

ZENON F. POŁAWSKI, TOMASZ ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI

System informacji przestrzennej w analizie stanu lasu Sudetów z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych

Geographic Information System in Analysis
of Sudety Forests Conditions with the Use of Teledetection Datas

Wprowadzenie

Dotychczasowe środki gromadzenia, przetwarzania i prezentacji nie zawsze pozwalały na kompleksową i efektywną analizę środowiska. Wynikało to głównie z faktu, że dominował statyczny sposób prowadzenia badań a opracowania miały przeważnie charakter analityczny a nie syntetyczny. Efektem takich analiz były najczęściej mapy tematyczne, których treść była następnie analizowana i kompilowana z innymi informacjami o środowisku.

W przypadku badań o charakterze retrospektywnym dane o środowisku były przedstawiane na kilku mapach lub kalkach. Aby ocenić zmianę badanego elementu bądź zjawiska, nakładano ich treść na siebie i następnie opracowywano mapę wynikową. Procedury obliczeń statystycznych, które charakteryzowały badane zjawiska, sprowadzały się zazwyczaj do żmudnego planimetrowania powierzchni wydzieleni.

Konsekwencją tego był często długi czas sporządzania map tematycznych. Zdarzało się, że w chwili otrzymania mapy informacje na niej zawarte były nieaktualne. Dotyczyło to przede wszystkim zjawisk szybko zmieniających się w czasie i przestrzeni.

Sytuacja taka wymusza stosowanie takich technik analizy, które zapewniłyby nie tylko sprawną i obiektywną ocenę relacji zachodzących między różnymi elementami środowiska ale również pozwoliłyby na określenie dynamiki badanego zjawiska, kierunków przeobrażeń, powierzchniowego zasięgu poszczególnych elementów środowiska oraz przedstawienie uzyskanych wyników w postaci map tematycznych i zestawień statystycznych.

Narzędziem, które spełnia te podstawowe warunki jest system informacji przestrzennej (SIP).

Koncepcja systemów informacji przestrzennej

System informacji przestrzennej jest to komputerowy system gromadzenia, przetwarzania i udostępniania informacji zlokalizowanych w przestrzeni geograficznej. Według Gaździckiego (5) informacje przestrzenne są to informacje o położeniu, geometrycznych własnościach i przestrzennych relacjach obiektów, które mogą być identyfikowane w odniesieniu do Ziemi. Dzieli on systemy informacji przestrzennej na małoskalowe systemy informacji geograficznej (GIS) i wieloskalowe systemy informacji o terenie (SIT). Systemy informacji o terenie odpowiadają skalom powyżej 1:5000, a systemy informacji geograficznej mniejszym i równym 1:5000.

Dane pozyskiwane za pomocą technik teledetekcyjnych mogą być wprowadzone do takich systemów i w połączeniu z innymi informacjami opisowymi i obrazowymi mogą stanowić jakościowo nowy rodzaj informacji. Powstaje jednak pytanie, co do sposobu przepływu danych teledetekcyjnych do systemów informacyjnych. Praktycznie nie występuje lub jest bardzo ograniczony automatyczny przepływ informacji teledetekcyjnej do systemów informacyjnych. Wynika to głównie z faktu, że proces rozpoznawania i klasyfikacji oparty tylko na analizie odpowiedzi spektralnych nie zapewnia otrzymania w pełni wiarygodnych wyników. Przy próbach bardziej szczegółowego rozpoznawania obiektów odwzorowanych na zdjęciach satelitarnych znacznie spada wiarygodność poszczególnych wydzieleni (2).

W ogromnej większości ma miejsce pośredni sposób przekazu informacji teledetekcyjnej do systemów informacyjnych. Polega on na tym, że dane teledetekcyjne są analizowane wizualnie zgodnie z regułami tego postępowania, a więc rozpoznanie takie bazuje nie tylko na odpowiedziach spektralnych, lecz opiera się także na innych cechach demaskujących, wykorzystując wiele materiałów uzupełniających, np. dane terenowe. Efektem interpretacji są informacje przedstawiane najczęściej w postaci nakładek fointerpretacyjnych lub map tematycznych. Następnie treść map jest zamieniana na postać cyfrową, a uzyskane informacje są wprowadzane do bazy danych systemów informacyjnych.

W ostatnich latach można obserwować powstawanie wielu systemów informacyjnych o różnym zasięgu, od globalnego do regionalnego, które są ukierunkowane na różne zastosowania dotyczące środowiska naturalnego.

Koncepcja systemów informacji geograficznej powstała w Kanadzie na początku lat sześćdziesiątych. Początkowo miały one na celu wspomóc zarządzanie informacjami o zasobach naturalnych i środowisku, ale wkrótce zyskały uznanie także w innych dziedzinach, a szczególnie w urbanistyce i planowaniu przestrzennym. Ciągłe jednak leśnictwo i zarządzanie zasobami naturalnymi są głównymi użytkownikami SIP (4).

Systemy informacji geograficznej pozwalają na numeryczne modelowanie komponentów środowiska, ich inwentaryzowanie, integrowanie informacji dotyczących środowiska pozyskiwanych z różnych źródeł, analizowanie oraz przetwarzanie informacji przestrzennych i wreszcie prezentowanie w postaci kartograficznej oraz zestawień statystycznych.

Dane teledetekcyjne stanowią jeden z wielu możliwych strumieni zasilania baz danych systemów informacji geograficznej. Warto podkreślić, że jest to strumień najbogatszy, jeśli chodzi o jego wolumen. Inne źródła informacji wykorzystywane w systemach informacji geograficznej to mapy topograficzne, mapy tematyczne, zestawienia statystyczne, wyniki

obserwacji i inwentaryzacji terenowych. Tworzą one zbiór informacji o danym terenie, powiązany przez jednolity układ identyfikacji przestrzennej. Dzięki umieszczeniu wszystkich tych danych w jednym miejscu powstają możliwości ich łączenia oraz przekształcenia w celu dokonania analiz przestrzennych. To sprawia, że systemy informacji geograficznej są coraz częściej wykorzystywane w analizach środowiskowych, w tym i w leśnictwie (2).

Leśne systemy informacji geograficznej gromadzą dane o środowisku w dwóch powiązanych ze sobą bazach danych: przestrzennych i opisowych.

Pierwsza z nich zawiera: dane zdigitalizowane z map topograficznych i tematycznych, informacje wydobyte ze zdjęć satelitarnych, wyniki interpretacji zdjęć lotniczych oraz numeryczny model terenu (NMT).

Zdjęcia satelitarne, ze względu na swoje parametry techniczne (dużą rozdzielczość spektralną i przestrzenną, możliwość ciągłej obserwacji terenu) stanowią cenne źródło informacji o ekosystemach leśnych, zwłaszcza w analizach wielkoobszarowych.

