

Porównanie tworzenia kompozycji barwnych metodami analogową i cyfrową

A comparison of the analogue and digital methods of creating colour compositions

Ewa PILICH

The purpose of the study reported was to create colour compositions out of the multispectral photographs by the use of two methods: the analogue and the digital one, and then to analyse and compare these methods.

In the first stage of the study colour compositions were created with the analogue viewer.

A relatively high number of possibilities related to changing of the parameters of projection enables obtaining on the screen of the viewer the composition securing the best visibility of the analysed elements of the photograph's contents.

The amount of information transmitted by means of individual spectral channels was the criterion in selection of the sets of colour extractions for the consecutive compositions. The remaining parameters of projections were established by the trial-and-error procedure, until satisfactory results were obtained, i.e. the maximum of information from a given set of spectral extractions. The colour compositions created in this manner were photographed.

In the second stage of the study the colour compositions were developed with the digital method. In order to make use of the system of image processing the diapositives had to be transformed into the digital maps. Thus, decision had to be made concerning the resolution with which the spectral extractions were to be scanned. For his purpose the sample of dimensions 2×2 cm was scanned with six different resolutions, so that six different digital images were obtained of the same area, differing by the magnitude of the pixel. These images were subject to analysis and it was decided that all channels be scanned with resolution of 666 dpi. Thereafter, six spectral extractions were scanned in full dimensions with the selected resolution in the TIFF format. The subsequent step was to adapt the TIFF format to the IMG format, as accepted by the IDRISI software. After having obtained the data in the IMG format it became necessary to adapt the dimensions of individual chan-

nels so as to bring them to the same magnitude. It was stated that identical windows can be cut out according to the photographed crosses of the lattice, but it turned out that the distances between the corresponding crosses within the individual extractions were not identical. After having analysed these distances on all extractions it was concluded that a certain repetitive window frame should be considered correct and the remaining ones ought to be adapted to it. The thus prepared spectral extractions were analysed with respect to the use of the grey scale. On the basis of histograms developed the decision was made of stretching out the contrast of the images. Following several attempts the optimum function changing contrast was selected for the images considered, i.e. the linear contrast stretch with saturation of 2.5%. The compositions obtained could not be actually projected in view of the limitations of equipment available. Additional functions had to be used, changing the 256-colour scale to the 16-colour one. During this transformation unsupervised classification was carried out.

Compositions developed in the above manner were subject to further transformations. The digital colour compositions obtained had not too good colour palettes. The new ones were created, making the elements of image contents more pronounced. The results achieved were very satisfactory: the compositions were characterized by good and very good legibility of the selected elements of land cover. Many details were visible owing to the possibility of magnifying the digital colour compositions to large scales without loss of information.

After having selected the optimum colour compositions obtained with the two methods it was stated that their quality is similar and that both images can be visually interpreted. Still, the possibility of manipulating and processing of the digital image seems to be greater, which, given the present common accessibility of the computer equipment, indicates this kind of methods as more useful in geographical analyses.

* Badania wykonano w 1994 roku w ramach pracy magisterskiej na Politechnice Warszawskiej, pod kierunkiem prof. J.R. Ołędzkiego.

Celem opracowania było utworzenie kompozycji barwnych ze zdjęć wielospektralnych dwoma metodami: analogową i cyfrową. Następnie dokonano analizy tych metod i porównano je pod względem jakości utworzonych kompozycji, czytelności wybranych elementów pokrycia terenu, szybkości uzyskania efektu końcowego — kompozycji barwnych, możliwości rejestracji otrzymanych kompozycji, dostępności obu metod. W 1861 roku Clark Maxwell zauważył, że kolory mogą być tworzone przez odpowiednie łączenie trzech podstawowych zakresów światła: czerwonego, zielonego i niebieskiego. Stwierdził również, że barwy podstawowe, mieszane w różnych proporcjach, pozwalają stworzyć każdy — możliwy do wyobrażenia, kolor. Addytywne tworzenie barw polega na projekcji każdej z barw podstawowych na wspólny ekran. C. Maxwell zastosował ten pomysł w fotografii i stworzył to, co obecnie znamy pod nazwą fotografii wielospektralnej (Wenderoth, Yost, Kalia, Anderson, 1974). Technika fotografii wielospektralnej pozwala na równoczesną rejestrację obrazu tego samego terenu w wąskich, specjalnie dobranych, przedziałach spektrum elektromagnetycznego. Obrazy uzyskane z poszczególnych przedziałów noszą nazwę wyciągów spektralnych. Wykorzystanie poszczególnych wyciągów spektralnych tych samych obiektów pozwala na wnikliwą analizę i znacznie rozszerza zakres możliwości wykorzystania informacji zawartych na tych zdjęciach. Jedną z metod interpretacji zdjęć wielospektralnych jest analiza kompozycji barwnych, tworzonych z wyciągów spektralnych. W prezentowanym tu opracowaniu zastosowano dwie metody tworzenia kompozycji barwnych ze zdjęć wielospektralnych wykonanych kamerą MKF-6: analogową i cyfrową.

Kamera wielospektralna MKF-6

Kamera MKF-6 została zbudowana w zakładach Carl Zeiss w Jenie w oparciu o założenia konstrukcyjne opracowane przez Instytut Badań Kosmicznych Akademii Nauk w Moskwie i Zakłady Carl Zeiss w Jenie w ramach programu INTERKOSMOS.

Kamera wielospektralna MKF-6 stanowi sprzężenie sześciu niezależnych kamer fotogrametrycznych, umieszczonych w jednym korpusie i pracujących w pełni synchronicznie. Każda z kamer wyposażona jest w obiektyw Pinatar z odpowiednim filtrem oraz posiada niezależny ładownik z filmem. Korpus kamery jest umieszczony na specjalnym podwieszeniu obrotowym. Podstawowe parametry techniczne kamery MKF-6 zostały podane za W. Bychawskim, A. Linsenbarthem i W. Mizerskim (1980) w tabeli 1.

Kamera fotograficzna MKF-6 posiada sześć obiektywów, co umożliwia wykonywanie zdjęć w sześciu kanałach spektralnych, w zakresie widzialnej części widma elektromagnetycznego oraz w zakresie bliskiej podczerwieni. Może ona pracować zarówno na pokładzie samolotu, jak i sztucznych satelitów Ziemi. Po raz pierwszy użyta została do wykonania zdjęć z satelity Sojuz-22 podczas lotu W. Bykowskiego i W. Aksjonowa w okresie

Tabela 1.

Parametry techniczne kamery MKF-6 (Bychawski i in., 1980)
Technical characteristics of MKF-6 camera

Ilość kanałów <i>Number of bands</i>	6
Obiektywy <i>Lenses</i>	Pinatar 4/125
Wartość przysłony <i>Diaphragm</i>	1:4 do 1:13,5 co $\sqrt{2}$
Pole widzenia <i>Field of view</i>	36° × 25°
Dystorsja radialna <i>Radial distortion</i>	10 μm
Dystorsja radialna + tangencjalna <i>Radial + tangential distortion</i>	≤ 30 μm
Max. nierównoległość osi obiektywów <i>Max. not parallelism of optical axes</i>	15"
Wymiar zdjęcia <i>Photo dimension</i>	56 × 81 mm
Odległości między krzyżami reseau <i>Distances reseau crosses</i>	12,00/11,75 mm (35 krzyży/zdjęcie) (35 crosses by frame)
Migawka rotacyjna <i>Rotary disc shutter</i>	
Czas ekspozycji <i>Exposure time</i>	7–56 ms ± 3%
Wydażność migawki <i>Efficiency of a shutter</i>	> 75%
Kompensacja ruchu <i>Image-motion compensation</i>	
Zakres kompensacji <i>Compensation range</i>	16,8–39,8 mrad/s
Błąd kompensacji <i>Compensation error</i>	< 0,8 mrad/s
Pojemność ładowników dla filmu o grubości 0,18 mm <i>Capacity of magazine for film size 0,18 mm</i>	120 m (1250 zdjęć/frames)
Pojemność ładowników dla filmu o grubości 0,09 mm <i>Capacity of magazine for film size 0,09 mm</i>	240 m (2500 zdjęć/frames)

od 15 IX do 23 IX 1976 roku. Od 1976 roku kamera wielospektralna MKF-6 była używana w kilku wariantach. W eksperymencie ZIEMIA w roku 1978 kamerą tą wykonano zdjęcia południowych regionów Polski z pokładu stacji orbitalnej Salut-6 oraz z pokładu samolotu-laboratorium AN-30 obszarów testowych „Środa Śląska” i „Mosina”.

Na szczególną uwagę zasługuje kilka następujących cech kamery MKF-6. Charakteryzuje się ona bardzo dużą rozdzielczością, wyrażającą się 180 parami linii na milimetr (Wójcik, 1989). Należy jednak zwrócić uwagę, że rozdzielczość ta nie jest jednakowa dla wszystkich kanałów i ze względu na rodzaje zastosowanych filmów, spada do 23 par linii na milimetr dla zdjęć kanału szóstego, podczerwonego. Stosunkowo wąskie przedziały spektralne (40 nm) dla zdjęć kanałów 1–5 pozwalają na bardzo selektywne obrazowanie powierzchni terenu. Bardzo duża jest również wydajność migawek oraz wysoka dokładność synchronizacji ich działania. Następną, pozytywną cechą kamery jest wysoka dokładność kalibracji odległości ogniskowych poszczególnych obiektywów, wynosząca ±0,01 mm (Bychawski i in., 1980).

