

**MAPA ZMIAN POKRYCIA TERENU MAŁOPOLSKI 1986-2011  
WYKONANA W OPARCIU O KLASYFIKACJĘ OBIEKTOWĄ  
OBRAZÓW SATELITARNYCH LANDSAT ORAZ RAPIDEYE**

**MAP OF LAND USE / LAND COVER CHANGES IN MAŁOPOLSKA  
VOIVODESHIP IN 1986-2010 CREATED BY OBJECT BASED IMAGE  
ANALYSIS OF LANDSAT AND RAPIDEYE SATELLITE IMAGES**

**Piotr Wężyk<sup>1</sup>, Anna Wójtowicz-Nowakowska<sup>2</sup>, Marcin Pierzchalski<sup>2</sup>, Jakub Mlost<sup>2</sup>,  
Beata Szafrńska<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorium Geomatyki, KEkL, Wydział Leśny, UR w Krakowie

<sup>2</sup>ProGea Consulting, ul. Pachońskiego 9, 31-223 Kraków

<sup>3</sup>Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

<sup>4</sup>Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego

**SŁOWA KLUCZOWE:** klasyfikacja obiektowa (OBIA), LANDSAT TM, RapidEye, użytkowanie i pokrycie terenu, analizy przestrzenno-czasowe GIS

**STRESZCZENIE:** Zmiany pokrycia terenu i użytkowania ziemi są rezultatem wzajemnego oddziaływania na siebie złożonych procesów przyrodniczych oraz społeczno-ekonomicznych. Analizy przestrzenne GIS dynamiki tych zmian umożliwiają wykrycie występujących w przeszłości trendów i procesów oraz ich symulację dla nadchodzącego okresu. Zdiagnozowane kierunki przemian krajobrazu mogą zostać wykorzystane m.in. przy tworzeniu lokalnych planów zagospodarowania przestrzennego, czy generalnie kreowaniu polityki rozwoju regionów.

Celem prezentowanego opracowania było zdiagnozowanie głównych trendów przemian pokrycia terenu województwa małopolskiego na przestrzeni ostatnich dwudziestu pięciu lat (1986-2011) oraz ich statystyczne i graficzne zaprezentowanie w postaci kompilacji map numerycznych. Projekt wykonano w oparciu o dane teledetekcyjne: zobrazowania satelitarne RapidEye i LANDSAT TM oraz lotnicze ortofotomapy (PZGiK) z lat 2009 - 2010. Duża ilość i różnorodność danych wymusiła zastosowanie obiektowego przetwarzania danych teledetekcyjnych, tj. klasyfikacji OBIA (ang. *Object Based Image Analysis*).

W wyniku przeprowadzanej klasyfikacji otrzymano 10 klas pokrycia i użytkowania terenu dla dwóch terminów badawczych (1986-87 oraz 2010-11), tj.: grunty orne, użytki zielone, tereny zurbanizowane, rzeki i ciek, zbiorniki wodne, lasy iglaste, lasy liściaste, zadrzewienia i zakrzewienia, tereny różne oraz torfowiska. Wykazano, iż na obszarze Małopolski wystąpiło znaczne zwiększenie powierzchni lasów (wzrost o 4.4%) oraz terenów zurbanizowanych (wzrost o 2.4%), głównie kosztem powierzchni gruntów rolnych (ubytek o 3.6%) oraz trwałych użytków zielonych (ubytek o 1.2%). Otrzymane wyniki pozwoliły wysunąć wnioski, iż zmiany jakie zachodziły w przeciągu 25 lat oraz te, z którymi wciąż mamy do czynienia w województwie małopolskim, pokrywają się z ogólnymi kierunkami i trendami przemian krajobrazu obserwowanymi w Polsce w ostatnich trzech dekadach, tj. procesami sukcesji wtórnej zbiorowisk leśnych na gruntach, na których zaprzestano produkcji rolnej oraz związanych z inwestycjami infrastruktury drogowej i kolejowej. Zastosowanie automatycznej

klasyfikacji obiektowej oraz analiz przestrzennych GIS pozwoliło na realizację opracowania dla obszaru ponad 15.000 km<sup>2</sup> w ciągu zaledwie kilku tygodni.

## 1. WPROWADZENIE

Zmiany typów użytkowania i klas pokrycia terenu są bardzo ważnym czynnikiem kształtującym środowisko przyrodnicze a tym samym otaczający nas krajobraz, w którym funkcjonujemy. Zmiany najczęściej wywoływane przez człowieka mogą oddziaływać na całe ekosystemy, w tym na obieg węgla czy wody, wywołując często zmiany lokalne jak zagrożenie erozją (Drzewiecki i in. 2013) czy nawet klimatu. Monitorowanie tych zmian stało się możliwe wraz z rozwojem fotogrametrii i teledetekcji satelitarnej. Rozwój technik teledetekcyjnych, w szczególności wzrost rozdzielczości czasowej i przestrzennej zobrazowań teledetekcyjnych, umożliwił prowadzenie zarówno szczegółowych badań, dotyczących niewielkich obszarów, jak i tworzenie globalnych opracowań zmian pokrycia i użytkowania terenu. W miejscach, w których zmiany te zachodzą bardzo szybko, mogą one być obserwowane w czasie rzeczywistym (Verburg *et al.* 2009).

Celem prezentowanego opracowania było zdiagnozowanie głównych trendów przemian jakie dokonały się w strukturze klas pokrycia i użytkowania terenu województwa małopolskiego na przestrzeni dwudziestu pięciu lat (okres 1986÷2011) przy wykorzystaniu technologii teledetekcyjnych i klasyfikacji obiektowej. Hipoteza badawcza zakładała, iż zmiany jakie zaszły na poziomie krajobrazu Małopolski w latach 1986÷2011 są możliwe do skwantyfikowania w oparciu o analizę obiektową archiwalnych (sceny satelitarne LANDSAT 5 TM) oraz współcześnie pozyskiwanych (RapidEye) scen teledetekcyjnych wspartych innymi informacjami obrazowymi (ortofotomapy lotnicze) i opisowymi (dane GIS, spisy rolne).