Mimo dynamicznego rozwoju satelitarnych technik teledetekcji, ocena wielu wskaźników charakteryzujących drzewostany może być z dużym powodzeniem przeprowadzona tylko na podstawie lotniczych zdjęć spektrostrefowych i panchromatycznych.

Ważną cechą zdjęć panchromatycznych jest stosunkowo prosta technika interpretacji (aczkolwiek stawiająca duże wymagania interpretatorom) oraz ich dostępność. Zdjęcia panchromatyczne są bowiem wykonywane przez państwową służbę geodezyjną dla potrzeb map topograficznych i jest nimi pokryty cały kraj, często wielokrotnie. Stwarza to możliwość prowadzenia badań retrospektywnych.

Zdjęcia takie były z dużym powodzeniem wykorzystywane w wielu opracowaniach o tematyce ekologicznej. Między innymi do inwentaryzacji ekosystemów leśnych Sudetów Zachodnich (7).

Dwie cechy rozpoznawcze wydają się być najważniejsze w analizie ekosystemów leśnych na podstawie zdjęć lotniczych, a mianowicie: struktura obrazu lasu i ton zdjęcia. Pierwsza odzwierciedla między innymi gatunek drzew, druga natomiast jest wypadkową takich czynników jak oświetlenie, czy też spektralne zdolności światła. Elementy te modyfikowane jeszcze porą fotografowania, wskazują iż zdjęcia panchromatyczne mogą nie tylko obrazować zasięg powierzchniowy lasów, ale też pozwalają na określenie jego składu gatunkowego (drzewostany iglaste, liściaste i mieszane).

Uzupełnienie tych cech jedną z najbardziej specyficznych zalet fotografii lotniczej, a mianowicie możliwością obserwowania plastyki terenu zdecydowanie rozszerza zakres analizy środowiska. Obserwacja stereoskopowa pozwala bowiem między innymi na ocenę zwarcia drzew w drzewostanach, a tym samym określenie przestrzennego rozkładu zmienności tego zjawiska.

Wspomniane cechy identyfikacyjne pozwalają także na wydzielenie obszarów leśnych, na których w momencie fotografowania nie występowały drzewa. Chodzi tu o obszary leśne pozbawione drzew w wyniku zrębu, lub na których las jako formacja wycofał się i powstała płazowina lub halizna. Innymi elementami pokrycia terenu, wydzielonymi na podstawie

analizy lotniczej fotografii panchromatycznej, są między innymi obszary zalesień i odnowień, czy też tak specyficzne formacje roślinne jak murawy wysokogórskie i borówczyska czy kosodrzewina.

Jeżeli te elementy uzupełnimy innymi komponentami środowiska, jakimi są antropogeniczne elementy krajobrazu będące wynikiem działalności człowieka, to jasne się staje, że treść panchromatycznych zdjęć lotniczych może w istotny sposób wspierać informacje pozyskane zarówno podczas badań terenowych, jak i analizy wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych.

Oprócz panchromatycznych zdjęć lotniczych, których atutem jest cena oraz łatwość pozyskiwania materiałów archiwalnych, istotne znaczenie w ocenie lasów górskich mają barwne zdjęcia lotnicze w podczerwieni (spektrostrefowe). Zdjęcia takie, poza rejestracją informacji takich samych jak w przypadku zdjęć panchromatycznych, umożliwiają ocenę zdrowotnego i sanitarnego stanu lasu.

Zdigitalizowane mapy leśne i topograficzne, informacje wydobyte ze zdjęć lotniczych i satelitarnych tworzą obrazową bazę danych. Przez system relacji z poszczególnymi warstwami obrazowymi (np. drzewostany, oddziały, jednostki administracyjne itp.) ta baza danych połączona jest z bazą danych opisowych, która jest tworzona z informacji inwentaryzacyjnych urządzania lasu, danych monitoringowych oraz opisów sporządzanych w ramach prac badawczych dotyczących poszczególnych obszarów leśnych. Jednoznacznie zdefiniowany system odniesień adresowych umożliwia połączenie danych obrazowych z informacjami zawartymi w Systemie Informatycznym Lasów Państwowych.

Nie ma jednej najlepszej struktury do opisanie różnych typów obiektów. W systemach GIS konieczna jest integracja modelu rastrowego i wektorowego danych. Modele te wywodzą się z całkowicie różnego widzenia przestrzeni.

Model wektorowy bazuje zazwyczaj na szczegółowym i możliwie dokładnym odwzorowaniu sytuacji przestrzennej. Rozpatruje on kilka klas obiektów różniących się geometrią. Najczęściej wyróżnia się obiekty punktowe, liniowe i powierzchniowe o dowolnym kształcie. Kształt oraz położenie obiektów przestrzennych są zarejestrowane za pomocą list współrzędnych.

Model rastrowy bazy danych opiera się na "ziarnistym" widzeniu przestrzeni, tj. najczęściej na regularnym układzie pól odniesień przestrzennych. Oznacza to, że informacje przestrzenne gromadzone są w polach jednostkowych w taki sposób, że dany rodzaj lub dana wartość zjawiska charakteryzuje jednoznacznie dane pole. Inaczej mówiąc, cały obszar zainteresowania jest podzielony na pola odniesień przestrzennych stanowiące najmniejszą wyróżnialną jednostkę powierzchniową, do której przypisane są różne dane tematyczne. Wielkość pól elementarnych w układzie odniesień przestrzennych może być różna w zależności od potrzeb w zakresie dokładności lokalizowania i prezentowania danych. Model ten jest szczególnie przystosowany do analizy obiektów przestrzennych. Daje również wiele korzyści w zakresie manipulowania i analiz przestrzennych danych, jednak jego zastosowanie wiąże się z pewnym obniżeniem dokładności lokalizacji oraz uproszczeniem kształtów obiektów przestrzennych.

Do zapisu danych przestrzennych w tego typu modelach wykorzystuje się siatki pól podstawowych. Siatka pól podstawowych jest związana z geograficznym układem odniesienia (siatką kartograficzną, kilometrową) na dokumencie źródłowym przez punkty kontrolne.

Przykładem siatki przystosowanej do rejestracji danych o środowisku przyrodniczym jest układ pól odniesień przestrzennych opracowany w Instytucie Geodezji i Kartografii. W myśl przyjętych zasad, informacje przestrzenne gromadzone są w czworokątnych polach jednostkowych w taki sposób, iż dana wartość zjawiska charakteryzuje jednocześnie dane pole. W zależności od potrzeb rolę nośnika informacji mogą spełniać pola pierwszego ($P_1 = 2000 \times 2000\text{m}$), drugiego ($P_2 = 1000 \times 1000\text{m}$), trzeciego ($P_3 = 500 \times 500\text{m}$), czwartego ($P_4 = 250 \times 250\text{m}$) bądź piątego rzędu ($P_5 = 125 \times 125\text{m}$) i przez nie może dokonywać się wprowadzenie informacji do bazy danych (6).

