Komitet Redakcyjny

Józef JACHIMSKI, Janusz KOTLARCZYK,
Ryszard ŚLUSARCZYK, Ryszard TADEUSIEWICZ

Redaktor Naczelny

Jakub SIEMEK

Sekretarz

Kazimierz TWARDOWSKI

Adres Redakcji

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30
tel. (012) 617-22-24, fax (012) 617-22-45
e-mail: twardows@uci.agh.edu.pl
sztymar@uci.agh.edu.pl

Adres Wydawnictwa

Polska Akademia Umiejętności – Wydawnictwo
31-016 Kraków, ul. Sławkowska 17
tel.(012)424-02-12
e-mail: office@pau.krakow.pl

Zamówienia przyjmuje i realizuje (łącznie z wysyłką) Wydawnictwo

POLSKA AKADEMIA UMIEJĘTNOŚCI
PRACE KOMISJI GEOINFORMATYKI

GEOINFORMATICA POLONICA

6

KRAKÓW 2004

Redakcja tomu
Maria MICHALEWICZ

Skład, łamanie
Irena JORDAN

Copyright by Polska Akademia Umiejętności
Kraków 2004

Skład nakładu:
PAU, 31-016 Kraków, ul.Sławkowska 17

ISSN: 1642 - 2511

Złożono do druku: październik 2004
Druk ukończono: marzec 2005

Druk i oprawa: Poligrafia Inspektoratu Towarzystwa Salezjańskiego
ul. Konfederacka 6, 30-306 Kraków, tel. (012)266-40-00

SPIS TREŚCI

Artykuły

Joanna BAC-BRONOWICZ
Rola mapy w geoinformacji 7
Aleksander CIANCIARA, Bogdan CIANCIARA
Zagadnienia identyfikacji procesów geodynamicznych wywołanych eksploatacją górniczą 17
Katarzyna FAGIEWICZ, Lidia PONIŻY
Wykorzystanie numerycznej mapy sozologicznej (1:50 000) w ilościowych badaniach stanu środowiska przyrodniczego 33
Beata HEJMANOWSKA, Ewa GŁOWIANKA
Wstępne wyniki pomiarów spektrometrycznych i klasyfikacji obrazów hiperspektralnych rekultywowamego obszaru Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego 49
Stanisław F. JUCHA, Janusz KOTLARCZYK, Wojciech MASTEJ
Cyfrowe mapy prognozy potencjalnych skał zbiornikowych węglowodorów 59
Andrzej MAKOWSKI
Mapa – puścizna kulturowa postaci przekazu geoinformacji (ontogeneza mapy) 67
Sławomir MIKRUT, Krystian PYKA, Józef JACHIMSKI
Współczesne tendencje w zakresie kompresji zdjęć lotniczych i obrazów teledetekcyjnych 81
Jan R. OLĘDZKI
Geoinformatyka zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych 91
Joanna PLUTO-KOSSAKOWSKA
Wykorzystanie klasyfikacji eksperckiej zdjęć satelitarnych w systemach informacji o glebach 99
Mateusz TROLL
Zastosowanie GIS i teledetekcji w badaniach użytkowania ziemi w Beskidach Zachodnich 109
Bogdan ZAGAJEWSKI
Zastosowanie geoinformacji w badaniach wpływu abiotycznych komponentów środowiska na rozmieszczenie roślinności w Narwiańskim Parku Narodowym i jego otulinie 123

Kronika

Kronika prac Komisji Geoinformatyki PAU (Janusz KOTLARCZYK, Ryszard ŚLUSARCZYK) 137

Informacje o konferencjach

Ogólnopolskie Interdyscyplinarne Sympozjum
Geoinformacja zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych
(Joanna BAC-BRONOWICZ, Józef JACHIMSKI) 139

CONTENTS

Papers

Joanna BAC-BRONOWICZ
Role of the map in geoinformation 7
Aleksander CIANCIARA, Bogdan CIANCIARA
The issue of geodynamics processes identification caused by mine exploitation 17
Katarzyna FAGIEWICZ, Lidia PONIŻY
The use of a digital sozological map at a scale of 1:50 000 in the quantitative research on the state of the natural environment 33
Beata HEJMANOWSKA, Ewa GŁOWIANKA
Initial results of field spectrometry measurements and hyperspectral images classification of abandoned sulphur mine area near Tarnobrzeg 49
Stanisław F. JUCHA, Janusz KOTLARCZYK, Wojciech MASTEJ
Digital prognostic maps of hydrocarbon-reservoir rocks 59
Andrzej MAKOWSKI
The map – the cultural heritage of geographic information forms (the map ontogenesis) 67
Sławomir MIKRUT, Krystian PYKA, Józef JACHIMSKI
The present time tendencies in the area of airphoto and remote sensing imagery compression 81
Jan R. OLĘDZKI
Geoinformatics - integrated tool of spatial research. 91
Joanna PLUTO-KOSSAKOWSKA
Usability of the satellite images expert classification in soil information systems 99
Mateusz TROLL
Application of GIS and Remote Sensing in Land Use Studies in the Western Beskidy Mts. 109
Bogdan ZAGAJEWSKI
Geoinformation in the investigation of influence of the abiotical components conditioning on the vegetation distribution in the Narew River National Park 123

Chronicle

Chronicle of the works of the Geoinformatics Commission PAU (Janusz KOTLARCZYK, Ryszard ŚLUSARCZYK) 137

Information on conferences

Information on conferences (Joanna BAC-BRONOWICZ, Józef JACHIMSKI) 139

JOANNA BAC-BRONOWICZ[1]

ROLA MAPY W GEOINFORMACJI

Słowa kluczowe:

mapa, geoinformacja, geowizualizacja, mapy topograficzne

Abstrakt

Nowoczesne narzędzia umożliwiły wygenerowanie niemal w czasie rzeczywistym wyselekcjonowanej graficznej i opisowej informacji geograficznej oraz wielostronne poznanie rzeczywistości. Technologie geograficznych systemów informacji pozwoliły tworzyć mapy szybciej, taniej i w większych ilościach niż kiedykolwiek przedtem. Przetworzone dane stały się źródłem nowych informacji i stanowią podstawę do głębszego poznania zjawisk i procesów oraz ich zależności. Mapy zaczęły także służyć do odkrywania nowych rozkładów przestrzennych na zlecenie odbiorców indywidualnych. Nowe przedsięwzięcie interdyscyplinarne łączące systemy informacji geograficznej, technologie przetwarzania informacji i kartografię nazwano wizualizacją geograficzną. Geowizualizacja stała się interfejsem intelektualnym działającym na kierunkach zwrotnych: kartografia - geoinformacja w postaci multimedialnej, hipermedialnej i wirtualnej.

Polski zasób map topograficznych stanowi ilustrację burzliwego rozwoju potrzeb geoinformacyjnych. W ubiegłym roku wprowadzono Wytyczne Techniczne Bazy Danych Topograficznych (BDT). Jednym z celów budowy BDT jest zapewnienie zasilania aktualnymi danymi topograficznymi systemów produkcji map topograficznych. Jest to ważny krok w zakresie tworzenia i unowocześniania polskiej mapy topograficznej. Należy jednak podkreślić wysoką jakość kartograficzną obecnie obowiązującej polskiej mapy topograficznej 1:10 000. Ewentualną decyzję dotyczącą odejścia od wydawania map w tej postaci należy podejmować z wielką rozwagą i po wnikliwej analizie innych korzyści wynikających z tej decyzji.

ROLE OF THE MAP IN GEOINFORMATION

Key words:

map, geoinformation, geovisualisation, topographic maps

[1]Akademia Rolnicza, Katedra Geodezji i Fotogrametrii, Wrocław

Abstract

Modern tools enabled generating, almost in real time, selected graphical and descriptive geographical information as well as multilateral knowledge of reality. Geographical technologies of information systems made it possible to create maps faster, cheaper and in bigger number than ever before. Transformed data became the source of new information and they are the basis for further studies of phenomena and processes as well as their interdependence. They started to be used also for discovering new spatial distributions for individual customers commission.

Polish supply of topographic maps creates illustration of turbulent development of geoinformation needs. The Technical Instructions for Topographical Data Base (BDT) were introduced last year. One of the aims for creating BDT is providing topographical maps' production systems with current topographic data. It is a very important step towards creation and modernisation of Polish topographic map. However, the high cartographical quality of official polish topographic map 1:10 000 should be stressed. Possible decision concerning cessation of editing maps created in that form should be undertaken with great reflection and only after detailed examination of other advantages arising from that decision.

Wstęp

Mapa jest od tysięcy lat niezmiennym sposobem opisu otaczającej rzeczywistości i interpretacji środowiska geograficznego. Mapa była i jest najefektywniejszym przekazem informacji przestrzennej, gdyż zachowuje z wystarczającą dla celów praktycznych dokładnością odwzorowania właściwości geometryczne, topologiczne i semantyczne przedstawianych zjawisk (Makowski 2001). Od początku istnienia mapy kartografowie dążyli do stworzenia map nawigacyjnych służących orientacji w terenie. W ten sposób, przede wszystkim do celów wojskowych, stworzono mapy określane ogólnie mianem topograficznych. Mapy uzupełniano, w miarę potrzeb, aktualnymi informacjami, związanymi między innymi z gospodarką i przyrodą. Zdecydowany rozwój kartografii tematycznej i nierozerwalnie z nią związanej geoinformacji (rozumianej jako wiedza o przestrzeni geograficznej) nastąpił wraz z rozszerzeniem się zakresu badań naukowych w XIX wieku. Większość rozwijających się wtedy nauk przyrodniczych wymagała map, i to przeważnie map tematycznych. Przedmiotem badań stały się kartograficzne modele zjawisk, skonstruowane na podstawie celowo dobranych i odpowiednio generalizowanych cech. Ograniczeniem szczegółowości informacji przedstawianej na ówczesnej mapie była jej pojemność. Jednym ze sposobów zwiększenia ilości informacji zawartej w mapie były coraz to nowe sposoby prezentacji, co spowodowało opracowanie nowych metod kartograficznych. Głównymi problemami od tego czasu stało się integralne przedstawianie zjawisk oraz procesów przyrodniczych i społeczno-gospodarczych.

Obecnie dzięki narzędziom informatycznym pokonano barierę zbytniego natłoku informacji. Momentem przełomowym okazało się wprowadzenie cyfrowego zapisu danych w postaci wektorowej. Początkowo w budowie map opartych na informatycznym zapisie współrzędnych wykorzystano procedury technologiczne i redakcyjne wzorowane na rozwiązaniach zaczerpniętych z tradycyjnej kartografii. Komputerowe wspomaganie kartografii polegało na budowie takich cyfrowych baz kartograficznych, aby rezultaty wizualizacji były wiernymi cyfrowymi replikami tradycyjnych map topograficznych, planów miast itd. Następnym milowym krokiem w rozwoju i przetwarzaniu informacji było stworzenie nowych technologii: systemów informacji geograficznej, wizualizacji na potrzeby naukowego przetwarzania danych i rzeczywistości wirtualnej. Dynamiczny rozwój narzędzi komputerowych i ich oprogramowań pozwolił na gromadzenie i szybkie udostępnianie masowych zbiorów danych. Nowoczesne narzędzia umożliwiły wygenerowanie niemal w czasie rzeczywistym wyselekcjonowanej graficznej i opisowej

informacji geograficznej oraz wielostronne poznanie rzeczywistości (Berland 2000). Przetworzone dane stały się źródłem nowych informacji i stanowią podstawę do głębszego poznania zjawisk i procesów oraz ich zależności (Baranowski 1999).

Obecnie tworzy się graficzne wektorowe bazy systemów informacji geograficznej, a mapa jest jednym z najważniejszych ich produktów. Mapy cyfrowe stały się najczęstszym sposobem przedstawiania geoinformacji, obrazem wyników teoretycznych badań naukowych, niezbędnym narzędziem do podejmowania szybkich decyzji, symulacji procesów, czy wielowariantowego projektowania inżynierskiego. Cyfrowe postacie map stanowią o wzbogaceniu przekazu informacji, otwierając inne, dotychczas niewykorzystane właściwości postrzegania zmysłowego (luminiscencja, dobór barw niedostępnych w druku czy zróżnicowanie czasu przez migotania znaków). Wynikiem geowizualizacji w najnowocześniejszej formie jest animacyjny typ modelowania procesów (Krzywicka-Blum 2003).

Zmiana podejścia nauki do badań przestrzennych za pomocą geoprzedstawień

Z punktu widzenia kartografii, oprócz spełniania tradycyjnej roli orientacyjnej, mapy zaczęły być narzędziami o wysokim stopniu interaktywności. Zaczęły także służyć do odkrywania nowych rozkładów elementów przestrzennych na zlecenie odbiorców indywidualnych. Ogólnie można stwierdzić obecnie rozszerzenie funkcji map, sposobu ich wykorzystania i zmiany w grupach użytkowania map. Schemat przestrzenny opracowany na podstawie modelu koncepcyjnego przedstawionego przez Komisję ds. Wykorzystania Map Międzynarodowej Asocjacji Kartograficznej przedstawiono na rycinie 1 (MacEachren 1996). Pokazuje na zmiany, jakie zaszły zarówno w celach wykorzystania map - przejście od wydobywania informacji do badania informacji, jak i w elastyczności korzystania z map - odejście od statycznych map w kierunku map charakteryzujących się wysoką dynamiką. Prezentację na mapach zjawisk znanych i zbadanych uznano za przekaz statyczny, zgodny z rolą mapy przed wprowadzeniem nowych technologii: systemów informacji geograficznej i rzeczywistości wirtualnej. Konwencjonalną rolą takiej mapy jest dostarczanie informacji, prezentowanie stanu wiedzy o środowisku. Rodzaj i zakres przekazywanej w ten sposób informacji jest uzależniony od decyzji generalizacyjnych kartografa: wyboru, uogólnienia i syntezy danych przestrzennych, a także wyboru metody prezentacji. Mapy te służą wyłącznie do oglądania i nie ma możliwości ingerencji w ich treść. Mapy te mogą być sporządzane w formie analogowej, rastrowej i wektorowej. Najczęściej są udostępniane w formie bitmap, dostosowanej do udostępniana w popularnych formatach na CD lub przez internet. Typowymi przykładami są analogowe mapy topograficzne i atlasy tematyczne udostępnione w formie rastrowej, wykorzystywane często jako tło w różnych formach wizualizacji badawczej. Do tej grupy należą także elektroniczne atlasy samochodowe w wersjach „do oglądania". Powyższy typ komunikacji zakwalifikowano jako publiczny przekaz wizualny.

Przeciwstawieniem map statycznych są mapy dynamiczne, zwane interaktywnymi, umożliwiające poznanie „nieznanego" przez indywidualne „myślenie wizualne", czyli wyobraźnię obrazową. Zmienia się rola mapy: z wydobywania informacji na badanie informacji. Mapy takie wykorzystuje się przede wszystkim w ekspertyzach kartograficznych. Zaangażowanie wyobraźni ekspertów z różnych dziedzin wiedzy następuje podczas poszukiwawczej fazy przetwarzania danych przestrzennych i prowadzi do odkrycia nieznanych relacji w przestrzeni geograficznej. Rolą kartografa w takich badaniach jest przekazanie swojego doświadczenia i wiedzy przez dostarczenie ekspertom narzędzi pomagających tworzyć mapy do określonych potrzeb. Celem deklarowanym przez zwolenników map interaktywnych jest możliwość wykorzystywania do prowadzonych indywidualnie analiz danych nieprzetworzonych, a więc nieobarczonych wpływem subiektywnych procesów generalizacyjnych. Zasadnicze zmiany można też zauważyć w sposobie korzystania z map. Część użytkowników deklaruje odejście od statycznych map w kierunku map charakteryzujących się wysoką

dynamiką. Sposoby opracowania map mogą wizualizować trzeci wymiar (modelowanie trójwymiarowe), a nawet czwarty - czas, dając możliwość prezentacji analizowanych zjawisk w sposób dynamiczny (animacja komputerowa). Dla tej grupy użytkowników tworzy się wiele interaktywnych i analitycznych atlasów elektronicznych podporządkowanych określonemu celowi. Wizualizacja zawartych tam danych opiera się na zasadach dynamicznej interakcji oraz połączeniach z siecią internetową (MacEachen A. M. 1998).

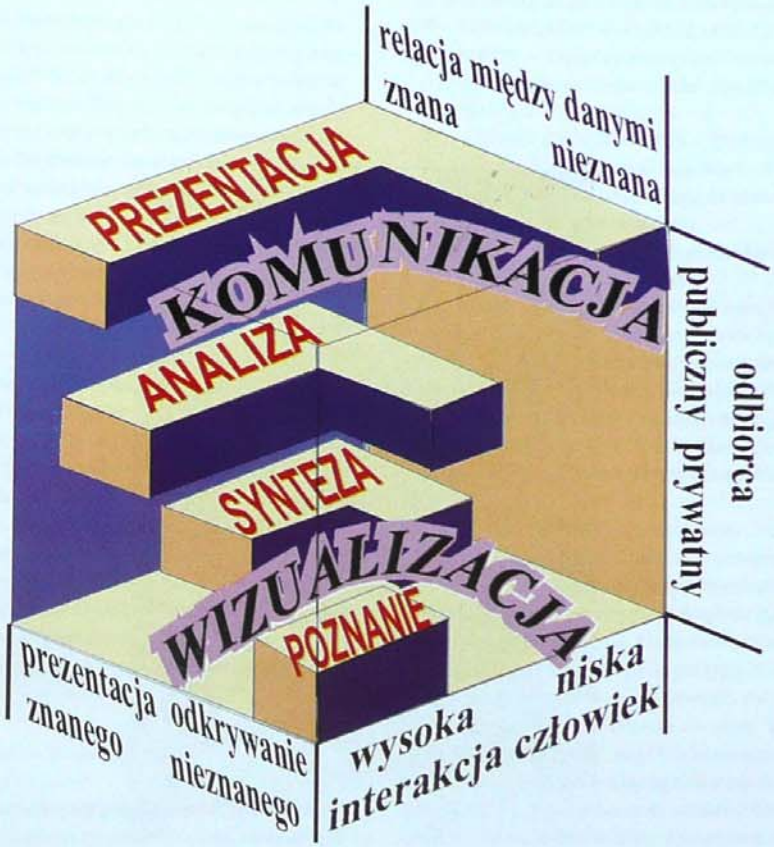
Uwaga informatyków zajmujących się geoinformacją w znacznej części została skupiona na udoskonaleniu narzędzi do tworzenia map dynamicznych. Najogólniej określono je jako mapy zmieniające swoje działanie „w odpowiedzi na działanie użytkownika" lub na zmiany danych, z którymi są powiązane. Mapy te charakteryzują się powstawaniem w czasie rzeczywistym (mapa natychmiastowa), hiperpołączeniami z bazami w sieci, a służyć mają do sterowania procesami myślowymi i do podejmowania alternatywnych decyzji (MacEachen i in. 1999).

Mapa spełnia też specyficzną rolę w uzyskiwaniu danych. W zależności od sposobu jej wykorzystania jest środkiem naturalnego dostępu lub interfejsem. Może ona być pomocna w usystematyzowaniu poszczególnych elementów danych, uwzględniając ich charakterystyki, oraz po odpowiedniej syntezie danych w uzupełnieniu informacji przez dodanie wskaźników. Jest także doskonałym narzędziem nawigacyjnym, co stanowi współczesną formę jej przetrwałych funkcji przewodniczych. Pozwala użytkownikowi poruszać się w przestrzeni danych oraz uzupełniać informacje o metadanych.

W najbardziej zaawansowanych produktach do wizualizacji danych zawarte są algorytmy do klasyfikacji danych, funkcje generalizacyjne do upraszczania linii i wyborów powierzchni, funkcje alternatywnego wyboru umieszczania opisów i znaków (przesuwające, nakładające się znaki umowne i napisy), zaawansowane funkcje do budowy modeli numerycznych, a nawet zawierające systemy ekspertowe. Budowa takich narzędzi pozwoliła upowszechnić badania przestrzenne, zmniejszając wysiłek oraz czas przetwarzania i obrazowania danych. Technologie GIS pozwoliły tworzyć mapy szybciej, taniej i w większych ilościach niż kiedykolwiek przedtem. Zwiększyły też produkcję niesamodzielnych map-wiadomości (Zarycki 2001), produkowanych do konkretnych celów, przekazywania konkretnych wiadomości. Treścią są informacje nowe, czasem na tle potraktowanych marginesowo informacji znanych. Są to mapy ściśle związane z kontekstem bazy danych lub opisem.

Zmiany grup użytkowników map w kierunku odbiorców indywidualnych

Bardziej zróżnicowanym funkcjom map odpowiada dziś wielość form opracowania i większe niż dawniej zróżnicowanie grup użytkowników. Nadal dużą grupę użytkowników stanowią odbiorcy publiczni, wymagający map, które mogą być używane w wielu różnych kontekstach, do różnych celów i potrzeb. Produkcja map zaczęła być sterowana popytem na ich poszczególne rodzaje, a nie jak dotąd podażą. Zapotrzebowania na topograficzne mapy analogowe i cyfrowe nie słabnie. Dowodem tego jest, że 60-70% dochodów europejskich służb geodezyjnych i kartograficznych pochodzi ze sprzedaży wielkonakładowych map topograficznych i ich pochodnych w różnych skalach. W powszechnej dystrybucji są mapy samodzielne tematyczne, np. geologiczne, sozologiczne itd. dla określonej grupy użytkowników, posiadających przygotowanie merytoryczne oraz specyficzne potrzeby informacyjne. Warstwy tematyczne są tematem głównym, treść topograficzna służy lokalizacji treści i często potraktowana jest jako tło (np. w jednym niekontrastowym kolorze). Spełniają rolę ilustracyjną wyników badań, dlatego wzrasta także zapotrzebowanie na profesjonalnie przygotowane rastrowe obrazy map analogowych i wektorowych. Wielu użytkowników poszukuje także możliwości zakupu danych z wektorowym sposobem wizualizacji map topograficznych i tematycznych w popularnych programach GIS. Wielu specjalistów wybiera interaktywną pracę z bazami tematycznymi, gdyż obecne technologie pozwalają, w oparciu o tę samą bazę danych przestrzennych, tworzyć różne mapy, przedstawiające określony zbiór informacji, zależny od konkretnych,



Ryc.1. Trzy zasadnicze kierunki zmian w wykorzystaniu map. Model koncepcyjny opracowany na podstawie prac *Komisji ds. Wykorzystania Map Międzynarodowej Asocjacji Kartograficznej.*

Fig. 1. Three basic directions of changes in maps' usage. Conceptual model of map use (ICA Commission on Visualization and Virtual Environments).

Ryc. 2. Mapa MTP10.
Fig. 2. Map MTP10.

indywidualnych potrzeb.

Dostępność danych przestrzennych i map

Cyfrowa kartografia przyczynia się znacznie do powszechności produkowania i wykorzystywania map „komputerowych" przez obniżenie kosztów publikacji materiałów kartograficznych, zarówno od strony edytorskiej, jak też poprzez wykorzystanie nowych nośników (CD-ROM zamiast kosztownych matryc, czy też produktów końcowych). Wykonawca i użytkownik map powstających szybko i tanio przestał być uzależniony od kartografa, dzięki szerokiemu dostępowi do narzędzi informatycznych ofiarowanych kartografii. Pozytywną konsekwencją takiego upowszechnienia użytkowania kartografii jest zwiększenie się świadomości potrzeby wiedzy deklaratywnej i proceduralnej na temat geodanych. W odpowiedzi na zmniejszone zaufanie do przetwarzanych informacji nastąpił rozwój modeli koncepcyjnych i związanych z nimi narzędzi do wizualizacji dostępności, jakości i wiarygodności danych. Mapy powstałe na bazie takich analiz niosą ze sobą informacje o różnej przydatności i wiarygodności przedstawianych informacji. Niezbędne w tym celu metadane dotyczą: pochodzenia - aktualności i typu przetwarzania, dokładności położenia, dokładności atrybutowej (globalnej i lokalnej), zwartości logicznej, kompletności, informacji o reprezentatywności danych.

Wizulizacja kartograficzna

Nowe przedsięwzięcie interdyscyplinarne łączące systemy informacji geograficznej, technologie przetwarzania informacji i kartografię nazwano wizualizacją geograficzną. Wizualizacja geograficzna rozumiana jest zarówno jako przedmiot badań, jak i narzędzie do postrzegania i wykorzystywania danych. Określono też priorytety badań wizualnych kartografii poszukiwawczej (Komisja ds. Wizualizacji...):

- PREZENTACJA - reprezentacja zjawisk i procesów zachodzących w przestrzeni i czasie oraz prezentowanie wiarygodności danych (Howard i in. 1996; Final Report 2000),
- PROJEKT INTERFEJSU – poszerzenie zasad kartografii dla map dynamicznych, typologia zmiennych i metod kartograficznych, działania sterujące umożliwiające interakcje użytkowników,
- POWIĄZANIE WIZUALIZACJI Z BAZĄ DANYCH – integracja z innymi technologiami (GIS), generalizacja (efekt „łagodnej zmiany skali"),
- ASPEKTY POZNAWCZE - prezentacja dynamicznych interpretacji zależnych od form sterowania, wpływ wizualizacji na procesy naukowe i podejmowanie decyzji,
- EFEKTYWNOŚĆ – popyt na niektóre narzędzia ułatwiające tworzenie map.

Wizualizacja według założeń specjalistów od tej dyscypliny ma się stać interfejsem intelektualnym, działającym w geoinformacji w postaci multimedialnej, hipermedialnej i wirtualnej. Warunkiem powszechnego wykorzystywania systemów „podpowiadających" rozwiązania w modelowaniu kartograficznym jest tworzenie systemu przyjaznego dla użytkownika.

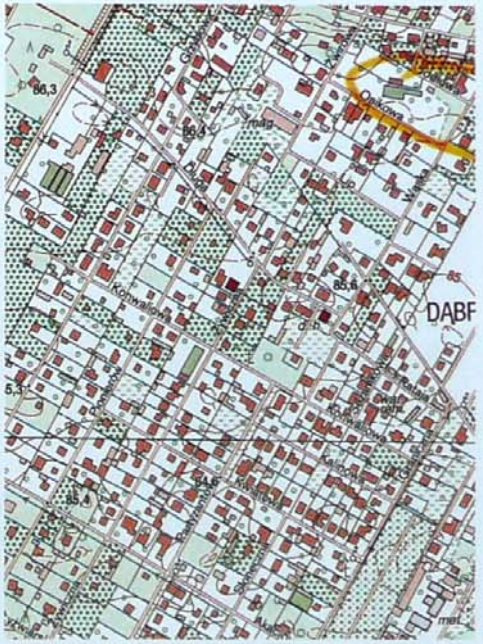
Wiele realizowanych projektów badawczych ma na celu opracowanie procedur przeprowadzenia zbiorów informacji przez etapy: wyabstrahowania od szczegółów nieistotnych ze względu na cel opracowania (uwolnienia od szumu informacyjnego), celowego doboru opartego na przyjętych kryteriach, niezbędnego skonwencjonalizowania (w zgodności z regułami semiotyki), dojścia do pojęć abstrakcyjnych uwarunkowanych uogólnieniem oraz stworzenia obrazu zgodnego z zasadami percepcji w sposób zapewniający jednoznaczność odbioru. Geoinformacja stała się więc doskonałym narzędziem do badania informacji przestrzennej.

Polska mapa topograficzna jako przykład ewolucji roli mapy w geoinformacji

Zasób map topograficznych z ostatniego pięćdziesięciolecia tworzy mozaikę opracowań analogowych, stanowiącą ilustrację burzliwego rozwoju potrzeb geoinformacyjnych oraz ślad wielu zakrętów historii przebytych przez polską kartografię. Historia

powojennej mapy topograficznej w Polsce rozpoczyna się w czerwcu 1955 roku uchwałą Prezydium Rządu. Zobowiązywała ona Centralny Urząd Geodezji i Kartografii oraz Służbę Topograficzną Wojska Polskiego do sporządzenia mapy topograficznej kraju w skali 1: 10 000. Od 1970 roku prace nad nią biegły równolegle w cywilnej i wojskowej służbie kartograficznej. Zasób współczesnych map topograficznych w wersji cywilnej został opracowany w następującym szeregu skalowym: 1: 5 000, 1: 10 000, 1: 25 000, 1: 50 000, 1: 100 000, 1: 200 000. Konstrukcja tych map opiera się na trzech powierzchniach odniesienia - elipsoid: GRS-80, Krassowskiego i Bessela. Sporządzone były one w dwóch odwzorowaniach kartograficznych w kilku wariantach – Gaussa-Krugera (3 warianty) i quasi-stereograficznym w 2 wariantach. Zastosowano na nich 8 układów współrzędnych prostokątnych. Podział map na arkusze opracowano w 3 systemach. Wojskowe mapy topograficzne sporządzane były w skalach: 1: 25 000, 1: 50 000, 1: 100 000 i 1: 250 000 w dwóch elipsoidach i w dwóch odwzorowaniach. Wymienione wyżej rodzaje map nie zapewniają dzisiaj całkowitego pokrycia Polski aktualną mapą w jednej skali i odwzorowaniu. Rozpiętość czasowa aktualności sięga 30 lat, a pokrycie dostępną cywilną mapą w skali 1: 50 000 można ocenić na ok. 60%. Aktualny stan zasobu jest dostępny na stronach internetowych Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii. Znaleźć tam też można informację o mapach wojskowych, które też nie są dostępne w pełnym asortymencie.

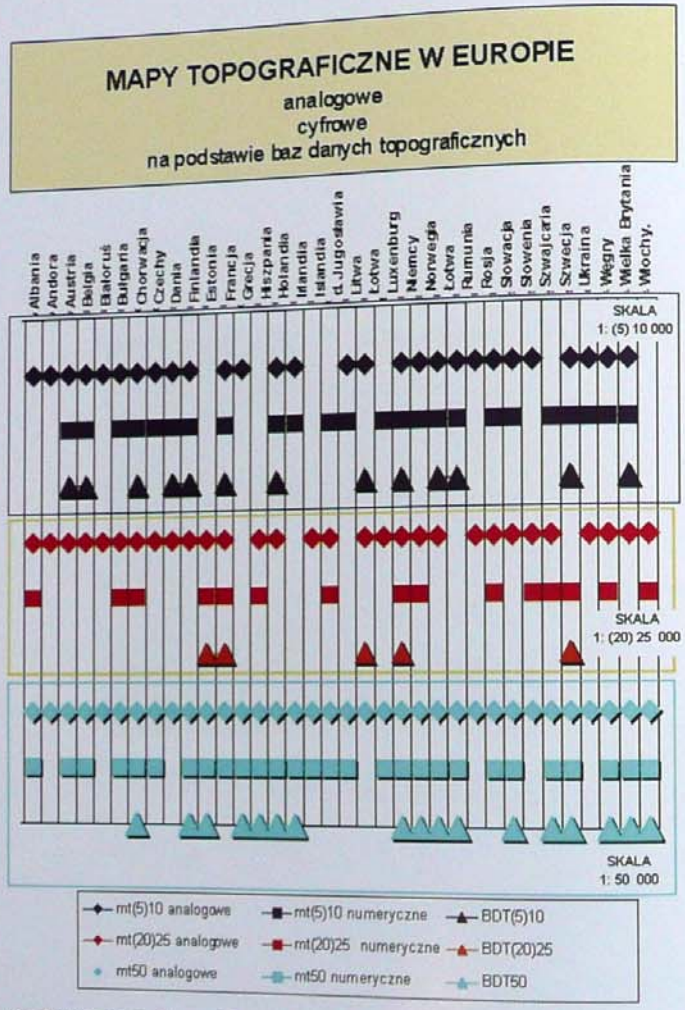
W ubiegłym roku wprowadzono Wytyczne Techniczne Bazy Danych Topograficznych (BDT). Wersja 1. Baza Danych Topograficznych jest urzędową nazwą spójnego pojęciowo w skali kraju systemu gromadzenia, zarządzania i udostępniania danych topograficznych. Celem budowy BDT jest zapewnienie zasilania aktualnymi danymi topograficznymi przede wszystkim systemów produkcji map topograficznych. Jest to ważny krok w zakresie tworzenia i unowocześniania polskiej mapy topograficznej. Jesteśmy obecnie w fazie przejściowej między okresem przygotowawczym a rzeczywistym etapem wdrożenia i rozpoczęciem produkcyjnego uzyskiwania danych do BDT. W obecnym roku ogłoszono przetarg na ok. 300 arkuszy. Zakończono etap 1 odbioru ortofotomap i numerycznego modelu terenu. W najbliższym czasie należy podjąć decyzję o sposobie wizualizacji i udostępniania map topograficznych w skali 1: 10 000, wykonanych na podstawie zrealizowanej części BDT. W wytycznych zawarto zapisy, które stanowią, że wszystkie mapy opracowywane powinny być na podstawie danych zgromadzonych w zasobie podstawowym BDT. W wyniku przetworzeń kartograficznych (generalizacja, redakcja) i operacji „bazodanowych" (analiza, wybór, generowanie napisów, ograniczenie danych do arkusza mapy), i dodatkowych procedur (generowanie ramki siatek kartograficznych) opracowywane są w trzech etapach różne rodzaje wizualizacji. W pierwszym etapie pliki cyfrowej mapy topograficznej w standardzie BDT (nazywane TOPO - bez żadnych zabiegów redakcyjnych) można obejrzeć oraz wydrukować. W drugim etapie na podstawie tzw. bazy KARTO produkuje się wydruk mapy topograficznej 1:10 000 w standardzie BDT. W trzecim etapie opracowuje się pliki cyfrowej mapy topograficznej w wersji zgodnej z obowiązującą instrukcją mapy topograficznej 1:10 000 oraz mapą topograficzną 1:10 000 w wersji zgodnej z obowiązującą instrukcją mapy topograficznej 1:10 000. Obecnie brane są pod uwagę różne koncepcje produkcji mapy 1: 10 000. Wyraźnie oddają one tendencje w podejściu do geoinformacji w Polsce. Rozważać można druk niezmienionej postaci mapy tzw. MTP10, czyli druk wielkonakładowy, zgodny z obecnie obowiązującą instrukcją dostosowaną do technologii analogowej (ryc. 2). Realizacja tego podejścia (Bac-Bronowicz i in. 2003) wiąże się z większymi w stosunku do innych wariantów kosztami, pozwala natomiast na zachowanie najwyższej z możliwych jakości kartograficznej. Realizacja tego wariantu wymaga dużego nakładu pracy operatora w procesie opracowania mapy na podstawie bazy danych. Praca ta może być nieco zmniejszona w wyniku rozszerzenia zakresu danych komponentu TOPO o dane ułatwiające produkcję mapy MTP10. Wiąże się to również ze zwiększeniem kosztów opracowania TBD, lecz na etapie opracowania bazy danych, a nie na etapie opracowania mapy. Uzyskane w ramach komponentu TOPO nowe dane będą raczej mało użyteczne dla większości



Ryc. 3. MPT10TBD.
Fig. 3. MPT10TBD.

Ryc. 4. Fragment niemieckiej mapy topograficznej 1997 r.
Fig. 4. German topographic map: 1997.

Ryc. 5. Fragment niemieckiej mapy topograficznej 2003 r.
Fig. 5. German topographic map: 2003.



Ryc. 6. Mapy topograficzne w Europie.
Fig. 6. Topographic maps in Europe.

odbiorców cyfrowych danych geograficznych.

W wariancie 2 zakłada się całkowitą rezygnację z wydawania map 1:10 000 drukiem offsetowym. Drukowane będą poszczególne arkusze map w standardzie TBD (MTP10TBD) w druku ploterowym (ryc. 3) na zamówienie indywidualne oraz w potrzebnych ilościach do sprzedaży w ośrodku centralnym i w wojewódzkich ośrodkach dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej. Możliwe będzie też wydawanie mapy klientom w postaci pliku rastrowego lub wektorowego. Możliwe będzie także udostępnienie poszczególnych fragmentów informacji zwizualizowanej w sposób niezwiązany z podziałem arkuszowym. Mapa ta pozwala na zaspokojenie oczekiwań informacyjnych odbiorców przy zachowaniu najwyższej z możliwych aktualności danych i szybkości opracowania. Konwencja graficzna powinna być zbliżona do konwencji zdefiniowanej w obowiązującej instrukcji technicznej opracowania cywilnej mapy 1:10 000. Realizacja tego wariantu wymaga m.in. uściślenia opisu sposobu opracowania mapy MTP10 na podstawie bazy danych i wprowadzenia niezbędnych uzupełnień w strukturze komponentu KARTO oraz w pewnym zakresie komponentu TOPO.

Wariant 3 zakłada wprowadzenie dodatkowych modyfikacji, uzupełnień i ujednoliceń w wytycznych TBD (instrukcji TBD) w zakresie mapy w standardzie TBD (MTP10TBD), idących w kierunku umożliwienia wykonania diapozytywów wydawniczych i wydania w druku offsetowym (np. parametrów niektórych wypełnień rastrowych).

Mapa to pozostałaby zbliżona graficznie do mapy w standardzie TBD i możliwa byłaby do opracowania na podstawie bazy danych z niewielkim nakładem pracy redakcyjnej.

Wariant zakłada przekształcenie Wytycznych Technicznych „Baza Danych Topograficznych" i Instrukcji Technicznej „Zasady redakcji Mapy Topograficznej 1:10 000. Wzory znaków" w jednolitą instrukcję techniczną.

Wariant czwarty zakłada opracowanie nowej koncepcji mapy 1:10 000, uwzględniającej fakt istnienia Bazy Danych Topograficznych. Jest to ścieżka, która została wybrana do realizacji w wielu krajach europejskich (ryc. 4 i 5).

Na mapach topograficznych generowanych na podstawie baz danych topograficznych we wszystkich krajach nastąpiła częściowa lub całkowita zmiana sposobu prezentacji obiektów na mapach topograficznych. Jest to więc tendencja powszechna, podyktowana przede wszystkim względami ekonomicznymi i dążeniem do ułatwień w zakresie procesu aktualizacji map.

Z powyższych rozważań wynika, że pierwszym ważnym zadaniem - koniecznym do zrealizowania w pierwszej kolejności - jest doprowadzenie do przekształcenia Wytycznych Technicznych Baza Danych Topograficznych (Wytyczne Techniczne, 2003) i Instrukcji Technicznej „Zasady redakcji Mapy Topograficznej 1:10 000. Wzory znaków" (Instrukcja techniczna, 1999) w jednolitą instrukcję techniczną.

Drugim niezmiernie istotnym kierunkiem badań powinno być poszukiwanie metod opracowania pochodnych baz danych w skalach mniejszych i następnie map topograficznych w skalach mniejszych. Należy rozważyć możliwość ujednolicenia znaków i konwencji w całym szeregu skalowym map. Pierwszym etapem mogłoby być opracowanie mapy w skali 1:25 000, generowanej automatycznie z bazy TBD, i wydawanie drukiem cyfrowym w nakładzie od kilkudziesięciu do kilkuset arkuszy. Niewielkiej redakcji podlegałyby poszczególne obiekty z wyjściowej bazy danych oraz opisy. Należy jednak podkreślić wysoką jakość kartograficzną obecnie obowiązującej polskiej mapy topograficznej 1:10 000. Ewentualną decyzję dotyczącą odejścia od wydawania map w tej postaci należy podejmować z wielką rozwagą i po wnikliwej analizie innych korzyści wynikających z tej decyzji.

Analiza rozwiązań w zakresie produkcji map w wybranych państwach

Stan zaawansowania polskiej kartografii urzędowej w tworzeniu cyfrowych map topograficznych w ramach zadań kartografii urzędowej lub w tworzeniu cyfrowych map topograficznych na podstawie baz danych topograficznych w chwili obecnej nie odbiega w istotny sposób od stanu stwierdzonego w znacznej większości krajów (ryc. 6). Struktury Baz Danych Topograficznych, będących podstawą do produkcji map

w poszczególnych krajach, są znacznie zróżnicowane, zarówno w budowie, dokładności, aktualności, jak i w sposobie uzyskiwania danych. Wspólnymi cechami tych systemów jest odpowiedniość pod względem szczegółowości i dokładności mapom skali 1: 10 000 i w takich skalach realizowany jest wydruk bezpośredni map. Na podstawie danych z bazy przeprowadzana jest generalizacja do skal mniejszych: 1: 25 000, 1: 50 000 i dalszych. Nie opracowano dotąd w pełni zautomatyzowanego, możliwego do przyjęcia, procesu generalizacji treści, który mógłby być stosowany przy produkcji map w skalach mniejszych. Często tworzone są osobne bazy danych topograficznych do skal 1: 50 000 - częściowo zasilane z baz szczegółowszych. Mapy będące produktem końcowym zasadniczo dzielą się na wydruki z baz danych w standardach tych baz - na ogół są to mapy topograficzne i gospodarcze w skalach 1: 5 000 i 1:10 000. Mapy w skalach 1:20 000 i 1:25 000 generowane są z baz dokładnościowo odpowiadających skali 1: 10 000. W wielu krajach wydawane są one drukiem cyfrowym w nakładach od kilkudziesięciu do kilkuset arkuszy. Redakcji na tych mapach podlegają poszczególne warstwy w całości, obiekty z wyjściowej bazy danych oraz opisy. Mapy topograficzne 1:50 000 produkowane są z baz dokładnościowo odpowiadających skali 1:10 000 (po generalizacji jej obiektów) lub bezpośrednio z baz o dokładności odpowiadającego im poziomu skalowego.

Technologia i stan opracowania map cyfrowych w różnych skalach (w postaci wektorowej i rastrowej) oraz produkcja map na podstawie baz danych topograficznych znajdują się obecnie na różnych etapach. W niektórych krajach są dopiero na poziomie studiów koncepcyjnych, projektów i prób, w większości krajów unijnych są już za etapem inicjatyw i pilotaży - czyli została opracowana strategia, zapewnione są środki finansowe i koordynacja służb kartograficznych. W niektórych krajach (Niemcy, Czechy, Holandia, Szwecja, Francja i in.) tworzenie, aktualizacja i produkcja map cyfrowych topograficznych funkcjonuje w pełni od wielu lat. Różne natomiast są koncepcje zarówno co do tworzenia tych map, jak i co do form ich udostępniania.

Analizę przeprowadzono na podstawie danych na trzeci kwartał 2003 roku. Analiza wykazała, iż mapy topograficzne 1:10 000 są bardzo rzadko wydawane drukiem wielkonakładowym na obszarach, dla których istnieje lub jest planowana baza danych topograficznych. Jeżeli są drukowane, mają w stosunku do polskiej mapy topograficznej 1:10 000 znacznie uboższą grafikę i często uboższy zakres informacyjny. W miarę potrzeb wydania wielkonakładowe opracowywane są najczęściej na podstawie bazy danych, ale proces ten nie jest w pełni zautomatyzowany. Automatyzacja realizowana jest kosztem zubożenia graficznego map w stosunku do map polskich.

Mapy w skalach pochodnych - mniejszych od skal 1:5 000 - 1:10 000 (np. 1:20 000, 1:25 000) opracowuje się i drukuje w dużych nakładach na podstawie danych zawartych w bazach danych topograficznych 1:5 000 - 1:10 000.

Mapy topograficzne 1: 50 00 drukowane wielkonakładowo tworzone są na ogół z osobnych baz powiązanych z bazami o większych dokładnościach, jednak na modelu terenu specjalnie stworzonym na potrzeby tej skali.

Zakończenie

W zakończeniu chciałabym poruszyć jeszcze jeden aspekt dotyczący opracowywania informacji. W publikacjach i wystąpieniach specjalistów od wizualizacji geoinformacji podkreślana jest rola mapy w aktywizacji intelektualnej odbiorcy, rozwinięciu jego intuicji, wyobraźni, emocji i przeżyć estetycznych. Oczywistym kontekstem dojrzałych rozważań nad formami prezentacji jest przekonanie, że piękno jest użyteczne i opłacalne.

Wydaje się, że myśl Platona zawarta w sentencji: „Nauka to jeden ze sposobów poznania rzeczywistości. Gdy dociera się do kresu poznania naukowego, sięgać trzeba po sztukę, by przekroczyć granicę, przed którą musiał cofnąć się rozum. Sztuką trzeba łowić prawdy dla nauki niedostępne" w odniesieniu do badania, analizy, syntezy i prezentacji informacji jest ciągle aktualnym przesłaniem.

Bibliografia

Bac-Bronowicz J., Gotlib D. i in., 2003, *Opracowanie podstawowych założeń koncepcyjnych, technologicznych i ekonomicznych w zakresie wydania drukiem mapy topograficznej w skali 1:10 000 z Bazy Danych Topograficznych (TBD) na przykładzie arkusza N-34-138-B-b-1.* Opracowanie na zlecenie Głównego Geodety Kraju – 30 stron.

Baranowski M., 1999, *Przyszłość geomatyki w badaniach geograficznych i w kartografii*, Materiały XXVII Ogóln. Konf. Kartograficznej, Warszawa.

Berlant A. M., 2000, *Kartowanie geoinformacyjne – koncepcja i podstawy geograficzne*, Polski Przegl. Kartogr., t. 32, nr 1.

Final Report: *An Integrated Approach for Effective Representation and Analysis of Space/Time Environmental Data*, 2000 (http://es.epa.gov/ncer/final/grants/96/high/peuquet.html).

Howard D. and MacEachren A. M., 1996, *Interface design for geographic visualization: Tools for representing reliability.* Cartography and Geographic Information Systems, 23 (2).

Instrukcja techniczna. 2003, Zasady redakcji Mapy Topograficznej 1:10 000. Wzory znaków. GUGiK. Warszawa.

Krzywicka-Blum E., 2003, *Współczesna użyteczność map*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. AR Wrocław.

Komisja ds. Wizualizacji Międzynarodowej Asocjacji Kartograficznej (ICA Commission on Visualization and Virtual Environments).

http://www.geovista.psu.edu/sites/icavis/agenda/).

Makowski A., 2001, *Trójdzielna jedność mapy na tle idei systemu informacji przestrzennej*, Polski Przegl. Kartogr., t. 33, nr 1.

MacEachen A. M., 1998, *Cartography, GIS and the World Wide Web*. Progress in Human Geography, 22 (4).

MacEachen A. M., Kraak J. M., 2001, *Research Challenges in Geovisualisation*. CaGIS, vol. 28, no. 1.

MacEachen A. M., Wachowicz M., Edsall R., Haug D., 1999, *Constructing knowledge from multivariate spatiotemporal data: integrating geographic visualization with knowledge discovery in database methods*, International Journal of Geographic Information Science, 13 (4).

Wytyczne Techniczne Baza Danych Topograficznych. 1999. GUGiK. Warszawa

Zarycki T., 2001, *Zależność mapy od kontekstu*, Polski Przegl. Kartogr., t. 33, nr 1.

Summary

Modern tools enabled generating, almost in real time, selected graphical and descriptive geographical information as well as multilateral knowledge of reality. Geographical technologies of information systems made it possible to create maps faster, cheaper and in bigger number than ever before. Transformed data became the source of new information and they are the basis for further studies of phenomena and processes as well as their interdependence. They started to be used also for discovering new spatial distributions for individual customers commission. The expanded perspective on map use focused on three facets of change in use: in goals of map use, in target audience for use, and in flexibility of use (fig.1)

Geographic visualization (geovisualization) integrates methods from cartography, scientific and information visualization, and exploratory data analysis to facilitate data understanding and construction of knowledge related to the geographic scale environment. The focus in this presentation will be on research to develop and assess methods for exploring and learning about multidimensional environmental (and other) geospatial data. Four specific themes will be addressed: exploration of spatiotemporal information, dynamic (interactive and animated) visual representations, integration of geovisualization methods with virtual environment technologies, and extension of geovisualization methods to support group work (MacEachen, Kraak, 2001).

Polish supply of topographic maps creates illustration of turbulent development of geoinformation needs. The Technical Instructions for Topographical Data Base (BDT) were introduced last year. One of the aims for creating BDT is providing topographical maps' production systems with current topographic data. It is a very important step towards creation and modernisation of Polish topographic map (fig. 2 and 3). However, the high cartographical quality of official polish topographic map 1:10 000 should be stressed. Possible decision concerning cessation of editing maps created in that form should be undertaken with great reflection and only after detailed examination of other advantages arising from that decision.

In many countries the form of topographic map has been changed. It is easily visible on the German topographic map 1:25 000. In the pictures (fig.4 and 5), the fragment of German topographic map in classical form and the one elaborated on the basis of topographic data base in the form of computer printed form have been shown. The last part of the article compares different conditions of official cartography in European countries (fig.6). The comparison concerns topographic maps in scales from 1:5 000 to 1:50 000 created using classical methods together with geographic information systems use.

ALEKSANDER CIANCIARA, BOGDAN CIANCIARA[1]

ZAGADNIENIA IDENTYFIKACJI PROCESÓW GEODYNAMICZNYCH WYWOŁANYCH EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ

Słowa kluczowe:

proces, pękanie górotworu, stan naprężeń, dylatancja, kompakcja, identyfikacja, wstrząsy, emisja sejsmiczna, tąpania, zagrożenia górnicze

Abstrakt

W pracy przedstawiono problematykę związaną z identyfikacją procesów opisujących rozwój pękania skał oraz tłumienie drgań sprężystych. Bieg tych procesów w kopalniach podziemnych wywołany jest zmianami naprężeń związanych z prowadzoną eksploatacją górniczą. Zarówno zmiany naprężeń, jak i przebiegi pękania są procesami niepodlegającymi bezpośrednim obserwacjom. Można jednak prowadzić wnioskowanie o ich przebiegu w formie pośredniej, na podstawie rejestrowanej emisji sejsmicznej. Omawiane procesy mają strukturę stochastyczną, dlatego ich badanie oparte jest na wnioskowaniu statystycznym. Identyfikacja procesów pękania prowadzona jest na podstawie analizy parametrów opisujących źródła emisji sejsmicznej, czyli rozmiarów zjawisk oraz odstępów czasu między zjawiskami. Natomiast identyfikacja stopnia tłumienia drgań sprężystych prowadzona jest na podstawie pełnych przebiegów rejestrowanych sygnałów emisji sejsmicznej. Analiza prowadzona jest głównie pod kątem wykorzystania uzyskanych wyników w rozwiązywaniu zagadnień związanych z prognozą wstrząsów oraz predykcją zagrożenia górniczego tąpaniami.

THE ISSUE OF GEODYNAMICS PROCESSES IDENTIFICATION CAUSED BY MINE EXPLOITATION

Key words:

process, rock mass cracking, state of stress, dilatancy, compaction, identification, seismic emission, crumps, mining hazard

Abstract

The paper focuses on issues relating to the identification of processes describing elastic vibration damping and the development of rock cracking. The course of theses processes in underground mines is caused by the changes in stresses connected with mining. Both the changes of stresses and the courses of cracking are processes which

[1]Akademia Górniczo – Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków

are not subject to directobservations. Their courses, however, may be deduced indirectly basing on registered seismic emission. The processes in question are of stochastic structure and for the reason their examination is based on statistical inference. The identification of cracking processes is conducted basing on the analysis of parameters describing sources of seismic emission, that is on the extent of the phenomena and intervals between the phenomena. The identification of damping degree of elastic stresses is carried out basing on the full courses of registered seismic emissions. The analysis is carried out paying special attention to the possibility of using the obtained results to solve problems connected with shock/tremor/quake forecast as well as with the prediction of mining hazards caused by crumps.

1. Wprowadzenie

Eksploatacja górnicza prowadzona w kopalniach podziemnych narusza stan równowagi geomechanicznej masywu skalnego. W wyniku tego wytwarza się w górotworze zmienne w czasie i przestrzeni pole naprężeń. Wiadomo, że wzrosty naprężeń powodują określone zmiany parametrów fizycznych ośrodka skalnego, mogą również w określonych warunkach powodować rozwój pękania skał. W pracy tej rozważane są dwa procesy, ściśle powiązane ze zmianami naprężeń, które opisują:

- pękanie górotworu,
- zmiany w czasie tłumienia drgań sprężystych.

Pękanie górotworu wytwarza drgania sprężyste, które rozchodząc się w ośrodku skalnym, stanowią tzw. emisję sejsmiczną. Sygnały emisji sejsmicznej związane są z poszczególnymi pęknięciami górotworu, czyli tzw. zjawiskami sejsmicznymi. Z kolei drgania sprężyste, charakteryzujące emisję sejsmiczną, niosą informacje o stopniu ich tłumienia przez ośrodek skalny.

Zarówno pękanie górotworu, jak i tłumienie drgań sprężystych charakteryzują się określoną zmiennością w czasie, stanowiąc podstawowe procesy geodynamiczne wywołane zmianami stanu naprężeń. Możliwość identyfikacji tych procesów ma bardzo istotne znaczenie w problematyce oceny stanu górotworu, w szczególności stopnia zagrożenia tąpaniami czy też predykcji wstrząsów górniczych. Procesy te są poza zasięgiem bezpośredniej obserwacji, jednak informacja o ich przebiegu zawarta jest w rejestrowanym strumieniu emisji sejsmicznej (Cianciara 1999). W związku z tym ich identyfikacja może być prowadzona na podstawie analizy odpowiednich parametrów opisujących emisję sejsmiczną. Omawiane procesy charakteryzują się określonym poziomem przypadkowości, dlatego zastosowane zostaną sposoby identyfikacji w warunkach losowych. Procesy te różnią się od siebie szybkością ich zmienności, jak również stopniem losowości. Należy podkreślić, że rozważania prowadzone są dla ośrodków kruchych, czyli najbardziej odpowiadających rzeczywistości.

Problematyka opisu przebiegu pękania jest przedmiotem dogłębnych analiz zarówno w aspekcie badań laboratoryjnych, jak również in situ. Ma ona bardzo obszerną literaturę, np.: (Bieniawski 1967; Jaeger, Cook 1969; Żukov i in. 1977; Miaczkin i in. 1975). Procesy pękania charakteryzują się znacznym poziomem losowości, dlatego wnioskowanie o ich przebiegu prowadzone jest na drodze analizy statystycznej. Identyfikację tych procesów dokonuje się w oparciu o współczynniki opisujące stopień niejednorodności lub tzw. skalę zjawisk emisji sejsmicznej (współczynniki te są zdefiniowane w następnym rozdziale). Wartości tych współczynników estymowane są na podstawie rozkładów statystycznych czasów wystąpienia poszczególnych zjawisk sejsmicznych lub ich energii (rozmiarów) (Cianciara 1999; Cianciara 2000). Na podstawie tak określonej identyfikacji możliwa jest ocena niejednorodności przebiegu oraz tendencji do rozwoju procesu pękania. Hipotetycznie wartości obydwu omawianych parametrów wykazują tendencję wzrostową w miarę wzrostu naprężeń. Parametry te mogą być wykorzystane do oceny stanu zagrożenia tąpaniami, ponieważ warunkiem koniecznym wystąpienia wstrząsów są wzrosty naprężeń.

Naprężenia, będące przyczyną powstawania ciągów pęknięć, w porównaniu z pękaniem są procesem wolno zmiennym, o bardziej deterministycznym charakterze. Wzrostowi stanu naprężeń towarzyszą zjawiska kompakcji oraz dylatancji. Zjawiska te są dobrze znanymi pojęciami z zakresu geomechaniki. Kompakcja powoduje zaciskanie szczelin (twardnienie górotworu), natomiast dylatancja określa przyrost objętości skał (Goszcz 1999; Nur 1975). W sumie zmiany naprężeń powodują zmiany parametrów fizycznych ośrodka i wpływają, między innymi, na stopień tłumienia drgań sprężystych. W fazie kompakcji ma miejsce spadek tłumienia, natomiast w fazie dylatancji następuje jego wzrost. Wartości tłumienia mogą być estymowane na drodze analizy sygnałów emisji sejsmicznej. Wynika stąd, że na podstawie współczynnika opisującego tłumienie drgań możliwa jest ocena stanu górotworu, między innymi, w okresach przed momentami wystąpienia wstrząsów. W efekcie istnieją możliwości wykorzystania tego współczynnika w problematyce związanej z oceną stanu zagrożenia tąpaniami.