## 2. OBSZAR BADAŃ

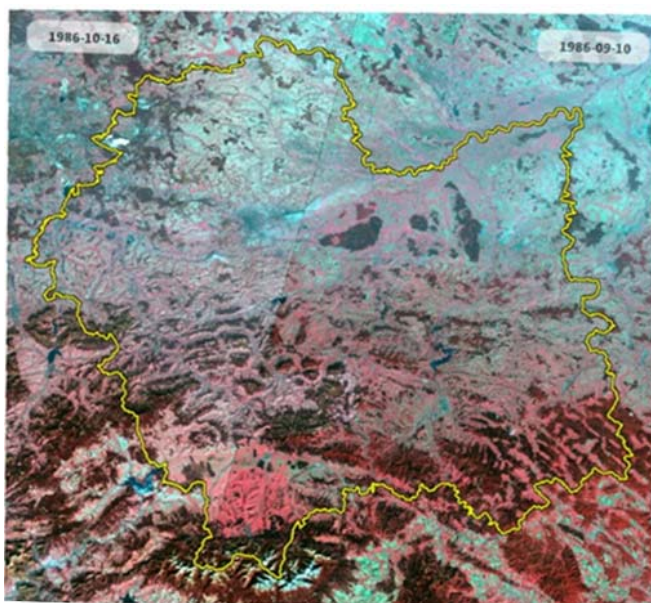
Województwo małopolskie charakteryzuje się dużą różnorodnością budowy geologicznej, rzeźby terenu (największe zróżnicowanie w Polsce), warunków klimatycznych, hydrologicznych i glebowych. Obszar Małopolski zamieszkuje ok. 8.5 mln osób a zagęszczenie ludności wynosi średnio ok. 140 osób na 1 km<sup>2</sup>. Użytki rolne są główną formą wykorzystania ziemi w województwie małopolskim. W roku 2003 zajmowały one łącznie 749.0 tys. ha, co stanowiło 49.3% jego powierzchni ogólnej (4.6% powierzchni użytków rolnych kraju). W ogólnej powierzchni samych użytków rolnych grunty orne stanowią 65.0%, a dodatkowo: sady 1.8% oraz łąki i pastwiska pozostałe 33.2%.

## 3. METODYKA

### 3.1. Dane źródłowe i warstwy pochodne

W pracach wykorzystano materiały źródłowe podzielone na dwa okresy, tj. zestaw A: obejmujący sceny satelitarne LANDSAT 5 TM (*Thematic Mapper; NASA*) z lat 1986÷1987 oraz zestaw B: poza wymienionym sensorem dodatkowo uzupełniony o obrazy RapidEye

lat 2010÷2011. Zdecydowano się na dane LANDSAT TM ze względu na ich 40-letni nieprzerwany ciąg obserwacji oraz ogólnodostępność (Loveland, Dwyer 2012, Markham, Helder 2012, Wylder *et al.* 2012). Przy wyborze zobrazowań przyjęto 5 podstawowych kryteriów, tzn.: okres rejestracji w miesiącach kwiecień – listopad (zestawy A i B); zachmurzenie pojedynczej sceny nie więcej niż 20%; rozdzielczość terenowa < 30.0 m; rozdzielczość radiometryczna: 8 bit; rozdzielczość spektralna: minimum 4 kanały. Wybrano 4 sceny LANDSAT 5 TM (rys. 1) jako dane tzw. „podstawowe” oraz 28 scen z 15 innych terminów jako tzw. „dane pomocnicze” (weryfikujące) w klasyfikacji OBIA, m.in. w celu prawidłowego wydzielenia klasy trwałych użytków zielonych.



Rys. 1. Podstawowe zobrazowania satelitarne LANDSAT 5 TM z lat 1986-1987 (kompozycja CIR, kanały: 432)

W skład zestawu B (2011÷2012) wchodziły wielospektralne zobrazowania satelitarne systemu RapidEye, który charakteryzuje się konstelacją pięciu satelitów, umieszczonych na orbicie heliosynchronicznej poruszających się w 19 minutowych odstępach, obrazujących w 5 kanałach spektralnych (RGB + 2xNIR) z rozdzielczością przestrzenną równą 5.0 m (Krischke *et al.* 2000; Sandau *et al.* 2010). Zobrazowania te pozyskano na cele projektu "Opracowanie ilościowej i jakościowej oceny nasilenia erozyjnej degradacji gleb oraz aktualizacja mapy glebowo-rolniczej w skali 1:5 000 dla obszaru województwa małopolskiego" (Wężyk *et al.* 2012). Posłużyły one do klasyfikacji pokrycia i użytkowania terenu (LULC, ang. *Land Use / Land Cover*) Małopolski z aktualnością na rok 2010-2011. Fakt posiadania opracowanych już wyników klasyfikacji scen RapidEye skutkowało przepróbkowaniem pozostałych danych źródłowych do rozdzielczości 5.0 m, w celu ich wzajemnego porównania w dalszych etapach prac. Dla zestawu z lat 2010÷2011 pozyskano dodatkowo 29 scen z misji LANDSAT 5 TM, które posłużyły jako dane pomocnicze. Wykorzystanie dużej ilości zobrazowań satelitarnych LANDSAT TM wynikało z faktu

częstego zachmurzenia oraz z potrzeby wzmocnienia informacji danymi z różnych okresów czasu (szczególnie przydatne w mapowaniu klasy: trwałe użytki zielone).