Dobór wielkości pola podstawowego i sposoby oraz zasady wagowania informacji w polach

Zapis informacji w układzie pól odniesień przestrzennych musi być przeprowadzony w sposób staranny, bowiem od jakości i dokładności przygotowania danych wejściowych zależy wartość utworzonych zbiorów informacji, a tym samym prawidłowość uzyskanych wyników.

Kodowanie informacji tematycznych polega na ich przypisaniu określonym polom układu odniesień przestrzennych. Z tym wiążą się zagadnienia pewnych deformacji przebiegu kodowanej informacji, wynikające z konieczności zapisu linii krzywych za pomocą linii prostych oraz przyporządkowaniu danemu polu odniesień przestrzennych tylko jednej informacji. Stąd też w kodowaniu informacji proponuje się przyjąć następujące zasady.

W przypadku, gdy powierzchniowy zasięg kodowanej informacji tematycznej zajmuje 100% powierzchni pola odniesienia przestrzennego, zalicza się go jako pełne pole.

Jeżeli powierzchniowy zasięg kodowanej informacji tematycznej zajmuje więcej niż 50% powierzchni pola odniesienia przestrzennego to uznaje się to jako pełne pole.

Jeżeli w polu odniesienia przestrzennego znajdują się np. dwie informacje tematyczne, z których każda zajmuje 50% powierzchni analizowanego pola, to należy rozpatrzyć zasięg tych informacji (kształt, kontur, równoważność powierzchniowa) oraz znaczenie każdej z nich i dokonać na tej podstawie wyboru jednej zaliczając ją jako pełne pole.

W przypadku występowania w jednym polu odniesienia przestrzennego trzech lub więcej informacji tematycznych, z których każda ma powierzchnię mniejszą niż 50% pola, należy przeanalizować zasięgi tych informacji i przyporządkować pole informacji najbardziej znaczącej.

Przedstawione zasady zapisu informacji w układ pól odniesień opierają się o kryteria, które umożliwiają świadomy i ukierunkowany wybór i uogólnienie treści, przez co osoba prowadząca analizę staje się redaktorem mapy komputerowej.

Stosowanie, jako podstawy do zbierania informacji z map tematycznych, nakładek fotointerpretacyjnych pól podstawowych pociąga za sobą także konieczność określenia wielkości pola podstawowego, w które będą wpisywane informacje.

Dobór wielkości (rzędu) pola podstawowego przyjętego do zbierania danych w sposób istotny decyduje o stopniu generalizacji mapy komputerowej w stosunku do informacji źródłowych. Użycie zbyt dużego pola może prowadzić niekiedy do zatarcia informacji o przestrzennym zróżnicowaniu zjawiska na badanym obszarze, przyjęcie zbyt małego pola może z kolei wydobyć szczegóły zbyt drobne, wśród których mogą zagać istotne cechy kartowanego zjawiska.

Z przyjęciem do zapisu informacji małego pola wiąże się także kodowanie danych w dużą liczbę pól podstawowych, co wpływa, szczególnie gdy zapisujemy informacje dla dużych obszarów, na pracochłonność opracowania.

Biorąc pod uwagę to, że wielkość pola odniesienia przestrzennego pełni funkcję "filtra informacji" i decyduje o efektywności pracy, konieczne jest ustalenie wielkości (rzędu) jakie należy przyjmować do zbierania danych uzyskanych w wyniku interpretacji zdjęć satelitarnych i lotniczych oraz z map tematycznych, a obrazujących zmiany środowiska geograficznego na obszarach górskich.

Z wyborem optymalnego pola do kodowania informacji związany jest także problem doboru skali, w jakiej chcemy przedstawić dane o środowisku. Nabiera to szczególnego znaczenia, gdy analiza jest prowadzona na podstawie danych teledetekcyjnych czy też tematycznych wykonanych w różnych skalach.

O wyborze skali, w przypadku teledetekcyjnego monitorowania zmian środowiska nie tylko na obszarach górskich, decyduje przestrzenna zdolność rozdzielcza zdjęć wykorzystywanych do analizy.

Zdjęcia satelitarne wykonywane skanerem Thematic Mapper są i będą głównym teledetekcyjnym źródłem informacji wykorzystywanym w monitoringu środowiska. Przestrzenna zdolność rozdzielcza tych zdjęć, jak już wspomniano, jest wysoka i wynosi około 30 metrów. Przyjmując, że zjawiska zachodzące w lesie, a ten element jest najistotniejszy w naszej analizie, wystarczy kartować z błędem 0,8 mm w skali mapy, można przyjąć, że dla zdjęć satelitarnych Landsat TM optymalną skalą może być podziałka 1:50 000 (1).

Analiza przeprowadzona na założonym w Karkonoszach Zachodnich obszarze testowym o powierzchni 1600 ha wykazała, że najbardziej efektywne do kodowania informacji z danych teledetekcyjnych są pola odniesień przestrzennych o wielkości 250m x 250m (P4 = 6,25 ha) (8).

Prezentacja informacji o środowisku i jego zmianach zapisanych w sieci pól odniesień przestrzennych

Przykładem zastosowania do analizy zmian środowiska sieci pól odniesień przestrzennych było założenie lokalnej bazy danych dla części Sudetów Zachodnich o powierzchni 12 056 hektarów. Do tej bazy wprowadzono informacje o pokryciu i użytkowaniu ziemi pozyskane ze zdjęć lotniczych i satelitarnych wykonanych czterokrotnie w latach 1975–1986. Dodat-

kowe informacje pozyskano z map topograficznych (hipsometria terenu), map tematycznych oraz badań terenowych. Wszystkie te informacje zostały zakodowane według omówionych tutaj zasad, w sieci pól odniesień przestrzennych o wymiarach 250m x 250m. W sześciowarstwowej tematycznej bazie danych znalazły się więc najważniejsze informacje o zasobach przyrodniczych badanego obszaru w momentach wykonywania zdjęć lotniczych i satelitarnych, a także jego hipsometrii.

Wykorzystując możliwości przetwarzania tych informacji w bazie danych i ich udostępniania, opracowano wiele map wynikowych obrazujących dynamikę zmian środowiska w poszczególnych okresach, a także zestawienia statystyczne odzwierciedlające liczbowo dynamikę tych zmian. Schemat tego postępowania przedstawia rycina 1.

Mapy sporządzone w systemie geometrycznych jednostek przestrzennych mają charakterystyczną formę rastrową (mozaikową). Elementy powierzchniowe są w wersji takich map przedstawione za pomocą elementarnych pól odniesień przestrzennych. Powstałe w ten sposób kontury poszczególnych wydziałów posiadają charakterystyczny kształt linii łamanej (schodkowej) w przeciwieństwie do map sporządzonych metodą tradycyjną, gdzie te same kontury mają z reguły kształt linii krzywych.