Każda z kamer jest wyposażona w płytkę z 9 znaczkami tłowymi, które stanowią system odniesienia do badania obiektów lub zdjęć. Na podkreślenie zasługuje bardzo duża dokładność położenia znaczków tłowych. Według danych zawartych w metryce kamery, którą wykonywano zdjęcia ze stacji Salut 6, maksymalne rozbieżności w położeniu znaczków tłowych w poszczególnych kamerach nie przekraczają 3 μm .

Zdolność rozdzielcza układu: filtr+obiektyw+film dla testu o kontraście 1 i przysłonie 1:8 dla poszczególnych kanałów została podana za R. Kaczyńskim (1980) w tabeli 2.

Tabela 2.

Zdolność rozdzielcza układu: filtr + obiektyw + film dla testu o kontraście 1 i przysłonie 1:8, dla poszczególnych kanałów (Kaczyński, 1980)

Resolution of configuration: filter + lens + film for test at contrast 1 and diaphragm 1:8 for MKF-6 bands (Kaczyński, 1980)

Nr kanału <i>Number of band</i>	Zakres spektralny (nm) <i>Sensitivity (nm)</i>	Zdolność rozdzielcza (l/mm) <i>Dynamic resolution (l/mm)</i>	Rodzaj filmu <i>Films</i>
1	460–500 (niebiesko-zielony <i>blue-green</i>)	143	T-18
2	520–560 (zielono-żółty <i>green-yellow</i>)	182	T-18
3	580–620 (żółty <i>yellow</i>)	182	T-18
4	640–680 (czerwony <i>red</i>)	143	T-18
5	700–740 (podczerwony <i>infrared</i>)	29	I-74
6	790–890 (podczerwony <i>infrared</i>)	23	I-74

Metody tworzenia kompozycji barwnych

Analiza i interpretacja danych wielospektralnych może być przeprowadzana dwoma metodami: analogową i cyfrową. Etapy przetwarzania zdjęć i obrazów, realizowane tymi metodami, różnią się znacznie między sobą. Interpretacja zdjęć wielospektralnych może być przeprowadzona na odbitkach sporządzonych w poszczególnych przedziałach spektralnych, ale bardzo często nie korzysta się z poszczególnych wyciągów spektralnych, lecz z ich kombinacji, czyli tak zwanych kompozycji barwnych.

Otrzymywanie kompozycji barwnych metodami analogową i cyfrową przedstawia ryc. 1. W obu metodach najczęściej wykorzystywany jest addytywny sposób tworzenia barw.

Obraz tworzony jest drogą projekcji poszczególnych wyciągów spektralnych na wspólny ekran. Aby można było stosować tę metodę, należy mieć do dyspozycji wyciągi spektralne obrazu analizowanego terenu. Negatywy wyciągów spektralnych kopiuje się na przezroczystym materiale. Powstaje wówczas pozytywny obraz czarno-biały. Uzyskane w ten sposób diapozytywy służą bezpośrednio do tworzenia kompozycji barwnych metodą analogową na przegładarce addytywnej. Zeskanowane diapozytywy (obrazy zamienione na postać cyfrową) stanowią materiał do tworzenia kompozycji barwnych w jednym z systemów numerycznych. Stosując różne filtry i różne połączenia obrazów można uzyskać wiele kompozycji z wyciągów spektralnych. Istota kompozycji barwnych polega jednak nie na uzyskaniu wielu kombinacji, lecz na znalezieniu takich, z których można będzie otrzymać potrzebne informacje o terenie, obiektach, zjawiskach utrwalonych na zdjęciach. Jeżeli projekcja poszczególnych wyciągów nie będzie odbywać się

przez te same filtry, przez które zostały one pierwotnie naświetlone, to uzyskany zostanie obraz o barwach niezręczystych. Bardzo często wyciąg zielony jest rzutowany za pomocą światła niebieskiego, wyciąg czerwony — za pomocą światła zielonego, a jeden z dwu kanałów wykonanych w podczerwieni — za pomocą światła czerwonego. Powyższy wybór wyciągów spektralnych i filtrów barwnych daje, tak zwaną, standardową kompozycję barwną, powszechnie wykorzystywaną w pracach interpretacyjnych. Charakteryzuje się ona nadaniem specyficznych (tab. 3) barw poszczególnym obiektom.

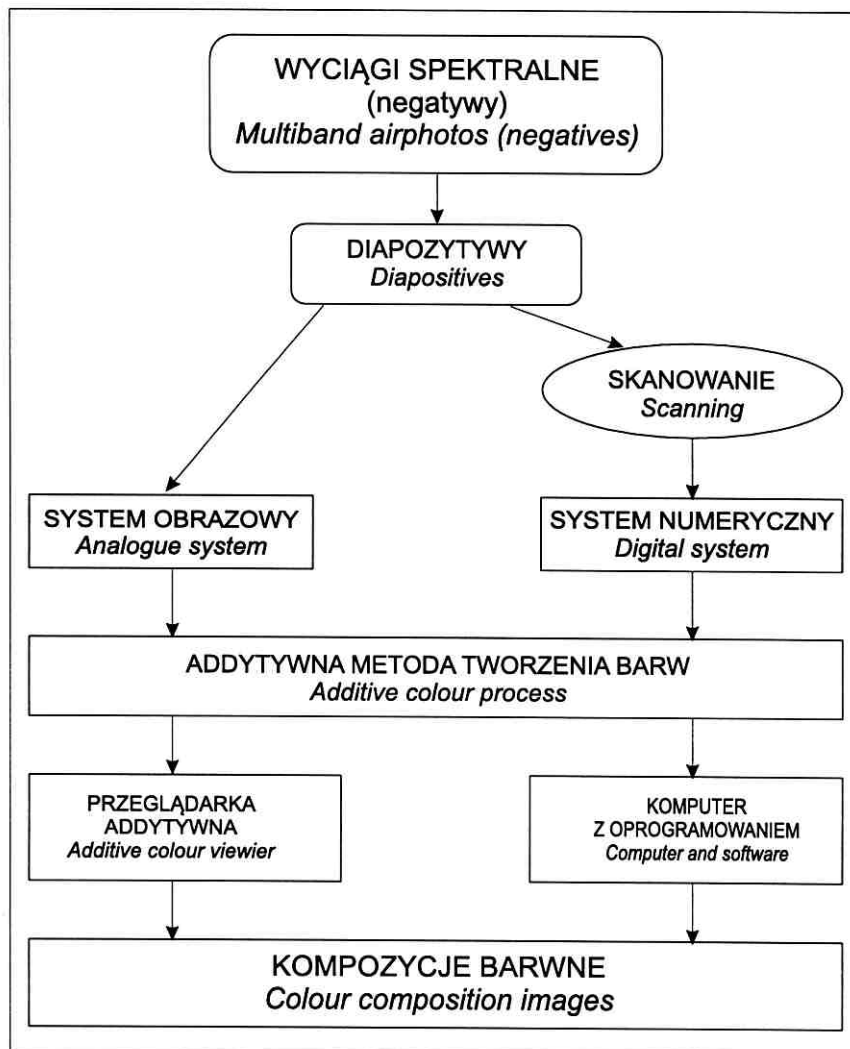
Tabela 3.

Przykładowe barwy obiektów na kompozycji standardowej
Exemplary subject colours on false colour composite

Roślinność zdrowa <i>Vegetation in good condition</i>	Czerwona <i>Red</i>
Woda czysta <i>Plain water</i>	Ciemnoniebieska lub czarna <i>Dark-blue or black</i>
Woda mętna <i>Muddy water</i>	Jasnoniebieska <i>Light-blue</i>
Gleba odkryta <i>Open soil</i>	Niebieska <i>Blue</i>
Piasek <i>Sand</i>	Biała lub jasnożółta <i>White or light-yellow</i>
Osadnictwo <i>Settlements</i>	Niebieska <i>Blue</i>

Kompozycje barwne, stworzone na przegładarce addytywnej, mogą być rejestrowane przez odfotografowanie matówki przegładarki na filmie kolorowym (35 mm lub 70 mm) za pomocą aparatu fotograficznego.

Alternatywną metodą jest rejestracja kompozycji bezpośrednio na papierze światłoczułym. W metodzie tej podczas tworzenia kompozycji barwnych mogą być użyte pierwotne negatywy, a nie diapozytywy, jak w rejestracji aparatem fotograficznym. Zastosowanie negatywów znacząco poprawia jakość otrzymanego obrazu. Przy tym sposobie rejestracji na miejsce matówki należy nałożyć kryształową szybę, a na niej ułożyć papier fotograficzny emulsją w dół. Naświetlanie odbywa się oddzielnie dla każdego z wyciągów spektralnych, gdyż wtedy można dla każdego z kanałów dobrać optymalne parametry ekspozycji. Ten rodzaj rejestracji wymaga warunków szybkiego wywołania zarówno próbek, jak i właściwych obrazów kompozycji barwnych.



Ryc. 1. Tworzenie kompozycji barwnych w systemach: analogowym i numerycznym

Fig. 1. Development of colour composition in the analogue and digital systems

Przy wykorzystaniu tej metody rejestracji kompozycji barwnej nie ma spadków jasności, które występują w przypadku rejestracji za pomocą aparatu fotograficznego. Przykładową kompozycję barwną zarejestrowaną bezpośrednio na papierze światłoczułym przedstawiono na ryc. 2.

