

**Ireneusz Wyczalek**  
**Elżbieta Wyczalek**  
**Artur Plichta**

## **SEGMENTACJA WYSOKOROZDZIELCZEGO ZOBRAZOWANIA SATELITARNEGO W CELU ROZPOZNAWANIA KOMPLEKSÓW URBANISTYCZNYCH**

*Streszczenie.* Jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się obecnie podejść do rozpoznawania przedmiotów terenowych na obrazach teledetekcyjnych jest klasyfikacja obiektowa. Wywodzi się ona z procesu kognitywnego, poznawczego, realizowanego w naturalny sposób w mózgu człowieka oglądającego obraz lub zdjęcie, a mianowicie – przez uprzedni wstępny podział tegoż obrazu na segmenty o zbliżonych cechach wizualnych, wyróżniających te segmenty względem otoczenia. Segmentacja pozwala nie tylko na uporządkowanie treści rozpoznawanego obrazu, ale także dostarcza analitykowi znaczną liczbę parametrów, które mogą zostać użyte jako kryteria klasyfikacyjne. Jest to jedna z najważniejszych zalet tego podejścia.

Przedmiotem pracy jest projekt i ocena jakości segmentacji wysokorozdzielczego obrazu teledetekcyjnego użytego do rozpoznawania obszarów o różnych funkcjach, współtworzących przestrzeń miasta. Do oceny wybrano jedno z najbardziej atrakcyjnych obecnie zobrażeń wykonywanych z pokładu satelity QuickBird. Analizowane zobrazenie stanowi przetworzony techniką pan-sharpening obraz wielospektralny, przepróbkowany do rozdzielczości 0,60 m. Celem pracy jest ustalenie progów segmentacji w układzie hierarchicznym, oraz ocena cech segmentów dobranych do wyłonienia charakterystycznych kompleksów urbanistycznych. W podsumowaniu przedstawione zostaną możliwości wykorzystania wyników klasyfikacji obiektowej do badania zmian struktur urbanistycznych, w porównaniu z innymi obrazami teledetekcyjnymi badanego terenu oraz z danymi wektorowymi.

### **1. Wprowadzenie**

#### **Zapotrzebowanie na aktualne dane o strukturze miasta**

Postęp w dziedzinie budownictwa i infrastruktury wymaga obecnie ustawicznego śledzenia zmian, co w przypadku aglomeracji miejskich oznacza gromadzenie ciągle odnawianych zasobów obrazów teledetekcyjnych, obecnie w postaci ortofotomapy, oraz aktualizację miejskiego systemu informacji przestrzennej (MSIP). Niedawno odbyło się w siedzibie ZGiKM GEOPOZ w Poznaniu skromne spotkanie dla uczczenia 10 rocznicy prac nad wdrożeniem takiego systemu na bazie Ortofotomapy Miejskiej. Inicjatywa ta, jako jedno z pierwszych w skali kraju przedsięwzięć na skalę wielkomiejską jest aktualnie w stadium udostępniania do użytku administracji miasta i instytucji odpowiedzialnych za jego rozwój. Aktualnie poznański MSIP zasilany jest danymi z różnych źródeł, lecz warstwy geometryczne uzupełniane są z odnawianych co dwa lata ortofotomap, które mogą stanowić tło rastrowe lub, po wektoryzacji, służyć do wprowadzenia zmian w bazie danych. Głównym użytkownikiem zasobu MSIP jest Wydział Architektury i Urbanistyki Urzędu Miejskiego oraz Miejska Pracownia Urbanistyczna. Poznański przykład stanowi potwierdzenie znanej tezy o wielkiej użyteczności opracowań tego typu dla potrzeb miasta.

W ramach prac nad alternatywnymi źródłami danych obrazowych podjęto się przeprowadzenia analizy wykorzystania zobrazowań z satelity QuickBird oraz metod segmentacji obrazów teledetekcyjnych jako pierwszego kroku w stronę tworzenia warstw tematycznych dla systemu typu MSIP. Jako narzędzie przyjęto program fotointerpretacyjny eCognition [[www.definiens-imaging.com](http://www.definiens-imaging.com)].

