

AGNIESZKA OZIMEK, PAWEŁ OZIMEK

Instytut Modelowania Komputerowego  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

## ALGORYTMY PRZETWARZANIA OBRAZU W WYRÓŻNIANIU TWORZYWA KULTUROWEGO I PRZYRODNICZEGO NA FOTOGRAFIACH KRAJOBRAZOWYCH

**Streszczenie.** Algorytmy przetwarzania obrazu znajdują szerokie zastosowanie w szeregu dziedzin, jednakże dotychczas w niewielkim stopniu były one wykorzystywane w analizie fotografii krajobrazowej. Ten typ podejścia może okazać się użyteczny, gdyż pozwala na obiektywny osąd widoku. W artykule autorzy podejmują próbę wyróżnienia kulturowych i przyrodniczych składowych krajobrazu, co może stanowić podstawę do jego klasyfikacji. Wstępna analiza odmienności powyższych typów obiektów wykazuje, że różnicuje je charakterystyka spektralna oraz stopień zgeometryzowania formy. Zastosowanie operacji na tzw. kanałach koloru oraz morfologii matematycznej pozwala na rozróżnienie kategorii elementów, a w konsekwencji – oznaczenie obiektów kulturowych barwą białą, zaś naturalnych – kolorem czarnym. Współczynnik średniej jasności obrazu stanowi wymierne kryterium, w oparciu o które można określić stopień nasycenia terenu formami przyrodniczymi oraz budowlanymi.

**Słowa kluczowe:** tworzywo przyrodnicze, tworzywo kulturowe, przetwarzanie obrazu, charakterystyka spektralna, kanały koloru, operacje morfologiczne

### Wstęp

W porównaniu z tradycyjnymi metodami, w których osąd krajobrazu i oddziaływania wprowadzanych w jego przestrzeń nowych inwestycji podlegały w znacznej mierze subiektywnej ocenie, zastosowanie technik komputerowych prowadzi do otrzymania bardziej miarodajnych wyników. Rosnący udział terenów podlegających ochronie widokowej i jednoczesna potrzeba ekspansji elementów kulturowych, pociągają za sobą konieczność prowadzenia badań dotyczących wpływu proponowanych zmian na dobro wspólne, jakim niewątpliwie jest postrzegany krajobraz (WOLSKI 2002).

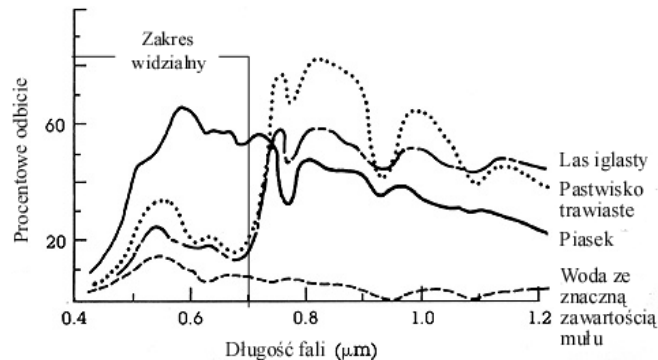
Stopień nasycenia danego widoku tworzywem przyrodniczym i kulturowym pozwala na wstępną klasyfikację typu krajobrazu i jego ocenę jako naturalnego, bądź zainwe-

stowanego. Warto w tym miejscu podkreślić, że środowisko „nietknięte ludzką ręką” coraz rzadziej może być obserwowane i to nie tylko na terenie Polski, ale i całej Europy. Jednocześnie jego percepcja wywołuje szczególnie silne wrażenia emocjonalne. W dobie postępującej urbanizacji widok o znacznym udziale komponentów naturalnych jest coraz wyżej ceniony (NECKI 1994).

