

## Znaczenie pola powierzchni i długości obiektów w półautomatycznej klasyfikacji obiektowej użytków zielonych na zdjęciach satelitów serii LANDSAT

*The influence of area and length of objects in semi-automated object classification of grasslands on LANDSAT images*

Krzysztof KOSIŃSKI

**Słowa kluczowe:** użytki zielone, teledetekcja, Landsat, wielkość, kształt, uwilgotnienie siedlisk, półautomatyczna klasyfikacja obiektowa, sztuczne sieci neuronowe

**Key words:** grasslands, remote sensing, Landsat, size, shape, habitat humidity, semiautomated object classification, artificial neural network

Semi-automatic method for object classification of the grassland procedure involves two stages: 1) the creation of image segments as a representation of natural spatial complexes, 2) classification of the segments. So far, the classification algorithms were used refer to the three categories of characteristics: spectral, panchromatic or geometric.

In the first stage of the work segmentation were performed of the composition of the two satellite images Landsat7 acquired at different seasons of the year: in September 1999 and the beginning of May 2001. Panchromatic data were used for distinguishing complexes due to the greater (in comparison with spectral data) spatial resolution. In the area of grasslands landscape-vegetation complexes (Matuszkiewicz, 1990, Kosiński, Hoffmann-Niedek, Zawila, 2006) were distinguished of approximately a hundred to a few hundred meters in length and of about 20 ÷ 200 panchromatic image pixels. Semi-automated delimitation of complexes were carried out under the visual control, using as auxiliary material aerial photographs and topographic maps.

In the second stage (classification of segments) an attempt were taken to assess the suitability of selected geometrical features to distinguish grasslands in use (currently or potentially) from grasslands unfit for production use due to excessive or insufficient moisture. The classification algorithm used GIS tools for measuring area and length of segments and artificial neural networks as a tool for classification.

The previous studies of the Piotrkowska Plain show that the complexes of meadows used differ from those abandoned in terms of size and shape of objects (Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2006, Fig. 1). Hypothesis that area and length of the landscape-vegetation complex are cues of identification in relation to the use and moisture of grasslands.

43 complexes of the grassland have been established as training samples on the Piotrkowska Plain in the Pilsia valley. In order to avoid overfitting classification algorithm to data from the Piotrkowska Plain, in order to allow the application of the algorithm for another mezoregionu 10 complexes have been selected as a validation set in the Szczercowska valley. To evaluate the classification results 32 complexes have been collected from Szczercowska Basin (test set). All training set objects were described in terrain. Validation and test set objects were classified by a more accurate method (based on bitemporal image: Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008) and checked at random in the field. Objects of learning, validation and test set have been grouped into five categories according to use and habitat moisture (Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008; Table 1). For learning neural networks five categories of objects of the learning and validation set were generalised into the three classes.

In the Szczercowska Valley combination of characteristics (area and length) of the abandoned complexes is more close to the meadows in use than on the Piotrkowska Plain (Table 2). Therefore, the classification algorithm of the Piotrkowska Plain can not be directly applied to Szczercowska Basin. To obtain the correct result of classification, the classes of test set has been interpreted differently than in the learning and validation sets (Table 3, Figure 2). In the test sample 3/4 of the 23 complexes of meadows potentially used were classified correctly, while of nine abandoned ones due to unfavorable moisture habitats correctly classified 2/3. Thus confirmed the working hypothesis.

Application of artificial neural networks can cancel the designation of non parametric empirical indicators of the size and shape of the complexes (Fig. 1). Neural networks auto-

matically builds a morphometric model based on simple indicators such as area and length of the object.

Two model types of artificial neural network have been tested: 1) multilayer perceptrons (MLP) which use hyperplanes

## Wstęp

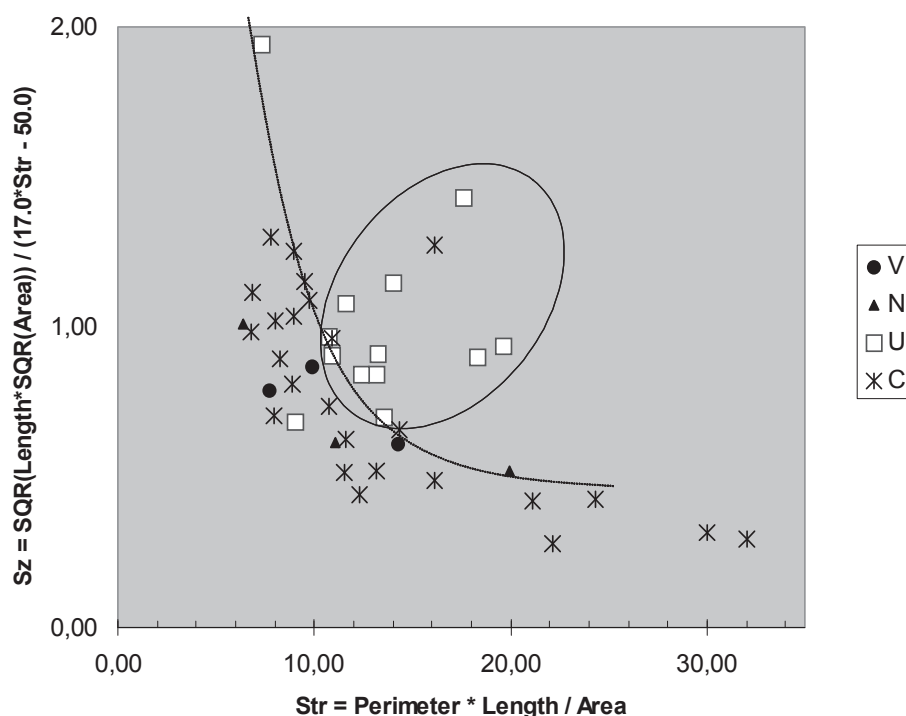
W klasyfikacji obiektowej użytków zielonych duże znaczenie mają charakterystyki topograficzne, spektralne, kontrast oraz charakterystyki geometryczne (Yu *et al.*, 2006). Kozłowska i Rogowski (1991) w toku badań nad możliwością wizualnej interpretacji użytków zielonych na zobrazowaniach satelitów serii Landsat stwierdzili rozpoznawcze znaczenie tekstury i potrzebę wykorzystania zdjęć wieloczasowych.