### **Obraz QuickBird jako źródło danych teledetekcyjnych**

Dane obrazowe pozyskiwane z pułapu samolotu w coraz większym stopniu zastępowane są przez obrazy tworzone za pomocą wysokorozdzielczych sensorów satelitarnych (VHR Imagery). Pierwszym satelitą komercyjnym dostarczającym tego typu danych obrazowych jest IKONOS, który od końca 1999 roku gotowy jest do zarejestrowania wskazanego fragmentu Ziemi z 1-metrową rozdzielczością obrazu tonalnego (panchromatycznego) oraz 4-metrową rozdzielczością barwną, w kanałach spektralnych B, G, R i IR [[www.spaceimaging.com](http://www.spaceimaging.com)]. Jego następcą jest QuickBird, który pas terenu o szerokości 16,5 km może zarejestrować z rozdzielczością tonalną 0,61 i barwną (B, G, R i IR) – 2,44 m [[www.digitalglobe.com](http://www.digitalglobe.com)]. Oba wspomniane typy danych obrazowych można scalić do postaci wyostrzonego obrazu barwnego przy użyciu tak zwanej techniki pan-sharpening [Zhang, 2004]. Przygotowane tą metodą zobrazowanie QuickBird z czerwca 2003, obejmujące południowo-wschodni fragment Poznania (rysunek 2), stanowi przedmiot wspomnianej analizy. Po przekształceniach uzyskało ono jednolitą na całej powierzchni rozdzielczość 0,6x0,6 m. Bazując na opisach źródłowych i wynikach podobnych badań stwierdzono, że tak przygotowany obraz QuickBird niemalże dorównuje szczegółowości i dokładności mapy w skali 1:5000.

### **Idea i niektóre podejścia do segmentacji obrazów**

Spośród sposobów w istotny sposób wspomagających tradycyjne techniki fotointerpretacyjne uzasadnione nadzieje pokładane są we wstępnej segmentacji obrazów. Segmentacja nie jest celem samym w sobie, ale czynnością wspomagającą zasadniczy proces klasyfikacji. Podział obrazu na grupy pikseli o zbliżonych cechach radiometrycznych stosowany jest tradycyjnie wówczas, gdy klasyfikacja lub proces uczenia systemu rozpoznawania cech wykonywane są na klasterach wyłonionych za pomocą jednej z metod klasyfikacji nienadzorowanej. Tymczasem w zastosowaniach aplikacyjnych wywodzących się z dziedziny sztucznej inteligencji stosowane są różnego rodzaju algorytmy segmentacji tekstury [eCognition, 2004]. Z reguły realizowane są one w dwóch etapach. Na etapie modelowania, z wejściowego obrazu wyłaniane są charakterystyczne cechy i zakresy ich wartości, zaś etap optymalizacji obejmuje grupowanie cech w homologiczne segmenty poprzez minimalizację przyjętej miary jakości [Hofmann i in., 1998]. Nieco bardziej zaawansowane są metody bazujące na wiedzy, które wykorzystują wyjściową informację o cechach obiektów obrazowych z zadanych pól treningowych lub innych źródeł wiedzy, w celu doboru optymalnych parametrów procedur segmentacyjnych [Gorte, 1998]. Inne podejście nazywane jest segmentacją „działów wodnych” (watershed), gdyż w jej wyniku uzyskuje się obraz w postaci mozaiki rozmazanych plam otoczonych „zaporami” [Wegner i in., 1997]. Stosowane są też prostsze metody doboru segmentów, bazujące na wyszukiwaniu progów lub konturów, oraz polegające na rozszerzaniu zasięgu segmentów wokół

wstępnie wybranych punktów obrazowych [Ruefenacht i in., 2002]. Niestety z reguły metody te nie zdają egzaminu w klasyfikacji obrazów teledetekcyjnych.

### Procedura segmentacyjna w eCognition

Jednym z nielicznych rozwiązań segmentacyjnych, które znalazło zastosowanie w analizach obrazów jest podejście kontekstowe zastosowane w programie eCognition [Benz i in, 2004]. Segmentami są tu grupy pikseli współtworzące nieregularne figury geometryczne, służące jako nośniki informacji, albo swoiste „puzzle”, z których w zasadniczym procesie klasyfikacji składane są obiekty terenowe. W tym znaczeniu najlepszym wynikiem segmentacji będzie taki zbiór prostych obiektów geometrycznych, który niesie ze sobą optymalną informację wykorzystaną do dalszej obróbki. Aby ten cel osiągnąć należy dążyć do tego, by:

- tworzone segmenty były w największym stopniu homogeniczne,
- przeciętna wielkość segmentów odpowiadała docelowej skali opracowania,
- wszystkie obiekty podstawowe miały porównywalne atrybuty.

Proces segmentacji w prezentowanym podejściu ma jeszcze jedną istotną zaletę. Tak jak w naturalnym ludzkim systemie rozpoznawania i zapamiętywania tworzona jest hierarchiczna struktura cech, tak i tu można konstruować kilkustopniową strukturę, w której zachodzą relacje zarówno między obiektami na tym samym poziomie szczegółowości, jak i obiektami na poziomach nadrzędnym i podrzędnym.