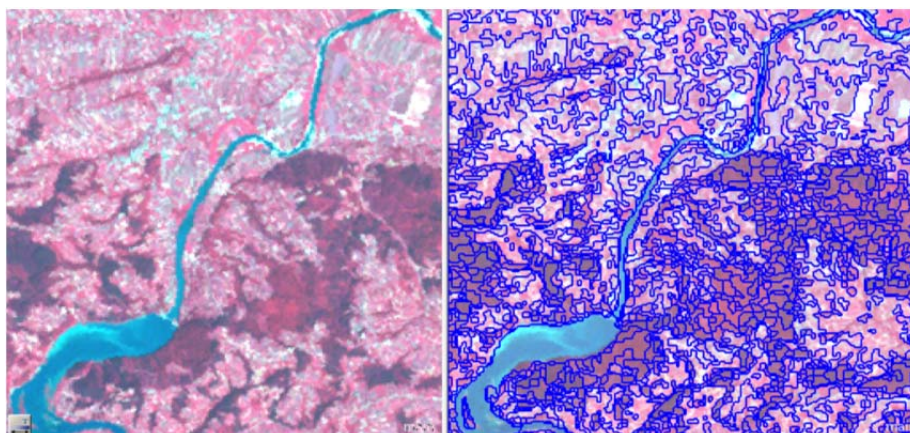
Dla obszaru całego województwa małopolskiego z WZGiK pozyskano również 3 kanałowe (RGB) cyfrowe lotnicze ortofotomapy o rozdzielczości przestrzennej 0.25m i aktualności 2009÷2010. Ortofotomapy wykorzystano do poprawy jakości klasyfikacji OBIA obrazów satelitarnych RapidEye (lata: 2010÷2011) dokonując ich przepróbowania (GSD 2.5 m). Ortofotomapy lotnicze posłużyły także do oceny jakości wyników klasyfikacji OBIA.

### 3.2. Proces przetwarzania obrazu

Praca na wielo-skalowych, wielo-spektralnych i wielo-czasowych danych teledetekcyjnych wymagała ich odpowiedniego dostosowania pod względem rozdzielczości i geometrii. Przed przystąpieniem do klasyfikacji zobrazowania satelitarne LANDSAT 5 TM zostały poddane przetwarzaniu (ERDAS 2010) w celu wygenerowania warstw pochodnych, takich jak: Główne Składowe - PCA (ang. *Principal Component Analysis*), operacji na filtrach krawędziowych (np. filtr Laplace), wskaźników (np. znormalizowany wskaźnik roślinności – NDVI (ang. *Normalized Difference Vegetation Index*), ilorazów kanałów (ang. *ratio*) – SR (ang. *Simple Ratio*), EVI (ang. *Enhanced Vegetation Index*), niezbędnych do zwiększenia dokładności klasyfikacji.

Po przygotowaniu warstw rastrowych podstawowych i ich pochodnych, przystąpiono do właściwego procesu klasyfikacji obiektowej (ang. *Object Based Image Analysis*, OBIA; Blaschke 2010, Vieira *et al.* 2012). Jej podstawą jest praca na spójnych, homogenicznych obiektach, zamiast na pojedynczych pikselach obrazu (Aldred, Wang, 2007). Podejście obiektowe umożliwia wykorzystanie dodatkowych cech, takich jak: powierzchnia, kształt, relacje z sąsiedztwem i.in. (Blaschke, Strobl 2001, de Kok *et al.* 2005). Możliwość integracji cech spektralnych, przestrzennych czy danych kontekstowych pozwala w pełni wykorzystać zobrazowania satelitarne (Jiang *et al.*, 2008).

Zakres prac podzielono na dwa główne projekty: klasyfikację danych z lat 1986÷1987 +/- 1 rok (Projekt A, na podstawie zobrazowań LANDSAT 5 TM) i klasyfikację danych z lat 2010-2011 +/- 1 rok (Projekt B, na podstawie zobrazowań RapidEye oraz LANDSAT 5 TM). Pierwszym etapem OBIA była segmentacja zobrazowań na homogeniczne, niesklasyfikowane obiekty (segmenty). Poprawne dobranie parametrów procesu segmentacji jest podstawą poprawności wynikowej klasyfikacji (Baatz, Schape, 2000). W obydwu projektach zdecydowano się na segmentację typu *multiresolution*, ze względu na możliwość doboru parametrów, generowania poszczególnych poziomów segmentacji i implementacji różnych danych (eCognition 2011). Wybór poszczególnych parametrów segmentacji, tj.: skali (ang. *scale parameter*), kształtu (ang. *shape*) oraz zwartości (ang. *compactness*) został określony na podstawie przeprowadzonych prób i wizualnej oceny ich poprawności (rys. 2).



Rys. 2. Wynik segmentacji zobrazowania LANDSAT TM 5 (kompozycja 432)

W następnym kroku analizy OBIA zaprojektowano hierarchię klas, opisującą ich liczbę, nazewnictwo oraz ich wzajemne relacje. Wyróżniono dziesięć klas pokrycia i użytkowania terenu w Małopolsce, tj.: tereny zurbanizowane, grunty orne, użytki zielone, torfowiska, lasy liściaste, lasy iglaste, zadrzewienia, rzeki i ciek, zbiorniki wodne i tereny różne (infrastruktura drogowa i kolejowa, obszary piaszczyste oraz skały).