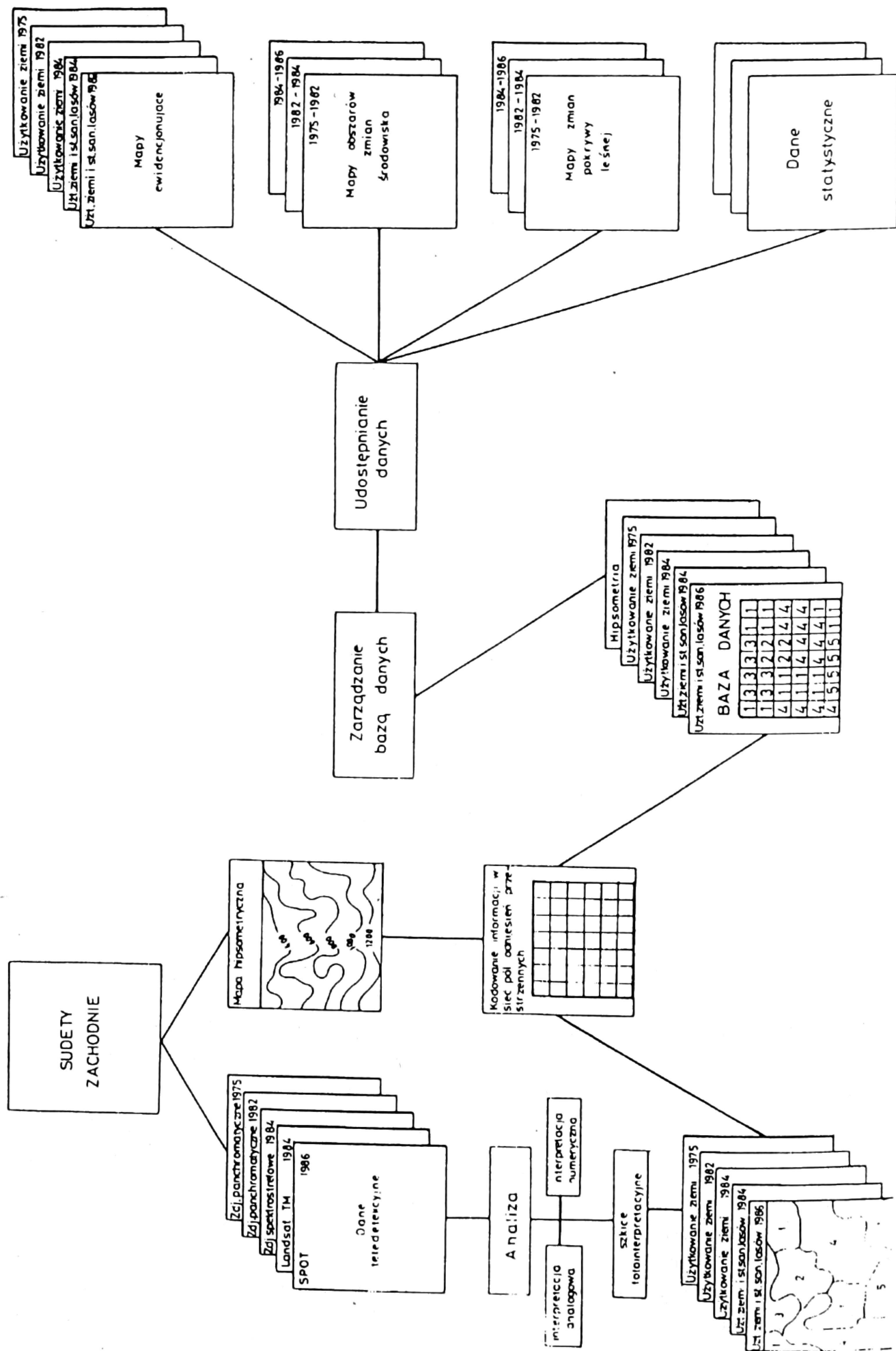
W pierwszym etapie wyprowadzono mapy przedstawiające pokrycie terenu w Karkonoszach Zachodnich w momencie wykonania zdjęć lotniczych i satelitarnych.

W większości przypadków do prowadzenia badań zmienności środowiska niezbędna jest informacja bardziej przetworzona niż tu zaprezentowana. Powinna ona wskazywać na związki i zależności między różnymi elementami środowiska, czy też określać dynamikę badanego zjawiska, którą można ocenić przez porównanie jego stanu w różnych okresach obserwacji.

Możliwość nakładania na siebie kilku warstw informacji tematycznej, które zawarte są w bazie danych, pozwala nie tylko na przedstawienie map ewidencjonujących elementy środowiska, ale również na konstruowanie map, które przedstawiają dynamikę zachodzących w środowisku przyrodniczym przeobrażeń.

I tak np. na dane o użytkowaniu terenu w Karkonoszach Zachodnich z 1975 r. zostały „nałożone” dane o terenie z 1982 r. Informacje te zostały następnie porównane, w wyniku czego powstała mapa przedstawiająca obszary, na których w latach 1975–1982 wystąpiły zmiany środowiska. Podobnie postąpiono z pozostałymi danymi, które były zawarte w bazie danych, w wyniku czego otrzymano sekwencje map tematycznych przedstawiających obszary, na których wystąpiły zmiany pokrycia terenu. Przykład mapy rastrowej, obrazującej obszar wokół Szklarskiej Poręby przedstawia rycina 2.

Omawiane mapy nie wskazują, czy na analizowanym obszarze zmiany środowiska wyrażają się np. zmiennością zwarcia drzewostanów świerkowych czy też zmianą kondycji drzew. Opracowano więc mapy, których treść wykazywałaby nie tylko na jakich obszarach wystąpiły zmiany środowiska, ale również informowała jakie elementy pokrycia terenu te zmiany objęły. Przykładem takiego ujęcia treści jest mapa, która przedstawia zmiany pokrywy leśnej na obszarze Karkonoszy Zachodnich w latach 1975–1982. Przedstawia ona na tle użytkowania (stan na 1982 r.) kierunki zmian elementów środowiska, jakie wystąpiły na analizowanym obszarze w ciągu 7 lat. Przekształcenia wyrażają się w tym przypadku



