

Ryc 1. Półautomatyczne (*Region growing*) wydzielenie segmentów obrazu satelitarne (z lewej) jako reprezentacji kompleksów krajobrazowo-roślinnych (ortofoto z prawej).

Fig. 1. *Semiautomated (Region growing) distinguishing image segments (on the left) as landscape vegetation complexes (see orthophoto on the right).*

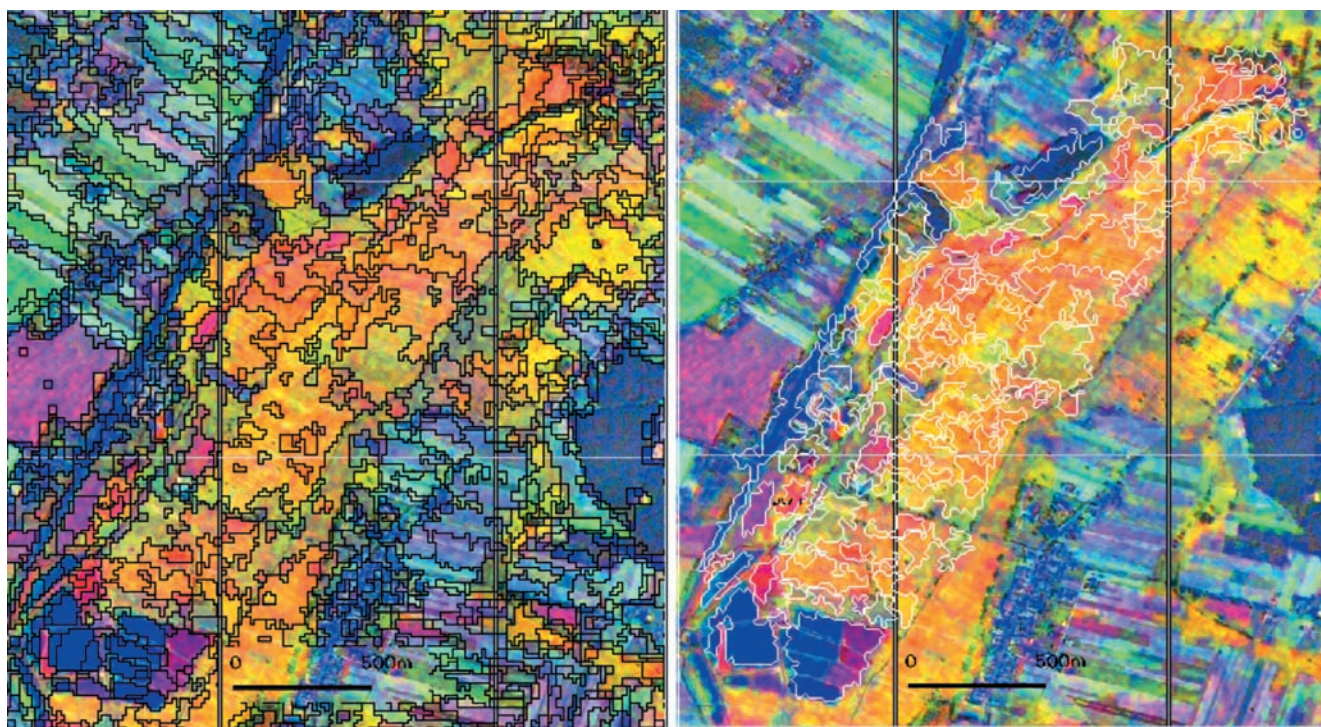
poziomy integracji przestrzennej mozaiki krajobrazowej: 15 jednostek przy wymiarze liniowym 1500 m i 23 jednostki (liczba maksymalna) przy polu podstawowym 500 m.

Na użytkach zielonych Równiny Piotrkowskiej podjęto próbę analizy kompleksów przestrzennych o rozciągłości rzędu kilkuset metrów, wydzielanych jako kombinacja komponentów naturalnych i półnaturalnych (szata roślinna jako mozaika fitocenoz oraz zadrzewień i zakrzewień, morfologia terenu, wody powierzchniowe, w tym zbiorniki astatyczne) oraz sztucznych (szczegółowe urządzenia melioracyjne z uwzględnieniem ich stanu technicznego). Jednostki takie, określane jako kompleksy krajobrazowo-roślinne, można wydzielać na dwuczłonowych obrazach satelitarnych z wykorzystaniem materiałów pomocniczych, jak zdjęcia lotnicze, mapy topograficzne (Ryc. 1). Kompleksy krajobrazowo-roślinne mogą być interpretowane i wydzielane manualnie, bądź z zastosowaniem półautomatycznej segmentacji obrazu metodą *Region growing* pod kontrolą wizualną (Kosiński, Hoffmann-Niedek, Zawila, 2006). Piksel startowy, od którego zaczyna się *Region growing*, może być wybierany w lokalnym ekstremum wartości składowych barwnych obrazu lub w minimum ich gradientu (Schneider, Steinwendner, 1999, Kosiński, 2007).

