

*Nie istnieje nic oprócz atomówi pustej przestrzeni
– wszystko poza tym jest opinią*

Demokryt z Abdery¹ (ok. 460–370 p.n.e.)

*Relacje przestrzenne są daleko ważniejsze
niż współrzędne*

Michael F. Goodchild² (styczeń 2003)

TELEDETEKCYJNE METODY REJESTRACJI KRAJOBRAZU³

REMOTE SENSING METHODS OF LANDSCAPE RECORDING

Stanisław Mularz, Wojciech Drzewiecki, Tomasz Pirowski

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza

Słowa kluczowe: teledetekcja, architektura krajobrazu, ekologia krajobrazu
Keywords: remote sensing, landscape architecture, landscape ecology

Wprowadzenie

Krajobraz jest pojęciem, które można definiować, ale także rozumieć i odczuwać, w różny sposób. Od potocznie używanego, zwłaszcza w dziedzinie sztuki, określenia „pejzaż”, poprzez formuły encyklopedyczne aż do specjalistycznych definicji geograficznych i ekologicznych, w których krajobraz bywa niekiedy traktowany jako synonim środowiska przyrodniczego, czyli najogólniej mówiąc jako przestrzeń przenikania się litosfery, atmosfery, hydrosfery, biosfery i najczęściej też antroposfery.

W tzw. klasycznym, a także formalno-prawnym ujęciu krajobraz definiowany jest jako:

¹ Demokryt z Abdery – filozof grecki twórca teoriopoznawczej koncepcji tzw. idoli tj. obrazów form, rzeczy przenikających do narządów zmysłowych i umożliwiających poznanie [Encyklopedia Powszechna PWN]

² Michael F. Goodchild- Prof. of Geography at the University of California, Santa Barbara USA, Director of the Center for Spatially Integrated Social Sciences of the US National Center for Geographic Information and Analysis [GIM International The Worldwide Magazine for Geomatics, March 2003]

³ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2009 jako projekt badawczy „Badanie zmian przestrzennych struktury użytkowania i funkcji krajobrazu w oparciu o wieloczasowe obrazy teledetekcyjne jako wsparcie dla planowania krajobrazu” (N526 029 32/2621)

- *przestrzeń powierzchni Ziemi widziana z pewnego punktu; widok okolicy* (Słownik Języka Polskiego. PWN, 1978);
- *fizjonomia powierzchni Ziemi lub jej części, będąca syntezą wszystkich elementów przyrodniczych (głównie rzeźby terenu, wód, warunków klimatycznych, świata roślinnego i zwierzęcego) i działalności ludzkiej pozostających we wzajemnym stosunku i oddziaływaniu* (Encyklopedia Powszechna PWN, 1974);
- *dowolnej wielkości system powiązanych funkcjonalnie komponentów abiotycznych i biotycznych oraz tworzonych przez nie realnie istniejących jednostek przestrzennych również powiązanych funkcjonalnie, wraz z efektami wpływu na niego działalności człowieka* (Przewoźniak, 1987);
- *„krajobraz”* *znaczy obszar, postrzegany przez ludzi, którego charakter jest wynikiem działania i interakcji czynników przyrodniczych i/lub ludzkich* (Europejska Konwencja Krajobrazowa, sporządzona we Florencji dnia 20 października 2000 r.).

W definiowaniu krajobrazu nie sposób pominąć także warstwy emocjonalnej, uczuciowej, która towarzyszy jego percepcji i waloryzacji a stanowi zarazem swoiste przenikanie oraz dopełnienie tworzących go materialnych „komponentów abiotycznych i biotycznych”. Niezwykle trafnie ujął te okoliczności Marek Styczyński autor poniższego cytatu:

- *Pojęcie „krajobraz” jest tak oczywiste, jak trudne do zdefiniowania. Intuicyjnie wiemy, że mamy do czynienia ze złożonym wprawdzie, lecz postrzeganym jako osobna całość obrazem. Obrazem, na który składa się nie tylko rzeźba terenu, żywa przyroda, ślady ludzkiego bytowania, ale i zapach, oświetlenie, wspomnienia lub ich brak, które to elementy wpływają na towarzyszące obserwacji krajobrazu uczucie „swojskości” lub obcości. Mówi się przecież o „rodzinnej ziemi”, „swojskim krajobrazie”, czy szerzej – ojczyźnie* (Styczyński, 2001).

Powyższy, z konieczności krótki przegląd definicji pozwala zauważyć, iż pojęcie krajobrazu jest w swojej istocie pojęciem holistycznym. Krajobraz, chociaż złożony z powiązanych ze sobą i wzajemnie na siebie oddziałujących elementów, jest całością. Rejestracja krajobrazu oznacza zatem kompleksową rejestrację jego komponentów i istniejących pomiędzy nimi relacji, zwłaszcza przestrzennych. Wydaje się rzeczą bezsporną, iż tego rodzaju zapis krajobrazu umożliwiają zdalne metody obrazowania, w tym zwłaszcza teledetekcja lotnicza i satelitarna.

Ocenę potencjału oraz możliwości wykorzystania teledetekcji jako uniwersalnej metody dokumentowania zarówno przyrodniczych jak również antropogenicznych komponentów krajobrazu przedstawić można w oparciu o tzw. ideę „multi” (ang. *'multi' concept*) powszechnie wykorzystywaną, przede wszystkim w badaniach i różnorodnych aplikacjach zdalnych metod obrazowych. W odniesieniu do możliwości rejestracji złożonej przestrzeni krajobrazowej techniki teledetekcyjne charakteryzuje wielostopniowy model pozyskiwania danych:

- rejestracja z wielu platform i różnych pułapów (ang. *multiplatform, multilevel*);
- rejestracja wielospektralna (ang. *multispectral*);
- możliwość wykorzystania wielu różnych urządzeń obrazujących (ang. *multisensor*) i wybór trybu rejestracji: analogowy (kamery fotograficzne) lub cyfrowy (skanery);
- rejestracja obrazów o różnej rozdzielczości przestrzennej (ang. *multiresolution*);
- możliwość przeprowadzenia wielorozdzielczej segmentacji zarejestrowanego obrazu (ang. *multiscale segmentation, multiresolution segmentation*);
- rejestracja obrazów wieloczasowych (ang. *multitemporal*).