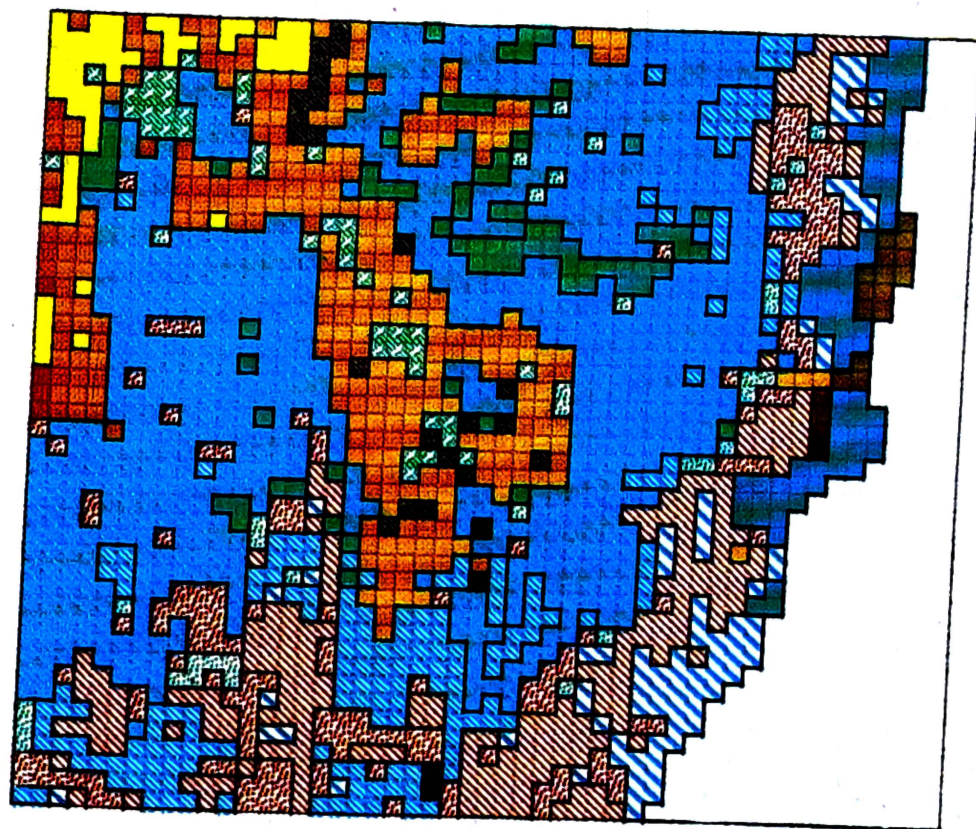
RYC 1. Schemat teledetekcyjnego monitoringu środowiska na przykładzie Sudetów Zachodnich

KARKONOSZE ZACHODNIE















obszary zmian środowiska

1984 - 1986

skala 1:100000

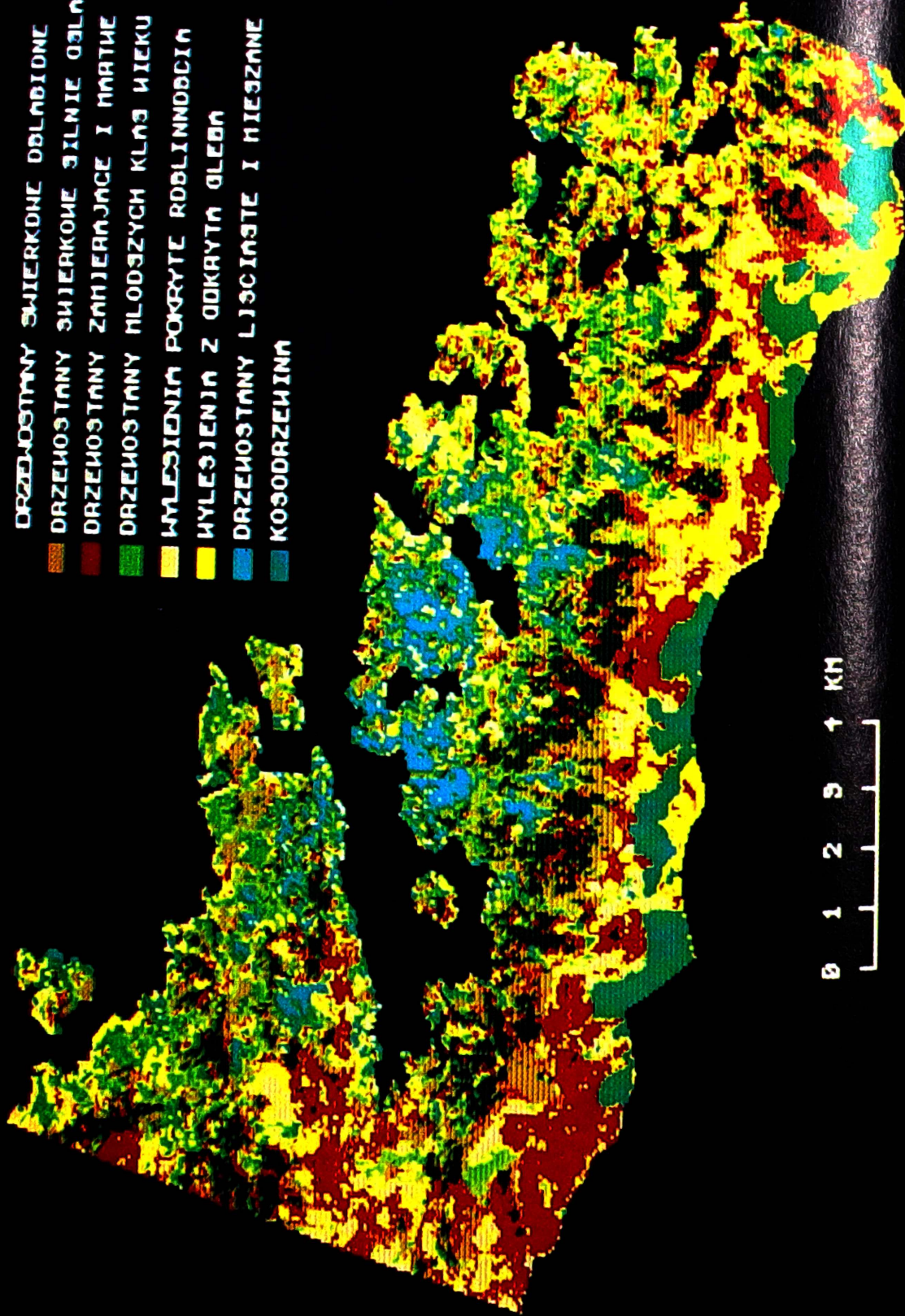


Legenda

-  drzewostany świerkowe osłabione
-  drzewostany świerkowe silnie osłabione
-  drzewostany świerkowe martwe
-  wyłesienia
-  zalesienia i odnowienia
-  drzewostany liściaste i mieszane
-  łąki i pastwiska
-  grunty orne
-  zadrzewienia i zakrzaczenia
-  mury wysokiegoakale
-  zabudowa zwarte
-  tereny przemysłowe
-  kosodrzewina
-  obszary zieleni

LEGENDA

- DRZEJOSTANNY SZERKOCHE OBLADZONE
- DRZEJOSTANNY SZERKOCHE SILNIE OZLABIONE
- DRZEJOSTANNY ZAHIERAJACE I MARTWE
- DRZEJOSTANNY MŁODSZYCH KLAS WIEKU
- WYLESZENIA POKRYTE ROBLINNOŚCIĄ
- WYLESZENIA Z ODKRYTĄ GLEBĄ
- DRZEJOSTANNY LIŚCIANIE I MIESZANE
- KOSODRZEZINA



0 1 2 3 4 5 KM

RYC. 3. Mapa powstała w wyniku klasyfikacji zdjęcia wykonanego przez satelitę Landsat TM w 1984 r.

zmianami zwarcia w drzewostanach świerkowych z pełnego w rozluźnione, z pełnego w przerwane, z rozluźnionego w przerwane, wylesieniami powstałymi w drzewostanach świerkowych o zwarcu pełnym, drzewostanach świerkowych o zwarcu rozluźnionym, w odnowieniach.