2. Identyfikacja procesów pękania

Na skutek osiadania warstw stropowych, wywołanego eksploatacją górniczą, wytwarza się w ośrodku skalnym zmienne w czasie i przestrzeni pole naprężeń, które (jak już wspomniano we wstępie) powoduje pękanie górotworu. Należy stwierdzić, że w czasie przed momentem wystąpienia wstrząsu muszą wystąpić wzrosty stanu naprężeń, które mogą zainicjować pękanie górotworu. Na ogół pęknięcia są powiązane ze sobą i układają się w ciągi zwane procesami pękania. W określonych warunkach procesy te, rozwijając się, mogą prowadzić do wstrząsu (Marcak 1995). Zatem należy postawić bardzo istotne pytanie, w jakim stopniu jest możliwa identyfikacja przebiegu tych procesów? Dalej zostanie pokazane, że jest możliwe śledzenie tendencji do rozwoju rozmiarów zjawisk oraz stopnia niejednorodności omawianych procesów.

Pękanie górotworu ma na ogół bardzo skomplikowany przebieg, dlatego panuje powszechna zgodność, aby jego opis był prowadzony w kategoriach probabilistycznych. Procesy pękania mogą być scharakteryzowane za pomocą ciągów opisujących czasy wystąpienia poszczególnych pęknięć $\{t_k\}$ oraz ich rozmiary $\{d_k\}$. Kolejne wyrazy tych ciągów są wielkościami przypadkowymi i stanowią realizację dwóch zmiennych losowych: T oraz D. Zgodnie z tym istnieją uzasadnione podstawy, aby do opisu pękania wprowadzić pojęcie przestrzeni probabilistycznej Π. Przestrzeń tę można zapisać w postaci (Ω, S, P), gdzie: Ω jest tzw. przestrzenią elementarną, w której precyzuje się pojęcie zdarzeń (pęknięć), S jest zbiorem zdarzeń opisywanych za pomocą zmiennych losowych T lub D, natomiast P jest miarą określoną na zbiorze S, czyli prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzeń. Wiadomo, że przestrzeń ta, tak jak i sam proces pękania, jest poza bezpośrednim zasięgiem obserwacji. Jednak pęknięcia górotworu wytwarzają drgania sprężyste, które podlegają obserwacji i mogą być rejestrowane w formie tzw. emisji sejsmicznej. Stąd emisja sejsmiczna jako zjawisko przyczynowe będące skutkiem procesów pękania posiada również strukturę losową. Poszczególne zjawiska sejsmiczne tworzące emisję utożsamiane są z pęknięciami górotworu. Dlatego emisja sejsmiczna uważana jest za jeden z podstawowych nośników informacji o procesach geodynamicznych przebiegających w górotworze (Cianciara 1999). Daje to możliwość identyfikacji procesu pękania (w sensie omawianym wyżej) na zasadzie rozwiązywania zagadnienia odwrotnego. Wieloznaczność związana z rozwiązywaniem zagadnień odwrotnych oraz losowa struktura omawianych procesów powodują, że identyfikację charakteryzuje określony poziom niepewności.

Ponieważ procesy pękania posiadają strukturę dyskretną, dlatego wywołaną nimi emisję można opisywać modelem w formie punktowego strumienia zdarzeń (Kowalenko i in. 1989). Strumień ten opisują dwie podstawowe cechy reprezentujące: czasy wystąpienia zjawisk sejsmicznych $\{t_k\}$ i ich rozmiary $\{d_k\}$. Czasy t_k wyznaczane są na podstawie momentów pierwszych wstąpień sygnałów opisujących zjawiska, natomiast rozmiary d_k definiuje się w formie energii lub tzw. „rozmiarów spektralnych" zjawisk (Cianciara 2000). Cechy te, które oznaczono odpowiednio T oraz D, są zmiennymi losowymi. Można wówczas określić przestrzeń sejsmiczną Λ, stowarzyszoną z przestrzenią Π, będącą przestrzenią probabilistyczną (Ω, Σ, F), przy czym: $\Sigma \supset S$ jest zbiorem zdarzeń, natomiast F stanowi miarę określoną na zbiorze zdarzeń Σ. Miarę tę opisują

dystrybuanty zmiennych losowych T lub D. Przyjmuje się, że miary występujące w obu przestrzeniach są sobie równoważne, czyli P≡F. Przestrzeń sejsmiczna Λ, która podlega obserwacji, może być identyfikowana na podstawie parametrów opisujących rozkłady statystyczne zmiennych losowych T oraz D. Można przyjąć, że emisja stanowi odwzorowanie omawianych przestrzeni $\Pi \rightarrow \Lambda$ w formie iniekcji. Daje to teoretyczne podstawy umożliwiające identyfikację procesów pękania. W tym celu przestrzeń sejsmiczną Λ należy przekształcić tak, aby omawiane wyżej odwzorowanie było bijekcją, czyli usunąć z niej (przestrzeni sejsmicznej) wszystkie zdarzenia niezwiązane z pęknięciami górotworu.

W praktyce do opisu emisji sejsmicznej wykorzystuje się zmienną losową U, której realizacjami są odstępy czasu między kolejnymi zjawiskami $\{u_k\}$, $(u_k = t_k - t_{k-1})$. W przypadku emisji sejsmicznej zmienne losowe D oraz U mają podobną strukturę, a ich rozkłady są typu ciągłego i są losowo zależne. Zależność łącząca realizacje tych zmiennych losowych, czyli d_k oraz u_k, jest następująca (Cianciara 2000):

$$\frac{u_k}{u_0} - 1 = \alpha \log \frac{d_k}{d_0} + \eta_k \qquad (2.1)$$

gdzie: α współczynnik η_k jest ciągiem nieskorelowanych wartości losowych, natomiast u_0 oraz d_0 są odpowiednio wartościami odniesienia.

Zależność ta wynika z ogólnych zasad, które łączą rozmiary zjawisk z czasami potrzebnymi do ich wytworzenia (Gutenberg, Richter 1954). Zależność (2.1) umożliwia opis dystrybuant rozkładów statystycznych obydwu omawianych cech za pomocą jednolitego modelu. W ogólnym przypadku, czyli wówczas gdy strumień jest niejednorodny, omawiany model można wyrazić następująco (Cianciara 2000):

$$F(\nu) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-a\nu^{\gamma}\right] & dla \quad \nu \geq 0 \\ 0 & dla \quad \nu < 0 \end{cases} \qquad (2.2)$$

gdzie: a oraz γ– parametry, przy czym $a > 0$, $\gamma > 0$.

W przypadku rozmiarów zjawisk $\nu = \log \frac{d}{d_0}$, a parametr $\gamma = 1+e$, $e \geq 0$, natomiast w przypadku odstępów czasu między kolejnymi zjawiskami $\nu = \frac{u}{u_0} - 1$, a parametr $\gamma = 1-e$, $0 \leq e < 1$.

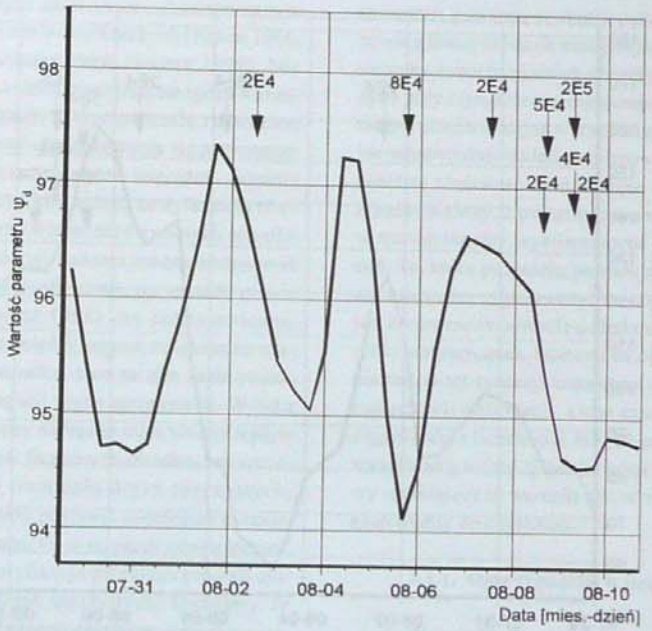
Model ten, znany z literatury pod nazwą rozkładu Weibulla, opisuje strumień emisji w ogólnym przypadku, czyli wówczas gdy jest on niejednorodny zarówno w odniesieniu do czasu, jak i rozmiarów zjawisk (Lasocki 1993; Cianciara 2000). Parametr γ jest tzw. współczynnikiem kształtu rozkładu statystycznego (Cohen 1965) i może stanowić podstawę do zdefiniowania miary niejednorodności strumienia zdarzeń (Cianciara 1999). Rozkład Weibulla, opisywany modelem (2.2), umożliwia również określenie tzw. współczynnika skali zjawisk w następującej postaci (Cohen 1965):

$$\psi = a^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad (2.3)$$

W przypadku emisji sejsmicznej, jak pokazano w pracy (Cianciara 2000), współczynnik ten jest proporcjonalny do zakresu zmienności rozmiarów zjawisk. Model (2.2), opisujący lokalnie rozkład statystyczny, może być wyznaczony na podstawie zarejestrowanego strumienia emisji sejsmicznej w określonym przedziale czasu Θ. Estymację parametrów omawianego modelu można prowadzić w oparciu o kryterium najmniejszych kwadratów (NK) lub zasadę największej wiarygodności (NW) (Cianciara 2000). Parametry $\hat{a}_d$ i $\hat{\gamma}_d$ wyestymowane na podstawie rozmiarów zjawisk oraz $\hat{a}_u$ i $\hat{\gamma}_u$ na podstawie odstępów czasu między zjawiskami umożliwiają identyfikację lokalnej przestrzeni sejsmicznej Λ_Θ, a tym samym lokalnej przestrzeni Π_Θ, opisującej pękanie górotworu w przedziale czasu Θ. W efekcie identyfikacja tendencji do rozwoju procesu pękania jest oparta na analizie estymatorów omawianych parametrów, czyli: $\hat{a}_d$ i $\hat{\gamma}_d$ oraz $\hat{a}_u$ i $\hat{\gamma}_u$, oraz na określonych funkcjach tych parametrów, np. współczynnika skali (zależność (2.3)). Weryfikacja wyników identyfikacji może być prowadzona na podstawie hipotetycznych teorii opisujących procesy przebiegające w górotworze, w którym zostaje naruszana równowaga geomechaniczna. Zgodnie z tymi teoriami w okresach poprzedzających wystąpienia wstrząsów ma miejsce wzrost stanu naprężeń. Powoduje to zarówno wzrost rozmiarów pęknięć, jak również efekty zatrzymywania

ruchu w górotworze, którym towarzyszą spadki aktywności procesu pękania. Natomiast bardzo często po wstrząsach mają miejsce wzrosty aktywności (aktywność indukowana wstrząsem) i zmniejszanie się rozmiarów zjawisk. Obserwuje się również inne przypadki, np. zsuwanie się bloków skalnych po płaszczyznach poślizgu (Goszcz 1999), również i wówczas uwidacznia się wzrost niejednorodności procesu pękania. Występują jeszcze inne zjawiska, które towarzyszą zmianom stanu naprężeń. Rozważania na ich temat będą przedstawione w następnym rozdziale.

Wynika stąd, że własności procesów pękania mogą być oceniane za pomocą omawianych wyżej parametrów opisujących emisję sejsmiczną. Ze względu na stosunkowo wysoki stopień losowości procesów pękania, teoretycznie jest możliwa jedynie (tak sądzimy) identyfikacja tendencji do ich rozwoju. W przypadku rozmiarów zjawisk identyfikację taką można prowadzić zarówno na podstawie parametru $\hat{a}_d$ (2.2), jak również współczynnika skali $\hat{\psi}_d$ (2.3). Należy nadmienić, że parametr α_m w przypadku jednorodnym (czyli gdy $\gamma_d = 1$), jest znanym z sejsmologii współczynnikiem Gutenberga-Richtera (Lasocki 1990). Na rysunku (2.1) przedstawiono przykładowy wykres przebiegu w czasie współczynnika skali $\hat{\psi}_d$, estymowanego na podstawie strumienia emisji rejestrowanej w KWK „Bielszowice" w okresie od 29. 07. 2003 do 11. 08. 2003. Czujnik rejestrujący emisję był zamocowany w skałach stropowych wyrobiska. Na rysunku tym widzimy charakterystyczne wzrosty krzywej



Ryc. 2.1. Przykładowy wykres przebiegu współczynnika opisującego skalę zjawisk procesu pękania ψ_d, estymowanego na podstawie emisji sejsmicznej rejestrowanej w KWK „Bielszowice" w okresie od 29. 07. 2003 do 11. 08. 2003. Na rysunku zaznaczono momenty wystąpienia wstrząsów i ich energie.

Fig. 2.1. Sample graph ofthe coefficient describing the scalę ofchanges of cracking process ψ_d, estimated basing on the seismic emission registered in Bielszowice Hard Coal Minę within the period from 29 July 2003 to 11 August 2003.
Moments oftremors occurrence as well as their energies arę marked on the graph.

w okresach poprzedzających wystąpienia wstrząsów, co jest zgodne z teorią.

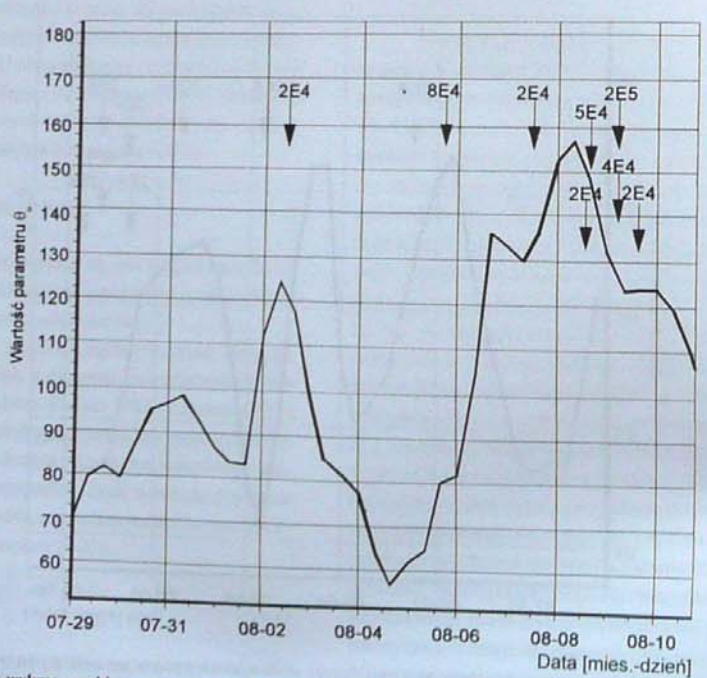
Identyfikację w przypadku odstępów czasu między zjawiskami prowadzi się na podstawie parametru opisującego stopień niejednorodności procesu emisji. Parametr ten może być definiowany w oparciu o współczynnik skali zjawisk $\hat{\psi}_u$, estymowany na podstawie odstępów, lub za pomocą parametru $\hat{\theta}_u$, który określa odniesienie danego procesu emisji do procesu jednorodnego (Poissona). Parametr ten można wyrazić następująco:

$$\hat{\theta}_u = \frac{\hat{a}_u}{\hat{\lambda}}, \qquad (2.4)$$

gdzie: $\hat{a}_u$ - parametr rozkładu (2.2) estymowany na podstawie odstępów,

$\hat{\lambda}$ - aktywność procesu emisji.

Na rysunku (2.2) przedstawiono przykładowy wykres przebiegu zmian w czasie parametru $\hat{\theta}_u$, opisującego stopień niejednorodności procesu pękania. Parametr ten estymowany był zgodnie z zależnością (2.4) na podstawie odstępów czasu między zjawiskami strumienia emisji rejestrowanej w KWK „Bielszowice" w okresie od 29. 07. 2003 do 11. 08. 2003. Przebieg tego parametru wykazuje charakterystyczne wzrosty w okresach poprzedzających momenty wystąpienia wstrząsów. Wstrząsy pojawiają się na ogół po maksimum krzywej.



Ryc. 2.2. Przykładowy wykres przebiegu parametru opisującego stopień niejednorodności procesu pękania θ_u, estymowanego na podstawie emisji sejsmicznej rejestrowanej w KWK „Bielszowice" w okresie od 29. 07. 2003 do 11. 08. 2003. Na rysunku zaznaczono momenty wystąpienia wstrząsu i ich energie.

Fig. 2.2. Sample graph ofthe parameter describing the heterogeneity degree of cracking process θ_u. Estimated basing on the seismic emission registered in Bielszowice Hard Coal Minę within the period from 29 July 2003 to 11 August 2003. Moments oftremors occurrence as well as their energies arę marked on the graph.

3. Identyfikacja procesu opisującego tłumienie drgań sprężystych

Dotychczasowe rozważania poświęcone były zagadnieniu śledzenia rozwoju procesów pękania górotworu. Wiadomo, że w miarę wzrostu naprężeń w ośrodku spękanym zachodzą również inne zjawiska, które mogą okazać się użyteczne w rozwiązywaniu zagadnień omawianej identyfikacji. Do zjawisk takich należy zaliczyć: kompakcję oraz dylatancję. Zjawiska te powodują zmiany parametrów fizycznych ośrodka skalnego i mają istotny wpływ na jakość propagacji drgań sprężystych. W fazie kompakcji ma miejsce szereg zjawisk, które powodują zaciskanie szczelin (twardnienie górotworu), a tym samym zmniejszanie się tłumienia drgań. Natomiast dylatancja jest powszechnie znanym zjawiskiem obserwowanym w przebiegach niszczenia skał kruchych (Patton 1966; Nur 1975; Kwaśniewski 1986; Goszcz 1999). Nie podlega ona bezpośrednim obserwacjom (poza warunkami laboratoryjnymi), a hipotetycznie rozważana jako zjawisko masowe charakteryzuje się przyrostem objętości skał w miarę wzrostu naprężeń. Istnieją uzasadnione podstawy, aby sądzić, że dylatancja również powoduje zmiany własności fizycznych ośrodka skalnego. Dlatego do jej badania można zastosować odpowiednie metody geofizyczne, np. metodę grawimetryczną (Fajklewicz 1988) czy też sejsmiczną. Dylatancja powoduje, między innymi, zwiększanie własności tłumiących ośrodka, a co za tym idzie pogarszanie jakości propagacji drgań sprężystych. Wynika stąd, że głównie zmiany naprężeń mają istotny wpływ na zmiany parametrów fizycznych ośrodka, a w szczególności na stopień tłumienia drgań sprężystych. W związku z tym należy postawić zasadnicze pytanie, na które będziemy starali się w tej pracy odpowiedzieć, czy jest możliwa identyfikacja przebiegu procesu opisującego tłumienie drgań sprężystych? Uważamy, że jest możliwe ciągłe śledzenie (monitorowanie) rozwoju jego zmian na postawie analizy naturalnej emisji sejsmicznej górotworu. Odnosi się to do pewnego otoczenia miejsca rejestracji emisji sejsmicznej. Teoretycznie jest również możliwe wnioskowanie o przebiegu zmian naprężeń, przyjmując odpowiednie zależności wiążące je z przebiegami tłumienia. Należy podkreślić, że zależności takie mają charakter statystyczny i w ogólnym przypadku nie muszą być liniowe. Na obecnym etapie wnioskowanie takie może mieć jedynie charakter jakościowy. Należy nadmienić, że rejestrowane sygnały emisji sejsmicznej zawierają znaczny poziom szumu oraz zakłóceń. Dlatego konieczne jest stosowanie metod, które umożliwiają prowadzenie omawianej identyfikacji w warunkach losowych. Wymagana jest wówczas znajomość: modeli opisujących badane procesy oraz właściwych kryteriów estymacji parametrów (Eykhoff 1980).

3.1. Modele opisujące sygnały sejsmiczne

Sygnały sejsmiczne, które są przedmiotem rozważań, powstają na skutek pękania górotworu i stanowią główny składnik emisji sejsmicznej. Emisja sejsmiczna zawiera również sygnały pochodzące od innych przyczyn, które są zakłóceniami. Część zakłóceń można eliminować już w trakcie rejestracji, modyfikując odpowiednio układ pomiarowy. Pozostałe zakłócenia są częściowo eliminowane na drodze przetwarzania. Należy z pokorą stwierdzić, że nie da się w sposób idealny wyeliminować wszystkich zakłóceń. Te, które pozostają, powodują powiększanie stopnia losowości estymowanych ocen i w związku z tym jest konieczne stosowanie dodatkowo odpowiedniej obróbki statystycznej. Stanowi to pewną trudność, ponieważ w tej sytuacji konieczny jest wysoki stopień redundancji informacji, a tym samym wymagana jest odpowiednia liczebność danych pomiarowych, czyli wysoka aktywność zjawisk emisji. Materiał pomiarowy spełniający te warunki jest w niektórych przypadkach trudny do uzyskania.

3.1.1. Opis sygnałów w dziedzinie czasu

W rozdziale tym zaproponowano nowy, oryginalny sposób analizy emisji sejsmicznej. Zastosowano koncepcję rozdziału sygnału $x(t)$ na dwa liniowo niezależne składniki: $x_1(t)$ oraz $x_2(t)$, zawierające informacje różnego typu. Rejestrowane sygnały mają formę rzeczywistą $x(t)$, jednak na potrzeby analizy konieczne jest

określenie ich w postaci zespolonej, czyli w formie tzw. „sygnałów analitycznych" $x^A(t) = x(t) + i\hat{x}(t)$. Jest oczywiste, że każdy sygnał zespolony (analityczny) $x^A(t)$ można przedstawić w postaci pary uporządkowanej $(x(t), \hat{x}(t))$, której składniki są wzajemnie ortogonalne (Franks 1975). Również wiadomo (Franks 1975), że sygnał analityczny można opisać następującym wyrażeniem:

$$x^A(t) = u(t)\cdot e^{iv(t)} \text{ lub } \ln x^A(t) = \ln u(t) + iv(t) \quad (3.1)$$

gdzie: $u(t) = |x^A(t)|$, natomiast $v(t) = \arg x^A(t)$.

W przypadku sygnałów przyczynowych, zgodnie z zasadą dualności, własność ta obowiązuje zarówno sygnały w dziedzinie czasu, jak i ich reprezentacje w dziedzinie widmowej $X(f)$, co można zapisać:

$$(\ln u(t), v(t)) \Leftrightarrow (\ln U(f), V(f)), \quad f \geq 0 \quad (3.2)$$

gdzie: $U(f) = |X(f)|$ oraz $V(f) = \arg X(f)$, natomiast $X(f)$ stanowi reprezentację sygnału $x(t)$ w dziedzinie widmowej.

Podobny rozkład sygnału na dwa liniowo niezależne składniki można również zrealizować w wersji rzeczywistej. Przedstawienie takie w dziedzinie czasu otrzymujemy, wyznaczając część rzeczywistą $x(t)$ sygnału analitycznego (3.1), która wynosi:

$$x(t) = u(t)\cos v(t), \quad (3.3)$$

gdzie: $u(t)$ jest obwiednią (widmem chwilowym) sygnału, natomiast $v(t)$ jest jego fazą chwilową.

Podobnie wyraża się część rzeczywistą reprezentacji widmowej $X^R(f)$:

$$X^R(f) = U(f)\cos V(f), \quad f \geq 0 \quad (3.4)$$

gdzie: $U(f)$ oraz $V(f)$ są odpowiednio: widmem amplitudowym i widmem fazowym sygnału $x(t)$.

Uogólniając, należy stwierdzić, że każdy sygnał przyczynowy można przedstawić w postaci dwu liniowo niezależnych (ortogonalnych) składników, a mianowicie:

$$x(t) = x_1(t) \cdot x_2(t), \quad \langle x_1(t), x_2(t) \rangle = 0 \quad (3.5)$$

gdzie: $x_1(t) > 0$ - składowa wolno zmienna, natomiast $x_2(t)$ - składowa oscylacyjna.

Omawiany rozkład można uzyskać, poddając sygnał $x(t)$ odpowiedniemu odwzorowaniu homomorficznemu. Przykładowo, w najprostszym przypadku, składową $x_1(t)$ można otrzymać, wyznaczając obwiednię $u(t)$, a następnie poddając ją działaniu odpowiedniego operatora, np. zerofazowego operatora wygładzającego:

$$x_1(t) = H \circ u(t) \quad (3.6)$$

Składową oscylacyjną (szybko zmienną) $x_2(t)$ można uzyskać na drodze dzielenia, korzystając z własności, że $x_1(t) > 0$, wówczas otrzymamy:

$$x_2(t) = \frac{x(t)}{x_1(t)} \quad (3.7)$$

Dalsze rozważania odnoszące się do analizy sygnałów sejsmicznych prowadzone są na podstawie tak uzyskanych reprezentacji. W ogólnym przypadku rozkład sygnałów $x(t)$ (wówczas gdy są one niestacjonarne) na omawiane wyżej składowe można uzyskać, poddając jego reprezentację analityczną odpowiednim odwzorowaniom homomorficznym oraz filtracjom.

Na rysunku (3.1) przedstawiono przykład ilustrujący rozkład sygnału $x(t)$ na omawiane wyżej składowe. Na rysunku tym zestawiono: przebieg zarejestrowanego sygnału $x(t)$ (a), składową wolnozmienną $x_1(t)$ (b) oraz przebieg składowej oscylacyjnej $x_2(t)$ (c). Przebieg $x_1(t)$ wyznaczono na drodze wygładzania obwiedni sygnału $x(t)$, natomiast przebieg składowej oscylacyjnej uzyskano na drodze dzielenia zgodnie z zależnością (3.7).

Omawiane składowe reprezentują różny typ informacji zawartej w sygnale $x(t)$. Przykładowo, składowa $x_1(t)$ zawiera informację o jakości propagacji drgań. W przypadku emisji sejsmicznej składowa ta jest funkcją zależną od współczynnika tłumienia $\sigma > 0$, którą można przedstawić w następującej formie:

$$x_1(t) = r(\sigma \cdot t) \quad (3.8)$$

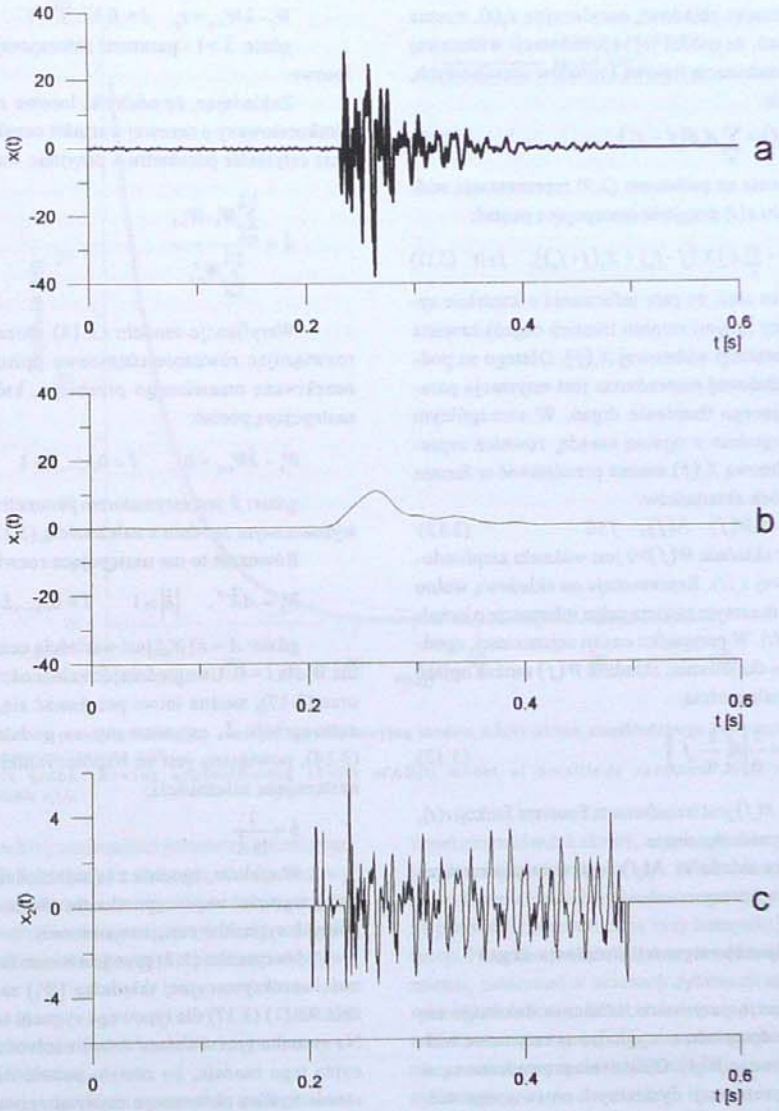
Natomiast składowa $x_2(t)$ niesie informację o rozkładzie częstotliwościowym drgań. Zostanie to dokładniej zilustrowane na podstawie analizy prowadzonej w następnym rozdziale.

3.1.2. Opis sygnałów w dziedzinie widmowej

Reprezentacja sygnału sejsmicznego $x(t)$ opisana równaniem (3.5) w dziedzinie widmowej przyjmuje formę splotu, a mianowicie:

$$X(f) = X_1(f) * X_2(f), \quad f \geq 0 \quad (3.9)$$

gdzie: $X_1(f)$ oraz $X_2(f)$ są odpowiednio reprezentacjami widmowymi składowej: wolno zmiennej $x_1(t)$ i oscylacyjnej $x_2(t)$.



Ryc. 3.1. Ilustracja rozkładu przykładowego sygnału emisji sejsmicznej na składowe. Na rysunku przedstawiono wykresy następujących przebiegów: zarejestrowanego sygnału $x(t)$ (a), składowej wolno zmiennej $x_1(t)$ (b) oraz składowej oscylacyjnej $x_2(t)$ (c).

Fig. 3.1. Illustration ofthe resolution ofa sample signal of seismic emission into components. The figurę shows graphs ofthe following: registered signal $x(t)$ (a), free variable component $x_1(t)$ (b) and oscillatory component $x_2(t)$ (c).

Analizując składową oscylacyjną $x_2(t)$, można się przekonać, że model jej reprezentacji widmowej $X_2^M(f)$ jest kombinacją liniową sygnałów impulsowych, a mianowicie:

$$X_2^M(f) = \sum_s A_s \delta(f - f_s) \qquad (3.10)$$

Wówczas na podstawie (3.9) reprezentacja widmowa sygnału $x(t)$ przyjmie następującą postać:

$$X(f) = \sum_s A_s [X_1(f - f_s) + X_1(f + f_s)], \quad f \geq 0 \qquad (3.11)$$

Wynika stąd, że cała informacja o kształcie sygnału (między innymi stopniu tłumień drgań) zawarta jest w reprezentacji widmowej $X_1(f)$. Dlatego na podstawie tej składowej prowadzona jest estymacja parametru opisującego tłumienie drgań. W szczególnym przypadku, zgodnie z ogólną zasadą, również reprezentację widmową $X_1(f)$ można przedstawić w formie iloczynu dwóch składników:

$$X_1(f) = W(f) \cdot \Lambda(f), \quad f \geq 0 \qquad (3.12)$$

gdzie: składnik $W(f) > 0$ jest widmem amplitudowym składowej $x_1(t)$. Reprezentuje on składową wolno zmienną, a tym samym zawiera pełną informację o kształcie sygnału $x(t)$. W przypadku emisji sejsmicznej, zgodnie z zasadą o skalowaniu, składnik $W(f)$ można opisać następującą zależnością:

$$W(f) = \frac{1}{\sigma} \left| R\left(\frac{1}{\sigma} \cdot f\right) \right| \qquad (3.13)$$

gdzie: $R(f)$ jest transformatą Fouriera funkcji $r(t)$, σ to współczynnik tłumienia.

Analiza składnika $\Lambda(f)$ wykracza poza zakres omawiany w tej pracy.

3.2. Sposób estymacji tłumienia drgań

Estymację parametru tłumienia dokonuje się w oparciu o odpowiednio wygładzony estymator widma amplitudowego $W(f)$. Obliczenia prowadzone są na podstawie reprezentacji dyskretnych omawianego widma, wyrażanych w formie ciągów o długości L, $\{W_l\}$, (l= 0 1...L-1). Ciągi te zawierają określony poziom czynnika losowego i w szczególnym przypadku mogą być opisywane modelem stacjonarnego procesu autoregresji pierwszego rzędu AR(1) (Box, Jenkins 1983):

$$W_l - \lambda W_{l+1} = \varepsilon_l \quad l = 0,1,...L-1 \qquad (3.14)$$

gdzie: $\lambda > 1$ - parametr autoregresji, ε_l - odchyłki losowe.

Zakładając, że odchyłki losowe ε_l tworzą układ nieskorelowany o zerowej wartości oczekiwanej, wówczas estymator parametru λ przyjmie wartość:

$$\hat{\lambda} = \frac{\sum_{l=0}^{L-1} W_l \cdot W_{l+1}}{\sum_{l=0}^{L-1} W_{l+1}^2} \qquad (3.15)$$

Weryfikację modelu (3.14) można prowadzić, rozwiązując równanie różnicowe opisujące wartość oczekiwaną omawianego przebiegu, które przyjmuje następującą postać:

$$W_l - \hat{\lambda} W_{l+1} = 0. \qquad l = 0,1,...,L-1 \qquad (3.16)$$

gdzie: $\hat{\lambda}$ jest estymatorem parametru autoregresji, wyznaczanym zgodnie z zależnością (3.15).

Równanie to ma następujące rozwiązanie:

$$W_l = A\hat{\lambda}^{-l}, \quad |\hat{\lambda}| > 1 \qquad l = 0,1,...,L-1 \qquad (3.17)$$

gdzie: $A = E[W_0]$ jest wartością oczekiwaną widma W_l dla $l = 0$. Uwzględniając zależności (3.8), (3.13) oraz (3.17), można łatwo przekonać się, że parametr autoregresji $\hat{\lambda}$, estymowany na podstawie modelu (3.14), powiązany jest ze współczynnikiem tłumienia następującą zależnością:

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{\ln \hat{\lambda}} \qquad (3.18)$$

W efekcie, zgodnie z tą zależnością, wyznaczane są wartości współczynnika tłumienia dla poszczególnych sygnałów emisji sejsmicznej.

Na rysunku (3.2) przedstawiono ilustrację zdolności aproksymacyjnej składnika $\{W_l\}$ za pomocą modelu AR(1) (3.17) dla typowego sygnału sejsmicznego. Na rysunku tym widzimy dobrą zdolność aproksymacyjną tego modelu, co zostało potwierdzone na podstawie analizy obszernego materiału pomiarowego.

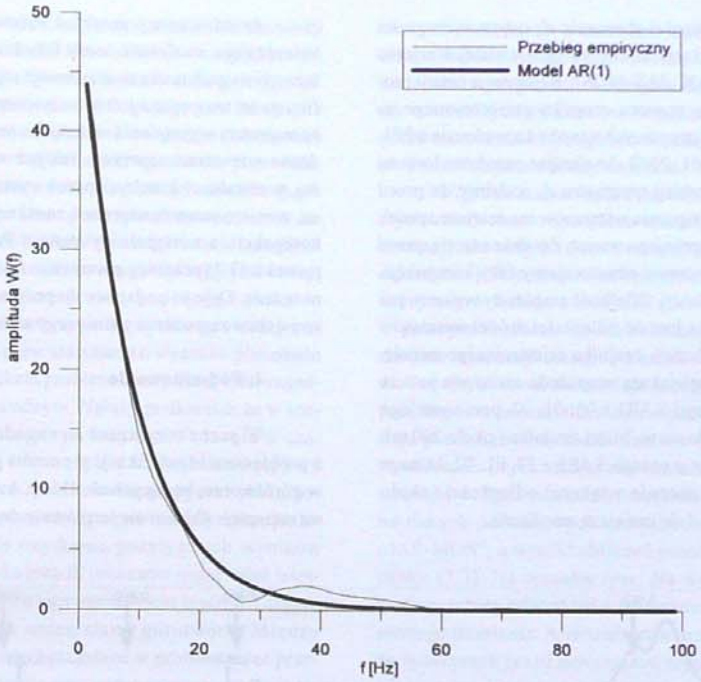
W dalszej analizie związanej z omawianą identyfikacją przyjęto koncepcję, że parametrowi $\hat{\sigma}_t$ przypisuje się czas t wystąpienia sygnału x_t, na podstawie którego była prowadzona estymacja tego parametru. Tym samym uzyskuje się szereg czasowy, który reprezentuje przebieg zmienności parametru opisującego tłumienie drgań. Jak wynika z obliczeń, szereg czasowy $\{\hat{\sigma}_t\}$ zawiera znaczny poziom czynnika losowego. Aby znaleźć jego wartość oczekiwaną, przyjęto, że w pierwszym przybliżeniu można go opisać modelem addytywnym:

$$\hat{\sigma}_t = s_t + \eta_t \qquad (3.19)$$

gdzie: s_t - wartość oczekiwana szeregu czasowego, η_t - wartości losowe.

Ponieważ, w ogólnym przypadku, szereg czasowy $\{\hat{\sigma}_t\}$ stanowi proces niestacjonarny, dlatego do wyznaczenia jego wartości oczekiwanej $s_t = E(\hat{\sigma}_t)$ należy stosować filtrację Kalmana (Papoulis 1972). Uzyskane na tej drodze wartości s_t należy traktować jako przebiegi zmienności w czasie uśrednionej wielkości tłumienia drgań przez ośrodek skalny, w pewnym obszarze otaczającym miejsce ich rejestracji. W ośrodkach kruchych na podstawie wartości uśrednionego tłumienia s_t można prowadzić identyfikację fazy kompakcji oraz dylatancji. Fazy kompakcji charakteryzują się spadkami tłumienia, natomiast w okresach dylatancji mają miejsce wzrosty tłumienia. W okresach przed wystąpieniem wstrząsów wzrasta naprężenie, pociąga to za sobą konieczność wystąpienia fazy kompakcji, a następnie fazy dylatancji.

Dalej, ze względu na przejrzystość wizualizacji, uśrednioną wartość parametru tłumienia s_t zastąpiono jego odwrotnością $d_t = 1/s_t$, czyli dobrocią propagacji drgań. Na rysunku (3.3) przedstawiono przykładowy



Ryc. 3.2. Przykładowy przebieg ilustrujący zdolność aproksymacyjną modelu AR(1) widma amplitudowego W(f) reprezentującego składową wolno zmienną $x_1(t)$.

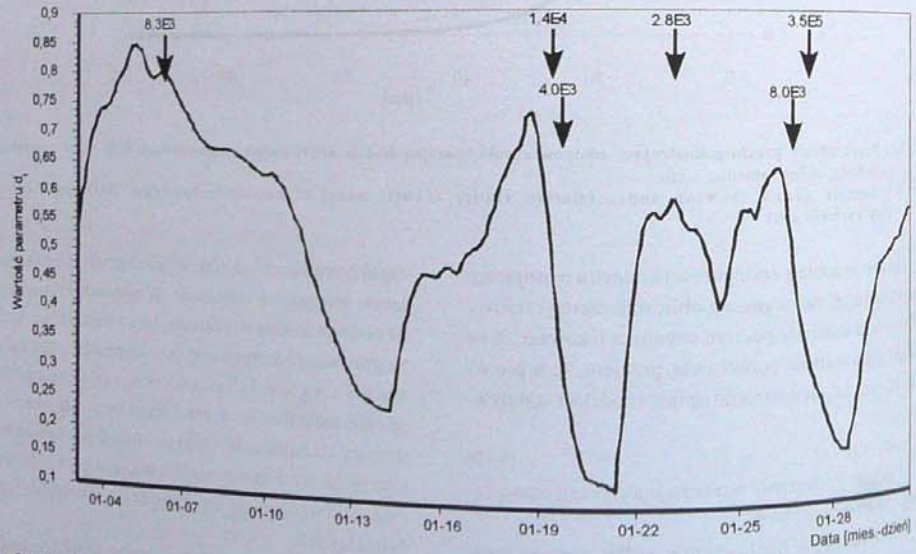
Fig. 3.2.Sample graph showing approximation ability ofAR(l) model of amplitudę spectrum W(f) representing frcc variable $x_1(t)$.

przebieg odwrotności tłumienia d_r estymowanego na podstawie emisji sejsmicznej zarejestrowanej w rejonie pokładu 504 KWK „JAS-MOS". Rejestracja emisji prowadzona była za pomocą czujnika zamocowanego na kotwi w skałach stropowych wyrobiska w okresie od 01. 01. 2002 do 31. 01. 2002. Analizując przedstawiony na tym rysunku przebieg parametru d_r widzimy, że przed momentami wystąpienia wstrząsów ma miejsce spadek tłumienia, a następnie jego wzrost. Zgodnie z teorią, przed wystąpieniem wstrząsu obserwujemy fazy kompakcji, a następnie dylatancji. Wielkość amplitudy wykresu parametru d_r zależna jest od odległości źródeł wstrząsów od miejsca lokalizacji czujnika rejestrującego emisję. Przykładowo, największa amplituda związana jest ze wstrząsem o energii 8.3E3 z 06. 01. 02, ponieważ jego źródło znajdowało się najbliżej czujnika (około 200 m), natomiast wstrząs o energii 3.5E5 z 27. 01. 02, którego źródło było w znacznie większej odległości (około 500 m), zaznaczył się mniejszą amplitudą.

Przedstawiony przykład stanowi ilustrację potwierdzającą możliwość oceny fazy kompakcji oraz dylatancji na podstawie analizy emisji sejsmicznej. Weryfikacja tej tezy oparta jest na oczywistym stwierdzeniu, że momenty wystąpienia wstrząsów muszą być poprzedzane wzrostami naprężeń. Jak już wspomniano wyżej, w ośrodkach kruchych przed wystąpieniem wstrząsu, w miarę wzrostu naprężeń, musi wystąpić zjawisko kompakcji, a następnie dylatancji. Przedstawiony na rysunku (3.3) przebieg parametru d_r potwierdza w pełni tę tezę. Daje to podstawy do prowadzenia jakościowej oceny zagrożenia górniczego tąpaniami.

4. Podsumowanie

W pracy rozważane są zagadnienia związane z problemem identyfikacji procesów przebiegających w górotworze, będących skutkiem wzrastającego stanu naprężeń. Odnosi się to głównie do procesów, które



Ryc. 3.3. Przykładowy wykres ilustrujący przebieg uśrednionego współczynnika d_r opisującego dobroć propagacji drgań. Współczynnik ten estymowano na podstawie sygnałów emisji sejsmicznej rejestrowanej w stropie wyrobiska w rejonie pokładu 504 KWK „Jas-Mos" w okresie od 01. 01. 2002 do 31. 01. 2002.

Fig. 3.3. Sample graph showing averaging coefficient d_r, describing figurę ofmerit for propagation ofvibrations. The coefficient is estimated basing on signal of seismic emission registered in the roofover the coal stratum 504 in Jas-Mos Hard Coal Minę within the period 1 January 2002 to 3 1 January 2002.

mają miejsce w okresach poprzedzających momenty wystąpienia wstrząsów. Rozważa się dwa typy procesów, a mianowicie: procesy pękania oraz procesy opisujące stopień tłumienia drgań sprężystych. Procesy te nie podlegają bezpośrednim obserwacjom, dlatego ich identyfikacja prowadzona jest sposobem pośrednim na podstawie analizy naturalnej emisji sejsmicznej górotworu. Dlatego idea identyfikacji oparta jest na hipotetycznych założeniach o zależnościach łączących omawiane procesy z parametrami opisującymi emisję sejsmiczną. Omawiane procesy podlegają dodatkowo działaniu czynników przypadkowych, co powoduje, że charakteryzują się one stosunkowo wysokim poziomem losowości. W efekcie problem identyfikacji jest zagadnieniem bardzo trudnym. Należy podkreślić, że w sensie monitorowania (czyli ciągłego śledzenia w czasie) zagadnienie to nie zostało na świecie do tej pory rozwiązane. Jednak, przedstawione w tym artykule, pozytywne wyniki pozwalają na pewien optymizm. Należy podkreślić, że uzyskanie pozytywnych wyników identyfikacji omawianych procesów może mieć istotne znaczenie w rozwiązywaniu wielu trudnych zagadnień dotyczących opisu stanu górotworu. Między innymi może być wykorzystane w problematyce przewidywania wstrząsów oraz oceny stanu zagrożenia tąpaniami.

Procesy pękania charakteryzują się wysokim poziomem losowości, dlatego koncepcję ich identyfikacji oparto na analizie rozkładów statystycznych odstępów czasu między kolejnymi pęknięciami lub rozmiarów pęknięć. Rozkłady te wyznaczane są na podstawie emisji sejsmicznej. Rozmiary pęknięć oceniane są za pomocą rozmiarów zjawisk sejsmicznych, np. energii, natomiast czasy wystąpienia pęknięć utożsamiane są z czasami pojawiania się zjawisk sejsmicznych. Należy podkreślić, że rozmiary pęknięć są określone za pomocą rozmiarów (energii) zjawisk sejsmicznych, które są dobrze definiowalne jako wielkości obserwowane. Identyfikacja przebiegu procesu pękania prowadzona jest w oparciu o parametry opisujące: stopień niejednorodności emisji lub tzw. skalę zjawisk sejsmicznych. Parametry te oceniane są na podstawie rozkładów statystycznych zjawisk sejsmicznych. Zachodzi korelacja pomiędzy przebiegiem w czasie tych parametrów a zmianami naprężeń. Zostało to zilustrowane na rysunkach (2.1) oraz (2.2), gdzie w okresach przed wystąpieniem wstrząsów mają miejsce wzrosty wartości tych parametrów. Wiadomo, że w okresach przed momentami wystąpienia wstrząsów muszą również mieć miejsce wzrosty naprężeń.

W problematyce opisu tłumienia drgań sprężystych zastosowano specjalne sposoby ekstrakcji informacji zawartej w rejestrowanych sygnałach emisji sejsmicznej. Przedstawiono sposób oceny parametru, który reprezentuje uśrednioną wartość tłumienia w pewnym obszarze ośrodka skalnego, otaczającym miejsce rejestracji emisji. Parametr ten, estymowany dla kolejnych momentów, daje możliwość uzyskania przebiegu zmienności tłumienia w czasie. Na podstawie tego przebiegu jest możliwa ocena stanu górotworu w okresach poprzedzających momenty wystąpienia wstrząsów. Teza ta została wstępnie zweryfikowana na danych pomiarowych zarejestrowanych w KWK „JAS-MOS", a wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku (3.3). Na rysunku tym, dla wygody, zobrazowano przebieg odwrotności omawianego wyżej uśrednionego tłumienia. Analizując ten przebieg, widzimy, że w okresach przed momentami wystąpienia wstrząsów ma miejsce spadek tłumienia, a następnie jego wzrost. Można to tłumaczyć tym, że na skutek wzrostów naprężeń, które mają miejsce przed wstrząsem, w ośrodku skalnym zachodzi zjawisko kompakcji, a następnie dylatancji. W fazie kompakcji następuje spadek tłumienia, natomiast w fazie dylatancji jego wzrost. Prowadzone dalsze badania umożliwią pełniejszą weryfikację przedstawionych tutaj tez, a uzyskane wyniki będą przedmiotem następnych publikacji.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych nr 11.11.140.144.

Bibliografia

Bieniawski Z. T., 1967, *Mechanism of brittle fractures of rock*, Jnt. J. Rock, Mech. Min. Sci., z. 4.

Box G. E. P., Jenkins G. M., 1983, *Analiza szeregów czasowych. Prognozowanie i sterowanie*, PWN, Warszawa.

Cianciara A., 2000, *System monitorowania zagrożenia wystąpieniem silnych wstrząsów w oparciu o analizę emisji sejsmoakustycznych*, rozprawa doktorska, Biblioteka Główna AGH, Kraków.

Cianciara B., 1999, *Emisja sejsmiczna jako nośnik informacji o rozwoju procesu pękania górotworu*, Geoinformatica Polonica, nr 1, Kraków.

Cianciara B., 2001, *Zastosowanie entropii do badań ilości informacji o zagrożeniu tąpaniami, zawartej w strumieniu emisji sejsmicznej górotworu*, Geoinformatica Polonica, nr 2, Kraków.

Cohen A. C., 1965, *Maximum likelihood estimation in the Weibull distribution based on complete and on censored samples*, Technometrics, 7, 579 - 588.

Cox D. R., 1955, *Some statistical methods related with series of event*, J. Roy. Soc. B, 17, 2.

Eykhoff P.,1980, *Identyfikacja w układach dynamicznych*, PWN, Warszawa.

Fajklewicz Z., 1988, *Prognozowanie rozwoju procesu dylatancyjnego w skałach na podstawie badań mikrograwimetrycznych*. I Szkoła Geofizyki Górniczej nt.: Geofizyczne aspekty kruchego pękania skał. Materiały do wykładów, Kom. Geof. PAN, Z-d Geof. Kat. Geol. Stos. Wydz. Nauk o Ziemi, Zawoja, kwiecień 1988, str. 111-144.

Franks L., 1975, *Teoria sygnałów*, PWN, Warszawa.

Goszcz A., 1999, *Elementy mechaniki skał oraz tąpania w polskich kopalniach węgla i miedzi*, PAN IGSMiE, Kraków.

Gutenberg B., Richter C. F., 1954, *Seismicity of the earth and associated phenomenon*. 2nd edition, Princeton University Press, Princeton.

Jaeger C., Cook N. G. W., 1969, *Fundamentals of rock mechanics*, London Chapman and Hall.

Kowalenko I. N., Kuzniecow N. J., Szurienkow W. M., 1989, *Procesy stochastyczne. Poradnik*, PWN, Warszawa.

Kwaśniewski M., 1986, *Dylatancja jako zjawisko zniszczenia skał. Cz. 1. Fizykalna istota zjawiska dylatancji*, Przegląd Górniczy, nr 2, str. 42-49.

Lasocki S., 1990, *Predykcja silnych wstrząsów górniczych*, ZN AGH, Geofiz. Stos., nr 7.

Lasocki S., 1993, *Weibull distribution as a model for sequense of seismic events induced by mining*, Acta Geophys. Pol., 41, nr 2.

Marcak H., 1985, *Geofizyczne modele rozwoju procesu niszczenia górotworu poprzedzające tąpnięcia i wstrząsy w kopalniach*, Publ. Inst. Geophys. Pol. Ac. Sc., M-6 (176), str. 317-332.

Miaczkin V. I., Brace W. F., Sobolew G. A., Dietrich J. H., 1975, *Two Models for Earthquake Forerunners*, Pageoph., vol. 113.

Nur A., 1975, *A Note of the Constitutive Law for Dilatancy*, Pageoph., vol. 113.

Papoulis A., 1972, *Prawdopodobieństwo, zmienne losowe i procesy stochastyczne*, WNT, Warszawa.

Patton F. D., 1966, *Multiple modes of shear failure in rock*. Proc. 1st Congr. Int. Soc. Rock, Mech. Lisbon, 1, str. 509-513.

Żukov S. N., 1977, *O prognozowanii rozruszenia gornych porod*. Fizyka Ziemi, nr 6, s. 11-18.

Summary

Exploitetion of underground coal deposits causes disturbances m geomechanical equilibrium of rock mass. As a result, stresses in rock mass increase. The increase in stresses results in rock mass cracking and in changes in physical parameters of rock environment, especially in the damping degree of elastic vibrations. The present paper discusses issues about the identification ofprocesses describing the courses of rock mass cracking and about changes in elastic vibrations damping. These processes are not subject the direct observation, therefore inferences about their course can be drawn indirectly basing on the anałysis ofnatural seismic emission of the rock mass. The identification is based on hypothetical assumptions about interrelations between the processes in question and parameters describing seismic emission. It follows that identification is a complex and complicated problem, which is additionally madę morę difficult by the occurrence of random factor connected with the registration of seismic emission. It should be emphasised that positive results of the identification of the processes under consideration may be of major importance in solving many difficult problems related to the description of rock mass conditions. Among other things, they may helр to foresee tremors, or to evaluate the degree ofcrump hazard, etc.

Cracking is characterised by a high level of randomness, therefore the method of inferring their courses is based on the anałysis of statistic distributions, i.e. on intervals between consecutive cracking and on the dimensions of cracking. Statistic distributions arę determined basing on the registered seismic emission, and the dimensions of cracking arę evaluated basing on the extent of seismic phenomena, e.g. energy, whereas time of cracking occurrences is identified with the time ofthe occurrences of seismic phenomena. It should be emphasised that the dimensions of cracking arę determined by the extent (energy) of seismic phenomena, which arę well defined as observable quantities. The identification ofthe course of cracking is carried out basing on descriptive parameters: the degree of emission heterogeneity and the so-called scalę of seismic phenomena. These parameters arę evaluated on the basis of statistic distributions of seismic emission. There is a corre-

lation between the parameters course in time and the changes in stresses. It is illustrated in figures (2.1) and (2.2.), where the parameters values increase in the periods oftime preceding the occurrence of tremors. It is known that in the periods preceding moments of tremors occurrence there must be also increase in stresses.

In comparison with cracking, the courses of damping arę characterised by considerably higher degree ofdeterminism. therefore their evaluation is conducted basing on individual signals of seismic emission. A spccial method ofthe extraction of infonnation included in registered signals is applied to the description of yibration damping. The method consists in a proper separalion ofthe component, which depends oniy on the damping coefficient. The component is separated from signals and on its basis the value of the damping coefficient is estimated. Simultaneousły, the time ofthe signal registration is attributed to the coefficient. As a result a time series is obtained and its expected value describes the course of averaging quantity of damping in time for a specified area of rock environment surrounding the place of the emission registration. For instance, on the basis of that course it is possible to evaluate the condition of rock mass within the periods preceding the moments ofthe cracking occun-ences. Figurę (3.3) shows a sample course ofthe nwerse of averaging cracking in time. The anałyses were carried out basing on measurement data registered in JAS-MOS Hard Coal Minę. The figure shows that damping decreases within the periods preceding moments of tremor occurrences, but then it increases. It may be explained in the following way: as a result ofthe increase in stresses, which must appear before the tremor, the phenomena of compaction and then of diiatancy occur in rock environment. Damping decreases during the compaction phase and increases in diiatancy phase.

GEOINFORMATICA POLONICA
6 : 2004

KATARZYNA FAGIEWICZ, LIDIA PONIŻY[1]

WYKORZYSTANIE NUMERYCZNEJ MAPY SOZOLOGICZNEJ (1:50 000) W ILOŚCIOWYCH BADANIACH STANU ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO

Słowa kluczowe:

numeryczna mapa sozologiczna, miara syntetyczna, jakość środowiska

Abstrakt

We współczesnych badaniach środowiska przyrodniczego dużą rolę odgrywają Systemy Informacji Geograficznej (GIS), których rozwój przyczynił się do tworzenia numerycznych baz danych map tematycznych. Pozwoliło to na zasilenie Krajowego Systemu Informacji o Terenie numeryczną mapą sozologiczną w skali 1:50 000, zawierającą bogaty zasób informacji o stanie środowiska przyrodniczego i realizującą podstawowe funkcje GIS. Mapę wykorzystano do opracowania grupy wskaźników i miar syntetycznych, pozwalających na ilościową ocenę stanu środowiska przyrodniczego na badanym obszarze.

THE USE OF A DIGITAL SOZOLOGICAL MAP AT A SCALE OF 1:50 000 IN THE QUANTITATIVE RESEARCH ON THE STATE OF THE NATURAL ENVIRONMENT

Key words:

digital sozological map, synthetic measure, state of the environment

Abstract

A methodological proposal is put forward for the solution of problems involved in synthetic environmental studies which are based on a system of indicators and on synthetic measures of the state of the environment derived from them. The source material employed is a digital sozological map at a scale of 1 : 50,000 providing a wealth of information about the state of the natural environment and fulfilling basic GIS functions.

[1] Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Zakład Kształtowania Środowiska Przyrodniczego i Fotointerpretacji

WPROWADZENIE

Rola GIS jako narzędzia gromadzenia, udostępniania, przetwarzania, analizy i obrazowania danych o określonej lokalizacji w przestrzeni została szeroko omówiona w literaturze (J. Gaździcki 1990; C. D. Tomlin 1989; J. Urbański 1997; J. K. Berry 1987). Jednakże dominujący nurt problematyki badawczej uwzględnia głównie technologiczny aspekt GIS. Zdecydowanie mniej przykładów charakteryzuje system informacji geograficznej jako system przetwarzania danych przestrzennych, dający podstawę do wyjaśniania problemów związanych z funkcjonowaniem środowiska przyrodniczego i jego wpływem na inne dziedziny życia.