Rejestracja z wielu platform i różnych pułapów

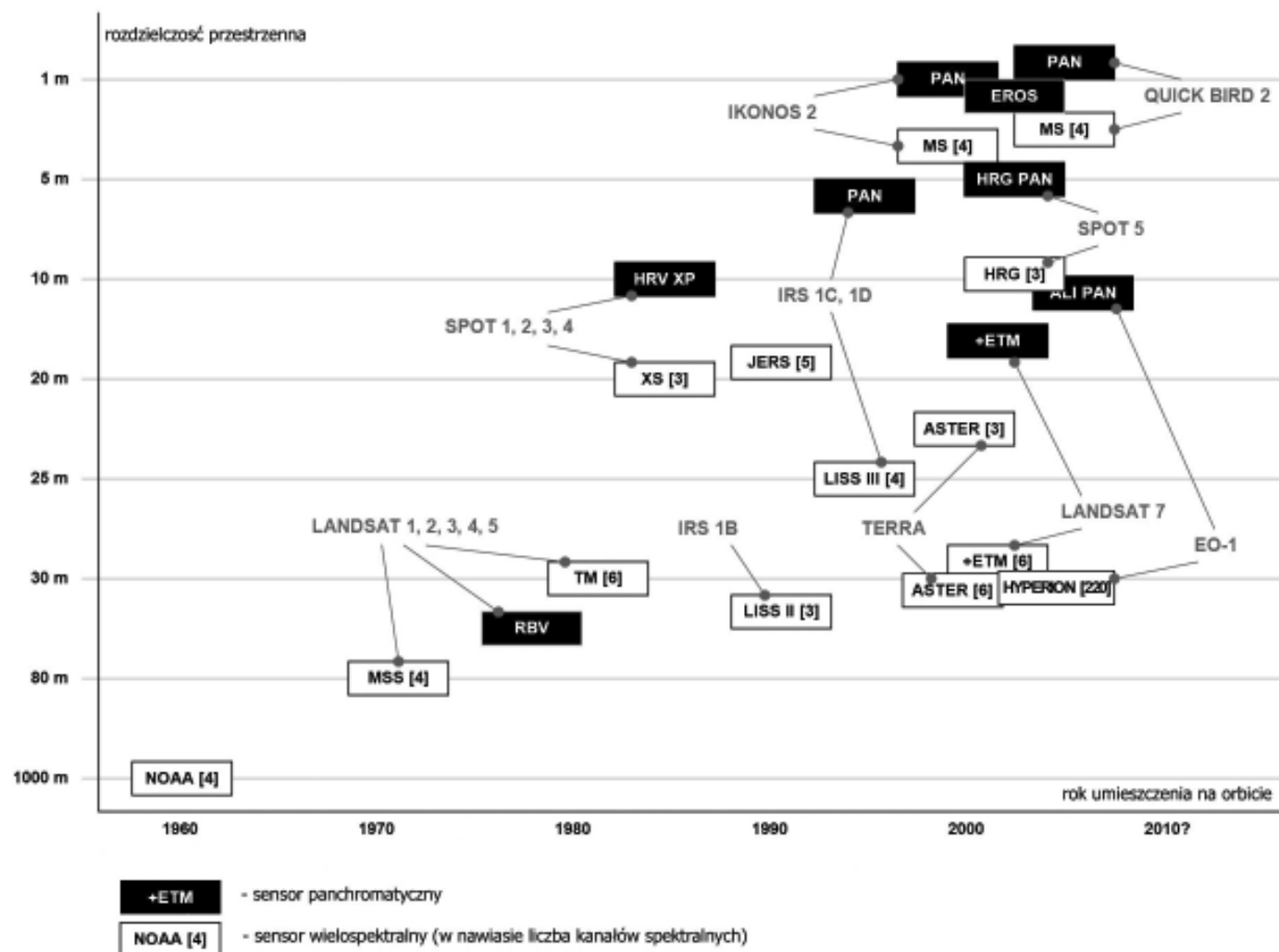
Możliwość rejestracji przy użyciu sensorów umieszczonych na różnych platformach i pułapach pozwala na dobór zasięgu obszarowego i charakteru obrazowania o różnym stopniu generalizacji warunków krajobrazu: od skali globalnej poprzez regionalną i sub-regionalną (z wykorzystaniem teledetekcji lotniczej i satelitarnej, którą cechuje z reguły kompleksowy charakter geometryzacji i uogólnione relacje przestrzenne różnych komponentów krajobrazu), aż do skali lokalnej (gdzie z kolei teledetekcja bliskiego zasięgu umożliwia odwzorowanie szczegółowych relacji przestrzennych w krajobrazie, w tym nawet pojedynczych obiektów) (por. rys. 2 i rys. 3, str. 72). Można zatem dostosować charakter zobrazowania do celu prowadzonych analiz krajobrazowych rejestrując obraz krajobrazu w odpowiedniej skali. Z drugiej strony wielopoziomowy zestaw danych teledetekcyjnych stanowić może doskonale źródło informacji w badaniach struktury krajobrazu, umożliwiając uchwycenie jej hierarchicznego charakteru.

Olędzki (1992) opisując szczegółowo przykłady wykorzystania zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych w badaniach struktury środowiska geograficznego, zwraca uwagę na fakt, iż tego rodzaju zastosowania zapoczątkowała teoretyczna praca Sauera (1925). Autor ten uważał, iż krajobraz jest efektem powiązanych ze sobą form przyrodniczych i kulturowych, a wyróżniane w krajobrazie jednostki stanowią *morfologiczny wyraz relacji czasu i przestrzeni*.

