

Łukasz Lechowski

ANALIZA ZMIAN POKRYCIA TERENU WOKÓŁ AUTOSTRAD ZA POMOCĄ METOD GIS*

W celu określenia klas pokrycia terenów sąsiadujących z autostradą A2 na odcinku Emilia–Stryków w latach 1996–2009 zastosowano metodę interpretacji wizualnej serii ortofotomap następujących po sobie czasowo, wykorzystując narzędzia GIS oraz zmodyfikowaną klasyfikację pokrycia terenu Topograficznej Bazy Danych. Przedstawiono następnie schemat pozwalający porównać zwektoryzowane klasy pokrycia terenu w ujęciu dynamicznym. W celu analizy zmian pokrycia przedmiotowego obszaru zastosowano metodę GIS rozkładu gęstości zmian z wykorzystaniem nieparametrycznych estymatorów jądrowych *kernel function*.

Słowa kluczowe: *GIS, pokrycie terenu, autostrada, kernel function*

1. Wstęp

Inwestycje kluczowe z punktu widzenia interesu państwa zawsze w sposób znaczący oddziaływały na przestrzeń geograficzną. To przy nich kształtowało się osadnictwo, rozwijało rzemiosło, handel i przemysł. Tak jak przeprowadzane niegdyś trakty królewskie czy linie kolejowe, tak budowane obecnie w Polsce autostrady intensywnie zmieniają nie tylko pokrycie, ale również formy użytkowania ziemi. Z punktu widzenia zagospodarowania przestrzennego problematyka przekształceń krajobrazowych i przestrzennych wraz z budową autostrady wydaje się być ważna i niezwykle frapująca. Najczęściej wskazuje się na korzyści ekonomiczne i turystyczne budowy autostrad (Liszewski, Włodarczyk 2011, Rekowski i in. 2011), koncentruje się na konfliktach ich przebiegu (Stasiak 1997), a także na realizacji projektu budowy autostrady (Belniak i in. 2009, Patalas 2011) oraz wpływie autostrady na ekosystemy i środowisko przyrodnicze (*Zagospodarowanie przestrzenne terenów...* 1999, Badora 2004, Stuczyński 2011).

* Publikacja współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Poddziałania 8.2.1 POKL, w związku z realizacją Projektu „Doktoranci – Regionalna Inwestycja w Młodych naukowców społeczno-humanistycznych – Akronim D-RIM SH.

Kluczowymi, wymagającymi zdefiniowania pojęciami stosowanymi w niniejszym artykule są „pokrycie terenu” oraz „autostrada”. „Pokrycie terenu” można przedstawić jako opis fizycznych właściwości danej przestrzeni geograficznej (Ciołkosz, Poławski 2006, za *Corine Land Cover Technical Guide* 1993). Są to wszelkie elementy sytuacyjne tej przestrzeni, znajdujące się na jej powierzchni, dające się wyróżnić na podstawie ich cech fizjonomicznych (*Wytyczne techniczne...* 2008). Przykładowo mogą to być: roślinność trawiasta, teren zabudowany czy lasy. Należy przy tym wyraźnie odróżnić pojęcie pokrycia terenu od jego użytkowania. To drugie zagadnienie odnosi się do sposobu wykorzystania przestrzeni geograficznej przez człowieka i jest jej opisem społeczno-ekonomicznym (Ciołkosz, Poławski 2006, za Kostrowicki 1959).

Zgodnie z Ustawą o drogach publicznych¹ autostrada jest najwyższą klasą drogi, przeznaczoną wyłącznie do ruchu pojazdów samochodowych. Klasa ta jest wydzielona na podstawie cech funkcjonalnych drogi oraz jej parametrów technicznych. Musi mieć co najmniej dwie trwale oddzielone od siebie jednokierunkowe jezdnie, infrastrukturę służącą do obsługi pasażerów oraz bezkolidyjne, wielopoziomowe skrzyżowania. Warunki techniczne traktów kołowych oraz ich szczegółowy opis regulują dwa odrębne akty prawne: Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 14 maja 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich użytkowanie oraz Prawo o ruchu drogowym².

Niniejszy artykuł ma na celu opracowanie metody pozyskiwania informacji o zmianach pokrycia terenu na podstawie wysokorozdzielczych ortofotomap znajdujących się w polskich zasobach kartograficznych. Autor dokonał również oceny samego źródła informacji pod kątem możliwości ich wykorzystania w tego typu analizie. Jednocześnie na wybranym przykładzie przedstawiono, jak w zarysie kształtowała się przestrzeń wokół autostrady A2 w gminie Stryków w latach 1996–2009 oraz zaprezentowano kilka metod i narzędzi stosowanych w geoprzetwarzaniu i analizach przestrzennych.

2. Zmiany pokrycia terenu wokół autostrad w świetle literatury

W polskiej literaturze naukowej można znaleźć kilka artykułów pośrednio wskazujących na kierunki zmian pokrycia terenu wynikających z oddziaływania w ich otoczeniu autostrad. Najczęściej publikacje te odnoszą się do wyznaczania

¹ Ustawa o drogach publicznych z dnia 21 marca 1985 r. Dz.U. z 2007 r. nr 19, poz. 115.

² Prawo o ruchu drogowym z dnia 20 czerwca 1997 r., Dz.U. z 1997 r. nr 98, poz. 602.

przebiegu drogi, przekształceń własnościowych gruntów przeznaczonych pod autostradę oraz procesu jej budowy (Czarnecki, Pankowski 1999, Biliszczuk, Szkrzydło 2001, Gola, Langner 2009). Opierają się na danych pochodzących z raportów oddziaływania inwestycji drogowej na środowisko i mają charakter głównie przyrodniczy. Niniejsza prognoza wskazuje, w jaki sposób autostrada wpłynie na zmiany środowiska przyrodniczego w jej najbliższym otoczeniu i jakie kroki należy podjąć, aby zminimalizować negatywny jej wpływ (Badora 2004, Nowakowski, Podedworna-Łuczak 2009).

Sposób, w jaki autostrada jest zaprojektowana, z jakich składa się elementów oraz co może znaleźć się w najbliższym jej otoczeniu częściowo jest regulowane ustawowo bądź poprzez odpowiednie rozporządzenia, takie jak Ustawa o drogach publicznych czy Prawo ochrony środowiska. Zagospodarowanie, pokrycie i użytkowanie terenów może wynikać również z warunków technicznych zamówienia oraz stosunków własnościowych gruntów.