Cyfrowe metody analizy obrazów należą do nowoczesnych form przetwarzania informacji. Zaspokajają one różne żądania użytkownika. Systemy przetwarzania i analizy obrazu są interaktywnymi programami zbudowanymi na zasadzie konstrukcji modułowej, zapewniającej niezbędną elastyczność i możliwość przystosowania zautomatyzowanego przetwarzania obrazu do różnych dziedzin.

Cyfrowe przetwarzanie zdjęć obejmuje trzy podstawowe etapy: odtwarzanie obrazu, wzmacnianie obrazu, klasyfikację treści zdjęć (Ciołkosz, Kęsik, 1989).

Jedną z możliwości cyfrowych systemów analizy obrazu jest tworzenie kompozycji barwnych z wyciągów spektralnych. Przetworzenie obrazu analogowego do postaci cyfrowej odbywa się za pomocą skanera, w procesie skanowania. Reprezentacja cyfrowa wyciągów spektralnych ma postać uporządkowanego zbioru pik-

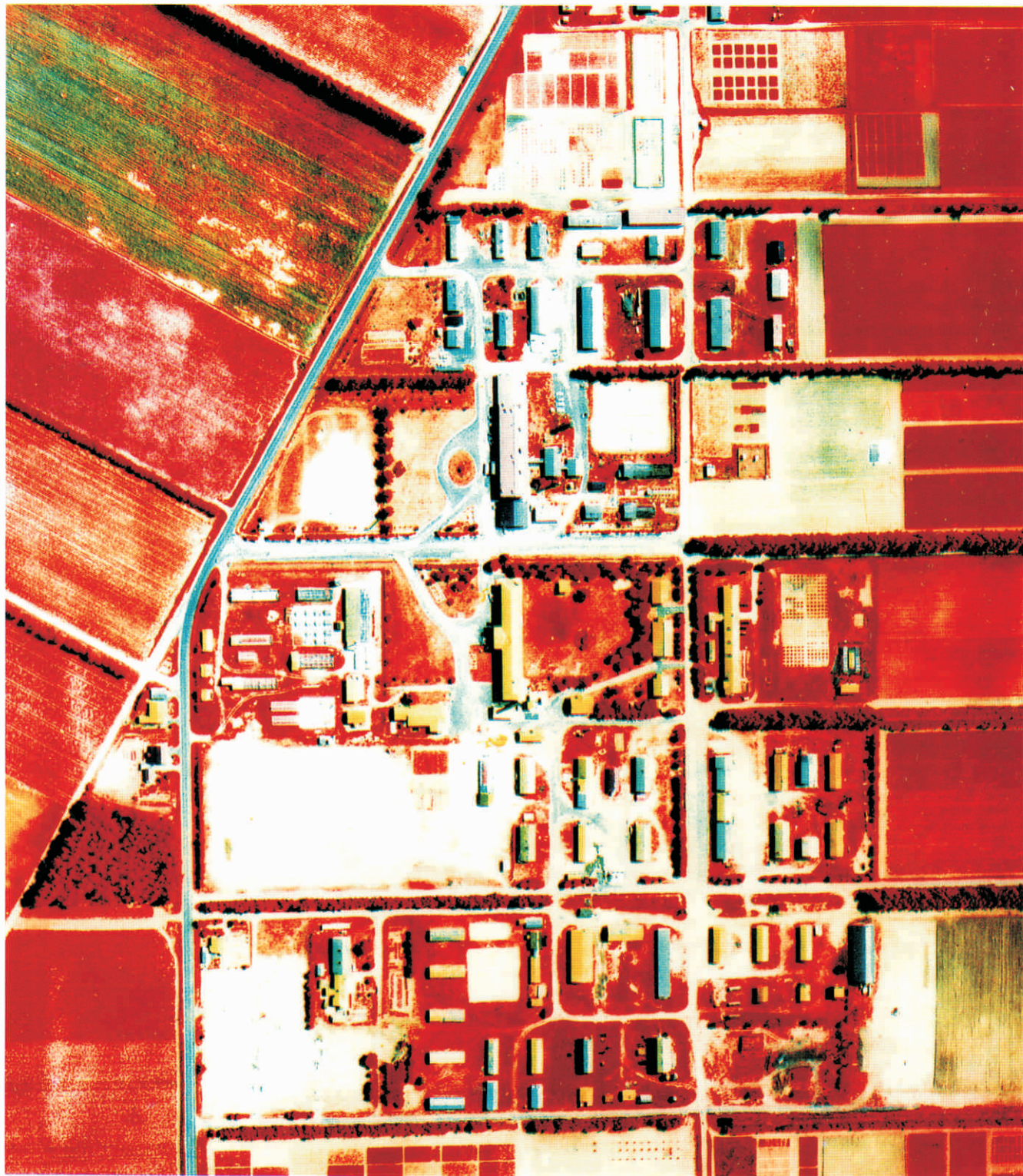
seli. Każdy piksel posiada swój adres (numer wiersza i kolumny) określający położenie oraz wartość odpowiadającą barwie (odcieniowi szarości).

Kompozycja barwna jest tworzona poprzez wyliczenie dla każdego piksela jego nowej wartości, wynikającej z nałożenia obrazów kilku wyciągów spektralnych przepuszczonych przez filtry barwne. Systemy przetwarzania obrazu wykorzystują różne metody określenia nowej wartości (indeksu) piksela. W programie IDRISI, wykorzystanym w tym opracowaniu, indeks liczony był następująco:

$$I = B + G * 6 + R * 36;$$

gdzie B , G , R są wartościami tego piksela w wyciągach spektralnych przepuszczanych odpowiednio przez filtry: niebieski, zielony i czerwony. Wartości te obejmują zakres od 0 do 5. Liczony w ten sposób indeks może przyjmować wartości od 0 do 215, jest zatem przystosowany do 8-bitowej karty graficznej, która pozwala na wyświetlenie jednocześnie 256 kolorów.

Stworzone w ten sposób kompozycje barwne mogą być rejestrowane w postaci cyfrowej na dysku lub drukowane jako kolorowy obraz.



Ryc. 2. Analogowa kompozycja barwna zarejestrowana metodą bezpośredniego naświetlenia papieru światłoczułego
 Fig. 2. The analogue colour composition registered with the method of direct exposure of the sensitive paper

Charakterystyka materiałów wykorzystanych w badaniach

W pracy wykorzystano wtórne diapozytywy z sześciu wyciągów spektralnych: niebieskozielonego (460–500 nm), zielonożółtego (520–560 nm), żółtego (580–620 nm), czerwonego (640–680 nm), podczerwonego (700–740 nm) i drugiego podczerwonego (790–890 nm). Przedstawiały

one miasto Grybów i jego okolice, w Beskidzie Sądeckim (Kondracki, 1988). Zostały wykonane kamerą wielospektralną MKF-6, w skali 1:50 000, w dniu 1 VIII 1982 r. Jakość tych diapozytywów określono jako nie najlepszą.

Jako materiały pomocnicze wykorzystano powiększenia zdjęć, z sześciu wyciągów spektralnych, wykonanych kamerą MKF-6, powiększonych do skali 1:20 000. Korzystano również ze zdjęć lotniczych w skali 1:8000

wykonanych 7 V 1990 r. Pomocna była również mapa topograficzna, w układzie 65, arkusz 184.12 GRYBÓW, w skali 1:25 000.

Tworzenie kompozycji barwnych i ich analiza

Do tworzenia kompozycji barwnych metodą analogową wykorzystano przeglądarkę addytywną AC-90 NAC, a do uzyskania kompozycji barwnej metodą cyfrową: komputer PC AT 386 SX (RAM 4 MB, 25 MHz, HD 120 MB), oraz komputera PC AT 486 DX (RAM 8 MB, 60 MHz, HD 500 MB) i program IDRISI (wersja 4.0).

W analogowej metodzie rejestracji kompozycji barwnej wykorzystano aparat fotograficzny PRAKTICA BC1 ELEKTRONIC, z obiektywem MACRO-PRAKTICAR o ogniskowej $f=55$ mm i otworze względnym 1:2,8, światłomierz LUNASIX 3, a przy rejestracji kompozycji barwnych uzyskanych metodą cyfrową posługiwano się drukarką atramentową HP PaintJet o rozdzielczości 300 dpi oraz drukarką laserową HP LaserJet 4P o rozdzielczości 600 dpi.

Analogowe kompozycje barwne

Diapozytywy wyciągów spektralnych założono do projektora AC-90 NAC i rzutowano na wspólny ekran. Uzyskany obraz doprowadzono do określonej skali, ustawiono ostrość i zestrojono obrazy z poszczególnych wyciągów według współrzędnych x, y .

Ze względu na brak ruchu obrotowego podczas nakładania obrazów i powstające w związku z tym trudności w strojeniu, wykonano specjalną ramkę, w którą wpasowywano diapozytywy przed założeniem do projektora. Ramka ta została wycięta ze zdjęcia rentgenowskiego. Umożliwiła ona łatwiejsze zestrzajanie obrazów, ponieważ częściowo eliminowała skręcenia diapozytywów względem siebie podczas projekcji. Ten sposób nie dał możliwości idealnego zestrojenia obrazu, zaś powstałe skręcenia spowodowały pogorszenie ostrości kompozycji barwnych.

Projekcja odbywała się przez trzy podstawowe filtry barwne (niebieski, zielony, czerwony) oraz przez filtr szary. Projektory przeglądarki są wyposażone w urządzenie pozwalające na zmianę natężenia rzutowanego światła w przedziale 1–10. Umożliwia to wzmocnienie kontrastu barwnego między odfotografowanymi obiektami i wydobyć subtelnych różnic między nimi.