Pochodzące z różnych platform teledetekcyjnych obrazy mogą być pomocne w wydzieleniu jednostek krajobrazowych zarówno metodami kompleksowej geografii fizycznej i ekologii krajobrazu (jednostki różnej rangi – od regionów fizycznogeograficznych do facji), jak i architektury krajobrazu (np. wnętrza architektoniczno-krajobrazowe). Na ich podstawie można również dokonać wydzielenia na drodze fotointerpretacji tzw. jednostek fotomorficznych, czyli widocznych na obrazie obszarów charakteryzujących się określonymi cechami fototonalno-teksturalnymi odróżniającymi daną jednostkę od jednostek sąsiednich. Według Olędzkiego (2001) jednostka fotomorficzna stanowi *sumaryczny, kompleksowy obraz terenu*, będący efektem współwystępowania w przestrzeni określonych cech przyrodniczych i kulturowych. W zależności od platformy użytej do rejestracji obrazu jednostki fotomorficzne odpowiadać mogą jednostkom krajobrazowym różnej rangi (por. Olędzki, 2001).

Rejestracja wielospektralna

Kamery i skanery umieszczane na poszczególnych platformach teledetekcyjnych umożliwiają dokumentowanie cech krajobrazu w różnych zakresach spektrum elektromagnetycznego – od ultrafioletu, poprzez region widzialny, bliską i środkową podczerwień, długofalową podczerwień termalną aż do pasma mikrofal, które wykorzystywane jest w aktywnych systemach radarowych. Na rysunku 1 przedstawiającym tendencje rozwojowe teledetekcji satelitarnej widoczny jest wzrost liczby kanałów spektralnych w jakich pozyskiwane są obrazy. Należy podkreślić, iż konsekwencją następującego wzrostu rozdzielczości spektralnej jest również wykorzystywanie coraz węższych pasm spektralnych. Możliwości współczesnych sensorów satelitarnych w aspekcie rozdzielczości spektralnej rozpościerają się od



Rys. 1. Tendencje rozwoju teledetekcji satelitarnej – wybrane sensory optyczne

pojedynczych obrazów rejestrowanych w stosunkowo szerokim paśmie panchromatycznym (np. EROS) po 220 dziesięcionanometrowych kanałach spektralnych Hyperiona, umożliwiając dobór charakteru obrazowania odpowiedniego do przewidywanej aplikacji.

Wielospektralny charakter obrazów teledetekcyjnych stanowi jedną z głównych zalet tego sposobu rejestracji krajobrazu. Kompozycje barwne tworzone z różnych (w tym pozawidzialnych) kanałach spektralnych, dając obraz krajobrazu zupełnie odmienny od tego do jakiego jesteśmy przyzwyczajeni, pozwalają jednocześnie dostrzec cechy zarejestrowanych obiektów niewidoczne gołym okiem. W tym miejscu wymienić można typowe zastosowanie zdjęć spektrostrefowych (czyli odpowiadających im kompozycji barwnych) do oceny kondycji roślinności, a zwłaszcza stanu zdrowotnego drzewostanu. Na obrazach tych widoczne są zmiany roślinności niedostrzegalne w widzialnym zakresie spektrum elektromagnetycznego, a więc niemożliwe do stwierdzenia poprzez bezpośrednią obserwację. Wykorzystywany jest w tym przypadku fakt pochłaniania przez chlorofil użytecznego dla fotosyntezy promieniowania w zakresie czerwonym i silnego odbijania przez struktury zdrowego liścia promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni (które nie jest wykorzystywane fotosyntetycznie a pochłonięte w nadmiarze spowodowałoby przegrzanie rośliny) (por. Jensen, 2000).

Opisana właściwość zielonej biomasy wykorzystywana jest również w konstrukcji tzw. indeksów wegetacji, czyli przekształceń obrazów wielospektralnych dedykowanych interpretacji roślinności. W teledetekcji używanych jest ponad dwadzieścia posiadających różną postać tego rodzaju indeksów wykorzystywanych jako indykatory stanu i funkcjonowania roślinności. Po przeprowadzeniu kalibracji dla konkretnych warunków fizycznogeograficznych stanowiąc one podstawę szacowania istotnych z punktu widzenia funkcjonowania krajobrazu wskaźników, takich jak np. zawartość chlorofilu, wielkość zielonej biomasy, indeks powierzchni liścia (LAI – *Leaf Area Index*) czy zaabsorbowane promieniowanie użyteczne dla fotosyntezy (APAR – *absorbed photosynthetically active radiation*) (por. Jensen, 2000).

Podobnie jak roślinność także i pozostałe obiekty na powierzchni Ziemi posiadają specyficzną charakterystykę spektralną (czyli w swoisty sposób odbijają promieniowanie w poszczególnych zakresach spektrum elektromagnetycznego). Wykorzystanie tej właściwości pozwala nie tylko na konstruowanie różnorodnych przekształceń obrazu dedykowanych interpretacji poszczególnych komponentów krajobrazu (np. lodu i śniegu czy minerałów skalnych), ale także na zautomatyzowanie procedur pozyskiwania informacji o pokryciu i użytkowaniu powierzchni terenu na drodze klasyfikacji nadzorowanej lub nienadzorowanej. Czyni to z wielospektralnych obrazów teledetekcyjnych niezastąpione źródło szybkiego pozyskiwania informacji o pokryciu i użytkowaniu powierzchni terenu.

Obrazowania hiperspektralne, czyli takie kiedy następuje równoczesna rejestracja obrazów w kilkudziesięciu czy ponad stu wąskich kanałach spektralnych (jak w przypadku wspomnianego już Hyperiona czy hiperspektralnych skanerów lotniczych), umożliwiają dokładniejsze odwzorowanie krzywych spektralnych zarejestrowanych obiektów. Ich porównanie ze znanymi krzywymi wzorcowymi umożliwia bardzo subtelne analizy, aż do określania zawartości poszczególnych substancji w środowisku. Przykład tego typu zastosowań w odniesieniu do zdegradowanego krajobrazu kopalni otworowej siarki przedstawia Hejmanowska i Głowienka (2004).