Innymi przykładami podobnego ujęcia treści są mapy przedstawiające zmiany w lasach w latach 1982–1984 i 1984–1986.

Nierozłącznym elementem omawianych map są wskaźniki ilościowe oraz charakterystyki liczbowe, niezbędne do prowadzenia analiz, dokumentujące zaobserwowane zmiany lasów w Karkonoszach Zachodnich.

Są to zarówno tabele, które przedstawiają np. jak duże powierzchnie były zajęte przez dany element środowiska w poszczególnych latach, jak i zestawienia liczbowe określające powierzchnie różnorodnych zjawisk, np. obszary i kierunki zmian użytkowania ziemi oraz zależności między elementami pokrycia terenu a wysokością n.p.m.

Przedstawione rastrowe mapy nie wyczerpują rzecz jasna wszystkich możliwości prezentacji zmian środowiska. W miarę uzupełniania bazy danych nowymi warstwami tematycznymi, jak nachylenie i ekspozycja stoków, struktura wiekowa drzewostanów, rozkład zanieczyszczeń powietrza, przeważające kierunki wiatrów itp. możliwe jest coraz większe różnicowanie zakresu tematycznego opracowywanych map.

Zastosowanie zintegrowanych danych wektorowych i rastrowych do analiz stanu lasu w Sudetach

System informacji geograficznej Sudetów Zachodnich umożliwił sporządzanie map obrazowych oraz dokonywanie analiz przestrzennych, uwzględniających wieloźródłowe i wieloterminowe dane o stanie lasu, w tym dane otrzymane w toku analizy zdjęć satelitar-nych (11).

W trakcie realizacji badań do baz danych tego systemu wprowadzono wymienione niżej dane tworząc warstwy informacyjne.

Do bazy danych przestrzennych wprowadzono:

- numeryczny model terenu (NMT) — sporządzony na podstawie zeskanowanych map warstwicznych w skali 1:25 000,
- charakterystykę kondycji lasu w 1984 r. — opracowaną na podstawie spektrostrefowych zdjęć lotniczych. W charakterystyce tej przedstawiono zasięgi następujących klas wyróżnionych w toku interpretacji tych zdjęć: drzewostany świerkowe osłabione, drzewostany świerkowe silnie osłabione, drzewostany świerkowe zamierające, drzewostany martwe, drzewostany liściaste i mieszane, odnowienia i zalesienia, wylesienia, kosodrzewina, drzewostany o rozluźnionym zwarcu ocenionym na podstawie ich obrazu na zdjęciach lotniczych,
- hydrografię: ciek wodne i wody stojące,
- sieć transportową: drogi państwowe, drogi lokalne, drogi leśne, koleje,

- jednostki administracyjne: granice nadleśnictw i parków narodowych, granice obrębów, linie oddziałowe i ostępowe, granice drzewostanów,
- wyniki analiz zdjęć satelitarnych.

Do bazy danych opisowych — dane inwentaryzacyjne i monitoringowe

Organizacja obydwu baz danych umożliwi dodawanie do nich dowolnych informacji, które mogą być przydatne podczas przeprowadzania analiz przestrzennych.

Analizowane warstwy informacyjne utworzone na podstawie map leśnych, topograficznych i zdjęć satelitarnych obejmują obszar 32 000 ha należący do Karkonoskiego Parku Narodowego oraz obrębów: Świeradów, Szklarska Poręba, Piechowice i Śnieżka.

Analizy przestrzenne zgromadzonych w opracowanym systemie informacji pozwoliły określić rozkład różnych klas wydzielonych w lasach Sudetów Zachodnich oraz na podstawie zdjęć satelitarnych prześledzić zmienność stanu lasu w latach 1984–1990. Umożliwiło to wydzielenie na analizowanym obszarze trzech regionów, które charakteryzują się różnym stopniem degradacji lasu. Są to:

- obszar zachodni pokrywający wschodnią część obrębu Świeradów, obręb Szklarska Poręba i północny kompleks obrębu Piechowice (18 630 ha),
- obszar południowy obejmujący całość Karkonoskiego Parku Narodowego (5 557 ha),
- obszar centralny obejmujący obręb Śnieżka i południowy kompleks obrębu Piechowice (7 813 ha).

Obszar zachodni charakteryzuje się największymi zmianami. Las został wyparty z części grzbietowych, a poza tym można zaobserwować zmiany o względnie równomiernym natężeniu na stokach o różnych ekspozycjach. Zagrożenia wylesieniami stwierdza się już od ok. 600 m n.p.m., a od ok. 750 m n.p.m. wylesienia są masowe. W 1984 r. tereny dotknięte zmianami w szacie leśnej zajmowały ok. 34% powierzchni omawianego obszaru, a na wylesienia przypadało 26%, rozluźnienie zwarcia — 2%, a martwy las — 6%. Obszary martwego lasu znajdowały się w zdecydowanej większości w pasmach Wysoki Grzbiet i Kamienicki Grzbiet.

Obszar południowy odznacza się podobnym natężeniem zmian obejmującym 28% powierzchni leśnej. Wylesienia zajmują 12% powierzchni, martwy las — 3%, a rozluźnione zwarcie — 12%. Zmiany świadczące o degradacji lasu występują na całym obszarze, a ich dolna granica przebiega wzdłuż warstwic 1000 m, chociaż także niżej, lecz w mniejszym natężeniu występują wylesienia i przerzedzenia drzewostanów.

Obszar centralny porastają lasy o najlepszej kondycji w odniesieniu do już omawianych. Sporadycznie występuje tutaj rozluźnienie zwarcia (1% powierzchni obszaru), a wylesienia zajmujące 10% powierzchni zgrupowane są we wschodniej części analizowanego obszaru.

