pojedyncze klastry, lecz skupienia klastrów o podobnej wariancji. W efekcie niektóre klastry reprezentujące obiekty danego typu pozostawały po niewłaściwej stronie linii rozgraniczającej, co oznaczało błędną klasyfikację. Błędy oszacowane na podstawie pól treningowych były podstawą ustalenia kryteriów klasyfikacji.

Po wykonaniu analiz dla różnych zbiorów pól treningowych dobrano zespół wykresów wzorcowych dla poszczególnych kroków procedury klasyfikacyjnej. Na tle wykresów automatycznie wizualizowano klastry segmentów będących przedmiotem klasyfikacji. Segmenty klasyfikowano na podstawie wizualnej oceny położenia względem linii rozgraniczającej klastry pól treningowych reprezentujących różne typy kompleksów krajobrazowo-roślinnych.

W badaniach przyjęto następującą hipotezę roboczą: zastosowanie filtracji kierunkowej wskaźnika zmian wieloletnich NDVI pozwala oddzielić grunty orne i samozadarnienia na gruntach poornych od użytków zielonych.

W celu weryfikacji hipotezy roboczej wykonano dla pól treningowych reprezentujących wybrane formy użytkowania ziemi wykresy wskaźnika WSP w powiązaniu z NDVI lub wzNDVI87/01. Zależność wskaźnika WSP od NDVI 1987-05-03 zastosowano w algorytmie klasyfikacji do odróżnienia gruntów ornych drobnopowierzchniowych od użytków zielonych. Zależność WSP od wskaźnika wzNDVI87/01 zastosowano jako kryterium odróżnienia samozadarnień na gruntach poornych od grądów zubożałych. Wymienione formy użytkowania są trudne do rozróżnienia na podstawie samych tylko wartości NDVI i jego zmian, szczególnie dwie ostatnie z powodu podobieństwa składu florystycznego. Indeks NDVI zastosowano do identyfikacji różnic pod względem struktury przestrzennej. Grunty orne drobnopowierzchniowe mają silnie zaznaczoną strukturę pasową w układzie równoległym, która w kompleksach samozadarnień poornych utrzymuje się jeszcze przez szereg lat po zaniechaniu uprawy.

Algorytm klasyfikacji zbudowano na podstawie 299 pól treningowych ustanowionych dla różnych form użytkowania ziemi (w tym 136 pól dla użytków zielonych) w obszarze trzech mezoregionów: Kotliny Szczercowskiej, Wysoczyzny Bełchatowskiej i Równiny Piotrkowskiej. Klasyfikację wykonano dla mniejszego obszaru, obejmującego fragmenty Kotliny Szczercowskiej i Wysoczyzny Bełchatowskiej na zachód od Bełchatowa.

Metoda półautomatycznej klasyfikacji pozwala w dziewięciu krokach oddzielić użytki zielone od innych form użytkowania ziemi oraz wyróżnić pięć kategorii użytków zielonych (Rys. 1, Rys. 2).