Wykorzystanie różnych urządzeń obrazujących

Współczesna teledetekcja daje możliwość pozyskiwania obrazów przy użyciu wielu różnych urządzeń obrazujących, zarówno analogowych (jak kamery fotogrametryczne) jak i cyfrowych (np. skanery, kamery cyfrowe). Nierzadko różnego typu sensory umieszczane są na jednej platformie. Rozwiązania takie stosowane są od dawna (za przykład służyć mogą chociażby pierwsze satelity serii Landsat, na pokładzie których oprócz wielospektralnego skanera MSS znajdowały się trzy kamery telewizyjne RBV), a rozwój teledetekcyjnych metod pozyskiwania obrazów i ich zastosowań sprawił, że obecnie stają się coraz częstsze (np. zestawianie na pokładzie samolotu lidarów czy kamery termalnej wraz z kamerą fotogrametryczną (fotograficzną) czy umieszczony niedawno na orbicie satelita ALOS wyposażony w sensory optyczne i radarowe).

Jednoczesne wykorzystanie obrazów pochodzących z różnych urządzeń obrazujących (sensorów) powodowane jest przede wszystkim komplementarnym charakterem informacji jakiej mogą one dostarczyć. Ma to zatem miejsce przede wszystkim w sytuacjach, gdy rejestrują one promieniowanie o różnym charakterze (optyczne, termalne, mikrofalowe). Nie bez znaczenia jednak w tym kontekście jest to, iż niektóre z sensorów teledetekcyjnych umożliwiają pozyskanie obrazów stanowiących nośnik informacji przestrzennej. Zdjęcia fotogrametryczne, obrazy z niektórych optycznych sensorów satelitarnych, obrazy radarowe czy wykorzystanie lidarów umożliwiają rejestrację krajobrazu pozwalającą na odtworzenie trójwymiarowych przestrzennych relacji jego elementów. Mogą zatem zostać wykorzystane zarówno do tworzenia trójwymiarowych modeli krajobrazu dla celów wizualizacji, jak i poszerzenia zakresu prowadzonych analiz. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na to, że zwłaszcza w przypadku zdjęć fotogrametrycznych (zarówno lotniczych jak i naziemnych) dzięki obserwacji stereoskopowej istnieje możliwość analizowania prawdziwie trójwymiarowego modelu przestrzennego zarejestrowanego krajobrazu.

Rejestracja obrazów o różnej rozdzielczości przestrzennej

Aktualnie dostępne satelitarne sensory teledetekcyjne pozwalają na rejestrowanie obrazów, gdzie wielkość elementu obrazowego (piksela) waha się od kilometra do kilkudziesięciu centymetrów (por. rys. 1). W przypadku innych platform możemy mieć do czynienia z jeszcze większą rozdzielczością przestrzenną.

Rysunek 1 ilustruje rozwój optycznych sensorów satelitarnych. Jak można zauważyć, obrazy o wyższej rozdzielczości spektralnej posiadają niższą niż obrazy panchromatyczne rozdzielczość przestrzenną. Nierzadko mamy jednocześnie obecnie do czynienia z sytuacją, w której przy użyciu jednego sensora satelitarnego otrzymać możemy zarejestrowanie jednocześnie obrazy wielospektralne i posiadający wyższą rozdzielczość przestrzenną obraz panchromatyczny (por. QuickBird, Ikonos, IRS, Landsat 7 ETM+, SPOT). Dysponując tego rodzaju obrazami (mogą to być również obrazy o zbliżonych terminach rejestracji pochodzące z różnych sensorów) dokonać można ich integracji (fuzji, *mergingu*), której efektem jest uzyskanie nowego, syntetycznego zestawu danych multispektralnych o podwyższonej – w stosunku do danych wejściowych – rozdzielczości przestrzennej (zazwyczaj rozdzielczości obrazu panchromatycznego) (rys. 4). Operację tego rodzaju przeprowadza się zazwyczaj w

celu zwiększenia walorów fotointerpretacyjnych, a zwłaszcza uwypuklenia pewnych cech obrazu (wzmocnienie przestrzenne, wyostrenie).

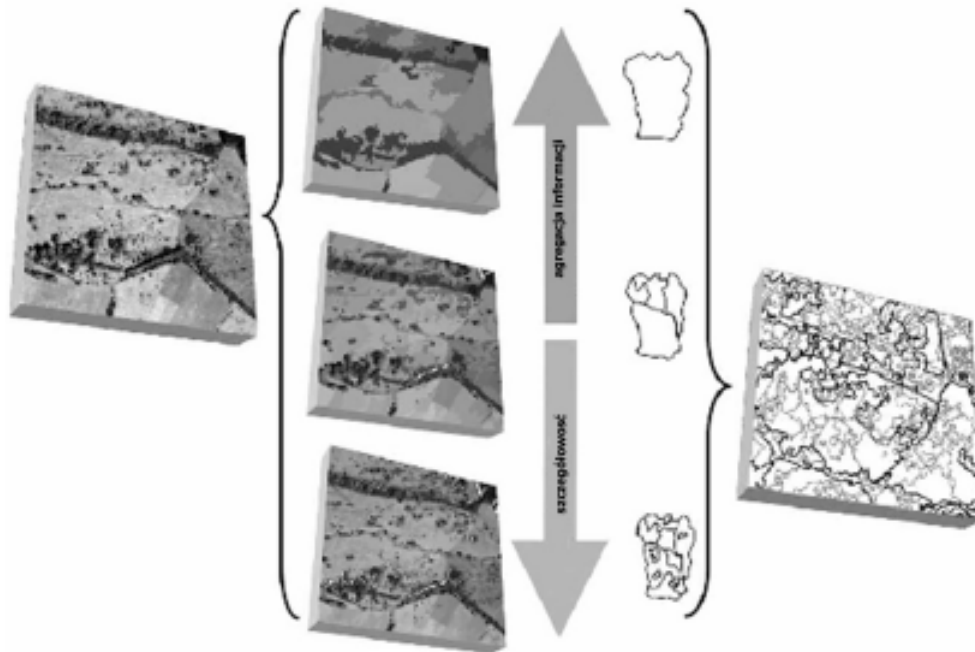
Kluczowym elementem wpływającym na przydatność uzyskiwanych nowych danych multispektralnych jest wybór odpowiedniego algorytmu łączenia obrazów. Musi on rozwiązywać główny problem integracji danych, jakim jest wprowadzanie informacji panchromatycznej (z zakresu widzialnego) do kanałów podczerwonych, co powoduje zakłócenie – w większym bądź mniejszym stopniu – oryginalnej informacji spektralnej. Opracowano różnorodne algorytmy fuzji danych obrazowych, jednak żadnej z propozycji nie można uznać za uniwersalną. Do najczęściej stosowanych należy metoda wykorzystująca transformację IHS (Chavez i in., 1991), która zdobyła sobie popularność ze względu na swoją prostotę, dostępność procedur transformacyjnych w większości pakietów GIS i w programach graficznych oraz uzyskiwane relatywnie dobre wyniki pod względem walorów interpretacyjnych. Na uwagę zasługują metody oparte o właściwości teksturalne obrazów (metoda podana przez Pradines, 1986) i filtrację górnoprzepustową (metoda HPF podana przez Schowengerdt i in., 1984). Rozwój mocy obliczeniowych sprawia, że coraz większe znaczenie nabierają metody oparte o analizy wielorozdzielcze (segmentacja obrazów, piramidy obrazów, metody falkowe – Aiazzi i in., 1999; Ranchin i Wald, 2000) lub lokalne operacje na obrazach np. metoda lokalnej korelacji (Hill i in., 1999) bądź lokalnej średniej i wariancji (Béthune i in., 1998).