Niniejsze opracowanie przedstawia propozycję metodologicznego rozwiązania problematyki syntetycznych badań nad stanem środowiska przyrodniczego wspomaganych przez GIS.

Zakres badań nad jakością poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego jest bardzo szeroki, w związku z tym równie obszerny jest zasób uzyskanych informacji. Jednocześnie sposób realizacji badań wyraźnie podkreśla, że mają one fragmentaryczny charakter i dotyczą różnych aspektów degradacji środowiska, rozpatrywanych niezależnie od siebie, co nie stanowi rzetelnej podstawy do opracowywania ocen syntetycznych i wnioskowania o stanie środowiska.

Istnieje zatem potrzeba rozwijania syntetyzujących badań ujmujących systemowy charakter środowiska przyrodniczego i opracowania na ich potrzeby prostych narzędzi informacyjno-diagnostycznych (wskaźników i indeksów), mających jednoznacznie kwantyfikowalny charakter, umożliwiający porównywanie i ocenę stanu środowiska oraz dynamikę zmian. Poszukiwanie wskaźników opisujących w sposób ilościowy stan środowiska przyrodniczego w aspekcie oceny warunków i jakości życia człowieka wymaga wskazania tych cech środowiska przyrodniczego, których zestaw najdokładniej wyjaśniałby badane zjawisko.

NUMERYCZNA MAPA SOZOLOGICZNA

W efekcie analizy dostępnych zbiorów danych o środowisku przyrodniczym, mogących stanowić podstawę wyboru pożądanych cech określanych jako diagnostyczne, uznano, że mapa sozologiczna integruje optymalny zbiór informacji, a numeryczna wersja tej mapy stanowi funkcjonujący system informacji przestrzennej o środowisku przyrodniczym, realizujący większość zadań GIS. Na decyzji o wykorzystaniu numerycznej mapy sozologicznej dodatkowo zaważył fakt pokrycia mapą 30% powierzchni Polski, a docelowo całego obszaru kraju.

Na treść mapy składa się blisko 60 warstw tematycznych, uporządkowanych w sześciu poziomach informacyjnych (ochrona środowiska i jego zasobów, podatność środowiska na degradację, degradacja środowiska, rekultywacja środowiska, nieużytki). Każdej warstwie przypisana jest baza danych, charakteryzująca obiekty i zjawiska pod względem ilościowym i jakościowym. Wersja numeryczna mapy pozwala na:

- szybki dostęp do baz danych i ich aktualizację,
- edycję tylko wybranych warstw mapy, interesujących użytkownika w danej chwili, dzięki czemu mapa staje się bardziej czytelna i łatwiejsza w interpretacji,
- przeprowadzanie analiz przestrzennych, np.: obliczanie długości odcinków (dróg, linii kolejowych, cieków itp.), powierzchni obiektów (lasów, gruntów ornych, gruntów antropogenicznych), wyszukiwanie obiektów położonych w granicach określonego pola odniesienia (gminy, powiatu itd.),
- łączenie kilku arkuszy w jeden obiekt, np.: gmina, powiat, województwo, dzieki czemu uzyskuje się jednolity system informacji przestrzennej dla całego obszaru i możliwość przeprowadzania w ich obrębie powyższych analiz,
- wydruk mapy lub jej fragmentu na drukarce czy ploterze,
- możliwość transformacji obrazu graficznego mapy do innych układów współrzędnych.

METODYKA

Pojawienie się bogatego zbioru danych o środowisku przyrodniczym w postaci numerycznej mapy sozologicznej zainicjowało próbę opracowania na jej podstawie metodyki oceny stanu środowiska przyrodniczego. Wobec braku metody pozwalającej w sposób ilościowy i kompleksowy ocenić stan środowiska przyrodniczego postanowiono zaadaptować do tego celu miarę syntetyczną, która znalazła już swoje zastosowanie w badaniach naukowych z wielu dziedzin. Zastosowanie miary syntetycznej znajduje swoje uzasadnienie w badaniach tych zjawisk, które można poprawnie opisać tylko za pomocą pewnego ciągu lub zbioru cech. Celowe wydaje się więc wykorzystanie miary syntetycznej do oceny środowiska przyrodniczego, którego stan jest wypadkową wielu zmiennych i którego nie da się opisać za pomocą tylko jednej miary. Miary syntetyczne mają tę zaletę, iż z powodzeniem można je wykorzystywać do kwantyfikacji zjawisk agregatowych (wielowymiarowych, wielocechowych), dając możliwości analiz porównawczych i prognostycznych (D. Strahl 1978).

W związku z tym, że kartograficzne ujęcie wielu zjawisk interesujących nauki geograficzne, szczególnie dotyczących określenia ich wielkości (natężenia) i lokalizacji, wymaga oparcia się na jednostkach przestrzennych, pierwszym etapem procedury badawczej jest ustalenie i określenie typu powierzchni stanowiącej podstawę dalszej analizy i oceny. Wybór pola podstawowego oceny podyktowany jest jedynie przyjętym celem oceny, bowiem z wykorzystaniem GIS weryfikacja i transformacja bazy danych z ujęcia arkuszowego na układ obiektowy nawiązujący do przyjętych jednostek (zlewni, jednostek fizyczno-geograficznych, jednostek podziału administracyjnego, figur geometrycznych) nie stanowi obecnie bariery w postępowaniu badawczym.

Kolejnym etapem było rozbudowanie bazy danych w wyniku pomiarów kartometrycznych przeprowadzonych z wykorzystaniem narzędzia w postaci języka zapytań SQL, który umożliwił wybór obiektów spełniających zadane kryteria. W efekcie bazę danych uzupełniono, określając ilościowo atrybuty obiektów powierzchniowych, liniowych (długość dróg, linii kolejowych, długość cieków prowadzących wody I, II, III klasy czystości, wody pozaklasowe itd.), punktowych (liczba składowisk odpadów, surowców, paliw itd.), obliczono również statystyki ilościowe dotyczące wielkości emisji gazów i pyłów, wielkości zrzutów ścieków.

W rezultacie uporządkowano bazę danych przestrzennych, ujmując je w formie macierzy, zwanej także geograficzną macierzą informacji. W macierzy tej (i x j) dla każdej jednostki przestrzennej przeznaczony jest jeden wiersz, a dla każdej cechy diagnostycznej jedna kolumna. Na podstawie uzyskanej bazy danych opracowano cząstkowe wskaźniki kartograficzno – statystyczne, które następnie podzielono w zależności od kierunku wpływu na stan środowiska przyrodniczego, i tak jedną grupę stanowiły stymulanty, czyli cechy stanowiące potencjał (walory) środowiska przyrodniczego, przyczyniające się do poprawy jego jakości, drugą grupę stanowiły destymulanty, wpływające negatywnie na jego stan (zanieczyszczenia i zagrożenia), które pogrupowano na zasadzie ich negatywnego oddziaływania na konkretny komponent środowiska przyrodniczego (atmo-, lito-, pedo-, fito-, bądź hydrosferę). Istnieją również elementy, które mają niewątpliwie degradacyjny wpływ na środowisko przyrodnicze, a nie zostały zaliczone do jednej z powyższych grup. Powodem były trudności związane z ustaleniem ich negatywnego oddziaływania na dany komponent, zorganizowano je wobec tego w osobną grupę wskaźników, przedstawiających obciążenie przestrzeni infrastrukturą techniczną. Analogicznie uporządkowano zbiór stymulant.

Zestawienie wskaźników diagnostycznych, stanowiących podstawę konstrukcji miary syntetycznej stanu środowiska, przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Ze względu na fakt, że wszystkie wskaźniki przyjmują wartości bezwzględne, różnią się kilkoma rzędami wielkości i posiadają różne miana, należało doprowadzić je do postaci porównywalnej. Uzyskanie tego warunku zostało spełnione poprzez normalizację wskaźników cząstkowych.

Tabela 1. Zestawienie wskaźników diagnostycznych zanieczyszczeń i zagrożeń środowiska przyrodniczego.
Table 1. List of measures of pollutants and threats to the environment.

WSKAŹNIKI DIAGNOSTYCZNE	JEDN.	WARTOŚĆ WZORCOWA
ATMOSFERA		
zanieczyszczenie i zagrożenie środowiska przyrodniczego emisją gazów	t. /km^2/rok	wartość zerowa
zanieczyszczenie i zagrożenie środowiska przyrodniczego emisją pyłów	t. /km^2/rok	wartość zerowa
zanieczyszczenie i zagrożenie środowiska przyrodniczego emisją gazów i pyłów ze źródeł emisji niskiej	t. /km^2/rok	wartość zerowa
zanieczyszczenie i zagrożenie środowiska przyrodniczego ponadnormatywnymi stężeniami SO_2	%	wartość zerowa
zagrożenie środowiska przyr. uciążliwymi odorami	szt./km^2	wartość zerowa
zagrożenie środowiska przyrodniczego hałasem emitowanym przez źródła punktowe	szt./km^2	wartość zerowa
zagrożenie środowiska przyr. hałasem komunikacyjnym	km/km^2	wartość zerowa
HYDROSFERA		
Wody powierzchniowe		
obciążenie wód powierzchniowych zrzutami ścieków przemysłowych	m^3/d/km^2	wartość zerowa
obciążenie wód powierzchniowych zrzutami ścieków komunalnych i rolniczych	m^3/d/km^2	wartość zerowa
udział cieków prowadzących wody o III klasie czystości	%	wartość zerowa
udział cieków prowadzących wody pozaklasowe	%	wartość zerowa
udział cieków prowadzących wody zanieczyszczone niebadane	%	wartość zerowa
udział cieków, w których nastąpiło zaburzenie reżimu hydrologicznego	%	wartość zerowa
udział cieków, na których nastąpiła utrata więzi hydraulicznej	%	wartość zerowa
udział zbiorników wodnych o III klasie czystości wód	%	wartość zerowa
udział zbiorników wodnych o wodach pozaklasowych	%	wartość zerowa
udział zbiorników wodnych o wodach zanieczyszczonych niesklasyfikowanych	%	wartość zerowa
gęstość małych (niedających się przedstawić w skali mapy) zbiorników wodnych	szt./km^2	wartość zerowa
Wody podziemne		
udział obszarów o zanieczyszcz. wodach podziemnych	%	wartość zerowa
udział obszarów o sztucznie obniżonym zwierciadle wód podziemnych	%	wartość zerowa
udział obszarów o sztucznie podniesionym zwierciadle wód podziemnych	%	wartość zerowa
udział obszarów objętych zasięgiem aktualnych lejów depresyjnych	%	wartość zerowa
udział obszarów szczególnie podatnych na infiltrację zanieczyszczeń do wód podziemnych	%	wartość zerowa
LITOSFERA		
udział gruntów antropogenicznych o miąższości nieprzekraczającej 2 m	%	min. wartość
udział gruntów antropogenicznych o miąższości powyżej 2 m	%	wartość zerowa
udział powierzchni zajętych przez wyrobiska	%	wartość zerowa
liczba wyrobisk (niedających się przedstawić w skali mapy) przypadających na jednostkę pow. odniesienia	szt./km^2	wartość zerowa
udział powierzchni zajętych przez zwałowiska	%	wartość zerowa
liczba zwałowisk (niedających się przedstawić w skali mapy) przypadających na jednostkę pow. odniesienia	szt./km^2	wartość zerowa
udział powierzchni zajętych przez obszary górnicze	%	wartość zerowa
udział powierzchni zdeformowanych w efekcie eksploatacji górniczej	%	wartość zerowa
liczba składowisk odpadów przemysłowych przypadających na pow. jednostki odniesienia	szt./km^2	wartość zerowa
liczba składowisk odpadów komunalnych przypadających na pow. jednostki odniesienia	szt./km^2	wartość zerowa
liczba wylewisk odpadów przypadających na pow. jednostki odniesienia	szt./km^2	wartość zerowa
liczba składowisk paliw przypadających na pow. jednostki odniesienia	szt./km^2	wartość zerowa
liczba składowisk surowców przemysłowych przypadających na pow. jednostki odniesienia	szt./km^2	wartość zerowa
liczba składowisk surowców rolniczych i leśnych przypadających na pow. jednostki odniesienia	szt./km^2	wartość zerowa
liczba cmentarzy przypadająca na pow. jednostki odniesienia	szt./km^2	wartość zerowa
PEDOSFERA		
udział gruntów podatnych na denudację naturogeniczną i uprawową	%	wartość zerowa
udział obszarów narażonych na zalewy powodziowe	%	wartość zerowa
FITOSFERA		
udział powierzchni leśnych o słabo uszkodzonym drzewostanie (defoliacja do 10 %)	%	wartość zerowa
udział powierzchni leśnych o średnio uszkodzonym drzewostanie (defoliacja 10-25%)	%	wartość zerowa
udział powierzchni leśnych o silnie uszkodzonym drzewostanie (defoliacja 25-60 %)	%	wartość zerowa
OBCIĄŻENIE INFRASTRUKTURĄ TECHNICZNĄ		
gęstość dróg o dużym natężeniu ruchu	km/km^2	min. wartość
gęstość linii kolejowych	km/km^2	wartość zerowa
gęstość linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia	km/km^2	wartość zerowa

Tabela 2. Zestawienie wskaźników wartości potencjału.
Table 2. List of measures of potential value.

WSKAŹNIKI DIAGNOSTYCZNE	JEDN.	WARTOŚĆ WZORCOWA
FITOSFERA		
lesistość	%	max. wartość
udział łąk i pastwisk	%	max. wartość
udział zieleni urządzonej	%	max. wartość
PEDOSFERA		
udział gruntów ornych chronionych	%	max. wartość
HYDROSFERA		
gęstość sieci rzecznej	km/km^2	max. wartość
jeziorność	%	max. wartość
udział cieków prowadzących wody o I klasie czystości	%	100%
udział cieków prowadzących wody o II klasie czystości	%	100%
udział zbiorników wodnych o I klasie czystości wód	%	100%
udział zbiorników wodnych o II klasie czystości wód	%	100%
OBSZARY CHRONIONE		
udział parków krajobrazowych	%	max. wartość
udział otulin parków krajobrazowych	%	max. wartość
udział obszarów chronionego krajobrazu	%	max. wartość
udział rezerwatów przyrody	%	max. wartość
liczba pomników przyrody przypadających na jednostkę powierzchni odniesienia	%	max. wartość
udział stref ochronnych ujęć wód powierzchniowych	%	max. wartość
udział stref ochronnych ujęć wód podziemnych	%	max. wartość

Metoda zastosowana do normowania wskaźników diagnostycznych, zwana unitaryzacją (T. Borys 1978), wyrażona jest wzorami:

dla stymulant

$$u_s = \frac{x_i^{(j)} - x_{\min}^{(j)}}{x_{wz}^{(j)} - x_{\min}^{(j)}}$$

dla destymulant:

$$u_{ds} = \frac{x_i^{(j)} - x_{\max}^{(j)}}{x_{wz}^{(j)} - x_{\max}^{(j)}}$$

$x_i^{(j)}$ – wartość bezwzględna i-tej cechy w zbiorze j - elementowym,

$x^{(j)}_{min}$, $x^{(j)}_{max}$ – bezwzględne wartości minimalne i maksymalne w j -elementowym zbiorze danej cechy,

$x^{(j)}_{wz}$ - wartość wzorcowa dla danej cechy.

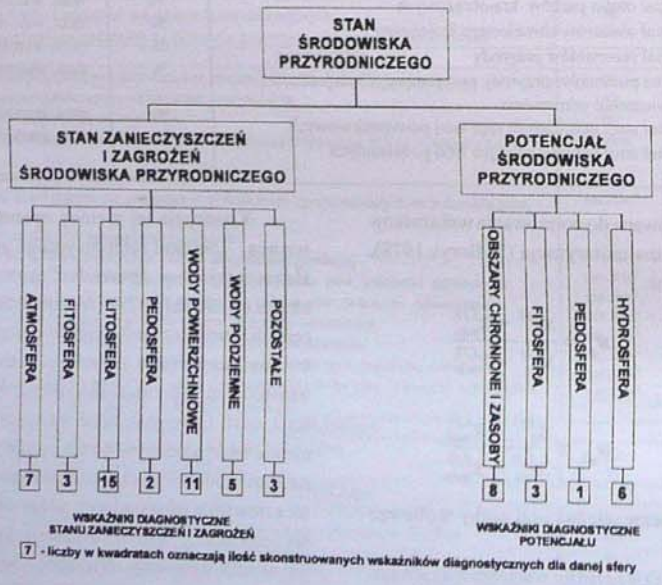
Koncepcja tej metody opiera się na określeniu wzorca - obiektu referencyjnego służącego do określenia miejsca w „porządku" pozostałych obiektów zbioru (D. Strahl 1978). Wartościami wzorcowymi dla cech diagnostycznych mogą być prawnie ustalone normy (np.: zawartości substancji toksycznych czy pierwiastków metali ciężkich w powietrzu, glebie, wodzie itp.), czyli takie graniczne wartości, których przekroczenie bądź obniżenie będzie miało negatywny wpływ na stan środowiska przyrodniczego, a co za tym idzie na człowieka jako podmiot środowiska. Dla większości cech analizowanych w niniejszym opracowaniu takie normy nie zostały określone z powodu braku empirycznych ustaleń wartości granicznych, bądź ustalanie ich jest nieuzasadnione z logicznego punktu widzenia

(np. norma lesistości, jeziorności, gęstości sieci rzecznej). Wobec braku ogólnie przyjętych i zdefiniowanych norm, ustalono, że wartościami wzorcowymi będą, jako prawdopodobne i istniejące, dla destymulant - wartości minimalne wskaźnika w zbiorze danej cechy, natomiast dla stymulant - wartości maksymalne w zbiorze danej cechy. Obliczone w ten sposób znormalizowane wskaźniki cząstkowe posiadają bardzo ważną zaletę - pozostają względem siebie w takim samym stosunku, jak odpowiadające im wartości mianowane.

W związku z tym, że konstrukcja miar syntetycznych polega na agregowaniu pojęć o niższym stopniu w jedno pojęcie o wyższym stopniu abstrakcji (R. Janikowski 1987), również w przypadku metody prezentowanej w niniejszym opracowaniu, znormalizowane wskaźniki cząstkowe pogrupowano w ramach poszczególnych sfer środowiska przyrodniczego (atmosfera, litosfera, hydrosfera, fitosfera, pedosfera, antroposfera) i poddano trzypoziomowej agregacji (porównaj ryc 1.), uzyskując na najwyższym poziomie syntetyczny wskaźnik stanu środowiska przyrodniczego. Bardzo ważną zaletą prezentowanej metody jest łatwość interpretacji wyników, bowiem wartości wszystkich wskaźników (poczynając od cząstkowych znormalizowanych, poprzez te na poszczególnych etapach agregacji) zawierają się w przedziale od 0 do 1 i w obu zbiorach, zarówno stymulant, jak i destymulant, występuje jednolita kierunkowo preferencja wartości: im wyższa wartość wskaźnika, tym bliższa wartości wzorcowej, najkorzystniejszej z punktu widzenia stanu środowiska przyrodniczego.

Adaptacja miary syntetycznej do oceny jakości środowiska przyrodniczego pozwoliła na:

- interpretację i porównywanie cech obiektów wyrażonych ilościowo na poziomie wskaźników diagnostycznych, na poziomie pośrednim, charakteryzującym stan poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego i poziomie syntetycznego wskaźnika obliczonego dla badanych jednostek przestrzennych,
- wskazanie czynnika wiodącego, który zadecydował o ukształtowaniu się wartości danej miary,



Ryc. 1. Schemat konstrukcji syntetycznego wskaźnika stanu środowiska przyrodniczego.
Fig. 1. Scheme of construction of synthetic measure of the natural environment state.

co umożliwia określenie elementu najbardziej zagrożonego i zanieczyszczonego czy też decydującego o potencjale badanej jednostki,

- ranking badanych jednostek w oparciu o kryterium jakości środowiska oraz ich wymierne porównywanie.

PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ PREZENTOWANEJ METODY BADAWCZEJ

Przestrzenna diagnoza stanu środowiska przyrodniczego wybranych obszarów województwa śląskiego.

W celu sprawdzenia skuteczności, rzetelności oraz przydatności prezentowanej metody w syntetycznych badaniach stanu środowiska podjęto próbę opracowania przestrzennej diagnozy obszaru zróżnicowanego ze względu na warunki przyrodnicze, rozwój społeczno-gospodarczy i stopień nasilenia antropopresji. Najlepiej wymienione kryteria spełniał obszar obejmujący swym zasięgiem GOP, przechodzący na przestrzeni 80 km w pas Pogórza Beskidzkiego i Beskidów. W jego obrębie wyróżniono 100 jednostek (miast i gmin) należących administracyjnie do województwa śląskiego, które przyjęto za pola podstawowe oceny. Podstawę analizy i oceny stanu środowiska przyrodniczego tych jednostek stanowiły informacje zintegrowane w bazach danych 32 arkuszy mapy sozologicznej, pokrywających obszar badań. Przyjęcie powierzchni miast i gmin za pola podstawowe oceny wiązało się z weryfikacją i transformacją bazy danych numerycznej mapy sozologicznej, opracowanej w ujęciu arkuszowym, na układ nawiązujący do podziału administracyjnego. Operacja ta polegała na:

- łączeniu obszarów położonych na różnych arkuszach w jeden obiekt - w tym przypadku gminę lub miasto,
- wyselekcjonowaniu ze wszystkich warstw tematycznych danego arkusza informacji dotyczących jedynie wskazanej jednostki administracyjnej, np. z warstwy tematycznej grunty orne chronione należało wyodrębnić tylko te położone w obrębie wskazanej gminy, z warstwy drogi – wskazać odcinki przebiegające przez obszar gminy itd.,
- zapisaniu tych informacji w odrębnej bazie danych, utworzonej dla każdej poddanej analizie jednostki administracyjnej.

Przy założeniu, że na treść każdego arkusza mapy sozologicznej składa się ponad 60 warstw tematycznych, a analizie poddano 100 jednostek administracyjnych, etap transformacji i tworzenia bazy danych w ujęciu obiektowym należy określić jako najbardziej czasochłonny i wymagający największego nakładu pracy. Jednak dzięki wykorzystaniu GIS jako narzędzia wspomagającego nie stanowił on bariery w postępowaniu badawczym.

W każdej z badanych jednostek określono stan środowiska przyrodniczego wyrażony wartością syntetycznego wskaźnika obliczonego według schematu przedstawionego w metodycznej części niniejszego opracowania. Na podstawie obliczonych wartości wskaźników syntetycznych wyodrębniono jednorodne grupy obszarów o zbliżonym poziomie stanu środowiska przyrodniczego, wykorzystując metodę k-średnich. Polega ona na pogrupowaniu wszystkich badanych jednostek (100 miast i gmin) w określoną liczbę regionów, które będą maksymalnie różniły się od siebie, a jednocześnie stanowić będą jednorodne regiony o zbliżonym poziomie stanu środowiska i zbliżonej strukturze przyjętych do analizy syntetycznych wskaźników stanu zanieczyszczeń i zagrożeń oraz potencjału środowiska.

W efekcie zastosowanej procedury badawczej uzyskano przestrzenną diagnozę stanu środowiska przyrodniczego, która pomyślana została jako dochodzenie do syntezy przestrzennej poprzez diagnozę poszczególnych jego komponentów. Analityczne podejście umożliwiło rozpoznanie stanu poszczególnych komponentów w obrębie całego badanego obszaru i wyselekcjonowanie obszarów, gdzie rozpoznany stan wskazuje na zagrożenie i trwałe przeobrażenie komponentu, oraz obszarów, gdzie stopień przeobrażeń danego komponentu nie stanowi zagrożenia dla równowagi w systemie środowiska przyrodniczego. Synteza tych informacji pozwoliła na ocenę stanu środowiska w aspekcie ilościowym, systematyzującym i prognostycznym.

1. **Ocena stanu środowiska w aspekcie ilościowym** - stan środowiska przyrodniczego każdej z badanych jednostek przestrzennych wyrażono wartością syntetycznego wskaźnika, co pozwoliło określić stopień zróżnicowania tych jednostek i uszeregować je na liście rankingowej według przyjętego kryterium stanu środowiska. Fragmenty rankingu badanych jednostek zaprezentowano w tabeli 3.
2. **Ocena stanu środowiska w aspekcie systematyzującym** - który polegał na sklasyfikowaniu badanych jednostek przestrzennych w pięciu grupach według kryterium stanu środowiska i wyodrębnieniu obszarów o największym stopniu zanieczyszczeń i zagrożeń środowiska przyrodniczego (najniższy poziom syntetycznej miary stanu środowiska przyrodniczego), obszarów referencyjnych o najkorzystniejszych (najwyższych) wartościach syntetycznej miary stanu środowiska i trzech typów obszarów pośrednich (o zadowalającym, średnim i niekorzystnym stanie środowiska przyrodniczego). Do pierwszej z wymienionych grup, gdzie stan środowiska oceniono jako bardzo niekorzystny, zakwalifikowano 16 jednostek, 13 z nich tworzy zwarty, połączony wspólnymi granicami region, obejmujący główne miasta Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego: Zabrze, Bytom, Rudę Śląską, Świętochłowice, Chorzów, Siemianowice Śląskie, Piekary Śląskie, Katowice, Czeladź, Będzin, Sosnowiec, Mysłowice, Jaworzno. Trzy pozostałe jednostki to Łaziska Górne, Rybnik i Cieszyn, które nie są połączone terytorialnie wymienionym regionem. Przeprowadzona wielokryterialna analiza, obejmująca stan zanieczyszczeń i zagrożeń poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego oraz ich potencjał, pozwala stwierdzić, że na wskazanym obszarze występują trwałe zanieczyszczenia i obciążenia środowiska przyrodniczego w obrębie wszystkich uwzględnianych elementów, a swym zasięgiem obejmują one znaczny odsetek ocenianego terenu. Bardzo duży stan zanieczyszczeń i zagrożeń przy niewielkim potencjale tego obszaru wpływa na zaburzenie równowagi w systemie środowiska przyrodniczego. Wartości syntetycznego wskaźnika stanu środowiska, charakteryzujące opisaną powyżej grupę jednostek, zawierały się w przedziale od 0,3352 do 0,4396. Wśród 100 analizowanych jednostek miastem o najsilniej zdegradowanym środowisku przyrodniczym, którego stan oceniono najniżej, jest Sosnowiec.

Tabela 3. Ranking badanych jednostek przestrzennych według syntetycznego wskaźnika stanu środowiska przyrodniczego (WS_STAN).
Table 3. The ranking of the studied units the synthetic environmental index.

Lp.	JEDNOSTKA	WS_STAN	Lp.	JEDNOSTKA	WS_STAN
	Wilamowice/m.	**0,5824**	.	.	.
	Wilamowice	0,5774	.	.	.
	Strumień	0,5713	.	.	.
	Zebrzydowice	0,5666	.	.	.
	Chybie	0,5590	.	.	.
	Bestwina	0,5558	71.	Goleszów	0,4655
	Czechowice - Dziedzice	0,5553	72.	Gliwice	0,4609
	Pawłowice	0,5539	73.	Bojszowy	0,4598
	Wielowieś	0,5470	74.	Skoczów/m.	0,4589
	Toszek	0,5464	75.	Tarnowskie Góry	0,4552
	Haźlach	0,5380	76.	Świerklany	0,4540
	Zbrosławice	0,5351	77.	Dąbrowa Górnicza	0,4508
	Sośnicowice	0,5310	78.	Czechowice - Dziedzice/m.	0,4499
	Pszczyna	0,5308	79.	Bielsko - Biała	0,4479
	Ujsoły	0,5280	80.	Knurów	0,4407
	Poręba	0,5266	81.	Łazy	0,4396
	Skoczów	0,5262	82.	Tychy	0,4390
	Toszek/m.	0,5227	83.	Czerwionka - Leszczyny/m.	0,4364
	Pilchowice	0,5216	84.	Lędziny	0,4317
	Rajcza	0,5174	85.	Piekary Śląskie	0,4298
	Suszec	0,5173	86.	Rybnik	0,4260
	Kalety	0,5164	87.	Cieszyn	0,4254
	Dębowiec	0,5158	88.	Siemianowice Śląskie	0,4240
	Rudziniec	0,5154	89.	Mysłowice	0,4068
	Żywiec	0,5153	90.	Będzin	0,4040
	Jeleśnia	0,5151	91.	Jaworzno	0,4017
	Milówka	0,5150	92.	Katowice	0,3981
	Miedźna	0,5133	93.	Zabrze	0,3920
	Strumień/m.	0,5132	94.	Czeladź	0,3868
	Radziechowy	0,5124	95.	Łaziska Górne	0,3866
.	.	.	96.	Bytom	0,3854
.	.	.	97.	Chorzów	0,3731
.	.	.	98.	Ruda Śląska	0,3532
.	.	.	99.	Świętochłowice	0,3385
.	.	.	**100.**	**Sosnowiec**	**0,3382**

W grupie obszarów referencyjnych charakteryzujących się najkorzystniejszymi wartościami wskaźnika syntetycznego, stan środowiska przyrodniczego określono jako dobry, nie zaś bardzo dobry, bowiem najwyższa uzyskana wartość wskaźnika wynosiła 0,5824, co w stosunku do wartości maksymalnej możliwej do osiągnięcia, równej 1, uznać należy za wartość średnią. Grupę tę stanowi zaledwie 10 jednostek, 8 z nich (miasto i gmina Wilamowice, Bestwina, Czechowice-Dziedzice, Chybie, Skoczów, Strumień, Zebrzydowice, Pawłowice) tworzy równoleżnikowy zwarty pas, wypełniający częściowo Kotlinę Oświęcimską i Pogórze Śląskie, a dwie pozostałe: Wielowieś i Toszek położone są w północno-zachodniej części Wyżyny Śląskiej. Są to gminy charakteryzujące się niewielkim stopniem zanieczyszczeń i zagrożeń oraz wysokimi wartościami potencjału, co wyraźnie wyróżniło je na tle innych analizowanych jednostek.

3. **Ocena stanu środowiska w aspekcie prognostycznym** - poprzez:
   - Identyfikację najbardziej zagrożonych i przeobrażonych komponentów środowiska przyrodniczego badanych jednostek oraz ich głównych walorów; wyrażenie tych elementów syntetycznymi wskaźnikami umożliwia ocenę stopnia zróżnicowania stanu zanieczyszczeń i zagrożeń oraz potencjału między poszczególnymi komponentami tworzącymi system środowiska przyrodniczego danej gminy czy miasta.
   - Określenie sprawności ekologicznej systemu środowiska przyrodniczego jako prostego modelu prognostycznego

$$\eta = \frac{P}{O} \qquad (1)$$

η - sprawność systemu,

P – potencjał systemu - wszelkie zasoby środowiska kreujące jego zdolność do zaspokajania potrzeb człowieka,

O – opór systemu - czynniki ograniczające potencjał i wpływające negatywnie na rozwój systemu, czyli zanieczyszczenia i zagrożenia środowiska przyrodniczego (naturalne i antropogeniczne) obniżające wartość potencjału.

Zwiększenie sprawności systemu środowiska przyrodniczego nastąpić może poprzez wzrost potencjału, zmniejszenie oporu, czyli zmniejszenie stopnia zanieczyszczeń i zagrożeń, bądź też jednoczesne działanie w obu zaprezentowanych nurtach. Pozwala to na modelowanie poszczególnych parametrów stanu środowiska przyrodniczego i tworzenie optymalnych wariantów jego rozwoju.

Najwyższą wydolność systemu odnotowano w: mieście i gminie Wilamowice, gminach Pawłowice, Chybie, Zbrosławice, Bestwina, Toszek, Zebrzydowice i Haźlach (25-30%). Najniższą w Świętochłowicach, Sosnowcu, Rudzie Śląskiej, Czeladzi (poniżej 10%).

Tabela 4. Ocena dynamiki zmian środowiska przyrodniczego miasta Sosnowca w latach 1995 – 2000.
Table 4. Evaluation of the dynamics of changes in the natural environment of Sosnowiec in years 1995-2000.

WSKAŹNIK	1995	2000	WZROST/ SPADEK WARTOŚCI WSKAŹNIKA	TYP DYNAMIKI ZMIAN INTENSYWNOŚĆ KIERUNEK
ZANIECZYSZCZEŃ I ZAGROŻEŃ	0,6428	0,6729	+ 0,0301	słabo - dodatni
POTENCJAŁU	0,0356	0,0508	+ 0,0125	słabo - dodatni
STANU ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO	0,3392	0,3619	+ 0,0227	Słabo - dodatni

- Ocenę dynamiki zmienności parametrów charakteryzujących stan zanieczyszczeń i zagrożeń oraz potencjał środowiska przyrodniczego, co pozwala sprowadzić problem prognozowania zmian do badania odstępstw od założonych wskaźników optymalnego stanu, narzucenia przyrostu danego parametru w określonym interwale czasowym czy oceny dynamiki zmienności parametrów w określonym horyzoncie czasowym. Przykład zastosowania ostatniego z wymienionych rozwiązań metodycznych do oceny dynamiki zmian stanu środowiska przyrodniczego miasta Sosnowca, w którym sytuację określono jako najmniej korzystną, prezentuje tabela 2.

Wartości obliczonych wskaźników syntetycznych stanu zanieczyszczeń i zagrożeń środowiska przyrodniczego miasta Sosnowca oraz jego potencjału wykazują tendencje wzrostowe. Intensywność zmian jest niewielka, ale odnotowany wzrost wartości wskaźników pozwala stwierdzić, że proces degradacji miasta został zahamowany, a podjęte działania uruchomiły proces odtwarzania potencjału. Efektem integracji tych działań jest niewielka poprawa stanu środowiska przyrodniczego miasta Sosnowca.

Przedstawiony przykład prezentuje możliwości zastosowania numerycznej mapy sozologicznej w sali 1: 50 000 jako narzędzia badania środowiska przyrodniczego oraz podstawowego źródła informacji o jego stanie. Przestrzenna dyferencjacja środowiska przyrodniczego i społeczno-gospodarczego, przyjęta za tło badawcze, znalazła bezpośrednie odzwierciedlenie w ocenie stanu środowiska, uzyskanej w wyniku przeprowadzonej procedury. Jego niekorzystny stan jest wprost proporcjonalny do stopnia urbanizacji, uprzemysłowienia i wielofunkcyjności badanego obszaru. Uzyskanie takich wyników nie jest zaskakujące, ale jednocześnie potwierdza poprawność, skuteczność i rzetelność prezentowanej metody diagnozowania stanu środowiska przyrodniczego. Za osiągnięcie niniejszej pracy uznać można wielowymiarowość przeprowadzonej analizy, wyrażoną 63 wskaźnikami diagnostycznymi. Ich liczba oraz wartość diagnostyczna, potwierdzona uzyskanymi wynikami, pozwala uznać numeryczną mapę sozologiczną za rzetelne źródło informacji o stanie środowiska, a przyjęte rozwiązania metodyczne za propozycje rozwiązania problematyki syntetycznych badań nad jakością środowiska przyrodniczego.

Stan środowiska przyrodniczego a zachorowalność na choroby cywilizacyjne

Prezentowaną w niniejszym artykule metodę oceny jakości środowiska przyrodniczego wykorzystano również w badaniach nad wpływem stanu środowiska przyrodniczego na zachorowalność na wybrane choroby cywilizacyjne. Obszar badań stanowiło miasto Poznań (w granicach administracyjnych) – jako przykład terenu o wysokim stopniu przekształceń antropogenicznych, którego obszar został podzielony na mniejsze jednostki terytorialne. Podstawą do wyznaczenia jednostek przestrzennych był podział obszaru Poznania zawarty w ustaleniach generalnych do Miejscowego Planu Ogólnego Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Poznania. Na tej podstawie wyznaczono trzy strefy, a w ich ramach, uwzględniając założenia urbanistyczne oraz strukturę przestrzenną miasta, mniejsze jednostki – podstrefy (oznaczone symbolami od Ia do IIId), stanowiące pola podstawowe oceny.

Zasadniczą część badań stanowiła diagnoza stanu środowiska, przeprowadzona w jednostkach przestrzennych miasta Poznania (tab. 5). Oceny stanu środowiska w wyznaczonych jednostkach przestrzennych (podstrefach) Poznania dokonano zgodnie z założeniami metodycznymi, które zostały zawarte w niniejszym artykule.

Kolejnym etapem badań była ocena poziomu zachorowalności mieszkańców miasta Poznania na wybrane choroby cywilizacyjne w latach 1989-1998.

Do przedstawienia sytuacji zdrowotnej mieszkańców miasta Poznania posłużono się negatywnymi, pośrednimi miernikami zdrowia, które charakteryzują zdrowie nie wprost, ale poprzez liczbę oraz rodzaj zachorowań; takim miernikiem jest współczynnik zachorowalności.

Do analizy zachorowalności wybrano następujące choroby cywilizacyjne:

- pierwotne nowotwory najczęstszych umiejscowień,
- choroby układu oddechowego,
- choroby układu krążenia.

Wartości współczynników (tab. 6) wyznaczano (w każdej z jednostek przestrzennych Poznania) dla dwóch grup wiekowych: produkcyjnej (ludność w wieku od 20 do 59 lat) i poprodukcyjnej (powyżej 60 lat).

Tabela 5. Syntetyczne wskaźniki degradacji, walorów i stanu środowiska przyrodniczego dla poszczególnych jednostek przestrzennych.
Table 5. Synthetic indices of degradation, indices for environmental values and an index of the state of the natural environment calculated for particular spatial units.

	Wskaźnik degradacji atmosfery	Wskaźnik degradacji litosfery	Wskaźnik degradacji hydrosfery	Wskaźnik infrastruktury	Wskaźnik degradacji środowiska przyrodniczego	Wskaźnik walorów fitosfery	Wskaźnik obszarów chronionych	Wskaźnik walorów hydrosfery	Wskaźnik walorów środowiska przyrodniczego	Wskaźnik stanu środowiska przyrodniczego
Ia	0,4237	0,7196	0,1710	0,2500	0,3911	0,1223	0,2500	0,1107	0,1610	0,2760
Ib	0,3241	0,7214	0,0000	0,4956	0,3853	0,4558	0,0978	0,1445	0,2327	0,3090
IIa	0,6179	0,7082	0,3083	0,5566	0,5477	0,1783	0,1387	0,0033	0,1068	0,3273
IIb	0,5753	0,4222	0,2743	0,5288	0,4501	0,1254	0,1250	0,0666	0,1056	0,2779
IIc	0,4050	0,5837	0,4484	0,6063	0,5108	0,3777	0,2753	0,0000	0,2177	0,3643
IIIa	0,9982	0,7781	0,6150	0,6850	0,7691	0,1905	0,4715	0,3719	0,3446	0,5568
IIIb	0,8884	0,9201	0,3116	0,8507	0,7427	0,4879	0,5522	0,2080	0,4160	0,5794
IIIc	0,9548	0,6141	0,4191	0,8304	0,7046	0,6723	0,1355	0,4333	0,4137	0,5591
IIId	0,9714	0,9208	0,3395	0,7261	0,7395	0,4030	0,1045	0,4215	0,3096	0,5245

Źródło (Source): Obliczenia własne

Tabela 6. Średnie współczynniki zachorowalności na wybrane choroby cywilizacyjne w poszczególnych jednostkach przestrzennych
Table 6. The mean incidence rates of the particular civilisation-related diseases calculated for particular spatial units.

	Współczynniki zachorowalności na nowotwory pierwotnych umiejscowień		Współczynniki zachorowalności na choroby układu oddechowego		Współczynniki zachorowalności na choroby układu krążenia	
jednostki przestrzenne	20-59 lat	pow. 60 lat	20-59 lat	pow. 60 lat	20-59 lat	pow. 60 lat
Ia	1,7488	10,206	2,9332	4,0869	0,7344	3,1497
Ib	1,6103	9,2673	2,9294	4,3764	0,7703	2,7668
IIa	1,4800	9,6640	2,5045	3,7963	0,6875	3,5270
IIb	1,6815	9,3169	1,9992	3,7633	0,8492	3,6409
IIc	1,6117	9,4118	2,8227	4,3927	0,6890	3,3141
IIIa	0,9954	8,6505	2,0674	4,1522	0,7657	2,4716
IIIb	1,2706	7,4346	1,5381	4,4118	0,4618	2,7428
IIIc	1,2328	7,4387	2,2976	4,3111	0,7205	2,8982
IIId	1,1364	8,2031	1,9176	2,9297	0,4058	3,3482

Źródło (Source): Obliczenia własne

Aby odpowiedzieć na pytanie, czy zgromadzone dane potwierdzają istnienie zależności między badanymi zmiennymi (wskaźnikami opisującymi stan środowiska a współczynnikami zachorowalności) i czy jest to silna zależność, obliczono współczynnik korelacji liniowej Pearsona (tab. 7), odzwierciedlający stopień współzależności liniowej pomiędzy dwoma zbiorami danych.

Na podstawie analizy współczynników korelacji zamieszczonych w tabeli, stwierdzono, że ich większość (z nielicznymi wyjątkami, które są nieistotne statystycznie) jest ujemna, czyli małe wartości w jednym zbiorze odpowiadają dużym wartościom w drugim zbiorze, inaczej mówiąc, im wyższy syntetyczny wskaźnik dotyczący środowiska (świadczący o lepszej sytuacji w środowisku), tym niższy współczynnik zachorowalności, i odwrotnie, im niższy syntetyczny wskaźnik dotyczący środowiska (świadczący o gorszej sytuacji w środowisku), tym wyższy współczynnik zachorowalności. Ujemna korelacja świadczy o odwrotnie proporcjonalnej zależności pomiędzy wskaźnikami środowiska a współczynnikami zachorowalności.

Około 30% obliczonych współczynników korelacji jest istotnych statystycznie na poziomie istotności α=0,05, a wśród nich prawie połowa na poziomie istotności α=0,01.

Otrzymane wyniki wskazują, że:

- Najwięcej istotnych współczynników korelacji (13 spośród 20 obliczonych) występuje w zbiorze pomiędzy wskaźnikami dotyczącymi jakości środowiska a współczynnikami zachorowalności na choroby nowotworowe.
- Najmniej istotnych współczynników korelacji (2 spośród 20 obliczonych) występuje w zbiorze pomiędzy wskaźnikami dotyczącymi jakości środowiska przyrodniczego a współczynnikami zachorowalności na choroby układu krążenia.

Zaprezentowane wyniki potwierdzają tezę głoszoną w literaturze medycznej, iż ryzyko zachorowania na choroby układu krążenia związane jest w większym stopniu z małą aktywnością fizyczną, niewłaściwą dietą, stresem, paleniem papierosów niż z zanieczyszczeniem środowiska, natomiast w przypadku chorób nowotworowych czynniki ryzyka, zwłaszcza w przypadku niektórych umiejscowień, nie są do końca poznane, dlatego znaczenie stanu środowiska w etiologii tych chorób nie powinno być marginalizowane, szczególnie w świetle przeprowadzonych badań.

Uzyskane wyniki nie dały jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu jakość środowiska wpływa na zdrowie człowieka, pozwoliły natomiast na wskazanie zarówno siły powiązań pomiędzy badanymi zbiorami zmiennych, jak również istotnych zależności pomiędzy nimi. Jest to niewątpliwy asumpt do dalszych, bardziej szczegółowych badań, w których wykorzystanie technik GIS, umożliwiających śledzenie zmienności zjawisk w czasie, jak również ze względu na aspekt przestrzenny badań, wydaje się w obecnych czasach koniecznością.

Tabela 7. Współczynniki korelacji Pearsona syntetycznych wskaźników jakości środowiska przyrodniczego i współczynników zachorowalności na wybrane choroby cywilizacyjne.
Table 7. The Pearson's correlation coefficients between the synthetic indices of the quality of the natural environment and the incidence rates of the particular civilisation-related diseases.

	Współczynniki zachorowalności na nowotwory pierwotnych umiejscowień		Współczynniki zachorowalności na choroby układu oddechowego		Współczynniki zachorowalności na choroby układu krążenia	
	20-59 lat	pow. 60 lat	20-59 lat	pow. 60 lat	20-59 lat	pow. 60 lat
Syntetyczne wskaźniki degradacji atmosfery	* -0,9253	-0,7938	-0,7963	-0,3084	-0,4836	-0,3412
Syntetyczne wskaźniki degradacji litosfery	-0,5790	-0,4032	-0,3534	-0,2215	* -0,8070	-0,4627
Syntetyczne wskaźniki degradacji hydrosfery	-0,6636	-0,3636	-0,4172	-0,0279	-0,0878	-0,1826
Syntetyczne wskaźniki infrastruktury	-0,7716	* -0,9332	-0,7237	0,0115	-0,5175	-0,3314
Syntetyczne wskaźniki degradacji środowiska przyrodniczego	* -0,9525	* -0,8171	-0,7586	-0,1923	-0,5872	-0,4107
Syntetyczne wskaźniki walorów fitosfery	-0,3592	-0,7658	-0,1513	0,2710	-0,3912	-0,3903
Syntetyczne wskaźniki obszarów chronionych	-0,3905	-0,3158	-0,4352	0,4447	-0,2421	-0,6000
Syntetyczne wskaźniki walorów hydrosfery	* -0,8249	-0,7348	-0,4734	-0,2556	-0,3652	-0,5236
Syntetyczne wskaźniki walorów środowiska przyrodniczego	-0,7638	* -0,9006	-0,5069	0,2266	-0,4925	-0,7333
Syntetyczne wskaźniki stanu środowiska przyrodniczego	* -0,9197	* -0,9016	-0,6862	-0,0111	-0,5770	-0,5816

Źródło (Source): Obliczenia własne

- współczynniki korelacji istotne na poziomie α = 0,05

* - współczynniki korelacji istotne na poziomie α = 0,01

Bibliografia

Berry J. K., 1987, *Fundamental operations in computer-assisted map analysis*, Int. Journal of Geographical Information Systems, vol. 1, no. 2.

Borys T., 1978, *Metody normowania cech w statystycznych badaniach porównawczych*, Przegląd Statystyczny, t. XXV, z. 2, s. 227 –240, Warszawa.

Gaździcki J., 1990, *Systemy informacji przestrzennej*, PPWK, Warszawa.

Janikowski R., 1987, *Reguła tworzenia oceny całościowej*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Architektura, z. 4, nr 869.

Strahl D., 1978, *Propozycja konstrukcji miary syntetycznej*, [w:] Przegląd Statystyczny t. XXV, z. 2, s. 205 – 215, Warszawa.

Tomlin C. D., 1989, *Geographical Information Systems*, Prentice Hall.

Urbański J., 1997, *Zrozumieć GIS. Analiza informacji przestrzennej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Summary

A methodological proposal is put forward for the solution of problems involved in synthetic environmental studies which is based on a system of indicators and on synthetic measures of the state of the environment derived from them. The source material employed is a digital sozological map at a scale of 1 : 50,000 providing a wealth of information about the state of the natural environment and fulfilling basic GIS functions. Its content is presented at six information levels (the protection of the environment and its resources, its susceptibility to degradation, environmental degradation, reclamation, wasteland) which are made up of almost 60 thematic layers. Objects and phenomena presented in the particular layers have links to a database, checked and updated to include quantitative characteristics obtained largely from cartometric measurements. On the basis of this information system, cartographic-statistical indicators (measures, detailed features) were developed which characterise the level of pollution of and risk to the particular components of the natural environment (features undesirable from the point of view of the phenomenon studied) and its potential (features which enhance the value of the phenomenon).

The diagnostic indicators of the state of the natural environment were used to construct a synthetic measure of the pollution and risk levels as well as a synthetic value of the potential. Detailed features were organised into a hierarchical three-level system. The lowest includes detailed measures which are grouped at the second level into aggregate features characterising the level of pollution of and risk to the particular components of the natural environment: the atmosphere, lithosphere, pedosphere, hydrosphere, phytosphere, and anthroposphere, as well as the potential value, e.g., within the hydrosphere. The highest aggregation level is the pollution of the natural environment of the unit under study and the risks it is exposed to, as well as the value of the potential accumulated in it. These factors make up the synthetic indicator of the state of the environment.

On the basis of this synthetic indicator, a classification was carried out to distinguish groups of areas uniform as to the state of their natural environments. It was used to identify and characterise the most threatened areas as well as reference areas with the best synthetic measures of the state of their natural environments.

BEATA HEJMANOWSKA, EWA GŁOWIENKA[1]

WSTĘPNE WYNIKI POMIARÓW SPEKTROMETRYCZNYCH I KLASYFIKACJI OBRAZÓW HIPERSPEKTRALNYCH REKULTYWOWAMEGO OBSZARU TARNOBRZESKIEGO ZAGŁĘBIA SIARKOWEGO

Słowa kluczowe:

teledetekcja, pomiary hiperspektralne, zanieczyszczenie gruntów siarką, DAIS

Abstrakt

Przedmiotem badań, których wyniki zaprezentowano w niniejszej publikacji są dane o wysokiej rozdzielczości spektralnej, tzw. dane hiperspektralne.

W ramach niniejszej publikacji zaprezentowano wstępne wyniki badań prowadzonych w ramach projektu UE, HPRI-CT-1999-00075: „Hysens – DAIS/ROSIS Imaging Spectrometrs at DLR", podprojekt: HS2002-PL4, „Airborne spectrometry for abandoned mine site classification and environmental monitoring at the Machów sulphur mine district in Poland". Przedstawiono wyniki pomiarów spektrometrycznych wzorców referencyjnych: mieszanek piasku i siarki oraz opisano technologię przetwarzania zobrazowań hiperspektralnych wykorzystując oprogramowanie ENVI (Environment for Visualising Images).

Prace w ramach projektu są częściowo finansowane przez projekt KBN nr: 5T12E00525.

INITIAL RESULTS OF FIELD SPECTROMETRY MEASUREMENTS AND HYOERSPECTRAL IMAGES CLASSIFICATION OF ABANDONED SULPHUR MINE AERA NEAR TARNOBRZEG

Key words:

remote Sensing, hyperspectral data, spectral measurements, soil contamination of sulphur, DAIS

Abstract

In the paper results of hyperspectral/multispectral data processing: spectral laboratory measurements and DAIS images processing are presented. A project: „Airborne spectrometry for abandoned mine site classification and environmental monitoring at the Machów sulphur mine district in Poland", HS2002-PL4 was carried out in 2002. The project is a part of 5th Program of UE HPRI-CT-1999-00075: „HySens - DAIS / ROSIS Imaging Spectrometers at

[1]Akademia Górniczo-Hutnicza, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej, Kraków

DLR". The project was prepared with the cooperation between AGH - University of Science and Technology in Cracow (Poland) and Technical University of Calusthal (Germany).

Airborne hyperspectral images from scanners: DAIS 7915 were recorded. Research activities were concentrated on sulphur mine district in southern Poland, in Jeziorko. Sulphur pollutions caused the soil acidification. Degradated area covers about 1700 ha. For Jeziorko region there is no up-to-date maps of the reclamation stage. In this case any remote sensing data could help of the preparation the inventory maps.

Knowledge of soil spectral characteristic changes, caused by its pollution, would allow to join remote sensing methods in soil degradation monitoring.

1. WSTĘP

Zdalna rejestracja powierzchni Ziemi staje się coraz bardziej atrakcyjna ze względu na zwiększającą się rozdzielczość przestrzenną, spektralną, radiometryczną i temporalną. Wysokorozdzielcze, w sensie spektralnym, dane teledetekcyjne, nazywane hiperspektralnymi mogą być pozyskiwane za pomocą obrazujących i nieobrazujących spektrometrów. Spektrometry nieobrazujące (do badań zarówno polowych, jak i laboratoryjnych) produkowane przez różne firmy, najbardziej znane: Analytical Spectral Devices Inc. (ASD) i Geophysical & Environmental Research Corp. (GER), pozwalają na pomiar punktowy. Wyniki pomiarów mogą być prezentowane jako wykres zależności współczynnika odbicia lub emisyjności od długości fali. Zakres spektralny jest bardzo gęsto próbkowany z rozdzielczością 0.01-0.001 μm. Jednokrotny pomiar zawiera więc od kilkuset do kilku tysięcy wartości. Drugą grupą są spektrometry obrazujące, w tym najbardziej znany amerykański spektrometr: 224 kanałowy AVIRIS - *Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer* [http://aviris.jpl.nasa.gov/] pracujący w kanałach: widzialnym, bliskiej i średniej podczerwieni (*VNIR – Visible and Near Infrared, SWIR Short Wave Infrared*). Przykładem europejskiego obrazującego spektrometru hiperspektralnego jest DAIS *Digital Airborne Imaging Spectrometer* 7915 [http://www.op.dlr.de/dais/dais.htm], 79 kanałowy spektrometr lotniczy pracujący w zakresie: 0.4 -13 μm (VNIR, SWIR i TIR - *Thermal Infrared*).

Spektralna rozdzielczość spektrometrów obrazujących jest kilkakrotnie mniejsza od rozdzielczości spektrometrów nieobrazujących.

Celem przeprowadzonych prac, których wyniki zaprezentowano w niniejszym artykule, było zbadanie potencjału informacyjnego danych hiperspektralnych oraz przetestowanie techniki ich przetwarzania. Przedmiotem badań było zanieczyszczenie gruntu siarką w obrębie wybranego obszaru na terenie byłej kopalni siarki w Jeziórku. W pierwszej części artykułu zamieszczono wyniki spektrometrycznych badań laboratoryjnych mieszanki piasku i siarki w celu przeanalizowania wpływu różnej zawartości siarki na odpowiedź spektralną gruntu. Zakres spektralny obejmował unikalnie szeroki przedział fal: 0.4-14 μm. Wymagało to wykorzystania 2 spektrometrów: ASD (0.4-2 μm) dostępnego w ramach współpracy z Technicznym Uniwersytetem w Clausthal w Niemczech i własnego (AGH) spektrometru firmy Design&Prototypes (2-14 μm), [3,4]. W drugiej części artykułu omówiono metodykę przetwarzania zobrazowań hiperspektralnych wykorzystują możliwości oprogramowania ENVI (*Environment for Visualizing Images*) firmy RSI (*Research System Inc.* [http://www.rsinc.com/] specjalnie dedykowanego dla obrazów hiperspektralnych.

2. OPIS OBSZARU BADAŃ [1,5]

Złoża siarki powstały w wyniku mikrobiologicznych procesów utleniania siarkowodoru oraz jako produkt rozkładu siarczanów. W Polsce złoża siarki rodzimej znajdują się w północnej części zapadliska przedkarpackiego w rejonie staszowskim, tarnobrzeskim i lubaczowskim. Tarnobrzeskie złoże siarki jest największym dotychczas poznanym i udokumentowanym złożem na świecie. Złoża siarki rodzimej znajdują się w mioceńskich pokładach wapieni pogipsowych.

Złoże ma formę pokładu o grubości od 10 do 13 m. Nad serią siarczanową występują iły sarmatu, w spągu zaś piaski baranowskie i iły tortońskie. Zawartość siarki w złożu wynosi średnio 24%. Wśród domieszek występuje gips, kwarc, tlenki glinu, tytan i siarczany strontu oraz ślady bituminów. Płytsze części złoża do głębokości 120m są eksploatowane odkrywkowo (Machów), natomiast głębsze metodą otworową (Jeziórko)[5].

Obszar górniczy siarki Machów/Jeziórko obejmuje 3 kopalnie: Machów – kopalnia odkrywkowa, Jeziórko i Grzybów – kopalnie otworowe. W 1980 roku całkowita produkcja siarki przekraczała 5Mt, a Jeziórko było największą na świecie tego typu kopalnią. W 1996 roku produkcja została zatrzymana z powodu spadku cen siarki. Zdegradowany obszar po eksploatacji siarki obejmuje ponad 1700 ha. Koszty rekultywacji wahają się w granicach 20 000 – 50 000 PLN/ha. Zanieczyszczenie siarką powoduje zakwaszenie gleby. Ogólnie rekultywacja polega na usunięciu bardzo zanieczyszczonej warstwy gruntu i zdeponowanie jej np. na obszarze byłej kopalni odkrywkowej w Machowie, a potem neutralizacji gruntu poprzez wapnowanie. Innym z następstw eksploatacji siarki jest zmiana stosunków wodnych i związane z tym deformacje terenu [1].