Jak pisał K. Badora (2004), autostrada oddziałuje bezpośrednio w sposób ekstremalny na terenach w odległości do 20 m od krawędzi jezdni, obszar do 50 m można uznać za strefę zagrożeń, a do 150 m za strefę uciążliwości. Na podstawie doświadczeń krajów rozwiniętych można powiedzieć, że zasięg oddziaływania autostrad na strukturę własnościową gruntów znacznie wykracza poza strefę bezpośredniego oddziaływania inwestycji na środowisko (Wegener, Fürst 1999, Tesařova, Halounová 2006). W rzeczywistości strefa wpływu autostrady na pokrycie terenu jest większa i może dochodzić do kilkunastu kilometrów. Zależy ona zarówno od położenia węzłów komunikacyjnych, przejazdów nad autostradami, odpowiedniej polityki władz samorządowych, jak i od otaczającej ją przestrzeni (Ziobrowski, Korecki 2009).

Analiza dostępnej polskiej literatury dotyczącej pokrycia terenów zlokalizowanych w otoczeniu autostrady A2 oraz A4 pozwala stwierdzić, że dla obszarów bezpośrednio przylegających do autostrady, w pasie drogi zwiększa się udział terenów trawiastych, zadrzewionych i zakrzewionych. Jest to związane z nowym sposobem zagospodarowania drogi, mającym zminimalizować siłę jej oddziaływania na środowisko. W jej otoczeniu sadi się rośliny absorbujące znaczne ilości zanieczyszczeń oraz drzewa chroniące tereny zabudowane przed hałasem (Strembicka, Szczerba 1999, Badora 2004). Rośnie również powierzchnia terenów zabudowy przemysłowej i usługowej, skoncentrowanej w pobliżu węzłów komunikacyjnych (Strembicka, Szczerba 1999, Ziobrowski, Korecki 2009).

Na przykładzie opolskiego fragmentu autostrady A4 można przyjąć, że w strefie pośredniego oddziaływania autostrady, do 500 m od jej osi, największe przekształcenia są związane z miejscami wydobywania surowców skalnych pod budowę dróg oraz w pobliżu węzłów komunikacyjnych. Znaczne przekształcenia pokrycia i użytkowania występują również w punktach powstania Miejsc Obsługi Pasażera (MOP) (Badora 2004).

Wzrost powierzchni poszczególnych klas pokrycia terenu odbył się głównie kosztem gruntów ornych oraz łąk i pastwisk. Miejscami spadła również powierzchnia lasów i terenów zakrzewionych, np. na terenie Borów Niemodlińskich. Lasy te oraz zakrzewienia zostały wycięte w trakcie przygotowania gruntów pod budowę autostrady (Badora 2004).

Bardziej kompleksowe prace opisujące wpływ autostrad na zmiany pokrycia i użytkowanie terenu pojawiły się w krajach wysoko rozwiniętych. O przykładzie włoskim pisał C. Cała (1978), niemieckim doświadczeniom związanym ze zmianami użytkowania ziemi po wybudowaniu sieci autostrad swoją pracę poświęcili M. Wegener i F. Fürst (1999). Należy jednakże pamiętać, że system autostrad w krajach Europy Zachodniej w dużej mierze powstał kilkadziesiąt lat temu, w innych warunkach gospodarczych i prawnych. W związku z tym sposób, tempo i kierunki zmian pokrycia terenu wokół autostrad europejskich, zaprezentowane w literaturze zachodniej, mogą znacząco odbiegać od sytuacji w Polsce.

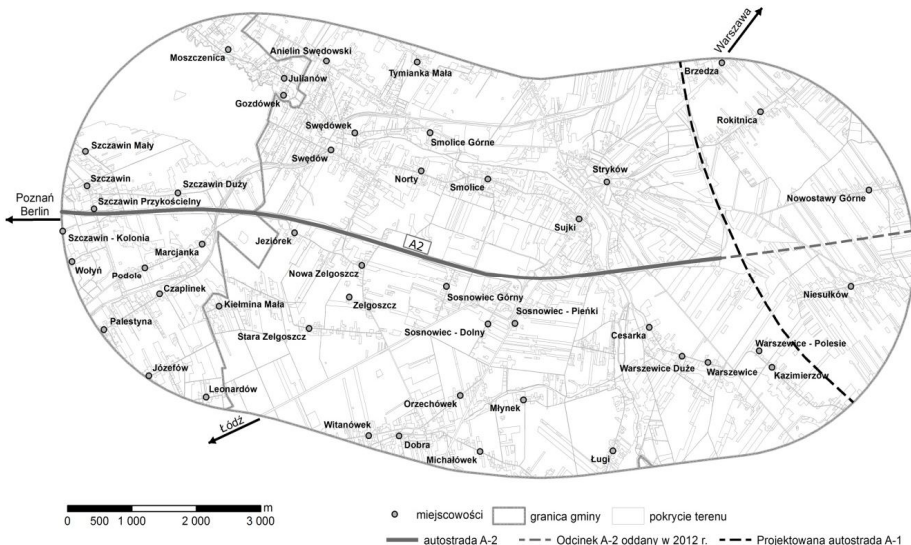
Dlatego ciekawym materiałem porównawczym wydają się być prace naukowców z państw Europy Środkowo-Wschodniej, które obecnie są w trakcie rozbudowy sieci transportowych w swoich krajach. Wyniki badań V. Tesařovej i L. Halounovej (2006) prowadzonych na terenie Republiki Czeskiej w latach 1993–2000, oparte na danych zaczerpniętych z bazy *Corine Land Cover*, zdjęciach wielospektralnych SPOT oraz wysokorozdzielczych zdjęciach lotniczych wyraźnie pokazują tendencję wkraczania zabudowy przemysłowej i usługowej na obszary gruntów ornych i terenów zielonych.

3. Charakterystyka obszaru badań

Badania przeprowadzono dla odcinka autostrady A2 biegnącego w 2009 r. od węzła Łódź Północ w kierunku zachodnim aż do granicy gminy Stryków. Tym samym autor nie uwzględnił w swoich rozważaniach fragmentu autostrady Łódź Północ–Warszawa oddanego do użytku w czerwcu 2012 r. Zmiany pokrycia terenu w latach 1996–2009 przeanalizowano na obszarze znajdującym się w odległości do 3 km od wyrysowanego odcinka drogi (rys. 1). Łącznie zajmuje on 72,48 km² powierzchni.

Autostrada A2 to jedna z najważniejszych inwestycji drogowych realizowanych w pierwszej dekadzie XXI w. w Europie Środkowej. Jest elementem II korytarza paneuropejskiej sieci transportowej, mającej docelowo połączyć Europę Zachodnią z Rosją, a następnie, wykorzystując Transsyberyjską Magistralę Transportową, z Japonią. W Polsce docelowo ma przebiegać równoleżnikowo przez obszar całego kraju, jednak obecnie wykonano jej zachodni i środkowy odcinek łączący Berlin z Warszawą.