Wielorozdzielcza segmentacja

Jak podaje Olędzki (1992) już w roku 1981 Nikolaiew przedstawiał tezę, iż obrazy satelitarne *należy traktować jako wielopoziomowe, hierarchiczne modele struktury krajobrazu*. Podobny pogląd prezentują Burnett i Blaschke (2003) proponując metodologię wykorzystania w badaniach krajobrazowych wielorozdzielczej segmentacji obrazu. Punkt wyjścia dla ich rozważań stanowiła teoria dynamiki hierarchicznych płatów (*Hierarchical Patch Dynamics – HPD*) (por. Wu i Loucks, 1999), której główne założenia przedstawiają się następująco (Blaschke i in., 2005):

- systemy ekologiczne można traktować jako przestrzenie powiązane hierarchiczne układy płatów, w których większe płaty zbudowane są z mniejszych funkcjonujących płatów;
- dynamika systemu ekologicznego może być oceniana na podstawie dynamiki oddziałujących na siebie wzajemnie płatów znajdujących się na sąsiednich poziomach hierarchii;
- układ przestrzenny i zachodzące w systemie procesy są ze sobą wzajemnie powiązane, przy czym zarówno układ przestrzenny i proces jak i relacja między nimi zmieniają się wraz ze skalą.

Próby stosowania w analizie obrazów teledetekcyjnych metod segmentacji obrazu podejmowano od lat siedemdziesiątych dwudziestego wieku. Wciąż jednak podejście to stosowane jest stosunkowo rzadko. Segmentacja polega na podziale obrazu na regiony – traktowane następnie jak posiadające swoje znaczenie obiekty. Segmentacja przeprowadzona na wielu poziomach rozdzielczości obrazu daje w efekcie hierarchiczną sieć obiektów – obiekty uzyskane w wyniku segmentacji na obrazie o wyższej rozdzielczości stanowią subobiekty większych struktur uzyskiwanych w wyniku segmentacji prowadzonej przy użyciu niższej roz-



Rys. 5. Zapis krajobrazu w postaci hierarchicznej bazy danych obiektów obrazowych na trzech poziomach skali (Burnett i Blaschke 2003, zmodyfikowany)

dzielczości. Rozwiązanie takie pozwala na tworzenie swego rodzaju semantyki obrazu. Burnett i Blaschke (2003) zauważają, iż przeprowadzona na różnych poziomach rozdzielczości segmentacja obrazu teledetekcyjnego dostarcza niejako automatycznie hierarchicznej bazy danych obiektów obrazowych, odpowiadającej hierarchicznemu układowi płatów (rys. 5).

Segmentacja obrazu stanowić może również pierwszy etap klasyfikacji przeprowadzanej metodą obiektową. W metodzie tej przynależność do poszczególnych wydzielanych klas określana jest nie dla pikseli obrazu (jak w metodach klasycznych), ale dla obiektów obrazowych wydzielonych poprzez segmentację. W efekcie poszerza się znacznie możliwość wykorzystania w procesie klasyfikacji informacji kontekstowej, a zwłaszcza uwzględnienia przestrzennych zależności między obiektami, ich kształtu i sąsiedztwa. Również cechy spektralne i teksturalne określone są w odniesieniu do obiektów.

Obiektowe podejście do klasyfikacji pozwala na istotne z punktu widzenia badania krajobrazu poszerzenie możliwości automatycznej interpretacji treści obrazów teledetekcyjnych. Możliwe bowiem staje się automatyczne rozpoznanie nie tylko cech pokrycia terenu (wody, lasy, łąki, itp.), ale również określenie sposobu użytkowania (wody płynące, zbiorniki wodne, parki miejskie, boiska sportowe, itd.).

Rejestracja obrazów wieloczasowych

Zdalne obrazowanie tego samego fragmentu terenu może być powtarzane w różnych odstępach czasowych. W niektórych przypadkach jesteśmy ograniczeni tzw. rozdzielczością czasową systemu teledetekcyjnego (np. satelita Landsat może dostarczać obrazów ze skanera TM w cyklu 16-dniowym), w innych (np. kamera termalna) rejestracja przebiegać może w sposób niemal ciągły. Rejestracja obrazów wieloczasowych daje możliwość wykrywania i dokumentowania zmian zachodzących w krajobrazie w określonych interwałach czasu (zarówno krótkich – związanych np. z katastrofami, jak i dłuższych – np. śledzenie zmian sposobu użytkowania), nierzadko dostarczając informacji pozwalających na wskazanie ich genezy. W procesie detekcji zmian stosowane są zarówno podejścia fotointerpretacyjne jak i częściowo zautomatyzowane oparte m. in. o metody różnicowe i ilorazowe, analizę wektora zmian czy analizę składowych głównych (PCA – *Principal Components Analysis*). Istotnego znaczenia nabiera w tym kontekście problematyka usuwania różnic obrazów wywoływanych przez czynniki takie jak wpływ atmosfery, iluminacja terenu, różnice w kalibracji lub charakterystyce sensorów (Jakomulska i Sobczak, 2001; Fitzhugh i Heo, 2000).