Przedmiotem badań, prowadzonych w ramach projektu, był obszar Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego (Rys. 1). Wstępna faza projektu, z której wyniki są prezentowane w niniejszym artykule, obejmowała prace związane z opracowaniem sposobu przetwarzania danych hiperspektralnych w taki sposób, żeby możliwe było porównanie danych zarejestrowanych z pokładu samolotu z naziemnymi pomiarami spektrometrycznymi. Do tego celu wybrano fragment zobrazowania obejmujący obszar dawnej kopalni w Piasecznie, na którym znajdują się dwa charakterystyczne obiekty: zbiornik wodny i duży obszar piaszczysty (pozostałość po wyrobisku) (Rys. 5).

3. METODYKA

Prace badawcze dotyczyły dwóch zagadnień:

- laboratoryjnych pomiarów spektrometrycznych preparowanych prób gruntowych,
- testowania standardowego przetwarzania danych hiperspektralnych w programie ENVI.

3.1. Pomiary spektrometryczne

Celem pomiarów spektrometrycznych było zbadanie wpływu zanieczyszczenia gruntu siarką na jego odpowiedź spektralną. W celu wyznaczenia wzorcowych charakterystyk spektralnych przygotowanych zostało 7 wzorców o następującym składzie:

Próbka 1	-	**0 % siarki**	100% piasku
Próbka 2	-	**100 % siarki**	0% piasku
Próbka 3	-	**50 % siarki**	50% piasku
Próbka 4	-	**25 % siarki**	75% piasku
Próbka 5	-	**10 % siarki**	90% piasku
Próbka 6	-	**5 % siarki**	95% piasku
Próbka 7	-	**2 % siarki**	98% piasku

Wszystkie próbki pomierzone zostały w warunkach laboratoryjnych, w dwóch przedziałach spektralnych 0,4 – 2,5 μm oraz 2-14 μm.

Szczegółowa metodyka pomiaru spektrometrycznego znajduje się w następujących publikacjach: [2, 3, 4].

3.2. Przetwarzanie obrazów hiperspektralnych

Do analizy wykorzystane zostało zobrazowanie DAIS zarejestrowane 4 sierpnia 2002 w 79 kanałach w zakresie spektralnym 0,4-13ẽm. Szczegółowe zakresy długości fal i szerokości przedziałów spektralnych rejestrowanych w poszczególnych kanałach spektrometru DAIS są dostępne na stronie internetowej [http://www.op.dlr.de/dais/dais-wtb.htm]

W celu przetestowania procedur kalibracji i transformacji zobrazowań hiperspektarlnych, dostępnych w programie ENVI, wybrano obszar testowy w okolicy kopani Jeziorko przyjmując dwa obiekty wzorcowe wodę i piasek (Rys. 5).

3.2.1. Standardowe przetwarzanie obrazów hiperspektralnych w ENVI

W ENVI jest możliwość korzystania z systemu wspomagania procesu przetwarzania danych hiperspektralnych. Poniżej opisano krok po kroku przetwarzanie

obrazów zgodnie tym systemem wspomagania. W związku z tym, że metodyka ta jest w pewnym sensie standardem przetwarzania danych hiperspektralnych ważne jest szczegółowe przeanalizowanie zarówno wykorzystywanych algorytmów obliczeniowych jak i postaci danych wyjściowych.

3.2.1.1. MNF- *Minimum Noise Fraction*

Metoda *Minimum Noise Fraction* (MNF) jest wykorzystywana w programie ENVI do analizy wzajemnej korelacji obrazów oraz usuwania zakłóceń i szumów, co jest szczególnie istotne, kiedy przedmiotem badań są dziesiątki, czy setki kanałów. Funkcja ta umożliwia identyfikację szumów, a następnie klasyfikację kanałów ze względu na ich przydatność do dalszego przetwarzania: począwszy od obrazów zawierających najwięcej informacji spektralnej do obrazów silnie zakłóconych przez szumy. Po transformacji MNF uzyskuje się kilka kanałów, tzw. czystych, nieskorelowanych ze sobą i pozostałe kanały, zawierające główne zakłócenia.

3.2.1.2. PPI – *Pixel Purity Index*

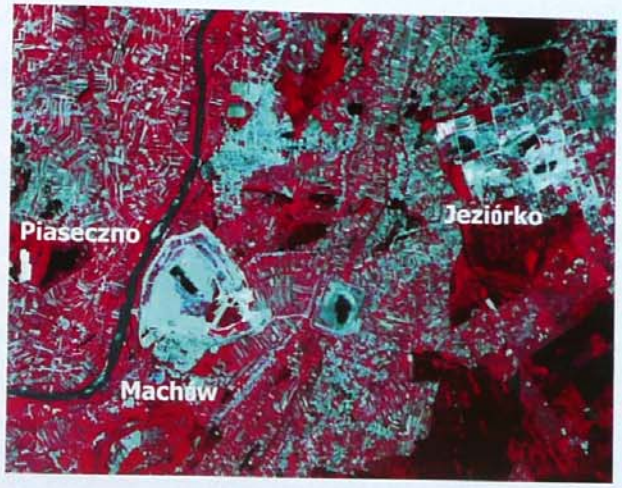
Zasada algorytmu *Pixel Purity Index* (PPI) oparta jest na wyszukiwaniu, ze zbioru wszystkich pikseli zobrazowania hiperspektralnego, spektralnie czystych pikseli (tzw. *endmembers*). Algorytm generuje odpowiednio dużą liczbę niezależnych n-wymiarowych wektorów (n - liczba kanałów spektralnych), na które odwzorowywane zostają piksele przetwarzanego zobrazowania (Rys.2 A). Krotność, z jaką położenie danego piksela przestrzeni spektralnej zostało zarejestrowane na wektorze jako ekstremalne, określa jego *Pixel Purity Index (PPI)*. Ostateczna liczba wyselekcjonowanych pikseli zależy od przyjętego progu wartości, dla którego piksele uważane są za ekstremalnie położone. Dokładność całej operacji zależy od liczby przeprowadzonych iteracji. W zależności od liczby pikseli, liczby wektorów oraz od rozdzielczości spektralnej powinna ona wynosić od kilku do kilkudziesięciu tysięcy.

3.2.1.3. SAM – *Spectral Angle Mapping*

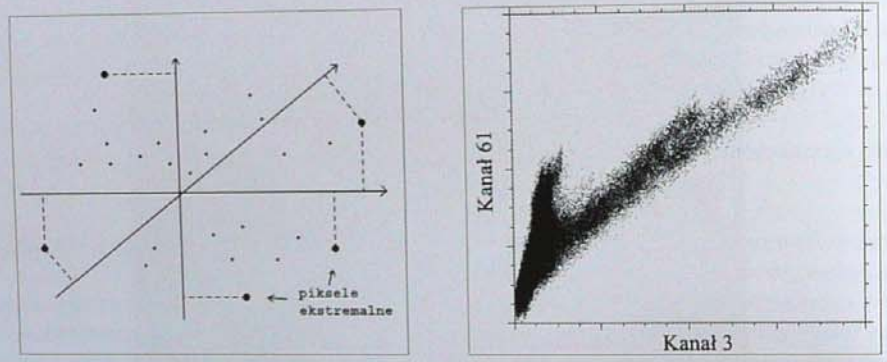
Jedną z metod ekstrakcji informacji ilościowej z obrazu jest *Spectral Angle Mapping (SAM)*. Wymaga ona wykorzystania tzw. danych wzorcowych dla obiektów lub zjawisk, które są przedmiotem analizy. W programie można wyznaczać krzywe spektralne na podstawie danych obrazowych lub wykorzystywać krzywe spektralne z bibliotek odpowiedzi spektralnych dostępnych z różnych źródeł zewnętrznych, także pozyskanych w oparciu o własne pomiary spektrometryczne. Metoda SAM polega na porównaniu wartości spektralnych dla danego piksela z wzorcową krzywą spektralną obiektu. Wartości odpowiedzi spektralnej dla piksela w n-kanałach można potraktować jako współrzędnej wektora w n-wymiarowej przestrzeni. Następnie obliczany jest kąt pomiędzy tymi wektorami, a ostateczna klasyfikacja następuje po porównaniu obliczonego kąta z zadaną wartością graniczną.

3.2.1.4. N-wymiarowa wizualizacja i *Spectral Unmixing*

Krzywa spektralna danego piksela przedstawia zależność współczynnika odbicia czy emisyjności od długości fali. Innym sposobem wizualizacji może być „chmura spektralna" (Rys.2 B), czyli zbiór punktów w przestrzeni wielowymiarowej, przy czym współrzędnymi tych punktów są odpowiedzi spektralne w wybranych kanałach. Wizualizacja przestrzenna jest możliwa po wybraniu dowolnej kombinacji 3 kanałów. Jeżeli dysponujemy zobrazowaniem np. w 79 kanałach spektralnych (DAIS) to każdy piksel takiego zobrazowania można przedstawić jako punkt w 79-wymiarowym układzie współrzędnych. W programie ENVI dostępne jest narzędzie (*n - Dimensional Visualiser*) umożliwiające projekcję danych w dowolnym wymiarze. Technika wizualizacji n-wymiarowej w znacznym stopniu ułatwia selekcję czystych pikseli w przestrzeni spektralnej. Poprzez dowolne obracanie „chmury pikseli" w prosty sposób można wyselekcjonować poszczególne grupy pikseli. Graficznie, w przestrzeni n-wymiarowej, czyste piksele znajdą się na zewnętrznych obszarach „chmury spektralnej". Natomiast wszystkie



Rys. 1. Centralna część Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego – kompozycja barwna z kanałów 3,2,1 satelity Aster.
Fig. 1. Central part of The Tarnobrzeg Sulphur Mine District – Aster 3,2,1 channels – False Color Composit.



a b

Rys. 2. Rzutowanie pikseli ekstremalnych na wektory w n-wymiarowej przestrzeni (A); wizualizacja *„scater plot"* (B) – identyfikac obiektów na obrazie i w przestrzeni spektralnej (1 i 2 kanał MNF).

Fig. 2 Result of PPI algorithm (A); visualization of „scatter plot" (B) – location of the objects on the image and in the spectral sp (band 1 and 2 of MNF).

piksele odpowiadające mieszaninie tych substancji leżą pomiędzy tworzącymi je czystymi substancjami. Związek liniowy mieszaniny składającej się z substancji A i z substancji B tworzących spektrum obrazu C można zapisać w postaci prostego równania: A+B=C.

3.2.1.5. Przetwarzanie zobrazowań hiperspektralnych DAIS

W pierwszym etapie przetwarzania przeprowadzano operację *Minimum Noise Fraction (MNF)*. Proces ten pozwala na taką transformację zobrazowań, iż możliwe jest uszeregowanie kanałów w porządku: od tych, które niosą największą liczbę informacji do kanałów prawie z samymi zakłóceniami. W przypadku analizowanych zobrazowań DAIS prawie cała informacja spektralna została zawarta w pierwszych dwudziestu, uzyskanych po transformacji, obrazach.

Następnym etapem było wyszukanie spektralnie czystych pikseli, a więc użycie algorytmu *Pixel Purity Index*. W celu dalszej selekcji danych, koniecznej do poprawnej interpretacji i analiz w n-wymiarowej przestrzeni, należało przeprowadzić dodatkową selekcję uzyskanych po MNF i PPI danych. Zastosowano tzw. progowanie wyniku PPI, które ogranicza liczbę pikseli do dowolnie podanej wartości. W jego rezultacie otrzymano kilkanaście tysięcy pikseli, które jako „chmura pikseli" zostały wyświetlone w n-wymiarowym narzędziu do wizualizacji programu ENVI i zakwalifikowane do odpowiednich klas. Następnie przyporządkowano je określonym obszarom na obrazie za pomocą funkcji *„scater plot"*. Jest to odpowiednik n-wymiarowego narzędzia wizualizującego, przedstawiającego układ pikseli dla dowolnych dwóch kanałów spektralnych. Poprzez sprzężenie obrazu z jego wykresem można w prosty sposób lokalizować interesujące obiekty, obszary, na obrazie lub w przestrzeni spektralnej.

Czyste spektralnie piksele stanowią dane wejściowe do klasyfikacji SAM *(Spectral Angle Mapping)*. Klasyfikacja SAM wymaga podania wartości kąta granicznego, od którego piksele obrazu będą klasyfikowane do poszczególnych grup. W tym przypadku był to kąt 0,10 radiana.

3.2.2. Analiza porównawcza lotniczych i naziemnych danych hiperspektralnych

W przypadku planowania analiz zobrazowań teledetekcyjnych na poziomie wartości energetycznych zarejestrowanego promieniowania elektromagnetycznego konieczna jest wstępna korekcja zobrazowania teledetekcyjnego. Na wielkość zarejestrowanego promieniowania w znacznej mierze ma wpływ atmosfera. Atmosfera zarówno tłumi promieniowanie elektromagnetyczne pochodzące od obiektu, jak również jest źródłem dodatkowego promieniowania rejestrowanego przez detektor. Istnieją różne metody uwzględniania wpływu atmosfery, które generalnie są związane z 2 zakresami fal elektromagnetycznych: przedziałem fal widzialnych i bliskiej podczerwieni oraz zakresem termalnym.

3.2.2.1. Przedział fal widzialnych i bliskiej podczerwieni - DAISY kanały: 1-72 (0,4 – 2,5 μm)

Dane zarejestrowane za pomocą skanera DAIS, w przedziale fal widzialnych i bliskiej podczerwieni, zostały wstępnie przetworzone w oparciu o 2 metody: *Flat Fieldi* oraz *Internal Average Relative Reflectance (IARR)*.

Metoda *Flat Field* pozawala na szybką korekcję wpływu atmosfery. Metoda ta polega na zdefiniowaniu obszaru o znanej wartości współczynnika odbicia (np. wody), obliczeniu w tym obszarze średnich wartości odpowiedzi spektralnych w poszczególnych kanałach i podzieleniu każdego piksela każdego kanału obrazu przez tę wartość średnią.

Metoda *IARR* polega na normalizcji spektrum dla całego obrazu. Ze wszystkich wartości obrazu obliczana jest wartość średnia dla każdego kanału, a następnie wartość odpowiedzi spektralnej dla każdego piksela jest dzielona przez wartość średnią.

3.2.2.2. Przedział termalny - DAIS kanały: 73 - 79 (4 - 13 μm)

Przedział termalny jest trudniejszy do analizy z uwagi na to, że na wartość rejestrowanego przez detektor promieniowania ma wpływ zarówno rodzaj badanego obiektu jak i jego temperatura. Ilość niewia-

domych do wyznaczenia wynosi n+1, gdzie n to liczba kanałów. Wyznaczane niewiadome to: współczynnik emisyjności dla każdej długości fali (n) (podobnie jak w przypadku fal widzialnych i bliskiej podczerwieni – współczynnik odbicia) oraz jedna wartość temperatury obiektu. Złożona natura promieniowania podczerwonego powoduje komplikacje podczas przetwarzania zobrazowań teledetekcyjnych w tym zakresie. Trudności pojawiają się zarówno na etapie wstępnego przetwarzania obrazów jak i podczas późniejszych transformacji w celu wyznaczenia temperatury obiektu i krzywej emisyjności (zależności współczynnika emisyjności od długości fali).

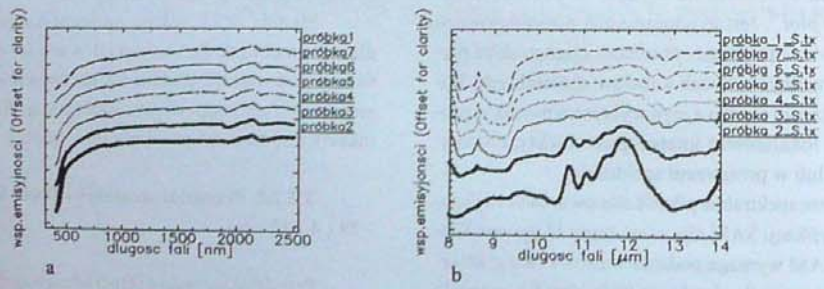
Jedną z nowszych metod korekcji wpływu atmosfery (zaimplementowaną w 4 wersji ENVI) jest metoda - *In-Scene Atmospheric Correction*. W metodzie tej wybierany jest kanał, w którym transmisja atmosfery jest maksymalna (współczynnik transmisji równy w przybliżeniu 1) oraz emisyjność atmosfery jest minimalna (w przybliżeniu równa zero). Następnie zakładając współczynnik emisyjności, o stałej wartości równej np. 0.95, obliczana jest temperatura radiacyjna za pomocą odwrotnej funkcji Planck'a. W każdym innym kanale, zarejestrowane promieniowanie jest zależne od atmosfery, która w tym przypadku nie jest transparentna i ponadto emituje własne promieniowanie. Następnie, dla każdego kanału, tworzony jest wykres, na którym na osi odciętych znajduje się obliczona dla danego piksela temperatura radiacyjna, a na osi rzędnych pomierzona wartość promieniowania dla tego piksela. Na podstawie analizy regresji liniowej określa się kąt nachylenia prostej regresji oraz wartość odciętą dla punktu przecięcia prostej regresji z osią rzędnych. Kąt nachylenia prostej regresji jest interpretowany jako współczynnik transmisji atmosfery w danym kanale, a wartość rzędnej przecięcia z osią Y jako wartość promieniowania atmosfery. Tak określone wartości współczynnika transmisji atmosfery i wartość promieniowania własnego atmosfery zostają uwzględnione podczas wstępnej korekcji obrazów hiperspektralnych.

Następnym etapem, podczas opracowywania zobrazowań w podczerwieni termalnej, jest separacja emisyjności i temperatury. Istnieją generalnie dwie standardowe metody tej separacji: metoda kanału wzorcowego (*Reference Channel*) i metoda normalizacji współczynnika emisyjności (*Emissivity Normalization*).

W metodzie *Reference Channel* zakłada się maksymalną wartość emisyjności dla jednej przyjętej długości fali. Następnie oblicza się temperaturę radiacyjną dla tej długości fali ze wzoru Palnck'a i dalej wykorzystuje się tak obliczoną temperaturę radiacyjną dla wyznaczenia pozostałych wartości emisyjności.

W metodzie *Emissivity Normalization* zakłada się maksymalną wartość współczynnika emisyjności, ale nie przypisuje się jej do jednej długości fali. Przyjmuje się, bowiem maksymalną emisyjność w każdym kanale i w związku z tym obliczanych jest wiele wartości temperatury. Ostatecznie, jako temperaturę wprowadza się do wzoru Planck'a maksymalną wartość temperatury jako uzyskano we wszystkich kanałach. Dla długości fali, dla której wystąpiła maksymalna wartość temperatury kinetycznej, przyjmuje się również maksymalną wartość współczynnika emisyjności. W dalszej kolejności, dla każdego kanału, obliczany jest z równania Planck'a współczynnik emisyjności przy założeniu jednej, wyznaczonej w kroku poprzednim, maksymalnej wartości temperatury kinetycznej.

Termalne kanały analizowanego zobrazowania DAIS zostały poddane korekcji atmosfery za pomocą metody *In-Scene Atmospheric Correction*, a separację emisyjności i temperatury dokonano metodą *Emissivity Normalization*



Rys. 3. Krzywe spektralne wzorców, a) w przedziale 0,4 – 2,5 μm (400 – 2500 nm) współczynnik odbicia [%] , b) w przedziale 8-14 μm współczynnik emisyjności [0-1].

Fig. 3. Spectral curves of the sulphur/sand mixture samples a) spectrum of 0,4 – 2,5 μm (400 – 2500 nm) - reflection coefficient [%] b) spectrum of 8-14 μm – emissivity coefficient [0-1].

4. WYNIKI

4.1. Wynik pomiarów spektrometrycznych

Na poniższym rysunku przedstawiono krzywe spektralne dla wzorców: Rys.3 a) – w przedziale fal widzialnych, bliskiej i średniej podczerwieni (VNIR, SWIR), Rys.3 b) – w przedziale fal termalnych (TIR). Krzywa spektralna dla fal widzialnych i bliskiej podczerwieni przedstawia zależność współczynnika odbicia od długości fali, a dla podczerwieni termalnej zależność współczynnika emisyjności od długości fali.

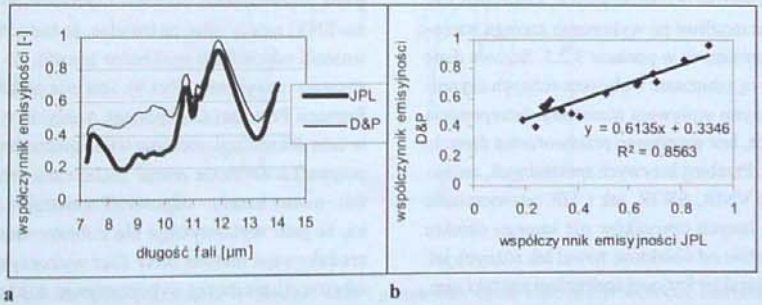
W zakresie fal widzialnych, bliskiej i średniej podczerwieni 0,4 - 2,5 μm interpretacja spektrometryczna jest trudna, gdyż istnieje bardzo niewielkie zróżnicowanie przebiegu krzywych spektralnych. Można jednak zauważyć, iż dla wzorców o dużej zawartości siarki, współczynnik odbicia jest wyższy niż dla próbek z przewagą piasku. Natomiast w podczerwieni termalnej (8-14 μm) widać duże zróżnicowanie odpowiedzi spektralnych dla wszystkich badanych próbek. Na ich podstawie można wyodrębnić piki charakterystyczne zarówno dla siarki, jak i dla piasku (Rys.3b):

- dwa piki charakterystyczne dla piasku w przedziale 8 - 9 μm oraz 12,5 – 13 μm związane z promieniowaniem resztkowym krzemionki [2,6],
- dwa piki charakterystyczne dla siarki w przedziale 10 – 13 μm, których głębokość zmienia się w zależności od ilości siarki w badanej próbce.

Różnice bezwzględne między maksimum i minimum tych pików są na tyle wyraźne, iż można założyć, że dalsze badania pozwolą na znalezienie zależności pomiędzy współczynnikiem emisyjności, a zawartością siarki w badanych gruntach.

4.1.2. Porównanie wyników pomiarów z biblioteką JPL (Jet Propulsion Laboratory)

Otrzymane dla wzorców siarki wyniki porównano z krzywymi spektralnymi z biblioteki JPL (Jet Propulsion Laboratory-California Institute of Technology) [http://asterweb.jpl.nasa.gov] (Rys. 4). Zostały wybrane dane spektralne prób siarki, których granulometria jest zbliżona do granulometrii badanych próbek. Przebieg



Rys. 4. Zależność współczynnika emisyjności od długości fali dla siarki; porównanie danych z JPL i pomiaru laboratoryjnego D&P.

Fig. 4. The emissivity coefficient/wavelength relationship - comparison between data from JPL library for sulphur and results of laboratory spectral measurements of emissivity coefficient of sulphur/sand mixture samples D&P.

obu krzywych jest podobny i pomimo różnicy w zakresie od 8 do 10 μm współczynnik korelacji jest wysoki i wynosi: 0.92.

4.2. Wynik przetwarzania obrazu z DAIS z wykorzystaniem standardowej procedury ENVI

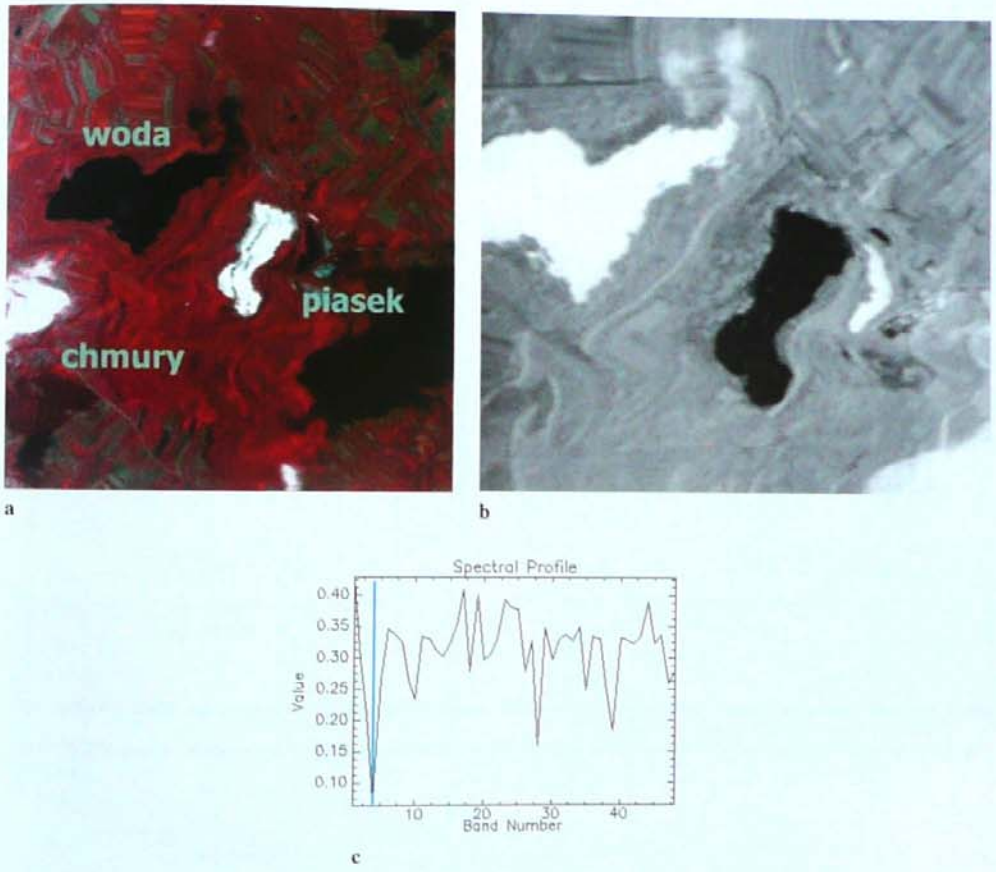
Do testowania wybrano fragment zobrazowania DAIS, na którym znajdują dwa charakterystyczne obiekty, przyjęte jako wzorce: woda i piasek. Przykład tradycyjnej kompozycji w barwach umownych, w której podczerwień przedstawia się w kolorze czerwonym, znajduje się na Rys. 5 A. Zobrazowanie DAIS zostało przetworzone zgodnie z metodyką opisana w punkcie 3.2.2. Wynikiem końcowym, po klasyfikacji metodą SAM, są wyselekcjonowane klasy. W poszczególnych obrazach, reprezentujących poszczególne klasy, wartości dla każdego piksela odpowiadają wartościom kąta pomiędzy wzorcem danej klasy a wektorem zbudowanym w oparciu o odpowiedz spektralną zarejestrowana dla danego piksela. Im mniejsza wartość tego kąta (ciemniejszy kolor na Rys.5 B), tym bardziej dany piksel jest podobny, w sensie spektralnym, do wzorca klasy (piasek) (Rys. 5 C).

4.3. Wynik analizy porównawczej lotniczych i naziemnych danych hiperspektralnych

Wykonywanie analiz porównawczych pomiędzy wartościami promieniowania, zarejestrowanymi za pomocą detektorów skanerów teledetekcyjnych, lotniczych, czy satelitarnych jest możliwe po wykonaniu szeregu wstępnych korekcji, opisanych w punkcie 3.2.3. Surowe dane hiperspektralne są zaburzone wpływem różnych czynników, między innymi wpływem atmosfery. Interpretacja danych surowych, bez wstępnego przetworzenia danych, nie jest możliwa. Przebieg krzywych spektralnych, zarówno w przedziale VNIR, SWIR, jak i TIR odzwierciedla głównie wpływ innych czynników niż samego obiektu (Rys.6). Niezależnie od obiektów, nawet tak różnych jak piasek i woda, charakter krzywej spektralnej jest taki sam, tylko przesunięty względem osi Y. W związku z tym zobrazowania w zakresie VNIR, SWIR i TIR poddano wstępnej korekcji metodą *Flat Field*, uzyskując w wyniku skorygowane krzywe spektralne (Rys 7 A, B, C, D). Po korekcji widoczne są różnice przebiegu krzywych spektralnych dla obu wzorcowych obiektów, włącznie z charakterystycznym pikiem pochodzącym od krzemionki dla ok. 8.5 μm. Kanał termalny, TIR również poddano wstępnej korekcji za pomocą metody *In-Scene Correction*, a następnie procedurze separacji emisyjności i temperatury za pomocą metody: *Emissivity Normalization*. W efekcie transformacji uzyskano zależność współczynnika emisyjności od długości fali dla piasku i wody (Rys. 7 E i F). Następnie porównano uzyskane dla wody i piasku wartości współczynnika emisyjności z danymi z biblioteki JPL. Jak widać na rysunku (Rys.8) przebiegi zależności obu współczynników emisyjności od długości fali są podobne. Kształt krzywej dla wody w obu przypadkach jest bardzo zbliżony w całym zakresie TIR (współczynnik korelacji 0.94). Dla piasku kształt krzywej jest dla długości fali < 8.5 μm bardziej, a dla długości fali > 8.5 μm mniej zbliżony do krzywej z biblioteki JPL (współczynnik korelacji – 0.70).

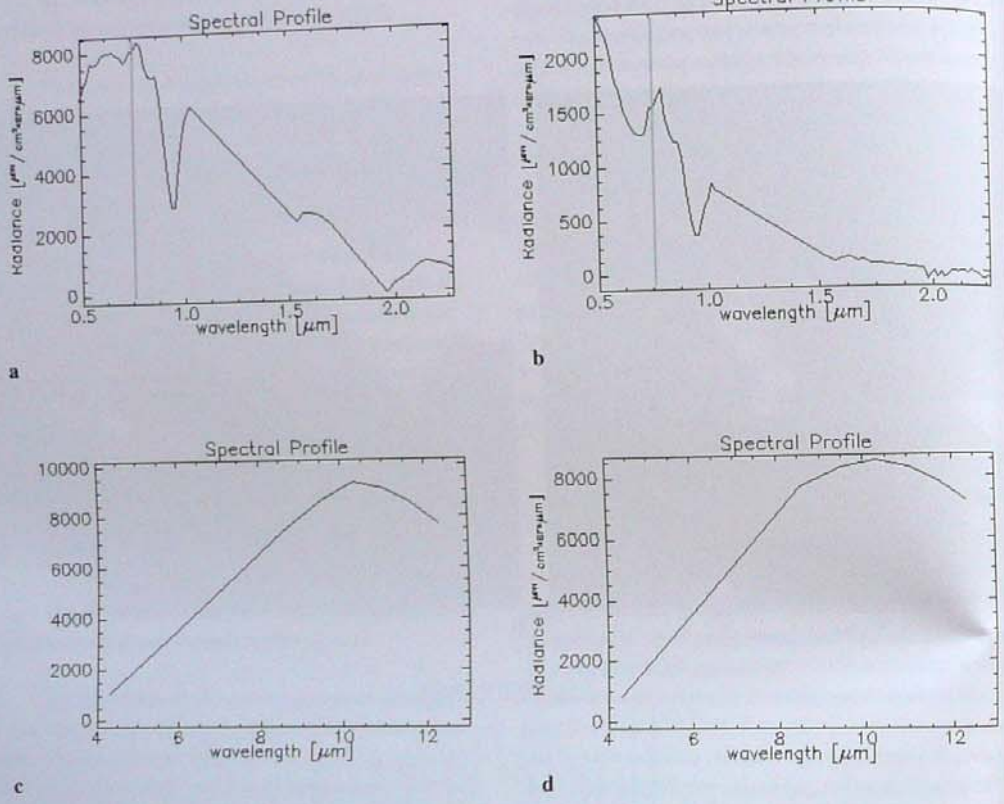
5. DYSKUSJA

Standardowe przetworzenie zobrazowania DAIS, w wyniku którego uzyskano mapę jak na (Rys.5), wykonano zgodnie ze standardem proponowanym w ENVI. Klasyfikację SAM przeprowadzono bez udziału pomierzonych krzywych spektralnych. Wykorzystano wzorce zbudowane na podstawie charakterystyki spektralnej obrazu DAIS i analizy PPI. Korzystając z systemu wspomagania przetwarzania obrazów hiperspektralnych programu ENVI należy mieć na uwadze, że transformacja MNF zmienia odpowiedzi spektralne pikseli, co zostało zilustrowane na rysunku (Rys.9). Jest ona podobna do transformacji Principal Component Analysis wykonywanej w celu dekorelacji obrazów wielospektralnych. W takim przypadku nie może zostać zachowana relacja: długość fali - numer kanału – odpowiedź spektralna. Z tego wynika, że jeśli wykorzystuje się zobrazowania, wstępnie zredukowane metodą MNF (bez wykorzystania funkcji odwrotnej), nie można wykorzystywać do klasyfikacji tych zobrazowań metodą SAM, jako wzorców, pomierzonych lub umieszczonych w bibliotekach krzywych spektralnych.



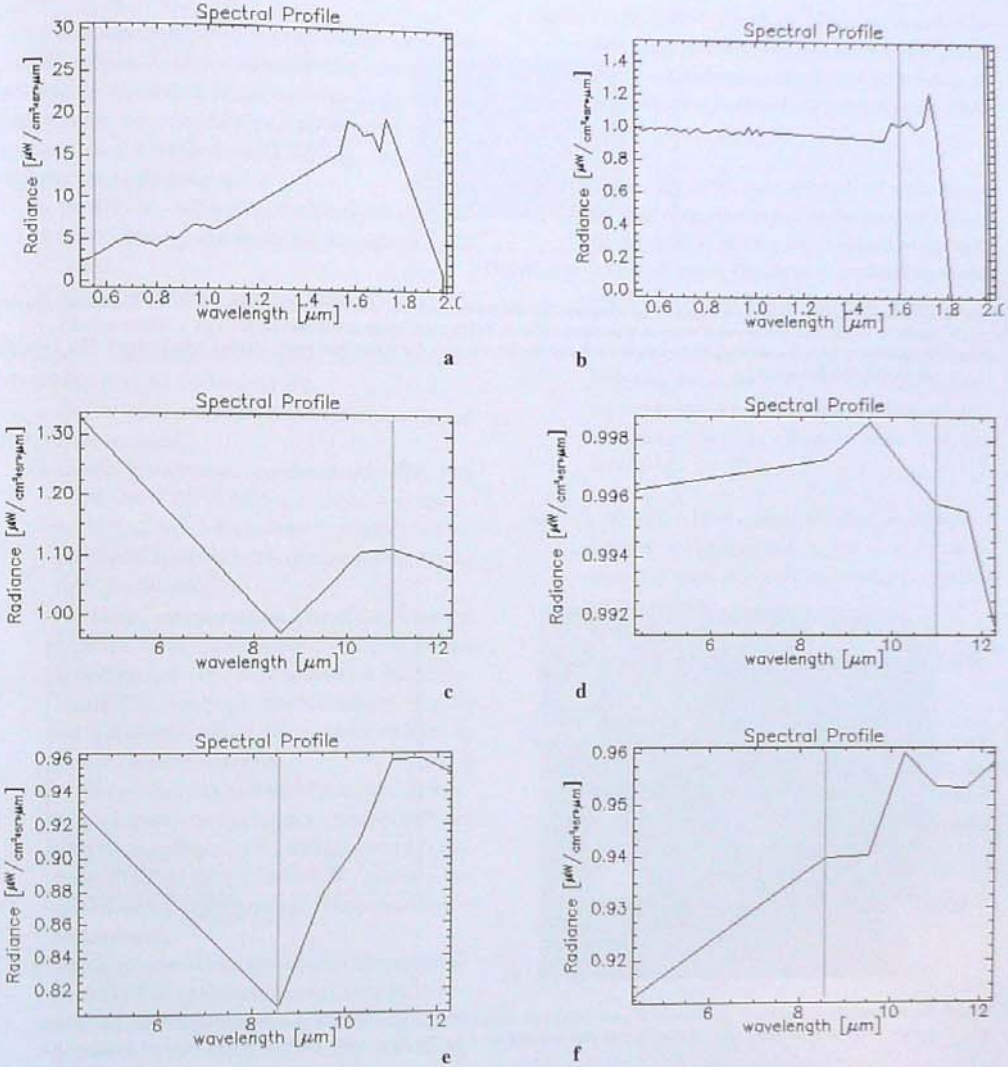
Rys. 5. Fragment obrazu DAIS (A), wzorcowe obiekty: woda i piasek oraz wynik klasyfikacji SAM (B), zależność kąta pomiędzy wzorcami klas a danym pikselem od numeru klasy (C).

Fig. 5. Part of DAIS image (A) reference objects: water and sand; (B) result of SAM classification (C) relationship between angle between reference spectrum and spectral vector for the pixel and class number.



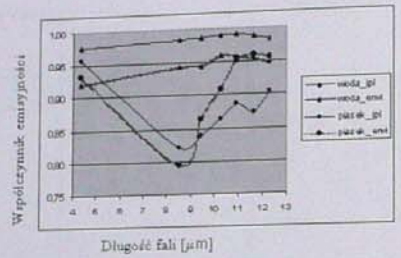
Rys. 6. Zależność zarejestrowanego promieniowania elektromagnetycznego (przed korekcją) od długości fali, VNIR, SWIR (A – pi
sek, B – woda), TIR (C – piasek, D – woda).

Fig. 6. Relationship between detected radiance (before correction) and wavelenth, VNIR, SWIR (A – sand, B – water), TIR (C – sani
D – water).



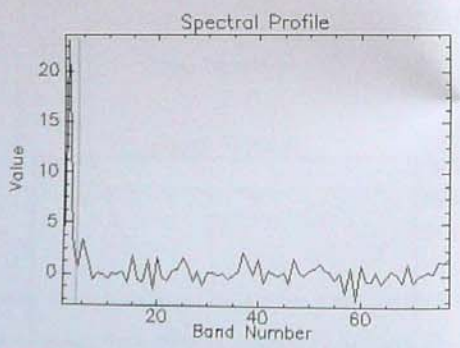
Rys. 7. Zależność promieniowania elektromagnetycznego (po korekcji) od długości fali, VNIR, SWIR – *Flat Field* (A – piasek, B – woda), TIR - *Flat Field* (C – piasek, D – woda), TIR – *In-Scene Correction + Emissivity Normalisation* (E – piasek, F – woda).

Fig. 7. Relationship between radiance (after correction) and wavelength, VNIR, SWIR – *Flat Field* (A – sand, B – water), TIR *Flat Field* – (C – sand, D – water) TIR – *In-Scene Correction + Emissivity Normalisation* (E – sand, F – water).



Rys. 8. Zależność współczynnika emisyjności od długości fali dla wody i piasku; porównanie danych z JPL z wartościami uzyska nymi w wyniku przetwarzania danych hiperspektralnych DAIS za pomocą programu ENVI.
Fig. 8. Relationship between the emissivity coefficient and the wavelength for water and sand; comparison between JPL data an processed DAIS images.

a



b

Rys. 9. Wynik transformacji MNF (A – kanał 4) oraz zależność wartości piksela po transformacji MNF od numeru kanału (B).
Fig. 9. Result of MNF procedure (A – chanel 4) and relationship between the pixel value after MNF and channel number (B).

6. WNIOSKI

Z badań spektrometrycznych mieszanek piasku i siarki wynika, że przedziałem bardziej obiecującym dla detekcji zawartości siarki w gruncie jest przedział podczerwieni termalnej (TIR) niż przedział fal widzialnych i bliskiej podczerwieni (VIS, NIR). Szczególnie interesujące są długości fal:

- ok. 8.7 μm - odpowiadające kanałowi 74 DAIS,
- ok. 11 μm - odpowiadające kanałom 77 i 78 DAIS,
- ok. 12 μm - odpowiadające kanałowi 79 DAIS.

Pomierzona w podczerwieni termalnej krzywa spektralna dla siarki koreluje w dużym stopniu (R=0.92) z danymi z biblioteki JPL

Z testowania programu ENVI można wyciągnąć następujące wnioski:

- standardowa metoda przetwarzania MNF, PPI, SAM jest w ENVI bardzo wydajna, a możliwości wizualizacji n-D znacznie pomagają w wyborze czystych pikseli bez przetwarzania za pomocą funkcji odwrotnej,
- nie należy przeprowadzać klasyfikacji obrazów hiperspektralnych w oparciu o wzorce w postaci krzywych spektralnych pomierzonych spektrometrycznie na wstępnie przetworzonych metodą MNF zobrazowaniach, bez przetworzenia ich za pomocą funkcji odwrotnej,
- w celu porównywania wyników naziemnych pomiarów spektrometrycznych z hiperspektralnymi danymi ze spektrometrów obrazujących umieszczonych na pokładach samolotów i satelitów konieczna jest wstępna korekcja zobrazowań hiperspektarlnych,
- wyniki przetworzenia zobrazowań hiperspektralnych DAIS dla pola testowego pozwalają stwierdzić, że metodyka opisana w punkcie 3.2.3 jest poprawna i może zostać zastosowana w dalszych analizach.

Bibliografia

Gołda T. i in., 1994 – *Problemy likwidacji kopalń i rekultywacji terenów pogórniczych w górnictwie siarki* – Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Współczesne Problemy Ochrony Środowiska w Górnictwie, Krynica

Hejmanowska B., 2003 – *An example of multi/hyperspectral data processing on the basis of the test site in sulphur mining area – Machów/Jeziórko* – Prace Komisji Geodezji i Inżynierii Środowiska PAN, Oddział Kraków, Geodezja 40

Hook S. J., Kahle A. B., 1996 – *The Micro Fourier Transform Interferometer (μ FTIR) A New Field Spectroradiometer for Acquisition of Infrared Data of Natural Surface* – Remote Sens. Environ. 56:172-181

Korb A. R. i in., 1996 – *Portable Fourier transform infrared spectroradiometer for field measurementd of radiance and emissivity* – Applied Optics, 1 April

Osika R., 1970 – *Geologia i surowce mineralne Polski*, praca zbiorowa , W-wa

Reinhackel G., 1999 - *Quantitative Analyse von Braunkohlenabraumkippen mit laboratoriskopischen Infrarot-Messungen (2.5 - 14 μ m) und Fernerkundungsdaten (DAIS 7915/ASTER)* - Scientific Technical Technical Report STR99/05

http://speclab.cr.usgs.gov/index.html – USGS

Summary

In the paper, results of the hyperspectral image processing are presented. Hyperspectral images are available owing to the project: „Airborne spectrometry for abandoned mine site classification and environmental monitoring at the Machów sulphur mine district in Poland", HS2002-PL4 carried out in 2002. The project was a part of 5th Program of UE HPRI-CT-1999-00075: „HySens - DAIS / ROSIS Imaging Spectrometers at DLR" and was prepared with the cooperation between AGH - University of Science and Technology in Cracow (Poland) and Technical University of Calusthal (Germany).

Airborne hyperspectral images from 79 channel's scanner: DAIS 7915 were recorded. Test area was chosen in the sulphur mine district in southern Poland, in Jeziorko. Sulphur pollutions caused the soil acidification. Degradated area covers about 1700 ha. For Jeziorko region there is no up-to-date maps of the reclamation stage. In this case any remote sensing data could help of the preparation the inventory maps.

Knowledge of soil spectral characteristic changes, caused by its pollution, would allow adapt remote sensing methods in soil degradation monitoring.

Researches were concentrated on:

- In-situ spectrometer measurements of laboratory prepared mixture of sand and sulphur.
- Tests of standard hyperspectral image processing in ENVI software.

Reflection and emissivity coefficients of 7 ground mixtures were valuated using 2 spectrometers, working in visible, near, short wave infrared spectrum (VNIR, SWIR) and thermal infrared spectrum (TIR).

Processing of DAIS images was tested using the most popular software for hyperspectral images processing: ENVI. Image processing, dedicated especially to the hyperspectral data requires initial preprocessing of the hyperspectral images. The main aim of the initial preprocessing of the data is transformation of the DN of the raw images to the reflection or emissivity coefficients values. Next, that transformed hyperspectral images can be compared with the spectrometer curves. Two methods: Flat Field and Internal Average Relative Reflectance were tested as the preprocessing methods in VNIR and SWIR. In TIR spectrum - In-Scene Atmospheric Correction method was used as an initial processing. Next, Reference Channel method and Emissivity Normalization method was applied for emissivity and temperature separation from original hyperspectral images.

Spectral curves of the sulphur/sand mixture samples are on the Fig. 3 presented. Characteristic picks of sand in 8.6 mm, and of sulphur in 12 and 13 mm can be noticed.

Relationships between radiance before/after correction and wavelength in VNIR, SWIR and TIR of sand and water are on the Fig. 6 and Fig. 7 presented. Relationship between the emissivity coefficient and the wavelength for water and sand from the library and measured on processed DAIS images is on the Fig. 8 shown.

In the summary, can be stated that the tested hyperspectral images processing are correct and allows comparing in situ spectrometer data with the hyperspectral imagery.

GEOINFORMATICA POLONICA
6 : 2004

STANISŁAW F. JUCHA, JANUSZ KOTLARCZYK, WOJCIECH MASTEJ[1]

CYFROWE MAPY PROGNOZY POTENCJALNYCH SKAŁ ZBIORNIKOWYCH WĘGLOWODORÓW[2]

Słowa kluczowe:

zapadlisko przedkarpackie, skały zbiornikowe, sztuczne sieci neuronowe, rozpoznawanie obrazów, krigingu

Abstrakt

Wykorzystanie geoinformacji zawartej w banku danych o złożach węglowodorów umożliwiło wykonanie cyfrowych map prognozy potencjalnych skał zbiornikowych węglowodorów w części niecki Nidy pogrzebanej pod utworami miocenu, w której zostało odkryte wcześniej kilka złóż węglowodorów. Do przekształcenia wielowymiarowych danych z banku w parametr jednowymiarowy, tj. w prawdopodobieństwo trafienia otworem w skały zbiornikowe (P[**R***]), wykorzystano sieci neuronowe jako niealgorytmiczną metodę rozpoznawania obrazów (klasyfikacja wzorcowa).

Nielosowy model geostatystycznej zmienności obliczonego parametru pozwolił na interpolację danych (kriging punktowy) z otworów na węzły siatki ortogonalnej i wyrysowanie mapy izoliniowej wartości prawdopodobieństwa. Taka prognoza ułatwia zaplanowanie eksploracji otworowej.

Efektywność zastosowanej metody porównano z działaniem jednej z lepszych algorytmicznych metod rozpoznawania obrazów – metody funkcji potencjalnych, wykorzystanej we wcześniejszej publikacji (Kotlarczyk i in. 1999). Obie metody dały podobne rezultaty, chociaż można zauważyć nieco większą efektywność sieci neuronowych.

DIGITAL PROGNOSTIC MAPS OF HYDROCARBON-RESERVOIR ROCKS

Key words:

carpathian Foredeep, hydrocarbon reservoir rocks, artificial neural networks, pattern recognition, kriging

Abstract

Geoinformation contained in the data base for hydrocarbon deposit allowed to obtain digital prognostic maps of hydrocarbon reservoir rocks in the part of the Nida River synclinorium buried under the Miocene strata where several hydrocarbon deposits have been previously discovered. In order to transform multidimensional

[1] Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków

[2] Praca finansowana z działalności statutowej Zakładu Geologii Ogólnej i Matematycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

data from the data base into one-dimensional parameter, i.e. into a probability that a borehole will hit the reservoir rocks (P[**R***]), artificial neural networks were used as non-algorythmic pattern recognition method.

Non-random lateral geostatistical variability model of this parameter allowed to interpolate the data (point kriging) from boreholes to orthogonal grid nodes and, consequently, enabled drawing the isoline map of probability values. Such a prognosis facilitates the planning of future producing wells.

Efectiveness of the applied method was compared (cf. earlier publication: Kotlarczyk *et al.* 1999) with the efectiveness of potential function method which is regarded as one of the best algorythmic methods of pattern recognition. Both methods gave similar results, although the neural networks seem to provide some advantages.

1. Wstęp

Praca prezentuje sposób wizualizacji geoinformacji służących do prognozowania złóż węglowodorów. Podstawę prezentowanej strategii poszukiwania stanowi bank danych, budowany w ciągu ostatnich 30 lat przez pierwszego z autorów we współpracy z wieloma osobami i instytucjami związanymi z przemysłem naftowym. W banku danych zarejestrowano wartości kilkudziesięciu atrybutów, mierzonych bądź wyznaczanych lub obliczanych (np. gradientów niektórych cech) w wielu tysiącach otworów, rozmieszczonych w różnych regionach Polski. Jeden z podzbiorów zawiera informacje z części niecki Nidy pogrzebanej pod utworami miocenu, w której zostało wcześniej odkryte kilka złóż węglowodorów (ryc. 1). Występują one głównie w piaskowcach cenomanu, a w strefach, w których uległy one erozji - w wapieniach najwyższej zachowanej części malmu (Karnkowski 1993). Omawiany podzbiór składa się z 691 otworów. Każdy z tych otworów scharakteryzowany jest wartościami 27 cech – atrybutów skał zbiornikowych. W zespole pierwszego z autorów opracowano własną, oryginalną metodykę kartografii cyfrowej, która pozwoliła na produkcję rozmaitych map cyfrowych, wizualizujących przestrzenny rozkład każdego z atrybutów, a także innych rodzajów map (Jucha 1989, 1992, 1999). Jako przykład zamieszczono cyfrową mapę strukturalną spągu cenomanu (ryc. 2), a także cyfrową mapę rozkładu wartości porowatości skał zbiornikowych omawianych pięter wiekowych w rozpatrywanym obszarze (ryc. 3). Zostało opublikowanych wiele atlasów podobnych map cyfrowych (np. Jucha 1995).

2. Cel i metoda badań oraz materiał badawczy

Zbudowany bank danych stanowi doskonałą podstawę do bardziej zaawansowanego wykorzystania zawartych w nim geoinformacji. M.in. już wcześniej zaproponowano (Kotlarczyk i in. 1999) wykorzystanie wielowymiarowych danych (wektor wybranych 16 cech) do prognozy stref występowania potencjalnych skał zbiornikowych węglowodorów. Prognozowanie to polegało na rozklasyfikowaniu badanych otworów na klasy otworów złożowych i płonnych za pomocą funkcji potencjalnych.

Podjęcie tego typu badań może wydawać się bezprzedmiotowe w sytuacji, kiedy rezultaty wiercenia za ropą są oczywiste. Należy jednak pamiętać, iż w rezultacie stosowania niewłaściwych technologii wiertniczych nie zawsze zostają rozpoznane otwory faktycznie złożowe, a w następstwie tego – nawet całe strefy. W praktyce ocenia się, iż w około 5 – 10% otworów faktycznie złożowych nie rozpoznaje się obecności węglowodorów. Jeśli mierzone w otworach cechy są skorelowane z wystąpieniem złóż (bądź z ich brakiem), wówczas użyte metody wykażą obecność stref występowania potencjalnych skał zbiornikowych i ograniczą efekt błędnych rozpoznań wiertniczych.

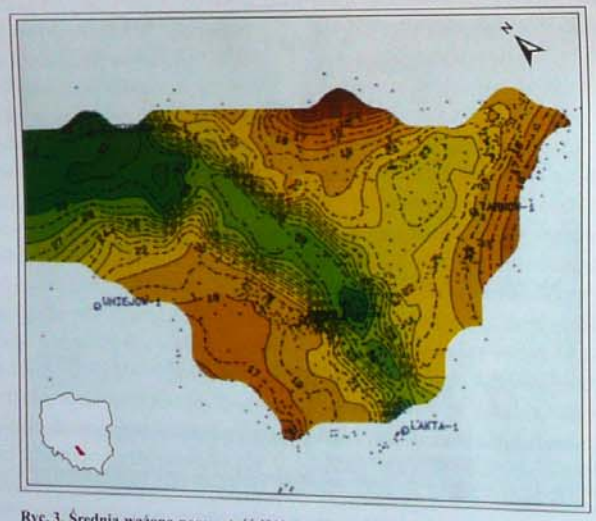
Wspomniane wyżej 16 cech użytych w rozpoznawaniu zostało wyselekcjonowanych z pełnego naboru 27 cech za pomocą wielowymiarowego testu Puri-Sena-Tamury (Puri, Sen 1971; Tamura 1966) jako cechy najsilniej skorelowane z ekonomiczną obecnością węglowodorów (bądź z ich brakiem).

Dokładne omówienie zastosowanych procedur zawarte jest w cytowanej pracy (Kotlarczyk i in. 1999, s. 52-57, 61-65), a skrócony opis wybranego

Ryc. 1. Lokalizacja złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w mezozoiku zapadliska przedkarpackiego na tle rozprzestrzenienia utworów cenomanu (wg Baran U., Jawor E., Jawor W., 1998, uproszczone):
1 – zasięg nasunięcia karpackiego, 2 – północny zasięg osadów mioceńskich pokrywających niezgodnie utwory starsze, 3 – zasięg występowania piaskowców cenomańskich (w strefie między Swarzowem a Jastrząbką przebieg granicy różni się nieco w szczegółach od danych autorów), 4 – złoża gazu w podłożu miocenu, 5 – złoża ropy w podłożu miocenu, 6 – obszar badań.

Fig. 1. Localization of oil and gaś deposits in the Mesozoic sequence of the Carpathian Foredeep referred to distribution of Cenomanian sediments (after Baran U., Jawor E., Jawor W., 1998,simplified):
1 – rangę of the Carpathian overthrust, 2 – northern rangę of Miocene strata discordantly overlapping older rock sequence, 3 – rangę of Cenomanian sandstones (in the area betwecn Swarzów and Jastrząbką, the rangę differs somewhat from the authors' data), 4 – gas deposits in the basement of Miocene strata, 5 – oil deposits in the basement of Miocene strata, 6 – study area.

Ryc. 2. Głębokość spągu cenomanu [m] (wg Jucha, 1995).
Fig. 2. Depth to the base of Cenomanian strata [m] (after Jucha, 1995).



Ryc. 3. Średnia ważona porowatość [%] (wg Jucha, 1995).
Fig. 3. Weighted mean of porosity values [%] (after Jucha, 1995).

wariantu metody funkcji potencjalnych zamieszczono w pracy Kotlarczyka i Masteja (1994, s. 333-334).

Niniejsze opracowanie zawiera wyniki analogicznego prognozowania (klasyfikacji wzorcowej) za pomocą sieci neuronowych (użyto programu Statistica Neural Networks 5.5 PL firmy Statsoft) oraz porównanie efektywności obu metod. Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto następujące założenia. W analogicznych pracach z użyciem metod matematycznych do prospekcji złóż rozróżnia się (np. Harff i in. 1992) tzw. klasy docelowe i klasy predyktorów. W przypadku poszukiwań węglowodorów za pomocą otworów wiertniczych, klasę docelową złożową **R** (ropa i gaz) tworzą wszystkie otwory odwiercone na obszarze poszukiwań, zawierające ekonomiczne zawartości węglowodorów. Odpowiednio klasę niezłożową **W** (woda) stanowią otwory płonne. Oprócz otworów klas **R** i **W** występują otwory o nieznanej przynależności klasowej.

W każdym otworze można zmierzyć wartości cech predykcyjnych (ξ_i) będące realizacją wektora losowego $\Xi = \{\xi_1, \xi_2, ..., \xi_i, ..., \xi_k\}$. Konkretne wartości poszczególnych cech tworzą matematyczną reprezentację otworu.

Dla klas docelowych wyznacza się wzorce spośród otworów o znanej a priori przynależności klasowej. Najczęściej jednak nie mamy pełnej wiedzy (np. błąd rozpoznania wiertniczego) o przynależności otworów wzorcowych do klas docelowych, zatem typuje się je spośród otworów, dla których wątpliwości co do ich przynależności są najmniejsze.