W granicach gminy Stryków jest także planowana realizacja węzła komunikacyjnego Łódź Północ jako punktu skrzyżowania się dwóch autostrad: A1 i A2. Gmina ta jest więc istotnym punktem na mapie drogowej Polski, a jej rozwój funkcjonalno-przestrzenny jest zdeterminowany przede wszystkim przebiegiem autostrad.



Rys. 1. Obszar badań
Źródło: opracowanie własne

Choć budowa A2 na odcinku Stryków–Konin rozpoczęła się w 2004 r. a zakończyła w 2006 r., jej oddziaływanie na przestrzeń miało miejsce już znacznie wcześniej. Sam proces przygotowania inwestycji wymuszał przekształcenia własnościowe gruntów, przez które obecnie przebiega autostrada, oraz zmieniał krajobraz w jej otoczeniu. Niezbędne wydaje się zatem przy ocenie zmian pokrycia terenu związanych z inwestycją drogową rozszerzenie zakresu czasowego badań, uwzględniające okres przed jej rozpoczęciem (1996 r.) w trakcie realizacji inwestycji (2004 r.) oraz jej użytkowania (2009 r.).

4. Źródła danych

Zaprezentowana analiza zmian pokrycia terenu wokół autostrady A2 w gminie Stryków w latach 1996–2009 w całości została przeprowadzona w programie ArcGIS 10.0 na podstawie następujących materiałów źródłowych:

– ortofotomapy z lat: 1996, 2004, 2009, zróżnicowanej pod względem podstawowych statystyk, liczby kanałów barwnych oraz kontrastu;

- warstw WMS zawierających elementy aktualne na 2010 r. warstw Bazy Danych Obiektów Topograficznych, dostępnych za pośrednictwem Geoportalu;
- map topograficznych w skali 1:10 000 z 1991 r., dostępnych za pośrednictwem Geoportalu.

Wszystkie wykorzystane w badaniach ortofotomapy charakteryzują się wysoką rozdzielczością przestrzenną (piksel 0,5 m). Najstarszą z nich wykonano w latach 1996–1997 w ramach programu PHARE. Jest to ortofotomapa barwna, spektralna, opracowana w kolorach RGB. W przypadku analizowanego obszaru, zdjęcia do niej zostały zrobione w 1996 r. Ortofotomapa z 2004 r. także została zrealizowana w ramach programu PHARE. Jest to opracowanie wykonane na podstawie zdjęć monochromatycznych i przedstawia stan na kilka miesięcy przed rozpoczęciem budowy autostrady A2 na odcinku Stryków–Konin. Ostatnia seria pochodzi z 2009 r. i została sporządzona na potrzeby programu LPIS. Jest mapą spektralną, barwną, wykonaną w zakresie pasma promieniowania widzialnego (Wężyk 2010). Dostępny jest również dla niej kanał bliskiej podczerwieni (CIR). Zaletą wspomnianych źródeł pozyskiwania danych jest ich powszechność oraz kompleksowość. Ortofotomapy pokrywają powierzchnię prawie całej Polski, dzięki czemu można stosować je do badania zmian pokrycia terenu wokół autostrad na terenie całego kraju.

5. Metoda badań

W literaturze opisano wiele metod pozyskiwania informacji o pokryciu oraz użytkowaniu terenu na podstawie zdjęć lotniczych i ortofotomap. Można je podzielić na metody manualne (wizualna) oraz półautomatyczne i automatyczne (rastrowa, hybrydowa, obiektowa).

Metoda interpretacji wizualnej polega na ręcznym obrysowywaniu wszystkich elementów pokrycia terenu przez obserwatora, przy zachowaniu zasady wzajemnego dopełniania się poligonów oraz poprawności i spójności topologicznej całego pokrycia. Sprawność oraz jakość pracy w znacznym stopniu uzależniona jest od wiedzy i zdolności interpretacyjnych obserwatora (Ciołkosz i in. 1999).

Techniki rastrowe prezentacji danych polegają na wskazaniu pewnych klas pikseli obrazu, które mają zostać przyporządkowane do wybranej przez badacza kategorii. Obraz będzie tak długo dzielony na klasy, aż wszystkie piksele zostaną przyporządkowane do jednej z wcześniej wskazanych kategorii. Do wyznaczenia klas wykorzystuje się zaawansowane statystyki wykonywane dla poszczególnych grup elementów (Kubik i in. 2008).

Klasyfikacja obiektowa obrazu za pomocą oprogramowania np. e-Cognition umożliwia wektorowe wydzielenie klas pokrycia. Algorytm obiektowy polega na traktowaniu grupy pikseli jako jednego obiektu, cechującego się warunkami

jednorodności. Klasyfikacja dokonywana jest nie tylko na podstawie statystyk spektralnych danego obiektu, ale również z uwzględnieniem jego geometrii, relacji z innymi obiektami oraz tekstury (Lewiński 2006).

Dzięki oprogramowaniu Image Analyst interpretator ma również możliwość wykorzystać metodę hybrydową, będącą połączeniem metody rastrowej i obiektowej klasyfikacji obrazu (Lewiński 2007a, b).

Spśród wszystkich wymienionych metod do interpretacji pokrycia terenu na podstawie ortofotomap z lat 1996, 2004 oraz 2009 autor wykorzystał metodę wizualną. Materiały, jakie autor posiadał, były bowiem dostępne jedynie w zakresie światła widzialnego, miały różne tonacje kolorów oraz znaczne różnice w kontrastach. Analiza obiektowa czy rastrowa musiałaby sprowadzić się zatem do doboru oddzielnych parametrów klas pokrycia terenu osobno dla każdej ortofotomapy. Nie byłaby również tak szczegółowa jak interpretacja „ręczna”, zwłaszcza jeśli chodzi o klasę zabudowy. Korzystając ze zdjęć wysokorozdzielczych, autor był w stanie rozpoznać obiekt znajdujący się w miejscu zacienionym lub zasłonięty częściowo drzewami, z czym program bez pomocy innych zakresów spektralnych, poza światłem widzialnym, mógłby mieć problem.