### Trudności związane z analizą fotografii krajobrazowej

Zmysł wzroku jest wrażliwy na bardzo wąski wycinek długości fali elektromagnetycznej (ok. 380-760 nm), odbitej od przedmiotów znajdujących się w polu widzenia. Zgodnie z teorią trójpodbudzeniową Younga-Helmholtza, w oku ludzkim znajdują się receptory reagujące na barwę czerwoną, zieloną i niebieską (o długości fali odpowiednio: ok. 400-500 nm, ok. 500-600 nm, ok. 600-750 nm). Zakresy te są wykorzystywane podczas wykonywania fotografii przy użyciu aparatu cyfrowego (CHORAŚ 2005).

W wielu dziedzinach wiedzy, zajmujących się analizą ukształtowania i pokrycia terenu, zastosowanie znajduje rejestracja obrazu w znacznie szerszym zakresie częstotliwości niż tylko widzialny. Ze względu na spektralną charakterystykę poszczególnych typów pokrycia terenu, w teledetekcji ważną rolę odgrywa przykładowo zakres bliskiej podczerwieni (SANECKI 2006). Pozwala on nie tylko jednoznacznie wyróżnić roślinność, ale także sprecyzować jej typ (zieleń wysoka, niska) czy wręcz konkretny gatunek, a nawet jego kondycję (wykrywanie chorób drzewostanu). Jeżeli zakres rejestracji ograniczony jest do widma widzialnego, jak ma to miejsce w przypadku fotografii cyfrowej, zapis obrazu pozostaje zawężony do trzech kanałów: czerwonego, zielonego i niebieskiego, co stanowi znaczne ograniczenie zbioru danych, które mogą podlegać analizie (rys. 1).



Rys. 1. Spektralna charakterystyka przykładowych typów pokrycia terenu (<http://rst.gsfc.nasa.gov>)

Fig. 1. Spectral characteristics of exemplary land cover types (<http://rst.gsfc.nasa.gov>)

Kolejnym utrudnieniem, jakie wiąże się z bezpośrednio badaniami obrazów pozyskiwanych z poziomu widzenia człowieka, jest dystorsja perspektywiczna. Podczas, gdy teledetekcja bazuje przede wszystkim na obrazach odległych, wykonywanych z pułapu

lotniczego bądź satelitarnego, w przypadku których aspekt odległości obiektu od sensora nie wywiera dominującego wpływu na rozmiar jego rzutu, w percepcji krajobrazu, z jaką najczęściej mamy do czynienia, trzeci wymiar odgrywa decydującą rolę w zapisie wielkości przedmiotu. Zniekształcenia perspektywiczne, nierozłącznie związane z charakterystyką postrzegania ludzkiego powodują, że gabaryt obiektu rzutowanego na powierzchnię obrazu jest zależny od jego odległości.

Różnorodność warunków oświetleniowych, w jakich pozyskiwane są zdjęcia krajobrazu, dodatkowo komplikuje badania oparte na charakterystyce spektralnej obiektów. Barwa rejestrowanego przedmiotu będzie bowiem ulegać zmianie w zależności od kierunku padania i natężenia światła. W badaniach teledetekcyjnych to niekorzystne zjawisko jest częściowo zredukowane w wyniku umieszczenia satelitów na orbitach słonecznie synchronicznych (SITEK 1992). Podobnie w inżynierii materiałowej czy obrazowaniu medycznym normalizacja oświetlenia analizowanych próbek jest stosunkowo nieskomplikowana.

W praktyce fotograficznej rejestracji krajobrazu, technologie te nie mogą znajdować zastosowania. Często występująca konieczność wykonywania panoram pociąga za sobą znaczną zmienność warunków oświetleniowych, nawet w obrębie jednego obrazu wynikowego. Jest to widoczne zarówno na obszarze nieba, jak i innych elementów, które widziane „pod światło” przybierają znacznie ciemniejszą barwę (rys. 2).