Podczas procedury klasyfikacji każdy otwór (o znanej lub nieznanej przynależności do klasy docelowej) kojarzony jest z jakąś klasą docelową. Błędy klasyfikacji powodują jednak, że nowe klasy utworzone w wyniku klasyfikacji, tzw. klasy predyktorów **R*** i **W***, nie pokrywają się dokładnie z klasami docelowymi **R** i **W**. Przydzielenie otworowi nowej klasy dokonuje się bowiem w oparciu o podobieństwo między cechami opisującymi klasyfikowany otwór a wzorcowymi reprezentacjami klas **R** i **W**. Klasy docelowe i klasy predyktorów pokrywałyby się, gdyby związek między wartościami cech w otworze a obecnością złoża był jednoznaczny. Klasę **R*** nazwano „skałą zbiornikową", ponieważ grupuje ona otwory posiadające podobne wartości cech ξ_i jak otwory wzorcowe dla klasy złożowej **R**. Analogicznie klasę **W*** nazwano „skałą płonną" (otwory posiadające podobne wartości cech ξ_i jak otwory wzorcowe dla klasy niezłożowej **W**).

Dla otworów o znanej a priori przynależności do klas docelowych, tj. dla wzorców lub dla ich części przeznaczonej do walidacji, można błędy klasyfikacji obliczyć. Błędy te służą później jako oszacowania błędów klasyfikacji otworów o nieznanej a priori przynależności klasowej.

Podobnie jak w wykonanych uprzednio badaniach (Kotlarczyk i in. 1999), wykorzystano 16 wyselekcjonowanych cech (ryc. 4). Wytypowano 67 otworów klasy **R**, 58 klasy **W** i 566 o nieznanej przynależności klasowej. Zbiór otworów obydwu klas docelowych podzielono na część uczącą **U**, tzn. wzorce (ok. 2/3 ogólnej liczby tych otworów), i na część walidacyjną **V** (ok. 1/3 ogólnej liczby tych otworów), służącą do oceny jakości modelu sieciowego.

3. Klasyfikacja wzorcowa za pomocą sztucznych sieci neuronowych

W wyniku testów dobrano optymalną architekturę sieci neuronowej – perceptron 3-warstwowy z 11 neuronami w warstwie wejściowej, 6 neuronami w warstwie ukrytej i jednym – w warstwie wyjściowej (terminologia sieci neuronowych objaśniona jest w wielu pracach, np. Tadeusiewicza 2001). Równocześnie okazało się, że do rozklasyfikowania otworów wystarcza mniejszy, 11-elementowy zespół cech (ryc. 4). W rezultacie obliczeń otrzymano klasyfikację każdego otworu w formie prawdopodobieństwa P[**R***] przynależności do klasy „skała zbiornikowa" (jest to wartość tzw. funkcji aktywacji neuronu wyjściowego). Model sieci neuronowej jest obarczony błędem, który definiuje się standardowo jako pierwiastek sumy kwadratów różnic między wartościami funkcji aktywacji neuronu wyjściowego a przynależnością klasową, narzuconą a priori obiektom ze zbiorów **U** i **V** (1 dla klasy **R** i 0 – dla klasy **W**), w przeliczeniu na jeden wzorzec. Błąd ten nie jest, w naszym przypadku, zbyt wysoki: 0,24 w zbiorze obiektów uczących i 0,28 w zbiorze obiektów walidacyjnych (tab. 1).

Tab. 1. Błędy modelu sieciowego.
Tab. 1. Net model errors.

Błąd w zbiorze uczącym U Error in the training set U	0,24
Błąd w zbiorze walidacyjnym V Error in the validation set V	0,28

Klasyfikację tę można zamienić na formę dyskretną po uwzględnieniu tzw. progu akceptacji p_A do klasy R* i progu odrzucenia p_O z tej klasy (wartości progowe dla P[**R***]). Obliczono optymalną wartość tych progów równą $p_A + p_O = 0{,}6759$, dla której błędy klasyfikacji dyskretnej są najniższe (tab. 2). Tę formę klasyfikacji można przedstawić graficznie na mapie (ryc. 5).

Tab. 2. Błędy klasyfikacji dyskretnej przy optymalnym progu akceptacji równym progowi odrzucenia = 0,6760.
Tab. 2. Error of discrete classification at the optimum accept treshold equal to the reject treshold - 0,6760.

	Zbiór U Set U	Zbiór V Set V	Zbiór U+V Set U+V
błąd P[R*|W] error P[R*|W]	0,07	0,06	0,07
błąd P[W*|R] error P[W*|R]	0,07	0,08	0,07

P[R*|W] - frakcja błędnie zaklasyfikowanych otworów do klasy skał zbiornikowych (R*), mimo ich faktycznej przynależności do klasy niezłożowej (W).

P[R*|W] - fraction of boreholes misclassified into the reservoir rocks class(R*), despite their strict assignation to the non-deposit class (W).

P[W*|R] - frakcja błędnie zaklasyfikowanych otworów do klasy skał niezbiornikowych (W*), mimo ich faktycznej przynależności do klasy złożowej (R).

P[W*|R] - fraction of boreholes misclassified into the non-reservoir rocks class (W*), despite their strict assignation to the hydrocarbon deposit class (R).

Klasy otworów R i W utworzono na podstawie informacji zawartych w banku danych.

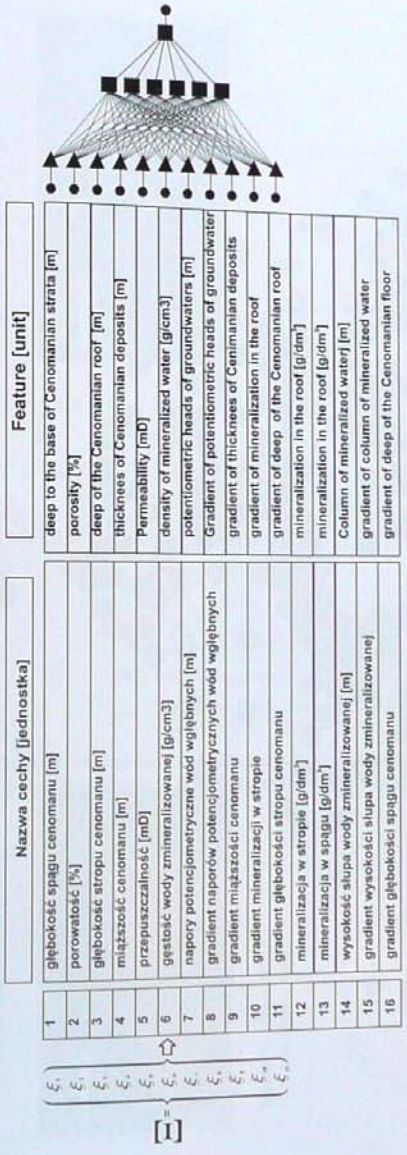
The classes R and W were created basing on the database information.

Otwory zaklasyfikowane do klasy zbiornikowej grupują się w mniejsze bądź większe skupienia. Mogą one być traktowane jako obszary występowania skał o cechach zbiornikowych. Ta forma przedstawienia skondensowanej geoinformacji o atrybutach skał zbiornikowych kończy analizę w przypadku, kiedy niemożliwe jest konstruowanie izoliniowych map prawdopodobieństwa za pomocą metody geostatystycznej, co zachodzi w przypadku losowego charakteru lateralnej zmienności tego parametru.

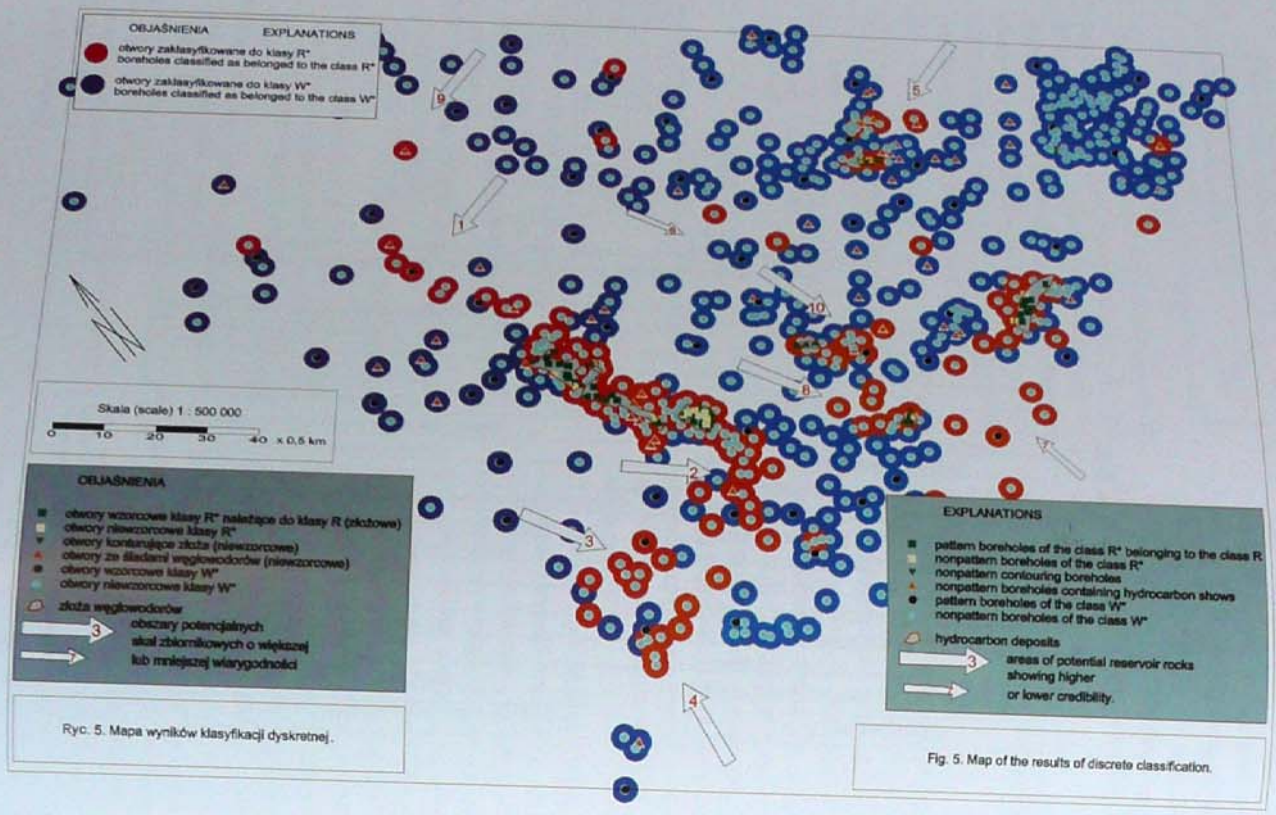
4. Interpolacja z użyciem metody geostatystycznej

Bogatszą formę wizualizacji rozkładu wartości P[**R***] reprezentują mapy izoliniowe. Najdokładniejsze mapy izoliniowe uzyskuje się, przenosząc, za pomocą krigingu punktowego, wartości wizualizowanego parametru z punktów pomiarowych na ortogonalną siatkę interpolacyjną. Warunkiem zastosowania tej metody jest jednak przestrzenne skorelowanie wartości wizualizowanego parametru, czyli jego nielosowy, geostatystyczny model zmienności. Opis geostatystycznej metody interpolacji można znaleźć w wielu pracach, np. Journel, Huijbregts 1978.

W przeprowadzonym badaniu dobrano model sferyczny do semiwariogramu empirycznego (ryc. 6). Umożliwia to interpolację danych (kriging punktowy) z otworów na węzły siatki ortogonalnej i wyrysowanie mapy izoliniowej wartości parametru P[**R***]. Dla tak sporządzonej mapy izoliniowej wykonuje się standardowo mapę krigingowego odchylenia standardowego (KSD) jako mapę błędu interpolacyjnego (por. Kotlarczyk i in. 1999, np. ryc. 7). W naszym przypadku, w miejsce tej mapy błędu, sporządzono mapę (ryc. 7) procentowego błędu względnego (Rel-KSD). Błąd ten określono jako procentowy stosunek krigingowego odchylenia standardowego do estymaty prawdopodobieństwa w węzłach siatki. Z mapy tej wniesiono na mapę estymat P[**R***] istotne izolinie, określające błąd 50 i 100%. Z rozkładu obu rodzajów izolinii na przedstawionej mapie wynika, że wykryte maksima prawdopodobieństwa (lub grupy maksimów), odpowiadające rozpoznanym wiertniczo obszarom złożowym (z wyjąt-

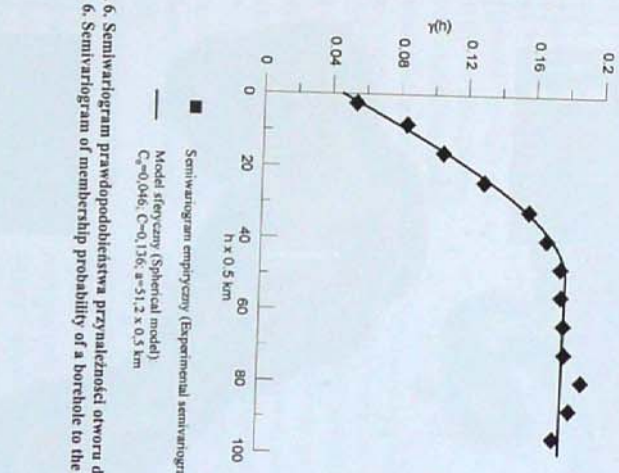


Ryc. 4. Wykaz cech użytych do charakterystyki otworów oraz architektura sieci neuronowych.
Fig. 4. List offeatures included into characterization ofstudied boreholes and neural network architecture.



Ryc. 5. Mapa wyników klasyfikacji dyskretnej.

Fig. 5. Map of the results of discrete classification.



Ryc. 6. Semiwariogram prawdopodobieństwa przynależności otworu do klasy R*.

Fig. 6. Semivariogram of membership probability of a borehole to the class R*.

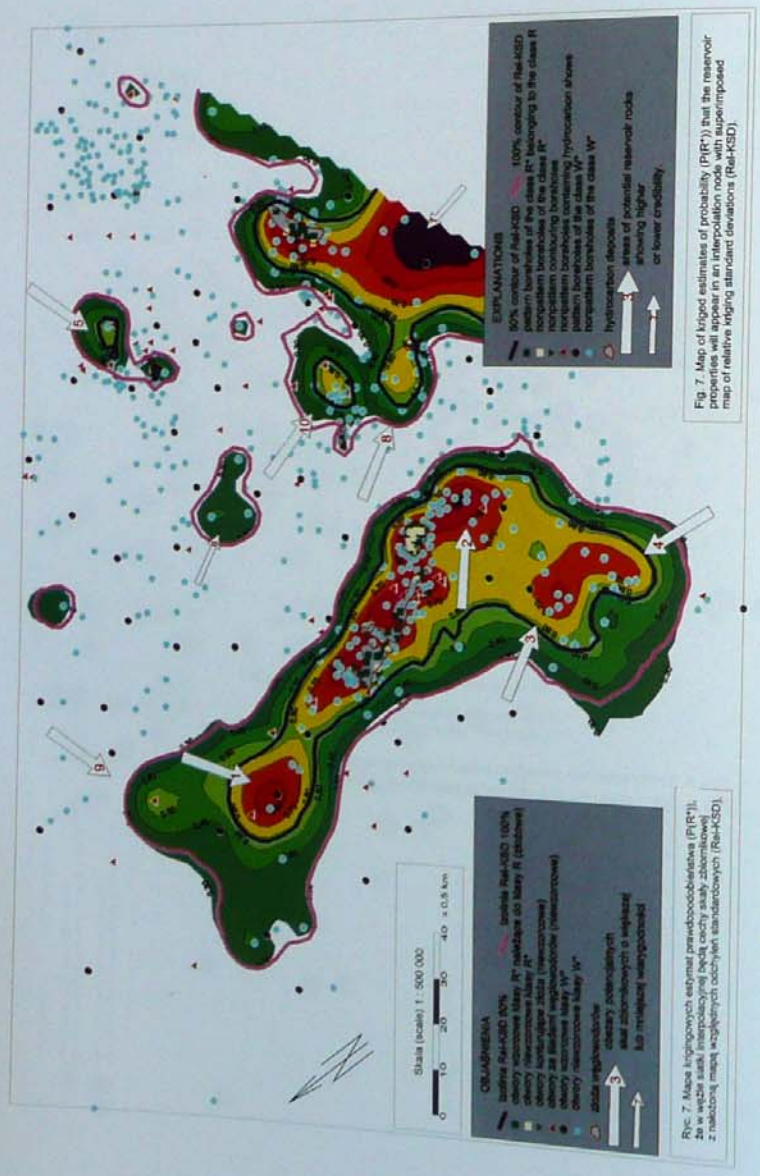


Fig. 7. Map of kriged estimates of probability (P(R*)) that the reservoir properties will appear in an interpolation node with superimposed map of relative kriging standard deviations (Rak-KSD).

Ryc. 7. Mapa krigingowych estymat prawdopodobieństwa (P(R*)), że w węźle siatki interpolacyjnej będą cechy skały zbiornikowej z nałożoną mapą względnych odchyleń standardowych (Rak-KSD).

Tab. 3. Klasyfikacja dyskretna z użyciem sieci neuronowych i funkcji potencjalnych - porównanie błędów klasyfikacji.
Tab. 3. Discrete classification by means of the neural networks and the potential function - comparison of classification errors.

	Sieci neuronowe - błędy klasyfikacji Neural networks - classification error Zbiór U+V Set U+V	Met. funkcji potencjalnych - błędy klasyfikacji The potential function method - classification errors (Kotlarczyk *et al.*) Zbiór wzorców (odpowiednik U+V) Pattern set (the equivalent of U+V)
błąd P[R*|W] error P[R*|W]	0.07	0.16
błąd P[W*|R] error P[W*|R]	0.07	0.09

Objaśnienia jak w tab. 2
Explanation as in tab. 2

kiem złoża Rylowa), wyznaczone są z błędem mniejszym niż 50%. Również nowo odkryte potencjalne obszary skał zbiornikowych (na ryc. 7 wskazano je strzałkami) wykryte są (z dwoma wyjątkami – obszary nr 6 i 9) ze względnym błędem mniejszym niż 50%. Obszary 6 i 9 wskazano z błędem między 50 a 100%. Interpretując mapę P[**R***], należy uwzględnić fakt, że najlepszą klasyfikację dyskretną otrzymano wtedy, gdy do klasy **R*** kwalifikowano te otwory, dla których $P[\mathbf{R}^*] > p_A = p_0 = 0{,}6759$. Ponieważ przy $P[\mathbf{R}^*] = 0{,}6759$ klasyfikowany otwór ma równe szanse być przydzielony do obu klas, zatem należy uznać, że wartości P[**R***] są średnio przeszacowane o wartość $0{,}6759 - 0{,}5 = 0{,}1759$. Oznacza to, że przypisane otworowi wartości parametru przynależności do klasy skał zbiornikowych są w rzeczywistości niższe o kilkanaście procent.

Oszacowanie prawdopodobieństwa przynależności badanego otworu do klasy skał zbiornikowych zostało w poprzednich naszych badaniach (Kotlarczyk i in. 1999) uzupełnione wyznaczeniem wartości prawdopodobieństwa przynależności badanego otworu do klasy docelowej złożowej **R**. Dodatkowe obliczenia polegają na wyznaczeniu szeregu prawdopodobieństw warunkowych i obliczeniu końcowego P[**R**] ze wzoru na prawdopodobieństwo całkowite. W obliczeniach tego typu można uwzględnić poprawkę wynikającą ze wspomnianego błędnego uznania przez wiertników otworów złożowych za płonne. Wykonana na potrzeby niniejszego opracowania mapa P[**R**] przyniosła niewielki, kilkuprocentowy wzrost prawdopodobieństwa wykrycia potencjalnych, a także już odkrytych obszarów złożowych – w porównaniu z mapą P[**R***]. Mapa ta nie zmienia zatem zasadniczo mapy prognostycznej P[**R***] i z tego względu nie została zamieszczona.

5. Wnioski

Rozpoznawanie obrazów z użyciem sieci neuronowych dało zasadniczo wyniki podobne do uzyskanych metodą funkcji potencjalnych (por. Kotlarczyk i in. 1999). Obie metody realizują zadanie z porównywalnym, niskim błędem, aczkolwiek dokładne wyliczenia wskazują, że optymalna sieć neuronowa daje nieco mniejszy błąd (różnica 0,02 do 0,09; por. tab. 3). Dowodzi to poprawności prognozy wykonanej wcześniej metodą funkcji potencjalnych, a równocześnie jest wskazówką, by w przyszłości preferować sieci neuronowe. Dodatkowym argumentem za sieciami neuronowymi jest fakt, iż te nieco lepsze wyniki uzyskano, wykorzystując mniejszą ilość cech skał zbiornikowych. Wyprodukowana mapa daje przejrzysty obraz rozmieszczenia potencjalnych obszarów zbiornikowych i pozwala na zaplanowanie kolejnych wierceń poszukiwawczych z konkretnym prawdopodobieństwem natrafienia na skały zbiornikowe wraz z oszacowaniem błędu tej prognozy. Zaproponowana metoda stanowi ilustrację kondensowania geoinformacji wielowymiarowej w jednowymiarową.

Bibliografia

Baran U., Jawor E., Jawor W., 1998, *The Development of the Cenomanian Sandstones in the Polish Carpathians Foredeep and the Condition of Hydrocarbon Accumulation.* Conference and Exhibition: Modern Exploitation and Improved Oil and Gas Recovery Methods, Cracow, Poland, 1-3 September 1998, Book of Abstracts, p. 88-89.

Journel A. C., Huijbregts Ch. J., 1978, *Mining Geostatistics*, Academic Press., London, 600 p.

Jucha S. F., 1989, *Wystawa cyfrowej kartografii naftowej z okazji 70-lecia Akademii (1919-1989). Geologia Naftowa Polski (1)*, Kraków.

Jucha S. F., 1992, *Wystawa cyfrowej kartografii naftowej z okazji 25-lecia Wydziału Wiertniczo-Naftowego Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (1967-1992). Opracowanie tekstowe przewodnika. Geologia Naftowa Polski (5)*, Kraków.

Jucha S. F., 1995, *Wystawa polskiej cyfrowej kartografii naftowej z okazji Międzynarodowej Konferencji: Modern Exploration and Improved Oil and Gas Recovery Methods, część I. Kraków, Warszawa, 12-15 września 1995. Geologia Naftowa Polski (11).*

Jucha S. F., 1999, *Analiza warunków akumulacji złóż węglowodorów i ich znaczenie dla prospekcji naftowej w basenach Niżu Polski oraz zapadliska przedkarpackiego*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 15, zesz. specjalny, s. 5-42, Kraków.

Karnkowski P., 1993, *Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce. T. 2. Karpaty i zapadlisko przedkarpackie*, Tow. Geosynoptyków Geos., Kraków.

Kotlarczyk J., Mastej W., 1994, *Utility of Selected Pattern Recognition Algorithms for Determining the Range of Ore Bodies in the Zn-Pb „Pomorzany" Mine (Poland)*, Ser. Informatique geologique. Sciences de la Terre, no 32, Fointenbleau, p. 331-340.

Kotlarczyk J., Jucha S. F., Mastej W., Namysłowska-Wilczyńska B., 1999, *Rozpoznawanie obrazów w prospekcji stref naftowych w cenomanie i malmie synklinorium Nidy*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 15, zesz. specjalny, s. 45-68, Kraków.

Puri M. L., Sen P. K., 1971, *Nonparametric Methods in Multivariate Analysis*, New York, Wiley & Sons.

Tadeusiewicz R., 2001, *Wprowadzenie do sieci neuronowych*, Wydawn. Statsoft Polska, Kraków.

Tamura R., 1966, *Multivariate nonparametric several-sample tests*, Ann. Math. Statist, vol. 37, p. 611-618.

Summary

The paper presents the visualization method of geoinformation applied to hydrocarbon exploration. Data were collected from 691 wells drilled in a part of the Nida Trough buried under the Miocene strata, in which several hydrocarbon deposits have already been discovered (Fig. 1). These deposits are reservoired in Cenomanian sandstones and, less commonly, in Uppermost Malm limestones. In each well values of 27 reservoir rocks parameters were measured (examples of parameters – Fig. 2, 3). Assuming the correlation of these parameters with the occurrence of hydrocarbon deposits (or the lack of such correlation), the occurrence of potential reservoir rocks can be prognozed despite the presence or absence of economic-grade hydrocarbon concentrations in a particular well. Comparison of such prognosis with that obtained with „classic" approach, i.e., discovery of industrial-grade hydrocarbon occurrence in a well, increased the credibility of reservoir evaluation (practically, the „classic" method fails in about 5-10% of wells).

The alternative prognosis has been obtained with the non-algorythmic pattern recognition method applying the artifical neural networks. The patterns for „reservoir rocks" class were 67 wells drilled in the areas of discovered hydrocarbon deposits whereas the patterns for „non-reservoir rocks" class were 58 wells where probability of hydrocarbon deposits discovery was low. Using the statistical method of comparison of multi-dimensional means in both classes (the Puri-Sen-Tamura method), 16 parameters providing most of information were selected from the initial population of 27 parameters (fig. 4). The result of classification was the transformation of 16-dimensional vector of parameters values, which described each well, into a single value – a probability of hitting the reservoir rock. Relatively low level of errors found during the training of a neural network (Tab. 1) led to the high-quality discrete classification (as revealed by low classification errors – Tab. 2) obtained after assuming the optimum acceptance treshold (0.6759 probability) for the „reservoir rocks" class (equal to the rejection treshold). Results of classification were displayed as a map of potential reservoir rock occurrence (Fig. 5).

Better visualization was provided by the contour map based upon geostatistical interpolation, which enabled the estimation of parameter values in the areas where the wells have not been drilled. Non-random variability model of particular parameter (i.e. the probability of hitting the reservoir rock in a well, Fig. 6) enabled the interpolation with the point-kriging method followed by construction of contour map with interpolation errors (Fig. 7). The map displayed the distribution of potential hydrocarbon reservoir rocks, which facilitated the planning of further exploration drillings.

The non-algorythmic pattern recognition method applying the artificial neural network generally provided the similar results, however somewhat more accurate than previously used potential function method, as revealed by lower classification errors (Tab. 3). The fact that somewhat better results were obtained for lower number of reservoir rock parameters allows to conclude that the artificial neural networks can be preferred in prognosing the mineral deposits.

ANDRZEJ MAKOWSKI[1]

MAPA – PUŚCIZNA KULTUROWA POSTACI PRZEKAZU GEOINFORMACJI (ONTOGENEZA MAPY)

Słowa kluczowe:

ontogeneza mapy, koncepcja mapy, mapa jako jedność trójdzielna

Abstrakt

Opracowanie przedstawia propozycję współczesnego rozumienia mapy. Studiując jej ontogenezę, uzasadniono, że mapa w swej istocie przynależy do formacji trójskładnikowych. Oznacza to, że trzy części składowe mapy: systemowa (cel), modelowa (informacja) i obrazowa (przekaz) tworzą całość – mapę, która jest zawarta w samej koncepcji mapy.

THE MAP – THE CULTURAL HERITAGE OF GEOGRAPHIC INFORMATION FORMS (THE MAP ONTOGENESIS)

Key words:

map ontogenesis, map conception, map as tripartite unity

Abstract

This paper deals with a proposal of the map contemporary understanding. Studying its ontogenesis it has been argued that a map in its essence belongs under tripartite formations. It means, that three map constituents, such as: a map system (desired goal), a map model (information) and a map image (communication) form an integral constitution – the map, that is ordinarily contained within the map conception.

[1]Politechnika Warszawska, Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Warszawa

1. Wprowadzenie

1.1. Słowo *puścizna*, dzisiaj nieco już archaiczne, zostało użyte na oznaczenie szczególnie doniosłego dziedzictwa kulturowego, zawartego w duchowym i materialnym dorobku ludzkości, egzemplifikowanego tutaj mapą – formacją celową i pierwotną, tyleż psychiczną, co materialną, tzn. niezbywalną w funkcji przekazywania geoinformacji czasoprzestrzennie i relacyjnie odniesionych. Wiążąc z kolei ontogenezę mapy z geoinformacją, pojęciem proweniencji całkiem współczesnej, pragniemy wskazać na rozpiętość podjętych rozważań nad mapą jako przejawem pewnej drogi rozwoju człowieka w poznaniu czasoprzestrzeni geograficznej.

1.2. Śledzenie kulturowych procesów przemian cywilizacyjnych od czasów najdawniejszych, sięgających setek tysięcy lat przed n. Ch. po dzień dzisiejszy, ujawnia nam uporczywą obecność map. Ich postaci, różnicowane kulturowo i podległe historii – czynnikowi nieuchronnego ich rozwijania po współczesność, przekonują nas, że wszystkie one są w każdym czasie pochodnymi doznań psychicznych i formacji intelektu, nakierowanych czynnościowo na zewnątrz w celu wykreowania układu stabilizującego orientację czasoprzestrzenną, odpowiadającą konfiguracjom rzeczywistym.

Można by zatem wnieść, że jakakolwiek i kiedykolwiek powstała postać mapy staje się zawsze formą celową, modelowaną *in statu nascendi* czynnościami orientowania sposobnego czasoprzestrzennemu nawigowaniu i ujętą w użyteczną funkcję przekazywania informacji. Informacje te powinny być zatem przestrzennie zorientowane i relacyjnie odniesione, czyli odwzorowujące (antropocentrycznie) zależności bytów rzeczywistych.

Równie znamienne dla przyjętego toku rozważań są przykłady wytworów kultur plemiennych. Oddają one bowiem modelową poprawność zorientowanych konfiguracji rzeczywistych, stając się tym samym reprezentacjami pozwalającymi na prowadzenie interpretacji przestrzennych, podobnie do funkcji współcześnie rozumianej mapy.

Te historycznie zmienne postaci map, zawarte w dorobku kulturowym ludzkości, a powstałe w kręgach rozwiniętych cywilizacji, czy w ustawicznie się rozwijających, jak też i te powstałe w kręgach zastałych kultur plemiennych - wszystkie one mają, czego można bezpośrednio doświadczać, formę wzrokowego przekazu informacji. Jest to wskazanie, które mówi nam, że zarówno kreowanie mapy (jej koncepcji i materialnej postaci), jak i jej użytkowanie (czytanie, interpretowanie, kojarzenie, wyobrażanie, poznanie) jest uwarunkowane widzeniem, czyli czynnością psychiczną do zorganizowanej i celowo ukierunkowanej aktywności, zasilanej wydatkowaniem energii intelektualnej. Widzenie jest bowiem psychiczną funkcją wzroku, swoistym następstwem wzrokowo uzyskanych z zewnątrz sygnałów (bodźców świetlnych).

Innymi słowy, jest to konstatacja zarówno psychofizycznego wymiaru mapy, którego utrwalony wpływ odnajdujemy w materialnej postaci mapy, jak i ontogenetycznego związku mapy – jej konceptualnej formacji, z otoczeniem. Ta konstatacja jest bowiem słuszna dla jakiejkolwiek mapy, niezależnie od czasu i miejsca jej powstania i tak też jest interpretowana we wszystkich kulturowych przykładach użytkowania map. Nade wszystko jednak ta konstatacja, traktowana w naszych rozważaniach jako **prolegomena do pojęcia mapy**, doprowadza nas do określenia jej pierwotnego znaczenia, ujawnianego we wszystkich przedsiębranych przez człowieka zadaniach wobec otoczenia. Powiemy więc, że jest to określenie nadrzędnej roli mapy względem rozwijających się dzisiaj konstrukcji myślowych, związanych z reprezentacją otoczenia, a tym samym wskażemy na potrzebę dokonania rewizji dotychczasowych poglądów (a może tylko silnie utrwalonych w świadomości nawyków) na istotę mapy, spełniającą się w działaniu wobec tegoż otoczenia.

Tak więc pytanie o ontogenezę mapy jest w zasadzie pytaniem ogólniejszym, o związek człowieka z otoczeniem. Za najbardziej właściwe rozwiązanie tej kwestii, w myśl naszych rozważań, przyjmujemy to, które wynika z funkcji zintegrowanych struktur człowieka: somatycznej, psychicznej i umysłowej, zespolonych w działaniu wobec otoczenia, obejmującym także kreatywną i użytkową rolę widzenia w odniesieniu do

mapy. Takie podejście jest zresztą zgodne ze współczesnymi poglądami psychologii na temat dochodzenia do wyznaczania procesów poznania w ujęciu czynnościowym (Młodkowski 1998; Maruszewski 2001).

2. Podstawowe formy psychicznej aktywności człowieka

Zanim udzielimy odpowiedzi na pytanie o ontogenezę mapy, przedstawimy pokrótce wzajemne zależności podstawowych form aktywności psychicznej, wywoływanej potrzebami działań człowieka wobec otoczenia. Zależności te są ujęte w ciąg procesów psychicznych, poczynając od sensorycznych, poprzez percepcję i procesy transformacyjno-poznawcze, obejmujące wyobrażenia, język i myślenie, po procesy emocjonalno-motywacyjne do wykonawczych, realizujących zamierzone zadania. Procesy te są ustawicznie wspomagane pamięcią i uwagą, a ponadto całość tych procesów jest poddawana samokontroli, m.in. procesom adaptacji do zmiennych w czasie okoliczności dla przeprowadzenia zamierzonego celu (ryc. 1).

Z kolei otoczenie, złożone z obiektów, zjawisk, zdarzeń – ogólnie bytów w świadomościowym kontekście przedmiotowym, jest w istocie rzeczywistością fizyczną, która może być traktowana, z uwagi na sensoryczny związek człowieka z otoczeniem, jako zbiorowość energetyczna, emitowanych bezpośrednio lub pośrednio (w postaci odbić lub przeniknień) sygnałów, aktywizująco oddziałujących na zmysły (modalności) zależnie od zakresu ich wrażliwości i przedziałów zmian czułości. Tak więc aktywizacja receptorów modalnych (np.: wzroku, dotyku, słuchu itp.) wyznacza zarazem strefy odbioru sygnałów, uwarunkowanych modalnymi zakresami wrażliwości i rozpiętością zmian czułości. Funkcje receptorów sprowadzają się zatem do przetworzenia energii sygnalnej w pobudzenia neuronalne, tworząc obrazy recepcyjne zawierające jedynie cechy uprzedmiotowionego otoczenia (niefiguratywne), które w następstwie działania procesu **percepcji** podlegają rozpoznaniu dzięki orientacyjnym, analitycznym i wartościującym właściwościom tego procesu oraz udoskonalaniu poprzez ich skonfrontowanie z doświadczeniami na polimodalne postaci całościowych reprezentacji psychicznych – form obrazowych, danych w spostrzeganiu jako odpowiadające aktualnym strefom odbioru sygnałów. Należy przy tym podkreślić, że **forma obrazowa** jest **genetyczną formą pierwotną** oraz że rezultatem procesu percepcji są **spostrzeżenia**.

Właściwością percepcji jest więc scalanie obrazów recepcyjnych, pochodzących z różnych stref odbioru sygnałów, dlatego spostrzeżenia mają na ogół naturę polimodalną, ale reprezentacja psychiczna jest całością, tzn. czasoprzestrzenną strukturą świadomościową, zintegrowanym bytem (przedmiotem reprezentowanym: obiektem, zjawiskiem, zdarzeniem), aktualnie spostrzeganym, czyli zawartym w polu zmysłowym obejmującym sygnały z otoczenia.

Spostrzegając wzrokowo krzesło drewniane, wiemy, że ma ono twarde siedzisko – doznanie, zawarte w minionym doświadczeniu, pochodzącym ze strefy dotyku. Tak więc spostrzeżenie zawarte w strefie aktywności wzrokowej zostało tutaj powiązane z doświadczeniami strefy dotyku. Jeśli wśród krzeseł drewnianych, mimo ich twardości, potrafimy spostrzec krzesła mniej lub bardziej wygodne, oznacza to, że dzięki procesowi percepcji, pozostającemu w konfrontacji z nabytymi doświadczeniami (np. ze strefy dotyku), potrafimy też wartościować przedmioty spostrzegane (byty).

Innymi słowy, percepcja dostarcza nam całościowych, na ogół na podłożu polimodalnym, praktycznie realizowanych za pomocą **obrazów psychicznych** danych w spostrzeganiu, które odpowiadają uprzedmiotowionym sytuacjom aktualnie generującym sygnały w polu zmysłowym (np. wzrokowym).

Trzeba też podkreślić, że dane w spostrzeganiu obrazy psychiczne są całościami, zarówno co do treści reprezentowanych, jak i co do form tych treści, którymi są obrazy (nośniki treści). Treści reprezentowane są jednak specyficznie niekompletne (modelowe) w stosunku do sygnałów emitowanych z uprzedmiotowionych konfiguracji otoczenia, gdyż są uwarunkowane zakresami wrażliwości zmysłów i przedziałami zmian czułości (polimodalna podstawa percepcji). Wyodrębnianie treści z obrazów (figur z tła) dokonuje się za pomocą uwagi koncentrycznej, a także z udziałem motywacji, co upoważnia nas do ich określenia

mianem informacji (obrazowych, figuratywnych), pozostających odpowiednio do tych uprzedmiotowionych konfiguracji w relacjach jednoznacznych. Przy tym pomocna w wyodrębnianiu treści jest swoista właściwość obrazu psychicznego – jego czasoprzestrzenna rozciągłość, odpowiadająca wspomnianemu wcześniej polu zmysłowemu.

Częstokroć też dane w spostrzeganiu treści obrazowe bywają poprzez skojarzenia dopełniane znaczeniami kategorialnymi, a także śladami pamięciowymi o charakterze duchowym (wiara, etyka, moralność, estetyka), emocjonalnym (wierzenia, podania, legendy), czy intelektualnym (wiedza), mającymi związki z tymi treściami także w minionym czasie.

Omawiając właściwości obrazów psychicznych, musimy też wskazać, że mogą one być dwojakiej natury. Rozróżniamy bowiem obrazy psychiczne pochodzenia zmysłowego i pochodzenia pamięciowego (wyobrażeniowe), powstałe już jako rezultat procesów transformacyjno-poznawczych, które przekształcają treści obrazowe (informacje) w wyobrażenia, język (porozumiewanie się) i myślenie (wnioskowanie).

Wnioskowanie z poziomu procesów transformacyjno-poznawczych pobudza z kolei procesy emocjonalno-motywacyjne, odpowiedzialne za wyznaczanie programów do działań umotywowanych, prowadzących do przekształcania otoczenia, a następnie do procesów wykonawczych nadzorowanych samokontrolą, zapewniającą zgodność działań z wytkniętym celem.

Przedstawiony tutaj szkicowo ciąg niezbędnych procesów w przedsiębraniu działań w stosunku do otoczenia uwydatnia nam znaczenie **spostrzegania** jako czynności inicjującej te działania poprzez **obrazy psychiczne**, stanowiące nośniki informacji. Można też wnieść, uznając obraz za **genetyczną formę pierwotną**, że wszelkie zamierzone działania wobec otoczenia są **sterowane obrazami psychicznymi** tego uprzedmiotowionego otoczenia (informacjami), a nie bezpośrednio uprzedmiotowionym otoczeniem. Tak więc **między człowiekiem a otoczeniem pośredniczy informacja**.

Podkreślając dobitną rolę spostrzegania w działaniu, nie możemy przy tym pominąć znaczącego wpływu pamięci przechowującej różne postaci sygnałów na odpowiednich poziomach ich przekształcania z uwzględnieniem czynnika czasu oraz uwagi działającej nadzorująco: selektywnie (koncentrująco) co do treści i kontrolnie co do organizacji aktywności czynnościowej.

3. Obraz psychiczny i jego właściwości

Spośród wielu receptorów modalnych zmysł wzroku ma znaczenie dominujące w czynności spostrzegania. Mówimy wówczas o percepcji wzrokowej, widzeniu jako psychicznej funkcji wzroku, czyli widzeniu modalnym, a także o spostrzeganiu wzrokowym, które, zważywszy na mechanizm percepcji, ma raczej naturę polimodalną.

Proces widzenia przebiega dwustopniowo: optycznie i percepcyjnie. **Optycznie**, tzn. z wykorzystaniem układu optycznego złożonego z soczewki ocznej, źródła sygnałów, nośnika w postaci fal e-m (bodźców świetlnych zawartych w polu widzenia) i receptorów siatkówkowych oka (klasyczny układ obrazujący). W rezultacie działania tego układu powstaje modalny obraz fizyczny w postaci cech sygnałów, następnie przetwarzanych na impulsy neuronalne (kody odpowiadające zakresowi wrażliwości bodźców świetlnych chromatycznych i achromatycznych i odpowiadające czułościom ich natężeń, a także ich zróżnicowaniu (kontrasty), wynikającym z ich *topograficznych* położeń na siatkówce oka, zmiennych w czasie i wywołujących wzrokowe efekty animacji). **Percepcyjnie**, tzn. z wykorzystaniem modalnego obrazu fizycznego, przekształcanego w jego świadomościową wersję, w postać obrazu psychicznego, odpowiadającą bodźcom świetlnym zawartym w polu widzenia uprzedmiotowionego otoczenia, śladom pamięci z nabytych doświadczeń polimodalnych, uwadze i przyjętym motywacjom.

Zważywszy na uwypuklone już znaczenie obrazów psychicznych w podejmowaniu działań wobec otoczenia, zwrócimy teraz uwagę na ich właściwości szczególne:

- są genetyczną formą pierwotną,
- są następstwem związku sensorycznego z otoczeniem (następstwem układu obrazującego),

- są pochodnymi percepcji polimodalnej, śladów pamięci, uwagi i motywacji,
- są całościami złożonymi z treści figuratywnych (informacji) i form tych treści, którymi są obrazy (nośniki treści),
- są pierwotnymi uogólnieniami (modelami),
- są czasoprzestrzenną rozciągłością, odpowiadającą uprzedmiotowionemu otoczeniu, łącznie z relacjami,
- są pierwotne przed działaniami, są więc sterownikami działań,
- są obarczone funkcją poznania:
  - generują wyobrażenia z zachowaniem relacji jedno-jednoznacznych, pozostają w związku z psychicznym procesem wizualizacji, polegającej na reprodukcji śladu pamięciowego w postaci obrazowej do powstawania wyobrażeń (nb. rola wizualizacji w myśleniu polega na powstawaniu pojęcia pod wpływem obrazu),
  - stanowią podstawę języka porozumiewania się z zachowaniem relacji wielo-jednoznacznych,
  - stanowią podstawę pozyskiwania pojęć i rozwoju myślenia z zachowaniem relacji jedno-wieloznacznych,
- są podatne na przedstawienia konwencjonalne (np.: symbolika nazwy polega na jej konwencjonalnym (jednolitym) rozumieniu w obrębie jakiegoś języka, symbolika przedstawień graficznych polega na znajomości klucza konwencji itp.).

4. Człowiek – otoczenie

Związek człowieka z otoczeniem w ujęciu czynnościowym jest wyznaczany poprzez relację **działania**, poddawaną determinantom czynności. Ważne dla naszych rozważań są następujące determinanty:

- genetyczna predyspozycja człowieka do spostrzegania, orientacji przestrzennej i psychicznego reprezentowania otoczenia (obrazy psychiczne), tzn. do aktywności wobec otoczenia i do wydatkowania pożądanej energii w działaniu: do przemieszczania się, przewidywania, planowania, organizowania działań, porozumiewania się itp.;
- motywacja do aktywności ukierunkowanej (celowej) i zorganizowanej (motywacja do czynności), tzn. podporządkowanej celowi zaspokajania potrzeb (koncepcja), realizowanych za pomocą zadań przedsiębranych; motywacja może być modulowana postawą (filozofią i etyką działania) wobec otoczenia;
- uprzedmiotowione otoczenie (obiekty, zjawiska, zdarzenia – ogólnie byty w świadomościowym kontekście przedmiotowym), pobudzające do umotywowanej aktywności czynnościowej i do naruszania zastanego (pierwotnego) układu: człowiek – otoczenie, powodowanego predyspozycjami człowieka (podmiotu) do aktywności modulowanej do harmonijnego działania wobec otoczenia (przedmiotu), zgodnie z prawami natury (ładu przyrody), albo do działań naruszających te prawa, powodowanych wyłącznie pragmatyzmem (wszechwładnym antropocentryzmem);
- uwaga nadzorująca działania; uwaga selektywna (koncentrująca), powodująca wyodrębnianie przebiegu czynności przyporządkowanemu celowi (li tylko temu określonemu); uwaga kontrolna poprzez porównywanie rzeczywistego przebiegu czynności z przebiegiem zamierzonym, przyporządkowanym celowi, jako błąd rozbieżności między realnym wynikiem a wytkniętym celem; uwaga oddziałująca aktywnie wobec zmiennych w czasie okoliczności otoczenia, kompensowana adaptacją zmysłów dla utrzymania celu przebiegu czynności;
- nabyte doświadczenia celowe jako następstwo przyjętych motywacji i filozofii działania wobec otoczenia; nabywanie doświadczeń celowych i eliminowanie działań nieskutecznych jest czynnością uczenia się i podstawą generowania działań twórczych, zawartych w programach przedsiębranych zadań umotywowanych; nabyte doświadczenia celowe i towarzyszące im doświadczenia uboczne są razem gromadzone w pamięci i jako takie mają wpływ na relację działania; wspólnotowe gromadzenie doświadczeń celowych generuje społeczności kulturowe, rozwój kultur i cywilizacji.

Przyjęcie zastanego układu: człowiek – otoczenie wraz z biblijnym przesłaniem *...czyńcie ziemię sobie poddaną...*, ujawnia nam w relacji działania – poprzez tę duchową inspirację – genetyczne znaczenie predyspozycji człowieka do umotywowanej

aktywności czynnościowej, w konsekwencji do poznania otoczenia (wszechświata) i samego siebie (mikrokosmosu). Dzięki predyspozycji do aktywności celowej motywy stają się wiodącymi przebiegu czynności w zaspokajaniu potrzeb (duchowych i materialnych), poznawalnych dzięki otoczeniu i zaspokajanych poprzez otoczenie, które jest traktowane jako przedmiot wzbudzania potrzeb i czerpania niezbędnych składników usprawniających wieloaspektowe funkcjonowanie człowieka.

Wyznaczanie czynności poznawania i zaspokajania potrzeb dokonuje się poprzez *rozwiązywanie zadań analitycznych*, przeprowadzanych na zintegrowanych strukturach człowieka: somatycznej, psychicznej i umysłowej według powziętych programów działań, zawartych w myśleniu motywacyjnym (procesy myślowe: przywracanie zgodności między stanem oczekiwanym a rzeczywistym), wspomaganym wiedzą (nabytymi doświadczeniami celowymi) i uwagą selektywną wraz z możliwościami dynamicznych dostosowań tych programów do zmiennych w czasie okoliczności, występujących w otoczeniu (modyfikowanie struktur czynności i efektywne sposoby ich organizowania) dla przeprowadzenia zamierzonego celu z udziałem uwagi kontrolnej i adaptacji zmysłów.

Z tego bardzo szkicowo ujętego opisu wyznaczania czynności poznawania i zaspokajania potrzeb wynika także, interesująca dla nas, formalizacja tych rozwiązań, która jest **systemowa**: są to bowiem całości czynnościowe, stanowiące zbiory stosownych operacji pozostających ze sobą we wzajemnych związkach (zawarty w psychice program operacji; *w sensie ogólniejszym, pozapsychicznym – syntaksa*), poddawanych ukierunkowaniu (funkcji celu) i nadzorowanych za pomocą określonych determinant czynności (minimalizowanie rozbieżności: cel realnie osiągnięty – cel zamierzony).

Nałożenie **formalizmu systemowego** (interpretacji systemowej) na aktywność czynnościową nie przeczy więc naturze funkcyjnej organizmu człowieka, lecz ją niejako modelowo uwydatnia poprzez ukazywanie **zależności** zachodzących interaktywnie zarówno w zintegrowanej strukturze czynnościowej, jak i wobec otoczenia. W powziętych programach do rozwiązywania zadań wyznaczania czynności poznania potrzeb i ich zaspokajania jest więc zawarty sens interakcji.

Ze szczególnie reflektującą nas rozwagą można więc wnieść, że **interakcja**, zawarta w zadaniach, dostarcza tyleż trwałych przekształceń otoczenia (także nieodwracalnych), odczytywanych w retrospektywnym zapisie kulturowych dokonań (od współczesności po prehistorię), co prospektywnych odnowień energii, wydatnie pożądanych, dla podtrzymania i rozwoju duchowej i materialnej kondycji człowieka i formacji jego intelektu, zdolnego do opracowywania strategii przekraczania barier ograniczających wieloimienne pola działań. Ta refleksja nad znaczeniem interakcji ujawnia nam również przyczynę jej występowania, jaką jest **odnawialna dynamika czynności** (genetyczna predyspozycja), uwydatniana w nieustannych, celowych rozwiązywaniach zadań, a więc oddziałująca na ciągłość rozwoju ludzkości jako procesu złożonego, zaświadczanego owymi retro- i prospektywnymi dokonaniami już spełnionymi i się spełniającymi, lecz na innym niż zastany poziomie świadomościowym (poznawczym). Przyjmując za podstawę działania tę odnawialną dynamikę czynności, a także wymieniony na wstępie zbiór determinant tych czynności, stwierdzimy teraz, że są one niezmiennikami, pozytywnie oddziałującymi na kształtowanie się świadomości, oczywiście zróżnicowanej w historycznym przekroju jej obecności, poczynając od prehistorii po współczesność – ku przyszłości.

Ukształtowany stan świadomości jest bowiem pochodną poznania, pozyskanego z uprzednio podjętych motywacji, działania uwagi, pamięci i myślenia, generującego w następstwie twórczą dynamikę poznania, przesądzającą o wyższym poziomie świadomości niż zastany.

Spośród determinant czynności, predyspozycja do aktywności celowej z pierwszeństwem do czynności spostrzegania uprzedmiotowionego otoczenia ma znaczenie inicjowania działań, objętych następnie przetwarzaniem otoczenia, a tym samym zastanego stanu świadomości (interakcja obu stron układu: człowiek – otoczenie). Spostrzeganie odpowiada bowiem pewnemu stanowi świadomości, gdyż jest ono następstwem pierwotnych doznań gromadzonych w pamięci, które

w wyniku psychicznych operacji transformacyjno-poznawczych, kojarzonych z pamięcią i uwagą, stają się obrazami, a następnie pojęciami nazywanymi, stanowiącymi odpowiedniki przedmiotów rzeczywistych. Znając przy tym systemową złożoność funkcjonowania organizmu człowieka jako zintegrowanej struktury somatycznej, psychicznej i umysłowej, właściwe jest przyjęcie za punkt wyjścia do dalszych rozważań pierwotnego stanu świadomości i związanie go z aktywnością człowieka prehistorycznego, jakim był *homo erectus*.

Wyznaczanie stanu świadomości człowieka prehistorycznego wydaje się jednak bardzo problematyczne, zważywszy na czasoprzestrzenną rozpiętość jego aktywności, zawartą w setkach tysięcy lat przed n. Ch. Mimo tej zdałoby się niewyznaczalności, zmierzymy się, poprzez dedukcję, z tą frapującą kwestią. Do takiego postępowania upoważniają nas zachowane do dzisiaj ślady działalności człowieka prehistorycznego, utrwalone w postaci usytuowania siedlisk czy chociażby rysunków (rytów) naskalnych.

Oto wybrany opis literaturowy dotyczący jednego z najstarszych siedlisk jaskiniowych w Europie, jaskini Caune d'Arago koło Tautavel w Pirenejach francuskich, pochodzącego z ok. 450 000 lat przed n. Ch.:

Siedlisko..., gdzie odkryto czaszkę ***homo erectus****, usytuowane jest wyjątkowo malowniczo, na niewysokim wapiennym zboczu, skąd roztacza się dziś piękny widok na rozległą dolinę rzeki, pociętą siatką winnic. Jednak nie piękno krajobrazu, lecz dostęp do wody oraz walory obronne miejsca położonego u szczytu skalnego urwiska przyciągały tutaj naszych praprzodków. Sprawia ono wrażenie przytulnego i bezpiecznego siedliska. Dolina, objęta ze wszystkich stron „ramionami" pasm wzgórz, jest zamkniętym dla siebie mikroświatem, dokładnie kontrolowanym z owej jaskini. Życie toczyło się tutaj zapewne nad samym brzegiem strumienia, gdzie dziś biwakują archeolodzy, a wyżej położona jaskinia dawała schronienie w sytuacjach zagrożenia i w okresie zlodowaceń. Sąsiednie zbocza, zamykające dolinę, pocięte są wieloma otworami wylotów jaskiń* *), (ryc. 2).

*) Tobolczyk M.: *Narodziny architektury*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000, str. 40-42

Studiując przytoczony opis oraz inne podobne opisy siedlisk, dotyczące aktywności człowieka prehistorycznego, nasuwa się następująca, nieodparta refleksja: prehistoryczna świadomość formowała się pod wpływem ładu przyrody, tzn. praktycznego doświadczania praw i przejawów tych praw, zachodzących w zjawiskach przyrodniczych, które człowiek rozumiał lub intuicyjnie odgadywał, wykorzystując je następnie w umotywowanych działaniach (wykrywania i zaspokajania potrzeb). Dysponując nabytymi doświadczeniami celowymi i ucząc się dzięki nim, pozyskiwał wiedzę, którą, za sprawą odnawialnej dynamiki czynności, pomnażał o nowe doświadczenia i tym samym rozwijał zdolność myślenia.

Tak więc pierwotny stan świadomości, związany z aktywnością człowieka prehistorycznego, można uznać, nie popełniając błędu, za **wyjściową podstawę historycznego rozwoju człowieka** (*homo sapiens*, młodszy paleolit – wczesna starożytność), dodajmy, podstawę uformowaną z udziałem niezmienników, wcześniej omówionych. Stan pierwotny jest więc stanem zastanym, zasobnym w odpowiednio już nagromadzoną wiedzę, ożywioną myśleniem. W kształtowaniu stanu pierwotnego nie można jednak pominąć wpływu motywacji do zakładania siedlisk i ich przemyślnego sytuowania. Siedlisk, które, w dzisiejszej ocenie podjętych wtedy motywów, należy rozumieć jako realizację miejsc zorganizowanych, zapewniających poczucie bezpiecznego życia we wspólnocie, międzyludzkiego komunikowania się (mowa artykułowana), zapewniających możliwości rozwijania duchowych i materialnych postaci życia – tworzenia kultur (ogień, pożywienie, narzędzia, ubrania, ryty naskalne, ozdoby), a tym samym wypracowywania postaw intelektualnych, czyli budowania trwałych zrębów pod przyszły rozwój cywilizacji, jak dzisiaj doświadczamy, wybitnie antropocentrycznej, jako dominującej w świecie.

Wyznaczanie miejsc na siedliska wobec tylu funkcji do spełnienia, bądź mających się spełnić i w większości z pewnością jeszcze wtedy nieuświadomionych, nie mogło być przypadkowe i nie powstawało *ad hoc*.

Przypuśćmy więc, że wybór miejsca na siedlisko to była zorientowana penetracja otoczenia, długotrwała w czasie, zamierzona według zadanych motywacji

(koncepcji): zachowania harmonii działań wobec ładu przyrody (dzisiejsza filozofia ekologii), zapewnienia bezpieczeństwa od wrogów i od mocy sił natury (geosystemy w dzisiejszym zrozumieniu), jednako kształtujących otoczenie jak i oddziałujących na los człowieka (fatum), oraz zapewnienia dogodnych warunków do zachowania gatunku i odnowy energii. Było to zatem wyzwanie do wykonania dużego zadania analitycznego, rozwiązywanego już w tamtej przedhistorycznej czasoprzestrzeni według intuicyjnie powziętych programów (planów) działań, realizowanych z pomocą zasady doprowadzania do zgodności oczekiwań z realiami.