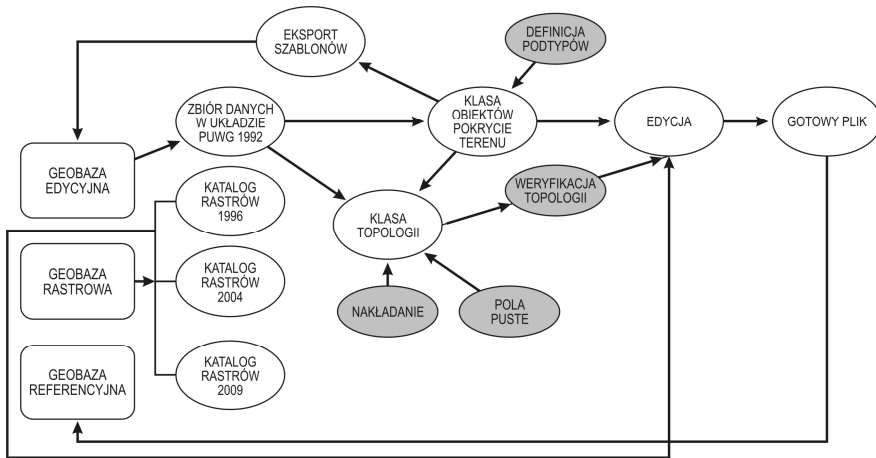
Metoda ta obejmowała następujące etapy:

1. Zaprojektowanie struktury geobaz.
2. Interpretację wizualną zdjęć w celu opracowania map pokrycia terenu dla lat 1996, 2004 oraz 2009.
3. Wyznaczenie obszarów zmian pokrycia terenu.
4. Analizę wyników badań wykorzystującą metodę badania rozkładu gęstości zmian z użyciem nieparametrycznych estymatorów jądrowych (*kernel function*).

Z założenia cała struktura geobaz miała spełniać dwa warunki: wydajności i topologicznej poprawności. Warunek wydajności oznacza, że wszelkie procesy wykonywane w trakcie analizy będą przebiegać z optymalną dla programu prędkością. Jest to o tyle istotne, że w trakcie edycji zachowującej topologię obiektów lub w trakcie geoprzetwarzania zła konstrukcja projektu może wpłynąć na spowolnienie pracy aplikacji ArcMap. Autor zdecydował się na zastosowanie systemu baz rozproszonych. Wykonywanie zadań na kilku mniejszych geobazach jest bardziej wydajne niż gromadzenie wszystkich informacji w jednej, zwłaszcza jeśli działa się na dużych zestawach danych rastrowych czy chmurze punktów pochodzącej ze skaningu laserowego.

Autor stworzył oddzielnie trzy geobazy: edycyjną (do przechowywania aktualnie edytowanych warstw), rastrową (do przechowywania ortofotomap) oraz referencyjną (do przechowywania gotowych klas obiektów pokrycia terenu, stanowiących odniesienie dla nowych, edytowanych warstw) (rys. 2). W geobazie rastrowej każda seria ortofotomap została zapisana w oddzielnym katalogu rastrów (*Raster Catalog*). W bazie edycyjnej autor utworzył zestaw obiektów (*Feature Dataset*), składający się z nowej klasy obiektów (*Feature Class*) oraz

klasy topologii (*Topology Class*). W nowej klasie obiektów w podtypach (*Subtypes*) zostały wypisane wszelkie możliwe podklasy pokrycia terenu.



Rys. 2. Projekt geobaz i model postępowania dla edycji pokrycia terenu
Źródło: opracowanie własne

Warunek topologicznej poprawności zakłada, że opracowanie powinno mieć spójną i kompleksową warstwę pokrycia terenu. Oznacza to, że cały badany obszar musi być wypełniony obiektami pokrycia terenu, ale obiekty te nie mogą na siebie zachodzić. Pomocnym narzędziem w jej zachowaniu jest stworzenie w zestawie obiektów Klasy Topologii (*Topology Class*), która wyszukuje miejsca występowania błędów spójności i pozwala je naprawić. Zdaniem autora, w zakresie funkcjonalności i prostoty użytkowania nie jest to narzędzie idealne. Program nie ma funkcji na bieżąco sprawdzającej poprawność topologiczną aktualnie wprowadzanych czy edytowanych obiektów. Nie można też wpisać wartości w tabeli atrybutów w momencie, gdy spośród możliwości naprawy błędów topologicznych wybiera się opcję Stwórz Obiekt (*Create Feature*).

Doberając klasy pokrycia terenu, autor nieznacznie zmodyfikował typologię zastosowaną w Topograficznej Bazie Danych dla kompleksów pokrycia terenu (tab. 1). W przyjętej w niniejszym artykule klasyfikacji zostały połączone kompleksy terenów leśnych lub zadrzewionych z terenami roślinności krzewiastej, a także gruntów odsłoniętych z innymi terenami niezabudowanymi. Dodatkowo, ze względu na występujące na tym obszarze duże powierzchnie ośrodków wypoczynkowych i domków letniskowych zdecydowano się wydzielić z terenów roślinności trawiastej place sportowe, natomiast z terenów upraw trwałych ogródki działkowe i działki letniskowe, tworząc z nich nową grupę terenów rekreacyjnych i wypoczynkowych. Na potrzeby badań w ramach terenów zabudowanych pod uwagę wzięto obszary o powierzchni większej niż 50 m², natomiast w przypadku pozostałych terenów – kompleksy przekraczające 100 m².

Tabela 1

Wykorzystana klasyfikacja form pokrycia terenu nawiązująca do typologii kompleksów pokrycia terenu w Topograficznej Bazie Danych (TBD)

Topograficzna Baza Danych		Zastosowana klasyfikacja	
Symbol	Opis	Klasa	Podklasy
PKWO	Obszary wód	Obszary wód	Obszary wód płynących, obszary wód stojących
PKZB	Tereny zabudowy zwartej, gęstej lub luźnej	Tereny zabudowy	Tereny zabudowy przemysłowej i magazynowej Tereny zabudowy mieszkaniowej i innej
PKLA	Tereny leśne lub zadrzewione	Tereny leśne, zadrzewione i zakrzewione	Tereny leśne Tereny zadrzewione i roślinności krzewiastej
PKKR	Tereny roślinności krzewiastej		
PKUT	Tereny upraw trwałych	Tereny upraw trwałych	Sady i plantacje Szkółki leśne
PKTR	Tereny roślinności trawiastej i upraw rolnych	Tereny roślinności trawiastej i upraw rolnych	Grunty orne Łąki i pastwiska Parki Tereny trawiaste
PKTK	Tereny pod drogami kołowymi, szynowymi i lotniskowymi	Tereny komunikacyjne	Kołowe Szynowe
PKBR	Tereny gruntów odsloniętych	Inne tereny niezabudowane	Użytki kopalniane Zurbanizowane niezabudowane (place, parki) Nieużytki Cmentarze
PKNT	Inne tereny niezabudowane		
		Tereny rekreacyjne i wypoczynkowe	Ogródki działkowe Działki letniskowe Place sportowe

Szarym kolorem zaznaczono zmodyfikowane klasy form pokrycia terenu TBD.

Źródło: opracowanie własne na podstawie typologii kompleksów pokrycia terenu TBD.