Analiza kondycji drzewostanów w poszczególnych jednostkach administracji lasów państwowych wykazuje ponadto, że największy udział drzewostanów obumierających ma Karkonoski Park Narodowy (7% powierzchni), natomiast sporadycznie tylko występują one w obrębie Śnieżka. Drzewostany silnie osłabione występują na stosunkowo dużym

obszarze (ok. 35% powierzchni obrębu Szklarska Poręba, 22% powierzchni Karkonoskiego Parku Narodowego i obrębu Świeradów oraz 10–13% obszaru obrębów Piechowice i Śnieżka. Natomiast drzewostany o najlepszej kondycji znajdują się w obrębach Śnieżka i Piechowice (po ok. 60% powierzchni).

Generalnie można stwierdzić, że wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza pogarsza się kondycja lasu, zwiększa się udział drzewostanów zamierających oraz obszarów wylesionych.

Nakładanie poszczególnych warstw informacyjnych przestrzennej bazy danych sudeckiego SIP, umożliwiło wykorzystanie zdjęć satelitarnych do analiz przestrzennych.

Analiza zdjęć satelitarnych przedstawiających obszar Sudetów Zachodnich wykazuje, że zróżnicowanie spektralne obrazu górskich lasów świerkowych na zdjęciach satelitarnych TM umożliwia wydzielenie maksimum trzech klas kondycji drzewostanów. Klasa I łączy w sobie drzewostany zdrowe i osłabione, o ubytku aparatu asymilacyjnego od 0% do 30%. Jak z tego wynika, nie ma możliwości rozpoznania na zdjęciach satelitarnych wstępnych stadiów uszkodzeń świerków. Ponadto istnieje jednak możliwość wydzielenia drzewostanów o ubytku aparatu asymilacyjnego rzędu 30–60% oraz powyżej 60%, które opisywane są jako zamierające i martwe (11).

W procesie klasyfikacji nadzorowanej zdjęcia satelitarnego wykonanego skanerem TM, obejmującego Karkonosze i Góry Izerskie, do wyboru pól testowych wykorzystano informacje zgromadzone w bazach danych SIP. Dobór i szczegółowa charakterystyka powierzchni testowych sprawiły, że w rezultacie klasyfikacji tych zdjęć wyróżniono drzewostany świerkowe osłabione, silnie osłabione oraz zamierające i martwe, a także stare i nowe zręby, odnowienia i zalesienia oraz drzewostany liściaste i mieszane. Przykład mapy powstałej w wyniku klasyfikacji zdjęcia wykonanego przez satelitę Landsat TM w 1984 r. przedstawia rycina 3.

W przypadku zdjęć wykonanych skanerem TM w latach 1984 i 1990 zastosowano tę samą metodę klasyfikacji. Jej wynikiem są mapy w skali 1:50 000. Ponieważ układ odniesień przestrzennych obu map jest identyczny, stosunkowo prosto można było dokonać ich porównania i prześledzenia różnic, jakie zaszły w analizowanych drzewostanach w okresie 6 lat — od 1984 do 1990 r.

Porównanie map poklasyfikacyjnych prowadzi do stwierdzenia, że w przeciągu 6 lat, od 1984 do 1990 r., na obszarze Sudetów Zachodnich nastąpiło:

- zwiększenie obszaru drzewostanów osłabionych przy ogólnym zmniejszeniu się powierzchni zajmowanej przez drzewostany starszych klas wieku (o blisko 30%),
- zmniejszenie się powierzchni zajmowanej przez drzewostany martwe i zamierające z ok. 15% na ok. 5% analizowanego obszaru,
- wzrost powierzchni wylesień (z 8 do 15% analizowanego obszaru), z tym że w przeciągu 6 lat nastąpiło zmniejszenie obszarów wylesień z odkrytą glebą na rzecz wylesień z pokrywą roślinną.

Wyniki otrzymane z analizy wieloterminowych zdjęć satelitarnych świadczą o tym, że pomimo zmniejszenia tempa, degradacja lasów sudeckich ciągle postępuje. Jednakże trzeba też odnotować znacznie efektywniejszą działalność służby leśnej niż miało to miejsce w pierwszej połowie lat osiemdziesiątych, o czym świadczy zmniejszenie areału zajmowanego przez drzewostany zamierające i martwe oraz wylesień z odkrytą glebą.

Wykorzystując informacje zgromadzone w systemie podjęto także próbę określenia strat masy drzewnej spowodowanych procesami degradacyjnymi na obszarze badań (3). Klasom kondycji drzewostanów świerkowych wyróżnionym na zdjęciu satelitarnym przypisano określoną doświadczalnie procentową stratę przyrostu drewna (9).

Gdy weźmie się pod uwagę straty wynikłe z przedwczesnego wyrębu, dokonywanego wskutek zabiegów ratowniczych w lasach, straty roczne na obszarze ok. 32 000 ha można szacować na 45 000 m³, co daje średnio 1,4 m³/ha/rok, przy średniej krajowej dla drzewostanów pod wpływem działania emisji SO₂ wynoszącej 0,6 m³/ha/rok. Są to dane orientacyjne, gdyż nie brano pod uwagę warunków bytowania poszczególnych drzewostanów, tylko średnie dla klas wydzielonych na zdjęciach satelitarnych.

Jednym z istotnych elementów SIP jest numeryczny model terenu (NMT). NMT był pomocny do analiz zmienności charakterystyk drzewostanów wraz z wyniesieniem nad poziom morza oraz do badania relacji pomiędzy danymi terenowymi opisującymi stan lasu, a charakterystykami spektralnymi rejestrowanymi na zdjęciach wykonanych w zakresach optycznych przez satelity Landsat-Thematic Mapper oraz zdjęciach mikrofalowych wykonanych radarem satelity ERS-1 (11). W przypadku zdjęć radarowych obszarów górskich, ich interpretacja bez użycia NMT jest niezwykle trudna, a niekiedy może być wręcz niemożliwa. Dystorsja oraz brak obrazu stoków pozostających w cieniu wiązki radarowej są dużą przeszkodą w interpretacji zdjęć i wykonywaniu klasyfikacji cyfrowych.

Analizy zmienności parametrów drzewostanów w zależności od wysokości n.p.m. przeprowadzono sumarycznie dla całej bazy danych oraz z podziałem obszaru badań na dwa poligony, zróżnicowane kondycją lasu (10). Poligon I obejmujący Góry Izerskie i Karkonosze charakteryzuje się niską kondycją lasu oraz rozległymi obszarami wylesień. Poligon II obejmujący Góry Sowie i Bystrzyckie porastają lasy o zdecydowanie lepszej kondycji niż ma to miejsce na poligonie I, i pomimo symptomów degradacji lasu nie obserwuje się oznak jego zanikania.