Zachowane ślady siedlisk człowieka prehistorycznego dowodzą, że postępowanie takie, w dzisiejszej ocenie, jest prawdopodobne i nie ulega wątpliwości, że było ono następstwem genetycznych predyspozycji człowieka do spostrzegania poprzez obrazy psychiczne uprzedmiotowionego otoczenia, a więc do aktywności, chociażby takich jak:

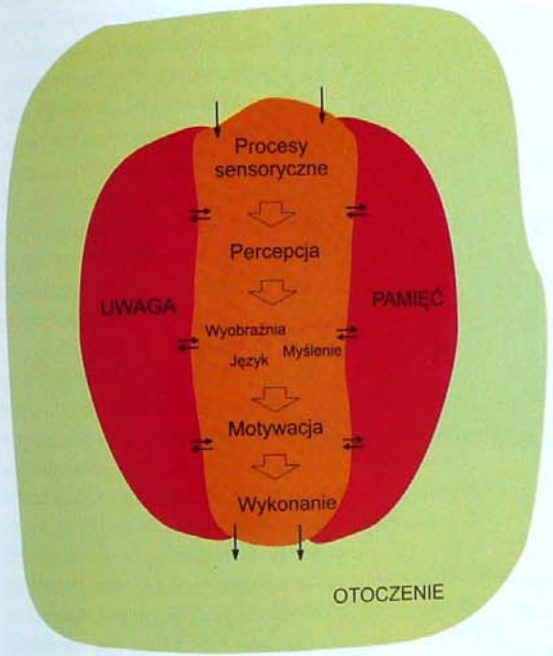
- do poznania otoczenia w jego uprzedmiotowionej złożoności jako zaistniałych w świadomości informacji, uzyskiwanych z obrazów psychicznych przestrzennie zorientowanych, pobudzających do wyobrażeń w relacji jednoznacznej do uprzedmiotowionego otoczenia;
- do przemieszczania się względem przedmiotów znajdujących się w otoczeniu (czynności lokomocyjne), czyli do zorganizowanej i ukierunkowanej aktywności od i do umiejscowionego środowiska (zbieractwo, myślistwo);
- do chronienia się i obronności (czynności umysłowe i techniczne typu *arche tektoniké* (*gr. praelement, sztuka budownicza*) w swobodnej interpretacji: osłona treści tego, co od początku stanowi istotę potrzeb człowieka – ogniska, jako idei ducha, więzi rodzinnej, i chronienia w znaczeniu dosłownym);
- do zapewnienia warunków do odnowy aktywności i podtrzymywania gatunku;
- do nasilenia okazji międzyludzkiego komunikowania się za pomocą mowy artykułowanej.

Trzeba przy tym zaznaczyć, że rozwinięte na podstawie takich predyspozycji, przykładowo przytoczonych, działania mogą mieć również charakter synergetyczny, tzn. bycia skuteczniejszymi we współdziałaniu (systemowe funkcjonowanie organizmu człowieka), np.: współdziałania motywowane znalezieniem miejsca na siedlisko, czy też motywowane łowiectwem, łączą kooperacyjnie czynności w efektywnym osiąganiu celu. Te przykładowo podane współdziałania są nadto wspomagane pamięcią (nabytymi doświadczeniami celowymi), uwagą nadzorującą (selektywną – koncentrującą) i kontrolną, a także wnioskowaniem (myśleniem).

Zauważa się, że spośród wielu działań związanych z aktywnością człowieka dominująca rola w ich inicjowaniu przypada jednak spostrzeganiu, a zwłaszcza spostrzeganiu przestrzeni (otoczenia naruszanego relacją działań). Spostrzeganie przestrzeni jest spostrzeganiem obiektów, zjawisk i zdarzeń, ich form, kształtów, wielkości (wymiarów) – spostrzeżeń jako podwalin pod przyszły rozwój geometrii, a także ich położenia, ukierunkowania, odległości oraz spostrzeganiem ruchu - ogólnie spostrzeżeń dających podwaliny pod przyszły rozwój geodezji, astronomii i innych nauk technicznych. Spostrzeganie przestrzeni jest więc spostrzeganiem przedmiotowym i spostrzeganiem relacji odpowiadających wzajemnym, przestrzennie usytuowanym przedmiotom, a także spostrzeganiem zmian w czasie (ruch zjawisk, zdarzeń, przemieszczanie się, wzrastanie, obumieranie itp.).

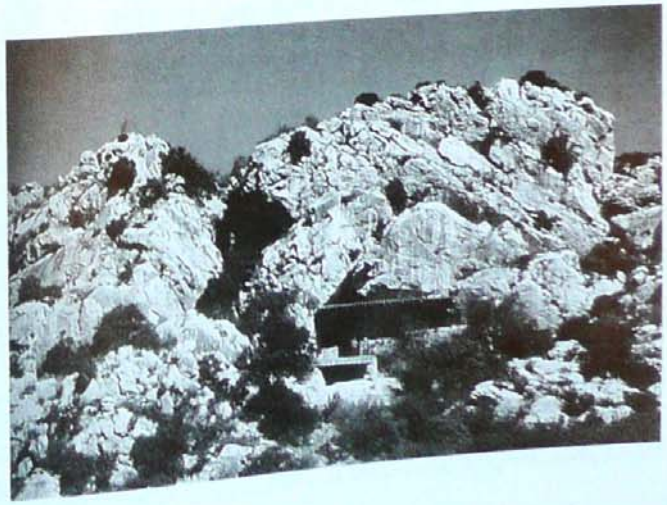
Spostrzeganie przestrzeni, by mogło mieć znaczenie praktyczne, musi być jednak odniesione do układu, jakim jest człowiek – *homo erectus*, o wykształconych zmysłach: pionu (góra – dół, wpływ grawitacji) i równowagi (narząd ucha wewnętrznego, błędnik) i im pochodnego zmysłu statycznego: pionu i poziomu (np. horyzont wyznaczany zasięgiem wzroku).

Przemieszczający się człowiek, unieruchomiony w momencie czasowym, świadomy układu, jest teraz w stanie wyznaczyć kierunki i odległości (wspomagane uwagą koncentryczną) od przedmiotów spostrzeganych, a więc jest w stanie wyznaczyć ich położenie (bliskie, dalekie, niskie, wysokie, ukierunkowane na wprost, ukośnie z lewej lub z prawej strony, na wschód – na zachód, w stronę ciepła – w stronę zimna, itp.), a także ocenić formę jako bryłowatość: wypukłą (kulistą, obłą, ostrą), wklęsłą (wgłębną) oraz



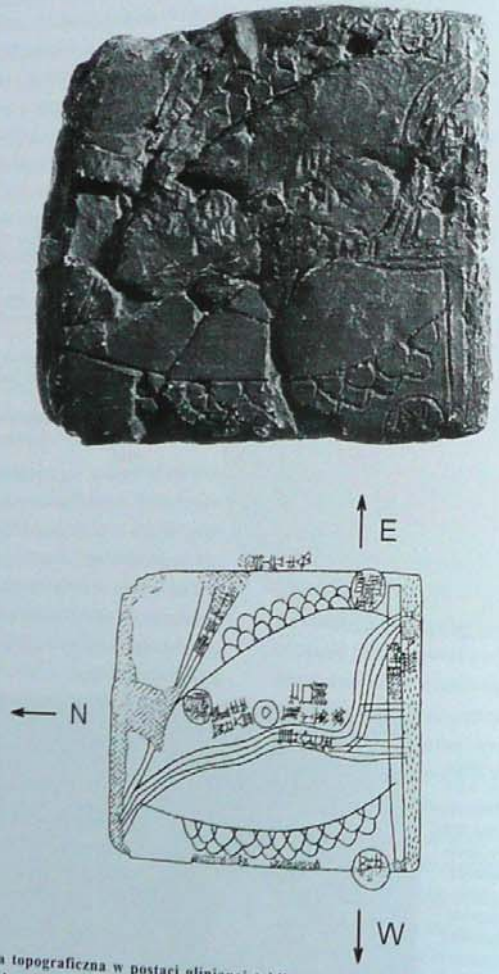
Ryc. 1. Zależności podstawowych form aktywności psychicznej, wywołane potrzebami działań człowieka wobec otoczenia.
wg Młotkowski Jan, Aktywność wizualna człowieka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1998.

Fig. 1. Dependences of basic forms of psychic activities evoked the necessaries of actions of a man with relation to the surrundings.
after: Młotkowski Jan, Aktywność wizualna człowieka, ed. Wydawnictwo Naukowe PWN Warsaw, 1998.



Ryc. 2. Jedno z najstarszych siedlisk: jaskinia Caune d'Arago koło Tautavel w Pirenejach francuskich, pochodząca z ok. 450 000 lat przed n. Ch. Siedlisko, gdzie odkryto czaszkę homo erectus.
źródło: Tobolczyk M.: Narodziny architektury, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000, str. 40-42.

Fig. 2. One of the oldest seats, the Caune d'Arago cave, near Tautavel in French Pyrenees, dated about 450 000 BC. Homo erectus skuli was discovered in that seat.
after Tobolczyk M.: Narodziny architektury ed. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2000, pp. 40-42.



Ryc. 3. Najstarsza znana mapa topograficzna w postaci glinianej tablicy, pochodzi z Nuzi w północno-wschodniej Mezopotamii (Irak), ok. 3000 r. przed n. Ch. Mapa posiada orientację według stron świata, zaznaczoną kółkami. Przeniesiony z czasów prehistorycznych do starożytności ten sposób orientowania mapy, utrwalony już w pamięci, stał się odtąd trwałym kulturowym elementem treści map.
źródło: Harvey P. D. A.: The history of Topographical Maps, wyd. Thanes and Hudson, London, 1980.

Fig. 3. The oldest known topographical map: a clay tablet from Nuzi in north- east Mezopotamia (Iraq), about 3rd millennium BC. This map is orientated after the four cardinal points (NS - WE) marked by circles. That map orientating veryfied method, fixed in the memory, transferred from prehistoric time to ancientness becomes from here the firm cultural element of map contents.
after: Harvey P. D. A.: The history of Topographical Maps, ed. Thanes and Hudson, London, 1980.

ocenić ją jako stromą, rozciągłą, płaską itp., kształt poprzez stosunki jego części i wielkość poprzez jej stosunek do umownej jednostki, np. własnego wzrostu, razem w ocenie wspomagane nabytymi doświadczeniami (pamięcią) i uwagą nadzorującą. Spostrzeganie, pamięć i uwaga w przestrzennym wyznaczaniu przedmiotów i ich relacji są właściwie nierozłączne, tak jak nierozłączne w spostrzeganiu pozostają zmysły (modalności): wzroku, kinestezji, czucia skórnego (temperatura, dotyk, ból, ucisk), słuchu, węchu, smaku i inne, aktywizujące się w synergetycznym związku działania, jednak z dominacją widzenia i odpowiednio pozostałych: ruchu, dotyku, czucia temperatury, słuchu, itd. w postępowaniu poznawczym otoczenia.

Zmiana położenia człowieka (układu odniesienia) wobec wyznaczanych przestrzennie przedmiotów prowadzi do ich rozpoznawania, tzn. do porównywania wyznaczonych uprzednio treści (wzoru) z obrazami zmysłowymi wywołanymi tą zmianą. Identyfikacja, a następnie akceptacja wzajemnego podobieństwa upewnia człowieka co do tożsamości spostrzeganych przedmiotów i w konsekwencji takiego postępowania do niemal natychmiastowego scalania tych sukcesywnych spostrzeżeń (odpowiadających zasięgom nakładających się pól spostrzeżeniowych) w ciągłość poznania tej uprzedmiotowionej złożoności przestrzennej obszaru, stanowiącego przedmiot penetracji człowieka (np. poznanie obszaru obejmującego jaskinię *Caune d'Arago*). Jest to współczesna analogia do wykonywania równoległych szeregów zdjęć lotniczych o dużym pokryciu wzajemnym.

Poznane otoczenie, dzięki **myśleniu produktywnemu** wspomaganemu pamięcią, tworzy teraz zawarty w umyśle model uprzedmiotowionego otoczenia. Tym samym człowiek prehistoryczny *objął we władanie* poznany obszar, powiedzmy, tak rozległy w czasie, jak całodzienny marsz od i do umiejscowionego siedliska (lokalny wycinek czasoprzestrzeni geograficznej wyznaczony promieniem marszruty). Niezbędne stało się wówczas orientowanie w otoczeniu, które z pewnością polegało na kierowaniu się rozpoznawalnymi przedmiotami, kojarzonymi ze śladami pamięciowymi poprzednich spostrzeżeń (a więc już ze znanymi znakami) i danymi w spostrzeganiu sukcesywnym, wzrokowym, by na ich podstawie zachować wytyczony kierunek działania.

W następstwie tego rodzaju postępowania, w miarę pogłębiania się działań rutynowych pojawia się swego rodzaju podświadomość w postaci nawyków przemieszczania się w znanym otoczeniu.

Nie należy też zapominać o naturalnym układzie orientacyjnym, o wschodach i zachodach Słońca, a także o jego zenitalnych położeniach i zawartym w człowieku równie naturalnym układzie statycznym: pionu i poziomu, pomocnym w określaniu względnej wysokości tarczy słonecznej nad widzianym horyzontem. Podobnie jak nie należy zapominać o wzrokowym spostrzeganiu nocnego nieboskłonu: ruchu Księżyca i zmiennych położeń gwiazdozbiorów względem *nieruchomej* Gwiazdy Polarnej, wyznaczającej kierunek północny. W ten sposób model obszaru, zawarty w świadomości człowieka prehistorycznego, został wyposażony w naturalną orientację ogólną, ale i czasową (zmiany położenia ciał niebieskich jako mierniki czasu, odpowiedniki zegara i kalendarza), (ryc. 3).

5. Psychiczna mapa przestrzenna

Przechodząc od dywagacji prawdopodobnych do wyznaczonej w rozwoju historycznym naszych praprzodków pozycji *homo sapiens* – człowieka rozumnego (ok. 15 000 przed n. Ch.), obdarzonego aktywnością do działań właściwą już człowiekowi współczesnemu, stwierdzamy, że zakładając siedliska, czynił to w sposób rozumnie umotywowany, oddziałujący całościowo na wyobraźnię przestrzenną, podbudowaną próbami wykształcania się mowy artykułowanej i pojęć.

Przedstawiony wcześniej układ funkcjonalny, ukazujący związki podstawowych form aktywności człowieka w postaci spostrzeżeń, podejmowania motywacji i przedsiębrania działań, staje się teraz gwarantem dynamiki rozwoju, zaświadczanej retrospekcją kulturowych dokonań.

Równie wcześniej uzasadniona dominująca rola spostrzegania wzrokowego w działaniach pozwala nam teraz na ukazanie jej nadzwyczaj istotnej dla naszych rozważań właściwości: będąc pierwotną przed

przedsiębranymi działaniami, staje się ich **sterownikiem**. Człowiek bowiem nie działa bezpośrednio na realnych obiektach otoczenia, lecz na ich psychicznych obrazach, zawartych w widzeniu perspektywicznym, skalowym, o zredukowanych wymiarach obiektów (a więc w widzeniu pozornie zniekształconym), a mimo to rozpoznawalnych jednoznacznie, dzięki mechanizmowi percepcji i nabytym doświadczeniom, umiejscowionym w pamięci.

Omawiane uprzednio rozpoznanie obszaru otaczającego jaskinię (*Caune d'Arago*) było przecież dokonywane poprzez psychiczne obrazy obiektów terenowych spostrzeganych z różnych punktów widzenia, przetwarzanych następnie na informacje obrazowe (figuratywne), pozostające w jednoznacznych relacjach do tych obiektów i we wzajemnych relacjach przestrzennych według obranego obiektu odniesienia, wiążąc z kolei całościowy obraz tego obszaru z naturalną orientacją przestrzenną (np. według Słońca), co daje nam stosowną do obszaru całościową strukturę obrazową, przestrzenną. Taka struktura obrazowa: psychiczny obraz całości obszaru *przeniesiony do pamięci*, może, za sprawą procesów transformacyjno-poznawczych, stać się tego obszaru wyobrażeniem, wywołanym np.: motywacją do określonego działania bądź sygnałem nagle ujawnionym na zobrazowanym obszarze, a dotąd niespostrzeżonym. Powstałe w takich przypadkach wyobrażenia są uświadomionymi obrazami (informacjami) wchodzącymi w jednoznaczne relacje z rzeczywistymi obiektami. Natomiast w interpretacji systemowej, przykładowo, ukazują nam one zarówno interakcję człowieka wobec otoczenia, jak i otoczenia wobec człowieka, zaświadczając tym samym o wzajemnych oddziaływaniach występujących w systemowym zrozumieniu układu: człowiek – otoczenie jako całości. Innymi słowy, jest to sytuacja odpowiadająca sprzężeniu zwrotnemu (*feedback*) w ujęciu cybernetycznym.

Pytając zatem o **ontogenezę mapy**, odnajdujemy jej **praelementy** w genetycznych predyspozycjach człowieka do spostrzegania, psychicznej reprezentacji otoczenia w postaci obrazów (figury treściowe – informacje), do przestrzennego orientowania się, niezbędnego chociażby w czynnościach przemieszczania się, czy bardziej ogólnie, we wszelkich umotywowanych działaniach (celowych) dotyczących poznania otoczenia (aktywności wobec wyznaczanej czasoprzestrzeni geograficznej).

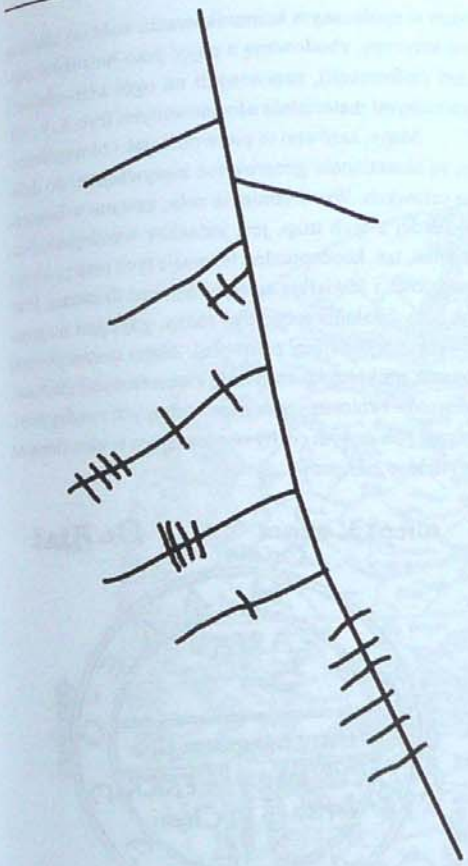
Zawarte w spostrzeżeniach obrazy psychiczne, niosąc ujęte relacyjnie informacje obrazowe, tworzą, w odniesieniu do rozpoznanego otoczenia przyszłej aktywności człowieka, zorientowane całości strukturalne czasoprzestrzennie rozciągłe, pozostające w relacjach jednoznacznych do obiektów terenowych i reprezentujące takież w relacjach obrazowych. Te całościowe struktury, powstałe z procesów percepcji, aktywności pamięci, skoncentrowanej uwagi i motywacji poznania, są też pierwotne dla przedsiębranych zadań analitycznych (i programów ich rozwiązań), dotyczących wyznaczania potrzeb człowieka i ich zaspokajania poprzez działania wobec otoczenia. Pierwszeństwo tych struktur przed przedsiębranymi zadaniami tym samym wyznacza im funkcję **sterownika** w działaniach (np. założenie siedliska *Caune d'Arago*). Wiedząc, że praelementy mapy są zawarte w genetycznych predyspozycjach człowieka, nadamy teraz tym pierwotnym strukturom całościowym, złożonym z informacji obrazowych, miano **psychicznych map przestrzennych**, gdyż ich właściwości i funkcje zawierają się w cechach współcześnie rozumianej mapy, jednak z pewną istotną różnicą: są to reprezentacje typowo lokalne, a w swej substancji niematerialne, ale odpowiadające aktywności człowieka doby wczesnej starożytności. Można je też uznać, przez silny, konceptualny związek tych map z otoczeniem (obiektami terenowymi), za *zwiastuna* przyszłych, a nam współczesnych map topograficznych. *Nota bene:* wśród ludów plemiennych umiejętność odtwarzania informacji na podstawie psychicznej mapy przestrzennej występowała jeszcze w XIX w., nie jest też obca człowiekowi współczesnemu, przemierzającemu znane mu lokalne otoczenia w sposób nawykowy (wiedzie go tzw. *mapa mentalna*), jest też rozpoznawalna w badaniach ociemniałych pod takąż nazwą – psychicznej mapy przestrzennej. Wszystkie te przypadki potwierdzają zarazem praktyczność psychicznej mapy przestrzennej jako sterownika działań człowieka (ryc. 4, 5, 6).

Ryc. 4. Rysunek topograficzny wysp (Belcher Islands) w Zatoce Hudsona wykonany ołówkiem przez Eskimosa nazwiskiem Wetalltok (ok. 1895), jako bardziej dokładny niż przedstawienie na mapie hydrograficznej z tamtego okresu. Jest to przykład oddziaływania psychicznej mapy przestrzennej.
źródło: Harvey P. D. A.: The History of Topographical Maps, wyd. Thanes and Hudson, London 1980.

Fig. 4. A topographic pencil drawing of the Belcher Islands in Hudson Bay by Eskimo Wetalltok (about 1895) as more accurate then it has been represented on the hydrographic map elaborated in that term. There is an exapmle of the psychic spatial map action.
after: Harvey P. D. A.: The History of Topographical Maps, ed. Thanes and Hudson, London 1980.

Ryc. 5. Mapa przedstawia wyspy z obszaru wschodniej Grenlandii, rzeźbione w drewnie przez Eskimosów. Te dwa rzeźbione kawałki drewna tworzą jedną mapę: krótszy przedstawia wyspę obwiedzioną linią brzegową, dłuższy przedstawia wysepki przybrzeżne. Ta mapa jest przykładem oddziaływania psychicznej mapy przestrzennej.
źródło: Harvey P. D. A.: The History of Topographical Maps, wyd. Thanes and Hudson, London 1980.

Fig. 5. This map carved on wood by Eskimos represents islands of East Greenland. The two carved pieces form a single map: the shorter piece represents the island taken round by coastline, while the longer piece reprsents the islands lying offshore. This map is an example of the psychic spatial map action.
after: Harvey P. D. A.: The History of Topographical Maps, ed. Thanes and Hudson, London 1980.



Ryc. 6. Mapa górnego biegu rzeki Xingu River w Brazylii, rysowana na piasku przez jednego z plemienia Suya dla podróżnika Karola von den Stienena (1884). Kreski poprzeczne do biegu rzek oznaczają wioski plemienne. Nazwy wiosek były wypowiadane, a nie pisane. Zaskakująca zgodność przestrzennego umiejscowienia wiosek z nadaniem im właściwych nazw. Jest to przykład psychicznej mapy przestrzennej.
źródło: Harvey P. D. A.: The History of Topographical Maps, wyd. Thanes and Hudson, London 1980.

Fig. 6. A map of the upper Xingu River in Brasil, this was drawn in sand by one of the Suya tribe for the German explorer Karol von den Stienen (1884). Cross strokes to rivers' directions represent tribal hamlets. The names were spoken not written. It is the surprising coincidence between that spatial located hamlets and their proper names. This example represents the psychic spatial map idea.
after Harvey P. D. A.: The history of Topographical Maps, ed. Thanes and Hudson, London, 1980.

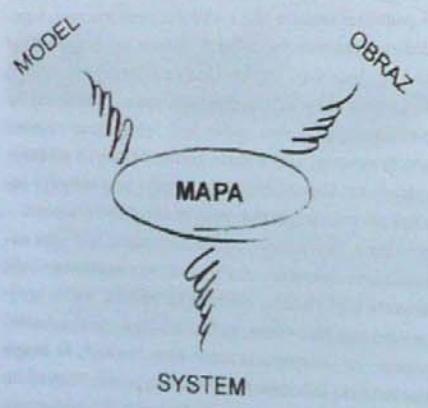
6. *Tria iuncta in uno*

Trzeba przyznać, że konceptualna formacja psychicznej mapy przestrzennej, pierwotnej w historycznym rozwoju map, jest bardzo przejrzysta w swej strukturze. Jako reprezentacja uprzedmiotowionego otoczenia powstała bowiem z potrzeb umotywowanych – celowych, zrealizowanych dzięki genetycznym predyspozycjom człowieka i w rezultacie jego aktywności psychicznej, pobudzającej podstawowe procesy przetwarzania sygnałów w obrazy. Z tych obrazów i ich relacji jest scalana mapa, a każdy z kolei obraz psychiczny niesie ze sobą treść (informację obrazową) i formę tej treści, czyli obraz (nośnik informacji). Wyodrębniane treści są jednak swoistymi uogólnieniami w stosunku do treści rzeczywistych. Wynikają one bowiem z wrażliwości i czułości receptorów, a także z koncentrycznego działania uwagi modyfikowanej motywacjami. To uogólnienie ma charakter modelowy, czyniąc zarazem z informacji obrazowej swoisty model, tak jak z formy tego modelu (obrazu) czynimy nośnik informacji, dany następnie w spostrzeganiu i dogodny dla osobnika o podobnej wrażliwości i czułości sensorycznej, i podobnych motywacjach. We wzajemnym rozpoznzwaniu się obraz staje się wówczas przekazem informacji. Natomiast obraz psychiczny jako spostrzegana całość powstaje systemowo, gdyż jest rezultatem celowo umotywowanej aktywności zintegrowanych struktur człowieka: somatycznej, psychicznej i umysłowej i interakcji w czasoprzestrzennym układzie: człowiek – otoczenie. Psychiczna mapa przestrzenna jest więc **całością** (*tria iuncta in uno*)*) złożoną z **systemu** (cel), **modelu** (informacja) i **obrazu** (przekaz). Jest to spójna struktura **pierwotna**, ukazana tutaj w nieskazitelnej postaci. Jej interpretacja mówi nam również, że **mapa jest całością informacyjną**, zawartą przede wszystkim w koncepcji, tzn. mapa nie może być tylko systemem, tylko modelem i tylko obrazem. Uznając pośrednictwo informacji w relacji działań: człowiek – otoczenie, powiemy teraz, że koncepcja mapy daje właściwą podstawę do przedsiębrania wszelkich umotywowanych zadań kulturowych. Uwzględniając psychikę człowieka, oznacza to także, że te wszelkie przedsiębrane zadania

umotywowane wobec otoczenia (czasoprzestrzeni geograficznej) są swoistymi projekcjami dokonywanymi poprzez mapę (jako sterownika działań). Ta konstatacja dzisiaj, wydaje się, jest zbieżna z duchem czasu, zwłaszcza wobec rozwiniętych technik informacyjnych i komunikacyjnych, tych dominujących znamion współczesnej cywilizacji. Myślę, że dynamiczny rozwój systemów informacji geograficznej znajduje również uzasadnienie w przyjętej koncepcji mapy (ryc. 7).

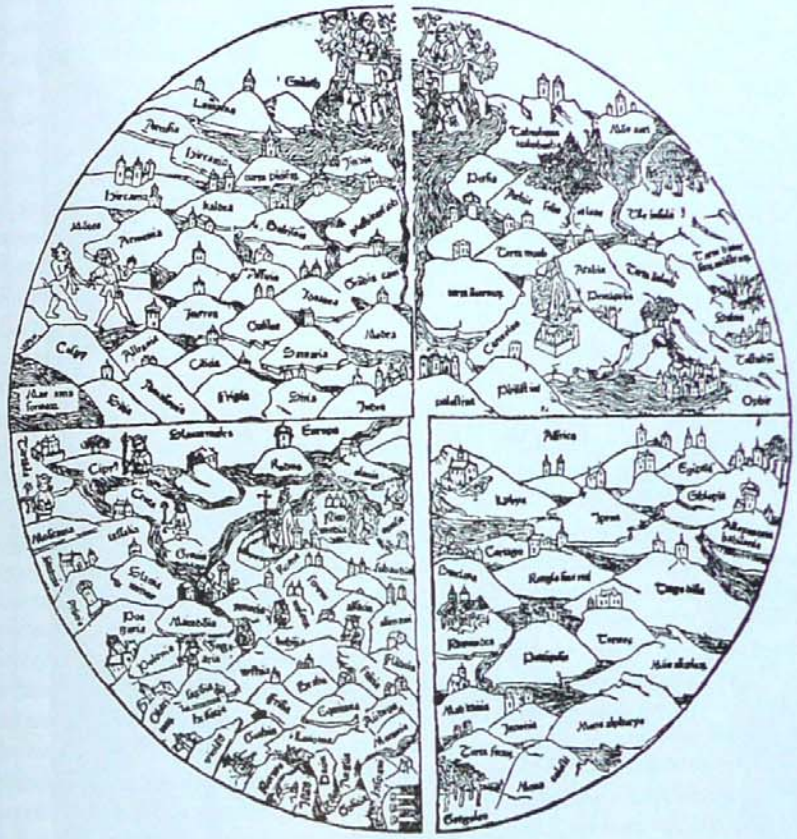
W widomym rozwoju mapy, który postępuje przez rozwój myśli za sprawą psychicznych procesów transformacyjno-poznawczych, zaznacza się również ewolucja od informacji typowo obrazowej do informacji abstrakcyjnej, opartej na pojęciach, jako modelach realnego bytu w świadomościowym ujęciu uprzedmiotowionego otoczenia. Modele są bowiem **utworami uogólnionymi**, pozbawionymi cech nieistotnych (egzemplarycznych), które jednak tworzą konkretność określonego bytu, ale są nieprzydatne w myśleniu abstrakcyjnym. Posługiwanie się pojęciami stało się też impulsem do wyjścia z przedstawień lokalnych ku przestrzeni globalnej, jaką jest Ziemia. Tym samym mapa w społecznym komunikowaniu stała się całością semantyczną, zbudowaną z pojęć jako nośników znaczeń (informacji), znaczonych na ogół konwencjami graficznymi materialnie uformowanymi (ryc. 8. 9. 10).

Mapy, zarówno te pierwotne, jak i te współczesne, są niezmiennie generowane motywacjami do działań celowych. Wyodrębnienie celu, zawarte w koncepcji każdej z tych map, jest jednakże wyodrębnieniem systemu, tzn. konceptualne formacje tych map powstają systemowo i zawierają systemowy sens działania. Przy tym sens działania może być różny, gdyż jest uwarunkowany motywacjami celowymi. *Mapa system* posiada bowiem strukturę utożsamianą z określonymi zbiorami elementów i zbiorami relacji zachodzących między nimi, tworząc tym samym cechy wyróżniające tę określoną od innych *map systemów*.

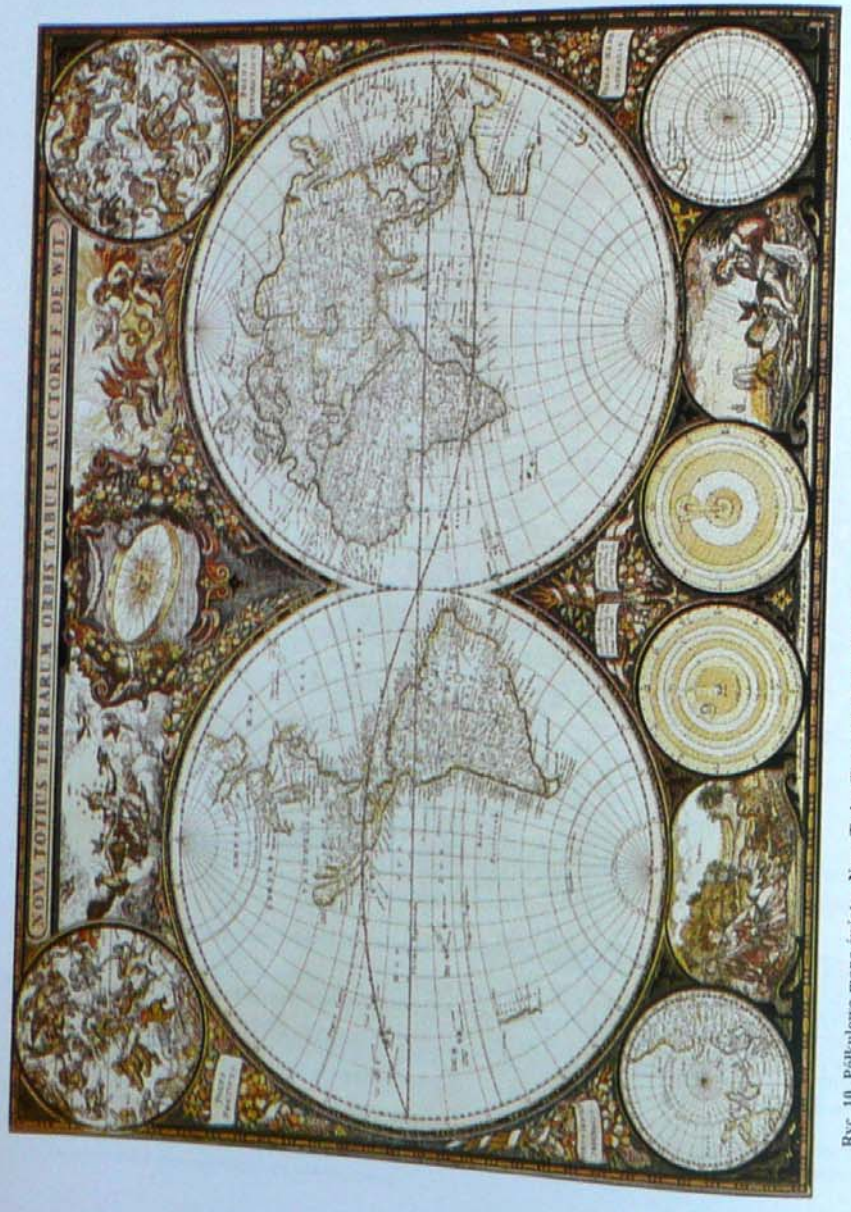


Ryc. 7. Autorska koncepcja mapy składająca się z systemu (cel), modelu (informacja) i obrazu (przekaz) jako spójna pierwotna struktura odpowiadająca współczesnemu zrozumieniu mapy.
Fig. 7. The author's map conception consisting of a system (goal), a model (information) and an image (communication) as a coherent primary structure that corresponds to the map contemporary understanding.

Ryc. 8. Mapa z dzieła Etymologiae św. Izydora, biskupa Sewilli, manuskrypt z r. 700, wykonana drzeworytem w 1472 r. jako pierwsza znana, drukowana mapa świata.
źródło: Woodward David, Five centuries of map printing. The University of Chicago Press, Chicago, London 1975.
Fig. 8. The tripatrite world map existed in manuscript form contained in *Etymologiarum* (700 AD) by St Isidore of Seville, woodcuted in 1472 as the first known printed map of the world.
after: Woodward David, Five centuries of map printing. The University of Chicago Press, Chicago, London 1975.



Ryc. 9. Mapa świata, pierwsza drukowana, niepochodząca ze źródeł wcześniejszych, opracowana przez Lucasa Brandissa, 1475, Lubeka, zawarta w *Rudimentum novitiorum*.
źródło: Woodward David, Five centuries of map printing. The University of Chicago Press, Chicago, London 1975.
Fig. 9. The first printed world map, not derived from anterior sources by Lucas Brandiss, 1475, Lubeck, as the World map contained in *Rudimentum novitiorum*.
after: Woodward David, Five centuries of map printing. The University of Chicago Press, Chicago, London 1975.



Ryc. 10. Półkulowa mapa świata „Nova Totius Terrarum Orbis Tabula", opracowana przez Fredericka de Wita (1616-1698), w Amsterdamie.
Fig. 10. Hemispherical world map known as „Nova Totius Terrarum Orbis Tabula" by Frederick de Wit (1616-1698), Amsterdam.

7. Wnioski

7.1. Przedstawione studium ontogenezy mapy, wpisane w czasoprzestrzenny układ: człowiek - otoczenie, zostało rozwinięte z podmiotowej pozycji człowieka wobec uprzedmiotowionego otoczenia jako źródła wzbudzania i zaspokajania potrzeb człowieka (duchowych i materialnych). Tak też została ukazana, wpisana w układ, naturalna relacja działania, wywoływana genetycznymi predyspozycjami człowieka do aktywności celowej i zorganizowanej, czyli umotywowanej, a w swej istocie systemowej, tzn. podporządkowanej celowi zawartemu w myśleniu motywacyjnym rozpoznawania bądź zaspokajania potrzeb, realizowanych za pomocą zadań przedsiębranych wobec otoczenia.

Ten tok działania nie byłby jednak możliwy bez zaistnienia **informacji,** która, jak już wiemy, pośredniczy, występując w roli sterownika, we wszelkich celowo przedsiębranych zadaniach w rzeczonym układzie. Należy podkreślić, że ta rola informacji nie jest kategorią historyczną, mimo ewolucji postaci samej informacji (figuratywna, słowna, abstrakcyjna, etc.), gdyż wynika ona z genetycznych predyspozycji człowieka i dlatego też jest tak podstawowo znacząca w dynamice cywilizacyjnego rozwoju ludzkości. Jest bowiem nieodzownym składnikiem decyzji podejmowanych we wszelkich przejawach aktywności czasoprzestrzennej – geograficznej.

W sumującym rozważania studium ontogenezy mapy zostały również ujawnione prolegomena do definicji pojęcia mapy, które zamierzamy tutaj przedstawić w kilku istotnych stwierdzeniach:

- ontogeneza mapy wskazuje, że jest ona zawsze rezultatem predyspozycji człowieka do aktywności umotywowanej, celowej wobec otoczenia;
- mapa jest pierwotna w relacji do wszelkich przedsiębranych zadań celowych wobec otoczenia, jest ich sterownikiem, co wynika z pośredniczącej roli informacji: rozwiązywanie zadań następuje poprzez *myślenie mapą*;
- mapa posiada koncepcję: cel i przeznaczenie, wynikające z motywacji do działań wobec otoczenia, jej konceptualna formacja jest systemowa;
- mapa jest całością informacyjną zawartą w koncepcji i złożoną z systemu (cel), modelu (informacja) i obrazu (przekaz);
- mapa ma strukturę pojęciową i relacyjną, modelowaną poprzez uogólnienia, a realizowaną poprzez systemowe formalizmy metodyczne, zapewniające m.in. geometryczną i topologiczną poprawność odniesień przestrzennych;
- mapa jest wytworem psychiki i intelektu, nie jest więc przypisana do materii nośnika;
- wprowadzenie języka naturalnego (nazw) do mapy tworzy zeń naturalny układ odniesień przestrzennych;
- materia nośnika mapy (przekazu) jest kształtowana systemowo, za pomocą formalizmów metodycznych i psychofizycznie, dla zachowania jednoznaczności odbioru informacji;
- fizyczna postać mapy (materialna) jest *wehikułem* wyobraźni (obraz psychiczny) podczas dostarczania **geoinformacji**.

7.2. Refleksja kończąca rozważania, odniesiona do współczesności

Kojarzenie mapy z modelem wydaje się oczywiste, trudniejsze jest wiązanie mapy z systemem, zwłaszcza z systemem informacji geograficznej, którego produktem pochodnym jest mapa (?!), natomiast kojarzenie mapy jedynie z obrazem jest, wbrew pozorom, wprost błędne i trudne do uświadomienia, nośnikiem informacji są bowiem pojęcia, a nie papier pokryty grafiką.

Dbajmy zatem o mapę jako utwór całościowy, stanowiący puściznę dziedzictwa kulturowego, zawartego w duchowym i materialnym dorobku ludzkości. By pozostała sterownikiem działań umotywowanych celowo.

Przesunięcie informacji z nośnika formy obrazowej do abstrakcyjnej, pojęciowej, dzisiaj tworzy okazję, dzięki możliwościom technologicznym, informatycznym, przysporzenia mapie jako *tria iuncta in uno* własności dynamicznych, tzn. dynamiki systemowej (zachowanie celu przy zmienności struktury w czasie), dynamicznego modelowania (temporalne generalizowanie) i dynamicznej (animowanej) prezentacji.

Bibliografia

Harvey P. D. A., 1980, *The History of Topographical Maps*, wyd. Thanes and Hudson, London.

Makowski A., 2000, *Trójdzielna jedność mapy albo dwa paradoksy i mapa*, [w:] *Kartografia u progu XXI wieku*, wkładka do materiałów Ogólnopolskich Konferencji Kartograficznych, t. 22, Biblioteka Narodowa, Warszawa.

Maruszewski T., 2001, *Psychologia poznania*, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk.

Młotkowski J., 1998, *Aktywność wizualna człowieka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Tobolczyk M., 2000, *Narodziny architektury*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Woodward D., 1975, *Five centuries of map printing*, wyd. The University of Chicago Press, Chicago, London.

Summary

Studying cultural processes of the evolution of humanity from prehistoric time (homo erectus) to nowadays, it makes known us the map insistent presence. To grasp mentally that unusual phenomenon and may it to explain there have been made the two assumptions valid both a prehistoric and contemporary man. There they are:

1ş a man is the genetic, independent and integer system, that consists of somatic, psychic and mental structures;

2ş interactions that appear with relation to the arrangement of human being and environment there have been defined as invariable constituents of the progressive evolution of spatial – temporal consciousness of a man.

Basic on that assumptions and taking into account genetic predispositions of a man to perceiving, spatial – temporal orientating, combing parts into a whole, taking unique notes of surroundings, etc. it has been approached to the map ontogenesis. As a result of that considerations a psychic image consisting of information carrier and information by itself has been defined. It occurs that a set of psychic images spatially ordered and modified by a desired goal makes it a psychic spatial map (mental map). It also occurs that the sense of psychic spatial map as an action driver is the same with a contemporary map. Then the ideas of that maps are common and based on the tripartite formation. It means, that three map constituents, such as: a map system (desired goal), a map model (information) and a map image (communication) form an integral constitution – the map, that is ordinarily contained within the map conception. It was also argued that the map concept cannot be identified with only its map image constituent (its material form) as it is existed in common conviction.

That is the author's proposal of the map contemporary understanding.

SŁAWOMIR MIKRUT, KRYSTIAN PYKA, JÓZEF JACHIMSKI[1]

WSPÓŁCZESNE TENDENCJE W ZAKRESIE KOMPRESJI ZDJĘĆ LOTNICZYCH I OBRAZÓW TELEDETEKCYJNYCH

Słowa kluczowe:

kompresja, JPEG, zdjęcia lotnicze, satelitarne

Abstrakt

W artykule przedstawiono współczesne tendencje w obszarze kompresji obrazów cyfrowych. Podano wady i zalety poszczególnych metod kompresji: JPEG, falkowej i fraktalnej. Podano istotne różnice w podejściu do poszczególnych metod. Materiał badawczy obejmuje kompresje zdjęć lotniczych i zobrazowań satelitarnych za pomocą standardów JPEG, JPEG 2000 oraz metody falkowej ECW. Testy zostały przeprowadzone na wybranych zdjęciach lotniczych oraz zobrazowaniach satelitarnych. Wyniki badań pokazują, że stopień kompresji zależny jest od skali zdjęcia oraz tekstury obrazu występującej na nim. W artykule zastosowano różne miary oceny straty jakości na obrazach po kompresji w odniesieniu do obrazów niedegradowanych.

THE PRESENT TIME TENDENCIES IN THE AREA OF AIRPHOTO AND REMOTE SENSING IMAGERY COMPRESSION

Key words:

compression, JPEG, aerial and satellite images

Abstract

In this paper actual tendencies in area of image compression are presented. The advantages and disadvantages of particular compression methods such as: JPEG, wavelet and fractal are given. There are also discussed essential differences in presented methods of image compression. The tests were performed on selected aerial and satellite images using following compressions: JPEG, JPEG2000, and wavelet ECW. The results show, that compression ratio is dependent on scale of image and image texture. In this paper different *estimated measures of quality loss* on images after compression, with reference to not-compressed images, have been used.

[1]Akademia Górniczo - Hutnicza, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej, Kraków

1. WSTĘP

W obrazach cyfrowych występuje redundancja danych, zarówno w dziedzinie przestrzennej, jak i radiometrycznej. Oko ludzkie rejestruje natężenie światła w sposób nieliniowy, jest mniej czułe zarównona bardzo niskie, jak i wysokie częstotliwości przestrzenne. Szukanie oszczędnego zapisu obrazów cyfrowych jest tematem wciąż aktualnym, pomimo szybkiego rozwoju pamięci masowych. Dodatkowym argumentem za poszukiwaniem optymalnej metody kompresji obrazów są wymogi internetu, w którym obserwujemy coraz skuteczniejsze rozwiązania w zakresie wizualizacji obrazów on-line.

Istnieją dwie techniki kompresji danych: bezstratna i stratna (degradująca obraz). W *kompresji bezstratnej*, zwanej także kompresją odwracalną, nie dochodzi do najmniejszej nawet utraty informacji. Zdekompresowany obraz jest numerycznie identyczny z obrazem oryginalnym. W trakcie *kompresji stratnej*, zwanej też nieodwracalną, pewna cześć informacji jest bezpowrotnie tracona. Powoduje to, że zdekompresowany obraz nie jest numerycznie identyczny z oryginałem.

W przypadku obrazów tonalnych, a takie stosowane są w fotogrametrii i teledetekcji, kompresja bezstratna wykazuje relatywnie małą skuteczność. Natomiast kompresja stratna potrafi dokonać znacznej redukcji objętości przy niezauważalnej przez oko ludzkie stracie jakości obrazu.

Ostatnio najpopularniejszym w zastosowaniach fotogrametrycznych standardem kompresji stratnej był JPEG. Jednak od dwóch lat dostępny jest również format JPEG2000, choć nazwą przypominający poprzednika, to jednak różniący się znacznie w działaniu. Obok standardu JPEG coraz większą popularnością cieszą się kompresje metodą falkową (ang. *wavelet*) oraz fraktalne (ang. *fractal*). Niniejszy artykuł ma na celu przybliżenie nowych metod kompresji oraz odniesienie ich do standardu JPEG.

2. OPIS METOD KOMPRESJI

Prace prowadzone w ośrodkach naukowych potwierdzają aktualne pozycje standardu JPEG w przypadku kompresji zobrazowań z pułapu lotniczego, jednak w przypadku kompresji metodami falkowymi zauważa się znaczny postęp w stopniu kompresji w odniesieniu do zobrazowań satelitarnych. Aby lepiej zrozumieć istotę problemu, przyjrzyjmy się poszczególnym metodom.

2.1. JPEG

Metoda JPEG, znana od ponad 10 lat, znalazła szereg zastosowań w dziedzinie przetwarzania obrazów cyfrowych. Istotą tej kompresji jest zastosowanie transformaty kosinusowej DCT (DCT - Discrete Cosine Transform), pozwalającej na przejście z przestrzeni miejsca na obrazie w przestrzeń częstotliwości na obrazie. Współczynniki wyliczone z DCT są następnie dzielone przez tzw. macierz kwantyzacji, dając na wyjściu wyniki zaokrąglone, co powoduje, że na tym etapie kompresji JPEG następuje utrata informacji. Proces odbywa się w blokach obrazu o wymiarach 8x8 pikseli, a skutkiem „blokowości" algorytmu jest widoczna w obrazie skompresowanym sztuczna tekstura, która ujawnia się tym bardziej, im większy jest stopień kompresji. Szczegółowy opis algorytmu można znaleźć w literaturze (Wallace 1991), (Mikrut 2003).

2.2. Metody falkowe

Pod koniec lat osiemdziesiątych do kompresji obrazów cyfrowych wprowadzone zostały funkcje zwane potocznie falkami. Główną cechą tych funkcji jest wąskie pasmo częstotliwości zastosowanej transformaty Fouriera. Generowane są one z jednej funkcji zwanej funkcją skalującą, która umożliwia hierarchiczną reprezentację aproksymowanej funkcji, co oznacza reprezentację z różnymi poziomami szczegółowości (Kiema 2000).

Można stwierdzić, że falki są zdefiniowane jako funkcje, które dzielą dane na różne składowe częstotliwości, a to ułatwia analizę każdej składowej z

osobna. Poziom szczegółowości w obrazie nie musi być wówczas stały, a wielkość fragmentów obrazu o określonej teksturze może być różna. W odróżnieniu do metod fourierowskich, falki pozwalają na rozdzielenie danych sygnału wejściowego nie tylko ze względu na radiometrię, ale również ze względu na charakter tekstury. Objawia się to tym, że metody fourierowskie są idealne dla obrazów o tonacji ciągłej, podczas gdy kompresja falkowa jest efektywniejsza dla sygnałów wejściowych charakteryzujących się ostrymi impulsami. Dyskretna transformata falkowa - DWT (ang. *Discrete Wavelet Transform)* bazuje na sukcesywnym konstruowaniu serii subobrazów, o dwukrotnie zredukowanej skali (rozdzielczości). Obraz podzielony zostaje na cztery kwadraty reprezentowane przez nowe, odpowiednio dobrane równania falkowe. Wynik każdej serii zawiera cztery obrazy, trzy zawierają wysokoczęstotliwościowe informacje zorientowane w poziomie, pionie i po skosie, podczas gdy czwarty obraz zawiera informacje zapisane na niskich częstotliwościach. Reprezentacja w postaci subobrazów jest w pełni ekwiwalentna w stosunku do obrazu oryginalnego, odwrócenie procesu powoduje powrót do informacji źródłowej. W rozwiązaniu stratnym trzy obrazy wysokoczęstotliwościowe są eliminowane, a transformacja jest powtarzana ponownie, ale już tylko na niskoczęstotliwościowym obrazie. Poprzez wykorzystanie progowania, współczynniki o zmiennych rzeczywistych są zamieniane na wartości całkowite. Jest to proces kwantyzacji, który stanowi utratę informacji (etap stratny kompresji). Liczba bitów potrzebnych do reprezentowania każdego współczynnika jest redukowana poprzez binaryzacje. Szerszy opis kompresji falkowej można znaleźć w literaturze (Skarbek 1998), (Kiema, 2000).

Pod koniec lat osiemdziesiątych rozpoczęto prace związane z wykorzystaniem transformacji falkowej do reprezentacji obrazów (Mallat 1989). Algorytm Mallata dekomponuje obraz na cztery obrazy składowe, przy czym każda składowa ma rozmiar równy jednej czwartej obrazu pierwotnego (czyli ma rozdzielczość dwa razy mniejszą niż dekomponowany obraz). Każda składowa może być następnie dekomponowana w ten sam sposób, przez co powstaje reprezentacja na wielu poziomach rozdzielczości. Każdorazowe rozłożenie na obrazy składowe odbywa się na drodze zwykłego filtrowania dolnoprzepustowego i górnoprzepustowego. Filtrując dolnoprzepustowo w pierwszej kolejności wiersze, a następnie kolumny, przy równoczesnym dwukrotnym zmniejszeniu liczby wierszy i kolumn, tworzy się obraz zwany LL (low-low). Kolejne dwa obrazy powstają w rezultacie splotu filtrów dolnoprzepustowego i górnoprzepustowego, w zależności od zastosowanej kolejności filtracji obrazy zwane są odpowiednio LH (low-high) i HL (high-low). Czwarty komponent jest rezultatem filtrowania górnoprzepustowego wierszy i kolumn HH (high-high). Odwrotna transformacja rekonstruuje obraz bez zniekształceń. Jednakże, jeśli po dekompozycji na obrazy składowe dokonamy modyfikacji tych obrazów, np. przez obcięcie współczynników o niskich wartościach, to odwrotna transformacja takich obrazów da nam w rezultacie obraz zdeformowany. Niemniej szczególne własności składowych obrazów LL, LH, HL, HH pozwalają usunąć mało istotne wartości przekształcenia, dzięki czemu rekonstruowany obraz różni się bardzo niewiele od oryginału. Zaproponowana przez Mallata strategia wykorzystania transformacji falkowej do reprezentacji obrazów została z powodzeniem zastosowana do kompresji obrazów cyfrowych.

Realizacja cyfrowej transformacji falkowej (DWT – Discrete Wavelet Transform) może być wykonana na kilka sposobów (Saha 1999), ale najwydajniejsza jest metoda zaproponowana przez Shapiro, która zawiera kodowanie falkowe z wykorzystaniem drzewa zerowego (Zerotree Wavelet Coding) (Shapiro 1993).

Podobnie jak w metodzie JPEG, kompresja ma miejsce na etapie kwantyzacji, w czasie rekonstrukcji obrazu, kiedy niektóre elementy ulegają uproszczeniu, głównie wysokie częstotliwości (Vetterli 1995).

Obecnie istnieją dwa technologiczne rozwiązania kompresji oparte na metodzie falkowej: JPEG2000, oraz otwarty standard ECW (Enhenced Compressed Wavelet).

Standardy JPEG2000 i ECW stosują sekwencyjny rozkład obrazu, tak jak w propozycji Mallata, na cztery obrazy składowe o dwukrotnie obniżonej rozdzielczości. Kompresja uzyskiwana jest na drodze usuwania współczynników reprezentujących składowe o niskiej energii i kodowania sygnału w kolejnych obrazach składowych. Różnica pomiędzy powyższymi metodami kompresji polega na innej metodzie kodowania odbywającego się w czasie rekonstrukcji obrazu. W JPEG2000 kodowanie jest wykonywane niezależnie na nienakładających się blokach wewnątrz poszczególnych obrazów składowych (podpasm). Wewnątrz podpasm wszystkie bloki, z wyjątkiem skrajnych, mają takie same rozmiary. Strategia kodowania zwana jest zagnieżdżonym kodowaniem blokowym ze zoptymalizowanym obcięciem (EBCOT). Dane z kodowanych bloków układa się w warstwach, a zespoły danych z indywidualnych warstw i indywidualnych komponentów, jak bloki, są podstawowymi jednostkami skompresowanych danych. Algorytm kodowania wykonuje kilka przebiegów, w czasie których sukcesywnie usuwane są wartości o niskiej energii i na nowo kodowane w coraz to krótsze ciągi bitów. Bloki mają nagłówek i mogą być ułożone w dowolnej kolejności. Strumień kodowanych danych ma na początku nagłówek identyfikujący obraz oryginalny, kompozycję obrazu, zastosowany styl kodowania, rekonstrukcję kodowanego obrazu w danej rozdzielczości, obszary szczególnego zainteresowania (*region of interest*) i inne charakterystyki. Format zbioru opisuje przeznaczenie obrazu i jego składowe w kontekście zastosowań.

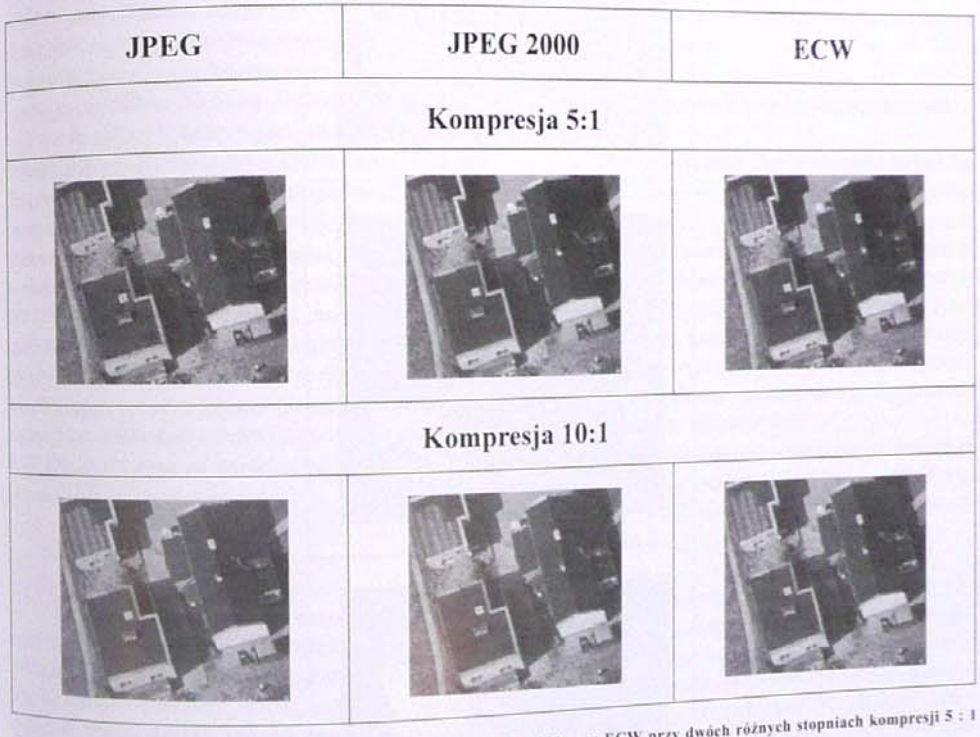
2.2.1. Kompresja ECW

Jednym z przykładów wykorzystania metody falkowej jest **kompresja ECW**. Skrót **ECW** ma dwa znaczenia, oznacza albo **E**nhanced **C**ompressed **W**avelet, albo **ER** Mapper **C**ompessed **W**avelet (odproducenta oprogramowania pozwalającego na prace z tym formatem). Oparta na metodzie falkowej kompresja jest porównywalna z innymi metodami w sensie stopnia kompresji. W odróżnieniu od kompresji JPEG, która dobrze kompresuje obrazy o tonacji ciągłej (dane wielotonalne), metody falkowe są efektywniejsze na obrazach, które charakteryzują się ostrymi nieciągłościami. Stąd też ich szersze zastosowanie w teledetekcji, a szczególnie w kartografii do kompresowania zapisu rastrowego map topograficznych i tematycznych. Podstawowa różnica pomiędzy kompresją falkową a JPEG polega na zastosowaniu różnej transformacji przy przejściu z przestrzeni miejsca w przestrzeń częstotliwości. W standardzie JPEG odbywa się to przez zastosowanie transformaty **DCT** (z ang. *Discrete Cosine Transform)*, podczas gdy w kompresji falkowej używana jest transformata **DWT** (z ang. *Discrete Wavelet Transform)*. Różnica jest szczególnie widoczna, jeśli korzystamy z dużego stopnia kompresji. Jak już wspomniano, kompresja falkowa w odróżnieniu od JPEG nie ma podziału na pojedyncze segmenty obrazu, co ma miejsce w przypadku JPEG i co objawia się wyraźnym efektem „kafelkowania", to jest widocznego podziału obrazu na małe fragmenty (kafelki) w przypadku silnej kompresji. Kompresowanie obrazów bez pośredniego porcjowania powierzchni obrazu, jakie występuje w metodzie JPEG, jest zaletą kompresji ECW, szczególnie dla kompresji obrazów teledetekcyjnych. Szerszy opis kompresji **ECW** można znaleźć w literaturze (Ueffing 2001).

