FOTOINTERPRETACJA W GEOGRAFII
30 PROBLEMY TELEGEOINFORMACJI
WARSZAWA 1999

Krajobrazy antropogeniczne dorzecza Przemszy w świetle badań teledetekcyjnych

Anthropogenic Landscapes of the Przemsza River Basin — Remote Sensing Approach

Marek SOWIŃSKI

The article deals with utilization of remote sensing techniques for landscape classification according to the scale and variety of anthropogenic transformations. Supervised classification of Landsat TM and SPOT HRV2 satellite images was mainly utilized. Research was conducted in the Przemsza river basin as it is enormously changed by human activities in its western part, and has a variety of types of anthopogenic transformations.

Satellite images were both visually and digitally analyzed and, as the output, the research area was divided between three types of landscape (quasi-natural, semi-natural, and non-natural). Supervised classification was conducted in two stages: distinction of basic elements of land cover and distinction of three types of landscape using the filtering methods. Digital elevation model was used for correlation analysis between the sloping and the distinguished type of landscape.

Wprowadzenie

Postępująca antropogenizacja środowiska geograficznego niesie ze sobą istotne problemy zarówno badawcze jak i praktyczne. Artykuł podejmuje problem diagnozowania antropogenizacji środowiska za pomocą metod teledetekcyjnych. Zagadnienia typologii krajobrazów antropogenicznych i zagospodarowania przestrzennego rozpatrywane są na podstawie wielospektralnej informacji zawartej na obrazach satelitarnych.

Podstawową zaletą teledetekcji jest możliwość badań zjawisk przyrodniczych na dużych obszarach równocześnie. Do wykorzystywania metod teledetekcyjnych skłania ich szybkość, obiektywność oraz dokładność, zależna przede wszystkim od rozdzielczości.

Ważnym ograniczeniem jest fakt dysponowania jedynie zapisem promieniowania elektromagnetycznego odbitego od powierzchni Ziemi. Fale elektromagnetyczne stanowią nośnik informacji, cechy i właściwości środowiska geograficznego są więc wyrażone poprzez cyfrowe wartości odbicia spektralnego niewielkich fragmentów obszaru, zapisanych na obrazie satelitarnym w postaci pikseli. Podstawą stosowania metod teledetekcyjnych jest zrozumienie tego przekształcenia tak, aby wnioskowanie dotyczyło nie samego obrazu ale realnego fragmentu otoczenia przyrodniczego.

Problematyka wykorzystania obrazów satelitarnych w badaniach krajobrazów antropogenicznych dorzecza Przemszy jest nowatorska i interesująca z kilku powodów. Po pierwsze — studia nad krajobrazami antropogenicznymi dorzecza Przemszy są bardzo ubogie i w ostatnim dziesięcioleciu trudno doszukać się prac ujmujących to zagadnienie kompleksowo. Po drugie — problematyka klasyfikacji i występowania krajobrazów antropogenicznych jest, na obszarze dorzecza Przemszy, wyjątkowo ważna ze względu na nieporównywalną z innymi regionami kraju długość i intensywność oddziaływań człowieka na środowisko oraz stopień przekształcenia krajobrazów. Po trzecie — próby zastosowania cyfrowej analizy obrazów satelitarnych do regionalnych badań krajobrazu w Polsce są nieliczne. W szczególności nie prowadzono takich badań na obszarze Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Po czwarte zastosowanie metod teledetekcyjnych obok niewątpliwych zalet ma także istotne ograniczenia. Autor stara się określić granice stosowalności teledetekcyjnej klasyfikacji nadzorowanej do badań krajobrazów antropogenicznych.

Podstawowym zadaniem było określenie, czy pan-

chromatyczne i wielospektralne obrazy satelitarne, dostarczające jedynie informacji o odbiciu spektralnym promieniowania elektromagnetycznego od poszczególnych fragmentów powierzchni ziemi, mogą być wykorzystane do badania wypadkowej splotu elementów krajobrazu. Jednocześnie badano przestrzenne zróżnicowanie wydzielonych typów krajobrazów antropogenicznych na tle naturalnych elementów środowiska geograficznego dorzecza Przemszy. Analiza istniejącej literatury teledetekcyjnej (Costa, 1992; Rodriquesi in., 1992; Lo, 1995; Ridd, 1995; Wrona, Gołubowicz, 1998), uzasadnia próbę badania krajobrazów, a szczególnie krajobrazów antropogenicznych, przy użyciu metod teledetekcyjnych. Dotychczasowe badania koncentrowały się na teledetekcyjnej analizie pokrycia terenu i innych elementów środowiska na obszarach zurbanizowanych (Bochenek, Poławski, 1987) lub regionalizacji z podziałem na jednostki fotomorficzne (Olędzki, 1992).

Wykorzystano przede wszystkim obrazy satelitarne Landsat TM (28 VIII 1992 r.) oraz SPOT HRV-2 (19 VIII 1996 r.). Zaletą obrazu Landsat TM jest jego wielospektralny charakter, umożliwiający analizę zjawisk i obiektów słabo widocznych na obrazie monochromatycznym. Obraz SPOT HRV-2 oznacza się znacznie większą dokładnością w porównaniu z obrazem Landsat TM. Różnice pojawiają się we wszystkich elementach pokrycia terenu. W wielu wypadkach interpretację utrudnia monochromatyczny charakter obrazu. Wykorzystano również zdjęcia lotnicze z różnych lat, których analiza, wraz z badaniami terenowymi, pozwoliła na porównanie i skorygowanie uzyskanych wyników klasyfikacji. Do interpretacji i analizy obrazów satelitarnych posłużył pro-gram kanadyjskiej firmy PCI (X-Pace, Image Works, GCP Works, Image Mapping) (PCI, 1994).

Charakterystyka wybranych elementów środowiska geograficznego

Obszar badań obejmuje dorzecze Przemszy, lewobrzeżnego dopływu Wisły, o powierzchni 2121,5 km^2 (IMGW, 1983). Rozciąga się pomiędzy 50^{o}04'00" N i 50^{o}34'10" N oraz 18^{o}49'00" E i 19^{o}49'20" E. Na północy i zachodzie granicę obszaru badań stanowi dział wodny I rzędu, z dorzeczem Odry, a w szczególności jej dopływów: Warty, Małej Panwi i Kłodnicy. Na wschodzie i południu teren badań ograniczają dorzecza innych dopływów Wisły, z których najważniejsze to: Gostynia, Chechło, Rudawa, Dłubnia i Szreniawa.

Obszar badań leży na pograniczu trzech prowincji fizycznogeograficznych wyróżnionych przez J. Kondrackiego (1978): Niżu Środkowoeuropejskiego, Wyżyn Polskich oraz Karpat i Podkarpacia. Przeważająca część położona jest na obszarze Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Najwyższy punkt osiąga wysokość 487 m n.p.m. a najniższy, w ujściu Przemszy do Wisły, 226 m n.p.m. Większość obszaru badań charakteryzują niewielkie wysokości względne oraz małe nachylenia stoków. J. Kondracki i J.Ostrowski (1994) wyróżnili na podstawie rzeźby cztery typy krajobrazów naturalnych: wyżynny na skałach węglanowych, teras rzecznych z wydmami, równin peryglacjalnych i den dolinnych.

Antropogeniczne przekształcenia środowiska geograficznego dorzecza Przemszy, a w szczególności obszaru aglomeracji górnośląskiej, były i są obecnie przedmiotem różnych badań i analiz. Są to zarówno badania podstawowe dotyczące obecnie zachodzących zjawisk i procesów (Rahmonow, 1998), jak też raporty i dane z monitoringu poszczególnych elementów środowiska (PIOŚ, 1997).

Setki lat rozwoju górnictwa, hutnictwa i innych gałęzi przemysłu doprowadziły do silnego przeobrażenia powierzchni ziemi oraz poważnego zanieczyszczenia gleby, powietrza i wody, szczególnie w zachodniej części obszaru badań. Z listy 70 zakładów najbardziej zanieczyszczających środowisko w Polsce (MOŚZNiL, 1998) 15 znajduje się w gminach położonych na obszarze dorzecza Przemszy (PIOŚ, 1997).