W algorytmie eCognition podstawowe kryterium homogeniczności pikseli tworzących segmenty zawiera układ równań obejmujących cechy *spektralne* (barwne) oraz parametry *kształtu*. Algorytm jest chroniony patentem, ale opisany szczegółowo w instrukcji obsługi programu [eCognition, 2004]. W celu opisu homogeniczności *spektralnej* sumowane są ważone odchylenia standardowe wartości składowych barwnych dla wszystkich poziomów (kanałów), według wzoru:

$$h_{\text{spect.}} = \sum_c w_c \sigma_c \quad (1)$$

Ponieważ zwykle wynikiem minimalizacji spektralnej heterogeniczności jest zbiór mocno rozgałęziających się segmentów, dlatego warunek (1) łączony jest z kryteriami opisującymi heterogeniczność przestrzenną. Przyjęto dwa kryteria, które opisują *zwartość* i *gładkość* tworzonych obiektów. *Zwartość*, to cecha opisująca, na ile kształt obiektu zbliżony jest do koła, co w sposób matematyczny opisuje proporcja długości obwodu (l) do pierwiastka powierzchni wyrażonej liczbą pikseli (n):

$$h_{\text{zwar.}} = l / \sqrt{n} \quad (2)$$

Kryterium *gładkości* opisuje proporcja długości obwodu segmentu (l) do najkrótszej możliwej długości (b) mierzonej w kierunku równoległym do rastra:

$$h_{\text{glad.}} = l / b \quad (3)$$

W celu zadania żadanego wyniku segmentacji użytkownik algorytmu może zdefiniować kilka parametrów, takich jak skala (minimalna wielkość segmentów), wagi dla poszczególnych warstw obrazu oraz procentowy udział współczynnika kształtu i proporcję między zwartością a gładkością.

Istnieje możliwość dodania kolejnego poziomu segmentacji, który będzie sumą segmentów utworzonych na poziomie niższym, albo dalszy podział dużych segmentów z poziomu wyższego. Segmenty na różnych poziomach tworzą strukturę hierarchiczną, co oznacza, że z definicji znane są zależności między segmentami na różnych poziomach. Daje to wyraz skalowemu podejściu do klasyfikacji obrazów. Wstępnie posegmentowany obraz służy następnie do przeprowadzenia klasyfikacji, a jej wyniki mogą zostać wykorzystane do skorygowania segmentacji, w procesie nazywanym *segmentacją poklasyfikacyjną*.

## **2. Test kryteriów podziału obrazu i cech uzyskanych segmentów**

### **Cel segmentacji**

Docelowym zastosowaniem testowanego zobrazowania jest określenie struktury przestrzennej terenów miejskich. Wydzielenie obszarów funkcjonalnych dla poszczególnych fragmentów miasta jest istotne na poziomie analizy funkcji terenów w planowaniu przestrzennym, na etapie studium uwarunkowań przestrzennych gminy. Celem wykorzystania materiałów teledetekcyjnych w tego typu zadaniach jest dostarczenie odpowiednio dokładnych, aktualnych informacji obrazowych ukazujących przedmiot opracowania, co z reguły osiąga się drogą klasyfikacji obrazów. W przypadku klasyfikacji obiektowej podstawą poprawnej realizacji tego celu jest odpowiednio dokonana segmentacja. Jak już wspomniano, parametry jej zależą od cech analizowanego obrazu, przyjętego algorytmu oraz właściwości wyznaczanych obiektów. W przypadku wydzielenia obszarów funkcjonalnych miasta w oparciu o stosunkowo dokładne dane, dobór taki musi uwzględniać poszczególne elementy, z których dany obszar się składa.

Zgodnie z teorią urbanistyki, środowisko życia człowieka dzieli się na tereny mieszkalne, komunikacyjne, miejsce zatrudnienia i wypoczynku. W ramach tego podziału można dokonać bardziej szczegółowej klasyfikacji. Planując dobór cech segmentów spełniających oczekiwane reguły podziału, zdecydowano się dokonać wstępnej analizy cech elementów składowych, których wyszczególnienie zawarto w tabeli II. Zatem przyjęta procedura doboru wielkości i cech segmentów obejmuje kolejno:

- określenie wielkości obiektów podstawowych (poziom I), które powinny być jak największe, lecz mieścić się w granicach pojedynczych elementów składowych badanych stref,
- określenie wielkości segmentów na poziomach II i III, takich aby obejmowały obszary stanowiące zgrupowania podstawowych elementów składowych, nie przekraczających granic danego obszaru funkcjonalnego,
- określenie wyróżniających się cech segmentów zbudowanych na poszczególnych elementach składowych przestrzeni, wraz z określeniem wartości tych cech na każdym z obszarów funkcjonalnych,
- próba określenia przeciętnych wartości segmentów na konkretnych obszarach funkcjonalnych, wraz z ich oceną pod kątem wydzielenia tychże obszarów, analiza wyników i wnioski.

## Kryteria segmentacji

W celu oceny podziału wysokorozdzielczego obrazu wielospektralnego na segmenty, w funkcji kryteriów segmentacji przyjętych w algorytmie programu eCognition, dokonano segmentacji fragmentu obrazu o wymiarach 200x200 pikseli, nadając istotne wagi kolejno poszczególnym kryteriom. Statystyczne zestawienie wyników zamieszczono w tabeli I oraz uwidoczniono je na rysunku 1. Aby uzyskać porównywalne wymiary segmentów (średnio ok. 50 pikseli na segment) trzeba było eksperymentalnie ustalić parametry skalowe.