Zazwyczaj segmentację obrazów satelitarnych dla potrzeb klasyfikacji użytków zielonych prowadzi się z podziałem zupełnym obrazu (Yu, 2006). Taki sposób segmentacji dostępny jest w pakiecie ERDAS Imagine 9.2. W takim przypadku, jeśli granice krajobrazowe są nieostre, charakterystyki spektralne obiektów są skazane wartościami pikseli zlokalizowanych w strefach przejścia między obiektami. Wg D. E. Jelinskiego i J. Wu (1996) zwiększenie długości powierzchni próbnej (przy niezmiennym polu powierzchni) powyżej 500–1 700 m (zależnie od przestrzennej orientacji), powoduje spadek autokorelacji przestrzennej dla użytków zielonych. Spadek autokorelacji przestrzennej w świetle widocznych w materiale J. Wu et al. (2002) wartości progowych wydaje się mieć źródło we wkraczaniu powierzchni próbnych w strefy przejścia między kompleksami.

Materiał i metoda

Dla potrzeb teledetekcji użytków zielonych kompleksy krajobrazowo-roślinne wydzielano z niezupełnym podziałem obrazu, pozostawiając strefy przejścia między obiektami jako tło. Kompleksy wydzielano na kompo-



Ryc. 2. Segmentacja automatyczna (z lewej) i segmentacja półautomatyczna metodą *Region growing* (z prawej) obrazu satelitarnego: Red: ETM8, 1999-09-10; Green: ETM8; 2001-05-01; Blue: (ETM1 + ETM2 + ETM3) / ETM8, 1999-09-10, w podkładzie obraz po *Resolution merge* z ortofotomapą lotniczą.

Fig. 2. Satellite image (Red: ETM8, 1999-09-10; Green: ETM8; 2001-05-01; Blue: (ETM1 + ETM2 + ETM3) / ETM8, 1999-09-10) automated segmentation (left) and semiautomated *Region growing* (right). Satellite image and orthophoto *Resolution merge* in the background.

zycji danych panchromatycznych pozyskanych z dwóch zdjęć Landsat ETM+ wykonanych w różnych okresach wegetacyjnych (1999-09-10, 2001-05-01), o rozdzielczości określonej wymiarem terenowym piksela 15 m (Ryc. 2). W metodzie półautomatycznego wydzielenia kompleksów krajobrazowo-roślinnych wykorzystano dostępną w ERDAS Imagine procedurę *Region growing* z opcją *Update Region Mean* (Kosiński, 2005). *Region growing* iteracyjnie grupuje piksele wg kryterium granicznej odległości euklidesowej w przestrzeni wartości kanałów. Obliczana jest odległość piksela kandydującego od piksela startowego (w pierwszej iteracji) lub (w następnych iteracjach) piksela kandydującego od uśrednionej charakterystyki pikseli zgrupowanych w poprzedniej iteracji. Odległość euklidesową oblicza się jako średnią kwadratową różnic w trzech kanałach zobrazowania satelitarnego.

Poszukiwano podobnie działających procedur, dostępnych w pakiecie ILWIS. W tym celu wykonano analizę trendu dla każdego z trzech kanałów kompozycji danych panchromatycznych. Wykorzystano zespół dwunastu filtrów kierunkowych o matrycy 7×7 pikseli. Wartość trendu przyjmowano jako maksimum z dwunastu kierunków. Ogólny trend obliczono jako sumę kwadratów wartości trendu w poszczególnych kanałach.