Utworzoną hierarchię klas poddano procesowi definiowania reguł opisujących przynależność segmentu do danej klasy przez zdefiniowanie odpowiednich klasyfikatorów (rys. 3). Grunty orne pokryte przejściowo wegetacją oraz trwałe użytki zielone charakteryzujące się bardzo zbliżoną do siebie charakterystyką spektralną zostały jednoznacznie rozróżnione na podstawie wyników OBIA dla serii wieloczasowych (ang. *multitemporal*) i analiz przestrzennych GIS. Do użytków zielonych zaklasyfikowano obszary pokryte roślinnością, które w żadnym z analizowanych okresów czasowych nie podlegały orce oraz płodozmianowi, wykazując wysokie wartości NDVI.

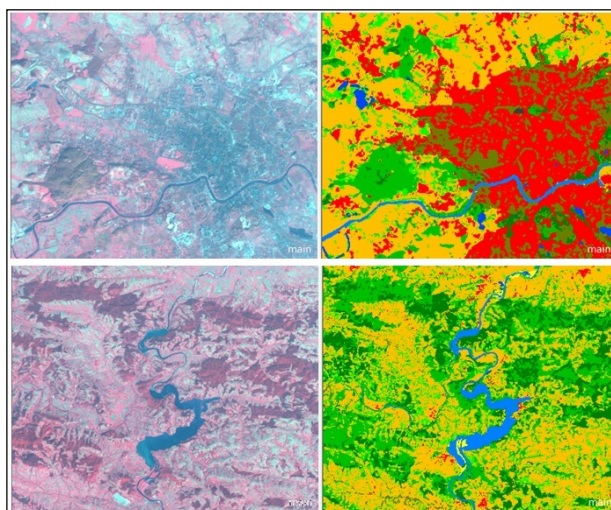
Wyniki klasyfikacji OBIA poddano kontroli jakości (ocenie dokładności), przy czym za dane referencyjne posłużyła interpretacja wzrokowa 2634 pikseli testowych (regularna siatka 2.4 x 2.4 km) i określenie ich przynależności do klas pokrycia terenu. W tym celu wybrano piksele na kompozycjach RapidEye (oraz w przypadkach niejednoznacznych na ortofotomapach lotniczych dla lat zestawu B) oraz zobrazowaniach LANDSAT TM dla zestawu A. Pozyskane w ten sposób informacje posłużyły do wygenerowania macierzy przejść pomiędzy klasami. Uzyskany współczynnik Kappa opisuje stopień zgodności pomiędzy polami testowymi i wynikami klasyfikacji.

### 3.3. Analiza zmian w strukturze pokrycia i użytkowania ziemi

Ostatnim etapem było przeprowadzenie analiz przestrzennych w oprogramowaniu ArcGIS ESRI na wynikach analiz OBIA w celu określenia zmian, jakie zaszły w strukturze pokrycia i użytkowania terenu (ang. *Land Use Land Cover*; LULC) województwa małopolskiego na przestrzeni ostatnich 25 lat. Wyniki klasyfikacji dla zestawu A, w szczególności dotyczące klasy trwałych użytków zielonych, odniesiono do danych pozyskanych z roczników statystycznych i spisów rolnych (Rocznik Statystyczny 1976,



1977, 1978, 1986, 1988, 1989), które stanowią w zasadzie jedyne źródło danych referencyjnych.



Rys. 3. Przykłady klasyfikacji OBIA zobrazowań satelitarnych LANDSAT TM 5 (z lewej: scena satelitarna LANDSAT TM (kompozycja 432, z prawej: mapa LULC)

#### 4. WYNIKI

W wyniku przeprowadzonej klasyfikacji OBIA oraz analiz przestrzennych GIS otrzymano warstwę wektorową zmian użytkowania i pokrycia terenu oraz tabelaryczne zestawienie tzw. „transformacji pomiędzy poszczególnymi klasami w okresie 1986÷2011 (tabela 1). Przykładowe porównanie wyników klasyfikacji dla poszczególnych terminów badań zawiera rysunek 4.

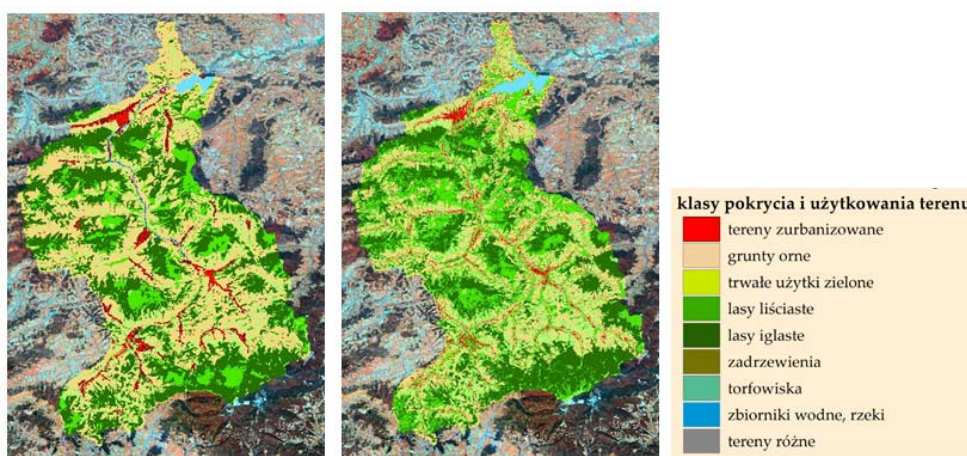
Tabela 1. Dynamika zmian w strukturze pokrycia i użytkowania terenu województwa małopolskiego w okresie 1986÷2011