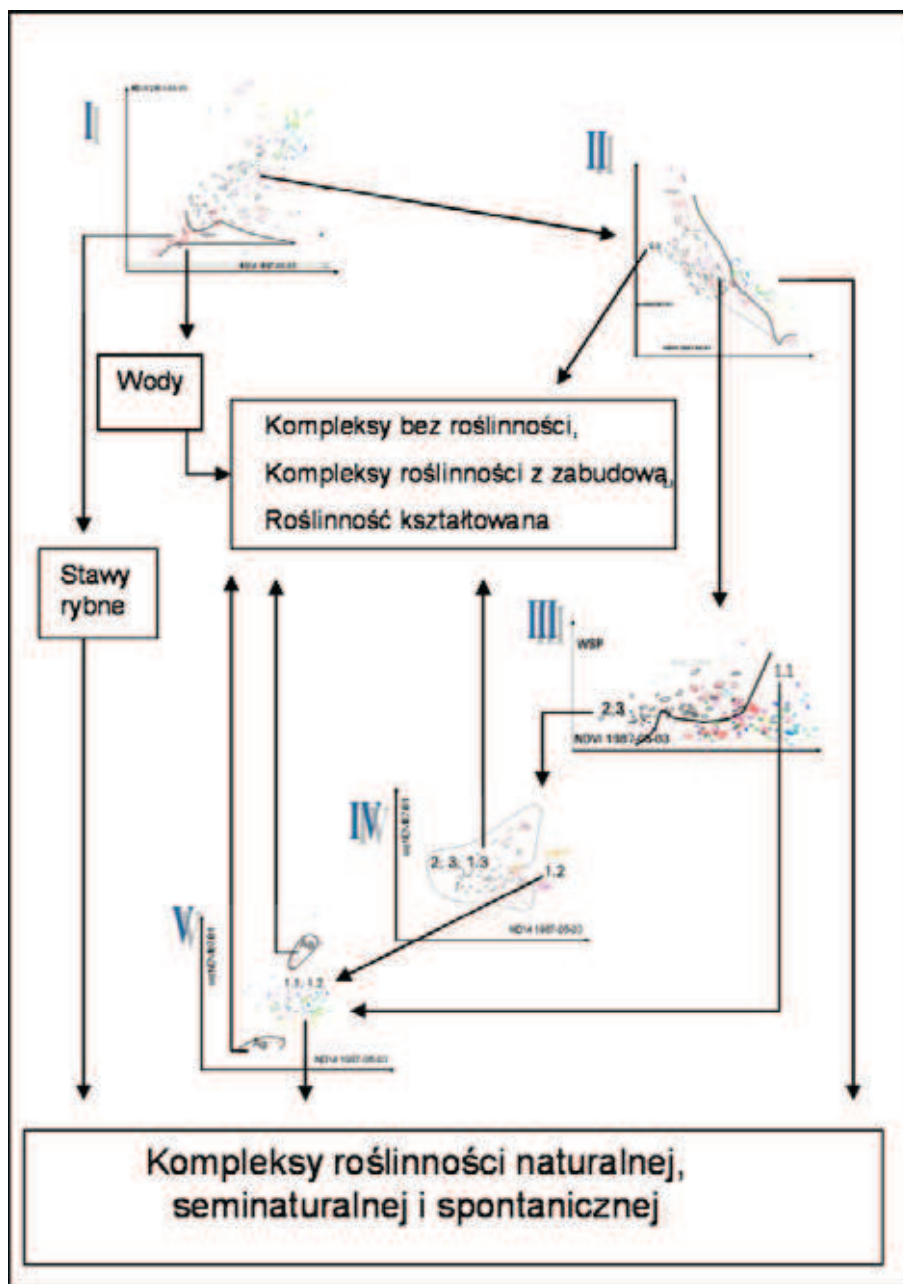
Krok I. Według zależności NDVI 2001 05 01 od NDVI 1987-05 03 oddzielenie kompleksów wód powierzchniowych i kompleksów stawów rybnych.

Krok II. Według zależności wzNDVI87/01 od NDVI 2001-05-01 oddzielenie kompleksów bez roślinności, kompleksów roślinności z zabudową, roślinności kształtowanej od kompleksów roślinności naturalnej, seminaturalnej i spontanicznej.

