

## Zdjęcia lotnicze jako źródło informacji o dynamice zmian zagospodarowania terenu w strefie autostrady A-2 w granicach miasta Poznania

*Aerial photography as a source of information about dynamics of land development changes in the zone of A2- in the boundaries of Poznań*

Andrzej KIJOWSKI, Piotr BOGDAN

**Słowa kluczowe:** Autostrada, fotomapa, zdjęcia lotnicze, GIS, georeferencja  
**Key words:** Motorway, aerial photo, GIS georeferencing

Presented land-use and development map of the zone of planned A2 motorway was based on vertical aerial photographs from 1941. Material produced during the process of photointerpretation established the basis for further comparative analysis of land-use changes in the year 1998, which means before motorway existed and in 2007, when motorway was fully operational.

### Wstęp

Materiały teledetekcyjne, przede wszystkim w postaci zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych oraz produkty fotogrametryczne powstałe przez ich przetworzenie (ortofotomapy), mają ugruntowaną pozycję w badaniach środowiska geograficznego, a także w urbanistyce, planowaniu przestrzennym i innych gałęziach wiedzy (Ciołkosz *et al.* 1999). Jednak dopiero w ciągu ostatnich kilku lat stały się one powszechnie dostępne. Jest to skutkiem nie tylko transformacji ustrojowej, która nastąpiła w Polsce po 1989 roku, ale także ze względu na rozwój nowoczesnych technologii informatycznych, umożliwiających udostępnianie informacji (w tym obrazowej) poprzez sieci komputerowe, w szczególności Internet. (Kijowski *et al.* 2008). Poczynając od pierwszego fotografowania całej Europy w latach 1940-1944 przez lotnictwo niemieckie a kończąc na programie „otwarte niebo” kiedy to poprzez program PHARE w Polsce zostały wykonane zdjęcia lotnicze całego kraju, dokonał się niezwykle postęp w zakresie dostępności materiałów teledetekcyjnych. Nałożenie na procedurę wykonywania zdjęć lotniczych w Polsce, postępu technologicznego jaki się dokonał w świecie

GIS tools were used for analysis of land-use changes and development dynamics between 1941 and 2007 in the zone of the motorway. Incorporated method allowed to perform spatial statistics of land-use transformations. The main result was a gradient of transformations of land-use in the area of A2 motorway in city of Poznań.

w zakresie techniki rejestracji a szczególnie dokładności (zdolności rozdzielczej) materiałów teledetekcyjnych zaowocowało ogromnym zasobem danych o powierzchni terenu. Ogólnie dostępna platforma „geoportalu” ([www.geoportal.gov.pl](http://www.geoportal.gov.pl)) z najbardziej aktualnymi produktami fotogrametrycznymi pozwala na dokonywanie analiz zmian użytkowania terenu w mikro skalach oraz ponad pięćdziesięcioletnich interwałach czasowych. Elementy środowiska przyrodniczego a w szczególności zmiany użytkowania terenu są powszechnie stosowanym materiałem informacyjnym w procesach planowania przestrzennego i kompetentnego zarządzania środowiskiem przyrodniczym.

W niniejszym artykule analizując materiały teledetekcyjne w przedziale czasowym 1941 a 2007 przedstawiono oddziaływanie inwestycji komunikacyjnej jaką jest autostrada w zakresie tempa zmian użytkowania terenu wokół poznańskiego odcinka autostrady A2.

### Obszar badań

Obszar badań obejmuje 11-kilometrowy odcinek pasa autostrady A2 od węzła Poznań-Komorniki do węzła

zła Poznań-Krzesiny. Autostrada A2 pełni funkcję południowej obwodnicy miasta Poznania i jest integralną częścią sieci drogowej miasta. Obszar ten można określić jako strefę podmiejską.

Cechą charakterystyczną strefy podmiejskiej jest występowanie obok siebie obszarów przemysłowych, mieszkalnych, rekreacyjnych i rolniczych spełniających różnorodne funkcje i powstanie w związku z tym licznych konfliktów środowiskowych. Strefa podmiejska odznacza się jednocześnie ogromną dynamiką zmian użytkowania terenu (Matuszyńska I., 1995). Administracyjnie autostrada przebiega przez południową część miasta Poznań a w centralnej części przez miasto Luboń. Oznacza to że obiekt badań stanowi swoistą granicę pomiędzy dwoma miastami gdzie występuje bardzo wysoki stopień zurbanizowania a zarazem zantropogenezowania środowiska przyrodniczego. Geograficznie obszar znajduje się w makroregionie Pojezierze Wielkopolsko – Kujawskie w mezoregionie Poznański Przełom Warty (Kondracki, 2000).

Przedmiotowa inwestycja, autostrada A-2 przecina sieć hydrograficzną w postaci Strumienia Junikowskiego oraz rzeki Warty i położona jest na terenie nizinnym o małych deniwelacjach terenu oscylujących w granicach 2 – 6 metrów.

Rycina 1 przedstawia obszar badań – fragment autostrady na tle zdjęcia lotniczego z 2007 roku.

## Cel badań

Celem badań było zastosowanie multi czasowych zdjęć i produktów teledetekcyjnych do badania dynamiki zmian użytkowania terenu przy zastosowaniu narzędzi GIS w kontekście stopnia przekształcania środowiska przyrodniczego w wyniku trwających procesów urbanizacyjnych a w szczególności budowy i funkcjonowania autostrady. Drugim celem było stworzenie modelu dynamiki zmian użytkowania i zagospodarowania (tzw. gradientu antropogenezacji) terenu na który oddziałuje autostrada w oparciu o technologie GIS a co za tym idzie przy wykorzystaniu bazy danych przestrzennych badanego obszaru.

Badania fotointerpretacyjne i analizy statystyczne dotyczyły odcinka autostrady A2 o długości

11 km, od węzła Komorniki do węzła Krzesiny pod Poznaniem.

## Metody badań

Jako dane źródłowe wykorzystano zdjęcia lotnicze panchromatyczne wykonane w 1941 roku przez Hersteller Sonderluftbildabteilung des R.L.M., Gruppe Berlin. Sonderluftbildabt d. RLM 1941. Der Reichsminister der Luftfahrt und Oberbefehlshaber der Luftwaffe 1943., opracowane w postaci fotomapy o nazwie Bildplanwerk w skali 1:25 000, Posen-Süd nr 3667, osadzonej w układzie współrzędnych prostokątnych płaskich Meßtischblätter. (Archiwum Map WNGiG UAM).

Zdjęcie lotnicze wykonane na potrzeby badań, kamerą RMK A 15/23 o ogniskowej 152,5mm na materiale fotograficznym Kodak Aerocolor Negative 2444 23 września 1998 roku z wysokości 4200 metrów w skali oryginalnej 1:27 357 przetworzone do postaci fotomapy w skali 1:10 000 w układzie współrzędnych geograficznych oraz prostokątnych płaskich PUWG 65.

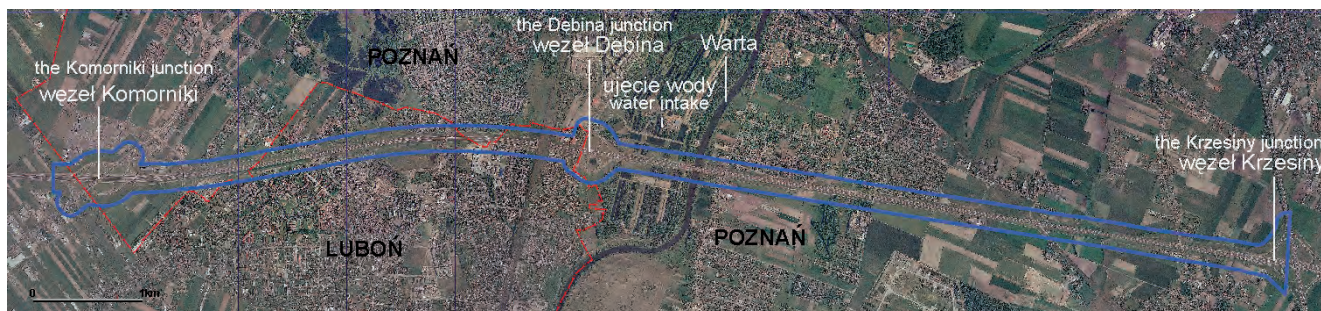
Zdjęcie lotnicze wykonane kamerą RMK A15/23 w skali oryginalnej 1:26 055 na materiale AGFA AVI COLOR-400PE-1 z 5 maja 2007 roku przetworzone do postaci fotomapy w skali 1:10 000 w układzie współrzędnych geograficznych i prostokątnych płaskich PUWG 92.