| Klasy użytkowania terenu:<br>1985/1986<br>[ha] | Klasy użytkowania terenu: 2010/2011 |                |                  |            |                 |              |                |          |              |         |
|--|-------------------------------------|----------------|------------------|------------|-----------------|--------------|----------------|----------|--------------|---------|
|  | Grunty orne                         | Użytki zielone | Tereny zurbaniz. | Rzeki ciek | Zbiorniki wodne | Lasy iglaste | Lasy liściaste | Zadrzew. | Tereny różne | Torfow. |
|  | [ha]                                | [ha]           | [ha]             | [ha]       | [ha]            | [ha]         | [ha]           | [ha]     | [ha]         | [ha]    |
| <b>Grunty orne</b>                             | 446209                              | 139398         | 34421            | 1320       | 3346            | 22281        | 53339          | 8920     | 1488         | 117     |
| <b>Użytki zielone</b>                          | 93492                               | 84334          | 7235             | 282        | 738             | 8 510        | 20193          | 3 100    | 589          | 14      |
| <b>Tereny zurbaniz.</b>                        | 9442                                | 4047           | 21377            | 147        | 130             | 654          | 1896           | 2 218    | 153          | 0       |
| <b>Rzeki, ciek</b>                             | 825                                 | 535            | 81               | 2699       | 262             | 249          | 853            | 115      | 481          | 0       |
| <b>Zbiorniki wodne</b>                         | 475                                 | 82             | 77               | 30         | 4527            | 121          | 149            | 64       | 247          | 0       |
| <b>Lasy iglaste</b>                            | 4066                                | 6735           | 623              | 114        | 252             | 189483       | 55803          | 329      | 743          | 56      |
| <b>Lasy liściaste</b>                          | 12401                               | 17079          | 2042             | 328        | 409             | 63225        | 104774         | 830      | 312          | 23      |
| <b>Zadrzew.</b>                                | 14960                               | 10494          | 9913             | 239        | 199             | 2 337        | 7330           | 2457     | 129          | 0       |
| <b>Tereny różne</b>                            | 1271                                | 862            | 903              | 271        | 391             | 2 214        | 585            | 238      | 19349        | 0       |
| <b>Torfow.</b>                                 | 174                                 | 104            | 0                | 0          | 0               | 375          | 62             | 9        | 0            | 766     |

Największe zmiany odnotowano dla klas: grunty orne (zmniejszenie powierzchni o 8.9%), użytki zielone (wzrost o 3.6%) i lasy liściaste (wzrost powierzchni o 2.9%). Najmniejsze natomiast zmiany nastąpiły w klasach: rzeki i ciekі oraz torfowiska (tabela 2).

Tabela 2. Zmiany powierzchni poszczególnych klas w latach 1986/87 – 2010/11

| Klasy pokrycia i użytkowania terenu | 1986/1987<br>(LANDSAT 5 TM) |       | 2010/2011<br>(RAPIDYE) |       | Zmiana     |       |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------|------------------------|-------|------------|-------|
|                                     | ha                          | %     | ha                     | %     | ha         | %     |
| Grunty orne                         | 718861.15                   | 47.40 | 582916.48              | 38.44 | -135944.67 | -8.96 |
| Użytki zielone                      | 210265.39                   | 13.86 | 264059.74              | 17.41 | 53794.35   | 3.55  |
| Tereny zurbanizowane                | 40041.08                    | 2.64  | 76636.79               | 5.05  | 36595.71   | 2.41  |
| Rzeki, ciekі                        | 6101.88                     | 0.40  | 5435.10                | 0.36  | -666.78    | -0.04 |
| Zbiorniki wodne                     | 5772.45                     | 0.38  | 10252.45               | 0.68  | 4479.99    | 0.30  |
| Lasy iglaste                        | 258203.16                   | 17.03 | 289453.88              | 19.09 | 31250.72   | 2.06  |
| Lasy liściaste                      | 200496.80                   | 13.22 | 245024.05              | 16.16 | 44527.25   | 2.94  |
| Lasy ogółem                         | 458699.96                   | 30.25 | 534477.93              | 35.24 | 75777.97   | 5.00  |
| Zadrzewienia i zakrzewienia         | 49203.52                    | 3.24  | 18270.20               | 1.20  | -30933.31  | -2.04 |
| Tereny różne                        | 26086.49                    | 1.72  | 23495.54               | 1.55  | -2590.95   | -0.17 |
| Torfowiska                          | 1489.34                     | 0.10  | 977.02                 | 0.06  | -512.32    | -0.03 |



Rys. 4. Zmiany użytkowania i pokrycia terenu powiatu dąbrowskiego (po lewej - mapa użytkowania - 1986r., po prawej - mapa pokrycia i użytkowania 2010r.)

Przeprowadzona kontrola jakości klasyfikacji OBIA wykazała dokładność na poziomie 88,8% w przypadku analiz scen LANDSAT 5 TM oraz 91,9% dla zobrażeń RapidEye. Współczynnik Kappa dla omawianej klasyfikacji wyniósł odpowiednio: 0.84 (LANDSAT TM) oraz 0.89 (RapidEye).

Tabela 3. Dokładność klasyfikacji OBIA poszczególnych klas LULC dla zestawu A (LANDSAT 5 TM - 1986/1987)