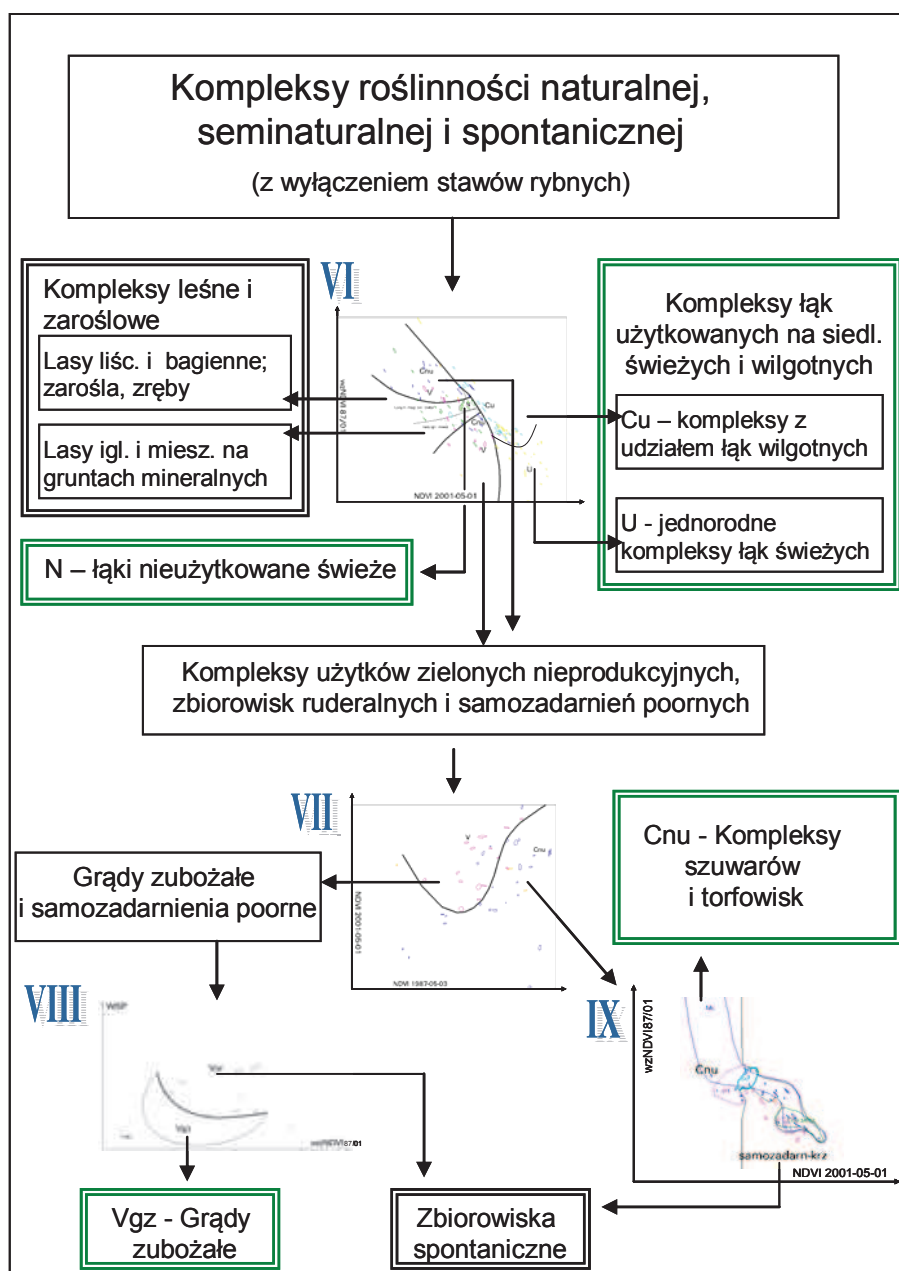
Krok III. Według zależności WSP od NDVI 1987-05-03 kolejny etap wyodrębniania kompleksów roślinności naturalnej, seminaturalnej i spontanicznej.

Krok IV. Według zależności wzNDVI87/01 od NDVI 1987-05-03 ostateczne oddzielenie kompleksów roślinności spontanicznej od kompleksów bez roślinności, kompleksów roślinności z zabudową i roślinności kształtowanej.

Krok V. Według zależności wzNDVI87/01 od NDVI 1987-05-03 oddzielenie kompleksów roślinności naturalnej, seminaturalnej i spontanicznej (z wyłączeniem kompleksów stawów rybnych) od agrocenoz wielkopowierzchniowych.



Rys. 1. Algorytm oddzielenia kompleksów roślinności naturalnej, seminaturalnej i spontanicznej od innych form użytkowania ziemi. Poszczególne kroki procedury klasyfikacyjnej (I – V) przedstawiają wykresy wzorcowe (opis w tekście)



Rys. 2. Algorytm klasyfikacji kompleksów użytków zielonych oraz wyodrębnienia ich spośród kompleksów roślinności naturalnej, seminaturalnej i spontanicznej. Poszczególne kroki klasyfikacji (VI – IX) przedstawiają wykresy wzorcowe (opis w tekście)

Krok VI. Według zależności wzNDVI87/01 od NDVI 2001-05-01 oddzielenie kompleksów leśnych i zaroślowych (w tym: lasów liściastych i bagiennych, zarośli i zrębów; lasów iglastych i mieszanych na gruntach mineralnych); kompleksów łąk użytkowanych na siedliskach świeżych i wilgotnych (z podziałem na kompleksy typu Cu z udziałem łąk wilgotnych oraz jednorodne kompleksy łąk świeżych typu U); kompleksów łąk nieużytkowanych świeżych typu N.