Metodą analogową, na przeglądarce addytywnej AC-90 NAC, utworzono kompozycje barwne o parametrach przedstawionych w tabeli 4. Otrzymane obrazy zarejestrowano przez sfotografowanie ekranu przeglądarki. Każda kompozycja zarejestrowana była cztero- lub pięciokrotnie, przy różnych parametrach ekspozycji. Parametry te, dla zdjęć poszczególnych kompozycji, przedstawione zostały w tabeli 5. Po uzyskaniu szeregu kompozycji barwnych poddano je analizie z punktu widzenia czytelności wybranych elementów pokrycia terenu.

Tabela 4.

Kompozycje barwne uzyskane metodą analogową
Colour composites obtained by analogue method

Nr Number	Parametry Parameters	Filtr Filter		
		R	G	B
I	Wyciągi spektralne Spectral bands	4	2	1
	Jasność Brightness	6	5	10
	Filtr szary Gray filter	50%	0%	0%
II	Wyciągi spektralne Spectral bands	6	4	2
	Jasność Brightness	3	5	10
	Filtr szary Gray filter	75%	0%	0%
III	Wyciągi spektralne Spectral bands	6	3	4
	Jasność Brightness	3	6	10
	Filtr szary Gray filter	50%	50%	0%
IV	Wyciągi spektralne Spectral bands	3	4	1
	Jasność Brightness	10	1	10
	Filtr szary Gray filter	50%	0%	0%
V	Wyciągi spektralne Spectral bands	6	4	1
	Jasność Brightness	1	3	10
	Filtr szary Gray filter	75%	75%	0%
VI	Wyciągi spektralne Spectral bands	6	3	1
	Jasność Brightness	1	3	10
	Filtr szary Gray filter	0%	50%	0%
VII	Wyciągi spektralne Spectral bands	3	6	4
	Jasność Brightness	4	5	10
	Filtr szary Gray filter	0%	0%	0%
VIII	Wyciągi spektralne Spectral bands	6	1	3
	Jasność Brightness	4	10	7
	Filtr szary Gray filter	0%	0%	0%

W analizie tej wzięto pod uwagę następujące elementy: drogi, rzekę Białą — przepływającą przez Grybów, linię kolejową, lasy, skupiska drzew, strukturę upraw (użytkowanie gruntów) i obszar zabudowany (miasto Grybów). Wszystkie wyżej wymienione elementy były widoczne na stworzonych kompozycjach barwnych, lecz ich czytelność na poszczególnych kompozycjach była zróżnicowana. Czytelność wyżej wymienionych elementów pokrycia terenu, w skali czterostopniowej (od 0 do 3), została podana w tabeli 6.

Tabela 5.

Parametry ekspozycji poszczególnych rejestracji kompozycji barwnych

Exposure parameters of the individual registrations of colour compositions

Numer kompozycji Number of composite image	Przysłona Diaphragm				
	2,8	4	5,6	8	11
I		×	×	×	×
II		×	×	×	×
III	•	•	•	•	•
IV	•	•	•	•	•
V	×	×	•	•	•
VI	•	•	•	•	•
VII	•	•	•	•	•
VIII	•	•	•	•	•

× — ekspozycje związane z czasem 1 sek. *exposure dose 1 sec.*

Tabela 6.

Czytelność elementów pokrycia terenu na analogowych kompozycjach barwnych, podana w skali 0-3

Readable elements of land cover on analogue colour compositions, in scale 0-3

Elementy pokrycia terenu Elements of land cover	Analogowe kompozycje barwne Analogue colour compositions						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Drogi Roads	3	3	2	2	3	1	3
Rzeka River	2	3	3	2	3	3	2
Linia kolejowa Railway	3	3	2	2	2	3	2
Lasy Forests	3	3	3	3	3	3	3
Zróżnicowanie lasów Differentiation of forests	1	2	3	1	3	3	1
Skupiska drzew Group of trees	3	2	2	2	3	1	2
Struktura upraw Crop structure	3	3	2	3	3	1	3
Obszar zabudowany Built-up area	2	2	3	1	3	3	2

Czytelność: 0 — mierna, 1 — dostateczna, 2 — dobra, 3 — bardzo dobra
Interpretability: 0 — temperate, 1 — satisfactory, 2 — good, 3 — very good

Wielospektralne cyfrowe kompozycje barwne

Tworzenie kompozycji barwnych ze zdjęć wielospektralnych metodą cyfrową objęło następujące etapy: wybór systemu przetwarzania danych cyfrowych; wybór rozdzielczości skanowania; skanowanie próbki z różną rozdzielczością; analiza otrzymanych obrazów cyfrowych; skanowanie diapozytywów; przetwarzanie danych cyfrowych; przejście z formatu skanowania (TIFF) na format systemu (konwersja danych), wzmacnianie kontrastu obrazów cyfrowych; tworzenie kompozycji barwnych: wybór wyciągów spektralnych i filtrów barwnych; tworzenie nowych palet barw; wydruk powstałych obrazów. Po zapoznaniu się z różnego rodzaju skanernami i ich możliwościami zdecydowano, że do skanowania obrazów wielospektralnych zastosowany zostanie skaner HOWTEK 4000 (Pilich, 1994).

Skaner HOWTEK 4000 jest stacjonarnym skanerem bębnowym. Do komputera podłączony jest bezpośrednio przez złącze SCSI, bez dodatkowego interfejsu. Skaner ten pracuje pod kontrolą programu PhotoStyler. Ma on możliwość przetwarzania na postać cyfrową wszystkich rodzajów materiałów: przezroczystych i nieprzezroczystych. Można nim skanować zarówno czarno-białe jak i kolorowe oryginały. Skaner HOWTEK 4000 umożliwia skanowanie w 1-bitowej lub 24-bitowej skali szarości, z rozdzielczością od 30 dpi do 4000 dpi. Skanowany oryginał może mieć format maksymalnie: 26 × 28 cm.

Przykładowo, wielkość pliku zawierającego cyfrowy obraz panchromatyczny zdjęcia lotniczego (23 × 23 cm), zeskanowanego w 24-bitowej skali szarości, przy rozdzielczości skanowania 800 dpi, będzie wynosiła 50 MB, a ten sam obraz zeskanowany z rozdzielczością 1000 dpi będzie miał plik o wielkości 80 MB.

Kolejnym więc etapem pracy był dobór rozdzielczości skanowania. Mając diapozytywy wyciągów spektralnych, obejmujące miasto Grybów i okolice w skali 1:50 000 oraz wiedząc, że zdigitalizować je będzie można na skanerze HOWTEK 4000, trzeba było podjąć decyzję z jaką rozdzielczością należy je zeskanować.

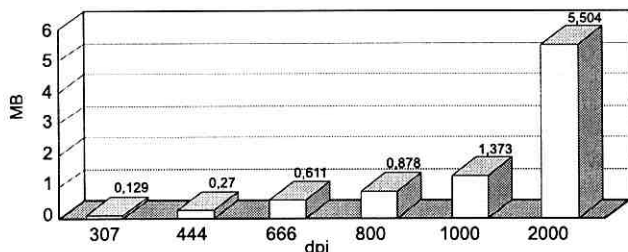
Zdecydowano, że fragment jednego diapozytywu zeskanowany będzie w różnych rozdzielczościach, a następnie po przeanalizowaniu otrzymanych próbek dokonano wyboru optymalnej rozdzielczości skanowania dla wszystkich wykorzystywanych w tym opracowaniu diapozytywów.

Zeskanowano próbkę o wymiarach 2 × 2 cm z diapozytywu kanału 4, w sześciu różnych rozdzielczościach: 307, 444, 666, 800, 1000, 2000 dpi.

Otrzymane cyfrowe próbki poddano analizom pod względem: terenowej wielkości piksela, wielkości pliku zawierającego obraz cyfrowy próbki, czasu wyświetlania próbki (na komputerze PC 386 SX), możliwości powiększenia próbki bez straty informacji, określenia przy jakim powiększeniu widoczne są piksele, czyli kiedy ujawnia się rastrowa struktura obrazu. Wyniki analiz przedstawione są w tabelach 7 i 8 oraz na wykresach (ryc. 3). Rozpatrując wyniki przedstawione w tabeli 7 i wykres 1 (ryc. 3), pokazujący zależność wielkości pliku od rozdzielczości skanowania, należy zauważyć, że gdy rozdzielczość skanowania rośnie dwukrotnie, wielkość pliku wzrasta czterokrotnie. Zatem jest to zależność kwadratowa, co jest dobrze widoczne gdy porówna się wielkość pliku przy skanowaniu w rozdzielczościach 1000 dpi i 2000 dpi. Plik powstały przy skanowaniu z rozdzielczością 2000 dpi nie jest dokładnie 4 razy większy od pliku, który powstał po skanowaniu z rozdzielczością 1000 dpi, gdyż skanowane próbki minimalnie różniły się wielkością. Wykres 2 (ryc. 3), ukazujący związek między czasem wyświetlania próbki i rozdzielczością skanowania, wygląda bardzo podobnie do wykresu 1 i również zależności na nim przedstawione można opisać funkcją kwadratową. Interesujące wyniki otrzymano analizując możliwości powiększania zdjęć zeskanowanych w różnych rozdzielczościach. W analizie tej wzięto pod uwagę możliwość powiększania zdjęć bez

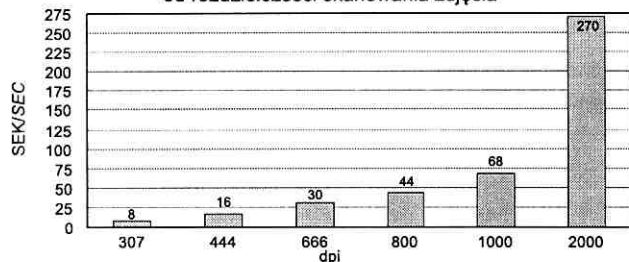
Wykres 1.