| Klasy obiektów testowych [%] | Klasy obiektów – zestaw A (LANDSAT 5 TM) [%] |             |                |              |             |              |             |             |              |             | Dokład. produc. |
|------------------------------|--|-------------|----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|
|                              | Tereny zurbaniz.                             | Grunty orne | Lasy liściaste | Lasy iglaste | Rzeki ciek  | Zb. wodne    | Zadrz.      | Torfow.     | Tereny różne | Uż. zielone |                 |
| Tereny zurbaniz.             | <b>72.8</b>                                  | 9.9         | 1.2            | 0.0          | 0.0         | 0.0          | 11.1        | 0.0         | 4.9          | 0.0         | <b>72.8</b>     |
| Grunty orne                  | 0.2  | <b>95.0</b> | 0.7            | 0.2          | 0.0         | 0.2          | 0.8         | 0.0         | 0.4          | 2.5         | <b>95.0</b>     |
| Lasy liściaste               | 0.6  | 5.0         | <b>86.3</b>    | 3.7          | 0.6         | 0.0          | 0.9         | 0.0         | 0.6          | 2.2         | <b>86.3</b>     |
| Lasy iglaste                 | 0.2  | 2.4         | 8.3            | <b>87.9</b>  | 0.0         | 0.0          | 0.2         | 0.0         | 0.0          | 0.9         | <b>87.9</b>     |
| Rzeki, ciek                  | 0.0  | 18.2        | 9.1            | 9.1          | <b>63.6</b> | 0.0          | 0.0         | 0.0         | 0.0          | 0.0         | <b>63.6</b>     |
| Zbiorniki wodne              | 0.0  | 0.0         | 0.0            | 0.0          | 0.0         | <b>100.0</b> | 0.0         | 0.0         | 0.0          | 0.0         | <b>100.0</b>    |
| Zadrzew.                     | 0.0  | 17.6        | 11.0           | 1.1          | 3.3         | 0.0          | <b>61.5</b> | 0.0         | 2.2          | 3.3         | <b>61.5</b>     |
| Torfow.                      | 0.0  | 0.0         | 0.0            | 0.0          | 0.0         | 0.0          | 33.3        | <b>66.7</b> | 0.0          | 0.0         | <b>66.7</b>     |
| Tereny różne                 | 0.0  | 9.4         | 3.1            | 0.0          | 0.0         | 0.0          | 3.1         | 0.0         | <b>84.4</b>  | 0.0         | <b>84.4</b>     |
| Użytki zielone               | 0.2  | 4.4         | 5.6            | 1.9          | 0.5         | 0.0          | 2.9         | 0.2         | 0.5          | <b>83.7</b> | <b>83.7</b>     |
| <b>Dokład. użytkow.</b>      | <b>89.4</b>                                  | <b>94.0</b> | <b>77.2</b>    | <b>94.4</b>  | <b>50.0</b> | <b>83.3</b>  | <b>60.2</b> | <b>66.7</b> | <b>64.3</b>  | <b>88.4</b> |                 |

Tabela 4. Dokładność klasyfikacji OBIA poszczególnych klas LULC dla zestawu B (RapidEye - 2010/2011)

| Klasy obiektów testowych [%] | Klasy obiektów – zestaw B (RapidEye) [%] |             |                |              |              |             |             |              |              |             | Dokład. produc. |
|------------------------------|--|-------------|----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|
|                              | Tereny zurbaniz.                         | Grunty orne | Lasy liściaste | Lasy iglaste | Rzeki ciek   | Zb. wodne   | Zadrz.      | Torfow.      | Tereny różne | Uż. zielone |                 |
| Tereny zurbaniz.             | <b>83.6</b>                              | 13.9        | 0.6            | 0.0          | 0.0          | 0.0         | 0.6         | 0.0          | 0.0          | 1.2         | <b>83.6</b>     |
| Grunty orne                  | 0.2                                      | <b>98.0</b> | 0.1            | 0.0          | 0.0          | 0.0         | 0.3         | 0.0          | 0.0          | 1.3         | <b>98.0</b>     |
| Lasy liściaste               | 0.5                                      | 1.4         | <b>89.9</b>    | 5.0          | 0.0          | 0.0         | 0.2         | 0.0          | 0.7          | 2.3         | <b>89.9</b>     |
| Lasy iglaste                 | 0.0                                      | 0.0         | 3.4            | <b>95.9</b>  | 0.0          | 0.0         | 0.0         | 0.0          | 0.0          | 0.6         | <b>95.9</b>     |
| Rzeki, ciek                  | 0.0                                      | 0.0         | 0.0            | 0.0          | <b>100.0</b> | 0.0         | 0.0         | 0.0          | 0.0          | 0.0         | <b>100.0</b>    |
| Zbiorniki wodne              | 0.0                                      | 0.0         | 0.0            | 6.3          | 0.0          | <b>93.8</b> | 0.0         | 0.0          | 0.0          | 0.0         | <b>93.8</b>     |
| Zadrzew.                     | 1.4                                      | 25.7        | 15.7           | 7.1          | 0.0          | 0.0         | <b>40.0</b> | 0.0          | 0.0          | 10.0        | <b>40.0</b>     |
| Torfow.                      | 0.0                                      | 0.0         | 0.0            | 0.0          | 0.0          | 0.0         | 0.0         | <b>100.0</b> | 0.0          | 0.0         | <b>100.0</b>    |
| Tereny różne                 | 1.8                                      | 21.8        | 1.8            | 0.0          | 0.0          | 0.0         | 1.8         | 0.0          | <b>70.9</b>  | 1.8         | <b>70.9</b>     |
| Użytki zielone               | 1.0                                      | 3.8         | 2.8            | 0.6          | 0.0          | 0.2         | 0.6         | 0.0          | 0.4          | <b>90.6</b> | <b>90.6</b>     |
| <b>Dokład. użytkow.</b>      | <b>92.6</b>                              | <b>92.0</b> | <b>89.9</b>    | <b>93.6</b>  | <b>100.0</b> | <b>93.8</b> | <b>75.7</b> | <b>100.0</b> | <b>88.6</b>  | <b>92.9</b> |                 |



## 5. DYSKUSJA I WNIOSKI

Przeprowadzone analizy OBIA oraz przestrzenne GIS pozwalają wysunąć wnioski, iż zmiany jakie zaszły w przeciągu 25 lat w Małopolsce oraz te, z którymi wciąż mamy do czynienia, pokrywają się z ogólnymi kierunkami i trendami przemian krajobrazu obserwowanymi w ostatnich 3 dekadach w całej Polsce (Kozak 2003; Ostafin 2009; Kaim 2009; Wężyk, de Kok 2005).