Fotomapy zostały poddane georeferencji, geometryzacji a następnie transformacji do układu współrzędnych prostokątnych płaskich PUWG 92 w programie ArcView w celu doprowadzenia materiałów źródłowych do postaci kartometrycznej na potrzeby pomiarów powierzchni oraz odległości badanych obiektów.

Badania zmian użytkowania zostały podzielone na 2 etapy analityczne:

- etap fotointerpretacyjny polegający na identyfikacji i lokalizacji przebiegu projektowanej i zrealizowanej inwestycji drogowej w postaci autostrady. Etap ten doprowadził do opracowania kategorii użytkowania terenu a co za tym idzie przedstawienia fotointerpretacyjnych wzorów obrazowych dla poszczególnych okresów badawczych.

- etap analiz narzędziami GIS miał za zadanie zgeometrowanie, osadzenie w układzie współrzędnych



Ryc. 1. Obszar badań – południowa obwodnica Poznania (opracowanie własne na podstawie zdjęcia lotniczego A. Kijowski)  
 Fig. 1. Research area – southern bypass of Poznań (own's workout based on aerial photograph by A. Kijowski).

prostokątnych płaskich i prowadzenie analiz przestrzennych pozyskanych danych z posiadanych produktów teledetekcyjnych.

### Etap fotointerpretacyjny (przygotowawczy)

Oceniając zmiany użytkowania terenu poznańskiego odcinka autostrady A2 wzięto pod uwagę dwa okresy związane z budową i funkcjonowaniem autostrady. Okres pierwszy 1941 – 1998 to okres od wytyczenia trasy autostrady i rozpoczęcie prac „ziemnych” w latach 1940 i zaniechania ich, aż do lat 90 – tych gdzie uwiarydlały się zmiany w zagospodarowaniu terenu w wyniku procesów urbanizacyjnych w strefie dwóch miast Poznania i Lubonia.

Drugi okres to przedział czasowy 1998-2007, który dotyczył stanu krótko przed wybudowaniem A-2 oraz kilkuletni czas funkcjonowania autostrady generującej określony poziom zainwestowania strefy przy autostradzie.

Interpretacja materiałów fotolotniczych w połączeniu z analizą stanu użytkowania podmiejskiej strefy miasta Poznania za I. Matuszyńską (2001) doprowadziły do zdefiniowania występujących kategorii użytkowania terenu i przypisaniu ich do stosowanych klasyfikacji użytkowania terenu w geostystemach miejskich. Wydzielono zatem 8 podstawowych typów funkcjonalno – przestrzennych użytkowania:

- agrocenoza: pola uprawne, sady
- drogi: utwardzone drogi wszystkich kategorii, gruntowe drogi wiejskie
- kolej: torowiska kolejowe wraz z nasypami
- lasy: lasy komunalne, skupiska drzew
- roślinność niska: łąki, zarośla krzaczaste, nieużytki
- obszary zurbanizowane: domy jedno i wielorodzinne, budynki usługowe, ogródki działkowe
- składowisko odpadów
- woda: zbiorniki wód stojących oraz cieki i rzeki

Dodatkowo w obrębie węzła Komorniki dokonano bardziej szczegółowej analizy i wydzielono 10 typów funkcjonalno-przestrzennych:

- agrocenoza: pola uprawne, sady
- budynki mieszkalne: domy jedno i wielorodzinne
- cmentarz,
- drogi: utwardzone drogi wszystkich kategorii, gruntowe drogi wiejskie
- ogrody przydomowe, ogródki działkowe
- niska roślinność: łąki, zarośla krzaczaste, nieużytki
- budynki usługowe,
- powierzchnie usługowe: parkingi, drogi wewnętrzne
- zbiorniki wodne,
- zabudowa wielko powierzchniowa w postaci obiektów usługowo-produkcyjnych.

W trakcie wstępnej interpretacji materiałów lotni-

czych celem było zestawienie wybranych typów użytkowania i zagospodarowania terenu w relacji porównawczej obrazów lotniczych obszaru badań zarejestrowanych na zdjęciach archiwalnych i współczesnych w kontekście zawartości informacyjno- obrazowej materiałów fotolotniczych.

Poniżej w tabeli nr 1 zestawiono kilka wybranych fragmentów z trasy autostrady ilustrujące stopień przekształcenia terenu w okresie badawczym 1941–2007.

Jak przedstawia powyższa tabela w strefie obecnie funkcjonującej autostrady A – 2 zaszły istotne zmiany zagospodarowania terenu. Najbardziej stabilne okazują się obszary agrocenozy, a w nich niwowy układ pól i sieć hydrograficzna. i topologia sieci komunikacyjnej. Pozostałe typy zagospodarowania terenu ulegały systematycznemu przekształceniu w wyniku procesów urbanizacyjnych. Widoczne zmiany dotyczyły sieci komunikacyjnych, budownictwa jednorodzinne oraz eksploatacji kruszywa ilastego a następnie deponowania odpadów komunalnych. W wyniku budowy autostrady nastąpiły techniczne przekształcenia terenu przeznaczonego pod pas drogowy, który w strefach węzłów generuje aktywizację gospodarczą.

### Etap analiz GIS

Istotą zastosowań GIS w roli narzędzia geografa jest możliwość dokonywania szeroko pojętej analizy geograficznej. Od możliwości wykonywania różnych zadań analitycznych zależy w głównej mierze przydatność oprogramowania GIS. Analiza geograficzna jako funkcja GIS jest podstawowym miernikiem wykorzystania systemu przez użytkowników.

W gronie najważniejszych funkcji analitycznych GIS pomocnych w rozwiązaniu powyższych problemów Werner (1992) wymienia:





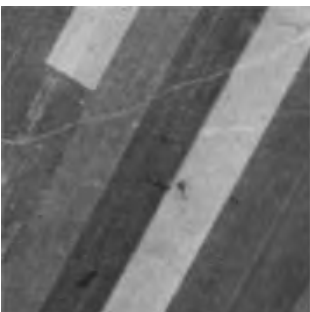

- nakładanie obiektów przestrzennych (map) – (ang. *overlay*),
- przeklasyfikowanie obiektów – (ang. *reclassifi*),
- analiza sąsiedztwa, odległości i powiązań obiektów przestrzennych wynikających z topologii (B. Kuraś 2007).



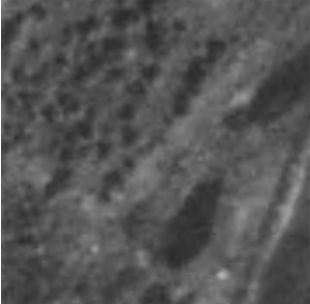





Dopełnieniem wymienionych analiz jak wspomina B.Kuraś (2007) jest graficzna prezentacja wyników analiz w postaci produktów kartografii komputerowej, a w konsekwencji map tematycznych. Możliwości operacyjno obliczeniowe komputerów umożliwiają wizualizację wyników w postaci trójwymiarowej np. modele użytkowania, modele przekształceń rzeźby w trakcie budowy dróg.