Wielkość pliku w zależności od rozdzielczości skanowania zdjęcia



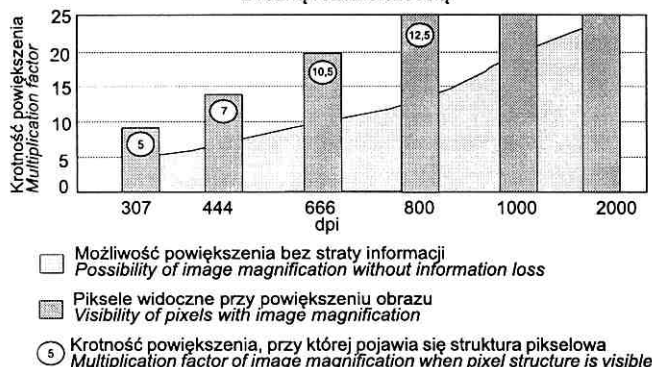
Wykres 2.

Czas wyświetlania próbki zdjęcia w zależności od rozdzielczości skanowania zdjęcia



Wykres 3.

Możliwość powiększania zdjęć zeskanowanych z różną rozdzielczością



Ryc. 3. Wpływ rozdzielczości skanowania na: 1 — wielkość pliku, 2 — czas wyświetlania, 3 — możliwość powiększenia obrazu

Fig. 3. The influence of scanning resolution on: 1 — the file volume, 2 — the projection time, 3 — the possibility of magnifying the image

straty informacji, czyli określenia, przy jakim powiększeniu nie zauważa się jeszcze rastrowej struktury obrazu. Rezultaty tej analizy zostały przedstawione w tabeli 8 oraz na wykresie 3 (ryc. 3). Podczas analizy obrazów zeskanowanych w rozdzielczościach 1000 i 2000 dpi nie było możliwe określenie granicy powiększenia, gdyż powiększenie było tak duże, iż otrzymanego obrazu w ogóle nie można było porównać z mapą. Na ryc. 4 przedstawiono próbki skanowania z różną rozdzielczością. Należy wziąć pod uwagę, że obrazy te zostały wydrukowane w siedmiokrotnym powiększeniu w stosunku do oryginalnej próbki, zaś rozdzielczość wykorzystanej drukarki (LaserJet 4P) wynosiła 600 dpi.

Z analiz wynika, że optymalną rozdzielczością do skanowania wyciągów spektralnych jest rozdzielczość 666 dpi, przy której piksel ma wymiar terenowy $1,8 \times 1,8$ m. Jest to rozdzielczość wystarczająca do geograficznych analiz pokrycia terenu, ponadto otrzymane obrazy cyfrowe zajmują stosunkowo niedużo pamięci komputera.

Tabela 7.

Dane próbki zdjęcia zeskanowanej w różnych rozdzielczościach
The data of the photograph sample scanned with varying resolution

Rozdzielczość skanowania Scan resolution	Wielkość pliku Size of file [MB]	Czas wyświetlania Exposure dose [sek./sec.]	Liczba kolumn Number of columns	Liczba wierszy Number of lines	Liczba pikseli Number of pixels
307	0,129	8	264	244	64416
444	0,270	16	382	354	135228
666	0,611	30	574	532	305368
800	0,878	44	688	638	438944
1000	1,373	68	860	798	686280
2000	5,504	270	1722	1598	2751756

Tabela 8.

Wyniki analiz próbki zdjęcia zeskanowanej w różnych rozdzielczościach

The results of the analysis of a photograph sample scanned with various resolutions

Rozdzielczość skanowania Scan resolution	Piksele widoczne przy powiększeniu Pixels seen in enlargement	Możliwość powiększenia bez straty informacji Possibility of enlargement without information loss	Terenowa wielkość piksela Ground resolution [m]
307	9x	5x	4,0
444	14x	7x	3,0
666	20x	10,5x	1,8
800	25x	12,5x	1,5
1000		20x	1,2
2000		25x	0,6

Po zeskanowaniu diapozytywów wyciągów spektralnych z rozdzielczością 666 dpi przystąpiono do przetwarzania otrzymanych obrazów cyfrowych w systemie IDRISI. Na wstępie należało dokonać konwersji danych z formatu zapisu obrazu TIFF (*tagged image file format*) na format IMG, który jest formatem graficznym specyficznym dla pakietu IDRISI (Estman, 1992). Konwersji tej dokonano za pomocą funkcji TIFIDRIS.

Aby móc stworzyć kompozycję barwną w systemie IDRISI należy dysponować trzema cyfrowymi wyciągami spektralnymi o takich samych wymiarach (liczba kolumn i wierszy). Zatem, korzystając z opcji WINDOW, wycięto z każdego wyciągu spektralnego obszar (prostokąt) ograniczony krzyżami siatki. Teoretycznie wycięte w ten sposób „okna” powinny być tej samej wielkości, czyli mieć taką samą ilość kolumn i taką samą ilość wierszy. W praktyce okazało się, że uzyskane obrazy różnią się między sobą. Wielkości poszczególnych obrazów przedstawia tabela 9. Tabela ta nie zawiera danych o kanale II, gdyż okazało się, że został on błędnie zeskanowany. Skanowania tego kanału nie powtórzono. Uznano, że nie jest on niezbędny do stworzenia dobrych kompozycji barwnych metodą cyfrową.

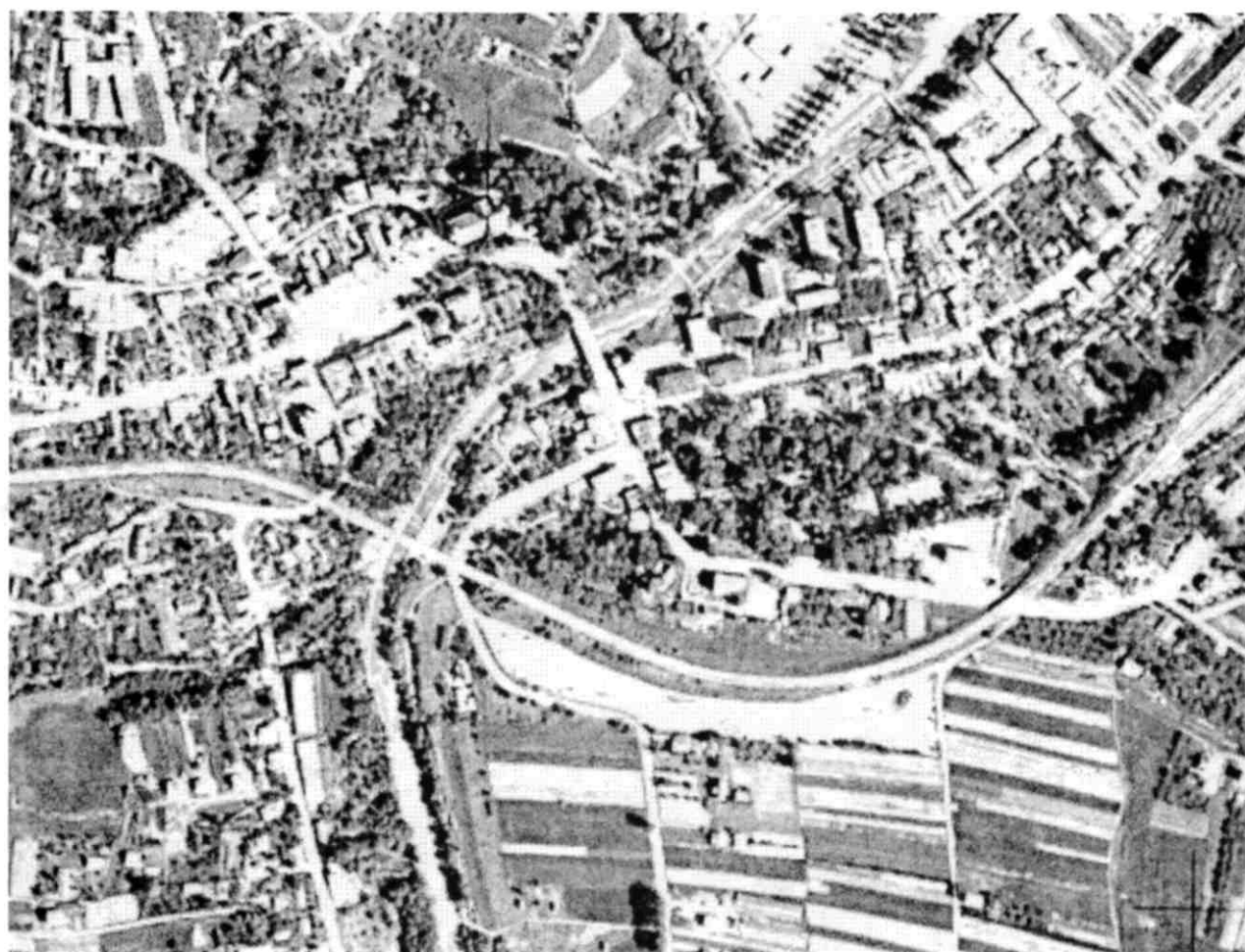
Jak wynika z tabeli 9 różnice ilości kolumn i różnice ilości wierszy między poszczególnymi kanałami docho-