Kosiński i Hoffmann-Niedek (2008) wykonali klasyfikację obiektową użytków zielonych Kotliny Szczerzowskiej na podstawie charakterystyk spektralnych pozyskanych z dwóch zdjęć satelitów serii Landsat wykonanych na początku maja w odstępie wieloletnim, poddanych wzmocnieniu spektralnemu (przez obliczenie NDVI), przestrzennemu (przez filtrację kierunkową) i temporalnemu (przez obliczenie wskaźnika wieloletnich zmian NDVI). Wspomniani autorzy wyróżnili pięć kategorii użytków zielonych: Vg<sub>z</sub> – łąki zubożałe suche (nieużytkowane z powodu niedoborowego uwilgot-

to divide up feature space, 2) radial basis function network (RBF) which use hyperspheres. MLP networks have proved to be more suitable to build the model than the RBF network.

nienia), U – jednorodne kompleksy łąk użytkowanych świeżych, Cu – kompleksy łąk użytkowanych z udziałem szuwarów lub wilgotnych łąk, Cnu – szuwar i torfowiska (nieużytkowane z powodu nadmiernego uwilgotnienia), N – łąki nieużytkowane świeże; dodatkowo wydzielono roboczą kategorię U<sub>c</sub> – pośrednią między U i Cu, o wysokim spadku NDVI w okresie wieloletnim.

Zakres tej oto pracy obejmuje analizę kształtu i wielkości obiektów. Stopień wydłużenia jednostek przestrzennych roślinności może być związany z uwilgotnieniem siedlisk (Richling, Solon, 2002, za Solonem, *mscr*; Richling, Solon, 2002, za Solonem, 1988). W trakcie badań prowadzonych w Dolinie Luciąży nad zobrazowaniem użytków zielonych Równiny Piotrkowskiej na zdjęciach satelitów serii Landsat nie udało się jednak rozpoznać uwilgotnienia siedlisk na podstawie pojedynczej charakterystyki – wydłużenia obiektów. Analizowano długość, pole powierzchni i obwód obiektów wydzielanych jako kompleksy krajobrazowo roślinne (Matuszkiewicz, 1990, 1992) na kompozycji dwóch zdjęć Landsat ETM+ wykonanych w różnych porach



Ryc. 1. Model wielkości i kształtu obiektów łąkowych doliny Luciąży w okolicy Rozprzy (Równina Piotrkowska): a) model „skupieniowy”, eliptyczny, b) model hiperboliczny; wg Kosińskiego i Hoffmann-Niedek (2006). Str – wskaźnik wydłużenia, Sz – wskaźnik wielkości, *Perimeter* – obwód, *Length* – długość, *Area* – pole powierzchni. Kategorie użytków zielonych: V – łąki zubożałe suche i roślinność pionierska (brak możliwości użytkowania), N – łąki nieużytkowane świeże, U – jednorodne kompleksy łąk użytkowanych świeżych, C – kompleksy z udziałem łąk wilgotnych, szuwarów lub torfowisk (użytkowane lub nie użytkowane).

Fig. 1. Size and shape model of Luciąża valley grassland objects near Rozprza (Piotrków Plain): a) the local (elliptical) model, b) model of hyperbolic; by Kosiński and Hoffmann-Niedek (2006). Str – the stretch index, Sz – the size index. Grassland categories: V – impoverished mineral dry meadows and pioneer vegetation (inability to use), N – fresh meadows not used, U – homogeneous complexes of used fresh meadows, C – complexes with the participation of wet meadows, reeds or bogs (used or not used).

roku (Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2006). Na podstawie trzech powyższych charakterystyk geometrycznych obliczono dwa wskaźniki empiryczne: wskaźnik wydłużenia Str i wskaźnik wielkości Sz. Stwierdzono odrębność łąk użytkowanych na siedliskach świeżych pod względem wydłużenia i wielkości kompleksów. Dla potrzeb klasyfikacji wyznaczono graniczne wartości wskaźników. Graniczne wartości wskaźników kształtu i wielkości kompleksów łąkowych Równiny Piotrkowskiej najlepiej przedstawia model „skupieniowy” (ryc. 1). Stwierdzono natomiast odrębność łąk użytkowanych na siedliskach świeżych pod względem pary charakterystyk: wydłużenia i wielkości (Kosiński, Hoffmann, 2006).