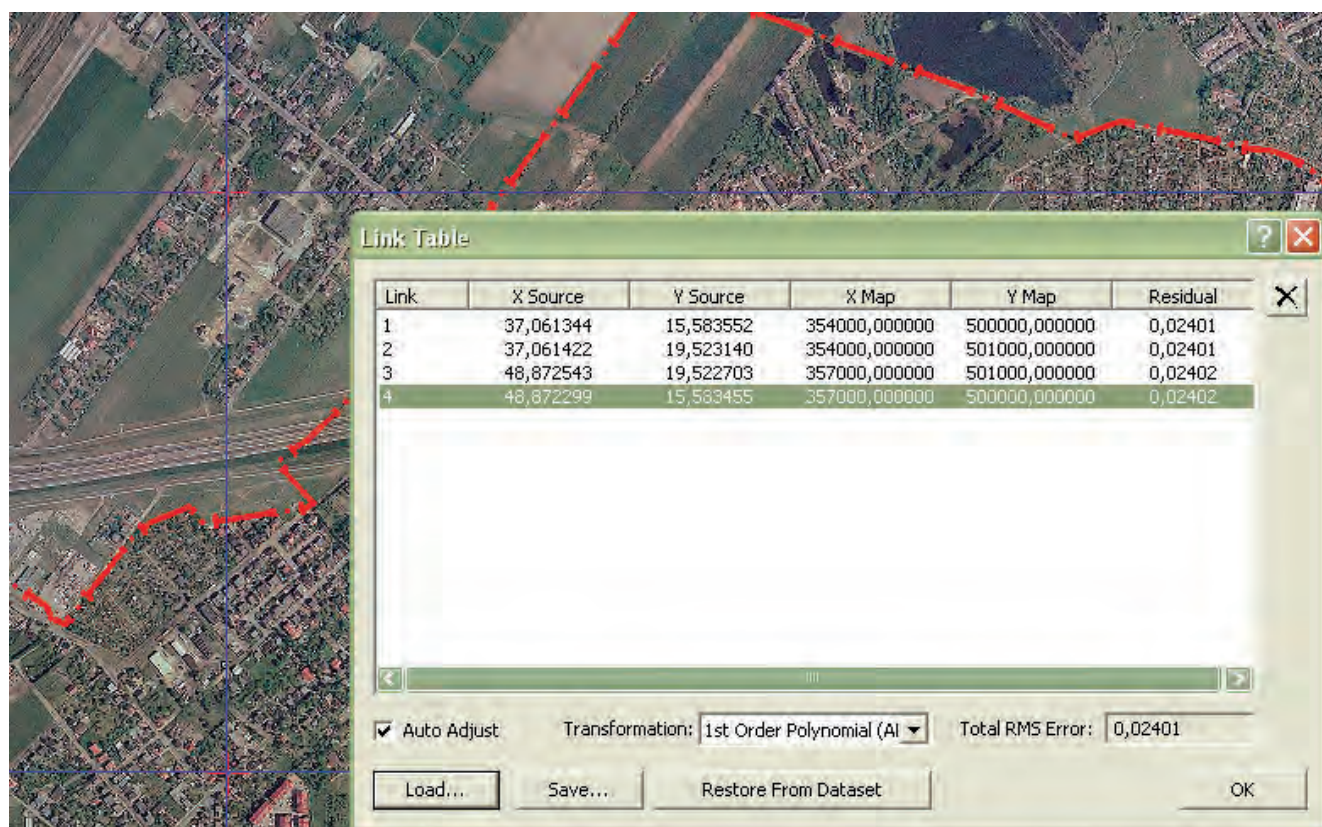
Do badania dynamiki zmian zagospodarowania a zarazem użytkowania terenu w pasie autostrady i jej otoczenia użyto jednego z wiodących pakietów oprogramowania GIS – ArcGIS firmy ESRI w celu wykonania analiz przestrzennych.

Program ten daje możliwość pracy na materiałach rastrowych oraz wektorowych, osadzania i georeferencji materiałów kartograficznych, tworzenia nowych warstw,

Tabela 1. Porównanie klas użytkowania terenu na materiałach teledetekcyjnych z 1941 i 2007 roku.  
 Table 1. Comparison of land-use classes on remote sensing materials from 1941 and 2007.

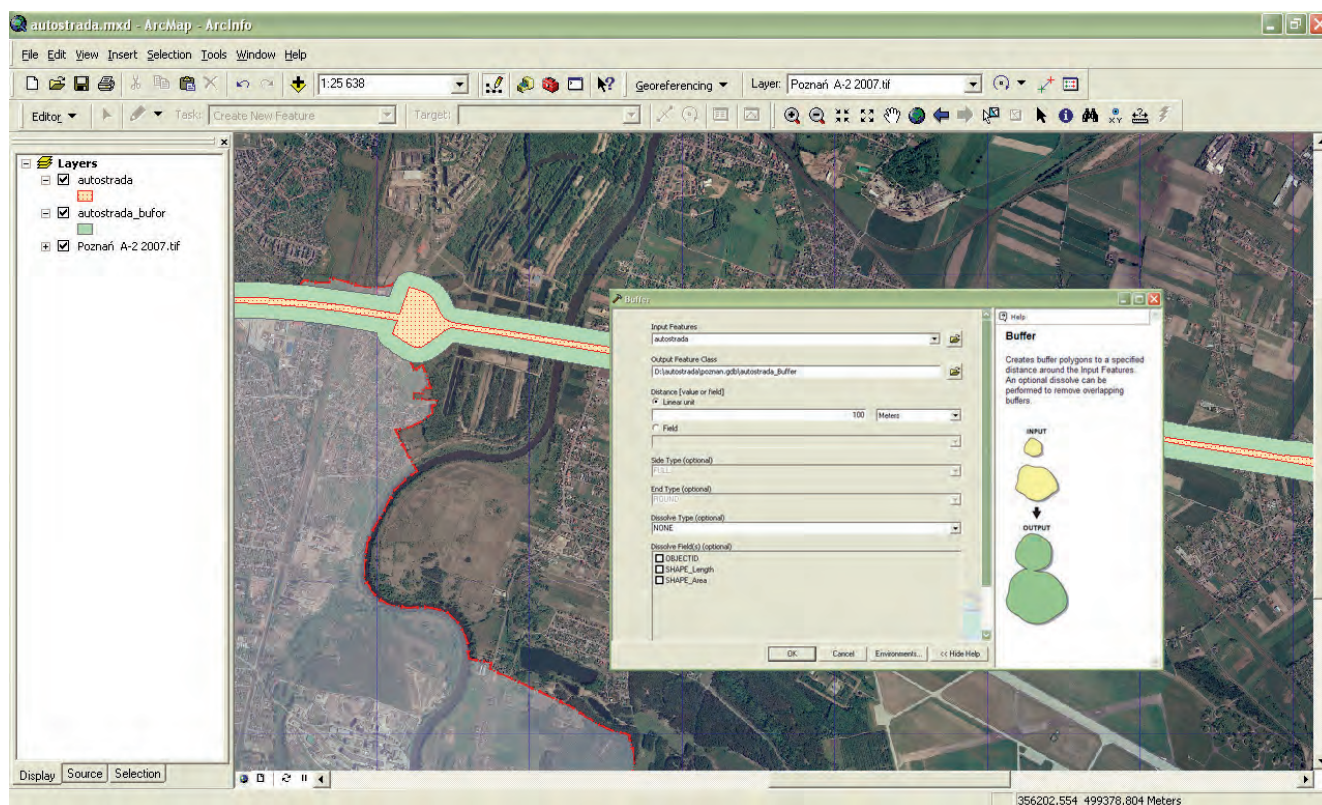
Fotomapa z 1941 roku <i>Photomap from 1941</i>	Obiekt/stan <i>Object/situation</i>	Zdjęcie lotnicze z 2007 r. <i>Aerial photography from 2007</i>	Cechy <i>Features</i>
	<p>Trasa linii kolejowej na terenach rolniczych w strefie buforowej miasta Poznania i Lubonia.  <i>Railway route on the agricultural areas in the buffer zone of Poznań and Luboń cities.</i></p>		<p>Zmiana użytkowania (ogródki działkowe) terenu wokół linii kolejowej. Nowa trasa omijająca dworzec Poznań - Główny zlokalizowany w śródmieściu..  <i>Land-use changes (allotment gardens) around the railroad. The new track avoiding Poznań Główny train station located in the city centre.</i></p>
<p>Układ sieci kolejowej w Poznaniu i jego okolicach jest niezmienny od 1911 roku. Charakterystyczną cechą w strefie buforowej Poznania i Lubonia jest niezmienny przebieg torów na nasypach lub w wykopie co miało na celu bezkolizyjny ruch pociągów.  <i>Railway structure in Poznań and its environs has been invariable since 1911. The characteristic feature in the buffer zone of Poznań and Luboń cities is the invariable railroad route on railway embankments or in the pit, what was destined to provide the collision-free movement of trains.</i></p>			
<p>Obszary zurbanizowane <i>Urban area</i></p> 	<p>Początkowa faza budowy osiedla domów jednorodzinnych.  <i>The initial stage of building single-family house estates.</i></p>	<p>Obszary zurbanizowane <i>Urban area</i></p> 	<p>Zabudowa jednorodzinna zagęszczona z wykształconymi ogrodami przydomowymi.  <i>Dense single-family houses area with adjoining gardens.</i></p>
<p>Obszary zurbanizowane zlokalizowane przy ciągach komunikacyjnych, typowa zabudowa zagrodowa. Współczesne zagospodarowanie terenu ma charakter mieszkaniowo-usługowy. <i>Urban areas are located by the transport routes, typical farm buildings. Modern land-use is of residential and service character.</i></p>			
<p>Agrocenoza <i>Agricultural area</i></p> 	<p>Niwowy układ pól bez sieci osadniczej.  <i>Open-field system without the settlement net.</i></p>	<p>Agrocenoza <i>Agricultural area</i></p> 	<p>Utrzymany układ niwowy pól.  <i>Kept open-field system.</i></p>
<p>Wielkopolska charakteryzuje się wielkopowierzchniowym, i niwowym układem pól. Jest to uwarunkowane historycznie. W przypadku strefy obecnej autostrady układy pól nie uległy komasacji. <i>Wielkopolska is characterized by large-area and open-field system. It is historically conditioned. In the case of the current freeway zone, field systems were not aggregated.</i></p>			