Najważniejszymi efektami działalności człowieka, z punktu widzenia przekształceń krajobrazu, są: odkształcenia powierzchni ziemi, zmiany użytkowania terenu oraz depozycja odpadów stałych. Z innych należy wymienić: zanieczyszczenie gleb powietrza oraz odprowadzanie ścieków wód powierzchniowych.

Przykłady przekształceń krajobrazu na obszarze dorzecza Przemszy w latach 1955–1997

Jako element charakterystyki obszaru badań dokonano przeglądu antropogenicznych przekształceń krajobrazu z wykorzystaniem zdjęć lotniczych wybranych fragmentów dorzecza: zachodniej części Katowic (ok. 2 km^2); wschodniej części Dąbrowy Górniczej (ok. 3 km^2); północnej części gminy Klucze (ok. 2 km^2). Przegląd ten wskazuje na różnorodność rodzaju i stopnia przekształcenia antropogenicznego dorzecza Przemszy oraz na rozpiętość skali zmian jakie można odnotować w tej naturalnej jednostce fizycznogeograficznej. Centrum aglomeracji górnośląskiej stanowią obszary poddane silnej antropopresji już od XVIII w., w związku z rozwojem górnictwa rud metali kolorowych, węgla kamiennego i hutnictwa żelaza. Obecne zmiany na tym terenie nie są duże i koncentrują się często na ponownym zagospodarowaniu terenów uprzednio przekształconych (np. wykorzystanie terenów poprzemysłowych). Obszar Zagłębia Dąbrowskiego, a szczególnie wschodnia jego część, poddana była skrajnie intensywnej antropopresji w okresie ostatnich 40 lat. W latach dziewięćdziesiątych proces ten został ograniczony. Powstają jednak olbrzymie centra handlowe, które lokowane są przede wszystkim na dawnych terenach rolniczych (np. M-1, we wschodniej Czeladzi). Przykład północnej części gminy Klucze prezentuje obszar przekształcony do dnia dzisiejszego w niewielkim stopniu. Należy mieć nadzieję, że ochrona krajobrazu na obszarze Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych będzie skutecznie hamować antropopresję, utrzymując ją na obecnym poziomie.

Typologia krajobrazów antropogenicznych

W literaturze spotyka się bardzo różne określenia znaczenia pojęcia „krajobraz" i czasem pewną dowolność w posługiwaniu się nim. Termin „krajobraz" używany jest najczęściej w geografii, biologii i architekturze, a początki jego stosowania w naukach przyrodniczych związane są z pracami A. Humboldta (Buchwald, Engelhardt, 1975; Richling, Solon, 1994). Autor oparł się na definicji K. Buchwalda i J.I.S. Zonnevelda.

K. Buchwald (1975), prezentując tradycyjne podejście, definiuje przestrzeń krajobrazową jako wycinek powierzchni ziemi, który oznacza się więzią stosunków i oddziaływań zachodzących między elementami lub czynnikami krajobrazu (ukształtowaniem powierzchni, budową geologiczną, pokrywą glebową, stosunkami wodnymi, warunkami atmosferycznymi, światem roślinnym i zwierzęcym, społeczeństwem ludzkim), swą strukturą, historią i wyglądem, dzięki czemu różni się on od otaczających go wycinków powierzchni ziemi. Uwzględnia on w swojej definicji społeczeństwo ludzkie jako element krajobrazu, co otwiera możliwości typologii krajobrazów według stopnia antropopresji.

Nieco odmienne podejście prezentuje J.I.S. Zonneveld (1990), według którego pojęcie krajobrazu odnosi się do przestrzennego i materialnego wymiaru rzeczywistości ziemskiej i oznacza kompleksowy system składający się z form, rzeźby i wód, roślinności i gleb, skał i atmosfery. Dokładna analiza tej definicji pozwala na stwierdzenie, że krajobraz: jest systemem dynamicznym; zajmuje wycinek powierzchni Ziemi i można go przedstawić na mapie; charakteryzuje się określoną fizjonomią (wyglądem), którą można przedstawić na rysunku lub fotografii (Zonneveld, 1990; Richling, Solon, 1994). Bazując na podejściu J.I.S. Zonnevelda i K. Buchwalda autor zakłada możliwość badania krajobrazów poprzez analizę ich fizjonomii na obrazach satelitarnych i zdjęciach lotniczych z uwzględnieniem stopnia ich antropogenicznego przekształcenia.

W nawiązaniu do prac K. Buchwalda i V. Westhoffa (Buchwald, Engelhardt, 1975), T. Szczęsnego (1977), J. Bogdanowskiego (1979) oraz definicji J.I.S. Zonnevelda (1990) opracowano typologię krajobrazów i podjęto próbę zastosowania jej do klasyfikacji dorzecza Przemszy. W przyjętej przez autora typologii, krajobrazy naturalne podzielono na: naturalne i kulturowe. Wśród naturalnych wyróżniono: naturalne właściwe i prawie naturalne; w kulturowych: półnaturalne i nienaturalne.

W tworzeniu krajobrazów naturalnych właściwych uczestniczą tylko czynniki świata organicznego i nieorganicznego. Nie występują one na obszarze badań. W krajobrazach prawie naturalnych wystepuje dominacja zespołów naturalnych, a wpływ ekstensywnej działalności człowieka jest nikły. Krajobraz kulturowy jest użytkowany i ukształtowany przez człowieka. Przyroda kształtuje tylko szkielet krajobrazu kulturowego, a większość jego elementów zmieniona została przez rolnictwo, leśnictwo, budownictwo i inne rodzaje ludzkiej działalności. Krajobrazy półnaturalne, nawet w miejscach intensywnie użytkowanych, zawierają wiele elementów naturalnych, lub sztucznych, dostosowanych do konkretnych warunków środowiskowych danego obszaru. Krajobrazy nienaturalne obejmują obszary całkowicie lub prawie całkowicie przekształcone przez człowieka. Nie występuje tu zgodność pomiedzy roślinnością aktualną i potencjalną roślinnością naturalną (Buchwald, Engelhardt, 1975).

Badania krajobrazów z zastosowaniem metod teledetekcyjnych wykorzystują rodzaj pokrycia terenu jako wskaźnik antropogenizacji. Większość elementów krajobrazu warunkuje sposób pokrycia terenu, dlatego istota badań krajobrazów antropogenicznych metodami teledetekcyjnymi polega na wykryciu i odpowiedniej interpretacji zależności pomiędzy pokryciem terenu a poszczególnymi elementami krajobrazu. Z tego względu wymienione wcześniej typy krajobrazów powiązano z klasami pokrycia terenu. Korzystano z podziałów uwzględniających rodzaj pokrycia terenu: CORINE (Ciołkosz, Baranowski, 1994), USGS (*United States Geological Survey*) oraz podział ekosystemów R. Truszewskiej i S. Kowalińskiego (1979).