Gotowy pusty schemat zestawu obiektów (klasę obiektów pokrycia wraz z podtypami i topologią) autor zapisał w formie szablonu, korzystając z funkcji kreatora ekstrakcji danych (*Data Extractor Wizard*). Szablon ten był wykorzystywany oddzielnie do tworzenia klasy obiektów pokrycia terenu z 1996, 2004 oraz 2009 r. Edycja pokrycia terenu dla 1996 r. odbyła się metodą wizualną na podstawie plików rastrowych ortofotomapy zamieszczonych w geobazie „Kata-

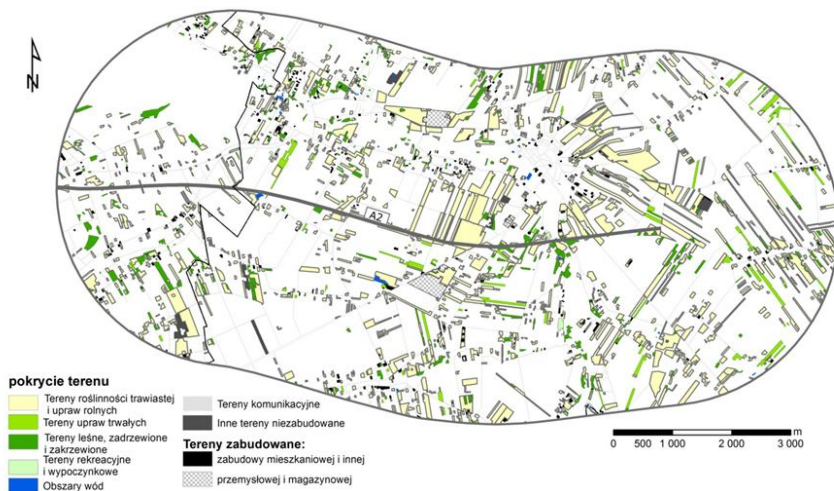
logu rastrów 1996”. W przypadku wątpliwości co do zakwalifikowania obiektu do jednej z wyróżnionych klas, jeśli przed i po okresie, dla którego wykonane zostały zdjęcia, występowała ta sama forma pokrycia, autor przypisywał ją również do bieżącego roku. Szczególne zastosowanie w procesie edycji znalazła funkcja Autodopełnienie Poligonu (*Auto-Complete Polygon*), wykorzystująca istniejącą krawędź narysowanego wcześniej obiektu do stworzenia nowego. Taki schemat rysowania jest znacznie prostszy, szybszy i umożliwia zminimalizowanie liczby błędów topologicznych, pojawiających się w trakcie edycji. Kompletna i wolna od błędów topologicznych warstwa pokrycia terenu została przeniesiona do geobazy referencyjnej, a w jej miejsce, przy wykorzystaniu wcześniej przygotowanego szablonu, został stworzony nowy zestaw obiektów (*Feature Dataset*) wraz z jego klasami.

Aby uniknąć błędów wynikających z samego procesu produkcyjnego ortofotomapy oraz jej interpretacji, do wyznaczenia pokrycia terenu w latach 1996–2004 autor skorzystał z geometrii obiektów z 1996 r., zapisanych w geobazie referencyjnej. W ten sposób zachowana została ciągłość granic pokrycia w miejscach, gdzie w sposób widoczny nie uległa ona zmianie.

Autor kopiował na nową warstwę pokrycia terenu tylko te obiekty, które w stosunku do wcześniejszej ortofotomapy uległy zmianie. W następnym kroku za pomocą narzędzia docinania poligonów (*Cut Polygon Tools*) dostosowywał kształt pokrycia terenu do ówczesnego stanu i przypisywał nowym obiektom aktualne atrybuty. Pod koniec edycji zmian sprawdził poprawność topologiczną warstwy, którą za pomocą narzędzia Intersekcja (*Intersection*) „złączył” z pokryciem terenu z 1996 r. Nowo utworzona w ten sposób klasa obiektów zawierała nie tylko geometrię obu warstw, ale też połączoną tabelę atrybutów. Na jej podstawie, wykorzystując zapytania języka SQL, wyselekcjonowano elementy, których wartości dotyczące klasy pokrycia terenu wykazywały różnice i wyeksportowano je do nowego pliku. Wygenerowane obiekty odzwierciedlały zmiany pokrycia terenu w latach 1996–2004 (rys. 3). Złączona przez narzędzia aktualizacji (*Update*) warstwa pokrycia terenu z 1996 r. z jej zmianami w latach 1996–2004 utworzyła mapę pokrycia terenu w 2004 r. Autor zastosował ją głównie jako materiał analityczny oraz wyjściowy do interpretacji wizualnej ortofotomapy z 2009 r. Interpretacja ta odbyła się analogicznie do tej z 2004 r.

Aby w czytelny sposób pokazać kierunki zmian pokrycia terenu, autor wykorzystał metodę badania rozkładu gęstości zmian z wykorzystaniem nieparametrycznych estymatorów jądrowych (*kernel function*). Metoda ta polega na pomiarze gęstości zjawiska na podstawie danych reprezentujących obiekty dyskretne. Analiza badania zmian gęstości rozkładu (*kernel*) odtwarza wartości ciągłej zmiennej na podstawie ograniczonego zbioru punktów pomiarowych. Dzięki temu przestrzenne zróżnicowanie gęstości zjawiska może być badane niezależnie od podziałów administracyjnych (Jażdżewska 2008). Oszacowanie rozkładu gęstości może być więc w zasadzie zastosowane od dowolnego typu

danych, jednak najczęściej wykorzystuje się ją przy analizie danych punktowych. Procedura jego tworzenia oparta jest na metodzie opisanej w pracy B.W Silvermana (ArcGIS HELP 2012, za Silverman 1986). Zazwyczaj w zbiorze obiektów punktowych jądrem dla obliczeń (*kernel function*) jest funkcja gęstości prawdopodobieństwa Gaussa. Każdej takiej funkcji towarzyszy parametr długości (promień), sterujący jej kształtem i stopniem spłaszczenia. W rezultacie obiekt punktowy wyrażony jest wielkością wynikającą z funkcji gęstości prawdopodobieństwa, a następnie sumowany w celu uzyskania powierzchni zagregowanej lub ciągłego pola gęstości (Longley i in. 2006).