Rys. 1. Fragment terenu poddany różnym próbom segmentacji (a) oraz kolejne wyniki: b) jedynie kryterium barwy (K – 100%), c) 90% udział czynnika zwartości (Z) oraz 10% barwy (K), c) 90% udział czynnika rozciągłości (R) oraz 10% barwy (K),

Tabela I. Wykaz ustawień i zbiorcze wyniki wstępnej segmentacji

rozdz.	ustawienia segm.			liczba pikseli	liczba segmentów	parametry segmentów			
	K	R	Z			Od	do	średnia	rozrzut
40	1	0	0	4000	86	8	3279	465	±594
18	0,1	0,9	0	4000	82	135	1326	493	±356
25	0,1	0	0,9	4000	81	32	2635	488	±434

Z powyższych analiz wynika, że regulacja parametrem kształtu wnosi znaczący wkład w ostateczny wygląd segmentów – są one w miarę równomierne, gdy główny nacisk położony jest na kryterium zwartości, zaś szczególnie dopasowane do kształtu obiektów terenowych, gdy dużą wagę przypisać rozciągłości. W standardowym ustawieniu eCognition (wersja 4) barwie przypisana jest waga 0,9 (w wersji 3 było 0,8) zaś parametry kształtu w najnowszej wersji podzielone są po 0,05 (w wersji 3 – rozciągłość miała zadaną wagę 0,16 a zwartość 0,04). W wyniku naszej próby, obejmującej znacznie większy fragment sceny i różne kategorie terenów, przyjęliśmy do dalszych analiz następujące wagi:

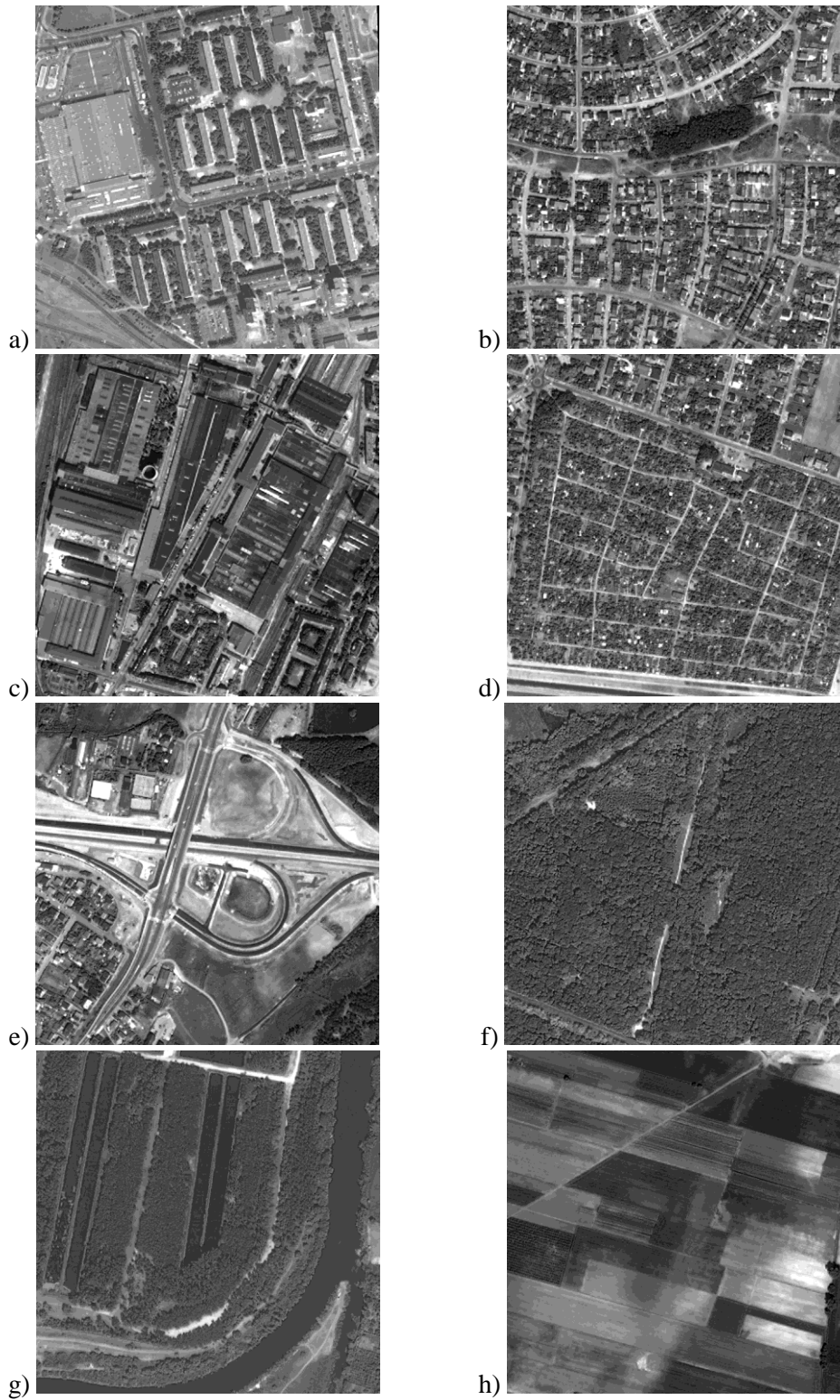
- dla kryterium barwy: 0,5
- dla gładkości: 0,4
- dla zwartości: 0,1