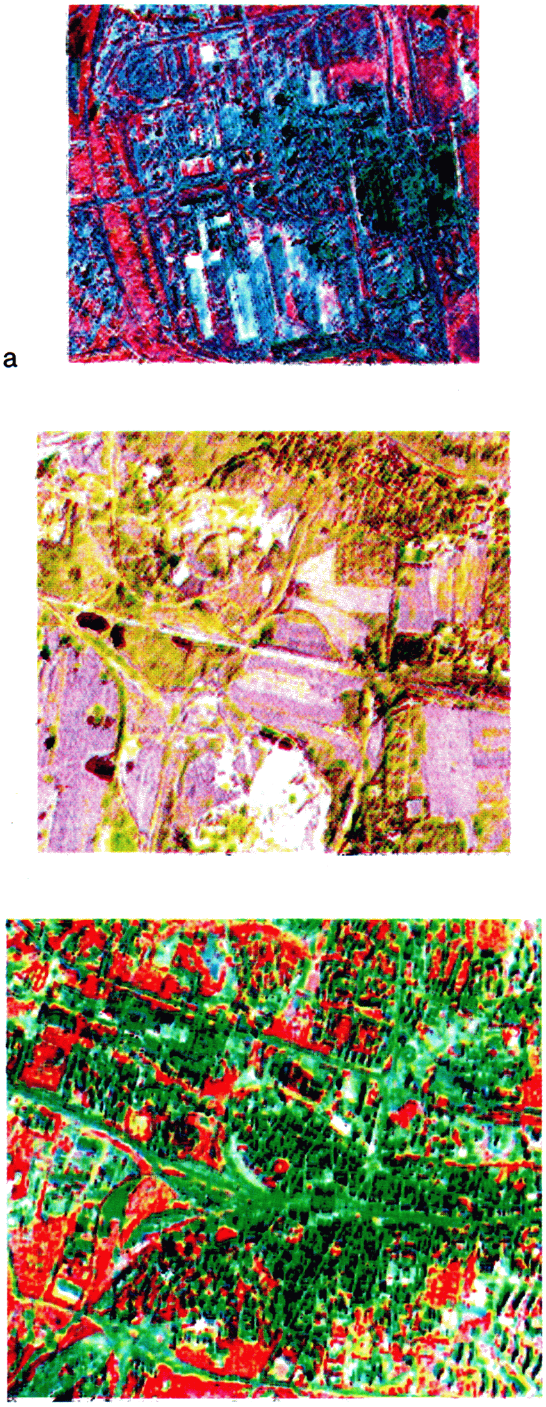
Teledetekcyjna analiza krajobrazów antropogenicznych

Podstawową metodą badawczą była teledetekcyjna analiza krajobrazów antropogenicznych. Przeprowadzono ją za pomocą klasyfikacji nadzorowanej w dwóch etapach: klasyfikacji według najważniejszych dla dorzecza Przemszy rodzajów pokrycia terenu i klasyfikacji, z wyróżnieniem 3 typów krajobrazów, na podstawie wyników pierwszego etapu.

Klasyfikacja nadzorowana to proces polegający na użyciu próbek terenu o znanej tożsamości (pól testowych) do sklasyfikowania całego obszaru. Używana jest wtedy, gdy badany teren jest pośrednio lub bezpośrednio znany i kiedy w przybliżeniu wiadomo, ile klas należy wyróżnić (Jensen, 1986; Ciołkosz, Kęsik, 1989; Cracknell, Hayes, 1991; Trafas, 1992). Klasyfikacja nadzorowana jest często stosowaną metodą analizy obrazów Landsat i SPOT (Achen, 1992; Costa 1992; Rodriques i in., 1992; May, Pinder, Kroh, 1997). Z kilku, dostępnych w programie PCI, metod klasyfikacji nadzorowanej wybrano, najdokładniejszą, metodę maksymalnego prawdopodobieństwa w wersji pełnej.

Prace przygotowawcze obejmowały: przetworzenie obrazu do formatu *pix*, wycięcie fragmentu obrazu, obejmującego obszar badań, korekcję radiometryczną i geometryczną oraz rozciągnięcie kontrastu. Wykonanie korekcji geometrycznej umożliwiło równoczesną pracę na obrazach satelitarnych Landsat i SPOT, które można było nakładać i analizować różne kombinacje kanałów Landsata i panchromatycznego obrazu SPOT (ryc. 1).

Klasyfikację nadzorowaną rozpoczęto od wyboru liczby klas i ich pól testowych oraz liczbę kanałów do klasyfikacji. Wykorzystano tabelę wartości odbicia spektralnego dla klasyfikowanych obrazów (stworzoną przez autora) oraz moduły programu PCI ułatwiające wybór odpowiednich kanałów.



a b c

Ryc. 1. Barwna kompozycja obrazów Landsat TM (5,4) i SPOT HRV 2; wybrane fragmenty dorzecza Przemszy: a — Huta Katowice; b — Piekary Śląskie — tereny zdegradowane; c — centrum Katowic

Fig. 1. False colour composition of Landsat TM 5,4 and Spot HRV-2. Examples from Przemsza basin: a — Katowice Iron Works; b — dewasted land in Piekary Slaskie; c — downtown Katowice

Ostatecznie do klasyfikacji wybrano: kanały TM 7,5,3, z wykorzystaniem obrazu satelitarnego Landsat (etap 1); kanały TM 5,4 i HRV2, z wykorzystaniem obrazów Landsat i SPOT (etap 2).

Rycina 2 przedstawia zróżnicowanie wartości odbicia spektralnego pikseli kanałów wybranych do klasyfikacji, w skali od 0 do 255. Na osiach zaznaczono jaskrawość pikseli w skali 0–255. Widoczne jest, że wszystkie trzy kanały, a w szczególności SPOT i TM 5, cechuje duże zróżnicowanie wartości.

Kolejnym zagadnieniem był wybór odpowiedniej liczby klas oraz pól testowych tak, aby możliwe było wydzielenie krajobrazów antropogenicznych dorzecza Przemszy. Dla każdej klasy określono pola testowe (ok. 10), reprezentujące najbardziej typowe fragmenty wybranych wstępnie klas.

Przy wyborze pól testowych wykorzystano: obraz satelitarny, mapę topograficzną, zdjęcia lotnicze oraz znajomość terenu badań. Następnie przy użyciu programu SCE wykreślono charakterystykę odbicia spektralnego pikseli kilku klas, lub ich pól testowych, dla dwóch wybranych kanałów.

Wykresy mają postać elips. Jeżeli elipsy nie pokrywają się nawzajem (lub w niewielkim stopniu) można przypuszczać, że klasyfikacja nadzorowana przebiegać będzie prawidłowo. W przypadku znacznego pokrycia się wykresów wyróżnione klasy cechuje duże podobieństwo spektralne, a prawdopodobieństwo wystąpienia błędów jest znacznie większe (ryc. 3).

Pierwszy etap klasyfikacji stanowi wstęp do wydzielenia typów krajobrazów antropogenicznych. Jego celem było wyodrębnienie różnych elementów pokrycia terenu. W artykule przedstawiono klasyfikację oraz jej wyniki dla wybranego, północno-zachodniego fragmentu obszaru badań.

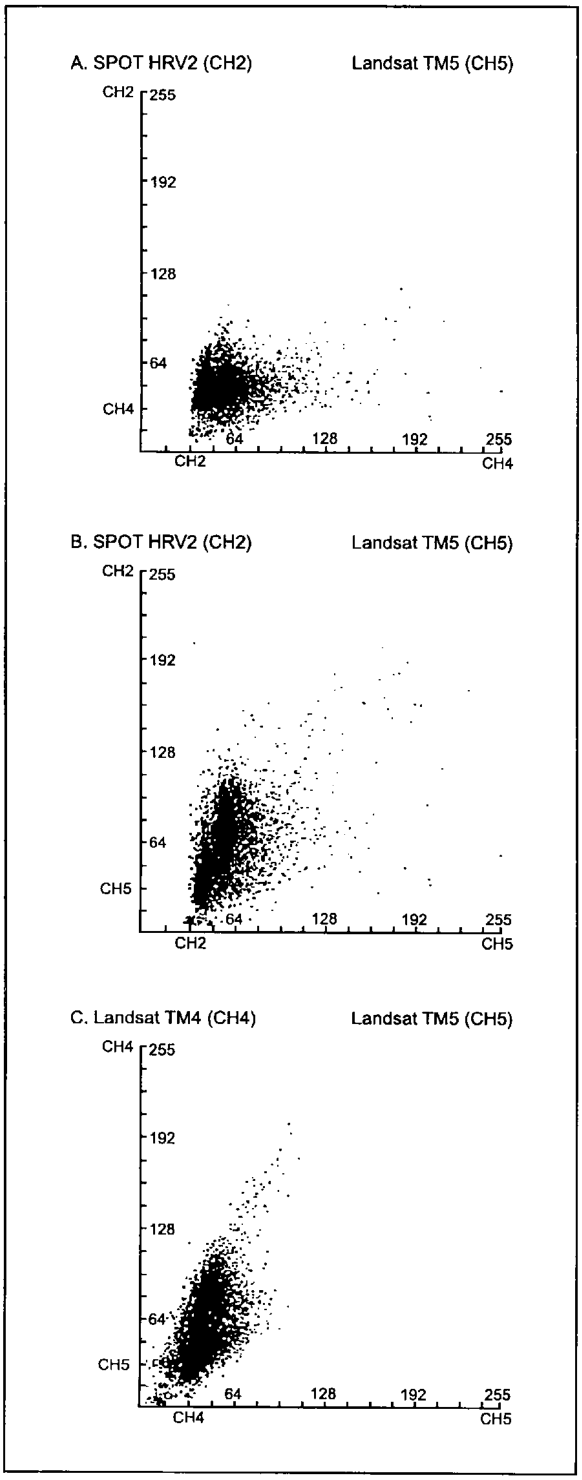
Klasyfikacji dokonano dwukrotnie z wydzieleniem i bez wydzielenia klasy zerowej. Klasa zerowa zawiera piksele, których charakterystyka spektralna różni się znacznie od charakterystyki każdej z wybranych klas.