Rys. 2. Zmienny kąt padania promieni słonecznych powoduje zmiany w zabarwieniu obiektów (fot. M. Kisielowski)

Fig. 2. Differential sun light angle induces differences in elements colour (photo by M. Kisielowski)

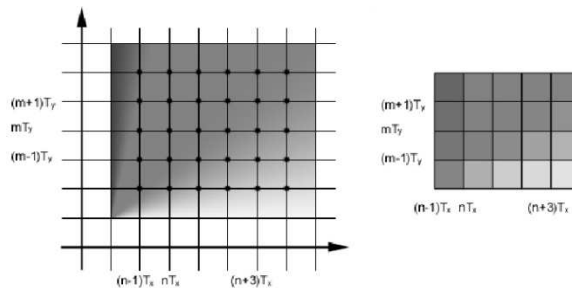
Zmiany kąta padania światła wynikać będą także z pory dnia czy roku. Ten ostatni czynnik ma ogromny wpływ na wygląd składowych przyrodniczych krajobrazu. Podjęta próba wyróżnienia tworzywa naturalnego została ograniczona do sezonu letniego, gdy drzewa są ulistnione. Fotografie wykonywane w porze bezlistnej wymagałyby wykorzystania innego zestawu danych. Rozważania dotyczą detekcji zieleni niskiej i wysokiej, należy jednak mieć świadomość, że zdjęcia krajobrazowe mogą obrazować inne twory przyrodnicze, jak wodę, fragmenty skał lub gleby. Na podstawie cech wizualnych (barwy oraz kształtu) często nie sposób wnioskować na temat genezy obiektów, stąd trafniejsze wydają się określenia: tworzywo przyrodnicze i tworzywo kulturowe niż elementy antropogenne i naturalne.

W toku rozważań dotyczących problemów związanych z analizą fotografii krajobrazowej nadmienić należy, iż wyróżnienie kulturowych komponentów widoku jedynie na podstawie analizy spektralnej nie jest możliwe (OZIMEK 2007). Dzieła rąk ludzkich, czy

to budynki, czy elementy infrastruktury technicznej, które są obserwowane w krajobrazie, mogą przybierać dowolne barwy. Zatem identyfikacja obiektu o barwie zielonej jako fragmentu mostu czy dachu nie będzie dokonywana na podstawie jego kolorystyki, a raczej na podstawie kształtu (MALINA i SMIATACZ 2005).

### Rejestracja obrazu cyfrowego

Aparat fotograficzny, pozwalający na rejestrację obrazu cyfrowego, wyposażony jest w matrycę, na której znajduje się zestaw czujników (sensorów) reagujących na odpowiednie długości fali elektromagnetycznej (CHORAŚ 2005). Sygnał świetlny docierający do sensora jest próbkowany w oparciu o prostokątną siatkę, a następnie jego wartość przypisywana jest otoczeniu, które przeważnie przyjmuje kształt kwadratu (rys. 3). Pole to, zwane pikselem, ma zatem jednolitą dyskretną wartość (nasylenia kolorem w przypadku obrazów barwnych lub jasnością – dla obrazów monochromatycznych).



Rys. 3. Struktura obrazu cyfrowego  
Fig. 3. Digital image structure

W zależności od przyjętej głębokości bitowej koloru, atrybut ten otrzymuje różne wartości. Zwykle mieszczą się one w zakresie 0-255 (256 poziomów intensywności). Podczas zapisu trzech kanałów koloru (czerwonego, zielonego i niebieskiego) można zatem otrzymać 16 777 216 barw ( $256 \times 256 \times 256$ ). Warto w tym miejscu zauważyć, że im wyższa wartość w kanale, tym większy udział danego koloru w wynikowym zabarwieniu piksela (MALINA i SMIATACZ 2005).

## Materiał i metody

### Detekcja tła jako informacji nadmiarowej

Jeżeli chcemy mówić o stopniu zainwestowania terenu, mierzonym przez procentowy udział tworzywa kulturowego, tło fotografii stanowi informację nadmiarową (redundancję obrazu). Pierwszym krokiem powinna być zatem jego detekcja, a kolejnym – eliminacja, która pozwoli skoncentrować się na danych istotnych (WRÓBEL i KOPROWSKI 2004). Można w tym celu podjąć próbę wykorzystania technik wypracowanych przez inne dziedziny, w których analizy danych obrazowych są już zaawansowane.