Oznacza to, że dla ustalenia kształtu segmentów system będzie w tym samym stopniu uwzględniał kryterium barwy jak kształtu, w przypadku którego zdecydowanie większe znaczenie ma dla nas gładkość niż zwartość docelowych segmentów (w proporcji 4:1). Ustalona została również systematyka wielkości segmentów dla trzech poziomów skalowych, odpowiednio 10, 40 i 200 pikseli. Stosunkowo gęsty podział na pierwszym poziomie miał na celu uniknięcie „rozlewania się” podstawowych segmentów na różne klasy obiektów. Wielkość 40 pikseli na drugim poziomie skalowym odpowiada figurze o minimalnych wymiarach terenowych rzędu 3,5x4,0 m. Tę skalę przyjęto do dalszych analiz. Trzeci poziom, to segmenty współokreślające poszczególne obszary funkcjonalne miasta.

### **Opis testu**

Aby sprawdzić, czy na podstawie segmentacji możliwe jest wydzielenie różnych obszarów funkcjonalnych miasta, poddano ocenie wybrane cechy segmentów tworzących obiekty wchodzące w skład tych obszarów. Ze wstępnie opracowanej systematyki obiektów w ramach wybranych ośmiu kategorii, wybrano te, które były jednoznacznie rozróżnialne na analizowanej scenie. Program eCognition pozwala na ocenę wartości bardzo dużej liczby cech segmentów, począwszy od parametrów radiometrycznych i geometrycznych oraz wartości ich rozrzutu w granicach sceny, poprzez relacje wzajemne odnoszące się do tych cech między sąsiadującymi segmentami lub w ramach całej sceny, lub też w odniesieniu do obiektów na innych poziomach, aż do parametrów tekstury w ramach kryterium Haralika [eCognition, 2004]. Dla potrzeb opisywanych tu analiz wybrano te cechy, które albo zwyczajowo analizowane są w procesach klasyfikacji (składowe barwne  $\langle R, G, B \rangle$  oraz rozrzut wartości składowej  $R - \langle mR \rangle$ ), albo opisują rozpoznawalne cechy geometryczne (wymiaru  $\langle D \rangle$ ,  $\langle Sz \rangle$  i miara zwartości  $\langle Zw \rangle$ ), albo odnoszą się do innych obiektów (różnica  $R$  względem sąsiadów  $\langle uR \rangle$  oraz zagęszczenie  $R$  w obiektach na niższym poziomie  $\langle gR \rangle$ ). Analizy jednej składowej barwnej ( $R$ ) wynikają z ograniczeń redakcyjnych, niemniej stwierdzono bardzo dużą korelację wyników dla pozostałych składowych barwnych.

W tabeli II zestawiono wyniki zawierające średnie wartości cech segmentów poddanych ocenie. Oznaczenia literowe cech odpowiadają wyszczególnieniu powyżej. Ponadto podano średnie wartości spektralne  $\langle RGB \rangle$  oraz proporcję długości do szerokości  $\langle D/Sz \rangle$ .



Rys.2 Testowane fragmenty zobrazenia QuickBird miasta Poznania

Tabela II. Zestawienie wybranych cech segmentów na poziomie drugim

**1 Budownictwo wielorodzinne**

Kod	Nazwa	D	Sz	D/Sz	R	G	B	RGB	Zw	mR	uR	gR
1.1.1	Bloki mieszkalne	4300	690	6,23	150	150	140	147	1,4	11,0	4,0	1,4
1.1.3	Budynki niemieszkalne	1600	820	1,95	135	130	132	132	1,5	10,0	1,7	1,6
1.2.1	Ulice przelotowe	3400	750	4,53	115	110	115	113	3,0	14,0	-5,0	1,3
1.2.2	Ulice lokalne	2200	680	3,24	140	130	120	130	2,2	10,0	-5,0	1,5
1.2.4	Parkingi	1800	800	2,25	150	145	130	142	2,5	24,0	14,5	1,4
1.3.1	Drzewa i krzewy	1700	900	1,89	82	93	87	87	2,1	16,0	-35,0	1,4
1.4.2	Obszary odkryte	2000	1000	2,00	170	160	140	157	2,9	14,5	24,0	1,4