Wyniki przeprowadzonej klasyfikacji nadzorowanej są w znacznym stopniu zgodne ze stanem faktycznym, określonym na podstawie wizji terenowych i analizy zdjęć lotniczych. Większość klas została wyróżniona w sposób satysfakcjonujący. Wyniki w oparciu o wyróżnione klasy przedstawia rycina 4.

W drugim etapie klasyfikacji skoncentrowano się na wydzieleniu krajobrazów prawie naturalnych, półnaturalnych i nienaturalnych, wykorzystując, wydzielone wcześniej, klasy pokrycia terenu. Skorygowane geometrycznie obrazy satelitarne Landsat TM i SPOT HRV-2 nałożono na siebie. Klasyfikację przeprowadzono dla całego dorzecza Przemszy z wyjątkiem obszarów nie objętych obrazem SPOT. Powierzchnia sklasyfikowanego obszaru wynosi 1775 km^2.

Podstawowym problemem było określenie krajobrazów prawie naturalnych. Obrazy satelitarne o rozdzielczości kilkudziesięciu metrów pozwalają jedynie na szacunkowe określenie rodzaju i kondycji pokrywy roślinnej. Analizując materiały kartograficzne stwierdzono, że dla całego obszaru dorzecza Przemszy potencjalną roślinność naturalną stanowią lasy o różnym składzie gatunkowym w zależności od warunków glebowych, wilgotnościowych i wysokościowych.

Następnie porównano obecny skład gatunkowy lasów oraz potencjalną roślinność naturalną i przyjęto, że większość zwartych kompleksów leśnych dorzecza Przemszy cechuje skład gatunkowy zbliżony do poten-

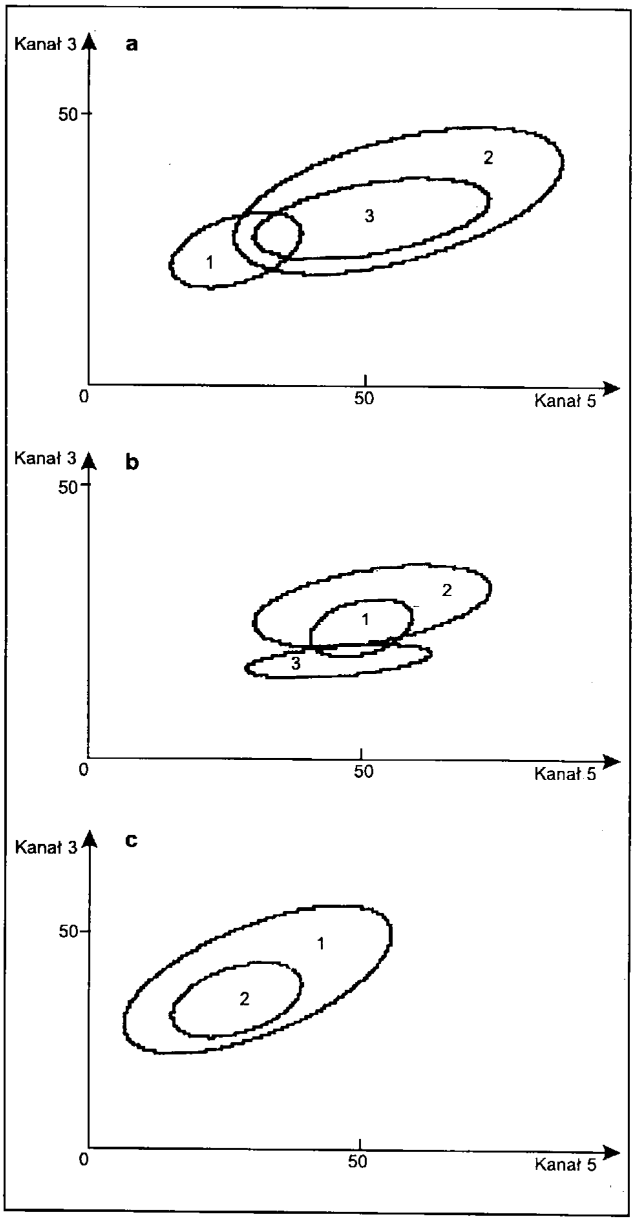


Ryc. 2. Zróżnicowanie wartości odbicia spektralnego pikseli, kanałów wybranych do klasyfikacji (etap 2)

Fig. 2. Differentiation of pixel spectral reflectance values for classified channels (stage 2)

cjalnego składu naturalnego. Stąd założenie, że zwarte kompleksy leśne dorzecza Przemszy stanowią ostoję krajobrazów prawie naturalnych. Są to bowiem obszary, gdzie również inne elementy krajobrazu (np. ukształtowanie terenu, budowa geologiczna, stosunki wodne, pokrywa glebowa, świat zwierzęcy) ulegały znacznie mniejszym zmianom w porównaniu z innymi fragmentami dorzecza. Powyższe założenie nie dotyczy niewielkich kompleksów leśnych, w szczególności położonych w bezpośrednim sąsiedztwie obszarów silnie przekształconych antropogenicznie oraz parków.

Krajobrazy półnaturalne stanowią w przeważającej mierze obszary rolnicze. Z jednej strony trudno doszukać się śladów roślinności naturalnej na tych terenach, z drugiej antropopresja jest tu zdecydowanie niższa w porównaniu z aglomeracją górnośląską. Zaklasyfikowano tu również większe pogorzeliska leśne (okolice Kluczy) ze względu na antropogeniczne przyczyny pożarów i nowe nasadzenia widoczne na obrazie SPOT. Po



Rys. 3. Charakterystyka spektralna pól testowych wybranych klas w kanałach 5,3 Landsata TM; a: 1 — zabudowa miejska zwarta, 2 — zabudowa miejska rozproszona, 3 — zabudowa wiejska; b: 1 — ogrody działkowe, 2 — zabudowa wiejska, 3 — lasy lisciaste; c: 1 — zabudowa przemysłowa, 2 — zabudowa miejska zwarta

Fig. 3. Spectral characteristic of test areas — Landsat TM 5,3; a: 1 — continuous urban fabric, 2 — discontinuous urban fabric, 3 — rural build-up areas; b: 1 — allotments, 2 — rural build-up areas, 3 — broad-leaved forests; c: 1 — industrial units, 2 — continuous urban fabric

Ryc. 4. Wyniki klasyfikacji nadzorowanej północnej części Wyżyny Śląskiej (bez wydzielenia obszarów niesklasyfikowanych): 1 — miasta liczące ponad 100 000 mieszkańców; 2 — miasta liczące do 100 000 mieszkańców; 3 — grunty orne; 4 — łąki i pastwiska; 5 — lasy iglaste; 6 — lasy liściaste; 7 — zabudowa zwarta; 8 — zabudowa rozproszona; 9 — zabudowa przemysłowa; 10 — tereny poeksploatacyjne i w trakcie zabudowy; 11 — wody powierzchniowe

Fig. 4. Supervised classification of Norther Silesian Uppland (without null class distinction): 1 — cities over 100 000 inhabitants; 2 — cities below 100 000 inhabitants; 3 — arable land; 4 — meadows and pastures; 5 — coniferous forest; 6 — broad leaved forest; 7 — continuous urban fabric; 8 — discontinuous urban fabric; 9 — industrial areas; 10 — mineral excavation and construction sites; 11 — water bodies

rewitalizacji zwartej pokrywy roślinnej obszary te ponownie mogą zostać przeklasyfikowane do grupy krajobrazów prawie naturalnych. W przypadku tej grupy tylko nieliczne elementy krajobrazu (np. rzeźba, budowa geologiczna, klimat) nie zostały w sposób wyraźny przekształcone przez człowieka. Przykładem występowania krajobrazów półnaturalnych są okolice Świerklańca.