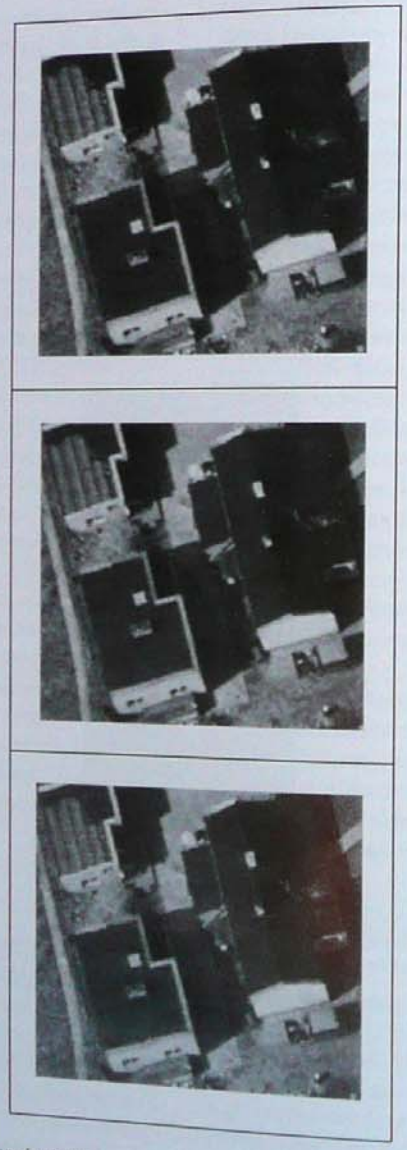
Główne cechy kompresji ECW:
- ograniczony stopień kompresji,
- selektywna dekompresja części obrazu podczas wizualizacji i selektywna dekompresja obrazu na różnym poziomie szczegółów,
- brak efektów ubocznych, takich jak „kafelki" w JPEG.

2.2.2. Kompresja JPEG 2000

W celu poprawy funkcjonowania standardowego algorytmu JPEG pod koniec lat dziewięćdziesiątych grupa o nazwie ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 rozpoczęła pracę nad nowym algorytmem, kierowanym w głównej mierze do produktów technologii multimedialnej. Dnia 2 stycznia 2001 roku pod numerem ISO/IEC 15444-1 wprowadzono w życie nowy standard: JPEG 2000. Miał to być standard zaprojekto-



Ryc. 1. Kompresja obrazu za pomocą trzech metod: JPEG, JPEG 2000 oraz ECW przy dwóch różnych stopniach kompresji 5 : 1 oraz 10 : 1.
Fig. 1. Compression of image by JPEG, JPEG 2000 and ECW metod with compression ratio 5 : 1 and 10 : 1.



Ryc. 2. Kompresja obrazu w stopniu 10 : 1 (od góry: JPEG, JPEG 2000, ECW).
Fig. 2. Compression of image with compression ratio 10 : 1 (JPEG, JPEG 2000, ECW).

wany jako system kodowy dla różnego typu danych rastrowych (binarnych, półtonalnych, kolorowych oraz wielospektralnych komponentów) o zróżnicowanej charakterystyce spektralnej (np. medyczne) i miał być bardziej efektywny niż wcześniejszy standard JPEG. Zasadniczą różnicą pomiędzy standardami JPEG a JPEG2000 jest rodzaj transformacji zastosowanej do kompresji. O ile w JPEG do kompresji wykorzystano metodę DCT, to w JPEG2000 kodowanie oparto na transformacie falkowej DWT, analogicznie jak w przypadku kompresji ECW. Kompresor JPEG2000 dzieli powierzchnię obrazu na części. Transformata falkowa jest wykorzystywana niezależnie dla każdej części. Małe rozmiary części przeznaczone są głównie do aplikacji, które w jednym czasie wymagają dostępu jedynie dla niewielkich części obrazu, duże zaś dają łatwy dostęp do dużych części obrazu. JPEG 2000, bazując na dyskretnej transformacji falkowej, dzieli obraz oryginalny na mniejsze części, a współczynniki falkowe (podobnie jak współczynniki transformacji DCT) podlegają kwantyzacji i są grupowane w regularne bloki. Po procesie kwantyzacji następuje osobne kodowanie w obrębie każdego podbloku (ang. *subband*). Każdy podblok jest dzielony na regularne bloki zwane blokami kodowymi JPEG2000 (ang. *code-bloks in JPEG2000*). Typowa wielkość bloków to 64 na 64 piksele.

2.3. Metody fraktalne

Kompresja fraktalna jako metoda w pełni automatyczna powstała w końcu lat osiemdziesiątych. Jej istota sprowadza się do konstrukcji dla danego obrazu tzw. operatora fraktalnego, działającego w przestrzeni obrazów. Wynikiem jest słownik zawierający najczęściej pojawiające się wzorce teksturalne. Punkt stały tego operatora dobrze przybliża obraz oryginalny. Konstrukcja operatora fraktalnego jest bardzo czasochłonna. Pod tym względem ustępuje koderowi metody JPEG.

Kompresja fraktalna należy do klasy metod asymetrycznych, tzn. koder wymaga dużo większego nakładu obliczeń niż dekoder. Po zastosowaniu operatora fraktalnego otrzymujemy obraz, którego piksele mają wartości rzeczywiste. W celu zmniejszenia zapotrzebowania na pamięć, wartości te są zaokrąglane do wartości całkowitych z przedziału [0, 255]. Szerszy opis metod kompresji fraktalnej, głównie w ujęciu matematycznym, można znaleźć w literaturze (Skarbek 1998).

3. PRZYKŁADY

W przykładach wykorzystano fragmenty zdjęć lotniczych oraz satelitarnych, zarówno kolorowe, jak i monochromatyczne.

3.1. Eksperymenty na zdjęciach lotniczych

Oceny degradacji jakości obrazów można dokonać wizualnie lub analitycznie. Ocenę wizualną stosujemy z reguły wówczas, gdy interesuje nas głównie jakość radiometryczna zdjęć (np. do celów interpretacyjnych, zastosowań internetowych, publikacyjnych). W przypadku zastosowań typowo fotogrametrycznych, ocena musi być dokonana bardziej niezależnie. Stosuje się wówczas różne miary straty jakości, oparte głównie na analizach statystycznych (Pyka i in. 2000; Mikrut 2002).

Poniżej przedstawiono porównanie trzech metod : standardowej – JPEG, JPEG 2000 oraz ECW, wykonanej dla zdjęć monochromatycznych zrobionych w skali 1:10 000.

Na przedstawionych przykładach (ryc. 1 i 2) widać wyraźnie, że wraz ze wzrostem stopnia kompresji degradacja obrazu staje się coraz bardziej widoczna. Widoczna jest również różnica pomiędzy poszczególnymi metodami. Na obrazach kompresowanych metodą JPEG coraz bardziej widoczna staje się struktura blokowa (8 na 8 pikseli). Po kompresji JPEG2000 degradacja ujawnia się podobnie, widoczny jest podział obrazu na poszczególne bloki, jednak pojawiają się one bardziej w obrębie poszczególnych homogenicznych obiektów obrazu (np. dach budynku), a nie mają struktury stałej (jak w JPEG 8 na 8 pikseli). Kompresja ECW ujawnia natomiast również blokowy charakter kompresji,

Tab. 1. Wyniki korelacji obrazu oryginalnego z obrazami po kompresjach i filtracjach.
Tab. 1. The results of correlation between original image and images after various compressions and filtrations.

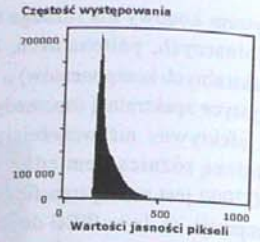
Współczynnik korelacji			
Kompresja	Oryginał	Gradient	Laplace
JPEG	0.9999	0.9869	0.8683
JPEG2000	0.9999	0.9918	0.91
ECW	0.9970	0.7705	0.2799

wprowadzając jednocześnie dodatkowe zakłócenia na łączeniu bloków. Wnioski płynące z obserwacji wizualnych potwierdzają wyniki miar statystycznych. Miary wykorzystane w badaniach (Mikrut 2002) liczone jako korelacja obrazów oryginalnych, po pierwszej (gradient) i drugiej pochodnej (Laplace'a), najlepsze rezultaty dają dla obrazów po kompresji JPEG2000 (tab.1).

3.2. Eksperymenty na zobrazowaniach satelitarnych

W badaniach wykorzystano multispektralne zobrazowanie z satelity QuickBird o rozdzielczości przestrzennej piksela 2,4 m, obejmujące pojedynczą scenę zarejestrowaną w czterech zakresach spektralnych (niebieski – B, zielony - G, czerwony – R, podczerwony – N), przedstawiającą fragment dużej aglomeracji. W badaniach wykorzystano oprogramowanie PCI Geomatics (do pracy na obrazach 16 – bitowych, kompresji JPEG, JPEG2000), Image Analyst (wykonanie analiz matematycznych) oraz program Feature Extraction Software (wykrywanie obiektów liniowych i punktowych).

Obraz oryginalny rozłożono na cztery wyciągi spektralne, tj. B, G, R, N, zapisując jako oddzielne pliki graficzne w formacie TIF. Ponieważ cała informacja obrazu była zapisana na 11bitach (wartości od 1 do 2047) w pliku 16-bitowym, aby móc dokonać kompresji JPEG, zredukowano obraz do postaci 8-bitowej, wykorzystując funkcję liniową do skalowania, w celu uniknięcia jakichkolwiek dodatkowych zniekształceń histogramu, zwłaszcza przy korzystnym histogramie (ryc. 3).



Ryc. 3. Histogram obrazu wykorzystanego w doświadczeniu.
Fig. 3. The histogram used in experiment.

Tak przygotowane wyciągi spektralne (B, G, R, N) poddano kompresji stratnej JPEG ze współczynnikiem Q = 100, 75 i 50, w programie PCI Geomatica, dla którego Q=100 oznacza najlepszą jakość obrazu, natomiast Q=1 – obraz skompresowany maksymalnie.

Celem określenia wpływu kompresji na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych skorzystano z miary globalnej oraz punktowej określania straty jakości (Mikrut 2002).

Metoda ta pozwala na lokalizację krawędzi z dokładnością do 0,02 piksela. W tym artykule zaprezentowano miary starty jakości bazujące na lokalizacji obiektów liniowych i punktowych:

- miara punktowa – RMSE punktów zdefiniowanych jako przecięcie się dwóch krawędzi,
- miara globalna – korelacja pomiędzy dwoma obrazami.

Korelacja kanałów w obrazie wielospektralnym

Wzajemnej korelacji pomiędzy poszczególnymi wyciągami spektralnymi dokonano na obrazach oryginalnych (16 – bitowych). W tabeli 2 dokonano zestawienia.

Tab. 2. Zestawienie współczynników korelacji dla poszczególnych kanałów.
Tab. 2. The correlation coefficients for particular channels.

	B	G	R	N
B	1	0.9788	0.9535	-0.0001
G	0.9788	1	0.9749	0.1015
R	0.9535	0.9749	1	0.0276
N	-0.0001	0.1015	0.0276	1

Tab. 3. Zestawienie tabelaryczne wielkości plików po kompresji JPEG w [kB] dla poszczególnych kanałów i wybranych wartości Q – obraz „Test 1".
Tab. 3. The tabular comparison of file size after compression (in [kB]) for particular channels and Q value – image „Test 1".

Q	B [kB]	G [kB]	R [kB]	N [kB]
50	150	228	211	346
75	238	354	328	521
100	1347	1684	1599	2123

Wyniki korelacji świadczą o dużym podobieństwie pomiędzy kanałami widzialnymi (RGB), natomiast widoczna jest mała korelacja w stosunku do kanału podczerwonego. Najlepiej skorelowane kanały to B i G (współczynnik korelacji wynosi 0.9788). Kanał N natomiast najlepiej skorelowany jest z kanałem G (współczynnik korelacji wynosi 0.1015).

Kompresja poszczególnych kanałów

Kompresji poddano wybrane fragmenty obrazu. W tabeli 3 zestawiono wielkości plików dla poszczególnych kanałów i stopni kompresji dla jednego z obszarów (Test 1).

W powyższych zestawień wynika, że najlepiej kompresował się kanał 1 (B), co prowadzi do wniosków, że w kanale tym jest mniej informacji niż w kanałach pozostałych, dlatego że lepiej się kompresuje niż pozostałe, jednocześnie największe objętościowo pliki po kompresji powstały z kanału N oraz G.

Wpływ kompresji na wykrywanie obiektów

W dalszej części badań badano wpływ kompresji na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych. W tym celu wykorzystano dwie miary: globalną i punktową (Mikrut 2003).

Tab. 4. Zestawienie tabelaryczne współczynników korelacji obliczonych dla obrazu przed kompresją (ORY) oraz po kompresji (dla danego wsp. Q).
Tab. 4. The correlation coefficients calculated for channels of an image before (ORY) and after compression (for particular Q ratio).

Q	B	G	R	N
ORY - 50	0.9732	0.9807	0.9796	0.9759
ORY - 75	0.9841	0.9889	0.9881	0.9861
ORY - 100	0.9996	0.9999	0.9998	0.9999

Tab. 5. Zestawienie współczynników korelacji dla poszczególnych kanałów dla fragmentu obrazu (Test 1).
Tab. 5. The correlation coefficients for particular channels for selected portion of the image (Test 1).

	B	G	R	N
B	1	0.9855	0.9673	-0.0085
G	0.9855	1	0.9822	0.0165
R	0.9673	0.9822	1	0.0774
N	-0.0085	0.0165	0.0774	1

Miarę globalną (korelację dwóch obrazów) obliczono dla kanałów oryginalnych (ORY) oraz tych zredukowanych do 8 bitów (tab. 4). Z racji tego, że dane zostały zredukowane z 16 do 8 bitów, sprawdzono również współczynniki korelacji dla tych obrazów, porównując je z wynikami z tabeli 1, co utwierdziło autorów w przekonaniu, że proporcje zostały zachowane (tab. 5).

Z tabeli 4 i 5 wynika, że obrazy poddane kompresji JPEG w kanale G najlepiej korelują w obrazem oryginalnym (bez kompresji). Wyniki uzyskane z miary globalnej (korelacja) potwierdzają również eksperymenty prowadzone w programie Feature Extraction Software. Błędy średnie uzyskane dla tego kanału są mniejsze w porównaniu z błędami w pozostałych kanałach (tab. 6). Błędy te zostały wyznaczone jako różnice w położeniu punktu, wykrytego na obrazie oryginalnym (bez kompresji) w stosunku do położenia punktu na obrazie po kompresji. Do lokalizacji z podpikselową dokładnością wybranych punków użyto algorytmu, wykorzystującego drugą pochodną obrazu cyfrowego zaimplementowana w oprogramowaniu FES (Mikrut 2002).

Tab. 6. Zestawienie tabelaryczne RMS dla punktu wykrytego z podpikslelową dokładnością dla poszczególnych kanałów.
Tab. 6. The RMS error for point extracted with subpixel accuracy for particular channels.

Q	B [piksel]	G [piksel]	R [piksel]	N [piksel]
100	0,543	0,011	0,048	0,041
75	1,801	0,602	1,109	1,066
50	1,703	1,201	1,498	1,097

W tabeli przedstawiono średni błąd kwadratowy dla dowolnego punktu, obliczany jako różnica na obrazie zarówno bez kompresji jak, i po kompresji dla danego współczynnika Q.

4. WNIOSKI

Od kilkunastu lat dominującym formatem kompresji obrazów w dziedzinie fotogrametrii jest standard JPEG.

Ostatnie lata spowodowały jednak rozwój metod opartych na funkcjach falkowych. Rozwinięto standardowy JPEG, nadając mu nową nazwę: JPEG2000. Pojawiły się również formaty konkurencyjne, takie jak ECW. Wizualna ocena skompresowanych obrazów stawia w pierwszym rzędzie JPEG 2000 przed JPEG oraz ECW. Bloki 8 na 8 pikseli widoczne w standardowych obrazach JPEG zostają zastąpione większymi, mniej widocznymi blokami. Funkcje falkowe przy dużym stopniu kompresji powodują pewne „rozmycie" obrazu, jednak w porównaniu z wcześniejszą metodą JPEG powodują, że nie są już tak wyraźnie widoczne struktury podziału na bloki pikseli, co zdecydowanie podnosi jakość wizualną obrazu. W doświadczeniach przeprowadzono również eksperymenty związane z kompresją poszczególnych kanałów spektralnych oraz wykrywaniem obiektów liniowych i punktowych w obrazie wielospektralnym. Z badań wynika jednoznacznie, że najlepszym kanałem do wykrywania obiektów liniowych i punktowych na obrazach wielospektralnych jest kanał G (zielony).

Potwierdzają to miary wykorzystane w badaniach (miara globalna i punktowa), a także sama kompresja JPEG, dla której pliki kompresowane w tym kanale cechują się dużymi objętościami w porównaniu z pozostałymi kanałami, co świadczy o tym, że w tym kanale jest więcej informacji niż w pozostałych. Stosunkowo najmniejszy współczynnik korelacji wystąpił w kanale niebieskim. Również pliki kompresowane w tym kanale charakteryzują się największym współczynnikiem kompresji, tzn. najmocniej się kompresują a więc należy przypuszczać, że może to być spowodowane mniejszą niż w pozostałych kanałach zawartością informacyjną.

Bibliografia

Kiema J. B. K., 2000, *Efect of wavelet compression on the automatic classification of urban environments using high resolution multispectral imagery and laser scanning data*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Amsterdam.

Mallat S., 1989, *Multiresolution approximations and wavelet orthonarmal bases of $L_2(R)$*, Trans. Amer. Math. Soc., vol. 38.

Mikrut S., 2002, *Wpływ skanowania oraz kompresji według metody JPEG na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych na obrazach cyfrowych*. Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

Pyka K., Mikrut S., 2000, *Poszukiwanie miar oceny straty jakości obrazów po kompresji JPEG*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 10, Kraków.

Saha S., Vemuri R., 1999, *Adaptive Wavelet Coding of Multimedia Images*, Proc. ACM Multimedia Conference.

Shapiro J. M., 1993, *Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients*, IEEE Trans. SP, vol. 41, no. 12.

Skarbek W., Krupiczka A., Przelaskowski A., Rakowski W., 1998, *Multimedia - Algorytmy i standardy kompresji*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa.

Ueffing C., 2001, *Wavelet based ECW image compression*, Materiały konferencyjne „Photogrammetric week", Stuttgart.

Vetterli M., Kovacevic J., 1995, *Wavelets abd Subband Coding. Prentice Hall*, Signal Processing Series, Englewood Cliffs, NJ.

Wallace G. K., 1991, *The JPEG Still Picture Compression Standard*, Communications of the ACM, 34(4), Washington.

Summary

Sience 80-th dominant format of image compression in photogrammetry have been JPEG. Last few years caused prompt development of wavelet method. It has been developed standard JPEG, called: JPEG 2000. There appeared also other competitive compression formats, such as ECW. The visual evaluation shows that the best format is JPEG2000, before JPEG and ECW. The block 8 x 8 pixels visible in standard JPEG were replaced by larger format, and less visible blocks. Wavelet functions at large compression ratio cause some blur on image, but compared to standard JPEG compression, that blur appears in blocks structure not so visible. In experiments also particular channels of multispectral image, and linear and point feature extraction accuracy were tested. The experiments show that the best channel to extract linear and point features it is the green channel. It is also testified by measures used in experiments (global and points), and JPEG compression too, for which images compresssed in this channels are larger comparing with others, what means that in this channel there is more information than in others. The comparatively smallest correlation ratio was in the blue channel. Also images compressed in this channel have the largest compression ratio, i.e. have the strongest compression, and we could suppose that in blue channel we have less information than in others.

JAN ROMUALD OLĘDZKI[1]

GEOINFORMATYKA ZINTEGROWANYM NARZĘDZIEM BADAŃ PRZESTRZENNYCH

Słowa kluczowe:

geoinformatyka, teledetekcja, geografia

Abstrakt

Na początku lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku rozpoczęła się era teledetekcyjnych badań Ziemi, charakteryzująca się olbrzymim przyrostem informacji o naszej planecie. Ich opracowywanie, przetwarzanie i udostępnianie stało się możliwe dzięki dynamicznemu rozwojowi narzędzi komputerowych i ich oprogramowań. Wszystko to doprowadziło do powstania w połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku „geoinformatyki". Obecnie wydaje się wyraźnie rysować koncepcja geoinformatyki jako płaszczyzny integrującej wiele dziedzin wiedzy o Ziemi i nie można jej odnosić jedynie do systemów informacji geograficznej. „Geoinformatyka" stwarza geografii nowe możliwości precyzyjnej analizy zjawisk przestrzennych, śledzenia ich dynamiki, określania związków między komponentami. W Zakładzie Teledetekcji Środowiska Uniwersytetu Warszawskiego od roku 1996 zrealizowano wiele opracowań, w których integrowano dane teledetekcyjne z danymi innego pochodzenia. Badania te przyczyniły się do opracowania na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego programu nauczania nowej specjalności magisterskiej – „geoinformatyki". Jej podstawą jest szeroko rozumiana teledetekcja, oprogramowania SIG, relacyjne bazy danych, geodezja, kartografia, modelowanie i geostatystyka.

GEOINFORMATICS - INTEGRATED TOOL OF SPATIAL RESEARCH

Key words:

geoinformatics, remote sensing, geography

Abstract

The era of remote sensing research of the Earth, characterized by a huge increase of the information about our planet, started in the early 1960s. The temporal, spatial, spectral, and radiometric resolution of the obtained data have increased; the elaboration, processing, and accessibility of the data became possible thanks to the dynamic

[1] Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Zakład Teledetekcji Środowiska, Warszawa

development of computer tools and software. All that led to the creation, in the mid-1970s, of „geoinformatics". Geoinformatics forms a common plane for the exchange of theoretical and methodical ideas for many earth sciences. Currently, the notion of geoinformatics as a field of integration of several earth sciences seems to be arising; it can't be limited to the geographical information systems. Geoinformatics provides new possibilities of precise analysis of spatial phenomena, such as watching their dynamics or determining the connections between their components. Since 1996, many studies have been performed in the Laboratory of Remote Sensing of Environment of the University of Warsaw, in which remote sensing data were integrated with data obtained by other methods. This research contributed to the establishment of the educational program for the new major subject, geoinformatics (leading to a master's degree), at the Faculty of Geography and Regional Studies of the University of Warsaw. Its basis consists of remote sensing (in the wide sense of this word), GIS software, relational databases, geodesy, cartography, modeling, and statistics.

W końcu lat pięćdziesiątych ubiegłego stulecia rozpoczęła się era satelitarnych badań Ziemi. Od momentu wystrzelenia pierwszego sztucznego satelity zaznaczył się wyraźny przyrost uzyskiwanych w ten sposób informacji o Ziemi. Związane to było w istotnym stopniu z rozwojem technik kosmicznych.

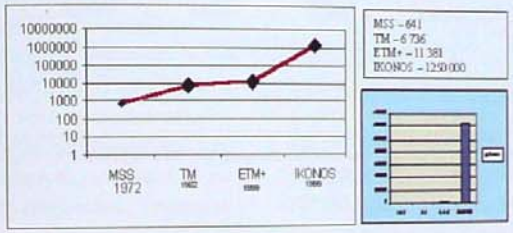
Lawinowy przyrost danych o Ziemi nastąpił po roku 1972, kiedy to 23 lipca na orbicie umieszczony został pierwszy operacyjny satelita, którego zadaniem było ciągłe dostarczanie porównywalnych w skali globalnej danych o środowisku lądowym. Satelita ten, zwany początkowo ERTS-1, wkrótce został przemianowany na LANDSAT-a, w związku z programem uruchomienia całej serii tych satelitów z przeznaczeniem do badań lądowych i opracowywanym wówczas programem satelitów do badań obszarów oceanicznych – SEASAT. Ilustrację przyrostu danych dostarczanych przez najbardziej popularne systemy satelitarne przedstawia poniższy wykres, na którym w sposób umowny (1 piksel = 1 dana) pokazano liczbę danych spektralnych dostarczanych dla powierzchni 1 km² (ryc. 1).

Zwiększanie się rozmaitości danych spektralnych można zilustrować poprzez powiększanie zakresu rejestrowanego promieniowania elektromagnetycznego i liczbę kanałów spektralnych, w jakie były i są wyposażane różnego rodzaju urządzenia obrazujące (tab. 1).

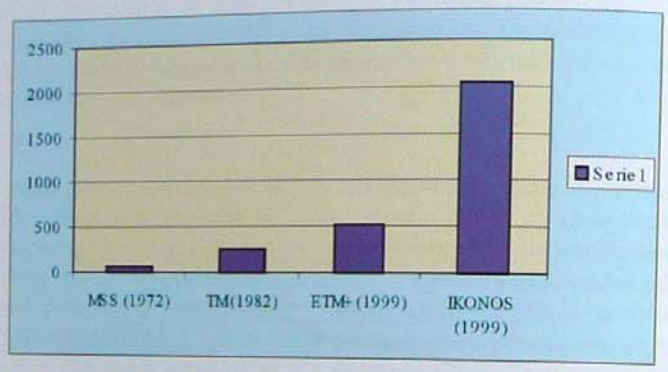
Zwiększa się istotnie rozdzielczość radiometryczna satelitarnych danych obrazowych. Dane ze skanera MSS na Landsacie pierwszym zapisywane były w systemie 6-bitowym, co dawało 64 poziomy szarości dla pojedynczego piksela, w skanerach TM (Landsat – 4 i –5) zapis był 8-bitowy, co daje 256 poziomów szarości, w ETM+ (Landsat-7) zapis ten jest 9-bitowy, co daje 512 poziomów szarości. Dane z kanału panchromatycznego IKONOS-a zbierane są w systemie 11-bitowym, dającym 2048 poziomów szarości (ryc. 2).

Tab. 1. Zakresy spektralne i liczba kanałów spektralnych satelitarnych systemów obrazujących.
Tab. 1. Spectral sensitivity and number of the bands of the satellite imaging systems.

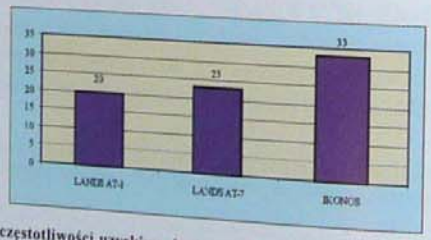
Satelita Satellites	Zakresy spektralne Spectral sesitivity	Liczba kanałów spektralnych Number of the spectral bands
LANDSAT – 1 (1972)	0,4 – 1,1 m	RBV – 3 MSS – 4
LANDSAT – 7 (1999)	0,45 – 12,50 m	ETM+ – 7
SEASAT (1978)	23,5 cm	1
ERS – 2 (1995)	5,56 cm	1
RADARSAT (1995)	5,56 cm	1
EO – 1 (21.11.2000) ALI HYPERION	 0,433-2,35 m 0,36 – 2,6 m	 10 220



Ryc. 1. Wzrost rozdzielczości danych satelitarnych, wyrażony liczbą pikseli przypadających na 1 km².
Fig. 1. Increase of the spatial resolution of the satellite data expressed by number of the pixels on 1 km².



Ryc. 2. Wzrost rozdzielczości radiometrycznej satelitarnych systemów obrazujących, wyrażony liczbą poziomów jasności pikseli.
Fig. 2. Increase of the radiometric resolution of the satellite imaging systems, expressed by digital numbers.



Ryc. 3. Wzrost częstotliwości uzyskiwania danych przez satelitarne systemy obrazujące.
Fig. 3. Increase of the frequency of the acquiring of the data by satellite imaging systems.

Warto również wspomnieć o zwiększającej się częstotliwości powtarzania rejestracji tych samych miejsc. Wykres pokazuje częstotliwość rewizyty satelity w systemie obserwacji nadirowej. Z zastosowaniem ruchomych luster i obserwacjach skośnych powtarzalność ta wielokrotnie wzrasta (ryc. 3).

Ilość uzyskiwanych danych teledetekcyjnych o różnych aspektach środowiska wzrasta więc lawinowo. Trudno sobie wyobrazić opracowanie tych danych prostymi, wizualnymi metodami interpretacji. Należy również brać pod uwagę przyrost informacji o środowisku uzyskiwanych innymi metodami: geodezji satelitarnej (GPS), kartograficznymi, statystycznymi. Te olbrzymie ilości informacji wymagają nowych metod ich opracowania, przetwarzania i udostępniania. I tutaj naprzeciw tym potrzebom wychodzi równie dynamiczny rozwój narzędzi komputerowych i ich oprogramowań. Dane te nie tylko są udostępniane w tradycyjnych postaciach kartograficznych, ale również w innych formach ujmowanych w przestrzeniach wielowymiarowych, dynamicznie w postaci obrazów animacyjnych oraz różnego rodzaju baz danych, wiążących przestrzennie informacje o różnych aspektach środowiska. Stwarza to nie tylko możliwość nowych prezentacji różnych zdarzeń przestrzennych, ale również stwarza okoliczność, w której ilość przechodzi w jakość, generując jakościowo nowe dane przestrzenne.

Technologie dostarczania dużych ilości danych o środowisku, rozwój urządzeń komputerowych i ich oprogramowań przyczyniły się do powstania Systemów Informacji Geograficznej – istotnego składnika geoinformatyki.

Dziedzina, którą obecnie określa się mianem geoinformatyki, pojawiła się przed kilkudziesięciu laty. Jak pojmowana jest GEOINFORMATYKA przez różnych specjalistów?

I tak prof. J. Michalak (Wydział Geologii UW) choć ostrzega, że należy z dużą ostrożnością traktować wszelkie wiadomości o pojawianiu się nowych dyscyplin naukowych, stwierdza, że *„...wiele faktów wskazuje, że mamy do czynienia z nową dyscypliną, która uformowała się w obszarze problemów interdyscyplinarnych związanych z Systemami Informacji Geograficznej na styku informatyki i szeroko rozumianych nauk o Ziemi. Dyscyplina ta nazywana* (przez niego) *geomatyką ma własny zakres zagadnień do rozwiązania, a także własne metody badań i zastosowania swoich osiągnięć"*, (ryc. 4). Uważa on, że dominacja prac aplikacyjnych nad badawczymi, co często towarzyszy nowym dyscyplinom, nie sprzyja rozwojowi tych ostatnich. Zauważa to w odniesieniu do nauk geologicznych. Można również stwierdzić, że to samo obserwujemy w odniesieniu do geografii, która własne pole badań bez znaczącego wysiłku jego obrony oddała innym dyscyplinom. Dopiero ostatnio zaczęto poważnie myśleć o nadrobieniu opóźnień w tym zakresie. Mam tu na myśli uruchomienie na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu na kierunku geografia studiów geoinformatycznych już od pierwszego roku.

Wracając do definicji, zacytuję tu definicję prof. J. Michalaka: GEOMATYKA (GEOINFORMATYKA) JEST DZIEDZINĄ WIEDZY (I TECHNOLOGII) ZAJMUJĄCĄ SIĘ PROBLEMAMI POZYSKIWANIA, ZBIERANIA, UTRZYMYWANIA, ANALIZY, INTERPRETACJI, PRZESYŁANIA I WYKORZYSTANIA INFORMACJI GEOPRZESTRZENNEJ (PRZESTRZENNEJ, GEOGRAFICZNEJ), CZYLI ODNIESIONEJ DO ZIEMI.

Ponieważ sam J. Michalak traktuje termin „geomatyka" jako wymienny z terminem „geoinformatyka", dyskusja na temat, który z nich jest właściwszy dla tej nowej dyscypliny, nie jest jeszcze zakończona i chyba nigdy się nie skończy. Osobiście, i nie tylko, skłaniam się do terminu „geoinformatyka" jako bardziej zrozumiałego i lepiej oddającego istotę informatycznych badań przestrzennych.

Tym zagadnieniom terminologicznym poświęcone były w roku 2001 dwie sesje panelowe w Komisji Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności.

I tak prof. J. Kotlarczyk – geolog z AGH w Krakowie, przewodniczący Komisji Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności - stwierdził wówczas, że *„... termin „geoinformatyka" powstał w ostatnich kilkunastu latach ubiegłego wieku jako wynik integracji trzech dziedzin: fotogrametrii, teledetekcji i systemów informacji geograficznej"*. Zauważa on również szereg faktów związanych z używaniem terminu „geomatyka". Terminu tego użyto w Kanadzie na uniwersytecie w Laval do określenia integracji ww. dyscyplin. Kanadyjskie

Ministerstwo Zasobów Naturalnych zmieniło nazwę Wydziału Pomiarów, Opracowania Map i Teledetekcji na GEOMATICS CANADA. Kanadyjskie czasopismo „Canadian Institute of Surveys and Mapping", nazywa się obecnie „GEOMATICA". Czasopismo to definiuje „geomatykę" jako *„...dziedzinę działalności naukowej i technicznej, która, wykorzystując podejście układowe, integruje wszystkie środki do uzyskiwania i kształtowania zorientowanych przestrzennie danych, używanych w procesie wydobywania i zarządzania przestrzennie spokrewnionymi informacjami"*.

W Europie przeważa raczej termin „geoinformatyka". Użyto go w Holandii w roku 1991, gdzie w słynnym ITC – Aerospace Survey and Earth Sciences połączono: Oddział Uzyskiwania Danych z Przestrzeni Lotniczej i Fotogrametrii, Oddział Przetwarzania Obrazów i Danych Teledetekcyjnych, Wydział Kartografii oraz Oddział Zastosowań Informatycznych i Nauk Komputerowych, tworząc WYDZIAŁ GEOINFORMATYKI.

W Szwecji również używa się terminu „geoinformatyka", definiując go jako „nauka i technologia dla zbierania, zarządzania, analizowania i prezentacji geograficznych i innych przestrzennie zdefiniowanych danych".

Profesor J. Jachimski z AGH, specjalista w zakresie fotogrametrii i teledetekcji, pod pojęciem „geoinformatyka" rozumie „... naukę o uzyskiwaniu, przetwarzaniu i udostępnianiu informacji, które są określone przestrzennie w układzie związanym z Ziemią".

Prof. Wojciech Pachelski – geodeta, rozumiejąc złożoność i dyskusyjność wielu zagadnień terminologicznych i pojęciowych, przytacza definicję pojęcia *„geoinformatyka"* według normy ISO 19104: **dyscyplina dotycząca pozyskiwania, rozpowszechniania, przechowywania, analizowania, przetwarzania i prezentacji danych geograficznych lub informacji geograficznej.**

Prof. Stefan Witold Alexandrowicz – geolog, uważa „geoinformatykę" za dobrą płaszczyznę współdziałania specjalistów zaangażowanych w różne dziedziny wiedzy, współzależne od siebie i wzajemnie się uzupełniające. Z semantycznego punktu widzenia *geoinformatyka* może być rozumiana jako skojarzenie informatyki z naukami o Ziemi.

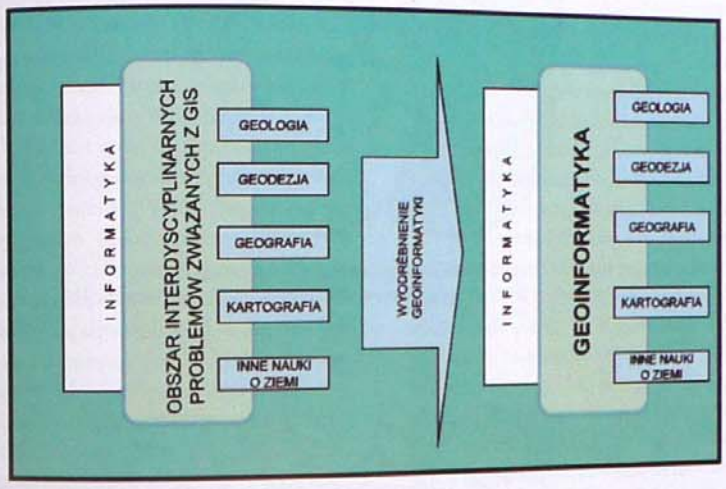
Wypowiadając się w tej dyskusji, zająłem stanowisko, które tu przytoczę we fragmentach:

Termin „geoinformacja" funkcjonuje w teledetekcji od połowy lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Użyto go przy opisie wykorzystania zdjęć satelitarnych w badaniach Ziemi i szeroko rozumianego środowiska. Rozwój nauki, technologii, zwłaszcza w zakresie teledetekcji satelitarnej, informatyki i dziedzin jej pokrewnych, sprzężony z rozwojem systemów informacji geograficznej (GIS), spowodował w pewnym momencie powstanie nowej dziedziny wiedzy i metodyki, którą zaczęto nazywać „geoinformatyką". Z geograficznego punktu widzenia jest to nowa dziedzina wiedzy o przestrzeni geograficznej, która obejmuje teledetekcję z fotogrametrią, niektóre działy geodezji, cały szereg nauk z przedrostkiem „geo" oraz niektóre działy kartografii. Geoinformatyka tworzy wspólną płaszczyznę wymiany myśli teoretycznej i metodycznej dla wielu nauk o Ziemi. Należy przyjąć, że będzie cały szereg podzakresów wiedzy objętych tym terminem, odnoszących się do węższych specjalizacji. Przed dziewięciu laty na podstawie obserwacji rozwoju teledetekcji oraz jej zastosowań, głównie w naukach geograficznych, doszedłem do wniosku, że problematyka artykułów publikowanych w czasopiśmie „Fotointerpretacja w Geografii" daleko wykracza poza zakres „czystej" fotointerpretacji, stąd pojawił się podtytuł „problemy telegeoinformacji", który lepiej oddawał to, o czym pisali autorzy artykułów, a więc problemy zbierania informacji o Ziemi metodami teledetekcyjnymi, ich opracowania, interpretacji i prezentacji.

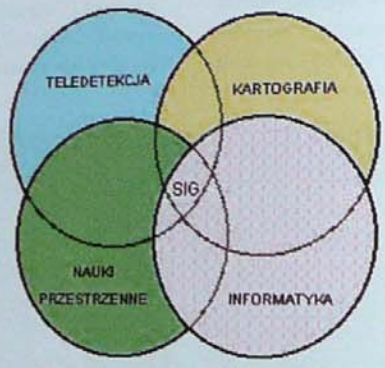
Z przytoczonych definicji i przyjmowanych stanowisk wydaje się wyraźnie rysować koncepcja geoinformatyki jako płaszczyzny integrującej wiele dziedzin wiedzy o Ziemi.

Jak pojmowana jest struktura tej integracji. Przytoczę tu kilka schematów odnoszących się do tego zagadnienia (ryc. 4).

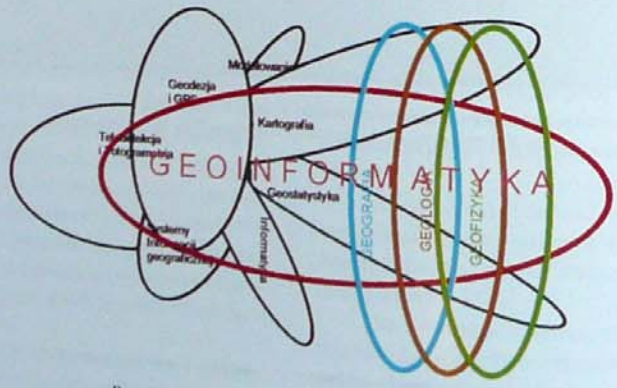
Z analizy różnych opracowań wynika, że kluczowym narzędziem przy uprawianiu „geoinformatyki" wydają się oprogramowania do przetwarzania wielkich ilości danych, które powszechnie przyjęto nazywać „systemami" – stąd Systemy Informacji Geograficznej (SIG).



Ryc. 4. Koncepcja geoinformatyki według J. Michalaka.
Fig. 4. Conception of the geoinformatics according with J. Michalak.



Ryc. 5. Koncepcja geoinformatyki według W. Widackiego (2001).
Fig. 5. Conception of the geoinformatics according with W. Widacki, 2001.



Ryc. 6. Koncepcja geoinformatyki według autora.
Fig. 6. Conception of the geoinformatics in my opinion.

Niektórzy geografowie (W.Widacki z Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie) upatrują w nich centrum zainteresowania wielu dziedzin wiedzy. Z wykresu przedstawionego przez W. Widackiego, na którym w centrum znajduje się SIG, nie wynika jednak jasno, czy ma on na myśli oprogramowania, czy jest to jego wykładnia geoinformatyki, chyba raczej to drugie, gdyż w angielskiej wersji używa on terminu Geographical Information **System/Sciences** (ryc. 5).

Czy „geografia" ma interesować się geoinformatyką? Uważam, że tak. Stwarza to geografii nowe możliwości precyzyjnej analizy zjawisk przestrzennych, analiz dynamicznych i określania związków między różnymi komponentami. Wykorzystanie w tych badaniach danych teledetekcyjnych pozwala podnieść na wyższy poziom poznanie tych obszarów, które mimo wszystko mają mało wiarygodnych materiałów. Pozwala również na bieżący monitoring wielu zjawisk, których nie da się w inny sposób badać i oceniać. Pozwala na modelowanie zjawisk przestrzennych (geograficznych). Geoinformatyka, z punktu widzenia geografa, jest dziedziną, w której integrują się różne nauki o Ziemi, różne metody uzyskiwania informacji o zjawiskach przestrzennych i różne sposoby ich przedstawiania (ryc. 6).

W Zakładzie Teledetekcji Środowiska Uniwersytetu Warszawskiego od roku 1996 zrealizowano wiele opracowań, w których integrowano dane teledetekcyjne z danymi innego pochodzenia, uzyskując w ten sposób możliwość dynamicznego przedstawiania zjawisk zachodzących w środowisku, takich choćby jak zmiana struktury krajobrazu pod wpływem różnego rodzaju działalności człowieka (B. Błach 1998), czy też uzyskania jakościowo nowej i precyzyjnej informacji odnośnie do ilościowej charakterystyki jakościowych powiązań i zależności między zbiorowiskami roślinnymi a abiotycznymi komponentami środowiska. Te ostatnie badania ujawniły ich dialektyczny charakter, polegający na przejściu od ogólnej tematycznej informacji jakościowej do precyzyjnej ich charakterystyki ilościowej i określenia związków przestrzennych ujętych hierarchicznie (B. Zagajewski 2002). Zrealizowano również wiele prac, w których pokazano zmiany w zagospodarowaniu przestrzennym terenów chronionych (A. Hościło 2001; P. Kardaś 2000; J. R. Olędzki 2001, 2001a), badania struktury środowiska (A. Hernik 1998; J. R. Olędzki 2001). Wykonywano również opracowania studyjne odnośnie do teledetekcyjnego zasilania i tworzenia baz danych o środowisku (I. Drelich 2000; M. Szewczykowski 2002), a także liczne prace nad integracją danych teledetekcyjnych i geologicznych przy tworzeniu szczegółowych map geomorfologicznych (E. Wołk-Musiał i B. Zagajewski 2001). Prowadzenie tego rodzaju badań możliwe było dzięki zastosowaniu nowoczesnego oprogramowania geoinformatycznego.

Badania te przyczyniły się do opracowania programu nauczania nowej specjalności na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego - geoinformatyki, która bazuje na: szeroko rozumianej teledetekcji (w tym przetwarzaniu obrazów cyfrowych), oprogramowaniach SIG, geodezji, kartografii, geostatystyce, modelowaniu i programowaniu, a także koncepcjach relacyjnych baz danych.

Problematyka geoinformatyczna jest przedmiotem obrad wielu sympozjów międzynarodowych i krajowych. Choć w Polsce od lat odbywają się różne konferencje poświęcone systemom informacji przestrzennej, to dopiero sympozjum zorganizowane w Wysowej w roku 2001 podjęło próbę uczynienia z geoinformatyki zintegrowanego narzędzia badań przestrzennych, dziedziny, która w sposób całościowy i nowoczesny umożliwi prowadzenie nowoczesnych badań środowiska. We wrześniu 2003 roku odbyło się we Wrocławiu i w Polanicy kolejne tego rodzaju spotkanie naukowców i praktyków, a następne przewidywane jest na rok 2005.

Również wiele czasopism zajmuje się problematyką geoinformatyczną. W Polsce profesjonalnym wydawnictwem w tym zakresie jest „GEOINFORMATICA POLONICA", wydawana przez Komisję Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności, która do roku 2003 wydała 4 tomy tej serii wydawniczej.

Bibliografia

Alexandrowicz S., 2001, *Dyskusja panelowa poświęcona zagadnieniom terminologicznym geoinformatyki*, Geoinformatica Polonica, nr 3, s. 57-79, Kraków.

Błach B., 1998, *Wpływ czynników antropogenicznych na zmiany struktury krajobrazu*, Fotointerpretacja w Geografii, Problemy Telegeoinformacji, t. 28, s. 52-66, Warszawa.

Błach B., 2002, *Zmiany pokrycia terenu w wybranych gminach Beskidów w II połowie XX wieku na podstawie zdjęć lotniczych*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Zakład Teledetekcji Środowiska, rozprawa doktorska, ss. 250, promotor prof. dr hab. J. R. Olędzki, maszynopis, Warszawa.

Drelich I., 2000, *Informacja teledetekcyjna w zasilaniu baz danych o obszarach chronionych Euroregionu Karpackiego*, Fotointerpretacja w Geografii, Problemy Telegeoinformacji, t. 31, s. 46-81, Warszawa.

Hernik A., 1998, *Badania porównawcze struktury krajobrazu*, Fotointerpretacja w Geografii, Problemy Telegeoinformacji, t. 28, s. 29-51, Warszawa.

Hościło A., 2001, *Zmiany użytkowania ziemi fragmentu Narwiańskiego Parku Narodowego w latach 1956-1999*, Teledetekcja Środowiska, t. 32, s. 106-117, Warszawa.

Jachimski J., 2001, *Dyskusja panelowa poświęcona zagadnieniom terminologicznym geoinformatyki*, Geoinformatica Polonica, nr 3, s. 57-79, Kraków.

Kardaś P., 2000, *Zastosowanie telegeoinformacji w badaniach zmian pokrycia terenu Magurskiego Parku Narodowego w latach 1935-1999*, Fotointerpretacja w Geografii, Problemy Telegeoinformacji, t. 31, s. 82-90, Warszawa.

Kotlarczyk J., 2001, *Dyskusja panelowa poświęcona zagadnieniom terminologicznym geoinformatyki*, Geoinformatica Polonica, nr 3, s. 57-79, Kraków.

Michalak J., *Geomatyka (geoinformatyka) - czy nowa dyscyplina?* NetGIS, netgis.geo.uw.edu.pl

Olędzki J. R., 2001, *Regiony fotomorficzne Polski*, AKAPIT-DTP, Warszawa.

Olędzki J. R., 2001, *Dyskusja panelowa poświęcona zagadnieniom terminologicznym geoinformatyki*, Geoinformatica Polonica, nr 3, s. 57-79, Kraków.

Olędzki J. R., 2001, *Użytkowanie ziemi na terenie Wigierskiego Parku Narodowego w latach 1969-1997*, [w:] A. Richling, J. Solon (red.), *Z badań nad strukturą i funkcjonowaniem Wigierskiego Parku Narodowego*, Uniwersytet Warszawski Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, s. 263-266, Warszawa.

Olędzki J. R., 2001a, *Analiza użytkowania ziemi w rejonie rezerwatu „Białe Ługi"*, [w:] *Rezerwat torfowiskowy „Białe Ługi"*, red. S. Żurek, Wydawnictwo Homini, s. 117-120, Bydgoszcz.

Pachelski W., 2001, *Dyskusja panelowa poświęcona zagadnieniom terminologicznym geoinformatyki*, Geoinformatica Polonica, nr 3, s. 57-79, Kraków.

Szewczykowski M., 2002, *Opracowanie bazy danych do analizy środowiska przyrodniczego okolic Ełku*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Zakład Teledetekcji Środowiska, maszynopis, ss. 111, Warszawa.

Widacki W., 2001, *Systemy informacji geograficznej i ich rola w naukach przestrzennych*, Geoinformatica Polonica, nr 3, s. 47-56, Kraków.

Wołk-Musiał E., Zagajewski B., 2000, *Analiza geomorfologiczna terenu z zastosowaniem systemów informacji geograficznej*, Fotointerpretacja w Geografii, Problemy Telegeoinformacji, t. 31, s. 137-142, Warszawa.

Zagajewski B., 2002, *Zastosowanie geoinformacji w badaniach wpływu abiotycznych komponentów środowiska na rozmieszczenie roślinności w Narwiańskim Parku Narodowym i jego otulinie*. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Zakład Teledetekcji Środowiska, rozprawa doktorska, ss. 137, promotor prof. dr hab. J. R. Olędzki, maszynopis, Warszawa.

Summary

The era of remote sensing research of the Earth, characterized by a huge increase of the information about our planet, started in the early 1960s. The temporal, spatial, spectral, and radiometric resolution of the obtained data have increased; the elaboration, processing, and accessibility of the data became possible thanks to the dynamic development of computer tools and software. All that led to the creation, in the mid-1970s, of „geoinformatics". From the geographical point of view it is a new science of geographical space; it includes remote sensing with fotogrametry, some branches of geodesy, a number of disciplines with the prefix „geo", and some branches of cartography. Geoinformatics forms a common plane for the exchange of theoretical and methodical ideas for many earth sciences. Currently, the notion of geoinformatics as a field of integration of several earth sciences seems to be arising; it can't be limited to the geographical information systems (GISs). The structure of geoinformatics can be understood in many ways, which can be seen from more or less complex schemes published in various articles. Geoinformatics provides new possibilities of precise analysis of spatial phenomena, such as watching their dynamics or determining the connections between their components. The use of remote sensing data in such research allows for raising to a higher level the knowledge of those regions for which few reliable materials exist. It also allows for a current monitoring of those phenomena which can't be investigated and estimated in any other way, as well as for modeling of spatial (geographical) phenomena. Since 1966, many studies have been performed in the Laboratory of Remote Sensing of Environment of the University of Warsaw, in which remote sensing data were integrated with data obtained by other methods. This made possible a dynamic representation of environmental phenomena. New and precise information about quantitative and qualitative connections and dependencies between plant communities and abiotic components of the environment has been obtained. Changes in the spatial management of the protected regions have been shown. Studio projects regarding the supply of data to databases of environmental data by means of remote sensing have been

performed. Integration procedures of remote sensing and geological data, aiding in creation of detailed digital geomorphological maps, have been worked out. This research contributed to the establishment of the educational program for the new major subject, geoinformatics (leading to a master's degree), at the Faculty of Geography and Regional Studies of the University of Warsaw. Its basis consists of remote sensing (in the wide sense of this word), GIS software, relational databases, geodesy, cartography, modeling, and statistics.

JOANNA PLUTO-KOSSAKOWSKA[1]

WYKORZYSTANIE KLASYFIKACJI EKSPERCKIEJ ZDJĘĆ SATELITARNYCH W SYSTEMACH INFORMACJI O GLEBACH

Słowa kluczowe:

klasyfikacja ekspercka, wiedza, baza danych, zdjęcie satelitarne, gleba

Abstrakt

Ekstrakcja informacji o glebach na zdjęciach satelitarnych napotyka na szereg ograniczeń. Część z nich jest możliwa do złagodzenia poprzez zastosowanie zaawansowanych technik przetwarzania cyfrowego zdjęć: między innymi uwzględnienie wpływów atmosferycznych, a także charakterystyk spektralnych typowych gleb. Poszukiwanie doskonalszych metod podnoszących dokładność opisu jednostek glebowych, do których należy klasyfikacja oparta na wiedzy, ma sens i może przynosić praktyczne korzyści w dokładniejszym oddaniu ich przestrzennego rozkładu. Tym samym prowadzi to do uzyskiwania lepszych rezultatów w dalszych analizach, w których wykorzystywane są dane o glebach.

W części doświadczalnej niniejszego artykułu przetestowano różne warianty klasyfikacji eksperckiej zdjęć satelitarnych SPOT z wykorzystaniem innych źródeł danych (NMT, mapy glebowo - rolnicze). Zaprezentowano najważniejsze aspekty technologiczne wykorzystania wyników tej klasyfikacji na potrzeby weryfikacji bazy danych o glebach na przykładzie wybranego atrybutu: dominującego typu gleby. Na podstawie wielu doświadczeń w podsumowaniu artykułu zaproponowano kolejne etapy aktualizacji bazy danych w oparciu o wynik klasyfikacji eksperckiej.

USABILITY OF THE SATELLITE IMAGES EXPERT CLASSIFICATION IN SOIL INFORMATION SYSTEMS

Key words:

expert classification, knowledge, database, satellite image, soil

Abstract

The information extract about soils from the satellite image encounters many difficulties. Part of these we can attenuate through using more advanced image processing techniques. Among others: atmospheric influence, or spectral characteristics of the soils should be considered. Therefore search for better methods increasing precision of the

[1]Politechnika Warszawska, Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Zakład Fotogrametrii

soil units description make a sense. Knowledge-based classification which belongs to such methods can bring practical advantages in more accurate spatial distribution of the soil units. It leads to better results in the further analysis where soil data is used.

In the experimental part of this paper different variant of the SPOT image expert classification with another data sources (DTM, soil agriculture maps) has been investigated. Also, the most important technology aspects of the usability of these classification results for soil database revision (on the example of dominant soil type) has been presented. On the base of many experiments, in the summary of this paper steps for the soil database updating: from classification results to revised attributes has been proposed.

1. Wstęp

Budowanie baz danych o glebach jest wysoce pożądane, niezależnie od tego, czy będą funkcjonować jako oddzielne bazy danych, czy też będą częścią większego systemu informacji przestrzennej. Od danych zawartych w takiej bazie danych wymaga się poza odpowiednim stopniem szczegółowości również, a może przede wszystkim, aktualności. A zatem pytanie jest następujące: jakimi metodami uzyskać dane do bazy danych. Najbardziej wiarygodne są dane uzyskane bezpośrednio w terenie, ale są to prace niezwykle kosztowne i czasochłonne, wydłużające cały proces budowania bazy danych. Należy zatem znaleźć alternatywne metody uzyskania danych do budowy czy aktualizacji bazy danych. Takie możliwości dają nam satelitarne urządzenia teledetekcyjne poprzez swoją systematyczną rejestrację oraz dzięki temu, że w jednym czasie rejestrują dane dla dużego obszaru powierzchni Ziemi.

Baza danych oparta wyłącznie na materiałach kartograficznych (mapy glebowo-rolnicze, topograficzne) wymaga weryfikacji i kontroli aktualności danych. Metodykę aktualizacji bazy danych o glebach w oparciu o zdjęcia satelitarne należy rozpatrywać w dwóch częściach: geometrycznej i semantycznej. Weryfikacja części geometrycznej polega na zmodyfikowaniu lub wprowadzaniu nowych konturów jednostek glebowych. Modyfikowanie danych w części semantycznej można realizować, opierając się na wynikach klasyfikacji ekspercklej.