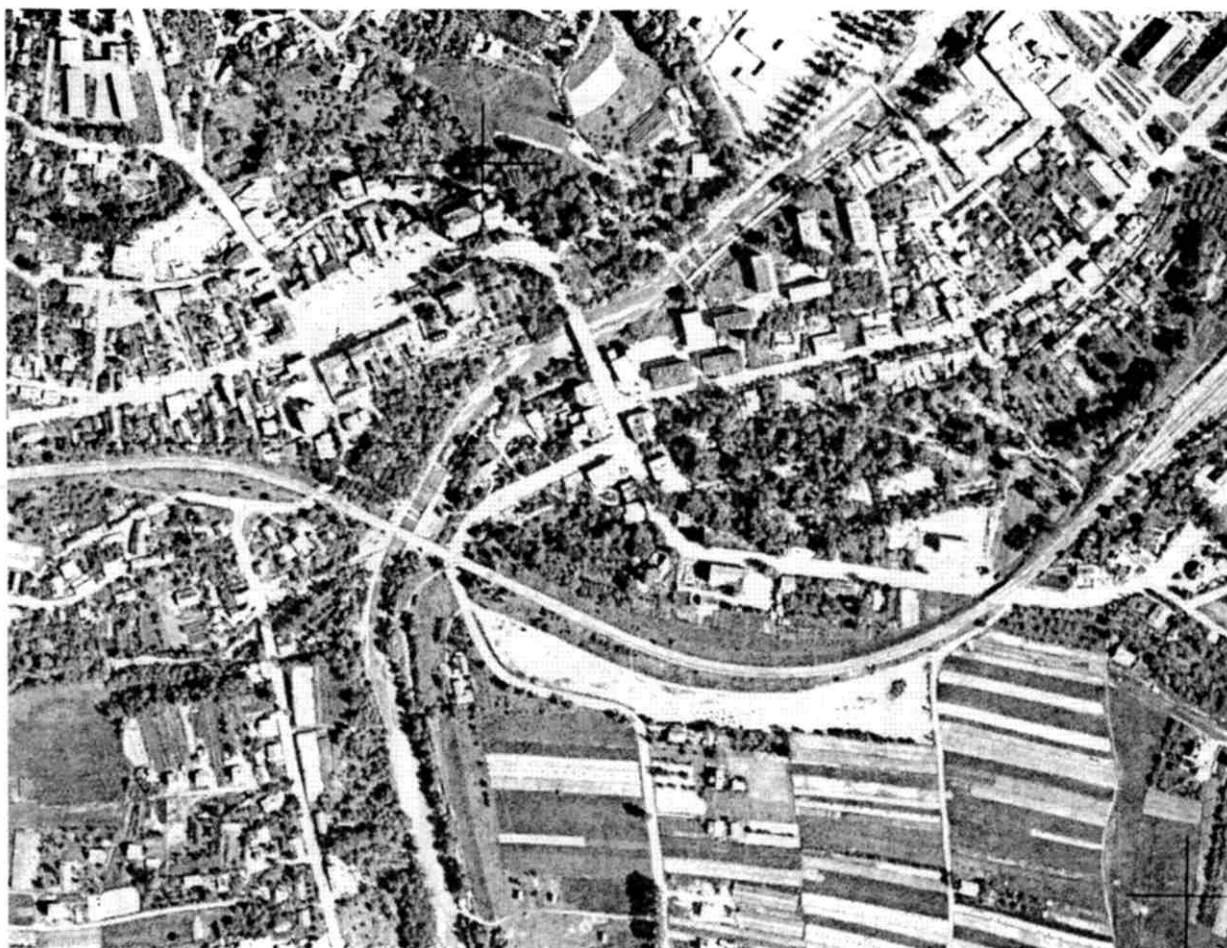


1



2





5

Ryc. 4. Obraz zeskanowany z różną rozdzielczością: 1 — 307 dpi, 2 — 444 dpi, 3 — 666 dpi, 4 — 1000 dpi, 5 — 2000 dpi

Fig. 4. Images scanned with various resolution: 1 — 307 dpi, 2 — 444 dpi, 3 — 666 dpi, 4 — 1000 dpi, 5 — 2000 dpi

dziły do 5 pikseli. Niestety program IDRISI nie daje możliwości transformacji, która przekształcałaby obrazy do pewnej zadanej, uznanej za bezbłędną, wielkości. Zauważono, że wymiar „okna” 629 kolumn/614 wierszy powtórzył się dwukrotnie (kanał 1 i kanał 6), jednocześnie, ani dla kolumn, ani dla wierszy nie były to wartości ekstremalne. Przyjęto zatem te dwa okna o jednakowych wymiarach za wzorcowe i pozostałe dostosowano do nich. Operacja ta może być przyczyną pewnej nieostryści utworzonych kompozycji barwnych i może powodować wystąpienie dominanty barwnej na granicach obiektów.

Z tak przygotowanych wyciągów spektralnych można tworzyć kompozycje barwne. Oprogramowanie IDRISI daje dodatkowe, w stosunku do systemu analogowego,

Tabela 9.

Wielkość obszaru ograniczonego krzyżami siatki dla poszczególnych wyciągów spektralnych
The magnitude of the area bounded by the crosses of the lattice for the particular spectral extractions

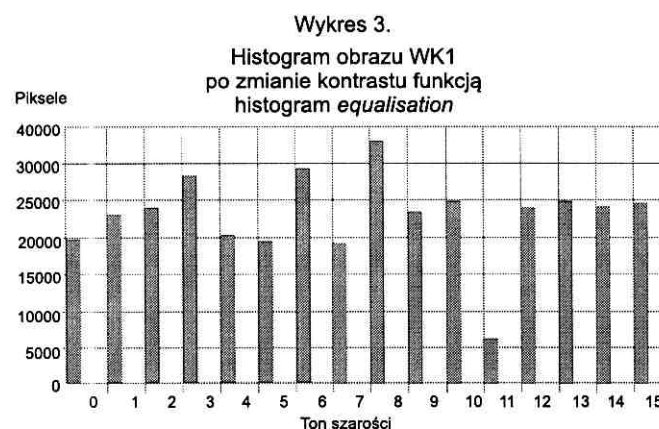
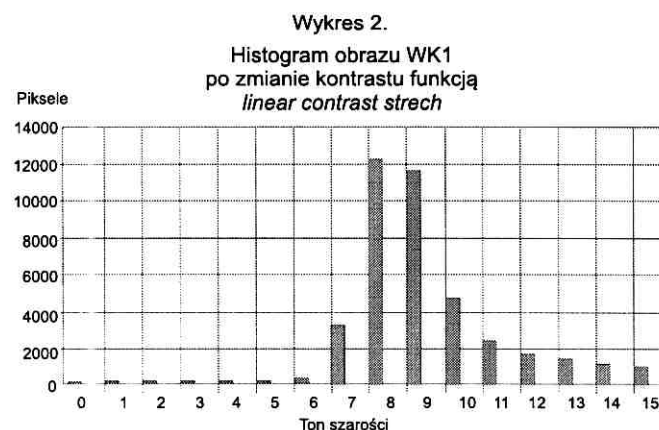
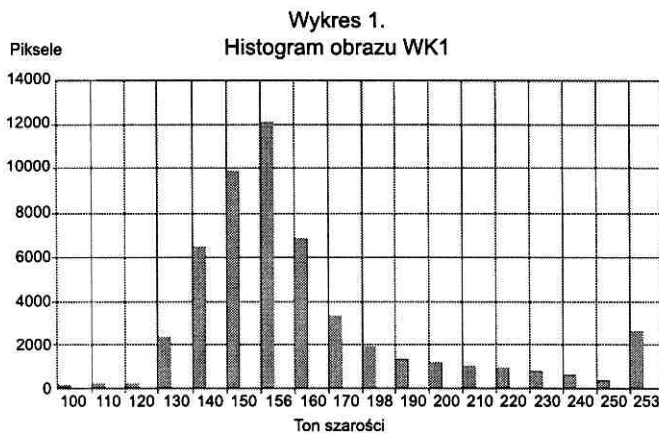
Wyciąg spektralny Band	Liczba kolumn Number of columnnes	Liczba wierszy Number of lines
Kanał I	629	614
Kanał III	631	611
Kanał IV	630	613
Kanał V	626	616
Kanał VI	629	614

możliwości analizy i przetwarzania obrazu. Operacja HISTO pozwala na stworzenie histogramu częstości występowania kolorów w danej scenie, dzieląc zakres danych na klasy o wielkości określonej przez użytkownika. Funkcja ta jest podstawową do analizy obrazu pod względem wykorzystania pełnej palety barw lub skali szarości. Pozwala na sprawdzenie rozkładu wartości piksela i podjęcie decyzji opartych na tym rozkładzie, np. zmianę kontrastu lub usunięcie korelacji między kanałami.

Podczas tworzenia histogramu w programie IDRISI, oryginalna, 256-stopniowa skala szarości jest redukowana do skali 15-stopniowej. Było to spowodowane konfiguracją dostępnego w trakcie opracowania komputera wyposażonego jedynie w kartę VGA. Po przeanalizowaniu histogramów obrazów cyfrowych przystąpiono do dalszego przetwarzania obrazów.