W teledetekcji stosowane są metody klasyfikacji nienadzorowanej (wykonywanej automatycznie) oraz nadzorowanej, w której wskazywane są tzw. obszary treningowe, czyli charakterystyczne dla danego typu pokrycia terenu (las, pola uprawne, zabudowa). Stanowią one podstawę dla określenia rodzajów użytkowania terenu (SANECKI 2006).

Jak już wspomniano, niebo (traktowane jako tło fotografii krajobrazowej) może przybierać różne barwy w zależności od pory dnia, roku, kąta padania światła słonecznego i stopnia zachmurzenia. Wybrane próbki (o rozmiarze  $200 \times 200$  pikseli) ukazują wachlarz kolorystyczny, charakteryzujący ten element (rys. 4). Dla każdej próbki przeprowadzono badanie średniej wartości intensywności poszczególnych barw (RGB).



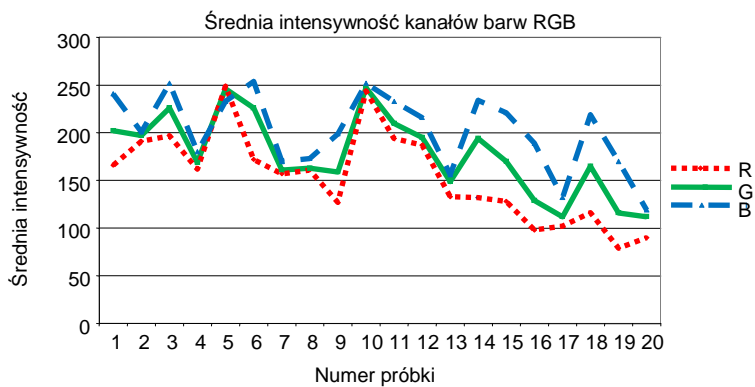
Rys. 4. Wybrane próbki tła (nieba) wraz ze współczynnikami korelacji kanałów barwnych B i R (fot. A. Ozimek)

Fig. 4. Background samples with colour channels B and R correlation coefficient (photo by A. Ozimek)

Analiza wyników dowodzi, że w przeważającej liczbie próbek kolor niebieski osiąga największe wartości, co wydaje się wnioskiem oczywistym. Na uwagę zasługuje jednak fakt, że parametr ten wydaje się być słabo wrażliwym na stopień zachmurzenia nieba. Problem mogą stanowić fotografie prześwietlone, gdzie tło przyjmuje barwę zbliżoną do bieli (próbki nr 5 i 10), a wartości we wszystkich kanałach barwnych są zbliżone. Z wykresu (rys. 5) można także odczytać stosunkowo słabą intensywność czerwieni. Wnioskować można zatem, że stosunek kanału niebieskiego i czerwonego może stanowić optymalny wyznacznik obszaru nieba (rys. 6).

Tabela 1. Charakterystyka spektralna próbek tła (nieba)  
Table 1. Spectral characteristics of background (sky) samples

Nr próbki	(R)	(G)	(B)	B/R	B-R	Nr próbki	(R)	(G)	(B)	B/R	B-R
001	166	202	241	1.45	75	011	194	210	233	1.20	39
002	191	197	201	1.05	10	012	187	195	216	1.16	29
003	197	226	252	1.28	55	013	133	149	156	1.17	23
004	162	169	180	1.11	18	014	132	194	234	1.77	102
005	249	246	233	0.94	-16	015	128	170	221	1.73	93
006	172	226	254	1.48	82	016	98	129	189	1.93	91
007	157	161	170	1.08	13	017	102	112	132	1.29	30
008	161	163	173	1.07	12	018	116	165	219	1.89	103
009	127	159	199	1.57	72	019	79	116	170	2.15	91
010	244	247	252	1.03	8	020	90	112	119	1.32	29