**2 Budownictwo jednorodzinne**

2.1.1	Budynki mieszkalne	900	680	1,32	150	160	145	152	1,6	17,0	24,0	1,4
2.2.1	Ulice przelotowe	3700	750	4,93	140	140	125	135	4,3	11,0	0,0	1,4
2.2.2	Ulice lokalne	3600	700	5,14	170	170	145	162	3,3	13,0	10,0	1,3
2.3.1	Drzewa i krzewy	2000	1000	2,00	82	96	80	86	2,1	14,0	-16,0	1,5
2.3.2	Obszary zielone	2000	1100	1,82	128	125	104	119	2,2	12,0	-7,0	1,6
2.4.2	Obszary odkryte	2100	1100	1,91	200	180	150	177	1,8	10,0	22,0	1,5

**3 Tereny przemysłowe**

3.1.1	Budynki wielkopow.	1900	900	2,11	157	160	150	156	1,8	14,0	6,0	1,5
3.2.2	Ulice lokalne	6500	500	13,00	130	120	115	122	2,4	14,0	-8,0	1,2
3.2.4	Parkingi	2400	600	4,00	140	150	130	140	1,9	15,0	17,0	1,4
3.4.1	Tereny odkryte	1800	600	3,00	220	220	185	208	2,5	18,0	30,0	1,4

**4 Ogrody działkowe**

4.1.1	Budynki i altany	450	320	1,41	210	200	170	193	1,5	34,0	95,0	1,3
4.2.1	Ulice przelotowe	1900	800	2,38	150	150	125	142	3,3	14,0	10,0	1,3
4.2.2	Komunikacja wew.	3200	750	4,27	180	180	150	170	6,0	21,0	58,0	1,2
4.3.1	Drzewa i krzewy	2200	1200	1,83	90	100	87	92	2,0	18,0	-26,0	1,3
4.4.2	Obszary odkryte	1600	780	2,05	160	150	130	147	2,2	14,0	4,0	1,5

**5 Komunikacja**

5.2.1	Ulice przelotowe	4900	500	9,80	145	145	125	138	3,0	15,0	44,0	1,1
5.2.4	Chodniki i pobocza	4300	400	10,75	220	210	175	202	2,6	18,0	34,0	1,1

**6 Lasy komunalne**

6.2.1	Drogi leśne	3500	490	7,14	135	135	115	128	2,7	17,0	16,0	1,1
6.3.1	Drzewa i krzewy	3000	1400	2,14	70	90	75	78	2,1	11,0	0,6	1,4
6.4.1	Tereny piaszczyste	2200	890	2,47	115	115	100	110	2,2	12,0	15,0	1,5

**7 Wody**

7.1.1	Wody płynące	3100	1300	2,38	62	72	65	66	2,1	3,8	-4,0	1,9
7.1.2	Wody stojące	3200	800	4,00	54	67	64	62	1,5	2,8	-8,0	1,6

**8 Grunty rolne**

8.2.1	Drogi gruntowe	6800	1000	6,80	150	140	120	137	6,0	13,0	22,0	1,0
8.3.1	Sady	2700	1300	2,08	100	105	90	98	2,0	11,0	-1,0	1,4
8.4.1	Tereny uprawne	3400	1300	2,62	126	130	110	122	1,8	6,0	0,0	1,7



## Wyniki testu

Już tak niewielka liczba cech, jak te z tabeli II, ukazuje potencjał ukryty we wstępnej segmentacji obrazów. Analiza tych cech stwarza nie tylko nowe możliwości w zakresie klasyfikacji, ale poszerza ten zakres na różne poziomy szczegółowości. W opisywanym teście dane te mają stanowić podstawę do wydzielenia całych obszarów funkcjonalnych miasta. Przyglądając się wartościom parametrów geometrycznych dla poszczególnych klas, można stwierdzić:

- znaczne zróżnicowanie długości segmentów między ciągami komunikacyjnymi, a drobnymi elementami zabudowy (6800 wobec 450), przy zbliżonych wymiarach różnych typów terenów zielonych lub nie zarośniętych (niezależnie od kategorii),
- duże dysproporcje wymiarów segmentów wypełniających tereny komunikacyjne, z wyjątkiem osiedla blokowego, na którym na proporcja ta jest większa dla budynków wielorodzinnych niż dla otaczających dróg,
- stosunkowo duże segmenty na polach, wodach i terenach leśnych, przy średniej proporcji D/Sz równej 2.

Tymczasem analiza wartości cech spektralnych wykazuje niepomierne dużą zgodność wszystkich trzech składowych, z niewielkimi tylko odstępstwami:

- nieco mniejsza wartość składowej B względem R i G (o ok. 10%), dla dróg wewnątrzosiedlowych (jasna kostka betonowa i żwir) oraz polnych i leśnych, wobec zrównanego poziomu wartości dla pozostałych dróg (szare),
- zdecydowanie mniejsze (ciemniejsze) wartości dla dróg i zieleni wysokiej, wobec segmentów z pozostałych kategorii,
- zdecydowanie najwyższe wartości R, G i B dla terenów odkrytych.