Przed utworzeniem kompozycji barwnych użyto modułu STRETCH, pozwalającego na rozciągnięcie kontrastu według następujących funkcji: *linear*, *linear with saturation*, *histogram equalisation*.

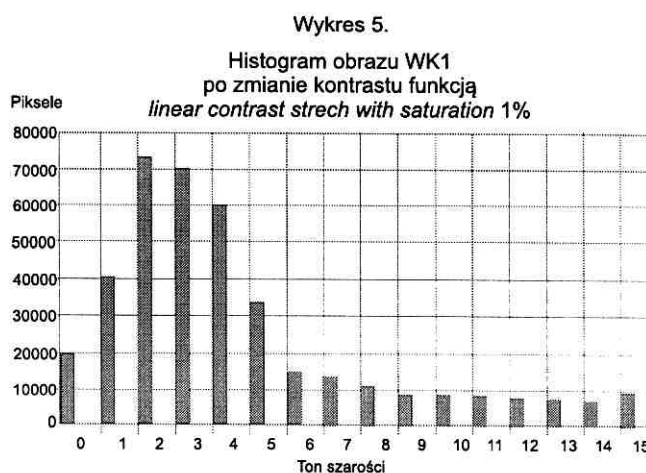
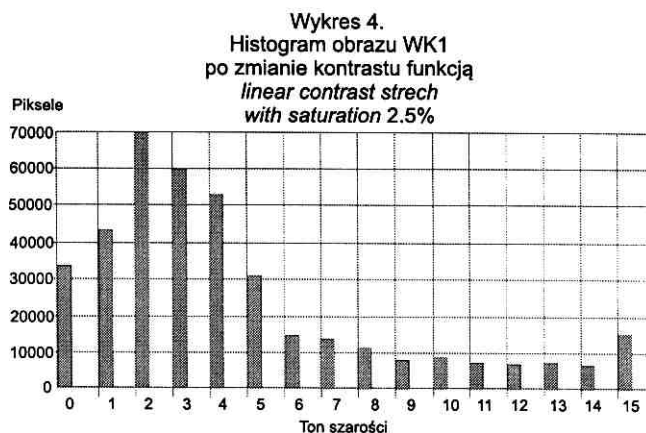
Rozciągnięcie kontrastu obrazu pozwala na pełniejsze wykorzystanie dostępnej palety barw (skali szarości). Ryc. 5 ukazuje, w jaki sposób poszczególne funkcje rozciągnięcia kontrastu zmieniają obraz. W przykładzie tym posłużono się obrazem WK1, czyli „oknem” wyciętym z kanału I. Ryc. 6 przedstawia kolejne histogramy



wszystkich wyciągów spektralnych przed zmianą ich kontrastu (obrazy pierwotne). Obrazy wyciągów spektralnych wykorzystanych do stworzenia tych wykresów zostały przedstawione na ryc. 7.

Po analizie histogramów i wzmożeniu kontrastu obrazów funkcją *linear contrast stretch with saturation 2,5%*, przystąpiono do tworzenia kompozycji barwnych, uzyskując szereg wariantów kolorystycznych. Kompozycje te, w pakiecie IDRISI, tworzy się za pomocą opcji COMPOSIT. Korzystając z tej opcji należy zdefiniować trzy pliki, które stanowią cyfrowy zapis wyciągów spektralnych. Należy także przyporządkować odpowiednie filtry (niebieski, zielony, czerwony) do odpowiednich wyciągów spektralnych. Postępując w ten sposób stworzono cyfrowe kompozycje barwne.

Kompozycje barwnych, powstałych przy użyciu opcji

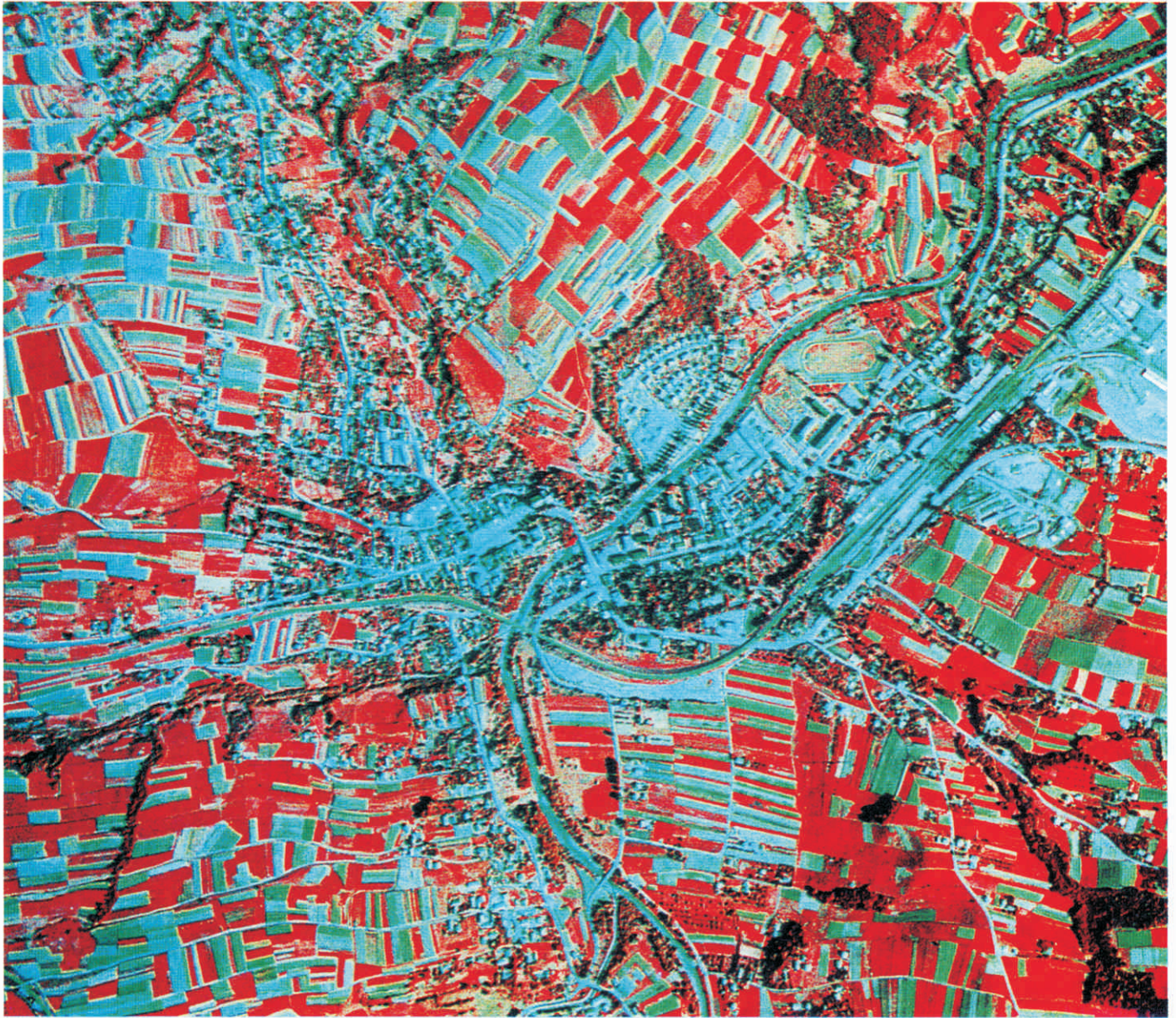


Ryc. 5. Histogramy obrazu zarejestrowanego w kanale I po rozciągnięciu kontrastu według różnych funkcji: 1 — histogram obrazu bez rozciągnięcia kontrastu, 2 — po zmianie kontrastu funkcją *Linear Contrast Stretch*, 3 — przy zastosowaniu funkcji *Histogram Equalisation*, 4 — według funkcji *Linear Contrast Stretch with Saturation 2,5%*, 5 — według funkcji *Linear Contrast Stretch with Saturation 1%*

Fig. 5. Histograms of the image registered in channel I after application of the contrast stretch according to different functions: 1 — histogram of the image without contrast stretching, 2 — after the change of contrast with the function of *linear contrast stretch*, 3 — after application of the function of *histogram equalisation*, 4 — after application of the function of *linear contrast stretch with saturation of 2.5%*, 5 — according to the function of *linear contrast stretch with saturation of 1%*

COMPOSIT, nie można było wyświetlić na monitorze komputera wyposażonego w kartę VGA. Dla takiej konfiguracji sprzętu pakiet IDRISI dysponuje opcją *VGA-COMP*, która przekształca obraz wyjściowy z COMPOSIT do 16-stopniowej skali barwnej karty VGA. Przekształcenie to polega, między innymi, na przeprowadzeniu klasyfikacji nienadzorowanej. Kompozycje utworzone taką metodą można wyświetlić na monitorze komputera i poddać dalszym analizom. Odbiegają one od pierwotnych kompozycji, gdyż są wynikiem przetworzenia, jednak nie jest to powodem istotnej utraty informacji. Tabela 10 zawiera wykaz stworzonych kompozycji oraz palet barw, które wykonano dla poprawy czytelności obrazu.

Utworzone w systemie IDRISI kompozycje barwne zostały poddane analizie pod względem czytelności wybranych elementów pokrycia terenu. W analizie tej wię-



Ryc. 6. Analogowa kompozycja barwna nr II, utworzona z kanałów spektralnych 6, 4, 2, nawietlanych przez filtry R, G, B
 Fig. 6. Analogue colour composition no. II, formed out of spectral channels, 6, 4 and 2, with exposure through filters R, G and B

Tabela 10.