Droga Road		Droga Road	
	<p>Droga o randze ponad lokalnej, zadrzewiona wśród pól. <i>The road of the supralocal rank, wooded among the fields.</i></p>		<p>Współczesne rozwiązania komunikacyjne charakteryzują się dużą złożonością rozwiązań bezkolizyjnych. Strefa węzłowa z elementami aktywizacji gospodarczej. <i>Modern transport solutions are characterized by high complexity of collision-free solutions. Junction zone with elements of economic revival.</i></p>
<p>Ze względu na zmianę funkcji z rolniczej na mieszkaniowo – usługową obszarów peryferyjnych miasta nastąpiła znaczna rozbudowa sieci drogowej zapewniającej dogodny dojazd do obiektów magazynowo - usługowych. <i>The change in function of the suburban areas - from the agricultural to residential and service one - was followed by significant development of road structure providing favorable access to storage-service buildings.</i></p>			
Lasy Forest		Lasy Forest	
	<p>Duże zwarte kompleksy leśne w dolinie rzeki Warty mają charakter naturalnych lasów łęgowych. <i>Large and dense forest complexes in the valley of the Warta river have a character of natural riverine forests.</i></p>		<p>Lasy stanowią naturalną barierę ochronną dla wybudowanego infiltracyjnego ujęcia wody. <i>Forests are the natural protective barrier for the built infiltration water intake.</i></p>
<p>Zdecydowana zmiana użytkowania terenu z lasów łęgowych w dolinie rzeki na ujęcie wodne wraz ze strefą ochronną w postaci lasów. <i>Determined land-use change from riverine forests in the river valley to water intake with the protective zone in the form of forests.</i></p>			
Woda River and lake		Woda River and lake	
	<p>Stawy infiltracyjne ujęcia wody Dębina powstały w sztuczny sposób w wyniku budowy zbiorników wodnych. <i>Infiltration Ponds of Dębina water intake have been created artificially as a result of building water reservoirs.</i></p>		<p>W wyniku budowy autostrady nastąpiła przebudowa fragmentu ujęcia wody. <i>As a result of building the motorway a part of the water intake has been rebuilt.</i></p>
<p>Ujęcie wody dla miasta Poznania jest jednym z dwóch ujęć wody zaopatrujących miasto w wodę pitną. Sztuczne stawy infiltracyjne zapewniają jedynie częściowe zaopatrzenie w wodę. <i>Water intake for the city of Poznań is one of two water intakes supplying the city with drinking water. Artificial infiltration ponds only provide partial water supply.</i></p>			
Składowisko odpadów Landfill site			
	<p>Składowisko odpadów położone w dolinie Potoku Junikowskiego. <i>Landfill site located in Potok Junikowski valley.</i></p>		<p>Budowa autostrady spowodowała konieczność rekultywacji dawnego wysypiska śmieci w Luboń. Na jego miejscu powstała autostrada oraz drogi dojazdowe. <i>Building the motorway has caused the necessity of the former landfill site's reclamation in Luboń. In its place arose the motorway and the access roads.</i></p>



Ryc.2 Georeferencja fotomapy z 2007 roku (P. Bogdan).

Fig. 2. Georeferencing of the photomap from 2007 (P. Bogdan).



Ryc. 3. Wyznaczenie 100-tu metrowego bufora dla pasa autostrady (P. Bogdan).

Fig. 3. 100 m buffer for the motorway strip (P. Bogdan).

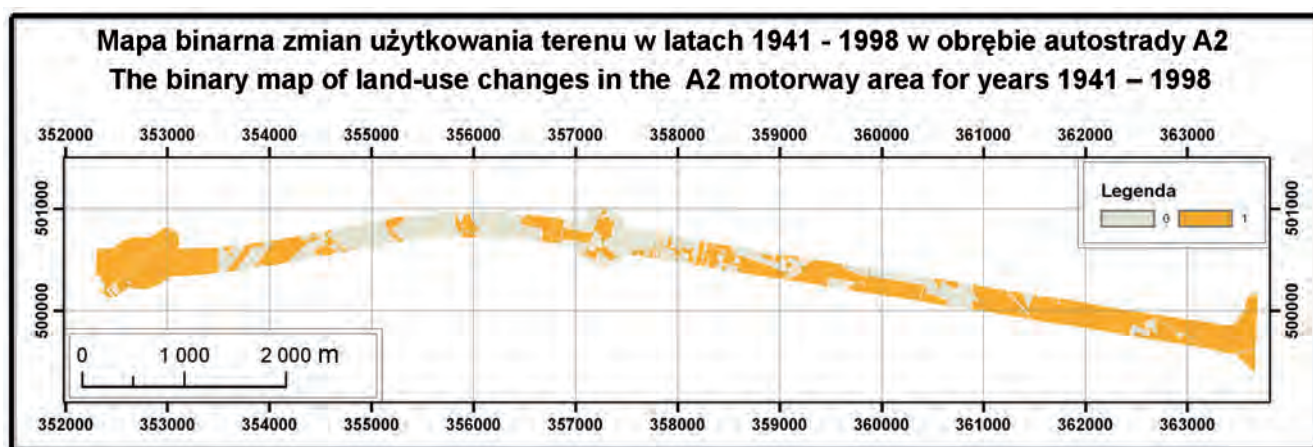
pracy z bazą danych a także licznych analiz geograficznych i statystycznych np. tworzenie buforów, obliczanie powierzchni, długości, obwodu danego obiektu, obliczanie spadków i ekspozycji stoków oraz narzędzia algebry map.

W celu wykonania analizy dynamiki zmian użytkowania terenu dokonano georeferencji, a następnie transformacji do układu współrzędnych prostokątnych płaskich P UWG 92 cyfrowych fotomap. W ten sposób wszystkie fotomapy osadzono w tym samym układzie współrzędnych i stały się w pełni kartometryczne. Dalejszymi czynnościami etapu analiz przestrzennych, była digitalizacja wcześniej zgeoreferencjonowanych map w oparciu o klasy użytkowania terenu wydzielone na etapie fotointerpretacji. Po uzyskaniu cyfrowych map użytkowania terenu dla wszystkich badanych okresów czasowych, przy pomocy algebry map wykonano ich analizę porównawczą. Wynikiem tej analizy są dwie (dla okresu 1941- 1998 i 1998- 2007) mapy binarne (zero-jedynkowe) przedstawiające zmiany użytkowania terenu. W ostatecznym etapie uzyskano na podstawie obliczeń powierzchni poszczególnych typów użytkowania ilościowy wynik zmian użytkowania terenu. Algorytm postępowania dla całego badanego odcinka proponowany przez autorów wygląda następująco:

1. Osadzenie oraz georeferencja fotomap (ryc. 2.) w oparciu o siatki kartograficzne fotomap oraz

dotatkowo wyznaczone punkty kontrolne posiadające znane współrzędne w terenie, mające na celu redukcję zniekształceń fotomap.