Celem niniejszej pracy jest ocena stosowalności modelu w zakresie przestrzennym szerszym niż mezoregion. Analizowano dwie charakterystyki geometryczne.

Hipoteza robocza: Pole powierzchni i długość kompleksów krajobrazowo-roślinnych stanowią cechy rozpoznawcze w odniesieniu do użytkowania i uwilgotnienia użytków zielonych.

Podjęto próbę zastosowania modelu utworzonego dla Równiny Piotrkowskiej do klasyfikacji użytków zielonych Kotliny Szczercowskiej. Z uwagi na zmienność regionalną istnieje problem kalibracji modelu.

## Material i metody

### Przeznaczenie i przebieg półautomatycznej klasyfikacji obiektowej

Użytki zielone Kotliny Szczercowskiej poddano półautomatycznej klasyfikacji obiektowej według zbioru wzorców klasyfikacyjnych z Równy Piotrkowskiej.

Półautomatyczną klasyfikację obiektową (Kosiński, K., 2005) opracowano z myślą o sytuacji braku dostępu do oprogramowania przeznaczonego specjalnie do klasyfikacji obiektowej. Półautomatyczna klasyfikacja obiektowa przebiega w dwóch etapach:

1) segmentacji obrazu, manualnej lub półautomatycznej: metodą *region growing* pod kontrolą pakietu ERDAS (Kosiński, Hoffmann-Niedek, Zawila, 2006),

2) interaktywnej klasyfikacji segmentów; z wykorzystaniem różnych charakterystyk obrazu i pod kontrolą różnych narzędzi programistycznych: przykład algorytmu klasyfikacyjnego dla pakietu ERDAS podali Kosiński i Hoffmann-Niedek (2008), w tej oto pracy wykorzystano pakiet ERDAS do pomiaru cech geometrycznych obiektów i sztuczne sieci neuronowe jako narzędzie klasyfikacji.

Segmentacja poprzedza klasyfikację segmentów, podczas gdy w automatycznej klasyfikacji obiektowej segmentacja może przebiegać równoległe z klasyfikacją.

### Etap pierwszy: segmentacja obrazu

Segmentacji poddano kompozycję utworzoną z dwóch zdjęć Landsat ETM+, wykonanych 10 września 1999 i 1 maja 2001, o wymiarze terenowym piksela 15 m:

KANAŁ 1: ETM(8)1999-09-10,

KANAŁ 2: ETM(8)2001-05-01,

KANAŁ 3: ( ETM(1)1999-09-10 + ETM(2)1999-09-10 + ETM(3)1999-09-10 ) / ETM(8)1999-09-10.

Kanały składowe dobrano w wyniku wizualnego porównania różnych kompozycji danych panchromatycznych w odniesieniu do obserwacji terenowych (Kosiński, K., 2004). Wykorzystanie danych spektralnych ograniczono do sumy kanałów widzialnych z uwagi na większą rozdzielczość przestrzenną kanału ETM8 (wymiar terenowy piksela 15 m) w porównaniu z kanałami spektralnymi (30 m).

Segmenty obrazu wydzielono jako reprezentację kompleksów krajobrazowo-roślinnych. Kompleks krajobrazowo-roślinny (Matuszkiewicz, 1990, 1992) jest jednostką przestrzenną, która w obszarze użytków zielonych przyjmuje rozciągłość rzędu od stu do kilkuset metrów długości i ok. 20÷200 pikseli obrazu panchromatycznego Landsat ETM+. Stanowi powtarzalną przestrzennie kombinację komponentów naturalnych i półnaturalnych (szata roślinna, morfologia terenu, wody powierzchniowe) oraz sztucznych (szczegółowe urządzenia melioracyjne). Na użytkach zielonych decydującą rolę kształtującą i wyodrębniającą kompleks krajobrazowo-roślinny pełni siedlisko. Na takich terenach, jak się wydaje, kompleks krajobrazowo-roślinny jest tożsamy z sigmasocjacją i daje się powiązać z pojęciem uroczyska w rozumieniu geografii fizycznej (Matuszkiewicz, 1992). Przykładem może być murszowisko pokryte mozaiką łąk kośnych świeżych z rzędu *Arrhenatherion* oraz wilgotnych z rzędu *Calthion* w lokalnych zagłębieniach, odwodnione siecią rowów. Podstawę podziału typologicznego łąkowych kompleksów krajobrazowo-roślinnych stanowią warunki wilgotnościowe i użytkowanie (Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008).

Segmentację wykonano dla dwóch obszarów. Dla fragmentu Kotliny Szczercowskiej segmentację wykonał zespół siedmiu interpretatorów o zróżnicowanym poziomie kwalifikacji. Po wstępnych próbach segmentacji manualnej i wypróbowaniu różnych opcji *region growin*, przyjęto metodę interaktywnej segmentacji z zastosowaniem procedury *region growin* pakietu ERDAS Imagine z opcją ośmiu pikseli kandydujących i aktualizacją średniej. Doświadczenia z Kotliny Szczercowskiej wykorzystał Kosiński (2005), wykonując segmentację fragmentu Równiny Piotrkowskiej.