Krok VII. Według zależności NDVI 2001-05-01 od NDVI 1987-05-03 wydzielenie grądów zubożałych i samozadarnień poornych spośród kompleksów użytków zielonych nieprodukcyjnych, zbiorowisk ruderalnych i samozadarnień poornych.

Krok VIII. Według zależności WSP od wzNDVI87/01 rozdzielenie: grądów zubożałych – Vgr, roślinności spontanicznej (głównie samozadarnień na gruntach poornych – Vpr).

Krok IX. Według zależności wzNDVI87/01 od NDVI 2001-05-01 oddzielenie kompleksów typu Cnu – szuwarów i torfowisk (nieużytkowanych z powodu nadmiernego uwilgotnienia) od zbiorowisk spontanicznych.

Wyniki klasyfikacji zweryfikowano w terenie.

### 3. WYNIKI Z ANALIZĄ KRYTYCZNĄ

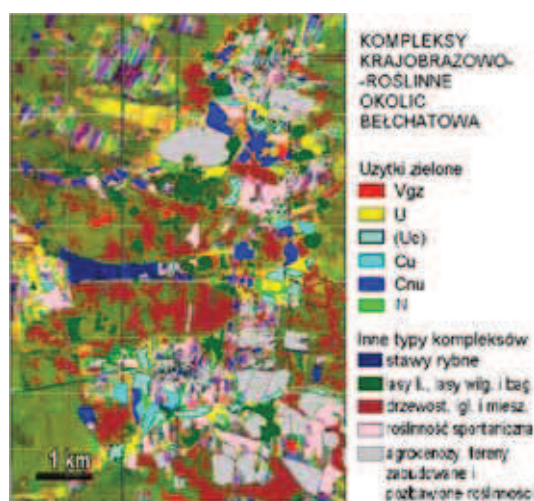
Na podstawie analizy klastrów pól treningowych można stwierdzić, że wyraźnie wydzielają się grunty orne – mają wyższe wskaźniki struktury pasowej i NDVI. Agrocenozy wielkopowierzchniowe dobrze się rozdzielają od drobnopowierzchniowych, samozadarnień na gruntach porolnych i grądów zubożałych. Przy kombinacji NDVI1987 z WSP - bardzo dobrze wydzielają się grunty orne wielkopowierzchniowe od terenów wilgotnych i od drobnopowierzchniowych gruntów ornycy oraz tereny wilgotne od gruntów ornycy drobnopowierzchniowych. Para wskaźników WSP i wzNDVI87/01 pozwala odróżnić grądy zubożałe (najczęściej suche, w typowym przypadku w postaci muraw napiaskowych) od samozadarnień poornych.

Układ wartości NDVI z 1987 roku i WSP niesie ze sobą informację o zmianie sposobu użytkowania łąk. Z analizy wynika, że w 1987 roku wszystkie łąki były użytkowane, a w 2001 roku wyraźnie można rozdzielić łąki użytkowane od nieużytkowanych.

W pewnych zakresach wartości wskaźników NDVI 2001-05-01 i wzNDVI87/01 wystąpiły trudności w rozdzieleniu kompleksów użytkowanych typu U i Cu. Dla tych przypadków utworzono dodatkową roboczą jednostkę (Uc) – niejednorodną kategorię kompleksów z udziałem łąk użytkowanych o obniżonych walorach produkcyjnych. Ta ostatnia grupa powinna być w przyszłości przedmiotem dalszych badań.