2. Digitalizacja pasa autostrady jako nowej warstwy wektorowej na potrzeby wyznaczenia 100-tu metrowego pasa buforowego wokół autostrady.
3. Wyznaczenie 100-tu metrowego bufora wokół autostrady (ryc.3.).Do wyznaczenia bufora zastosowano narzędzie *buffer*.
4. Aby uzyskać identyczny obszar badań dla wszystkich okresów czasowych badań utworzono 3 warstwy wektorowe o tej samej powierzchni, na podstawie warstwy bufora, połączone z bazą danych. Każda warstwa przeznaczona jest do digitalizacji jednej z 3 fotomap z: 1941, 1998 i 2007 roku.
5. Digitalizacja ekranowa fotomap przy użyciu wcześniej utworzonych warstw wektorowych w oparciu o wydzielone na etapie fotointerpretacji typy funkcjonalno-przestrzenne terenu w celu utworzenia map tematycznych użytkowania terenu, wraz z uzupełnieniem bazy danych o typ funkcjonalno-przestrzenny (ryc. 6.)
6. Rasteryzacja wektorowych map tematycznych na potrzeby wykonania analizy porównawczej map wszystkich badanych okresów. Analiza porównawcza wykonana została w oparciu o algebrę



Ryc.4. Wynikowa mapa binarna zmian (P. Bogdan).  
Fig. 4. Resultant binary map of changes (P. Bogdan).

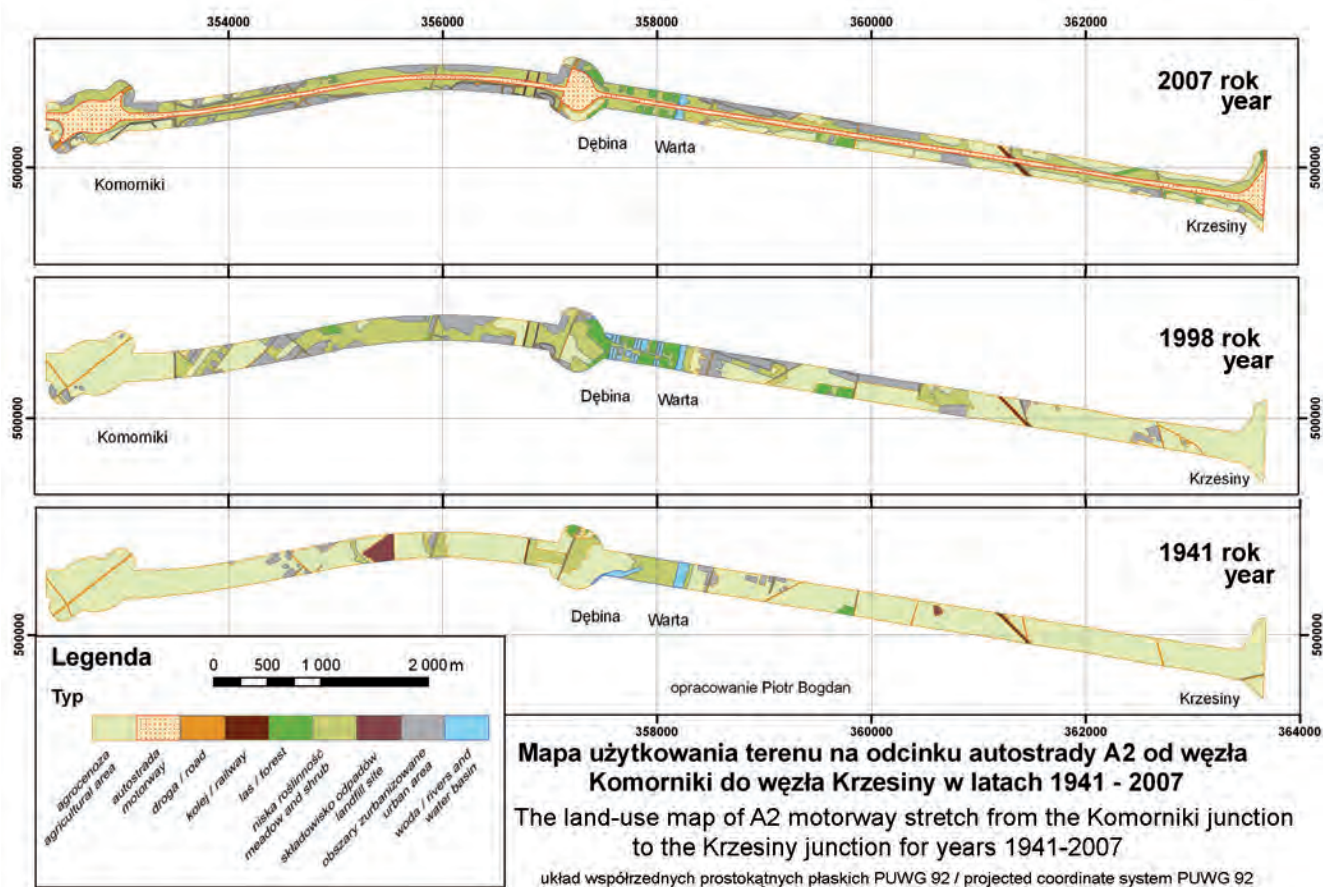


Ryc. 5. Fotomapa z 2007 roku (A. Kijowski) z nałożoną warstwą użytkowania terenu obszarów, które nie zmieniły typu funkcjonalno-przestrzennego w latach 1998 - 2007 (źródło: opracowanie własne)  
Fig. 5. Photomap from 2007 (A. Kijowski) with the layer containing information about land-use of areas which didn't change its spatial and functional type in the years 1998-2007 (source: own's work-out).

map, przy użyciu narzędzia *raster calculator*.

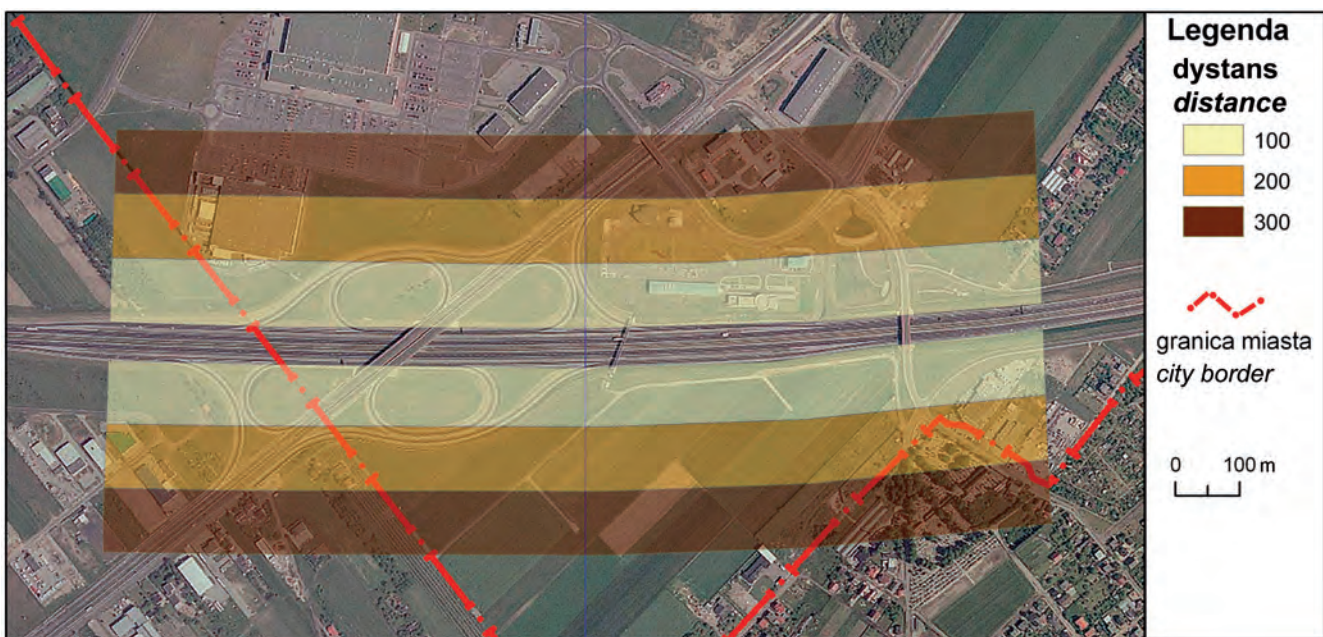
7. Obliczenie powierzchni które zmieniły swój typ użytkowania. Wynikiem analizy była mapa binarna zmian użytkowania (ryc. 4.) oraz mapa przed-

stawiająca typy użytkowania, które nie uległy zmianie w badanym okresie (Ryc. 5.). Analiza składała się z 2 części: porównanie map z 1941 i 1998 roku oraz porównanie map z 1998 i 2007 roku