Rys. 5. Wykres korelacji kanałów barwnych dla próbek tła (nieba)  
Fig. 5. Diagram of colour channels correlation for background (sky) samples

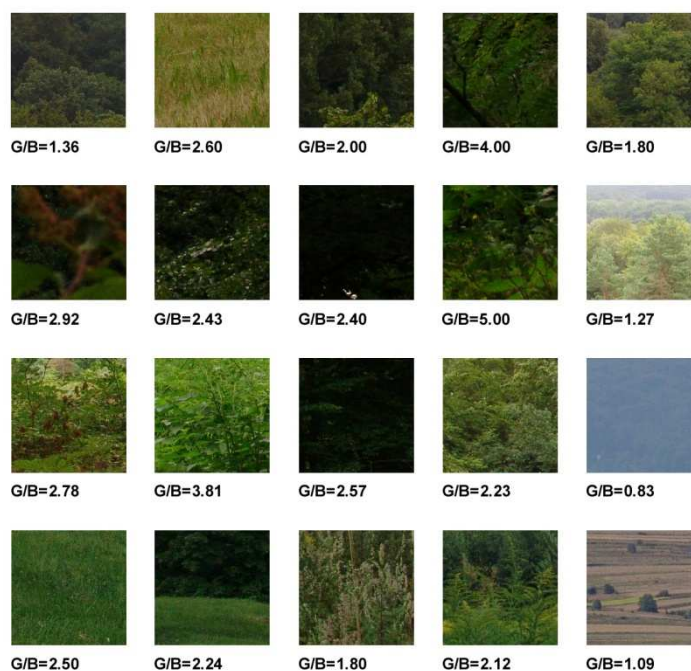


Rys. 6. Fotografia krajobrazowa w zapisie RGB oraz binarny obraz, na którym niebo ma kolor biały (fot. A. Ozimek)

Fig. 6. Landscape photograph in RGB colours and binary image, in which the sky is marked with white (photo by A. Ozimek)

### Detekcja roślinności

Podobną zasadę badań zastosowano dla wykrywania tworzywa przyrodniczego. Próbkami obrazu zostały wybrane w taki sposób, by przedstawiały możliwie szeroki zakres kolorystyczny, charakterystyczny dla różnych typów roślinności (zieleń wysoka i niska, pole uprawne) widzianej na różnych planach widoku (bliski, średni i daleki) (rys. 7). Na większości próbek widoczna jest przewaga wartości w kanale zielonym. Statystycznie największą różnicę można zaobserwować pomiędzy nim a barwą niebieską (rys. 8). Spostrzeżenie to jest prawdziwe dla zieleni widocznej na planie bliskim i średnim. Plan daleki wykazuje znaczny udział błękitu, który w tym przypadku pojawia się jako efekt rozproszenia cząsteczek wody w atmosferze (próbki 10 i 15), dlatego miara stosunku intensywności promieniowania w kanale zielonym i niebieskim może nie stanowić podstawy efektywnego algorytmu wykrywania zieleni na dalekim planie. Kolejny problem stanowią obiekty tworzywa kulturowego o charakterystyce spektralnej zbliżonej do elementów naturalnych (rys. 9).

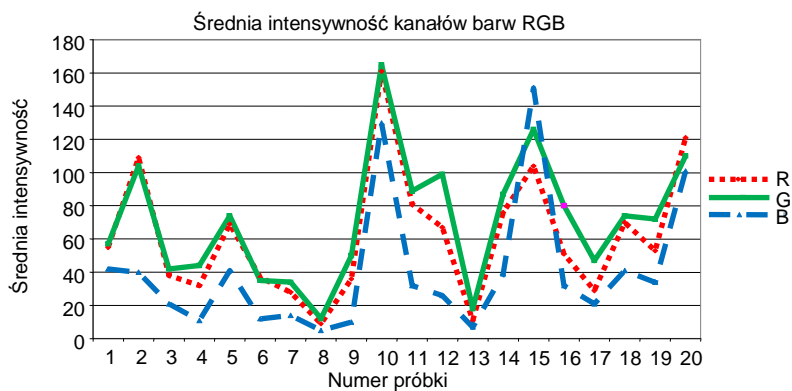


Rys. 7. Wybrane próbki zieleni wraz ze współczynnikami korelacji kanału zielonego i niebieskiego (fot. A. Ozimek)