Badanie zmian użytkowania terenu i struktury krajobrazu w oparciu o wieloczasowe obrazy teledetekcyjne (zwłaszcza zdjęcia lotnicze) jest powszechnym podejściem w badaniach krajobrazu, zarówno za granicą jak w Polsce. Liczne przykłady tego rodzaju studiów podają np. Hietel i in. (2004). W wielu krajach badania tego rodzaju przybrały postać narodowych programów monitoringu krajobrazu. Przykładem tego rodzaju działań może być norweski narodowy program monitoringu krajobrazu rolniczego 3Q (Dramstad i in., 2002). Celem programu jest dokumentowanie stanu krajobrazów rolniczych i zachodzących w nich zmian, zarówno w aspekcie komponentów krajobrazu jak i ich struktury przestrzennej. W ramach programu wydzielono cztery obszary zainteresowań: strukturę przestrzenną krajobrazu, bioróżnorodność, dziedzictwo kulturowe oraz dostępność. Monitoring prowadzony jest w obrębie powierzchni testowych w postaci kwadratów o rozmiarach 1x1 km rozmieszczonych na obszarze Norwegii w sposób odzwierciedlający intensywność rolniczego wykorzystania krajobrazu. Podstawą kartowania powierzchni testowych są kolorowe zdjęcia lotnicze w skali 1:12500. Na ich podstawie wydzielane są rodzaje użytkowania terenu według trójstopniowej hierarchicznej klasyfikacji (8 klas, 24 typy, 102 podtypy). Dodatkowo kartowane są elementy o charakterze liniowym i punktowym. Opracowywane w ten sposób mapy stanowią podstawę dla oceny krajobrazu i zachodzących w nim zmian przy użyciu różnorodnych wskaźników (indykatorów). Monitoring prowadzony jest w cyklu pięcioletnim.

W kontekście analiz zmian pokrycia i użytkowania terenu wspomnieć należy również o programach europejskich CORINE Land Cover (Ciołkosz i Bielecka, 2005) i MOLAND (Barredo i in. 2003). W programie CORINE opracowanie bazy danych pokrycia terenu prowadzone było z dokładnością odpowiadającą mapie w skali 1:100 000 (wydzielano obszary o wielkości min. 25 ha). Pierwsza taka mapa powstała w Polsce w latach 90. XX wieku na drodze wizualnej interpretacji pokrycia terenu na fotomapach utworzonych z trzech kanałów obrazu ze skanera Landsat TM. Po dziesięciu latach dane te zaktualizowano na drodze interpretacji wizualnej zdjęć ze skanera Landsat ETM+. Porównanie tych produktów umożliwiło określenie zmian pokrycia terenu na obszarze Polski w latach 1990–2000 (por. Ciołkosz, Bielecka, 2005).

W ramach realizowanego przez Centrum Badań Wspólnotowych UE programu MOLAND (*Monitoring Land Cover /Land Use Dynamics*) dla wybranych miast i regionów Europy opracowywane są aktualne mapy użytkowania pokrycia terenu oraz mapy historyczne (zwykle trzy stany pomiędzy rokiem 1948 a 1990) (Barredo i in. 2003). Dokładność opracowywanych map odpowiada skali 1:25 000 – minimalny wydzielany obszar wynosi 1 ha dla obszarów antropogenicznych i 3 ha dla naturalnych. Dla celów tego programu uszczegółowiono wydzielenia stosowane w programie CORINE Land Use, przy czym wydzielenia używane w programie MOLAND zawierają nie tylko klasy pokrycia terenu, ale również klasy użytkowania. Aktualna mapa użytkowania opracowywana jest na drodze interpretacji obrazów satelitarnych (IRS, SPOT lub IKONOS). Mapy dla stanów wcześniejszych powstają zwykle na drodze interpretacji zdjęć lotniczych lub zdjęć pochodzących z satelitów wojskowych. Analiza opracowywanych w ramach projektu map użytkowania ma na celu określenie trajektorii zmian, a w dalszej kolejności umożliwienie symulowania zmian zachodzących w przyszłości w zależności od przyjętych scenariuszy rozwoju przestrzennego. Zebrane w ramach projektu dane wykorzystywane są również do określenia różnego rodzaju wskaźników opisujących zmiany krajobrazu.

Podsumowanie

Reasumując można stwierdzić, że techniki teledetekcyjne poprzez wielopoziomą rejestrację umożliwiają uzyskanie obrazu przestrzeni ogólnogeograficznej o zróżnicowanym stopniu szczegółowości – od ujęcia regionalnego po szczegóły dotyczące pojedynczych obiektów. Teledetekcja zapewnia ponadto uzyskanie obiektywnej dokumentacji, dużą szybkość pozyskiwania danych, różnorodność trybów rejestracji, w tym również w pozawidzialnych zakresach spektrum elektromagnetycznego. Skala, rozdzielczość i charakter obrazowania dostosowane być mogą do specyfiki realizowanego zadania.