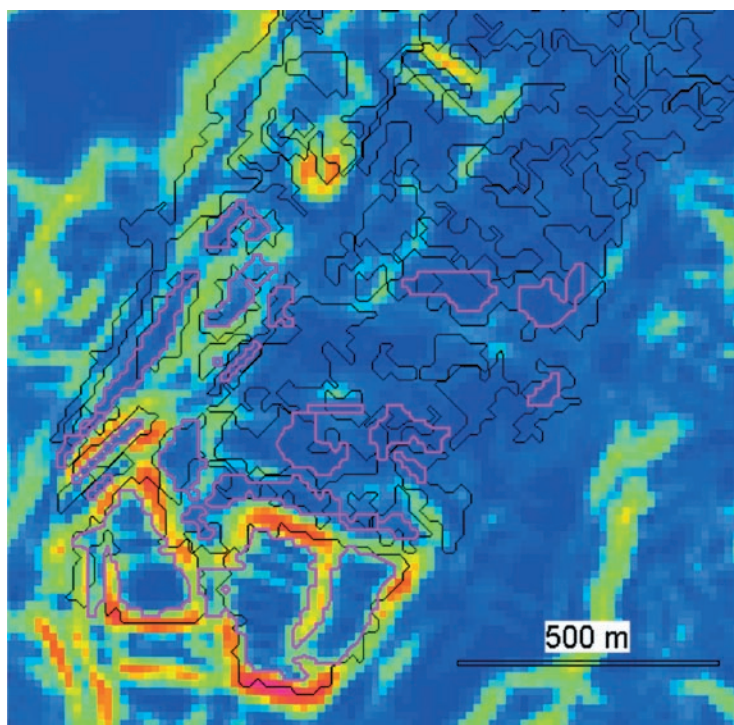
Ponieważ zarówno odległość euklidesowa (w przestrzeni wartości kanałów), jak i obliczony w powyższy sposób trend, odwołują się do sumy kwadratów zmiany

(w przestrzeni fizycznej) wartości w poszczególnych kanałach, podjęto próbę zastąpienia procedury *Region growing* analizą trendu. Zmierzano do wydzielenia obszarów względnie jednorodnych (niska wartość trendu) odgraniczonych od obiektów sąsiednich strefą przejścia, w której wartości trendu są wyższe. Podjęto próbę wykorzystania procedury *Fill Sinks* pakietu ILWIS. Postawiono hipotezę o zgodności przestrzennej segmentów wydzielanych procedurą *Region growing* i *Fill Sinks*.

Wyniki z analizą krytyczną

Wyniki prób wykorzystania analizy trendu i procedury *Fill Sinks* do wydzielenia kompleksów krajobrazowo-roślinnych na użytkach zielonych porównano z wynikami segmentacji metodą *Region growing* (Ryc. 3). Stwierdzono kilka przypadków:

- 1) segmenty z *Fill Sinks* są zbliżone przestrzennie do segmentów z *Region growing*,
- 2) segmentowi z *Region growing* odpowiada więcej niż jeden segment z *Fill Sinks*,
- 3) segment z *Fill Sinks* jest podobnej wielkości, lecz zajmuje inne położenie, niż segment z *Region growing*,
- 4) segment z *Fill Sinks* jest mniejszy, niż segment z *Region growing* (w przypadku granicznym segment z *Fill Sinks* zawiera dokładnie jeden piksel),



Ryc. 3. Segmentacja obrazu satelitarnego (ETM8, 1999-09-10; ETM8, 2001-05-01; (ETM1 + ETM2 + ETM3) / ETM8, 1999-09-10) z zastosowaniem ERDAS (*Region growing*: czarne linie) i ILWIS (analiza trendu, *Fill Sinks*: purpurowe linie) na podkładzie rastra trendu (kolor niebieski – wartości najwyższe, czerwony – najniższe).

Fig. 3. Satellite image (ETM8, 1999-09-10; ETM8, 2001-05-01; (ETM1 + ETM2 + ETM3) / ETM8, 1999-09-10) segmentation using ERDAS (*Region growing*: black lines) and ILWIS (trend analysis, *Fill Sinks*: magenta lines) on the background of trend raster (blue – the higher values, red – the lower).

5) segment z *Fill Sinks* odpowiadający segmentowi z *Region growing* nie daje się wygenerować.

Wprawdzie *Region growing* operuje średnią kwadratową, a do analizy trendu wzięto sumę kwadratów, lecz ta odmienność wpływa tylko na sposób rozciągnięcia wartości wynikowych. Przyczyny niezgodności wyników segmentacji można szukać w odmienności matrycy filtrów kierunkowych (7×7 pikseli) od analizy dwóch pikseli sąsiadujących w pierwszej iteracji procedury *Region growing*. Jednak w następnych iteracjach piksel kandydujący jest porównywany z uśrednioną charakterystyką segmentu, którego wielkość w końcowych iteracjach znacznie przekracza podwojoną wielkość piksela (2×15 m).