Fig. 7. Greenery samples with green and blue colour channels correlation coefficient (photo by A. Ozimek)

Tabela 2. Charakterystyka spektralna próbek zieleni  
Table 2. Spectral characteristics of greenery samples

Nr próbki	(R)	(G)	(B)	G/B	Nr próbki	(R)	(G)	(B)	G/B
001	55	57	42	1,36	011	81	89	32	2,78
002	109	104	40	2,60	012	67	99	26	3,81
003	38	42	21	2,00	013	11	18	7	2,57
004	32	44	11	4,00	014	76	87	39	2,23
005	69	74	41	1,80	015	104	126	151	0,83
006	37	35	12	2,92	016	51	80	32	2,50
007	28	34	14	2,43	017	29	47	21	2,24
008	9	12	5	2,40	018	70	74	41	1,80
009	36	50	10	5,00	019	53	72	34	2,12
010	161	165	130	1,27	020	121	110	101	1,09



Rys. 8. Wykres korelacji kanałów barwnych dla próbek zieleni

Fig. 8. Diagram of colour channels correlation for greenery samples





Rys. 9. Fotografia krajobrazowa w zapisie RGB oraz obraz binarny, na którym podjęto próbę wyróżnienia zieleni kolorem białym (widoczne błędy – identyfikacja otworów okiennych jako elementów naturalnych)

Fig. 9. Landscape photograph in RGB colours and binary image, in which the attempt is made to mark greenery with white (visible errors – windows identified as natural objects)

### Detekcja tworzywa kulturowego

Praktyka dowodzi, że elementy kulturowe mogą różnić się znacznie między sobą pod względem charakterystyki spektralnej. Dobór koloru elewacji budynku czy jego dachu jest wynikiem indywidualnej decyzji projektanta. Trudno zatem podejmować próby identyfikacji tego typu obiektów jedynie na podstawie barwy. Z pomocą może tu przyjść morfologia matematyczna, której zastosowanie umożliwia analizę kształtu elementu widocznego na obrazie. Przeprowadzenie operacji morfologicznych pozwala wykryć zadane fragmenty struktury, jak przykładowo proste krawędzie budynków lub konstrukcji inżynierskich (WRÓBEL i KOPROWSKI 2004).

Innym rozwiązaniem jest eliminacja tła oraz obiektów przyrodniczych. Obraz powstały w wyniku odjęcia powyższych składowych krajobrazu od białego tła powinien uwidocznić jedynie kulturowe komponenty widoku (rys. 10).



Rys. 10. Fotografia krajobrazowa w zapisie RGB oraz obraz binarny, na którym podjęto próbę wyróżnienia elementów kulturowych kolorem białym

Fig. 10. Landscape photograph in RGB colours and binary image, in which the attempt is made to mark cultural components with white

Otrzymany wynik odbiega znacznie od spodziewanego. Zakłócenia pojawiają się w pasie zieleni dalekiego planu (widoczna „linia nieba”) oraz w obrębie części budynków o kolorze zbliżonym do barwy roślinności.