Segment powinien obejmować względnie jednorodny, reprezentatywny fragment kompleksu, z pominięciem strefy przejścia między kompleksami (Kosiński, K., 2005). Strefy przejścia nie są włączane do żadnego segmentu i nie podlegają późniejszej klasyfikacji: inaczej niż w powszechnie stosowanych metodach segmentacji, prowadzących do zupełnego podziału i klasyfikacji obrazu.

Segmenty obrazu satelitarne tworzone pod kontrolą wizualną. Do oceny zgodności przestrzennej segmentu rastra z kompleksem krajobrazowo-roślinnym wykorzystano dodatkowe zobrazowania o wyższej rozdzielczości (obrazy lotnicze) i mapy topograficzne (Kosiński, Hoffmann-Niedek, Zawila, 2006, Kosiński, K.,

2007). Piksel startowy wskazuje operator. Podjęto próbę obiektywizacji doboru piksela startowego jako czynnika zmienności kształtu segmentów, wybierając piksel startowy w najsilniej zaznaczonym w obszarze danego kompleksu minimum wariancji (Kosiński, K., 2007). Graniczną odległość euklidesową dobierano w drodze kolejnych przybliżeń, tak by segment obejmował względnie jednorodny fragment obrazu (Kosiński, K., 2008). W ramach prac redakcyjnych wykonano niezbędne poprawki i uzupełnienia.

#### Etap drugi: klasyfikacja segmentów

Utworzone w powyższy sposób segmenty poddano półautomatycznej nadzorowanej klasyfikacji obiektowej.

W kolejnych krokach procedury klasyfikacyjnej wykorzystano dotychczas z analizy klastrów dostępnej w pakiecie ERDAS Imagine – w odniesieniu do takich cech kompleksów, jak np. wartości odbicia w kanałach spektralnych (Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008) i panchromatycznych, (Kosiński, K., 2005) lub strukturę i teksturę obrazu (Kosiński, K., 2007; Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008), albo też obliczano empiryczne wskaźniki wielkości i kształtu segmentów (Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2006). Interaktywną klasyfikację segmentów obrazu prowadzi się na podstawie wykresów wzorcowych (ryc. 1), przedstawiających graniczne wartości pary charakterystyk w odniesieniu do wzorców klasyfikacyjnych opisanych w terenie. W niniejszej pracy podjęto próbę automatycznej klasyfikacji segmentów z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych.

Zastosowano automatyczny kreator sieci pakietu StatSoft, Inc. (2008). Wykorzystano dwa typy modeli sztucznych sieci neuronowych: 1) perceptrony wielowarstwowe (MLP), które wykorzystują hiperpłaszczyznę do dzielenia przestrzeni cech obiektów, 2) sieci o radialnych funkcjach bazowych (RBF), które wykorzystują

hipersferę. Sztuczne sieci neuronowe buduje się z różnej liczby neuronów, rzędu  $10^4$ – $10^6$ , zależnie od zastosowań (Koprowski, Wróbel, 2006; Kosiński R. A., 2007). W tej oto pracy zmierzano do zbudowania prostego modelu. Analizę przeprowadzono dla możliwie niewielkiej liczby neuronów, mając jednak na uwadze, że sieci RBF wymagają większej liczby neuronów w celu właściwego zamodelowania większości badanych pod tym kątem funkcji (Stateczny A., Praczyk T., 2002). Testowano sieci MLP zawierające 3÷9 neuronów ukrytych oraz sieci RBF, dla których zadeklarowano liczbę neuronów ukrytych w zakresie 10÷13. Zrezygnowano z ustalonych dla Równiny Piotrkowskiej wskaźników empirycznych na rzecz bezpośrednich wyników pomiaru segmentów. Z uwagi na małą liczbę obiektów, zbiór charakterystyk ograniczono do pola powierzchni – *Area* i długości – *Length*, rezygnując z obwodu – *Perimeter* (por. ryc. 1). Pomiarów charakterystyk wykonano za pomocą narzędzi pakietu ERDAS IMAGINE.

Zbiór wzorców klasyfikacyjnych (zbiór uczący) ustanowiono na Równinie Piotrkowskiej. Był to ten sam zbiór 43 segmentów, na którym Kosiński i Hoffmann-Niedek (2006) zbudowali model dla Równiny Piotrkowskiej (ryc. 1). Materiał zgrupowano w trzy klasy: n, un i u (tabela 1.).