W grupie krajobrazów nienaturalnych przeważają obszary zabudowane. Przyjęto, że zabudowa jest na tyle obcym i trwałym elementem krajobrazu oraz wskaźnikiem występowania procesów intensywnej antropopresji, że niezależnie od charakteru, wszystkie większe obszary zabudowane powinny znajdować się w grupie krajobrazów nienaturalnych. Ponadto, do grupy tej dołączono tereny ze zdartą pokrywą glebową (piaskownie, kamieniołomy) oraz infrastrukturę transportową, towarzyszącą zwykle obszarom zabudowanym. Wszystkie elementy krajobrazu są tu wyraźnie przekształcone przez człowieka.

Uzyskane wyniki drugiego etapu klasyfikacji stanowią podstawę podziału krajobrazów antropogenicznych. Niezbędne jest jednak przeprowadzenie generalizacji. O charakterze krajobrazu decydują bowiem nie pojedyncze piksele lub nawet niewielkie ich zgrupowania, ale to, do jakiej klasy należy ich większość (np. parki na terenach zurbanizowanych nie należą do grupy krajobrazów prawie naturalnych). W tym celu wykorzystano filtry wygładzające obraz: FMO o wymiarach 7 × 7 pikseli oraz Median o wymiarach 5 × 5 pikseli (tab. 1).

Krajobrazy półnaturalne (27,4%), stanowiące w przeważającej większości obszary użytkowane rolniczo, koncentrują się na północy dorzecza, przede wszystkim w rejonie Siewierza. Wyspowo występują również we wschodniej i południowej części obszaru badań.

Krajobrazy nienaturalne, zajmujące największą część obszaru (40,1%), stanowią zwarty kompleks w południowej części dorzecza od Bytomia i Rudy Śl. do Jaworzna i Olkusza. Jest to część aglomeracji górnośląskiej wraz z otoczeniem, która należy do najsilniej przekształconych antropogenicznie obszarów w Europie. Na północy większy obszar krajobrazów nienaturalnych znajduje się na granicy obszaru badań w rejonie Zawiercia i Ogrodzieńca. Do obszarów silnie przekształconych antropogenicznie została zaliczona również Pustynia Błędowska, na której od lat siedemdziesiątych zapanowały dogodne warunki do sukcesji naturalnej. Powodem jest wciąż niewielkie pokrycie terenu przez roślinność (ryc. 5).

Ocena teledetekcyjnej analizy krajobrazów antropogenicznych

W celu sprawdzenia poprawności klasyfikacji krajobrazów antropogenicznych dokonanej metodą analizy teledetekcyjnej obrazów satelitarnych Landsat TM i SPOT HRV-2 przeprowadzono porównanie wyników klasyfikacji z tradycyjnymi miernikami antropogeniza-

Tabela 1.
Wyniki klasyfikacji obrazów satelitarnych Landsat TM i SPOT HRV 2 (w oparciu o klasyfikację FMO × 5, Median × 5)
Supervised classification of Landsat TM and SPOT HRV-2 (after filtering FMO × 5 and Median × 5

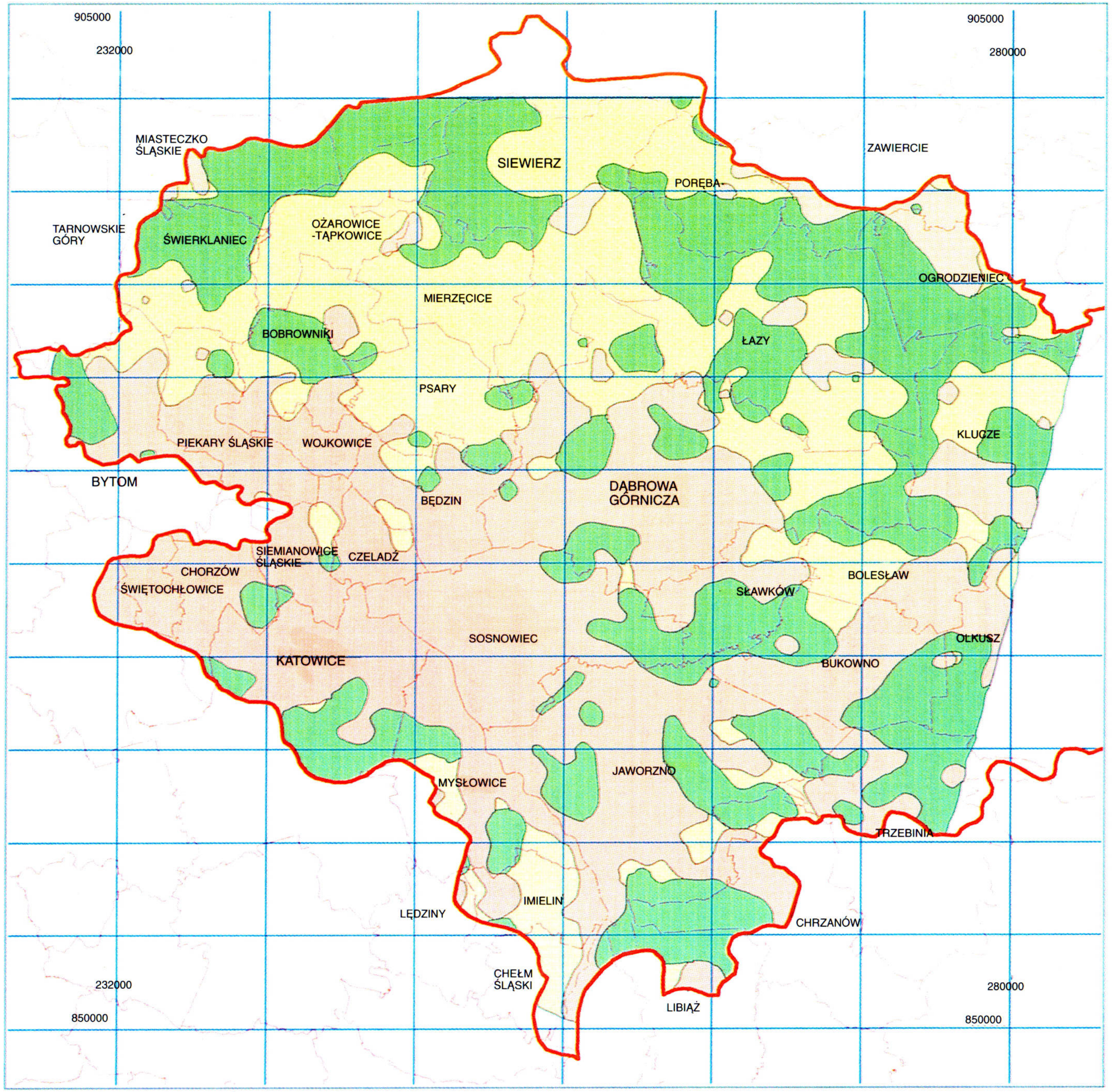
Typ krajobrazu *Landscape type*	Klasy *Classes*	Pow. (km^2) *Area (km^2)*	Udział w % %	Uwagi *Remarks*
Prawie naturalne *Quasi natural*	Lasy *Forests*	576,7	32,5	Dla całego dorzecza udział nieco wyższy *For the whole river basin area the share slightly higher*
Półnaturalne *Semi-natural*	Pogorzeliska leśne, wody powierzchniowe, użytki rolne *Burned areas, water bodies, agricultural areas*	486,1	27,4	Dla całego dorzecza udział nieco wyższy *For the whole river basin area the share slightly higher*
Nienaturalne *Non-natural*	Zabudowa (zwarta, rozproszona, przemysłowa) wyrobiska *Continuous urban fabric, discontinuous urban fabric, industrial units, mineral excavation and construction sites*	712,2	40,1	Dla całego dorzecza udział nieco niższy *For the whole river basin area the share slightly lower*

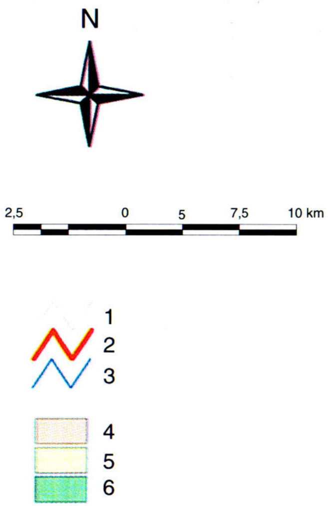
Jako ostateczny wynik podziału dorzecza Przemszy na krajobrazy prawie naturalne, półnaturalne i nienaturalne przyjęto sklasyfikowane obrazy po 25-krotnym zastosowaniu filtra FMO 7 × 7 oraz po 5-krotnym zastosowaniu filtrów FMO 7 × 7 i Median 5 × 5.