Teledetekcyjna rejestracja (zapis) krajobrazu pozwala na uzyskanie w efekcie końcowym opracowań o charakterze metrycznym, tzn. pozyskiwanie informacji ilościowej dotyczącej poszczególnych elementów krajobrazu, a w konsekwencji opracowanie map tematycznych dokumentujących różne aspekty np. użytkowania i pokrycia terenu, które to informacje są niezbędne m.in. dla potrzeb planowania i racjonalnego zarządzania zasobami krajobrazu. Dane te posiadają równocześnie charakter dokumentacji mogącej podlegać interpretacji w różnych aspektach, także i takich, które nie były planowane w trakcie ich pozyskania (reinterpretacja). Jedną z zalet metod teledetekcyjnych jest możliwość pozyskiwania danych wieloczasowych umożliwiających rejestrację zjawisk i procesów dynamicznych (np. przemieszczanie się fali powodziowej, propagacja zanieczyszczeń pyłowych w atmosferze, przebieg i skutki erupcji wulkanicznych itp.) oraz detekcję i śledzenie niekorzystnych przekształceń (np. degradacja szaty roślinnej czy oznaki „nieładu” urbanistyczno-architektonicznego).

Literatura

- Aiazzi B., Alparone L., Argenti F., Baronti S., 1999: Wavelet and pyramid techniques for multisensor data fusion: a performance comparison varying with scale ratios. The EOS/SPIE Symposium on Remote Sensing, Genua.
- Barredo J.I., Lavalle C., Demicheli L., Kasanko M., McCormick N., 2003: Sustainable urban and regional planning: The MOLAND activities on urban scenario modelling and forecast. European Commission, Joint

- Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Béthune S., Muller F., Donnay J.P., 1998: Fusion of multispectral and panchromatic images by local mean and variance matching filtering techniques. *Fusion of Earth Data*, Sophia Antipolis.
- Blaschke T., Lang S. Möller M., 2005: Object-based analysis of Remote sensing data for landscape monitoring: recent developments. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE.
- Burnett C., Blaschke T., 2003: A multi-scale segmentation / object relationship modeling methodology for landscape analysis. *Ecological Modelling*, 168 (3).
- Chavez P.S., Jr., S.C. Sides, J.A. Anderson, 1991: Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, No. 3
- Ciołkosz A., Bielecka E., 2005: Pokrycie terenu w Polsce. Bazy danych CORINE Land Cover. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Dramstad W.E., Fjellstad W.J., Strand G.-H., Mathiesen H.F., Engan G., Stokland J.N., 2002: Development and implementation of the Norwegian monitoring programme for agricultural landscapes. *Journal of Environmental Management*, Vol. 64, 1.
- Fitzhugh T., Heo J., 2000: A standardized radiometric normalization method for change detection using remotely sensed imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66, No. 2.
- Hejmanowska B., Głowienka E., 2004: Wstępne wyniki pomiarów spektrometrycznych i klasyfikacji obrazów hiperspektralnych rekultywowanego obszaru Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego. *Geoinformatica Polonica*, T. 6.
- Hietel E., Waldhardt R., Otte A., 2004: Analysing land-cover changes in relation to environmental variables in Hesse, Germany. *Landscape Ecology*, 19.
- Hill J., Diemer C., Stöver O., Udelhoven Th., 1999: A local correlation approach for the fusion of remote sensing data with different spatial resolutions in forestry applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32.
- Jakomulska A., Sobczak M., 2001: Korekcja radiometryczna obrazów satelitarnych – metodyka i przykłady. *Teledetekcja Środowiska*, Vol. 32.
- Jensen J., 2000: *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Prentice Hall: Saddle River, N.J.
- Nikołajew W.A., 1981: Kosmiczeskije snimki – modeli regionalnoj landszaftnoj struktury. *Issledowanije Ziemi iz Kosmosa*, 1.
- Olędzki J.R., 1992: Geograficzne uwarunkowania zróżnicowania obrazu satelitarnego Polski i jego podziału na jednostki fotomorficzne. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.
- Olędzki J.R., 2001: Regiony fotomorficzne Polski. Klub Teledetekcji Środowiska Polskiego Towarzystwa Geograficznego. Warszawa.
- Pradines D., 1986: Improving SPOT images size and multispectral resolution, *Proceedings of the S.P.I.E. Earth Remote Sensing using Landsat Thematic Mapper and SPOT Systems*, Vol. 660.
- Przewoźniak M., 1987: Podstawy geografii fizycznej kompleksowej. Uniwersytet Gdański.
- Ranchin T., Wald L., 2000: Fusion of high spatial and spectral resolution images: the ARSIS concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66.
- Sauer C.O., 1925: The morphology of landscape. *University of California Publications in Geography*, Vol. 2, 2.
- Schowengerdt R.A., Park S., Gray R., 1984: Topics in Two-Dimensional Sampling and Reconstructions of Images. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 5, No. 2.
- Styczyński M., 2001: Popradzki Park Krajobrazowy. http://www.nsi.pl/almanach/art-miejsca/popradzki_park_krajobrazowy.htm
- Wu J., Loucks O.L., 1999: From the balance-of-nature to hierarchical patch dynamics: a theoretical shift in ecology. *Quarterly Review of Biology*, 70.

Summary

The paper presents remote sensing (RS) methods as a tool for landscape recording. The 'multi' concept has been used to show the universality of RS techniques. They can be characterized as: multilevel and multiplatform, multispectral, multisensor, multiresolution, multiscale and multitemporal.

One can choose the best level or platform to acquire images with spatial extent and level of detail matching the application – from recording large areas (regions) to single objects (e.g. buildings). The landscape images may be acquired in many spectral bands ranging from ultraviolet, through visible, short- and middle-wave infra-red, thermal infra-red to microwave. This multispectral character of RS images can be seen as the main advantage of this technique. One can choose from a wide range of sensors (both analogue and digital) to benefit from the acquired complementary information. Merging of multispectral and high-resolution panchromatic images can be mentioned as an example.

Satellite images can be treated as multiscale, multilevel, hierarchical models of landscape structure. Multiscale (multiresolution) image segmentation may be used to recognise the landscape structure. Moreover, multitemporal images make it possible to detect its changes. They may also be used in dynamic processes studies.