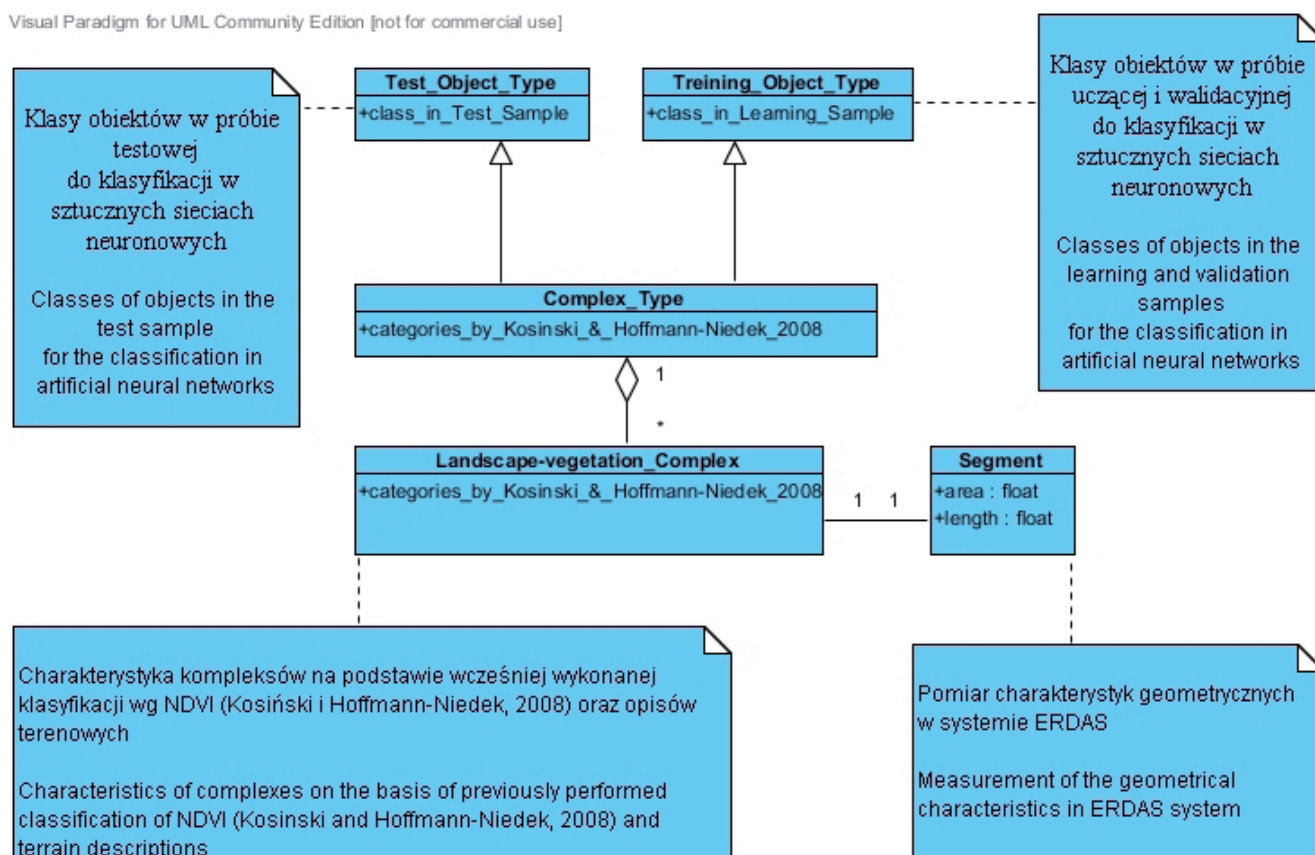
W myśl hipotezy roboczej cechy geometryczne obiektów (pole powierzchni i długość) mogą mieć zastosowanie w skali szerszej niż mezoregion jako pomocnicza cecha rozpoznawcza – obok cech spektralnych – w tele-detekcji użytków zielonych. W celu oceny błędów klasyfikacji na podstawie cech geometrycznych, odniesiono się do wcześniejszych wyników klasyfikacji metodą dokładniejszą, na podstawie NDVI (Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008), zweryfikowanych wrywkowo w terenie. Spośród kompleksów użytków zielonych Kotliny Szczercowskiej, reprezentowanych przez segmenty obrazu, pobrano próbę w postaci trzech transektów, każdy zbu-

Tabela 1. Agregacja jednostek typologicznych kompleksów krajobrazowo-roślinnych użytków zielonych z wydzieleniem kompleksów o wysokich walorach produkcyjnych (u), najwyższych walorach ekologicznych (n) oraz pozostałych kompleksów (un).

Table 1. Aggregation of typological units of grassland landscape-vegetation complexes in order to distinguish complexes with high production values (u), the highest ecological values (n) and the other complexes (un).

Użytkowanie i uwilgotnienie siedlisk <i>Habitat use and moisture</i>	Kategorie wg Kosińskiego (2007) <i>Categories by Kosiński (2007)</i>	Kategorie wg Kosińskiego i Hoffmann-Niedek (2008) <i>Categories by Kosiński and Hoffmann-Niedek (2008)</i>	Kategorie zagregowane <i>Aggregated categories</i>
Użytkowane, na siedliskach świeżych <i>In use, fresh habitats</i>	U	U	u
Użytkowane, lecz z udz. siedl. wilgotnych <i>Used, but with wet habitats</i>		Uc	un
	C	Cu	un
Nie użytkowane, na siedliskach świeżych <i>Not in use, fresh habitats</i>	N	N	un
Nie użytkowane, suche <i>Not in use, dry</i>	V	Vgz	un
Nie użytkowane, mokre i bagienne <i>Not in use, wet and swamp</i>	C	Cnu	n

Visual Paradigm for UML Community Edition [not for commercial use]