Podsumowanie i wnioski

Porównanie możliwości zastosowania pakietów ERDAS Imagine i ILWIS w teledetekcji użytków zielonych przedstawiono w tabeli 1. ILWIS udostępnia narzędzia do półautomatycznej klasyfikacji obiektowej jedynie na podstawie cech morfometrycznych. Stąd należy odrzucić hipotezę o kompatybilności segmentacji metodą *Region growing* pakietu ERDAS Imagine i procedurą *Fill Sinks* pakietu ILWIS, ze względu na możliwości późniejszej klasyfikacji. Do klasyfikacji segmentów utworzonych pod kontrolą systemu ILWIS nie można wprost wykorzystać

Tabela 1. Teledetekcja użytków zielonych z zastosowaniem komercyjnego pakietu ERDAS i wolnego ILWIS

Table 1. Grasslands remote sensing using proprietary ERDAS or free ILWIS

	ERDAS	ILWIS
KLASYFIKACJA PIKSELOWA <i>PIXEL CLASSIFICATION</i>	Dostępna <i>Accessible</i>	Dostępna <i>Accessible</i>
PÓŁAUTOMATYCZNA KLASYFIKACJA OBIEKTOWA <i>SEMIAUTOMATED OBJECT CLASSIFICATION</i>		
Segmentacja obrazu <i>Image segmentation</i>	ERDAS Imagine v. 8.2 – półautomatyczna (<i>Region growing</i>), v. 9.2 – automatyczna ERDAS Imagine v. 8.2 – <i>semiautomated (Region growing)</i> , v. 9.2 – <i>automated</i>	Półautomatyczna (analiza trendu z zastosowaniem edytowalnych filtrów kierunkowych i skryptów; <i>Fill Sinks</i>) <i>Semiautomated (trend analysis using editable linear filters & scripts; Fill Sinks)</i>
Wybór piksela startowego <i>Start pixel preselection</i>	Filtr odchylenia standardowego, edytowalne filtry liniowe, skrypty <i>Standard Dev. filters & editable linear filters & scripts</i>	System nie żąda wskazania piksela startowego. <i>Start pixel selection not required</i>
Analiza klastrów <i>Cluster analysis</i>	Dostępna <i>Accessible</i>	Analiza rozkładu pojedynczych pikseli: niezadowolająca <i>Pixel based analysis: unsatisfactory</i>
Analiza wielkości i kształtu <i>Size & shape analysis</i>	Pomiar długości, pola powierzchni i obwodu obiektów <i>Segment length, area, perimeter measurement</i>	Pomiar długości, pola powierzchni i obwodu obiektów <i>Segment length, area, perimeter measurement</i>

algorytmów opracowanych dla segmentów wydzielonych za pomocą systemu ERDAS Imagine.

Literatura

- DEFINIENS. Understanding Images, 2008, <http://www.definiens.com>
- Wu et al., 2002, Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. *Landscape Ecology* 17: 761–782, 2002. 761. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. http://leml.asu.edu/jingle/Web_Pages/Wu_Pubs/PDF_Files/Wu_scalograms1_2002.pdf.
- Dennis E. Jelinski and Jianguo Wu, 1996, The modifiable areal unit problem and implications for landscape ecology. *Landscape Ecology*, vol. 11 no. 3 pp 129–140. <http://landscape.forest.wisc.edu/landscapeecology/articles/v11i02p129.pdf>.
- IMAGINE Objective, 2008, <http://gi.leica-geosystems.com/LGI-Sub1x539x0.aspx>. W: Leica Geosystems. http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/lgs_405.htm
- 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
- 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/Kosi%F1ski_Hoffman_Zastosowanie.pdf
- Kosiński K., Hoffmann-Niedek A., Zawila A., 2006, Wydzielenie kompleksów krajobrazowo-roślinnych na zdjęciach Landsat ETM+ z zastosowaniem procedury Region Growing. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 16. URL: http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/jablonki/jablonki2006/Kosi%F1ski_%20et_al_Wydzialanie.pdf.
- Schneider W., Steinwendner J., 1999, Land cover mapping by interrelated segmentation and classification of satellite images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 7-4-3 W6, Valladolid, Spain, 3–4 June, 1999. URL: http://www.data-fusion.org/ps/sig/meeting/Spain99ps/schneider_werner.pdf
- Yu Qian et al., 2006, Object-based Detailed Vegetation Classification with Airborne High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 72, No. 7, July 2006, pp. 799–811. <http://www.geo.umass.edu/faculty/yyu/YuPERS2006.pdf>



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 J. Mozgawy. Po ukończeniu studiów magisterskich pracował w Instytucie Badawczym Leśnictwa i w Instytucie Kształtowania Środowiska, obecnie w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych oraz w Wyższej Szkole Przedsiębiorczości i Rozwoju Regionalnego. Zajmuje się teledetekcją szaty roślinnej. Adres: 05-090 Raszyn, Falenty, Al. Hrabaska 3; tel. +48 22 7200531 w. 205; e-mail: k.kosinski@imuz.edu.pl