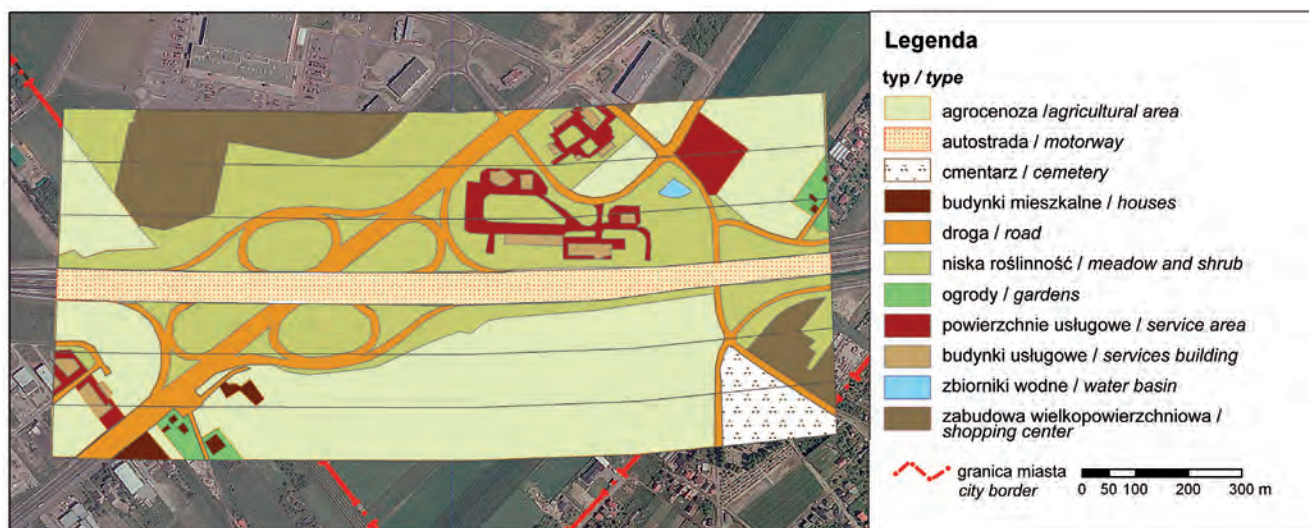
Ryc. 6. Mapy użytkowania terenu w latach 1941 – 1998 wykonane na podstawie fotomap z lat 1941, 1998 i 2007 – źródło: opracowanie własne.

Fig. 6. Land-use map for the years 1941-1998 based on photomaps from 1941, 1998 and 2007 (source: own's work-out).



Ryc. 7. Multibufer nałożony na fotomapę z 2007 roku (P. Bogdan).

Fig. 7. Multibuffer overlaid on the photomap from 2007 (P. Bogdan).



Ryc. 8. Wynik digitalizacji fotomapy z 2007 roku (P. Bogdan).

Fig. 8. Result of digitalisation of photomap from 2007 (P. Bogdan).

Podobnie wygląda algorytm postępowania analitycznego dla węzła Komorniki:

1. Osadzenie oraz georeferencja fotomap.
2. Digitalizacja pasa autostrady na odcinku całego węzła (ok 1300 m.) jako nowej warstwy wektorowej.
3. Wyznaczenie 300-tu metrowego bufora wokół tego odcinka w celu określenia oddziaływania autostrady w 100-metrowej szerokości pasach w odległości od 0 do 300 metrów od pasa autostrady.
4. Utworzenie 3 warstw wektorowych na podstawie warstwy bufora, połączonych z bazą danych. Każda warstwa przeznaczona była do digitalizacji węzła autostradowego na jednej z 3 fotomap z: 1941, 1998 i 2007 roku.
5. Digitalizacja ekranowa fotomap w oparciu o wydzielone na etapie fotointerpretacyjnym typy funkcjonalno-przestrzenne terenu dla węzła autostradowego, w celu utworzenia map tematycznych wraz z uzupełnieniem bazy danych o typ funkcjonalno-przestrzenny (ryc. 8.).
6. Rasteryzacja wektorowych map tematycznych na potrzeby analizy porównawczej map.
7. Zastosowanie kalkulatora rastrowych w celu porównania rastrowych map przedstawiających typy funkcjonalno-przestrzenne. Analiza składała się z 2 części: porównanie map z 1941 i 1998 roku oraz porównanie map z 1998 i 2007 roku.
8. Ponowna wektoryzacja rastrowych map na potrzeby dalszej analizy.
9. Utworzenie multibuforu (ekwidystanty) wokół autostrady na odcinku węzła Komorniki o szerokości 300 metrów podzielonego na odcinki 100-tu metrowe (ryc.7).

Podobnie wygląda algorytm dla węzła Komorniki:

10. Podzielenie wynikowych map zmian typów funkcjonalno-przestrzennych na odcinki ekwidystant

przy pomocy utworzonej wcześniej warstwy multibufora (narzędzie *intersekcja*).

11. Obliczenie powierzchni obszarów o zmienionym typie funkcjonalno-przestrzennym w poszczególnych pasach oddalonych o 100, 200 i 300 metrów od autostrady.

Na podstawie powyższych analiz i dołączonej do map bazy danych wygenerowano raport złożony z udziału powierzchni poszczególnych poligonów oraz nazw typów funkcjonalno-przestrzennych.

Na potrzeby badań utworzono geobazę o następującej strukturze:

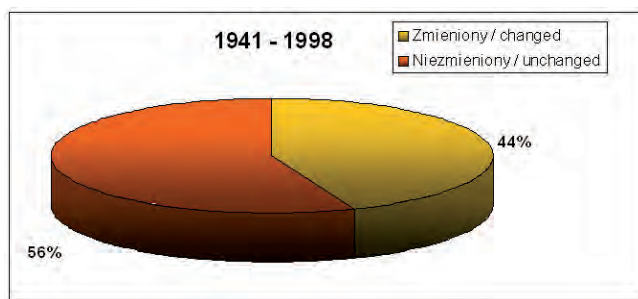
identyfikator (id) poligonu, typ użytkowania, szerokość bufora, długość poligonu, powierzchnia poligonu. Zastosowanie geobazy w odróżnieniu od zwykłej bazy danych DBF ma tą zaletę, że każda zmiana geometryczna poligonu na mapie jest automatycznie wprowadzana do bazy. Takie rozwiązanie eliminuje potrzebę wykonywania każdorazowo po wprowadzeniu zmian na mapie obliczeń powierzchni poszczególnych obszarów a także integruje zarządzanie wieloma warstwami mapy. Wykorzystując uzyskaną informację o wielkości zmian użytkowania w badanych interwałach czasowych stworzono wykres stopnia zmian użytkowania terenu w poszczególnych pasach buforowych autostrady na obszarze węzła Komorniki. Wykres ten jest zobrazowaniem *gradientu antropogenizacji* tego terenu.

## Wyniki i dyskusja

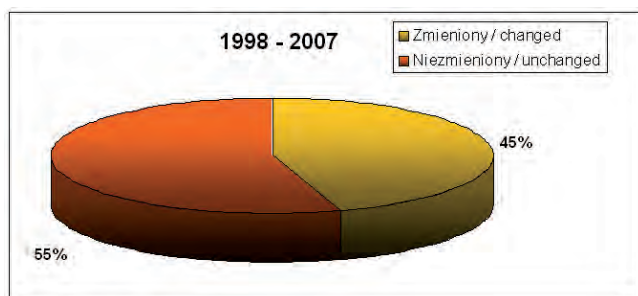
Autorzy proponują przedstawić analizę statystyczną wyników przeprowadzonych badań w oparciu o sumowanie powierzchni tych samych typów użytkowania a następnie obliczenia udziału procentowego powierzchni poszczególnych typów użytkowania w stosunku do całego badanego obszaru.