W pierwszym etapie analiz określono współczynniki korelacji dla wszystkich zinwentaryzowanych parametrów drzewostanów. Stwierdzono, że na całym obszarze badań wskaźnik powierzchni projekcyjnej liści (LAI), średni kąt nachylenia liści (MTA), zwarcie, liczba drzew na jednostkę powierzchni, wiek, zmieszanie oraz średnica koron drzew nie są istotnie skorelowane z wysokością n.p.m.

Wyniki analiz wykazują, że niektóre cechy drzew, jak wysokość i wysokość posadowienia korony są wyraźnie związane z wysokością n.p.m. Wzrost wysokości n.p.m. pociąga za sobą spadek wysokości drzew i wysokości posadowienia korony. Silniejszy związek między tymi elementami zaobserwowano dla poligonu I, co może być wynikiem nie tylko wysokiego stopnia degradacji lasu, ale też większego gradientu wysokości. Na poligonie I analizowane drzewostany zlokalizowane są od około 400 m n.p.m. aż do górnej granicy

lasu (regiel górny: 1000–1250 m n.p.m.; piętro kosówki: 1250–1500 m n.p.m.), podczas, gdy na poligonie II maksymalna wysokość, na której znajdują się analizowane drzewostany wynosi około 800 m n.p.m.

W przypadku analizy wskaźników kondycji lasu można zauważyć tendencję wskazującą, że na poligonie II istnieje silniejsza skłonność korelacyjna między wys. n.p.m. a uszkodzeniami drzewostanów, defoliacją i ilością złomów i wywrotów. Może to być sygnałem, że degradacja lasu posuwa się na wschód i obejmuje górne partie Gór Sowich i Bystrzyckich.

W przypadku takich parametrów drzew, jak odbarwienie igieł, pierśnica, ilość drzew martwych i obumierających drzewostanu głównego i podrzędnego, ich związek z wysokością n.p.m. jest silniejszy na poligonie I niż na poligonie II. Mogą na to mieć wpływ wyższy stopień degradacji lasu oraz trudniejsze warunki bytowania na obszarze Gór Izerskich i Karkonoszy niż na obszarze Gór Sowich i Bystrzyckich.

Wykorzystanie numerycznego modelu terenu umożliwiło stwierdzenie, że zagrożenie wylesieniami w paśmie Gór Izerskich występowało już od około 600 m n.p.m., a od około 750 m n.p.m. wylesienia były masowe. Obszary martwego lasu znajdowały się głównie w pasmach Wysoki Grzbiet i Kamienicki Grzbiet. W paśmie Karkonoszy dolna granica zmian świadczących o degradacji lasu występowania wzdłuż warstwic 1000 m, chociaż i niżej, lecz w mniejszym natężeniu spotykało się wylesienia i przerzedzenia drzewostanów.

Zakończenie

Zastosowanie systemu informacji przestrzennej stwarza nową szańcę dla rozwoju badań przyrodniczych. Dane teledetekcyjne, a więc zarówno zdjęcia lotnicze jak i satelitarne, stanowią jeden z wielu możliwych strumieni zasilania baz danych systemów informacji przestrzennych. Inne źródła informacji wykorzystywane w systemach informacji przestrzennej to mapy topograficzne, mapy tematyczne, zestawienia statystyczne, wyniki obserwacji i inwentaryzacji terenowych. Dzięki umieszczeniu wszystkich tych danych w jednym miejscu powstają możliwości ich łączenia oraz przekształcenia w celu dokonania analiz przestrzennych. To sprawia, że systemy informacji przestrzennej są coraz częściej wykorzystywane w analizach środowiskowych, w tym w leśnictwie.

Analizy przestrzenne zgromadzone w systemie opracowanym dla Sudetów Zachodnich pozwoliły określić rozkład różnych klas wydzielonych w lasach oraz na podstawie zdjęć satelitarnych prześledzić zmienność stanu lasu w latach 1984–1990. Umożliwiło to wydzielenie na analizowanym obszarze trzech regionów o różnym stopniu degradacji lasu.

Podsumowując wyniki analiz przeprowadzonych dzięki systemowi informacji geograficznej Sudetów Zachodnich, należy stwierdzić, że o pełnej użyteczności zdjęć satelitarnych i lotniczych może być mowa dopiero wtedy, gdy analizuje się je w powiązaniu z innymi informacjami zgromadzonymi w obiektowych i opisowych bazach danych. SIP umożliwia efektywne wykorzystanie wieloźródłowych informacji, których analiza metodami tradycyjnymi byłaby niezwykle pracochłonna, a niekiedy wręcz niemożliwa.

*Z Ośrodka Teledetekcji i Informacji Przestrzennej OPOLIS
Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie*

Literatura

1. **Bychawski W.** 1987: Wielkoobszarowa ocena stanu lasów na podstawie wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych (maszynopis). IGiK Warszawa.
2. **Ciołkosz A.** 1990. Teledetekcja jako źródło zasilania systemów informacji geograficznej. CPBP 04.10. SGGW-AR, Warszawa.
3. **Ciołkosz A., Zawila-Niedźwiecki T.** 1990. Remotely sensed data and limitation of forest productivity in Poland. *Nature & Resources*, Vol. 26, No. 1: 41–44.
4. **Frączek W., Olenderek H., Zawila-Niedźwiecki T.** 1992. Systemy informacji przestrzennej. *Las Polski* Nr 7: 7–9 oraz *Las Polski* Nr 8: 6–7.
5. **Gaździcki J.** 1990. Systemy informacji przestrzennej. PPWK, W-wa–Wrocław, 183 s.
6. **Podlacha K.** 1990. Kompozycja układu odniesienia przestrzennego w systemie informacji geograficznej na przykładzie systemu SINUS. CPBP 04.10. SGGW-AR Warszawa.
7. **Poławski Z.F.** 1984. Konwencjonalna fotografia lotnicza jako źródło informacji o niektórych aspektach lasów. *Biul. Inf.IGiK*, Tom XXIX, z. 2–3. Warszawa.
8. **Poławski Z.F.** 1990. Kartograficzna prezentacja wyników teledetekcyjnego monitoringu środowiska (na przykładzie Sudetów Zachodnich). *Prace IGiK*, T. XXXV, Warszawa.
9. **Trampler T.** 1987. Straty w gospodarstwie leśnym na skutek szkodliwego oddziaływania różnych czynników; w: *Narodowy Program Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej do 2010 roku. Problem 5 — Ochrona Przyrody, Część III, Tom I*: 69–72.
10. **Zawila-Niedźwiecki T., Glasenapp E.** 1994. Wykorzystanie numerycznego modelu terenu w ocenie stanu lasów górskich. Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Numeryczny model terenu i jego wykorzystanie. Katedra Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej SGGW, Rogów, 8 grudnia 1994: 121–129.
11. **Zawila-Niedźwiecki T.** 1994. Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i systemu informacji przestrzennej. *Prace IGiK*, Tom XLI, zesz. 90: 84 str.