## Wyniki i wnioski

Pomimo wykazanych trudności, poszukiwania efektywnych algorytmów wykrywania omówionych składowych widoku wydają się zasadne. Procentowy udział tworzywa kulturowego w obrazie zbinaryzowanym (czarno-białym) można precyzyjnie zmierzyć za pośrednictwem średniej jasności obrazu. Parametr ten różni się znacznie dla różnych typów użytkowania terenu. Dla obszarów przyrodniczych będzie on wynosił zero, podczas gdy tereny zainwestowane będą charakteryzować się wyższymi wartościami, zależnie od procentowego udziału komponentów kulturowych. Wprowadzenie nowej inwestycji w zastany krajobraz będzie związane ze wzrostem średniej jasności obrazu. Zastosowanie powyższego współczynnika może zatem przyczynić się do oceny wpływu proponowanej zmiany na charakter danego widoku. Należy jednak zauważyć, że nie bez znaczenia są wymiary przedmiotowego elementu. Można mówić o teksturze charakterystycznej dla danego widoku: przeciętnej wielkości obiektów oraz ich przestrzennych relacjach. Na obecnym poziomie rozwoju technik komputerowych istnieją już narzędzia stosowane w innych dziedzinach wiedzy, jak przykładowo w inżynierii materiałowej, teledetekcji czy medycynie, które mogą wspomagać tego typu analizy.

## Literatura

- CHORAŚ R., 2005. Komputerowa wizja. Metody interpretacji i identyfikacji obiektów. EXIT, Warszawa.
- MALINA W., SMIATACZ M., 2005. Metody cyfrowego przetwarzania obrazów. EXIT, Warszawa.
- NĘCKI Z., 1994. Percepcja środowiska – ujęcie perspektywiczne. *Zesz. Nauk. Inst. Ekol. PAN 9* (O percepcji środowiska). Red. J. Bogdanowski. Dziekanów Leśny.
- OZIMEK A., 2007. Komputerowa analiza widoku. Międzynarodowy Kongres Polskich Architektów Krajobrazu. *Czas. Techn. PK*.
- SANECKI J., 2006. Teledetekcja. Pozyskiwanie danych. WN-T, Warszawa.
- SITEK Z., 1992. Zarys teledetekcji lotniczej i satelitarnej. Skryp. Uczeln. AG-H Krak. 1239.
- WOJCIECHOWSKI K.H., 1986. Problemy percepcji i oceny estetycznej krajobrazu. *Rozpr. Hab. Wydz. Biol. Nauk Ziemi UMCS 28*.
- WOLSKI P., 2002. Rozpoznawanie i ocena wartości krajobrazu. W: Ocena i wycena zasobów przyrodniczych. Red. J. Rylke, J. Szyszko, P. Jeżowski. Wyd. SGGW, Warszawa.
- WRÓBEL Z., KOPROWSKI R., 2004. Praktyka przetwarzania obrazów w programie Matlab. EXIT, Warszawa.
- ZIOBROWSKI Z., 1992. Mierniki jakości przestrzeni miejskiej. IGPIK, Warszawa.

## IMAGE PROCESSING ALGORITHMS IN CULTURAL AND NATURAL SUBSTANCE DISTINCTION IN LANDSCAPE PHOTOGRAPHS

**Summary.** Image processing algorithms are applied to several disciplines; however, they have been used in landscape photographs analyses to a limited extent. This approach can be very useful, because it provides objective measurement for view estimation. In this paper, the author makes an effort to distinguish between “hard” and “soft” elements of landscape that can be a starting point for their classification. Analysis of differences between these types of objects shows that they vary in spectral characteristics, as well as in the level of geometrical complexity. Application of colour channels transformations and mathematical morphology allows to separate elements categories, and consequently, to mark building substance in white, and biological one – in black. The average image brightness constitutes an objective criterion that enables to calculate level, in which given area is saturated with natural and cultural forms.

**Key words:** image processing, hard landscape, soft landscape, spectral characteristics, colour channels, morphological transformations

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Agnieszka Ozimek, Instytut Modelowania Komputerowego, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Poland, e-mail: aozimek@pk.edu.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*3.11.2008*

*Do cytowania – For citation:*

*Ozimek A., Ozimek P., 2009. Algorytmy przetwarzania obrazu w wyróżnianiu tworzywa kulturowego i przyrodniczego na fotografiach krajobrazowych. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 1, #12.*