### Odcinek Komorniki – Krzesiny

Z wykonanych analiz dla obszaru autostrady A2 oraz 100-tu metrowego bufora wokół niej na odcinku od węzła Komorniki do węzła Krzesiny wynika, iż dynamika zmian użytkowania terenu w latach 1941 – 1998 oraz 1998 -2007 jest prawie identyczna. Zmianie uległo około 44 % powierzchni badanego obszaru (ryc. 9a, 9b). W ciągu 9 lat czyli od momentu wytyczenia pasa autostrady do czasu jej eksploatacji wielkość zmian użytkowania terenu była tak duża jak w okresie 58 lat, przed budową autostrady. Powstanie autostrady w znaczący sposób zwiększyło dynamikę zmian użytkowania terenu. Zmiany te polegają przede wszystkim na rozbudowie sieci drogowej, aktywizacji obszarów rolniczych na potrzeby usługowe oraz na wprowadzeniu „ład urbanistycznego” w sąsiedztwie autostrady np. wytyczenie ścieżek spacerowych, założenie zieleni urządzonej na terenach nieużytków etc.



Ryc. 9a Zmiany użytkowania terenu w latach 1941-1998  
Fig. 9a. Land-use changes in the years 1941-1998.



Ryc. 9b Zmiany użytkowania terenu w latach 1998-2007  
Fig. 9b. Land-use changes in the years 1998-2007.

Tabela 2. przedstawia procentowy udział poszczególnych typów użytkowania i zagospodarowania terenu w latach 1941,1998 oraz 2007 na badanym obszarze (dane z 2007 roku nie uwzględniają powierzchni pasa jezdni autostrady). We wszystkich badanych okresach czasowych największy areal zajmuje agrocenoza. Od 1941 roku do 2007 roku udział ten zmalał z 83,6 % do 24,5 %. Badany obszar znajduje się na obrzeżach miasta Poznania i Lubonia, pełniących funkcję rolniczą stąd tak duży udział agrocenozy w użytkowaniu terenu.

Drugim co do wielkości typem użytkowania jest niska roślinność. We wszystkich badanych okresach czasowych zajmuje drugie miejsce pod względem zajmowanej

Tabela 2. Udział procentowy powierzchni poszczególnych typów funkcjonalno- przestrzennych w latach 1941,1998 i 2007  
Table 2. Percentage of land-use and development types in the years: 1941, 1998 and 2007 – without motorway strip.

Typ / type	Lata / years		
	1941	1998	2007
agrocenoza agricultural area	83,6%	53,0%	24,5%
droga road	2,0%	2,3%	4,8%
kolej railway	0,4%	0,6%	0,7%
las forest	0,7%	4,7%	4,4%
niska roślinność meadow and shrub	8,1%	22,3%	49,0%
obszary zurbanizowane urban area	1,8%	15,3%	16,1%
woda rivers and water basin	2,3%	1,8%	0,6%
wysypisko śmieci landfill site	1,2%	0,0%	0,0%

Tabela 3. Procentowy udział poszczególnych typów użytkowania i zagospodarowania (funkcjonalno-przestrzennych) w latach 1941,1998 oraz 2007 na badanym obszarze uwzględniając powierzchnię jezdni autostrady.

Table 3. Percentage of land-use and development types in the years: 1941, 1998 and 2007 – including motorway strip.

Typ / type	Lata / years		
	1941	1998	2007
agrocenoza agricultural area	83,6%	53,0%	18,9%
droga road	2,0%	2,3%	3,7%
kolej railway	0,4%	0,6%	0,5%
las forest	0,7%	4,7%	3,4%
niska roślinność meadow and shrub	8,1%	22,3%	37,9%
obszary zurbanizowane urban area	1,8%	15,3%	12,5%
woda rivers and water basin	2,3%	1,8%	0,4%
wysypisko śmieci landfill site	1,2%	0,0%	0,0%
autostrada motorway	0,0%	0,0%	22,6%

powierzchni chociaż w poszczególnych latach powierzchnia ta ulegała zmianie. Od 1941 roku zwiększa się udział powierzchni niskiej roślinności od 8,1% do 49% w 2007 roku. Niska roślinność porasta obszary trudno dostępne np. tereny podmokłe, zbocza dolin i obszary wzdłuż dróg, szczególnie autostrady, która wymusza obecność pasów zieleni oddzielającej drogę od zabudowań. Systematyczny wzrost powierzchni dróg jest wynikiem stałej urbanizacji tych obszarów oraz koniecznością zapewnienia komunikacji obszarów położonych wzdłuż autostrady. Zmiany powierzchni lasów są spo-

wodowane adaptacją zagłębień pomarglowych jako stawów infiltracyjnych oraz ich późniejszymi przekształceniami związanymi z przecięciem ich przez autostradę. Obszary zurbanizowane w 1941 roku zajmowały tylko 1,8% ponieważ były to obszary peryferyjne miasta z dominującą funkcją rolniczą. W późniejszych okresach tereny te przekształcały się w podmiejskie osiedla mieszkaniowe co skutkowało wzrostem gęstości zaludnienia i wzmożoną urbanizacją. Powstanie autostrady wymusiło relokację pewnych obszarów zurbanizowanych stąd też niewielka różnica w procentowym udziale powierzchni tych terenów. Wysypiska śmieci w Luboniu i Minikowie zostały zamknięte i zrekultywowane w latach powojennych.

### Węzeł Komorniki

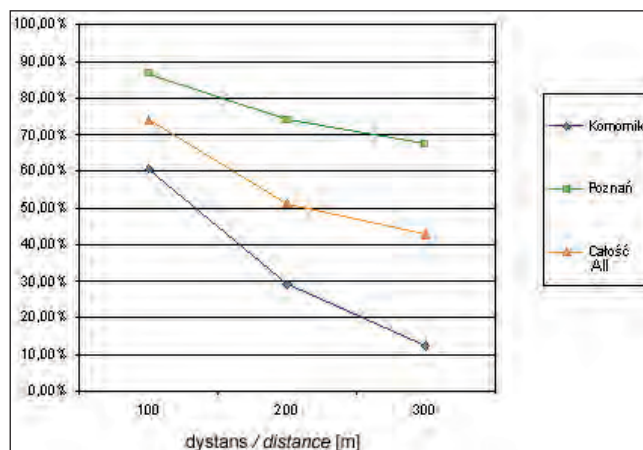
Na autostradzie A2 w obrębie węzła Komorniki wyznaczono odcinek o długości 1300 metrów i szerokości 300 metrów po obydwu stronach autostrady. Z wykonanych analiz, w oparciu o multibufor złożony z 3 pasów po 100 metrów każdy, otrzymano wartości procentowe udziału powierzchni, które zmieniły rodzaj użytkowania do powierzchni badanego pasa buforowego węzła (tabela 4.). Multibufor wyznaczony po południowej stronie autostrady A2 został określony jako „Komorniki” a po stronie północnej jako Poznań. Dodatkowo w każdym z 3 dystansów po obydwu stronach autostrady zostały zsumowane powierzchnie, które zmieniły swój typ funkcjonalno-przestrzenny i na tej podstawie obliczono ich udział procentowy w powierzchni pasa buforowego 100,200 i 300 metrów po obydwu stronach autostrady (w tabeli określonego jako całość).

Tabela 4. Udział procentowy zmian powierzchni w obrębie poszczególnych pasów buforowych wzdłuż węzła Komorniki.  
*Table 4. Percentage of land-use changes among buffer strips along road junction in Komorniki.*

Dystans [m] Distance	Komorniki	Poznań	Całość All
100	60,68%	86,65%	74,00%
200	28,98%	74,14%	51,35%
300	12,19%	67,28%	42,65%

Zmiany użytkowania terenu w obrębie całego węzła Komorniki w latach 1941 – 1998 oraz 1998 – 2007 przedstawia tabela 5.