O wiele bardziej zwarte są segmenty na terenach komunikacyjnych (wskaźnik: od 2,4 do 6,6) niż na budynkach (1,4 do 1,8) oraz terenach otwartych (1,8 do 2,7).

Zdecydowanie najmniejszy rozrzut wartości barwy R jest na segmentach w granicach wód (1,5-2,1) i terenów uprawnych (6,0-11,0) niż na dowolnych obiektach osiedlowych (od 10,0 do 34,0).

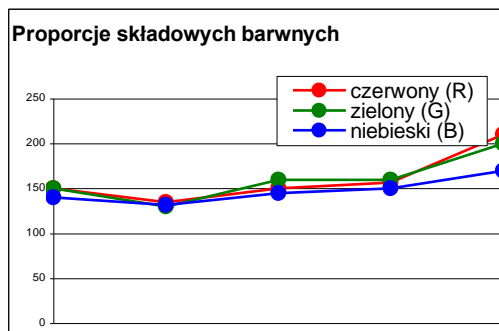
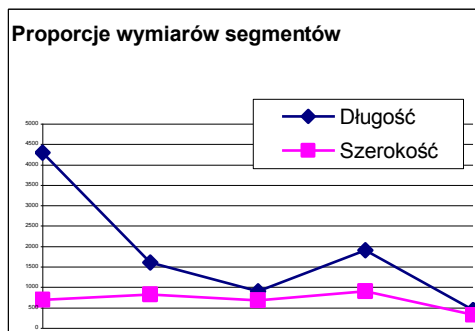
Różnice R względem sąsiadów przyjmują wartości dodatnie lub ujemne, w zależności od stopnia intensywności barwy i są bardzo zróżnicowane:

- od zdecydowanie dużych wartości ujemnych na terenach zielonych w granicach zabudowy (od -7 do -35),
- przez zrównoważone, choć znacznie zróżnicowane, wartości dróg i ulic w mieście (od -8 do +17),
- do bardzo wysokich dysproporcji budynków i dróg w otoczeniu zieleni (22-95).

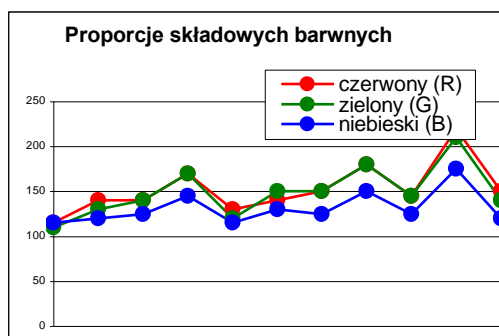
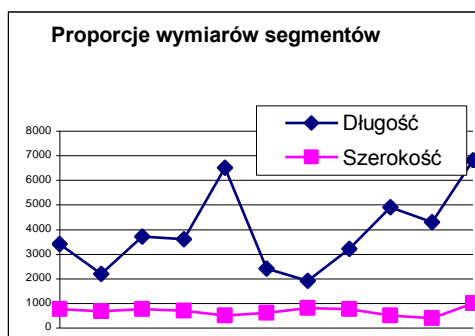
Niepomiernie małe proporcje występowały w zagęszczeniu podobiektów na warstwie R między poziomem II a I, to jest w granicach od 1,1 do 1,6. Największa dysproporcja zachodzi wśród segmentów tworzących obszary wodne (1,6-1,9), wobec jasnych pól na terenach komunikacyjnych (rzędu 1,1).

Podsumowując powyższe wnioski należy stwierdzić, że podane w tabeli wartości średnie nie odpowiadają rozkładowi normalnemu, dlatego nie były obliczane statystycznie, lecz odczytywane z histogramów w miejscach największych skupisk wartości. Rozkład wartości cech na całych obszarach jest stosunkowo duży, co jest przyczyną konieczności użycia logiki zbiorów rozmytych w przyszłej definicji kryteriów klasyfikacyjnych.

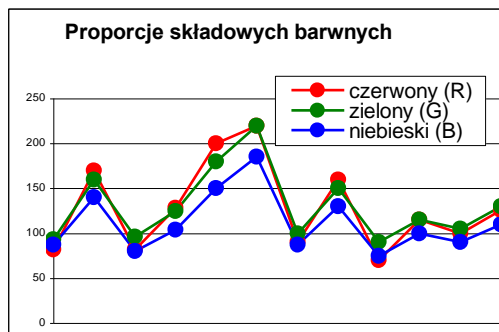
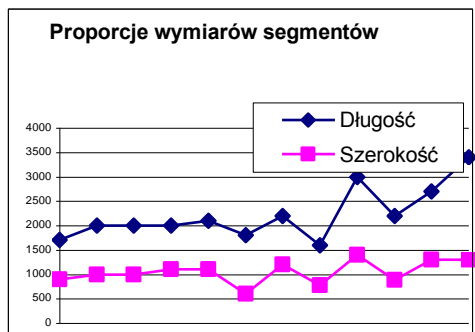
Dla uwidocznienia wartości cech segmentów na podobnych klasach obiektów w ramach różnych obszarów funkcjonalnych opracowano trzy pary wykresów (rys 3.). Po lewej stronie są ukazane wartości podstawowych cech geometrycznych, zaś prawa strona ilustruje cechy radiometryczne. Numery pod rysunkami odpowiadają nazwom cyfrowym poszczególnych klas obiektów w ramach obszarów funkcjonalnych.