Rys. 3. Przykładowa mapa zmian pokrycia terenu dla obszaru badań w latach 1996–2004

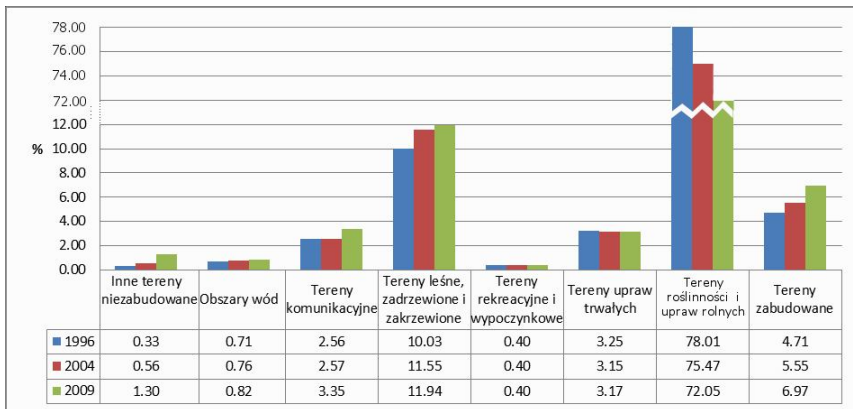
Źródło: opracowanie własne

W niniejszym artykule, aby zastosować metodę badania rozkładu gęstości zmian z wykorzystaniem nieparametrycznych estymatorów jądrowych (*kernel function*), posługującą się danymi dyskretnymi, wygenerowano dla każdej powierzchni zaobserwowanych zmian pokrycia terenu (poligonów) centroidy i przypisywano im odpowiednie wagi. Ich wartość odpowiada wielkości powierzchni poligonów, z których zostały wygenerowane. Gęstość badanego zjawiska zależy więc nie tylko od wartości poszczególnych centroid, ale również od powierzchni poligonów, do których się odnoszą. Pozwala to na wizualizowanie zarówno skali zjawiska, jak i miejsca zaobserwowanych zmian pokrycia terenu. Autor zdaje sobie sprawę, że w przypadku tej metody powierzchnia zmian pokrycia będzie rozlewać się koncentrycznie od punktu – centroidy, podczas gdy większość działek budowlanych wykazuje podłużny, niwowy kształt. W związku z tym obliczona gęstość zjawiska jest lekko zaburzona. Mimo to zastosowana metoda prezentacji rozkładu gęstości i jej wizualny sposób prezentacji oddaje rzeczywiste, dominujące kierunki zmian pokrycia terenu

wokół autostrady. W celu bardziej szczegółowego zbadania tego zjawiska należałoby jednak, szacując gęstość, odnieść się do linii osiowej poligonu i przypisać jej wagę, np. średnią szerokość danego obiektu.

6. Wyniki badań – zmiany pokrycia terenu w gminie Stryków

W latach 1996–2009 zdecydowaną większość badanego obszaru zajmowały tereny roślinności trawiastej oraz upraw rolnych. Ich udział procentowy systematycznie jednak spadał z 78,01% do 72,05% (rys. 4). W sąsiedztwie wybudowanej autostrady wyraźnie wzrósł odsetek terenów zabudowanych, co potwierdza wyniki badań, prowadzonych na przykładzie autostrady A4 przez K. Badorę (2006) i Z. Ziobrowskiego, D. Koreckiego (2009) czy autostrad czeskich, opisywanych przez V. Tesařovą, L. Halounovą (2006). W gminie Stryków lokalizacja autostrady istotnie wpłynęła na rozwój parków przemysłowych i centrów technologicznych położonych w bliskim sąsiedztwie węzła Stryków I oraz Łódź Północ. Zwiększyła się też powierzchnia terenów zadrzewionych, zakrzewionych i leśnych, zwłaszcza wzdłuż istniejących cieków i terenów pokrytych roślinnością wysoką. Na potrzeby budowy autostrady powstały nowe wyrobiska piasku i żwiru, co wpłynęło na wzrost odsetka terenów niezabudowanych o 0,97%. W granicach miasta Stryków można było zidentyfikować zdegradowane tereny poprzemysłowe.

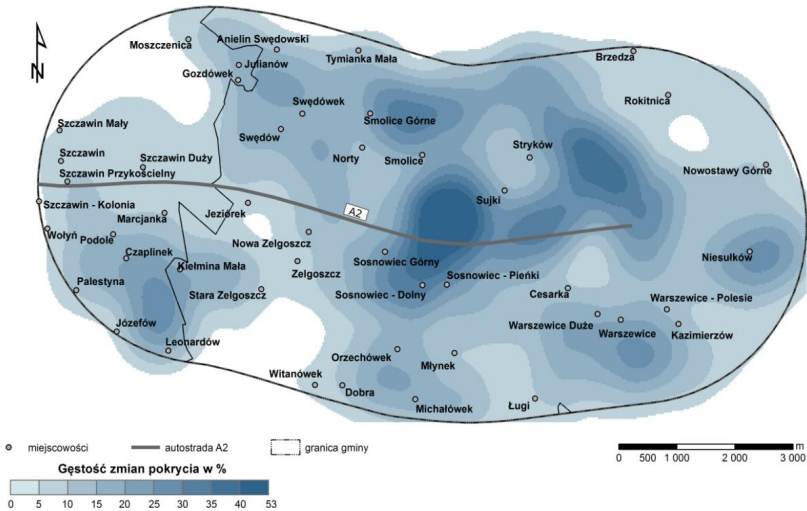


Rys. 4. Zmiany pokrycia terenu w sąsiedztwie autostrady A2 w gminie Stryków w latach 1996–2009.

Źródło: opracowanie własne

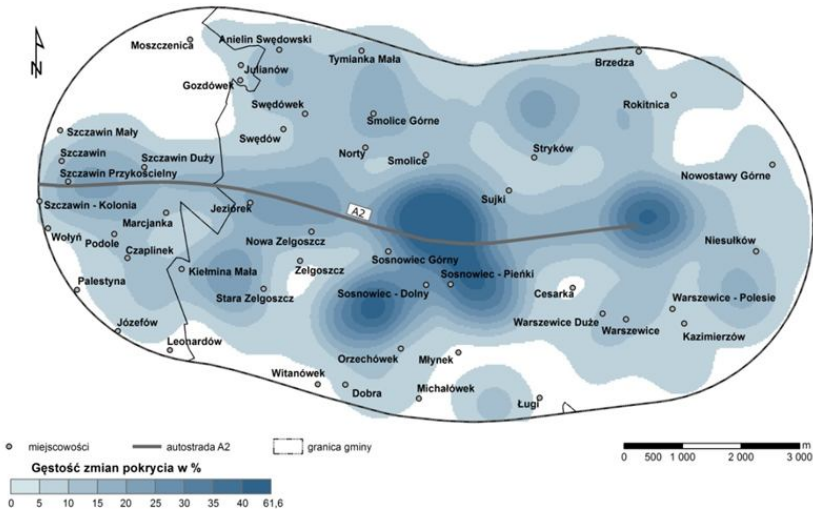
W pierwszym badanym okresie, tj. w latach 1996–2004, czyli w „przedniu” budowy autostrady, najwięcej zmian zaszło w najbliższym otoczeniu

Strykowa. Były to głównie przekształcenia w obrębie klasy terenów rolnych i roślin trawiastych i dotyczyły przekwalifikowania gruntów ornych na łąki i pastwiska. Wyraźnie widać też, że inwestycje przemysłowe wyprzedziły sam proces budowy autostrady, skupiając się wokół projektowanego przebiegu autostrady. Zmiany przed budową autostrady koncentrowały się głównie wokół miasta Stryków oraz na obszarze pomiędzy miejscowościami: Stara Zelgoszcz, Leonardów i Czaplunek (rys. 5).