Wyniki klasyfikacji kompleksów krajobrazowo-roślinnych według opisanego algorytmu przedstawia Rys. 3. Weryfikacja terenowa wykazała błędy klasyfikacji. Niektóre drzewostany sosnowe na siedliskach boru mieszanego świeżego zostały sklasyfikowane jako grądy zubożałe (prawidłowe określenie siedliska, błędne określenie pokrycia terenu). Główne skupisko błędnie sklasyfikowanych drzewostanów wystąpiło poza zasięgiem prezentowanej mapy. W toku dalszych prac terenowych konieczna będzie kalibracja parametrów oddzielania użytków zielonych od lasów i zarośli.





Rys. 3. Mapa poklasyfikacyjna kompleksów krajobrazowo-roślinnych na tle kompozycji barwnej trzech spośród czterech wskaźników wykorzystanych do klasyfikacji: *Red*: NDVI 1987-05-03, *Green*: NDVI 2001-05-01, *Blue*: WSP. Vgz – grądy zubożałe, U – jednoodne kompleksy łąk świeżych, (Uc) – łąki użytkowane o obniżonych walorach produkcyjnych, Cu – kompleksy łąk użytkowanych z udziałem szuwarów lub wilgotnych łąk, Cnu – kompleksy szuwarów i torfowisk, N – łąki nieużytkowane świeże

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie wartości NDVI utworzonych na podstawie zdjęć Landsat TM i ETM+ wykonanych w odstępie wieloletnim oraz wskaźnika struktury pasowej WSP wydzielono użytki zielone spośród gruntów ornych i samozadarnień na gruntach poornych.

Na użytkach zielonych zidentyfikowano 5 kategorii kompleksów krajobrazowo-roślinnych: Vgz – kompleksy łąk zubożałych, U – jednoodne kompleksy łąk użytkowanych świeżych, N – kompleksy łąk nieużytkowanych świeżych, Cu – kompleksy łąk użytkowanych z udziałem szuwarów lub wilgotnych łąk, Cnu – kompleksy nieużytkowane na siedliskach nadmiernie uwilgotnionych. Jako dodatkową, mieszaną kategorię Uc wydzielono grupę kompleksów łąkowych, przynajmniej po części użytkowanych, nawiązującą z jednej strony do kompleksów typu U, z drugiej do kompleksów Cu.

#### 5. LITERATURA

Dąbrowska-Zielińska K., 1995. Szacowanie ewapotranspiracji wilgotności gleb i masy zielonej łąk na podstawie zdjęć satelitarne NOAA. *Prace Geograficzne*, 165, ss. 82

Debinski D. M., Jakubauskas E., Kindscher K., 2000. Montane meadows as indicators of environmental change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 64: 213–225. [http://www.kbs.ku.edu/people/staff\\_www/kindscher/Kindscher%20publicaitons/Kindscher%202000%20Montane%20Meadows.pdf](http://www.kbs.ku.edu/people/staff_www/kindscher/Kindscher%20publicaitons/Kindscher%202000%20Montane%20Meadows.pdf)