Wykazano ponad wszelką wątpliwość, iż na analizowanym obszarze wystąpiła zmiana w postaci powiększenia się powierzchni dwóch klas użytkowania terenu, tj.: lasów oraz obszarów zabudowanych (zurbanizowanych), głównie kosztem powierzchni klas: gruntów rolnych oraz trwałych użytków zielonych. Zaniechanie użytkowania rolniczego na części obszarów mogło wpłynąć na wzrost powierzchni nieużytków, a w dalszych etapach na wzrost powierzchni leśnej, związany m.in. z naturalnym procesem wtórnej sukcesji roślinności o charakterze leśnym lub planowanymi zalesieniami. Wyraźny spadek arealu użytków rolnych należy wiązać ze zmianami społeczno-ekonomicznymi zachodzącymi w lokalnych społecznościach, a zwłaszcza z migracją ludności do miast i odchodzeniem od rolnictwa (Kopacz i Twardy, 2006).

Klasa „zadrzewienia” w dużej mierze obecnie została zamieniona na takie klasy jak: grunty orne (istotna zmiana w obszarach intensywnie użytkowanych rolniczo, np. w północnych powiatach województwa), czy tereny zurbanizowane. Ta druga zmiana wywołana jest przede wszystkim ograniczoną rozdzielczością przestrzenną danych teledetekcyjnych LANDSAT 5 TM (piksel 30.0 m), co spowodowało zaliczenie części obiektów o wielkości poniżej 1 piksela sąsiadujących z zadrzewieniami do tej klasy. Znaczna powierzchnia „zadrzewień” dokonała transformacji do klasy lasów (iglastych i liściastych), co potwierdza tendencję do zwiększania się powierzchni leśnych w Polsce (Kozak 2010; Wężyk i de Kok 2005).

Podobna tendencja zaobserwowana została dla części klasy „lasy iglaste”. Przeszły one transformacje do klasy „lasy liściaste”, co związane jest z polityką przebudowy lasów w PGL LP i różnicowaniem składów gatunkowych lasów, przez wprowadzanie gatunków drzew liściastych (podnoszenie bioróżnorodności). Można jednak również zaobserwować też zmianę odwrotną z gatunków drzew liściastych na iglaste, głównie w obszarach podgórskich, gdzie wtórna sukcesja leśna dokonuje się głównie za sprawą świerka pospolitego.

Na uwagę zwraca fakt dużego przyrostu powierzchni lasu w województwie małopolskim (4.9%) pomiędzy rokiem 1986 a 2011, co z kolei pociąga za sobą wzrost wskaźnika lesistości, który dla lat 2010-2011 wyniósł aż 35.2% (534 136.14 ha). Po zsumowaniu powierzchni zajętej przez klasy: „las” oraz „zadrzewienia i zakrzewienia” stworzono przejściowo klasę „roślinności wysokiej”, która stanowi aż 36.4% województwa małopolskiego (stan 2011 r.) zajmując 552 406.33 ha. Uzyskane wyniki klasyfikacji metodą OBIA wykonaną na zobrazowaniach satelitarnych RapidEye z lat 2010-2011 różnią się więc znacząco od danych referencyjnych podawanych przez GUS (28.6%). Ta sprawa wymaga wciąż uszczegółowienia, gdyż jest kluczowa dla różnych aspektów prowadzenia polityki w Małopolsce, w tym wdrażaniu różnych Dyrektyw Środowiskowych. Różnica powierzchni lasów o około 910 km<sup>2</sup> (w stosunku do danych GUS) nie może, i nie powinna

być pominięta w dyskusjach nad strategią dalszego rozwoju Małopolski. Trzeba jednak mieć na uwadze niedoskonałość przeprowadzonej klasyfikacji i samych obrazów satelitarnych (stosunkowo niewysoka rozdzielczość terenowa) i trudności w rozpoznaniu takich obiektów jak sady czy plantacje bioenergetycznych od klasy lasów, których sama definicja prawna wymyka się definicji teledetekcyjnej. Stąd autorom wydaje się za kluczowe użycie aktualnej warstwy GIS z GBDOT do prawidłowej analizy OBIA.

W całym województwie małopolskim zwiększył się obszar klasy zabudowa, głównie kosztem: gruntów ornych, lasów liściastych oraz zadrzewień. Dwie ostatnie klasy różni od siebie często jedynie wielkość lub kształt segmentu (np. podłużne obiekty drzew liściastych zaklasyfikowano jako zadrzewienia, mimo powierzchni przekraczającej 10 arów).

Zastosowana nowoczesna metoda OBIA klasyfikacji obrazów teledetekcyjnych, w połączeniu z zaawansowanymi analizami przestrzennymi GIS pozwoliły na osiągnięcie w bardzo krótkim czasie wyników opisujących zmiany klas pokrycia i użytkowania terenu jakie zaszły na obszarze województwa małopolskiego w przeciągu 25 lat. Według autorów archiwalne dane teledetekcyjne, pomimo, iż charakteryzują się stosunkowo niską jak na Małopolskę rozdzielczością przestrzenną, to jednak pozostają w zasadzie jedynym materiałem do tego typu analiz środowiskowych wymagających kanałów wielospektralnych w tym NIR. Dostępne dla okresu 1986 mapy topograficzne czy też czarno-białe zdjęcia lotnicze stanowią mogą jedynie pewnego rodzaju uzupełnienie informacji, co należy wykorzystać w odpowiednio zmodyfikowanym schemacie analizy OBIA.

## 6. LITERATURA

Aldred D., Wang J., 2007. Object - oriented classification for urban building boundary extraction from IKONOS imagery. *Our Common Borders – Safety, Security, and the Environment Through Remote Sensing*.