Krajobrazy prawie naturalne stanowią 32,5% klasyfikowanej części dorzecza Przemszy. Przeważają w północnej i wschodniej części dorzecza. Ciągną się dość zwartym pasem od okolic Tarnowskich Gór do wschodnich granic obszaru i dalej w stronę Olkusza. Ponadto krajobrazy prawie naturalne występują na południu, gdzie stanowią część cennych przyrodniczo kompleksów leśnych, położonych na granicy Wyżyny Śląsko-Krakowskiej i Kotliny Oświęcimskiej.

cji środowiska. Wykorzystano przede wszystkim *Mapę sozologiczną* w skali 1:50 000 (GGK, 1995) oraz inne publikacje, w tym kartograficzne, statystyczne. Ocenie poddano sklasyfikowany obraz po generalizacji, czyli po 5-krotnym użyciu filtrów FMO i Median oraz po 25-krotnym użyciu filtra FMO. Skoncentrowano się na niektórych rodzajach działalności ludzkiej prowadzącej do przekształcenia elementów przestrzeni krajobrazowej wg Buchwalda i Zonnevelda.

Następnie podjęto analizę zależności pomiędzy typami krajobrazów antropogenicznych występujących na obszarze dorzecza Przemszy a naturalnymi elementami środowiska geograficznego. Celem rozważań było stwierdzenie, który z elementów środowiska wywarł najwięk-





Ryc. 5. Krajobrazy antropogeniczne dorzecza Przemszy — wyniki klasyfikacji nadzorowanej obrazów satelitarnych Landsat TM i SPOT HRV 2, po zastosowaniu filtra FMO × 5 i Median × 5: 1 — granice gmin; 2 — dział wodny Przemszy; 3 — siatka arkuszy map; 4 — krajobrazy nienaturalne; 5 — krajobrazy półnaturalne; 6 — krajobrazy prawie naturalne

Fig. 5. Anthropogenic landscapes of the Przemsza River Basin. Supervised classification of Landsat TM 5,4 and SPOT HRV2 after filtering (FMO × 5, Median × 5): 1 — boundaries of municipalities; 2 — Przemsza River Basin boundaries; 3 — topographic map frames; 4 — quasi-natural landscapes; 5 — semi-natural landscapes; 6 — non-natural landscapes

szy wpływ na rozwój krajobrazów antropogenicznych na obszarze dorzecza Przemszy i czy istnieje powiązanie pomiędzy wewnętrznym zróżnicowaniem poszczególnych komponentów krajobrazu a zróżnicowaniem przestrzennym krajobrazów.

Badano m.in. związki pomiędzy teledetekcyjną klasyfikacją krajobrazów a ukształtowaniem powierzchni, wykorzystując numeryczny model terenu udostępniony przez Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych (Korcz, 1998).

Na podstawie numerycznego modelu terenu opracowano mapę spadków z wyróżnieniem siedmiu klas nachylenia terenu. Klasy te nałożono na klasyfikację krajobrazów antropogenicznych dorzecza Przemszy. Wyniki przedstawia tabela 2. Jej analiza pozwala na stwierdzenie, że nachylenie terenu nie stanowi czynnika decydującego o występowaniu poszczególnych typów krajobrazów w dorzeczu Przemszy. Wynika to zapewne z niewielkiego zróżnicowania spadków terenu oraz antropopresji, dla której tego typu uwarunkowania nie stanowiły znaczących barier technicznych lub ekonomicznych. Wyjątkiem są obszary o nachyleniu przekraczającym 8^o, które na badanym terenie występują sporadycznie (ryc. 6).

W teledetekcyjnej klasyfikacji krajobrazów dorzecza Przemszy wyróżniono trzy ich typy: prawie naturalne, półnaturalne i nienaturalne zajmujące odpowiednio 577 km^2, 486 km^2 i 712 km^2. Wartości te, a szczególnie udział krajobrazów nienaturalnych, świadczą o wyjątkowym dla obszaru Polski charakterze tej zlewni.

Krajobrazy prawie naturalne dominują w północnej i wschodniej części dorzecza. Tworzą je przede wszystkim zwarte kompleksy leśne, nawiązujące do potencjalnej roślinności naturalnej dorzecza Przemszy. Krajobrazy te występują zwykle na obszarach o niewielkim nachyleniu, w obniżeniach terenu, które wypełniają plejstoceńskie utwory glacifluwialne.

Krajobrazy półnaturalne, stanowiące w przeważającej większości obszary użytkowane rolniczo, koncentrują się na północy dorzecza. Występują często na obszarach o relatywnie większym nachyleniu stoków, zbudowanych z utworów triasowych.

Krajobrazy nienaturalne są najczęściej spotykane. Ich powstanie należy wiązać z eksploatacją surowców naturalnych, a obecny ich rozwój nawiązuje również do przebiegu infrastruktury drogowej, kolejowej i bliskości miejsc pracy. Nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy występowaniem krajobrazów nienaturalnych a innymi elementami środowiska geograficznego, np. rzeźbą terenu.

Tabela 2.
Zależności pomiędzy typami krajobrazów antropogenicznych a klasami nachylenia terenu
Relations between the types of anthropogenic landscape and sloping

Nr klasy spadku *No of sloping class*	Nachylenie terenu w stopniach *Sloping in degrees*	Powierzchnia ogółem (km^2) *Area total*	Powierzchnia na obszarze występowania krajobrazów nienaturalnych *Area non-natural landscape*	Powierzchnia na obszarze występowania krajobrazów półnaturalnych *Area semi-natural landscape*	Powierzchnia na obszarze występowania krajobrazów prawie naturalnych *Area quasi-natural landscape*
1	0,00–0,25	212,87	90,80 (43%)	42,53 (20%)	79,54 (37%)
2	0,26–0,50	254,02	98,62 (39%)	48,80 (19%)	106,60 (42%)
3	0,51–1,00	409,72	155,08 (38%)	95,61 (23%)	159,03 (39%)
4	1,01–2,00	459,04	193,85 (42%)	138,68 (30%)	126,51 (28%)
5	2,01–4,00	335,28	139,13 (42%)	123,11 (36%)	73,04 (22%)
6	4,01–8,00	97,95	33,50 (34%)	35,65 (36%)	28,80 (30%)
7	8,01–16,00	6,06	1,21 (20%)	1,68 (28%)	3,17 (52%)
Razem *Total*		1774,94	712,19 (40%)	486,06 (27%)	576,69 (33%)