Ryc. 2. Schemat aplikacyjny dla klasyfikacji łąkowych kompleksów krajobrazowo-roślinnych na podstawie charakterystyk geometrycznych: pola powierzchni i długości obiektów

Fig. 2. Application schema for the classification of meadow landscape-vegetation complexes on the basis of geometric characteristics: area and length of objects

dowany z czterech kwadratów o boku 1×1 km. Z uwagi na znaczenie gospodarcze łąk użytkowanych świeżych, do próby włączono dodatkowo wszystkie kompleksy typu U wydzielone poza transektami w obszarze badań w Kotlinie Szczercowskiej. Tak rozszerzoną próbę (50 segmentów) podzielono w sposób systematyczny na zbiór walidacyjny (10 obiektów) i testowy (40 obiektów). Dla ogólnej oceny poprawności klasyfikacji, liczbę poprawnie i błędnie sklasyfikowanych obiektów w klasie U przeliczono proporcjonalnie do liczby obiektów tej kategorii w próbie systematycznej (pobranych z transektów) w stosunku do całkowitej liczby obiektów klasy U w zbiorowości generalnej (użytki zielone obszaru badań w Kotlinie Szczercowskiej).

### Wyniki z analizą krytyczną

Porównanie wyników kontrolnej klasyfikacji wg NDVI (metodą Kosińskiego i Hoffmann-Niedek, 2008) z obserwacjami terenowymi potwierdziło bezbłędną identyfikację klas w próbie testowej i walidacyjnej. Wobec tego klasyfikacja wg NDVI może zastąpić obserwacje terenowe w kontroli błędów klasyfikacji wg cech geometrycznych (ryc. 2).

Najbliższe oczekiwaniom wyniki klasyfikacji wg wielkości i długości obiektów uzyskano dla sieci MLP.

Jednak charakterystyki geometryczne obiektów typu N, Cu i Uc ze zbioru testowego (Kotlina Szczercowska) w większości wypadków odpowiadały obiektom typu U (klasa u) ze zbioru uczącego (Równina Piotrkowska). Żaden z obiektów zbioru testowego nie odpowiadał wzorcowi Cnu (klasa n). Obiekty typu Cnu zbioru testowego były w większości wypadków klasyfikowane jako un (tabela. 2.).

Wszystkie kategorie użytków zielonych, dla których większość obiektów z Kotliny Szczercowskiej sklasyfikowano jako u, są użytkowane lub potencjalnie użytkowane. Pozostałe kategorie, sklasyfikowane jako un, są nieużytkowane z powodu nadmiernego (Cnu) lub niedoborowego (Vgz) uwilgotnienia siedlisk. W związku z powyższym zmieniono definicję klas dla Kotliny Szczercowskiej (tabela 3, ryc. 2). W zakresie kategorii Uc, Cu, N, Vgz i Cnu sprawdzono statystycznie koincydencję wyniku klasyfikacji z siedliskowym uwarunkowaniem użytkowania, uzyskując dla testu V-kwadrat wynik  $p = 0.042$ . Tym samym potwierdzono hipotezę roboczą dla obszaru badań w Kotlinie Szczercowskiej na poziomie ufności 95 %. Łąki kategorii U wyłączono z analizy istotności, ponieważ rozszerzona próba objęła wszystkie (w zbiorowości generalnej) obiekty tego typu.

Wobec reinterpretacji wyników klasyfikacji możnaby postawić zarzut niedozwolonej manipulacji kryteriami

Tabela 2. Wyniki klasyfikacji kompleksów krajobrazowo-roślinnych użytków zielonych Kotliny Szczercowskiej na podstawie wielkości i kształtu obiektów.

Table 2. The results of the classification of grassland landscape-vegetation complexes of Szczercowska Basin based on the size and shape of objects.

Użytkowanie i uwilgotnienie siedlisk <i>Habitat use and moisture</i>	Kategorie wg Kosińskiego i Hoffmann-Niedek (2008) <i>Categories by Kosiński and Hoffmann-Niedek (2008)</i>	Liczba obiektów sklasyfikowanych jako u <i>Number of objects classified as u</i>	Liczba obiektów sklasyfikowanych jako un <i>Number of objects classified as un</i>
Użytkowane, na siedliskach świeżych <i>In use, fresh habitats</i>	U	11	5
Użytkowane, lecz z udz. siedl. wilgotnych <i>Used, but with wet habitats</i>	Uc	3	1
	Cu	1	0
Nie użytkowane, na siedliskach świeżych <i>Not in use, fresh habitats</i>	N	1	0
Nie użytkowane, suche <i>Not in use, dry</i>	Vgz	0	1
Nie użytkowane, mokre i bagienne <i>Not in use, wet and swamp</i>	Cnu	3	5

Tabela 3. Sposób agregacji jednostek typologicznych kompleksów krajobrazowo-roślinnych użytków zielonych, odmieniny dla dwóch mezoregionów: Równiny Piotrkowskiej (próba ucząca) i Kotliny Szczercowskiej (próba testowa).

Table 3. Method of aggregation of typological units of grassland landscape-vegetation complexes, which is different for the two mezoregions: Piotrkowska Plain (learning sample) and Szczercowska Valley (test sample).