Porównywane elementy zabudowy (klasy 1.1.1, 1.1.3, 2.1.1, 3.1.1 i 4.1.1)



Porównywane trasy komunikacyjne (klasy 1.2.1, 1.2.2, 2.2.1, 2.2.2, 3.2.2, 3.2.4, 4.2.1, 4.2.2, 5.2.1, 5.2.2 i 8,2,1)



Porównywana zieleń i tereny otwarte (klasy 1.3.1, 1.4.2, 2.3.1, 2.3.2, 2.4.2, 3.4.1, 4.3.1, 4.4.2, 6.3.1, 6.4.1, 8.3.1, 8.4.1)

Rys. 3. Wykresy wartości wybranych cech segmentów w granicach wydzielonych klas obiektów we wszystkich kategoriach terenów – strona lewa: przeciętne wymiary liniowe, strona prawa: przeciętne wartości składowych barwnych

### 3. Podsumowanie

Podjęta próba oceny cech segmentów tworzących różne klasy obiektów w ramach różnych obszarów funkcjonalnych miasta na podstawie wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych wykazała ogromne potencjalne możliwości presegmentacji obrazów w doborze cech wyróżniających te obiekty. Umiejętny dobór kryteriów cech może wprost doprowadzić do wydzielenia poszukiwanych kategorii obszarów, mimo że bardziej celowe i użyteczne jest zdefiniowanie hierarchicznej struktury obiektów wraz z definicją kryteriów doboru. Jednak jakość wyników jego zastosowania zależy w znacznej mierze od doboru wielkości i kształtu segmentów wydzielanych we wstępnym etapie analizy.

Przytoczone wyniki stanowią przyczynek do szczegółowej definicji parametrów procesu segmentacji obrazów QuickBirda w zastosowaniach urbanistycznych. Planuje się rozwinięcie metody na badanie zmian funkcji terenów miejskich w sposób zautomatyzowany. Badaniu będą poddawane pary ortofotomap opracowanych w różnych przekrojach czasowych lub nowych obrazów w porównaniu z zawartością baz danych miejskiego SIP. Wydaje się zasadne wykonywanie segmentacji łącznej na obu porównywanych zbiorach danych obrazowych i poszukiwanie obiektów o znacznie zmienionych cechach segmentów.

### Literatura

- Baatz M., Schaepke A., 2000, Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation, w: Strobl J., Blaschke T., (Eds.) *Angewandte Geogr. Informationsverarbeitung*, XII. Wichmann Verlag, Heidelberg, 12-23.
- Bauer T., Steinnocher K., 2001, Per-parcel land use classification in urban areas applying a rule-based technique, *GIS*, 6, 24-27
- Benz U.C., Hofmann P., Willhauck G., Lingenfelder I., Heinen M., 2004, Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information, *ISPRS Journal of Ph. & Remote Sensing* 58, 239-258
- Blaschke T., Strobl J., 2001, What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS, *GIS*, 6, 12-17
- eCognition Professional 4.0 user guide, 2004, Definiens, [www.definiens-imaging.com](http://www.definiens-imaging.com)
- De Kok R., Wever T., Fockelmann R., 2003, Analysis of urban structure and development applying procedures for automatic mapping of large area data, w: Carstens, J. (Ed.): *Remote Sensing of Urban Areas*, 41-46.
- Esch T., Roth A., 2004, Semi-automated classification of urban areas by means of high resolution radar data, *Proceedings XXth ISPRS Congress, Comm. 7, 12-23 July 2004, Istanbul*, 478-482
- Hay G.J., Blaschke T., Marceau D.J., Bouchard A., 2003, A comparison of three image-oriented methods for the multiscale analysis of landscape structure, *ISPRS Journal of Ph&RS*, 57, 327-345.

- Ruefenacht B., Vanderzanden D., Morrison M., Golden M., 2002, New technique for segmenting images, USDA technical report
- Schiewe J., Tufte G.L., Ehlers M., 2001, Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing, GIS, 6, 34-39
- Wyczałek I., Wyczałek E., Plichta A., 2004, Wykorzystanie danych teledetekcyjnych w miejskich systemach informacyjnych, Roczniki geomatyki t.II, z.2, w przygotowaniu
- Zhang Y., 2004, Understanding Image Fusion, Photogrammetric Eng. & Remote Sensing, Vol. 70, No 6, 657-661

Recenzował: dr inż. Adam Boroń