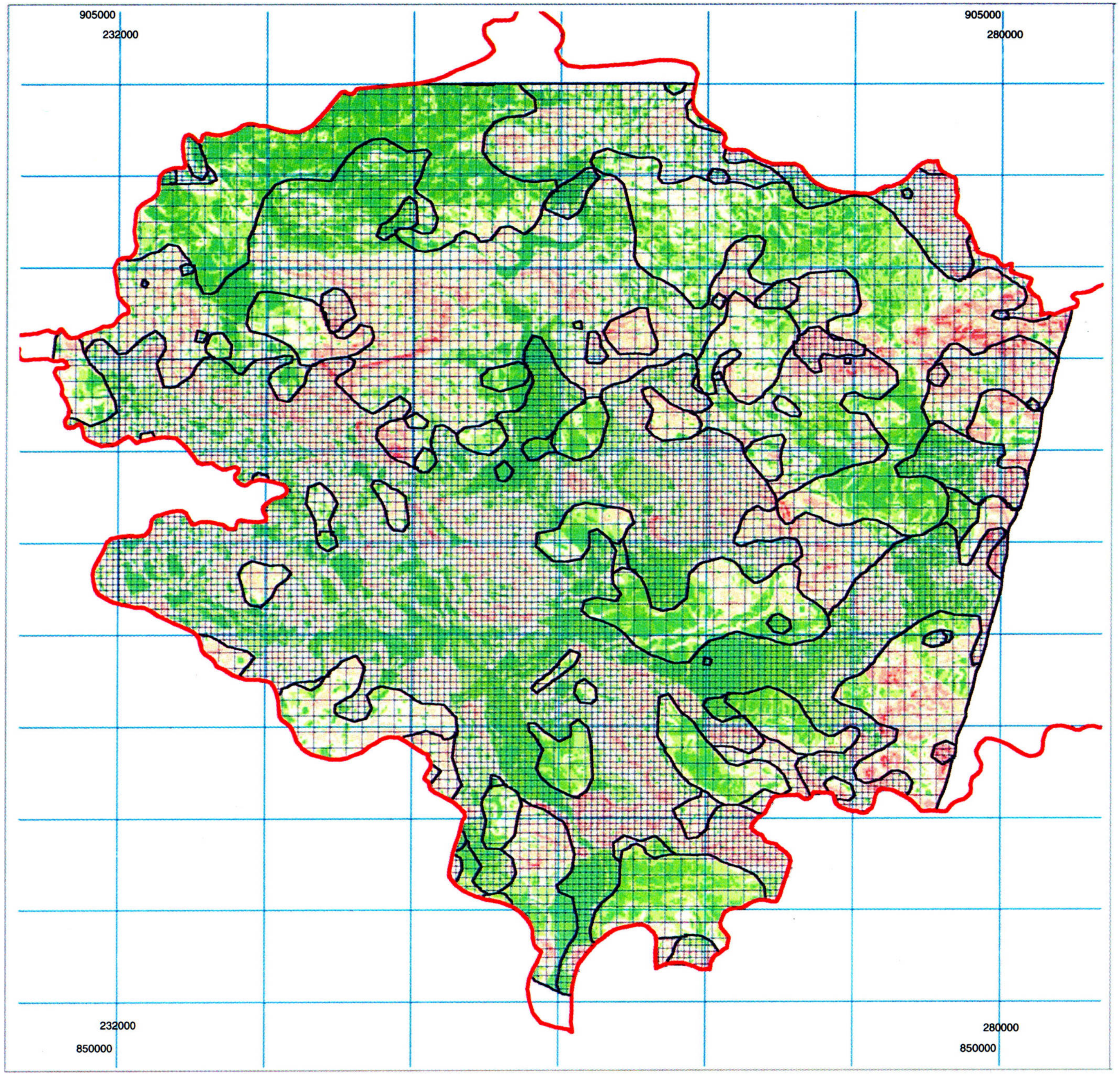
Podsumowanie i wnioski

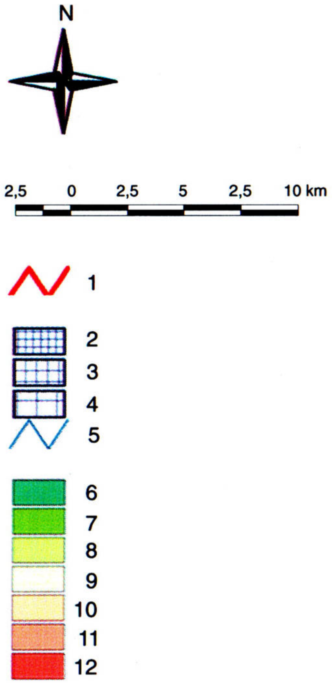
Artykuł porusza problem zastosowania metod teledetekcyjnych, a w szczególności klasyfikacji nadzorowanej obrazów satelitarnych Landsat TM i SPOT HRV-2, do badania stopnia antropogenizacji krajobrazów oraz ich struktury przestrzennej. Dotyczy on dorzecza Przemszy (2121 km^2), które w południowej i zachodniej części jest jednym z najsilniej przekształconych antropogenicznie obszarów Europy.

Opierając się na wartościach reflektancji spektralnej w wielu zakresach widma elektromagnetycznego należy stwierdzić, że obrazy satelitarne niosą jedynie część informacji o elementach krajobrazu. Według autora informacja ta jest wystarczająca do scharakteryzowania najważniejszych cech krajobrazów, ze względu na bezpośrednie przekształcenia antropogeniczne.

W świetle przeprowadzonych badań można przedstawić kilka wniosków. Obrazy satelitarne Landsat TM i SPOT HRV-2 są dobrym narzędziem do klasyfikacji krajobrazów zwłaszcza krajobrazów antropogenicznych. Informacja możliwa do pozyskania metodami teledetekcyjnymi w zdecydowanej większości przypadków wystarcza do identyfikacji typu krajobrazu.

Metoda teledetekcyjna jest obiektywna. Jej bardzo ważną zaletą jest fakt, że wykorzystana informacja pochodzi z tego samego okresu dla całego obszaru badań. Ważny jest właściwy wybór terminu wykonania obrazu. Zdecydowano się na drugą połowę lata, co daje możliwości lepszego rozpoznania typów pokrycia terenu. Stwierdzono także ograniczenia tej metody. Duże obszary leśne pochodzenia antropogenicznego zostały zakla-





Ryc. 6. Typy krajobrazów dorzecza Przemszy na tle mapy spadków: 1 — dział wodny Przemszy; 2 — krajobrazy nienaturalne; 3 — krajobrazy półnaturalne; 4 — krajobrazy prawie naturalne; 5 — siatka arkuszy map. Nachylenie terenu w stopniach: 6 — 0,00–0,25, 7 — 0,25–0,50, 8 — 0,50–1,00, 9 — 1,00–2,00, 10 — 2,00–4,00, 11 — 4,00–8,00, 12 — 8,00–15,56

Fig. 6. Relations between the types of anthropogenic landscapes and land slopes: 1 — Przemsza River Basin boundaries; 2 — non-natural landscapes; 3 — semi-natural landscapes; 4 — quasi-natural landscapes; 5 — topographic map frame. Land slopes in degrees: 6 — 0.00–0.25, 7 — 0.25–0.50, 8 — 0.50–1.00, 9 — 1.00 –2.00, 10 — 2.00–4.00, 11 — 4.00–8.00, 12 — 8.00–15.56

syfikowane jako krajobrazy naturalne (WPKiW w Chorzowie). Zbliżona charakterystyka spektralna poszczególnych klas pokrycia terenu, utrudnia klasyfikację. Występują także problemy z analizą zróżnicowania wewnętrznego niektórych elementów krajobrazu. Badania w obrębie jednego komponentu środowiska są możliwe z zastosowaniem obrazów satelitarnych, ale nie były przedmiotem zainteresowania autora (Bochenek, Poławski, Zawiła-Niedźwiedzki, 1987).

Stosunkowo niewielkie wysokości względne w obrębie badanego obszaru wyżynnego oraz przewaga małego nachylenia stoków w niewielkim stopniu wpływają na działalność gospodarczą człowieka. Rzeźba dorzecza Przemszy, poza niewielkimi fragmentami Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, nie jest istotnym czynnikiem ograniczającym antropopresję.

Wykorzystanie dwóch różnych obrazów satelitarnych wskazuje, że dla klasyfikacji krajobrazów większe znaczenie ma wielospektralny charakter obrazu niż rozdzielczość zobrazowania.