Użytkowanie i uwilgotnienie siedlisk <i>Habitat use and moisture</i>	Kategorie wg Kosińskiego i Hoffmann-Niedek (2008) <i>Categories by Kosiński and Hoffmann-Niedek (2008)</i>	Klasy w próbie uczącej <i>Classes in the learning sample</i>	Klasy w próbie testowej <i>Classes in the test sample</i>
Użytkowane, na siedliskach świeżych <i>In use, fresh habitats</i>	U	u	u
Użytkowane, lecz z udz. siedl. wilgotnych <i>Used, but with wet habitats</i>	Uc	un	u
	Cu	un	u
Nie użytkowane, na siedliskach świeżych <i>Not in use, fresh habitats</i>	N	un	u
Nie użytkowane, suche <i>Not in use, dry</i>	Vgz	un	un
Nie użytkowane, mokre i bagienne <i>Not in use, wet and swamp</i>	Cnu	n	un

klasyfikacji. Zarzut ten należy odrzucić z uwagi na podstawowe — ze względów ekologicznych i gospodarczych — znaczenie przyjętych kategorii siedliskowych u i un (Kozłowska, 2005; Łaska, 2009; Turczyński i in., 2009; Jurczuk, 2009).

Klasyfikację na podstawie charakterystyk spektralnych przyjęto jako metodę dokładniejszą, niż według cech geometrycznych, podczas gdy w wynikach badań z okolic Bełchatowa (Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008, 2006) brak analizy statystycznej błędów. Jednakże w pierwszym przypadku wyróżniono 5 kategorii użytków zielonych (i jedną dodatkową, roboczą), w drugim tylko dwie. W ocenie dokładności klasyfikacji liczbie wyróżnionych jednostek należy dać pierwszeństwo przed liczbą błędów.

Próba zbudowania wykresu wzorcowego do klasyfikacji obiektowej łąkowych kompleksów krajobrazowo-

-roślinnych Równiny Piotrkowskiej na podstawie obwo-  
du, pola powierzchni i długości obiektów wskazuje na model „skupieniowy” (ryc. 1 – wykres a) jako bardziej odpowiedni, niż model „płaszczyznowy” (ryc. 1 – wykres b). Próba klasyfikacji użytków zielonych Kotliny Szczercowskiej za pomocą sieci neuronowych uczonych na danych z Równiny Piotrkowskiej dała pozytywny wynik dla modelu „płaszczyznowego”. Model zbudowany przez sieci neuronowe różnił się od wykresu wzorcowego sposobem redukcji danych (zmniejszenie liczby charakterystyk na wejściu zamiast obliczania wskaźników empirycznych) oraz rozszerzeniem zakresu klasy łąk użytkowanych (do granicy siedlisk niekorzystnie uwilgotnionych). Wybór modelu „płaszczyznowego” (tworzonego przez sieci MLP) zamiast „skupieniowego” (sieci RBF) ma przyczynę w odmienności morfometrycznej kompleksów łąkowych dwóch badanych mezoregionów.

Tabela 4. Ogólne wyniki klasyfikacji kompleksów krajobrazowo-roślinnych użytków zielonych Kotliny Szczercowskiej na podstawie wielkości i kształtu obiektów. Do obliczenia błędu klasyfikacji wzięto wyniki klasyfikacji obiektów typu U (liczby obiektów) zmniejszoną proporcjonalnie do ich udziału w próbie systematycznej.

Table 4. The overall results of the classification of grassland landscape-vegetation complexes of Szczercowska Basin based on the size and shape of objects. To calculate the classification error has been taken the results of the classification of objects of U-type (the numbers of objects) reduced in proportion to their participation in the systematic sample.

Siedliskowe warunki użytkowania <i>Habitat conditions of use</i>	Kategorie wg Kosińskiego i Hoffmann-Niedek (2008) <i>Categories by Kosiński and Hoffmann-Niedek (2008)</i>	Liczba obiektów sklasyfikowanych jako u <i>Number of objects classified as u</i>	Liczba obiektów sklasyfikowanych jako un <i>Number of objects classified as un</i>	Błąd klasyfikacji [%] <i>Classification error [%]</i>
Użytkowane i potencjalnie użytkowane <i>Used and potentially used</i>	U, Uc, Cu, N	16	6	25
Nie użytkowane z powodu nadmiernego lub niedoborowego uwilgotnienia siedlisk <i>Not used due to excessive or insufficient habitat moisture</i>	Vgz, Cnu	3	6	30

Jeśli dane walidacyjne (z Kotliny Szczercowskiej) są oddalone od danych uczących (z Wysoczyzny Piotrkowskiej), wynik zastosowania sieci RBF jest negatywny: sieci radialne nie mają skłonności do ekstrapolacji modelowanych zależności poza obszarem wyznaczonym danymi (Stateczny, Praczyk, 2002). Na poziomie ponadmezoregionalnym bardziej odpowiedni wydaje się model „płaszczyznowy”.

## Wnioski

Kompleksy krajobrazowo-roślinne łąk użytkowanych i potencjalnie użytkowanych Kotliny Szczercowskiej różnią się pod względem pola powierzchni i długości obiektów od kompleksów nieużytkowanych z powodu niekorzystnego uwilgotnienia siedlisk.

Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych pozwala zrezygnować z wyznaczania empirycznych wskaźników wielkości i kształtu kompleksów na rzecz prostych wskaźników, takich jak pole powierzchni i długość obiektu.

W Kotlinie Szczercowskiej kombinacja charakterystyk (pola powierzchni i długości) dla kompleksów niekorzystnie uwilgotnionych jest zbliżona do ekstrapolowanych z Równiny Piotrkowskiej charakterystyk łąk użytkowanych z udziałem siedlisk wilgotnych.

Na poziomie ponadmezoregionalnym model „płaszczyznowy” okazał się odpowiedniejszy niż model „skupieniowy”.

## Literatura

- Jurczuk S., 2009, Możliwości rolniczego gospodarowania na użytkach zielonych w warunkach ograniczania degradacji gleb torfowo-murszowych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*: t. 9 z. 3 (27), s. 57-75.
- Koprowski R., Wróbel Z., 2006, Własności wybranych typów sieci neuronowych wykorzystywanych do detekcji położenia

oczu pacjenta. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 16, 2006. [http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/jablonki/jablonki2006/Koprowski\\_Wrobel\\_Wlasnosci.pdf](http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/jablonki/jablonki2006/Koprowski_Wrobel_Wlasnosci.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. URL: <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., 2007, Zastosowanie cech strukturalnych obrazu Landsat ETM+ w klasyfikacji obiektowej kompleksów krajobrazowo-roślinnych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 17a. P. 385-394. <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/dobczyce/vol17a/39.pdf>
- Kosiński K., 2008, Teledetekcja użytków zielonych z zastosowaniem komercyjnego oprogramowania ERDAS i wolnego ILWIS. *Teledetekcja Środowiska*. Vol. 39, s. 120-123. [http://www.telegeo.wgsw.edu.pl/Teledetekcja\\_Srodowiska/tom\\_39/Kosinski.pdf](http://www.telegeo.wgsw.edu.pl/Teledetekcja_Srodowiska/tom_39/Kosinski.pdf).
- 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. [http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/jablonki/jablonki2006/Kosi%F1ski\\_Hoffman\\_Zastosowanie.pdf](http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/jablonki/jablonki2006/Kosi%F1ski_Hoffman_Zastosowanie.pdf).
- Kosiński K., Hoffmann-Niedek A., 2008, Klasyfikacja obiektowa użytków zielonych z wykorzystaniem wieloletnich zmian NDVI i filtracji kierunkowych obrazu satelitarne. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* Vol. 18a. P. 273-282.
- 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. P. 341-350. [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 R. A., 2007, sztuczne sieci neuronowe. dynamika nieliniowa i chaos. Wydanie trzecie uaktualnione. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.

- 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., Rogowski W., 1991, Możliwości zastosowania teledetekcji do inwentaryzacji użytków zielonych. Centralny Program Badawczo Rozwojowy 10.2.3, ss. 25-35.
- Łaska G., 2009, Zbiorowiska roślinne siedlisk mokradłowych w Dolinie Płoski – ocena aktualnego stanu w zależności od różnych form użytkowania. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*: t. 9 z. 4 (28), s. 141-162
- 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.
- Richling A., Solon J., 2002, Ekologia krajobrazu. Wydanie czwarte. PWN, Warszawa.
- Solon J., 1988, Local complexes of phytocoenoses in vegetation landscape in the vicinity of the Wigry Lake (NE Poland), *Dokuments phytosociologiques* N.S. vol. XI, Camerino.
- Solon J., (mscr), Struktura przestrzenna roślinności w otoczeniu jezior wigierskich. IGiPZ PAN.
- Stateczny A., Praczyk T., 2002, Sztuczne sieci neuronowe w rozpoznawaniu obiektów morskich. Gdańskie Towarzystwo naukowe. Gdynia
- StatSoft, Inc. (2008), STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. <http://www.statsoft.com/products/statistica-Automated-Neural-Networks/>.
- Turczyński M. i in., 2009, Evaluation of the hydrological role of wetlands in the Włodawka River catchment (Polesie Lubelskie). *J. Water Land Dev.* No 13b, 109-123.
- Yu Q. *et al.*, 2006, Object-based Detailed Vegetation Classification with Airborne High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 72, No. 7, s. 799–811.



Dr Krzysztof Kosiński uzyskał w 1980 roku tytuł magistra biologii ze specjalnością: biologia środowiskowa na Wydziale Biologii Uniwersytetu Warszawskiego. W 2000 roku obronił na Wydziale Leśnym SGGW pracę doktorską wykonaną pod kierunkiem Prof. J. Mozgawy. Po ukończeniu studiów magisterskich pracował w Instytucie Badawczym Leśnictwa, Instytucie Kształtowania Środowiska i w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych, obecnie w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym oraz w Wyższej Szkole Przedsiębiorczości i Rozwoju Regionalnego. Zajmuje się teledetekcją szaty roślinnej.

Adres: 05-090 Raszyn, Falenty, Al. Hrabstwa 3; tel. +48 22 7200531 w. 205; e-mail: k.kosinski@imuz.edu.pl