- Kosiński K., 2004. Znaczenie rozdzielczości spektralnej zdjęć Landsat ETM+ w identyfikacji łąk o różnym uwilgotnieniu i użytkowaniu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Materiały Sympozjum: „Fotogrametria, Teledetekcja i GIS w świetle XX Kongresu ISPRS”. Vol. 14. P. 327-335. <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/bialobrzegi/Bialobrzegi2004/59-kosinski-popr.doc>
- Kosiński K., 2005. Zastosowanie procedury Region Growing w klasyfikacji użytków zielonych na podstawie zdjęć Landsat ETM+. *Roczniki Geomatyki*. T. 3, z. 2. P. 69-76.
- Kosiński K., Hoffmann-Niedek A., 2006. Zastosowanie analizy wielkości i kształtu w klasyfikacji użytków zielonych na zdjęciach Landsat ETM+. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 16. URL: [http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/jablonki/jablonki2006/Kosinski\\_Hoffman\\_Zastosowanie.pdf](http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/jablonki/jablonki2006/Kosinski_Hoffman_Zastosowanie.pdf).
- Kosiński K., Hoffmann-Niedek A., Zawila A. (2006) Wydzielanie kompleksów krajobrazowo-roślinnych na zdjęciach Landsat ETM+ z zastosowaniem procedury Region Growing. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 16. [http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/jablonki/jablonki2006/Kosinski\\_%20et\\_al\\_Wydzielanie.pdf](http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/jablonki/jablonki2006/Kosinski_%20et_al_Wydzielanie.pdf).
- Kosiński K., Kozłowska T., 2003. Zastosowanie wskaźnika NDVI i filtracji kierunkowej do rozpoznawania użytków zielonych oraz analizy zmian siedlisk i zbiorowisk łąkowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Geoinformacji: „Geoinformacja zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych”. Vol. 13 B, ss. 387-395.
- Kozłowska T., 2005. Zmiany zbiorowisk łąkowych na tle różnicowania się warunków siedliskowych w charakterystycznych obszarach dolin rzecznych Polski Centralnej. *Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie*. Rozprawy naukowe i monografie, 14, ss. 208.
- Kozłowska T., Dąbrowska-Zielińska K., Ostrowski J., Ciołkosz A., Stankiewicz K., Bochenek Z., 2000. Szacowanie plonów z użytków zielonych w skali regionalnej z zastosowaniem teledetekcji satelitarnej. *Biblioteczka Wiadomości IMUZ*, 95, ss. 111.
- Kozłowska T., Kosiński K., Kwiecień R., Ziaja W., 2004. Zastosowanie wskaźnika NDVI do wyróżniania łąk o różnym poziomie użytkowania i uwilgotnienia. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie*. T. 4, z. 1 (10), ss. 201-218
- Matuszkiewicz A. J., 1990. Kompleks krajobrazowo-roślinny jako specyficzny typ układu ekologicznego. W: Problemy ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego na obszarach zurbanizowanych. Cz. II, SGGW-AR ser. *CPBP 04-10*, Nr 22, s. 58-64.
- Matuszkiewicz A. J., 1992. Kompleks krajobrazowo-roślinny jako jednostka zróżnicowania roślinności terenów zurbanizowanych. *Dok. Geogr.*, 5-6, s. 51-69.
- Miatkowski Z., Turbiak S., Kowalik W., Sołtysik A., Lewiński J., 2006. Przydatność zdjęć satelitarnych Landsat TM do identyfikacji intensywnie odwodnionych siedlisk hydrogenicznnych w rejonie KWB Belchatów. *Woda, Środowisko, Obszary wiejskie*. *Rozprawy naukowe i monografie*, 16, s. 2-80.
- Zagajewski B., Kozłowska A., Krowczyńska M., Sobczak M., Wrzesień M., 2005. Mapping high mountain vegetation using hyperspectral data. *EARSeL eProceedings* 4, 1, s. 70-78. [http://las.physik.uni-oldenburg.de/eProceedings/vol04\\_1/04\\_1\\_zagajewski1.pdf](http://las.physik.uni-oldenburg.de/eProceedings/vol04_1/04_1_zagajewski1.pdf)

**OBJECT GRASSLAND CLASSIFICATION USING MULTI-YEAR NDVI  
CHANGES AND DIRECTIONAL FILTERING OF SATELLITE IMAGE**

KEY WORDS: grasslands, object classification, NDVI, directional filtering, Landsat

**Summary**

Semi-automated object classification of grasslands is presented. Landscape-vegetation complexes were distinguished on panchromatic data composites of two Landsat ETM+ images registered on 1999-09-10 and 2001-05-01. Bitemporal spectral data were used for classification. Two Landsat images were used: TM, 19870503 and 2001-05-01. Four indices were calculated: NDVI 1987-05-03, NDVI 2001-05-01, wzNDVI87/01 (NDVI change index), and WSP (strip structure index).

The analysis confirmed the hypothesis that meadows may be distinguished from arable lands and from formerly arable sods after directional filtering of the index of multi-year NDVI change.

Cluster analysis was performed to classify landscape-vegetation complexes. The full algorithm is described. Some errors found during terrain verification are discussed. A post-classification map of the Bełchatów environs (central Poland) was developed. Five grassland categories were distinguished.

dr Krzysztof Kosiński  
k.kosinski@imuz.edu.pl:  
tel. +48 22 7200531 w. 205  
fax: +48 22 6283763

mgr inż. Anna Hoffmann Niedek  
a.hoffmann@imuz.edu.pl:  
tel. +48 22 7200531 w. 251