Blaschke T., Strobl J., 2001. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *Zeitschrift für Geoinformationssysteme*, Vol. 6, s. 12-17.

Blaschke T., 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 65, s. 2-16.

de Kok R., Kozioł K., Wężyk P., 2005. Zastosowanie klasyfikacji obiektowej wysokorozdzielczych obrazów teledetekcyjnych oraz analiz przestrzennych GIS w kartowaniu drzewostanów. *Roczniki Geomatyki*, III, s. 99-108.

Drzewiecki W., Wężyk P., Pierzchalski M., Szafrńska B., 2013. Quantitative and qualitative assessment of soil erosion risk in Małopolska (Poland), supported by an Object-Based Analysis of high-resolution satellite images. *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 170, No. 4, DOI: 10.1007/s00024-013-0669-7

eCognition Developer 8.7. 2011. User Guide.

Jiang N., Zhang J.X., Li H.T., Lin X.G., 2008. Object-oriented building extraction by DSM and very high-resolution orthoimages. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, s. 441-446.

Kaim D., 2009. Zmiany pokrycia terenu na pograniczu polsko-słowackim na przykładzie Małych Pienin. *Przegląd Geograficzny*, Vol. 81, z. 1, s. 93-105.

- Kopacz M., Twardy S., 2006. Zmiany użytkowania ziemi w zlewni górnego Dunajca w aspekcie wybranych parametrów wód powierzchniowych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 6 z. 2, s.191-202.
- Kozak J., 2003. Forest cover changes in the Western Carpathians over the past 180 years: a case study from the Orawa region in Poland. *Mountain Research and Development*, Vol. 23, s. 369-375.
- Kozak J., 2010. Forest cover changes and their drivers in the Polish Carpathian Mountains since 1800. [w:] Nagendra H, Southworth J (red.), *Reforesting Landscape: Linking pattern and process*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, s. 253-274.
- Krischke M., Niemeyer W., Scherer S., 2000. RapidEye satellite based geo-information system. *Acta Astronautica*, Vol. 46, s. 307-312.
- Loveland T. R., Dwyer J. L., 2012. LANDSAT: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 122, s. 22-29.
- Markham B. L., Helder D. L., 2012. Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from LANDSAT: A review. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 122, s. 30-40.
- Ostafin K., 2009. Zmiany granicy rolno-leśnej w środkowej części Beskidu Średniego od połowy XIX wieku do 2005 roku. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Sandau R., Briß K., D'Errico M., 2010. Small satellites for global coverage: Potential limits. *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 65, s. 492-504.
- Verburg P.H., van de Steeg J., Veldkamp A., Willemen L., 2009. From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*, Vol. 90, s. 1327-1335.
- Vieira M. A., Formaggio A. R., Rennó C. D., Atzberger C., Aguiar D. A., Mello M. P., 2012. Object Based Image Analysis and Data Mining applied to a remotely sensed LANDSAT time-series to map sugarcane over large areas. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 123, s. 553-562.
- Węzyk P., de Kok R., 2005. Automatic mapping of the dynamics of forest succession on abandoned parcels in south Poland. [In:] Strobl et al. (Eds.) *Angewandte Geoinformatik 2005* - Herbert Wichman Verlag. Heidelberg: 774-779.
- Węzyk P., Pierzchalski M., Szafrńska B., Korta G. , 2012. Aktualizacja mapy glebowo-rolniczej z wykorzystaniem klasyfikacji obiektowej (OBIA) zobrażeń teledetekcyjnych oraz analiz przestrzennych GIS. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 23: 477-488.
- Wulder M. A., Masek J. G., Cohen W. B., Loveland T. R., Woodcock C. E., 2012. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of LANDSAT. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 122, s. 2-10.

**MAP OF LAND USE / LAND COVER CHANGES IN MALOPOLSKA  
VOIVODESHIP IN 1986-2010 CREATED BY OBJECT BASED IMAGE ANALYSIS  
OF LANDSAT AND RAPIDEYE SATELLITE IMAGES**

KEY WORDS: Object-Based Image Analysis (OBIA), segmentation, LANDSAT, RapidEye, land use/land cover, multitemporal GIS analyses

**Summary**

Changes in land use / land cover are the result of interaction between natural processes and human activity. Using GIS analysis to estimate the dynamic of these changes we can detect former trends and their simulation in the future. Diagnosed directions of changes can be used e.g. to create local plans of spatial management or region growth policy.

Main goal of this study was to diagnose main trends of changes in land use / land cover in Malopolska voivodeship in last 25 years (1986-2010). Results were shown as statistics and map compositions. Project was created based on RapidEye and LANDSAT 5 TM satellite data and aerial imagery from 2009-2010. The best way to process huge amount and various data was to use Object Based Image Analysis (OBIA).

As the results of classification we received 10 classes of land use for both terms of analyses (1986-1987 and 2009-2010). Identified classes were: bare soil, grass-covered areas, urban areas, rivers and watercourses, coniferous forest, leaf forest, peatbog, and other areas. Results show, that especially 2 classes arisen much: forest (4.39%) and urban areas (2.40%), mostly at the expanse of agricultural (-3.60%) and grass-covered areas (-1.18%). Based on results we can say, that changes detected in past 25 years in Malopolska region, which we can also notice today, agree with general trends of landscape changes, that we can observe in Poland for the last 3 decades. These general changes are: renewed succession of forest on areas where agricultural production discontinued; also intense development of road infrastructure.

Object Based Image Analysis allowed to realize these study for area of more than 15 000 km<sup>2</sup> for only a few weeks.

Dane autora:

Dr inż. Piotr Wężyk  
e-mail: rlwezyk@cyf-kr.edu.pl  
telefon: +48 12 662 50 82  
fax: +48 12 411 97 15