Na podstawie tabeli 3. wykreślono wykres (ryc. 10.) przedstawiający zależność (funkcję) odległości od autostrady i wielkości (dynamiki) zmian użytkowania terenu. Taką funkcję autor określił mianem *gradientu antropogenizacji*. Jednocześnie z ryc. 11 wynika, że największe zmiany w użytkowaniu terenu wokół autostrady dokonują się w pasie 100 metrów od granicy drogi. Im większa odległość od autostrady tym mniejsze są zmiany. Spadek zmian użytkowania terenu wraz ze wzrostem odległości od węzła w komornikach postępuje w ciągu geometrycznym. Wraz ze wzrostem odległości



Ryc. 10. Wykres gradientu antropogenizacji dla Węzła Komorniki (P. Bogdan).

Fig. 10. The chart of anthropogenesis gradient for road junction in Komorniki (P. Bogdan).

ści od autostrady dynamika i tempo zmian maleje. Spadek ten jest symetryczny względem osi autostrady ale wartość zmian jest uzależniona od lokalnych uwarunkowań. Na podstawie obliczenia średniej ważonej można wnioskować iż zmiany na obszarze węzłów autostradowych i obszarów między węzłami są podobne.

Tabela 5. Procentowy udział zmian użytkowania terenu w obrębie całego węzła Komorniki w latach 1941 – 2007  
*Table 5. Percentage of land-use changes of the whole road junction in Komorniki during the years 1941-2007.*

Typ użytkowania Type land-use	1941-1998	1998-2007
niezmieniony / unchanged	90,8%	43,6%
zmieniony / changed	9,2%	56,4%

Największa dynamika zmian użytkowania terenu jest po stronie miasta Poznania a najmniejsza po stronie gminy Komorniki. Biorąc pod uwagę sumę poszczególnych pasów buforowych po obydwu stronach autostrady dynamika zmian jest porównywalna ze średnią z obydwu stron drogi.

Duże zmiany w okresie istnienia autostrady w stosunku do okresy sprzed budowy (od 1941 do 1998 roku zmianie uległo 9,2% powierzchni badań a od 1998 do 2007 roku 56,4%) na obszarze węzła Komorniki są spowodowane przede wszystkim dogodnymi warunkami inwestycyjnymi. Agrocenoza jest najmniej kosztownym do przekształcenia obszarem pod działalność szeroko pojętych usług. Komorniki w przeciwieństwie do pozostałych węzłów autostradowej obwodnicy Poznania – A2, posiada duży potencjał inwestycyjny. Nadal pozostaje duży areal agrocenozy do potencjalnego zagospodarowania. Węzeł Dębina i częściowo Krzesiny jest inwestycyjnie zamknięty. Dębina jest obszarem urbanizacyjnie zamkniętym. Po obydwu stronach autostrady istnieje ścisła zabudowa mieszkaniowa, a za węzłem w kierunku rzeki Warty znajduje się ujęcie wody dla Poznania. Krzesiny są za bardzo oddalone od śródmieścia Poznania przez co nie są atrakcyjnym miejscem dla lokalizacji usług. Ponadto bliżej miasta na drodze dojazdowej

do węzła Krzesiny od strony Poznania znajduje się centrum handlowe Franowo dlatego Krzesiny pozostają nadal pod dominacją agrocenozy z pewną powierzchnią przemysłowo-magazynową.

Tabela 6. Procentowy udział powierzchni poszczególnych typów użytkowania terenu dla węzła Komorniki w latach 1941, 1998 oraz 2007.

Table 6. Percentage of land-use types for road junction in Komorniki in the years: 1941, 1998 and 2007.

Typ użytkowania type land use	1941	1998	2007
agrocenoza agricultural area	94,4%	89,3%	37,1%
cmentarz cemetery	2,4%	1,7%	2,5%
budynki mieszkalne houses	0,0%	0,3%	0,4%
droga road	3,2%	3,0%	11,3%
niska roślinność meadow and shrub	0,0%	2,9%	31,6%
ogrody gardens	0,0%	1,6%	0,8%
powierzchnie usługowe car park	0,0%	0,6%	4,7%
budynki usługowe services building	0,0%	0,6%	1,3%
zabudowa wielkopowierzchniowa shopping center	0,0%	0,0%	10,1%
zbiorniki wodne water basin	0,0%	0,0%	0,2%

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania dotyczące dynamiki zmian w sposobie zagospodarowania terenów wokół autostrady pokazały pierwszorzędą przydatność materiałów teledetekcyjnych do wielkoskalowych badań zmian użytkowania terenu. Zdjęcia lotnicze w przeciwieństwie do map tematycznych, zasadniczych i topograficznych oddają rzeczywisty stan środowiska. Główną zaletą ma-

teriałów teledetekcyjnych jest brak generalizacji obiektów jak to ma miejsce w przypadku tradycyjnych ujęć kartograficznych. Fotomapy dają możliwość odczytania kontekstu środowiskowego np. wiek i funkcje zabudowy, rodzaj i charakter roślinności lub genezę różnych form terenu przekształconego w wyniku antropopresji.

Zdjęcie lotnicze jest bardzo wiarygodnym źródłem danych o terenie, ponieważ w bardzo krótkim czasie, prezentuje na znacznym obszarze sposób użytkowania.

Szczegółowa fotointerpretacja obszarów zurbanizowanych, a zarazem silnie zantropogenizowanych pozwoliła przy zastosowaniu optymalnego oprogramowania Systemów Informacji Geograficznej (GIS) jakim jest pakiet ArcGIS firmy ESRI, dokonać klasyfikacji terenu i pozyskiwać informacje statystyczne w postaci bazy danych oraz produktu kartograficznego. Przestrzenny rozkład tych informacji prowadził do zbudowania gradientu antropogenizacji terenu w wyniku funkcjonowania sieci komunikacyjnej jaką jest autostrada.

## Literatura

- Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J.R., 1999. *Interpretacja zdjęć lotniczych*. PWN, Warszawa.
- Kijowski A., Mania W., 2008. *Wykorzystanie zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych dla celów planowania przestrzennego w granicach powiatu poznańskiego*, Powiat poznański. Jakość przestrzeni i jakość życia. Pod redakcją T. Kaczmarek, A. Mizgajski, Wydawnictwo naukowe Bogucki, Poznań. S. 479 – 492.
- Kondracki J., 2000, *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- Kuraś B., 2007. *Wykorzystanie GIS jako kompleksowego narzędzia waloryzacji środowiska przyrodniczego pod kątem planowania przestrzennego zagospodarowania terenu*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 17b. Kraków.
- Matuszyńska I., 1995, *Zmiany użytkowania powierzchni terenu w dorzeczu Strumienia Junikowskiego, jako przykład dynamicznych zmian w strefie podmiejskiej (1954-1992)* [w:] Dorzecze Strumienia Junikowskiego. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Matuszyńska I., 2001, *Zmiany użytkowania terenu jako element transformacji środowiska przyrodniczego na obszarze wybranych zlewni Poznania i jego strefy podmiejskiej*. Wydawnictwo PTPN Tom 30. Poznań.



**dr Andrzej Kijowski (ur. 1951)**. Absolwent Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi, a obecnie starszy wykładowca w Zakładzie Geografii Kompleksowej i Kartografii. Jego zainteresowania naukowe od początku były związane z interpretacją i wykonywaniem zdjęć lotniczych. Posiada w swoich zasobach 14 000 negatywów zdjęć lotniczych z całej Polski, które mają wszechstronne zastosowania naukowe i praktyczne w różnych dziedzinach takich jak: planowanie przestrzenne, monitoring środowiska przyrodniczego czy archeologia. Członek The Aerial Archaeology Research Group oraz Komitetu Badań Kosmicznych PAN. Autor wielu ekspertyz z zakresu ochrony środowiska przyrodniczego. E-mail: kij@amu.edu.pl telefon: 061 829 6251



**Piotr Bogdan (ur. 1985)**. jest studentem kierunku Geografia ze specjalnością Kształtowanie i Ochrona Środowiska na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Jego zainteresowania naukowe dotyczą geosystemów miejskimi w aspekcie wykorzystania zdjęć lotniczych. Na bazie tych zainteresowań opracował różne aplikacje technologii GIS i systemów informatycznych do analiz środowiskowych. E-mail: p.bogdan@op.pl