Cyfrowe warianty kompozycji barwnych oraz palety barw stworzone dla poszczególnych kompozycji
 Colour composite MKF-6 images obtained by digital method

Numer kompozycji Number of colour composites	Filtry Filters		
	Czerwony Red	Zielony Green	Niebieski Blue
I	KAN1	KAN4	KAN6
II	KAN3	KAN4	KAN1
III	KAN3	KAN4	KAN6
V	KAN6	KAN3	KAN1
VI	KAN6	KAN3	KAN4
VII	KAN6	KAN4	KAN1

to pod uwagę te same elementy pokrycia terenu, które rozpatrywano w przypadku kompozycji utworzonych metodą analogową. Wszystkie analizowane elementy były widoczne na stworzonych kompozycjach barwnych, lecz ich czytelność na poszczególnych kompozycjach, przy różnych paletach barw, była zróżnicowana. Czytel-

ność analizowanych elementów pokrycia terenu, w skali czterostopniowej (od 0 do 3), została podana w tabeli 11.

Porównanie jakościowe i ilościowe optymalnych kompozycji barwnych: analogowej i cyfrowej

Optymalną kompozycją stworzoną metodą analogową była kompozycja II (ryc. 8), która powstała w wyniku rzutowania wyciągu zielono-żółtego przez filtr niebieski, wyciągu czerwonego przez filtr zielony oraz wyciągu podczerwonego przez filtr czerwony. Wynikiem powyższego wyboru wyciągów spektralnych i filtrów była standardowa kompozycja barwna. Wszystkie elementy pokrycia terenu, które zostały wybrane do analizy czytelności, były na niej dobrze lub bardzo dobrze widoczne.

Najlepszą wśród kompozycji utworzonych metodą cyfrową, okazała się kompozycja III (ryc. 7). Była ona wynikiem przyporządkowania kanału żółtego do filtru



Ryc. 7. Cyfrowa kompozycja barwna nr III, z własną paletą barw, utworzona z wyciągów spektralnych: 3, 4, 6 rzutowanych przez filtry R, G, BA

Fig. 7. Digital colour composition no. III with an own colour palette, formed out of spectral extractions 3, 4 and 6, projected through filters R, G, and B

niebieskiego, kanału czerwonego do filtru zielonego i kanału podczerwonego do filtru czerwonego. Kompozycja ta była bardzo zbliżona do kompozycji standardowej. Czytelność wszystkich analizowanych elementów pokrycia terenu została oceniona bardzo dobrze.

Kompozycje z obu metod pod względem ilości widocznych elementów pokrycia terenu były porównywalne. Natomiast jakość obrazu kompozycji wykonanej metodą cyfrową była wyższa w stosunku do kompozycji analogowej. Różnica ta prawdopodobnie była wynikiem wzmocnienia obrazu cyfrowego (przez rozciągnięcie kontrastu), dokonanego przed stworzeniem kompozycji barwnych.

Podsumowanie

Analogowe tworzenie kompozycji barwnych jest metodą stosunkowo szybką i tanią, o ile dostępna jest przeglądarka addytywna.

Stosunkowo duża liczba możliwości zmian parametrów projekcji pozwala otrzymać na ekranie przeglądarki taką kompozycję, w której analizowane elementy treści zdjęcia będą najlepiej widoczne.

Kompozycje, które utworzono analogowo, były dobrej jakości. Generalnie cechowała je dobra czytelność elementów pokrycia terenu.

W metodzie tej problemem jest rejestracja stworzo-

Tabela 11.

Czytelność elementów pokrycia terenu na cyfrowych kompozycjach barwnych, podana w skali 0-3

Legibility of land cover elements on digital colour composite images, range 0-3

Elementy pokrycia terenu <i>Elements of land cover</i>	Cyfrowe kompozycje barwne <i>Analogue colour composites</i>						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Drogi <i>Roads</i>	3	2	3	2	3	3	3
Rzeka <i>River</i>	3	2	3	1	3	3	3
Linia kolejowa <i>Railway</i>	3	3	3	3	3	3	3
Lasy <i>Forests</i>	3	3	3	2	3	3	3
Zróżnicowanie lasów <i>Differentiation of forests</i>	3	1	3	2	2	2	1
Skupiska drzew <i>Group of trees</i>	3	2	3	2	3	3	2
Struktura upraw <i>Crop structure</i>	3	3	3	1	3	3	2
Obszar zabudowany <i>Built-up area</i>	2	2	3	1	3	3	3

Czytelność: 0 — mierna, 1 — dostateczna, 2 — dobra, 3 — bardzo dobra
Interpretability: 0 — temperate, 1 — satisfactory, 2 — good 3 — very good

nych kompozycji barwnych, która wymaga odpowiedniego sprzętu i materiałów fotograficznych oraz przestrzegania pewnych reguł fotografowania (np. zachowania równoległości matówki przeglądarki i płaszczyzny filmu w aparacie; maksymalnego wykorzystania klatki filmu, co jest związane z odległością fotografowania). Analiza obrazu w tej metodzie polega na wizualnej interpretacji otrzymanych kompozycji. Na przeglądarce analogowej można tworzyć kompozycje barwne, ale nie można ich poddać dalszym transformacjom.

Tworzenie kompozycji barwnych za pomocą cyfrowego systemu przetwarzania obrazów jest metodą dającą użytkownikowi duże możliwości.

Wymaga jednak sprzętu komputerowego o odpowiednich parametrach, dużych przestrzeni dyskowych, dobrej karty graficznej i specjalnego oprogramowania.

Metoda ta jest bardziej czasochłonna od metody analogowej choćby dlatego, że analogowe wyciągi spektralne muszą być zamienione na postać cyfrową. Następnym etapem jest uzyskanie cyfrowych obrazów tego

samego terenu, mających takie same wymiary. Jest to problemem, gdy ma się do czynienia ze zdjęciami archiwalnymi, które w wyniku przechowywania ulegają prawdopodobnie pewnym deformacjom. Dopiero po ich korekcy można przystąpić do przetwarzania obrazów funkcjami dostępnymi w posiadanym pakiecie programowym i stworzyć cyfrowe kompozycje barwne. Kompozycje barwne uzyskane w ten sposób można poddać dalszym transformacjom, np. zmienić paletę barw, poddać filtracji, przeprowadzić klasyfikację nadzorowaną lub nienadzorowaną.

Metoda ta daje możliwość dwójakiej rejestracji utworzonych kompozycji: wydrukowania obrazów stanowiących efekt końcowy przetworzeń lub zachowania w postaci cyfrowej na dysku.

Zakres możliwości metody cyfrowej rekompensuje jej ograniczenia. Reasumując, należy wskazać na metodę cyfrową jako bardziej przystępną ze względu na dostępność urządzeń komputerowych wobec unikalności systemów optycznych i jako dającą możliwość zarówno interpretacji automatycznej jak i wizualnej.

Literatura

- Bychawski W., Linsenbarth A., Mizerski W., 1980: *Charakterystyka zdjęć satelitarnych wykonanych ze stacji SALUT-6 w czasie radziecko-polskiego lotu kosmicznego*. PWN, Warszawa-Lódź.
- Ciołkosz A., Kęsik A., 1989: *Teledetekcja satelitarna*. PWN, Warszawa.
- Domański J., 1980: Metody analizy cyfrowej wielospektralnych danych teledetekcyjnych. *Przegląd Geodezyjny*, nr 3.
- Eastman J.R., 1992: *IDRISI User's Guide & Technical Reference*.
- Kaczyński R., 1980: *Eksperymenty „TELEFOTO” wykonane w ramach programu INTERKOSMOS*. PWN, Warszawa-Lódź.
- Kaczyński R., Konieczny J., 1980: Eksperymenty teledetekcyjne prowadzone na poligonach testowych w ramach współpracy międzynarodowej w programie INTERKOSMOS. *Przegląd Geodezyjny*, nr 3.
- Kaczyński R., Mroczek S., Sanecki J., 1982: *Rozpoznanie obrazowe*. Wydawnictwo MON, Warszawa.
- Konieczny J., 1980: *Charakterystyka analogowego systemu przetwarzania obrazów wielospektralnych w OPOLiS*. PWN.
- Sitek Z., 1992: *Zarys teledetekcji lotniczej i satelitarnej*. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Wenderoth S., Yost E., Kalia R., Anderson R., 1974: *Multispectral Photography for Earth Resources*. Remote Sensing Information Center, Greenvale, New York.
- Wójcik S., 1989: *Zdjęcia lotnicze*. PPWK, Warszawa-Wrocław.

Mgr inż. Ewa Pilich jest absolwentką Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej (1994). W latach 1993-1995 pracowała w Zakładzie Teledetekcji Środowiska Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. W 1995 r. podjęła studia doktoranckie w Zakładzie Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej Politechniki Warszawskiej, w ramach których, w 1996 r.



ukończyła w GDTA w Tuluzie studia podyplomowe w zakresie specjalizacji „Teledetekcja: metody i aplikacje” i otrzymała dyplom DESS Uniwersytetu Marii i Piota Curie w Paryżu. Obecnie jest na czwartym roku międzynarodowych studiów doktoranckich Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Toulouse III (Francja). Zajmuje się przetwarzaniem zdjęć satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej. Adres: Zakład Teledetekcji i SIP PW, pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa, tel. (+22) 660-73-58, e-mail: e.pilich@gik.edu.pl lub pilich.blaquiere@wabadoo.fr.