Rys. 5. Gęstość zmian i jej kierunki wokół autostrady A2 w latach 1996–2004

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Gęstość zmian i jej kierunki wokół autostrady A2 w latach 2004–2009

Źródło: opracowanie własne

W pierwszym przypadku miały one charakter bardziej zwartej, skoncentrowanej w pobliżu planowanych i istniejących autostrad, co mogło oznaczać przygotowywanie tych gruntów pod nadchodzącą inwestycję. W drugim przypadku inwestycja była bardziej rozproszona.

Zaobserwowane przemiany w latach 2004–2009 objęły okres budowy autostrady (lata 2004–2006) oraz jej eksploatacji (lata 2006–2009). W analizie widocznie zaznaczył się koncentryczny układ rozchodzenia gęstości zmian od osi autostrady (rys. 6). Większe gęstości zabudowy zauważa się również wzdłuż ciągów komunikacyjnych połączonych poprzez węzeł Stryków I z autostradą A2. Wyraźnie widać zatem, iż wpływ autostrady na pokrycie i zagospodarowanie terenu jest znaczący. Widoczny wzrost udziału terenów zabudowanych kosztem terenów trawiastych w latach 2004–2009 sugeruje, iż większym stopniu, niż to miało miejsce w latach 1996–2004, przekształcenia dotyczą gruntów ornych przekwalifikowywanych na tereny zabudowy przemysłowej, magazynowej i mieszkaniowej.

7. Wnioski

Przedstawione badania, oparte na metodzie interpretacji wizualnej przy wykorzystaniu ortofotomap obszaru z lat: 1996, 2004 i 2009 oraz metod GIS, wykazały, że autostrada w pewnym rodzaju wpływa na przekształcenia pokrycia terenu w gminie Stryków i je intensyfikuje. Należy pamiętać jednak, że metoda interpretacji wizualnej jest metodą subiektywną – w dużej mierze zależną od umiejętności i doświadczenia fotointerpretacyjnego osoby wykonującej badanie – połączona z prawdopodobnymi błędami interpretacyjnymi. W związku z tym niezbędna jest weryfikacja wyników analiz przestrzennych otrzymanych za pomocą narzędzi GIS. Ze względu na analizę zmian pokrycia terenu w ujęciu dynamicznym dostępne materiały źródłowe pozwoliły na dokonanie tylko częściowej weryfikacji, opierającej się na Bazie Danych Obiektów Topograficznych (BDOT) oraz na mapach topograficznych. Częściowej, ponieważ materiały te cechują się większym stopniem generalizacji danych niż analizowane ortofotomapy. Poza tym, ze względu na to, że metoda interpretacji wizualnej jest bardzo pracochłonna, nadaje się jedynie dla zdjęć wielkoskalowych, przedstawiających niewielkie powierzchnie terenu.

Przeprowadzone badania wykazały przydatność istniejących w polskich zasobach kartograficznych ortofotomap wykonanych na potrzeby programu PHARE i LPIS (dla badanego obszaru w latach 1996, 2004 oraz 2009). Ich zaletą jest wysoka rozdzielczość oraz fakt, iż wykonane zostały na terenie prawie całego kraju. Nie mają jednak zakresu bliskiej i średniej podczerwieni dla lat 1996 oraz 2004, co ogranicza możliwość ich wykorzystania metodą klasyfikacji obiektowej i rastrowej.

Wykorzystana metoda badania rozkładu gęstości zmian z wykorzystaniem nieparametrycznych estymatorów jądrowych (*kernel function*) do badania zmian pokrycia terenu pozwoliła uchwycić skalę oraz kierunki przekształceń terenów. Nie pokazała jednak ich struktury, osłabiając wpływ bardziej rozproszonych klas pokrycia terenu o niewielkiej powierzchni, tj. tereny zabudowy mieszkaniowej. Aby uchwycić te zmiany, dla każdej z klas należałoby opracować odrębną mapę, zwiększając promień analizy – zasięg oddziaływania poszczególnych obiektów.

Wyniki badań nad zmianami pokrycia terenu potwierdzają zależności pojawiające się przy innych inwestycjach tego typu zarówno w Polsce (przy autostradzie A4), jak i w innych krajach Europy Środkowo-Wschodniej, np. w Czechach. Przy węzłach autostrady zwiększa się gęstość zabudowy przemysłowej i magazynowej, a wzdłuż autostrady pojawiają się również rozległe wyrobiska surowców skalnych wykorzystywanych na budowę autostrad. Dodatkowo można zauważyć, że tereny mieszkaniowe zazwyczaj grupują się w strefie do 500 m od inwestycji. Wyniki potwierdzają słuszność stosowania wybranych metod i narzędzi GIS do badania natężenia i kierunku pokrycia terenu wokół autostrad.

Literatura

ArcGIS HELP [en]:

<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z00000011000000.htm> (dostęp: 27 lipca 2012 r.).

Badora K., 2004, *Autostrada – środowisko przyrodnicze. Studium konfliktów przestrzennych na przykładzie opolskiego odcinka autostrady A4*, Uniwersytet Opolski, Opole.

Belniak S., Kałowski L., Kowalik J., Maciejowski S. (red.), 2009, *Uwarunkowania budowy autostrady A4 Kraków–Tarnów*, MWSE, Tarnów.

Biliszczuk J., Szkrzydło A. (red.), 2001, *Autostrada A4 Odcinek Wrocław–Nogowczyce*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław–Opole.

Cała C., 1978, *Rola autostrad w zagospodarowaniu przestrzennym na podstawie doświadczeń włoskich*, PWN, Łódź.

Ciołkosz A., Ołędzki J., Miszański J., 1999, *Interpretacja zdjęć lotniczych*, PWN, Warszawa.

Ciołkosz A., Poławski Z.F., 2006, *Zmiany użytkowania ziemi w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, „Przegląd Geograficzny”, 78 (2), s. 173–190.

Corine Land Cover Technical Guide, 1993, Office for Official Publications of European Communities, Brussels, Luxembourg.

Czarnecki J., Pankowski D., 1999, *Problematyka scaleń i wymian gruntów w Agencji Budowy i Eksploatacji Autostrad. Zagospodarowanie przestrzenne terenów rolniczych w pasie oddziaływania autostrady*, Wydawnictwo Wieś Jutra s.c., Warszawa.