Podstawowe znaczenie przy teledetekcyjnej klasyfikacji krajobrazów ma pokrycie terenu. Klasyfikacja teledetekcyjna prawidłowo wyróżnia przekształcenia powierzchni ziemi (zabudowa, górnictwo odkrywkowe itp.). Inne rodzaje przekształceń antropogenicznych, aczkolwiek występujące zwykle najintensywniej na obszarach zabudowanych lub przemysłowych, mogą wykraczać poza te obszary i stawać się niezauważalne w zapisie promieniowania elektromagnetycznego.

Zastosowanie filtrów wygładzających obraz, a szczególnie filtra FMO i Median umożliwiło generalizację wyników klasyfikacji na potrzeby badań relacji przestrzennych na poziomie regionalnym. Doprowadziło jednak również do wyeliminowania niektórych obszarów przejściowych pomiędzy dwoma skrajnymi typami krajobrazów.

Ciekawym przykładem jest Pustynia Błędowska i sąsiadujący z nią obszar wypalonego w 1992 r. lasu, doskonale widoczny na obrazie Landsat TM. W świetle badań teledetekcyjnych Pustynia Błędowska pozostaje nadal obszarem silnie przekształconym przez człowieka. Wzmożona sukcesja naturalna występująca tam od lat 70. (Rahmonov, 1998) nie doprowadziła jeszcze do zmiany formy pokrycia terenu. Obszar pogorzeliska został teledetekcyjnie sklasyfikowany jako krajobraz półnaturalny, co wynika z faktu uwzględnienia obrazu SPOT z 1996 r., z widocznymi nowymi nasadzeniami drzew.

Literatura

Achen M., 1992: Landsat TM Data for Municipal Environmental Planning? Studies of Vegetation Indices in the Urban Area [w:] *International Archives on Photogrametry and Remote Sensing*. XVII Congress, vol. 7, Washington.

Bochenek Z., Poławski Z., 1987: Zastosowanie zdjęć satelitarnych Landsat TM do klasyfikacji terenów miejskich. *Prace IGiK*, t. 34, z. 2, Warszawa.

Bochenek Z., Poławski Z., Zawiła-Niedźwiedzki T., 1987: Wykorzystanie zdjęć Landsat TM do badania zdegradowania obszarów leśnych na przykładzie Sudetów Zachodnich. *Prace IGiK*, t. 34 z. 2. Warszawa.

Bogdanowski J., Luczyńska-Bruzda M., Novak Z., 1979: *Architektura krajobrazu*. Politechnika Krakowska, Kraków.

Buchwald K., 1975: Krajobraz naturalny — pojęcia ogólne [w:] Buchwald K., Engelhardt W. (red.), *Kształtowanie krajobrazu a ochrona przyrody*. PWRiL, Warszawa.

Buchwald K., Engelhardt W., 1975: *Kształtowanie krajobrazu a ochrona przyrody*. PWRiL, Warszawa.

Ciołkosz A., Kęsik A., 1989: *Teledetekcja satelitarna*. PWN, Warszawa.

Ciołkosz A., Baranowski M., 1994: Corine Land Cover. *Fotointerpretacja w geografii*, t. 24, Warszawa.

Costa S., 1992: Spot Imagery for Classification of Urban Landuse: A Comparison with Landsat TM Imagery — A Study of Belo Horizonte Area [w:] *International Archives on Photogrametry and Remote Sensing*, XVII Congress, vol. 7, Wa-shington.

Cracknell A., Hayes L., 1991: *Introduction to Remote Sensing*. London, New York, Philadelphia.

Jensen J.R., 1986: *Introductory Digital Image Processing*. A Remote Sensing Perspective, Prentice Hall, New Jersey, USA.

Kondracki J., 1978: *Geografia fizyczna Polski*. PWN, Warszawa.

Kondracki J., Ostrowski M., 1994: Krajobrazy naturalne [w:] *Atlas Zasobów, Walorów i Zagrożeń Środowiska Geograficznego Polski*, IGiPZ PAN, Warszawa.

Korcz M., 1998: *Opracowanie i cyfryzacja materiałów do modelu wysokościowego województwa katowickiego w skali 1:50 000*. IETU, Katowice.

Lista zakładów przemysłowych szczególnie szkodliwych dla środowiska, 1998: MOŚZNiL (Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa), Warszawa.

Lo C. P., 1995: Automated Population and Dwelling Unit Estimation From High-Resolution Sattelite Images: A GIS Approach. *International Journal for Remote Sensing*, vol. 16, no. 1, London.

Mapa sozologiczna. Skala 1:50 000, 1995, GGK, Warszawa.

May M., Pinder III J., Kroh G., 1997: A Comparison of Landsat TM and Spot Multispectral Imagery for the Classification of Shrub and Meadow Vegetation in Northern California, USA. *International Journal For Remote Sensing*, vol. 18, no. 7, London.

Olędzki J.R., 1992: *Geograficzne uwarunkowania zróżnicowania obrazu satelitarnego Polski i jego podział na jednostki fotomorficzne*. UW, Warszawa.

PCI, 1994: *Using PCI Software*. Version 5.3. Richmont Hill, Kanada.

Podział hydrologiczny Polski. Cz. 1. Zestawienia liczbowo/opisowe (IMGW), 1983: WKiŁ, Warszawa.

Raport o stanie środowiska w województwie katowickim w latach 1995–1996, 1997, PIOŚ.

Rahmonov O., 1998: *Studia nad procesem zarastania Pustyni Błędowskiej*. Praca doktorska niepubl. WNoZ UŚl. Sosnowiec.

Richling A., Solon J., 1994: *Ekologia krajobrazu*. PWN, Warszawa.

Ridd M., 1995: Exploring A V-I-S Model For Urban Ecosystem Analisis Through Remote Sensing: Comparative Anatomy for Cities. *International Journal for Remote Sensing*, vol. 16, no. 12, London.

Rodriques R., Martins M., Veado R., Luz V., 1992: Hierarchization of Landscape in the Island of Santa Catarina, S Brasil, By Using TM Landsat 5 and Multispectral Spot Images, *International Archives on Photogrametry and Remote Sensing*. XVII Congress, vol. 7, Washington.

Szczęsny T., 1977: *Ochrona przyrody i krajobrazu*. Warszawa.

Trafas K., 1992: Analiza elementów struktury miasta Krakowa w oparciu o nadzorowaną klasyfikację treści obrazu satelitarnego Landsat TM. *Fotointerpretacja w Geografii*, t. 24, Warszawa.

Truszewska R., Kowaliński S., 1979: *Ocena degradacji naturalnego środowiska ziem północno-zachodniej Polski*. PAN, Wrocław.

Wrona A., Gołubowicz J., 1998: Zastosowanie teledetekcji do oceny gruntów zdewastowanych w województwie katowickim [w:] *Geografia w kształtowaniu środowiska oraz transformacji gospodarczej rejonu górnośląskiego*. UŚ. Sosnowiec.

Zonneveld J.I.S., 1990: Introduction to Cultural Aspects of Landscape. Finst. Int. *Conference of IALE Working Group „Culture and Landscape"*. Wageningen.

Dr Marek Sowiński urodził się 17 XI 1966 roku w Chorzowie. Ukończył studia geograficzne o specjalności „Kształtowanie i ochrona środowiska". Praca magisterska pt.: „Zmiany geometrii wybranych płatów śnieżnych w Tatrach z zastosowaniem fotometod" wykorzystywała tradycyjne zalety fotogrametrii naziemnej. Po studiach podjął pracę w Wydziale Ekologii Urzędu Wojewódzkiego zajmując się programami pomocowymi dla województwa katowickiego. Prezentowany tu artykuł stanowi część pracy doktorskiej wykonanej w Zakładzie Teledetekcji Środowiska na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, pod kierunkiem prof. dr. hab. Jacka Jani. Po obronie pracy autor związał się z Citec S.A., prowadząc konsultacje w ramach programu „Likwidacja skutków powodzi" oraz opracowując mapy satelitarne. Dorobek naukowy stanowią publikacje i raporty z zankresu teledetekcji i ochrony środowiska.
Miejsce pracy: Citec S.A. 40-833 Katowice, ul. Dulęby 5; tel: (0-32) 2053573; fax: (0-32) 2053574; e-mail: mso@citec.com.pl; adres domowy: ul. Górna 8d, 42-690 Tworóg.