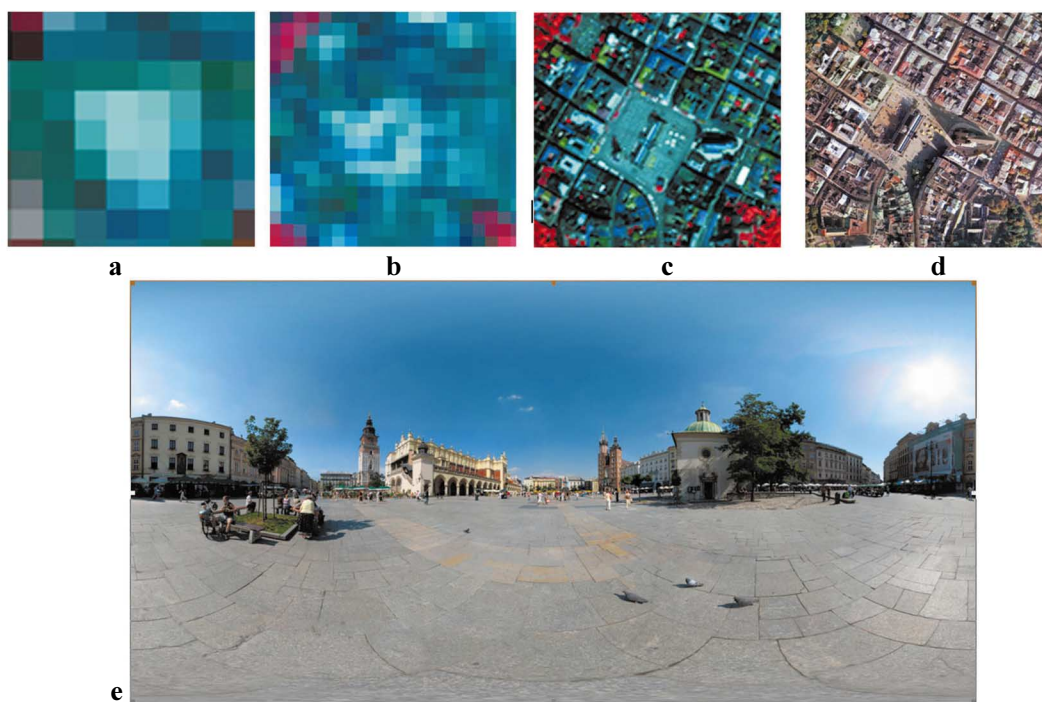
It should be stressed that remote sensing methods of landscape recording enable us to obtain objective data (metric if needed) in short time. Once gathered, the data may be used many times, even for purposes different than the original ones (reinterpretation).

All presented features make remote sensing an ideal tool for recording landscape components and relations between them.

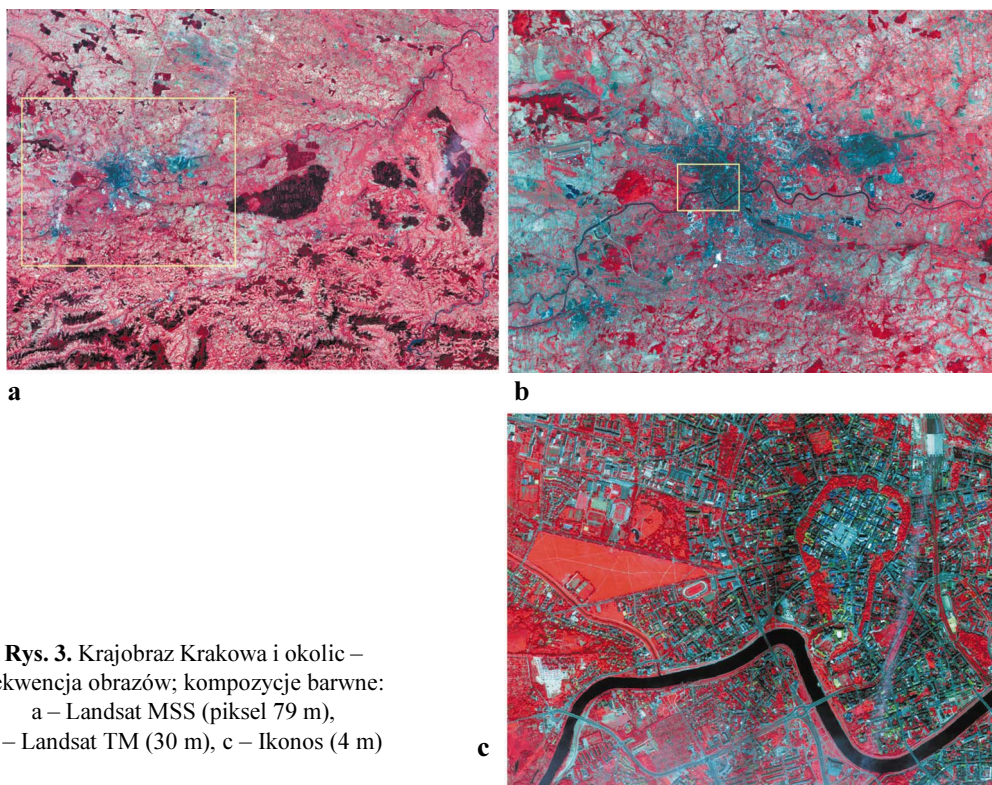
dr hab. inż. Stanisław Mularz, prof. n. AGH
mularz@agh.edu.pl
tel. (012) 617 22 88

dr inż. Wojciech Drzewiecki
drzewiec@agh.edu.pl
tel. (012) 617 39 93

dr inż. Tomasz Pirowski
pirowski@agh.edu.pl
tel. (012) 617 39 93



Rys. 2. Rynek w Krakowie: sekwencja obrazów: a – Landsat MSS, b – Landsat TM, c – Ikonos, d – zdjęcie lotnicze w skali 1:8000, e – rozwinięcie panoramy naziemnej



Rys. 3. Krajobraz Krakowa i okolic – sekwencja obrazów; kompozycje barwne:
a – Landsat MSS (piksel 79 m),
b – Landsat TM (30 m), c – Ikonos (4 m)



Rys. 4. Wzmocnienie przestrzenne w wyniku integracji obrazu wielospektralnego i obrazu panchromatycznego o wyższej rozdzielczości przestrzennej