- Gola S., Langner R. (red.), 2009, *Gruntowe uwarunkowania autostrady A4 Kraków–Tarnów*, [w:] Belniak S., Kałkowski L., Kowalik J., Maciejowski S. (red.), 2009, *Uwarunkowania budowy autostrady A4 Kraków–Tarnów*, MWSE, Tarnów.
- Jażdżewska I., 2008, *Przemiany miejskiej sieci osadniczej w Polsce w świetle metod matematycznych*, Wydawnictwo UŁ, Łódź.
- Kubik T., Paluszyński W., Iwaniak A., Tymków P., 2008, *Klasyfikacja obrazów rastrowych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych i statystycznych metod klasyfikacji*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław.
- Lewiński S., 2006, *Rozpoznanie form pokrycia terenu i użytkowania ziemi na zdjęciu satelitarnym LANDSAT ETM+ metodą klasyfikacji obiektowej*, „Roczniki Geomatyki”, 4, s. 139–152.
- Lewiński S., 2007a, *Obiektowa klasyfikacja zdjęć satelitarnych jako metoda pozyskiwania informacji o pokryciu i użytkowaniu ziemi*, Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- Lewiński S., 2007b, *Porównanie klasyfikacji obiektowej z tradycyjną klasyfikacją pikselową z punktu widzenia automatyzacji tworzenia bazy danych o pokryciu i użytkowaniu terenu*, „Roczniki Geomatyki”, 5, s. 63–73.
- Liszewski S., Włodarczyk B., 2011, *Wpływ autostrady A2 Warszawa Berlin (na odcinku od Strykowa do granicy z Niemcami) na kształtowanie regionów turystycznych*, [w:] Gołembski G. (red.), *Wpływ autostrady Warszawa–Berlin na rozwój turystyki w regionie*, Wydawnictwo PWSZ, Sulechów.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2006, *GIS. Teoria i praktyka*, PWN, Warszawa.
- Nowakowski T., Podedworna-Łuczak M., 2009, *Raport o oddziaływaniu na środowisko dróg i autostrad. Poradnik prawno-metodyczny*, Seidel Przywecki, Warszawa.
- Patalas A., 2011, *Wstęp*, [w:] Gołembski G. (red.), *Wpływ autostrady Warszawa–Berlin na rozwój turystyki w regionie*, PWSZ, Sulechów.
- Rekowski M., Kawa A., Jureczak M., 2011, *Pozytywne aspekty ekonomiczne oddziaływania autostrady A2 na region Wielkopolski*, [w:] Gołembski G. (red.), *Wpływ autostrady Warszawa–Berlin na rozwój turystyki w regionie*, PWSZ, Sulechów.
- Silverman B.W., 1986, *Density estimation for statistics and data analysis*, Chapman and Hall, New York.
- Stasiak A. (red.), 1997, *Konflikty wokół autostrad w Polsce*, KPZK PAN, Warszawa.
- Strembicka D., Szczerba T., 1999, *Sporządzanie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego terenów oddziaływania autostrady ze szczególnym uwzględnieniem rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Materiały seminarium Zagospodarowanie przestrzenne terenów rolniczych w pasie oddziaływania autostrady*, Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, Warszawa.
- Stuczyński M., 2011, *Wpływ infrastruktury drogowej na sąsiadujące ekosystemy w świetle literatury*, [w:] Gołembski G. (red.) *Wpływ autostrady Warszawa–Berlin na rozwój turystyki w regionie*, PWSZ, Sulechów.
- Tesařova V., Halounová L., 2006, *The study of land cover changes development influenced by the highway construction*, [w:] Braun M. (red.), *Second Workshop of the EARSeL SIG on remote sensing of land use & land cover, „Application and Development”*, Universität Bonn, Bonn.

- Wegener M., Fürst F., 1999, *Land-use transport interaction: State of the art*, Institut für Raumplanung, Dortmund.
- Wężyk P., 2010, *Dostępność zdjęć lotniczych i zobrazowań satelitarnych*, [w:] Okła K. (red.), *Geomatyka w lasach państwowych*, cz. 1: *Podstawy*, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Wytyczne techniczne. Baza Danych Topograficznych. TBD*, 2008, Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Zagospodarowanie przestrzenne terenów rolniczych w pasie oddziaływania autostrady*, 1999, IX Konferencja Polskiego Towarzystwa Informatyki Przestrzennej, 14–15 września 1999, Wydawnictwo Wieś Jutra s.c., Warszawa.
- Ziobrowski Z., Korecki D., 2009, *Planowanie przestrzenne i formy zagospodarowania terenów w sąsiedztwie węzłów autostradowych ze szczególnym uwzględnieniem autostrady Kraków–Tarnów*, [w:] Belniak S., Kałkowski L., Kowalik J., Maciejowski S. (red.), 2009, *Uwarunkowania budowy autostrady A4 Kraków–Tarnów*, MWSE, Tarnów.

ANALYSIS OF LAND COVER CHANGES FOR AREAS LOCATED AROUND THE MOTORWAYS WITH USE OF GIS METHODS

This article aims to develop a method of acquiring land cover changes data on the basis of high resolution orthophotography derived from Polish cartographic resources. The assessment of information sources was also examined in terms of its utility in such analysis. Simultaneously, using selected example, it was outlined, how the surrounding the A2 motorway area in the Stryków community had changed between the years 1996 and 2009. Some methods and tools applied in geoprocessing and spatial analyses were also presented.

Many scientific publications describe data acquiring methods based on aerial photography and ortophotomaps that can be used in land cover and land use analyses. These methods may be divided into manual (visual), semi-automatic and automatic interpretation methods (e.g. raster, hybrid, object methods).

In this survey the manual interpretation method was applied due to the input data accessibility e.g. ortophotomaps that were made only in the visible light spectrum with different tone colors and contrasts for each year (1996, 2004, 2009). This research involved following steps: (1) projecting of geodatabase structure, (2) visual interpretation of ortophotomaps in order to create land cover maps for 1996, 2004 and 2009, (3) delimitation of land cover changes, (4) survey results analysis with kernel density tool in order to present the density and direction of land cover changes in the neighbourhood of A2 motorway.

The research indicated the straight majority of area surveyed in the years 1997–2009, was covered by gramineous vegetation and crops. However, the percentage of this class was decreasing systematically during those years. There was also remarkable increase for industrial and built-up areas. In the neighbourhood of A2 motorway in Stryków community, the growth of woodlands, wooded and shrubs area class was also noticed.

For the building A2 motorway purposes there were created new gravel-pits and excavations of sand nearby the road. That is why for the area surveyed the percentage of greenfields was larger in 2009 than in 1996.

Keywords: *GIS, land cover, motorway, kernel function*

Mgr Łukasz Lechowski
Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych,
Instytut Geografii Miast i Turystyki, Zakład Geoinformacji
e-mail: lukasz.lechowski@gmail.com

Złożono do druku 20 grudnia 2012 r.

ISSN 1508-1117