Klasyfikacja ekspercka jest przykładem szerszego podejścia do danych teledetekcyjnych. Należy do grupy systemów eksperckich, a tym samym do systemów opartych na wiedzy, które obecnie rozwijają się niezwykle intensywnie. Systemy te mają za zadanie naśladować wnioskowanie człowieka prowadzące do rozwiązania problemu.

2. Klasyfikacja ekspercka

Obecnie rozwijane metody klasyfikacji zdjęć satelitarnych zakładają włączenie dodatkowych źródeł danych, a także wiedzy na różnych etapach procesu klasyfikacyjnego. W grupie zwanej klasyfikacją opartą na wiedzy (ang. *knowledge-based classification*) mieści się klasyfikacja ekspercka (ang. *expert classification*). Jest to metoda klasyfikacji wykorzystująca wielożródłowe dane, integrująca jednocześnie techniki przetwarzania obrazów cyfrowych i analiz przestrzennych GIS. W takich przypadkach konkretna wiedza, która jest wynikiem zrozumienia przebiegu procesu, musi być zgodna z faktami. Dopiero wtedy staje się możliwe prawidłowe wnioskowanie o istnieniu i charakterze rozważanych obiektów bądź zjawisk. Do takiego procesu można zaliczyć m.in. identyfikację i delimitację przestrzenną takich obiektów, jak gleby, z wykorzystaniem posiadanej wiedzy oraz danych pomocniczych.

Dotychczas szeroko stosowane metody klasycznej klasyfikacji zdjęć satelitarnych odnoszą się do podziału pikseli w obrębie przestrzeni spektralnej, zdefiniowanej przez wartości obrazu wielospektralnego. Wykorzystywane algorytmy realizują swoje zadania bezpośrednio w procesie klasyfikacyjnym obrazu. Wynik klasyfikacji często zależy od doświadczenia i wiedzy prowadzącego klasyfikację. Dlatego poszukuje się alternatywnych rozwiązań włączenia innych źródeł danych w sam proces klasyfikacji, tj. podejmowania decyzji o przynależności do poszczególnych klas tematycznych w sposób automatyczny.

Analogiczne zadanie interpretacji gleb metodą analizy wizualnej wykorzystuje obok danych spektralnych również inne dodatkowe dane i informacje, łącznie z wiedzą interpretatora o całości zjawisk fizyko-chemicznych i przestrzennych dotyczących gleb. Dlatego też w sensie metodycznym przewagę nad analizą cyfrową ma interpretacja wizualna, szczególnie dla obszarów o złożonej strukturze przestrzennej (np. silna mozaika upraw). Stąd wynika obecna tendencja do poszukiwań doskonalszych metod klasyfikacji zdjęć wykorzystujących, obok właściwości spektralnych obiektów, także inne źródła danych oraz wiedzę na temat relacji i zjawisk zachodzących pomiędzy danymi. Dane pomocnicze mogą być wprowadzane do klasyfikacji na różnych jej etapach: poprzedzającym proces klasyfikacji (np. do wydzielenia obszarów występowania danego typu gleby), mogą być zintegrowane z właściwym procesem bądź następować po nim, np. jako forma weryfikacji lub sprecyzowania obszarów występowania danego typu gleby.

Głównym założeniem klasyfikacji eksperckiej jest wykorzystanie wiedzy (zazwyczaj heurystycznej) do poszukiwania rozwiązań. Wiedza ta zwykle oparta jest na doświadczeniu, a jednocześnie nie jest poparta żadnymi modelami statystycznymi. Zaaplikowanie tej wiedzy przez system do danych skutkuje przyporządkowaniem jednostek klasyfikacyjnych do odpowiednich klas. Zatem system ekspercki zawiera w sobie dwa rodzaje wiedzy: deklaratywną, tzn. „wiedzieć co", oraz wiedzę proceduralną, „wiedzieć jak". Wiedza deklaratywna zawiera w sobie ideę wnioskowania o klasyfikowanych obiektach i związkach pomiędzy nimi. Wiedza proceduralna zawiera poszczególne kroki postępowania, a w praktyce jest algorytmem obliczeniowym. Oba rodzaje wiedzy przyjmują formę faktów (hipotez) i reguł oraz sposobu, w jaki zostaną ze sobą połączone w bazie wiedzy eksperckiej. Zasadniczymi częściami systemu eksperckiego są zatem:

- baza wiedzy wymagana dla rozwiązania problemu,
- baza danych i narzędzia niezbędne do ich przetwarzania,
- mechanizm wnioskowania do rozstrzygnięć w procesie decyzyjnym.

Klasyfikacja ekspercka polega na zbudowaniu modelu wnioskowania i jego realizacji na podstawie danych źródłowych. Najtrudniejszym etapem klasyfikacji jest przygotowanie bazy wiedzy eksperckiej, która ma za zadanie emulować proces dedukcji eksperta (mechanizm wnioskowania). Zatem w bazie wiedzy możliwa jest do wykorzystania wiedza na temat np. charakterystyk spektralnych obiektów, ich kształtów, barw, tekstury, położenia w przestrzeni czy właściwości tych obiektów uzyskanych z innych źródeł oraz zależności między nimi.

Należy tu podkreślić, że proces dedukcyjny prowadzony przez człowieka jest procesem niezwykle złożonym i zapis matematyczny bądź logiczny w postaci modelu będzie zawsze uproszczeniem takiego procesu. Z drugiej strony bardzo dużo źródeł danych o różnej postaci powoduje, że interpretacja wizualna jest nieekonomiczna i narażona na błędy pominięcia. Zbudowanie modelu wnioskowania jako procesu zautomatyzowanego zapewnia jego powtarzalność oraz pozwala wykorzystać wiele źródeł danych.

Najczęściej spotykanym w literaturze modelem dotyczącym gleb jest model gleba-krajobraz. Model ten korzysta z zależności pomiędzy glebą a warunkami geomorfologicznymi jej rozwoju i właściwości. Przykładem wykorzystania takiego modelu do predykcji wskaźnika hydromorficznego gleby jest praca Chaplota i in. (2003). Zaproponowany model bazuje wyłącznie na numerycznym modelu terenu i jego pochodnych oraz dodatkowych danych nt. geologii obszaru. Wcześniej podobne badania prowadzili Dymond i in. (1994). Na podstawie zbudowanego systemu wnioskowania oraz danych z NMT i mapy geologicznej wygenerowali mapę gleb (dla podgrup gleb według „USDA Taxonomy"). Zaproponowany system wnioskowania składał się ze zbioru elementarnych reguł decyzyjnych. Brak analiz statystycznych nie pozwala jednak na oszacowanie dokładności wyników zautomatyzowanego kartowania gleb.

Badania, które wykorzystują korelacje między danymi teledetekcyjnymi a glebą, przeprowadził Dobos i in. (2000). Na podstawie klasyfikacji wieloczasowych zdjęć NOAA/AVHR i NMT (a także jego

pochodnych) wykonano mapę typów gleb w skali 1:1000000 dla Włoch oraz dla regionu Midwest (USA).

Częściej w literaturze można spotkać próby wykorzystania klasyfikacji eksperckiej w identyfikacji form pokrycia terenu. Przykładem może być klasyfikacja terenów zurbanizowanych na zdjęciach Landsat TM (Stefanov i in. 2001), a także przykład klasyfikacji obszarów wodnych na Tajwanie z wykorzystaniem pochodnych danych z NMT oraz danych o wilgotności gleb (Lawawirojwong i in. 2002). Wcześniejsze eksperymenty, podejmowane przez Srinivasana i Richardsa (1993), przedstawiają rezultaty łączenia danych z różnych źródeł teledetekcyjnych (MSS, SPOT, SAR) z wykorzystaniem zbioru reguł wnioskowania.

Innym ciekawym przykładem zastosowania klasyfikacji eksperckiej jest zintegrowanie danych teledetekcyjnych (SPOT) oraz warstw tematycznych (skład granulometryczny gleb oraz sieć dróg) w bazie wiedzy eksperckiej do klasyfikacji terenów rolnych (Kontoes 1993). Wykorzystano w niej wnioskowanie z zastosowaniem teorii Demstera-Shafera. Analiza statystyczna pokazała, że dokładność klasyfikacji eksperckiej wzrosła w porównaniu z klasyfikacją parametryczną o 13% w stosunku do danych terenowych. Podobne badania przeprowadził Chmiel (2002), stosując wyżej wymienioną teorię do łączenia danych teledetekcyjnych (TM) oraz informacji o rozkładzie podstawowych klas pokrycia terenu (obszary podmokłe, zabudowane, drogi, cieki). Dla tego samego zestawu danych przeprowadził także klasyfikację ekspercką w oparciu o zbiór reguł decyzyjnych z wnioskowaniem przybliżonym, to jest ze współczynnikami pewności, oraz klasyfikację z zastosowaniem sieci neuronowych. Wyniki wszystkich klasyfikacji w opisywanej pracy są porównywalne. Jednak analiza statystyczna przemawia za klasyfikacją ekspercką w oparciu o zbiór reguł decyzyjnych, dającą najlepsze rezultaty.

W klasycznym podejściu do procesu wnioskowania, wykorzystywanym również w klasyfikacji eksperckiej, bazuje się na regułach typu: „jeśli warunek, to wniosek" w zapisie logicznym:

$$\text{IF } \bigcap_{i}^{n}(\alpha_i<x_i<\beta_i) \text{ THEN } C=c_j \qquad (1)$$

gdzie:

x_i – i-ty warunek,

α, β - granice przedziału wartości dla i-tego warunku,

c_j – j-ty możliwy wynik ze zbioru $c_1,\ldots,c_m$.

Jest to reguła dokładna, w której mechanizm wnioskowania oparto na klasycznej logice dwuwartościowej (Richards 1993). „Warunek" najczęściej jest zbiorem wyrażeń logicznych, pomiędzy którymi zachodzą zależności „I" bądź „LUB". Poszczególne reguły dają różny stopień wsparcia dla określonych hipotez.

W praktyce zbudowany model rzeczywistości niesie w sobie cechy niepewności. Wynika to z kilku przyczyn. Po pierwsze dlatego, że analizowane dane są częściowe, po drugie bardzo trudne jest zgromadzenie kompletnego zbioru reguł do opisu hipotezy. Po trzecie wynika to z faktu rozbieżności (niezgodności) ocen ekspertów. Ma to szczególne znaczenie w odniesieniu do obiektów przestrzennych takich, jak gleby, dla których poziom zaufania wynika z samego ich charakteru (niepewne granice konturów glebowych). Jeśli przyjmie się wyżej wymienione założenie o niepewności, to alternatywnym rozwiązaniem może być zastosowanie współczynników zaufania charakteryzujących pewność, że warunek jest lub nie jest prawdziwy. Współczynnik zaufania będący liczbą ze zbioru [-1, 1] może być stosowany do reguł, przesłanek (warunków) bądź wyników. Jeśli zakładamy całkowitą pewność poprawności warunku, wtedy poziom zaufania będzie równy 1. Zero oznacza, że pewność warunku jest niemożliwa do określenia, -1 oznacza całkowitą pewność nieprawdziwości postawionego warunku.

Pewność wniosku ostatecznie określa iloczyn współczynnika pewności reguły i współczynnik pewności koniunkcji warunków tej reguły. Poprawna konstrukcja reguł oraz właściwy ich dobór mogą decydować o skuteczności i przydatności tej metody do analizy danych w oparciu o regułowy schemat reprezentacji wiedzy.

3. Opis badań

Głównym celem badań było zbudowanie modelu wnioskowania, prowadzące do zdiagnozowania rozkładu typów gleb na badanym obszarze. Podstawowym założeniem w budowie bazy wiedzy było wykorzystanie korelacji między zdjęciem satelitarnym a występującymi typami gleb w bazie danych referencyjnych. Zależności pomiędzy wartościami radiometrycznymi na zdjęciu SPOT a właściwościami gleb posłużyły do przygotowania danych tematycznych wykorzystanych następnie w bazie wiedzy eksperckiej.

3.1. Obszar badań

Przy wyborze obszaru badań kierowano się przede wszystkim różnorodnością typów gleb, roślinności, form geomorfologicznych i zasobnością materiałów źródłowych (zdjęcia satelitarne, mapy, NMT).

Badany obszar leży na granicy dwóch makroregionów: Niziny Północnomazowieckiej i Niziny Środkowomazowieckiej, której przebieg wyznacza rzeka Bug. Do Niziny Północnomazowieckiej należą mezoregiony: dolina dolnej Narwi i Międzyrzecze Łomżyńskie. Do Niziny Środkowomazowieckiej należą mezoregiony: dolina dolnego Bugu oraz Równina Wołomińska. Zasięg obszaru badań wyznaczają granice administracyjne powiatu Wyszków.

Głównym czynnikiem rzeźbotwórczym na omawianym terenie była działalność lądolodu i jego wód roztopowych, na którą nałożyła się działalność czynników holoceńskich. Duża część opisywanego obszaru ma rzeźbę płasko-równinną z piaskami wodnolodowcowymi. Obszar badań pokryty jest osadami polodowcowymi w postaci: piasków luźnych, słabo gliniastych i gliniastych, glin zwałowych, utworów pyłowych o różnej miąższości i na różnych podłożach, osadów rzecznych oraz utworów organogenicznych (torfów). Większość gleb użytków rolnych wytworzona jest z piasków.

Analiza geomorfologiczna obszaru badań jest istotna, gdyż stała się podstawą zbudowania tabeli korelacyjnej, wykorzystanej następnie w bazie wiedzy eksperckiej.

3.2. Przygotowanie danych do klasyfikacji eksperckiej

Wstępnym etapem klasyfikacji eksperckiej jest dobór i przygotowanie danych wykorzystanych w bazie reguł decyzyjnych. Głównym źródłem danych jest zdjęcie satelitarne SPOT5 z 12. 09. 2002. Zdjęcie satelitarne dobrze prezentuje rozkład podstawowych typów gleb w korelacji z pokryciem terenu. Dlatego też zdjęcie wykorzystano dwukrotnie: do wyznaczenia rozkładu na badanym obszarze głównych klas pokrycia terenu oraz głównych typów gleb występujących na badanym obszarze.

Najszybszym sposobem wygenerowania warstw tematycznych o pokryciu terenu i typach gleb jest klasyfikacja wielospektralna. Kanały spektralne wykorzystane w tej klasyfikacji powstały z analizy składowych głównych.

Do przeprowadzenia klasyfikacji wykorzystano metodę nienadzorowaną (ISODATA), a następnie poddano analizie klastry utworzone w przestrzeni spektralnej (PCA). W wyniku analizy otrzymano grupę sygnatur definiujących klasy tematyczne.

W klasyfikacji ISODATA najtrudniejszą pracą operatora jest właśnie analiza klastrów. Dlatego też w opisywanym doświadczeniu zaproponowano przeprowadzenie jej w przestrzeni utworzonej ze składowych głównych, które są skorelowane w mniejszym stopniu niż oryginalne kanały spektralne zdjęcia satelitarnego. W tak skonstruowanej przestrzeni dużo łatwiej analizować rozkład klastrów niż w przestrzeni z oryginalnych kanałów zdjęcia.

Oprócz zdjęcia satelitarnego do bazy wiedzy eksperckiej weszły dane o rzeźbie terenu z NMT (DTED poziom 2) oraz dane o składzie granulometrycznym warstwy wierzchniej z mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25000.

3.3. Baza wiedzy eksperckiej

Drugi etap włącza dodatkowe dane (warstwy tematyczne) z wykorzystaniem reguł wnioskowania w bazie wiedzy eksperckiej. Baza wiedzy eksperckiej

wymaga ścisłego zdefiniowania liczby klas i warunków ich występowania. Zostały one ustalone na podstawie wiedzy i doświadczenia interpretatora.

Baza wiedzy eksperckiej składa się ze zbioru reguł decyzyjnych opartych na teorii logiki dwuwartościowej (TAK lub NIE). Podstawowymi elementami tej teorii są: hipoteza, reguła i zmienna. Hipoteza określa poszukiwaną klasę tematyczną, w tym przypadku typ gleby, i jednocześnie stanowi domniemany wynik reguły. Reguła to zbiór określający warunki występowania hipotezy w oparciu o zmienne. W regule mogą występować hipotezy pośrednie typu: „PRAWDA" lub „FAŁSZ", umożliwiające rozbudowę reguły o nowe zmienne, pozostające między sobą w relacji „LUB".

Zmienne są to dane wejściowe analizowane w procesie decyzyjnym. Mogą być to dane w postaci rastrowej, wektorowej bądź skalarnej, np. liczby.

Każdej z reguł oraz każdej zmiennej można przypisać poziom ufności od 0 do 1. Wartość 1 oznacza całkowitą pewność, wartość 0 określa brak pewności do zmiennych lub do reguły. Problem właściwego określenia wartości współczynników pewności jest bardzo istotny, gdyż wpływa na ostateczny wynik klasyfikacji. Dlatego konstrukcja reguł powinna odzwierciedlać takie współzależności, które będą cechować się wysokim stopniem zaufania. Nie ma jednoznacznych metod określania współczynników ufności, dlatego są one najczęściej wynikiem opinii ekspertów.

Klasyfikację ekspercką przeprowadzono w trzech niezależnych trybach, wykorzystując trzy różne zestawy danych. W wariancie pierwszym założono wykorzystanie wygenerowanych warstw tematycznych ze zdjęcia satelitarnego SPOT5: typów gleb i pokrycia terenu jako dwóch niezależnych zmiennych. Korelacje między tymi zmiennymi ujęto w bazie wiedzy za pomocą prostych reguł. Wynik tej klasyfikacji nazwano KEX1.

W drugim wariancie klasyfikacji eksperckiej wprowadzono do bazy wiedzy warunek występowania typów gleb w określonych jednostkach geomorfologicznych. Do określenia tych warunków posłużył numeryczny model rzeźby terenu. Najprostszą postacią NMT do integracji z innymi danymi rastrowymi jest postać GRID, w której każdemu pikselowi przyporządkowana jest konkretna wartość wysokości. Źródłem numerycznego modelu terenu, wykorzystanym w tym doświadczeniu, jest format DTED poziom 2. NMT został wykorzystany jako zmienna w bazie wiedzy eksperckiej, definiując zależności pomiędzy typami gleb a ich położeniem w terenie. Wynikiem tej klasyfikacji jest obraz KEX2.

W trzecim wariancie klasyfikacji eksperckiej (KEX3) dołączono do bazy wiedzy zależności pomiędzy typem gleby a składem warstwy wierzchniej. Mapę tematyczną składu wierzchniej warstwy gleby wygenerowano na podstawie bazy danych o glebach. Zawiera ona wszystkie występujące na badanym obszarze rodzaje skał, zarówno mineralnych, jak i organicznych.

Tak przeprowadzona klasyfikacja ekspercka w każdym wariancie weryfikuje wyniki klasyfikacji nienadzorowanej, jednocześnie aktualizuje je, a tym samym zwiększa dokładność i wiarygodność wyników klasyfikacji.

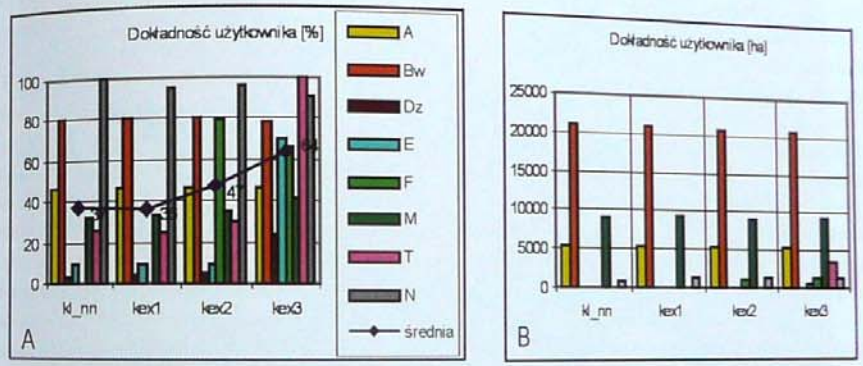
3.4. Oszacowanie wyników klasyfikacji

Podstawą oszacowania dokładności klasyfikacji nienadzorowanej i eksperckiej była baza danych o glebach, stworzona na podstawie map glebowo-rolniczych w skali 1:25000*.

Oszacowanie dokładności klasyfikacji w odniesieniu do rzeczywistości przeprowadzono dwiema metodami. Pierwsza porównuje pojedyncze punkty na obrazie po klasyfikacji z punktami na obrazie referencyjnym, druga zaś porównuje wartości dominujące typów gleb, przypisane do konkretnych poligonów w bazie danych o glebach.

Pierwsza metoda oszacowania dokładności klasyfikacji eksperckiej bazuje na porównaniu zgodności klas dla pojedynczych, losowo wybranych punktów. Daje ona gorsze rezultaty, jeśli chodzi o dokładność użytkownika, tzw. user's accuracy, ale są one bardziej precyzyjne w odniesieniu do konkretnego punktu w terenie. Dlatego też ogólna dokładność klasyfikacji jest większa i wynosi dla klasyfikacji nienadzorowanej (bez dodatkowych danych) 67%, a dla klasyfikacji eksperc-

*Na potrzeby przeprowadzanego eksperymentu przyjęto systematykę gleb według map glebowo-rolniczych, a nie według Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego



Ryc. 1. Wykresy przedstawiające dokładność użytkownika klasyfikacji, tzw. user's accuracy.
A – przedstawia wartości procentowe, B – powierzchnię całkowitą zajmowaną przez dany typ gleby.
Fig. 1. User's accuracy of the classification: 1 – percents values, 2 – total area of the soil type.

Ryc. 2. Rozkład typów gleb po klasyfikacji eksperckiej w trzecim wariancie KEX3 (fragment).
Fig. 2. Result of the expert classification KEX3 – distribution of the dominant soil types.

kiej (KEX3) 78%.

Druga metoda oszacowania dokładności klasyfikacji zakłada, że dla poszczególnych jednostek glebowych bazy danych istotny jest przede wszystkim dominujący typ gleb w poligonie jednostki glebowej i taki został obliczony. Następnie dominujący typ gleby z klasyfikacji eksperckiej został porównany z typem gleby z mapy glebowo-rolniczej w tym samym konturze glebowym. Taką analizę wykonano dla całego obszaru badawczego dla wszystkich wariantów klasyfikacji: KEX1, KEX2 i KEX3.

Z oszacowania dokładności klasyfikacji dla poszczególnych typów gleb wynika, że klasyfikacja ekspercka w trzecim wariancie (KEX3) przyniosła najlepsze rezultaty (ryc. 1). Większość typów gleb (Bw, E, F, T, N) sklasyfikowana została z dokładnością powyżej 60%. Gleby bielicowe (A) i brunatne wyługowane (Bw) zachowują się dość stabilnie i niezależnie od wersji klasyfikacji są sklasyfikowane na podobnym poziomie dokładności (A ok. 46%, Bw ok. 80%) przy zachowaniu tych samych wielkości powierzchni. Największe różnice uwidoczniły się dla mad, które w klasyfikacji nienadzorowanej praktycznie nie zostały sklasyfikowane. Podobnie rzecz się ma z glebami torfowymi (T), których dokładność klasyfikacji wzrosła z 26% do 100% (dokładności użytkownika), przy jednoczesnym osiągnięciu prawie 100% dokładności kartograficznej.

Z przeprowadzonych analiz oszacowania dokładności klasyfikacji wynika, że klasyfikacja ekspercka jest produktem lepiej przedstawiającym rzeczywiste położenie gleb w terenie niż klasyczna klasyfikacja, wykonana tylko na zdjęciu satelitarnym, co zostało potwierdzone badaniami terenowymi. Można stwierdzić, że model wnioskowania oparty na wiedzy eksperckiej podniósł dokładność klasyfikacji i zwiększył jej wiarygodność.

3.5. Wnioski wynikające z przeprowadzonej klasyfikacji

Układ działek i ich wyraźna struktura bardzo silnie zakłócają obraz gleby. Pomimo braku roślinności lub jej niewielkiej ilości na terenach uprawianych rolniczo, bardzo trudno doszukać się prostych relacji kontur glebowy – jego obraz na zdjęciu. Poza nielicznymi przypadkami na dużych jednorodnych obszarach, np. duży kompleks łąk, nie udało się rozgraniczyć typów gleb na satysfakcjonującym poziomie zaufania.

Tam gdzie zmiany w roślinności jednocześnie wyznaczają granice typów gleb, dość łatwo można przeprowadzić granice jednostek glebowych, zastępując interpretację wizualną procesem klasyfikacji eksperckiej.

Klasyfikacja ekspercka z wykorzystaniem warstwy pokrycia terenu pozwoliła na zdefiniowanie gleb nieużytkowanych rolniczo (nieużytków, terenów zabudowanych i lasów). Klasyfikacja w drugim wariancie, bazująca na związkach między typem gleby i jej położeniem w terenie, wyodrębniła gleby (mady) leżące na tarasach zalewowych w dolinach rzek. Klasyfikacja wykorzystująca związki typów gleb ze skałą macierzystą pozwoliła na sklasyfikowanie gleb bagiennych i torfowych (ryc. 2).

Reasumując, klasyfikacja ekspercka ma kilka atutów. Przede wszystkim bierze pod uwagę integrację danych z różnych źródeł, tzn. różne warstwy tematyczne, różne formaty, różne typy danych, różną rozdzielczość przestrzenną. Daje także możliwość wprowadzenia wiedzy opartej na doświadczeniu i takiej, która nie ma statystycznych modeli.

Inne zalety bazy wiedzy eksperckiej to powtarzalność, tzn. możliwość wykorzystania modelu do zestawu danych z innych obszarów, a także elastyczność, tzn. możliwość rozbudowy o nowe dane lub nowe reguły.

Prawidłowo skonstruowana baza wiedzy eksperckiej musi poszukiwać rozwiązania problemu przy narzuconych warunkach, nawiązując do metod badań i logiki prezentowanej przez człowieka. Należy jednak pamiętać, że żadna z metod klasyfikacji automatycznej nie może zastąpić całkowicie procesu fotointerpretacji prowadzonego przez człowieka z dwóch powodów: braku doświadczenia oraz globalnego postrzegania obrazu, jakim kieruje się operator.

4. Podsumowanie

Metodykę aktualizacji bazy danych o glebach w oparciu o zdjęcia SPOT należy rozpatrywać w dwóch częściach: geometrycznej i semantycznej.

Weryfikacja części geometrycznej polega na zmodyfikowaniu lub wprowadzaniu nowych konturów jednostek glebowych. Wprowadzanie danych do części semantycznej można realizować, wykorzystując dwa podejścia. Pierwsze to analiza każdego konturu w oparciu o kompozycję barwną, interpretacja wizualna atrybutu (wilgotność, pokrycie terenu) i bezpośrednie wprowadzenie do bazy danych. Takie podejście pozwala na kompleksową interpretację widocznych atrybutów.

Drugie podejście to wykorzystanie wyników klasyfikacji eksperckiej i wprowadzenie atrybutu (m.in. typ gleby, pokrycie terenu) do bazy danych z wygenerowanej warstwy tematycznej.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń proponowane są kolejne etapy aktualizacji bazy danych w oparciu o wynik klasyfikacji eksperckiej:

- przetworzenia zdjęcia satelitarnego (w tym także klasyfikacja nienadzorowana),
- przygotowanie danych z innych źródeł (NMT, granulometria warstwy wierzchniej),
- klasyfikacja ekspercka i jej oszacowanie,
- wprowadzenie atrybutów do części opisowej bazy danych.

Atutem tego drugiego podejścia jest zwiększenie dokładności opisu jednostek glebowych poprzez włączenie innych danych, takich jak numeryczny model rzeźby terenu czy dane o granulometrii warstwy wierzchniej gleby. Drugi atut to jego elastyczność, tj. możliwość rozbudowy o nowe dane wejściowe czy nowe reguły eksperckie. Istotny też jest fakt, że wygenerowany obraz jest warstwą tematyczną umożliwiającą szybką aktualizację bazy danych o nowy atrybut. Może też funkcjonować jako oddzielna mapa tematyczna.

Bibliografia

Białousz S., 2002, *Koncepcja regionalnego systemu informacji przestrzennej o glebach*, raport końcowy z projektu KBN.

Białousz S., 1999, *Zastosowania teledetekcji w badaniach pokrywy glebowej*, [w:] *Gleboznawstwo*, pod red. S. Zawadzkiego, PWRiL, Warszawa.

Chaplot V., Walter Ch., Curmi P., 2003, *Testing quantitative soil-landscape models for predicting the soil hydromorphic index at a regional scale*, Soil Science, 168 (6): 445-454.

Chmiel J., 2002, *Zastosowanie teledetekcji i GIS do zwiększenia dokładności opisu struktury przestrzennej obszaru*, praca doktorska, PW.

Dobos E., Micheli E., Baumgardner M., Biehl L., Helt T., 2000, *Use of combined digital elevation model and satellite radimetric data for regional soil mapping*, Geoderma, 97, p. 367-391.

Dobos E., Montanarella L., Negre T., Micheli E., 2001, *A regional scale soil mapping approach using integrated AVHRR and DEM data*, JAG, vol. 3.

Dwivedi R. S., Sreenivas K., Ramana K., 2000, *Detecting soil information in a predominantly black soil region using Indian Remote Sensing Satellite (IRS-1B) LISS-II data*, International Journal of Remote Sensing, vol. 21, no. 17.

Kontoes C., Wilkinson G., Burrill A., Goffredo S., Megier J., 1993, *An experimental system for the integration of GIS data in knowledge-based image analysis for remote sensing of agriculture*, International Journal of GIS, vol. 7, no. 3, p. 247-262.

Lawawirojwong, Pattanakiat S., 2002, *Expert classification for land cover mapping*, Advanced Training Workshop on LUCC Study, Taiwan, 9-20.12.2002.

Mulders M. A., 1987, *Remote sensing in soil science*, Elsevier.

Odeh I. O. A., McBratney A. B., 2000, *Using AVHRR images for spatial prediction of clay content in the lower* Namoi *Valley of eastern Australia*, Geoderma, 97, p. 237-254.

Odeh I. O. A., McBratney A. B., Chittleborough D. J., 1994, *Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model*, Geoderma, 63, p. 197-214.

Pluto-Kossakowska J., 2003, *Analiza metod przetwarzania i interpretacji zdjęć satelitarnych SPOT z punktu widzenia potrzeb systemu informacji o glebach*, praca doktorska, Warszawa.

Richards J. A., 1993, *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, Second Edition.

Srinivasan A. Richards, 1990, *Knowledge-based techniques for multi-source classification*, International Journal of Remote Sensing, vol. 11, no. 3.

Srinivasan A. Richards J., 1993, *Analysis of GIS spatial data using knowledge-based methods*, International Journal of GIS.

Stefanov W. L., Ramsey M. S., Christensen P. R., 2001, *Monitoring urban land cover change: An expert system approach to land cover classification of semiarid to arid urban centers*, Remote Sensing of Environment, 77, p. 173-185.

Summary

Soil data bases are useful in regional as well as in local information systems. It is required that such data base are adequately detailed and also updated. The soil data base creation based on cartographical materials, terrain data, results of laboratory analysis is very expensive and time-consuming. Also such technology elongates the whole process of soil data base building. Therefore scientists search for alternative methods of data acquisition for building and updating soil data bases. Such opportunities are provided by remote sensing satellite systems. Satellite devices systematically register an image for big a area of Earth at one time.

Expert classification is an example of wider approach to remote sensed data. It belongs to knowledge based systems which are developing nowadays extremely intensively. The purpose of these systems is to simulate the human inference leading to solving the problem. Expert classification is building the inference model and its realization on the basis of source data. The main stage of this classification is preparing the base of expert knowledge. In such base by using decision rules, correlations between variables are described.

The main objective of this investigation was to create an inference model leading to recognition of arrangement of soil types on the explored area. The basic assumption during the knowledge base building was usage of the correlation between satellite image and types of soil occurring in the reference soil data base. Relationships between radiometric values on the SPOT image and properties of soils (land cover, geomorphological forms, texture) were used to prepare decision rules in the inference model.

Three variants of the expert classification were realized. First variant of expert classification with using land cover layer allows to define not arable soils: useless area, buildup area and forests. Second version of expert classification based on the relations between soil type and its location on the terrain (altitude) separates soils situated on the flooding terraces in the river valley: mostly fluvisols. The third version of classification using relations between types and texture of soils allows to classify marsh and peat soils (histosols).

The results of expert classification were compared with original local soil database and with terrain investigations. The evaluation of accuracy was done for each version of classification. The last version which include: land cover, digital terrain model and soil texture was the best and better represents the real soil distribution in the terrain than classical multispectral classification performed only from satellite image. The inference model based on the expert knowledge increases the accuracy and reliability of the classification result.

MATEUSZ TROLL[1]

ZASTOSOWANIE GIS I TELEDETEKCJI W BADANIACH UŻYTKOWANIA ZIEMI W BESKIDACH ZACHODNICH

Słowa kluczowe:

GIS, teledetekcja, analiza przestrzenna, użytkowanie ziemi, lasy, Beskidy

Abstrakt

Praca jest przykładem zastosowania systemów informacji geograficznej i teledetekcji w badaniach nad użytkowaniem ziemi w Beskidach Zachodnich. Cyfrowe dane przestrzenne na temat użytkowania ziemi pochodziły z interpretacji i klasyfikacji zdjęcia satelitarnego Landsat TM, natomiast dane na temat ukształtowania terenu – z numerycznego modelu terenu (*DEM*). W analizie wykorzystano metody generalizacji przestrzennej, nakładania map oraz metody statystyczne. Wyniki badań świadczą o występowaniu prawidłowości w przestrzennym zróżnicowaniu użytkowania ziemi, zarówno w wymiarze horyzontalnym, jak i wertykalnym. Prawidłowości te autor tłumaczy związkiem użytkowania ziemi z ukształtowaniem terenu i warunkami przyrodniczymi zależnymi od ukształtowania. Związki przestrzenne pomiędzy użytkowaniem i ukształtowaniem terenu potwierdzają wyniki analizy statystycznej.

APPLICATION OF GIS AND REMOTE SENSING IN LAND USE STUDIES IN THE WESTERN BESKIDY MTS.

Key words:

GIS, remote sensing, spatial analysis, land use, forests, Beskidy Mts.

Abstract

Article is an example of GIS and remote sensing application in mountain land use studies. Spatial land use data, derived from satellite image interpretation and classification (Landsat TM), were used together with terrain data (elevations, slopes) stored in digital elevation model (DEM), interpolated from digitized contours. Spatial generalization methods, map overlay and statistical methods were applied in data analysis. Results of the research improve existence of specific land use spatial pattern, in its horizontal and vertical dimension. Such patterns were statistically explained by the influence of the environmental variables (elevations, slopes).

[1]Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Kraków

1. Wstęp

Tradycja badań nad użytkowaniem ziemi na świecie liczy ponad 100 lat, jednak przez dłuższą część tego okresu badaniami obejmowano jedynie niewielkie obszary, głównie ze względu na pracochłonność prac terenowych. Wyjątkiem od tej reguły jest przykład brytyjski, gdzie w I poł. XX w. wykonano zdjęcie użytkowania ziemi niemal całego kraju (Sztamp 1948 w: Kostrowicki 1957; Jankowski 1970). W Polsce badania użytkowania ziemi rozwijano w okresie powojennym, wzorując się właśnie na doświadczeniach brytyjskich. Prace miały na celu wykonanie szczegółowego zdjęcia użytkowania ziemi. Ze względu na żmudne kartowanie terenowe prace nad zdjęciem utknęły na etapie opracowywania metodyki badań, a ich wynikiem były przede wszystkim instrukcje metodyczne (Instrukcja... 1957, 1959/60, 1962; Kostrowicki, Kulikowski 1971). W Beskidach Zachodnich szczegółowe badania terenowe użytkowania ziemi prowadzono jedynie na terenie kilku wsi (Jelonek 1961; Guzik 1967; Kurek 1974; Kozak 1992), częściej natomiast analizowano dane ze spisów rolnych (np. Bogunka 1968; Jagła i in. 1981; Guzik 1992, 1995).

Nowe możliwości w dziedzinie badań nad użytkowaniem ziemi pojawiły się w związku z upowszechnianiem się teledetekcyjnych źródeł informacji o terenie oraz systemów informacji geograficznej – GIS. Uruchomienie misji satelitarnej Landsat w 1972 r., a następnie całego Systemu Obserwacji Ziemi *EOS* (*Earth Observing System*) w 1997 r., sprawiło, że dysponujemy danymi przestrzennymi na temat aktualnego stanu użytkowania i pokrycia terenu całego globu, a także jego zmian na przestrzeni ostatnich 30 lat (1999 EOS Reference... 1999).

Wykorzystując dane teledetekcyjne oraz systemy informacji geograficznej jako narzędzie analizy, przeprowadzono badania nad użytkowaniem ziemi w Beskidach Zachodnich. Obszar badań obejmuje zachodnią część Beskidów, położoną na pograniczu polsko-słowacko-czeskim (ryc. 1). Jest on użytkowany przez człowieka od XIII w., zaś gwałtowny wzrost antropopresji ma miejsce od XIX w., w związku z rozwojem pobliskich ośrodków przemysłowych Górnego Śląska i Czech oraz znacznym zaludnieniem tej części Karpat.

Analizie poddano przestrzenne zróżnicowanie użytkowania ziemi, a ściślej, rozmieszczenie dwóch dominujących powierzchniowo form użytkowania – użytków leśnych i rolnych. W przypadku użytków leśnych autora interesowało rozmieszczenie lasów (lesistość), a także udział lasów iglastych w powierzchni leśnej. Lasy iglaste, w postaci litych drzewostanów świerkowych, były wprowadzane głównie w XIX w. oraz w I poł. XX w. i stanowią w dalszym ciągu główny składnik użytków leśnych tej części Beskidów. Ich występowanie jest efektem wielowiekowej gospodarki leśnej, ukierunkowanej na szybką produkcję drewna. W badaniach rolniczego użytkowania ziemi analizie poddano przebieg granicy rolno-leśnej, wyznaczającej najczęściej górny zasięg upraw w Beskidach. Przebieg ten jest wynikiem wzajemnego oddziaływania człowieka – tego związanego z rozwojem gospodarki rolnej z jednej strony i gospodarki leśnej z drugiej.

Celem badań było określenie prawidłowości przestrzennego zróżnicowania użytkowania ziemi oraz roli, jaką w tym zróżnicowaniu odgrywają warunki abiotyczne środowiska przyrodniczego. W niniejszej pracy skoncentrowano się na aspektach metodycznych tych badań, poddając ocenie przydatność systemów informacji geograficznej w przestrzennej analizie użytkowania ziemi.

2. Materiały i metoda

W badaniach wykorzystano dwa podstawowe materiały źródłowe: zdjęcie satelitarne Landsat TM zarejestrowane w lipcu 1995 r. (rozdzielczość przestrzenna 30 m) oraz rysunek poziomicowy, zdigitalizowany z map topograficznych w skali 1:50 000. Posłużyły one do opracowania map ilustrujących przestrzenne zróżnicowanie użytkowania i ukształtowania terenu. Wykorzystane w pacy materiały – satelitarna mapa użytkowania ziemi i numeryczny model terenu, stanowią materiały cyfrowe o tej samej rozdzielczości przestrzennej i zbliżonej szczegółowości, co jest niewątpliwą zaletą w przypadku analizy związków przestrzennych. Dotychczas analizowano bądź to bardzo

zgeneralizowane przestrzennie dane spisowe opisujące strukturę użytkowania ziemi we wsiach lub gminach (Jagła i in. 1981; Guzik 1992, 1995), bądź też bardzo szczegółowe, ale ograniczone do niewielkiego obszaru, dane będące wynikiem kartowania terenowego (Kurek 1974).

Zróżnicowanie w obydwóch układach przestrzennych było poddane analizie z zastosowaniem metod generalizacji przestrzennej – analizy trendu powierzchniowego i interpolacji przestrzennej, oraz metod nakładania map i metod statystycznych. Metody te nie były dotychczas stosowane w badaniach użytkowania ziemi w Beskidach, bądź też były stosowane manualnie.

2.1. Satelitarna mapa użytkowania ziemi

W opracowaniu satelitarnej mapy użytkowania ziemi zastosowano metodę klasyfikacji wzorcowej (Parysek 1982; Widacki 1997). W interpretacji zdjęcia satelitarnego wykorzystano dodatkowe materiały dokumentujące stan użytkowania ziemi w momencie wykonania zdjęcia satelitarnego: mapy topograficzne i sozologiczne w skali 1:50 000 oraz Plany Urządzenia Gospodarstwa Leśnego w skali 1:10 000, a także archiwalne materiały Zakładu Doświadczalnego Instytutu Zootechniki w Lipowej koło Żywca. Informacje na temat stanu użytkowania ziemi w lipcu 1995 r. zebrano w trakcie badań terenowych.

W toku klasyfikacji zdjęcia satelitarnego wyróżniono szereg typów pokrycia terenu, które następnie przypisano określonym formom użytkowania ziemi. Procedurę klasyfikacyjną przeprowadzono w kilku etapach:

- wyznaczanie wzorców klasyfikacyjnych pokrycia terenu (tzw. pól treningowych),
- tworzenie na podstawie wzorców terenowych charakterystyk spektralnych dla typów pokrycia terenu w poszczególnych kanałach zdjęcia (tzw. sygnatur),
- weryfikacja wzorców,
- wstępna klasyfikacja i ocena dokładności przedklasyfikacyjnej,
- wybór zakresów spektralnych najbardziej odpowiednich do klasyfikacji konkretnych typów pokrycia terenu,
- właściwa klasyfikacja.

W związku z niewystarczającą rozdzielczością przestrzenną zdjęcia satelitarnego, wyznaczenie powierzchni wzorcowych było w przypadku niektórych typów pokrycia terenu utrudnione. Dotyczy to użytków rolnych, które w zachodniej części Beskidów należą najczęściej do silnie rozdrobnionych gospodarstw – 90 % z nich nie przekracza swoją wielkością 2 ha powierzchni. Sprawia to, że w chwilowym polu widzenia skanera satelity znajdują się często fragmenty kilku różnych upraw, czego wynikiem jest uśredniona odpowiedź spektralna. Rzadziej występujące skomasowane grunty własności uspołecznionej oraz grunty wspólnej własności chłopskiej są z reguły znacznie większe, dlatego właśnie tam wyznaczono wzorcowe powierzchnie użytków rolnych (ryc. 2). Rozdzielczość zdjęć Landsat TM jest natomiast w zupełności wystarczająca w interpretacji użytków leśnych w większości należących do Lasów Państwowych, w których podział powierzchniowy na oddziały i pododdziały cechuje się znacznie mniejszym stopniem fragmentacji niż podział indywidualnych gruntów rolnych.

Analiza odpowiedzi spektralnych w siedmiu kanałach zdjęcia satelitarnego, a także w kanałach pochodnych, stanowiących kombinacje kanałów pierwotnych, świadczy o różnym stopniu podobieństwa spektralnego wzorców, w zależności od zakresu promieniowania. Z tego względu klasyfikację przeprowadzono w kilku etapach, używając w każdym z nich różnych kanałów zdjęcia i uzyskując w ten sposób coraz bardziej szczegółowe rozróżnienie typów pokrycia terenu. W pierwszym etapie wyróżniono dwie klasy pokrycia terenu: obszary wodne i lądowe, w drugim etapie obszary lądowe sklasyfikowano na dwie zbiorcze kategorie: tereny leśne i nieleśne, a następnie z pomocą różnych kombinacji kanałów wyróżniono poszczególne klasy użytków leśnych oraz technicznych i rolnych. Wyróżnione w toku klasyfikacji uprawy na gruntach ornych oraz trwałe użytki zielone zostały ostatecznie zagregowane w jedną kategorię użytków rolnych, co było podyktowane ograniczonymi możliwościami rozróżnienia tych typów użytkowania ziemi, w związku z rozdzielczością przestrzenną klasyfikowanego zdjęcia.

Dysponując mapą rozmieszczenia lasów i użytków rolnych, wyznaczono następnie przebieg granicy rolno-leśnej. W rastrowym modelu danych, stosowanym w analizie przestrzennej, jako granicę rolno-leśną potraktowano 30-metrowej szerokości pas lasu graniczącego z terenami rolniczymi, do niego też odnoszą się podawane dalej charakterystyki liczbowe granicy. Do analizy wybrano granicę występującą w otoczeniu kompleksów leśnych lub śródleśnych enklaw osadniczo-rolniczych o powierzchni co najmniej 100 ha. W przypadku analizy przebiegu wysokościowego granicy rozpatrywano jedynie te jej odcinki, na których lasy zajmują partie wyżej położone, zaś użytki rolne znajdują się poniżej. W układzie odwrotnym, w odniesieniu do którego można użyć określenia granica inwersyjna, lasy zajmują obniżenia, a użytki rolne znajdują się powyżej granicy rolno-leśnej.

2.2. Mapy morfometryczne

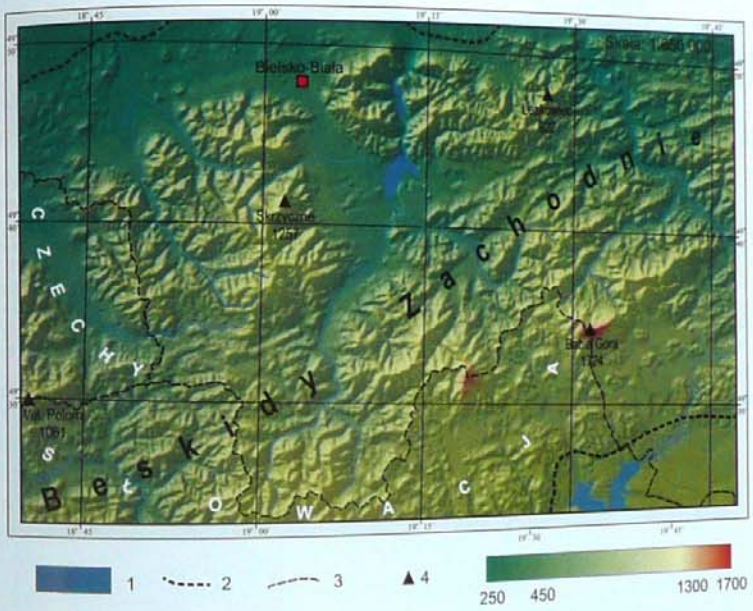
W celu opracowania map opisujących ukształtowanie terenu zastosowano klasyczne metody modelowania powierzchni topograficznej. W systemach informacji geograficznej nośnikiem informacji o topografii terenu jest numeryczny model terenu (ang. *Digital Elevation Model – DEM*), stanowiący macierz wysokości bezwzględnych. Model taki opracowano metodą interpolacji wysokości z wektorowego rysunku poziomicowego. Przetwarzanie danych wysokościowych z zastosowaniem GIS (metody analizy sąsiedztwa) umożliwiło uzyskanie pochodnej zmiennej morfometrycznej, opisującej ukształtowanie terenu – nachylenia terenu. Obydwie zmienne – wysokość bezwzględna i nachylenie są generowane w postaci liczb rzeczywistych, a ich dokładność zależy od jakości materiału źródłowego, tj. mapy topograficznej oraz dokładności digitalizacji odrysu poziomicowego. Szczegółowość tych danych jest ograniczona jakością rysunku poziomicowego, jak również wynika z rozdzielczości rastra, w którym zapisana jest macierz wysokości oraz pochodna macierz nachyleń terenu. Rozdzielczość opracowanych map (30 m) ustalono w relacji do skali mapy stanowiącej materiał źródłowy (1:50 000), jednocześnie nie bez znaczenia była rozdzielczość pozostałych danych przestrzennych (mapa użytkowania ziemi w rozdzielczości 30 m).

2.3. Metody analizy przestrzennej

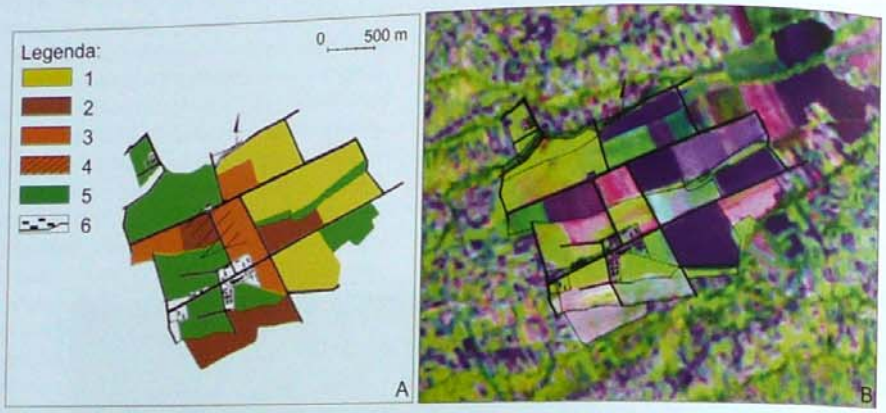
W analizie danych zastosowano metody generalizacji przestrzennej, metody nakładania map oraz metody statystyczne.

Wykorzystując metodę trendu powierzchniowego (Chorley, Haggett 1968), określano prawidłowości przestrzennego zróżnicowania użytkowania ziemi w wymiarze horyzontalnym. Zmienność, będąca w tym przypadku funkcją położenia (współrzędnych x, y), ilustrowana jest przez model trendu, opisany, w zależności od stopnia komplikacji modelowanej powierzchni, wielomianem odpowiedniego stopnia. Dobroć dopasowania trendu wyraża współczynnik determinacji wielorakiej r^2, a istotność tego dopasowania – test F, stosowany również w ocenie istotności wzrostu dobroci dopasowania powierzchni wyższego rzędu. Ocenę wiarygodności modelu umożliwia testowanie autokorelacji przestrzennej reszt z regresji, z zastosowaniem współczynnika *I* Morana oraz standaryzowanej zmiennej normalnej z (Czyż 1978; Ebdon 1990). Druga z metod generalizacji przestrzennej – metoda interpolacji (Board 1969), umożliwiła opracowanie map izopletowych, ilustrujących zróżnicowanie odsetków powierzchni zajmowanej przez wybraną formę użytkowania ziemi. Punktami odniesienia w interpolacji były środki poligonów Thiessena, którym przypisywano odsetki powierzchni zajmowanej przez analizowaną kategorię użytkowania. Stosowano interpolację metodą odległościowo-wagową (Burrough, McDonnell 1998; Mościbroda 1999) z kwadratowym wykładnikiem potęgi funkcji ważącej oraz 4-8 punktami odniesienia.

Związki przestrzenne pomiędzy użytkowaniem ziemi i warunkami przyrodniczymi zostały określone z zastosowaniem metod nakładania map. Porównanie rozkładów przestrzennych badanych zjawisk przeprowadzono za pomocą prostej klasyfikacji krzyżowej, natomiast w celu matematycznego ujęcia zależności, metody nakładania map wykorzystano do pobrania próby do dalszej analizy statystycznej. W przestrzennym

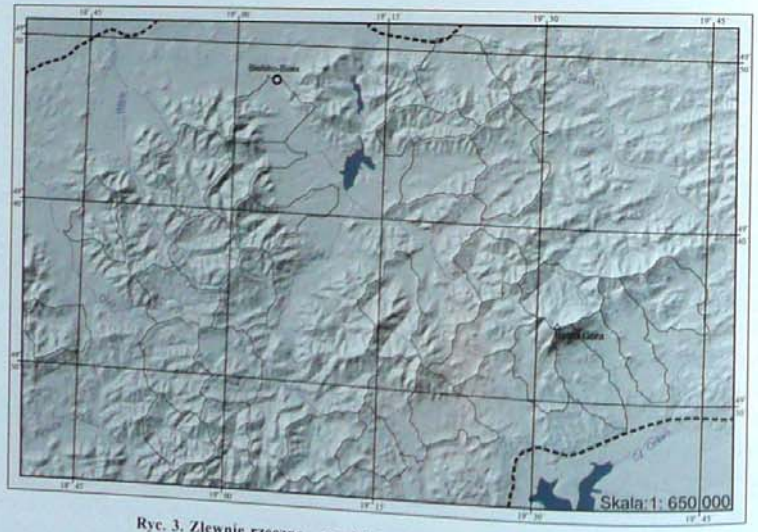


Ryc. 1. Obszar badań: 1 – wody, 2 – granice obszaru badań (Karpat fliszowych), 3 – granice polityczne, 4 – kulminacje (m n.p.m.).
Fig. 1. Study area: 1 – water, 2 – research area boundary (Flysch Carpathian Mts.), 3 – political boundaries, 4 – peaks (m a.s.l.).



Ryc. 2. Wzorce użytków rolnych na gruntach Zakładu Doświadczalnego Instytutu Zootechniki w Lipowej. A – użytkowanie ziemi (stan na lipiec '95). Grunty orne: 1 – uprawy zbożowe (pszenica, owies, jęczmień), 2 – uprawy okopowe i przemysłowe (ziemniak, kukurydza, rzepak, burak), 3 – uprawy pastewne (lucerna, koniczyna, bobik, trawy), 4 – uprawy pastewne (koniczyna, trawy) – powierzchnia skoszona 8 lipca 1995; trwałe użytki zielone: 5 – pastwiska; użytki techniczne: 6 – zabudowania, drogi. B – kompozycja barwna zdjęcia satelitarnego Landsat TM (kanały RGB: 5, 4, 3).

Fig. 2. Training sites for agricultural areas, located in the Experimental Station of National Research Institute of Animal Production in Lipowa. A – land use (as of July 1995). Arable land: 1 – cereal crops (wheat, oats, barley), 2 – potato, corn, rape, beetroot, 3 – fodder crops (lucerne, clover, grasses), 4 – fodder crops (clover, grasses) – meadow mowed 8 July 1995; permanent green crops: 5 – pastures; Artificial surfaces: 6 – built up area, roads. B – Landsat satellite image (RGB bands: 5, 4, 3).



Ryc. 3. Zlewnie rzeczne - przykład pól podstawowych analizy.
Fig. 3. River catchments – example of units of analysis.

układzie użytkowania ziemi szukano cech, których zmienność można wytłumaczyć zróżnicowaniem w układzie warunków przyrodniczych.

W przypadku warunków przyrodniczych zmienne – objaśniające – są zmiennymi ilościowymi o charakterze ciągłym (wysokość bezwzględna, nachylenie terenu), natomiast w przypadku użytkowania ziemi zmienne – objaśniane – mają charakter jakościowy (kategorie użytkowania ziemi). W celu zastosowania metod analizy korelacji i regresji badane kategorie użytkowania ziemi potraktowano jako zmienne dychotomiczne – zero – jedynkowe (wartość 1 oznacza występowanie określonej kategorii w danym miejscu – pikselu, zaś 0 – jej brak). Badając związki pomiędzy zmiennymi dychotomicznymi i ciągłymi, stosowano punktowy dwuszeregowy współczynnik korelacji (Norcliffe 1986; Ostasiewicz 1998) oraz współczynnik regresji wielorakiej. W przypadku analizy regresji zmienną zero – jedynkową przetworzono do postaci ciągłej, obliczając odsetek powierzchni zajmowanej przez daną kategorię w kwadratowych polach podstawowych. W tym celu zero – jedynkowe mapy zmiennej objaśnianej przetwarzano filtrem średnim, znormalizowanym, w oknie 9 x 9 pikseli (tj. 270 x 270 m). Tak obliczone odsetki były miarą prawdopodobieństwa występowania danej kategorii użytkowania w punktach stanowiących środki pól podstawowych. W celu uniknięcia nierealnych predykcji w modelu regresji stosowane jest przekształcenie logitowe, tj. przeskalowanie zmiennej z zakresu (0-1) do zakresu (-,+). Ze względu na dwumianowy rozkład zmiennej objaśnianej, w modelu zamiast metody najmniejszych kwadratów stosowana jest metoda ważonych najmniejszych kwadratów (Norcliffe 1986; Eastman 1997). Należy zaznaczyć, że w metodzie tej (regresja logistyczna) wartości współczynnika determinacji r^2 i testu t są przybliżoną i raczej względną miarą wyjaśnialności i istotności związku. Porównując obydwie metody, należy zwrócić uwagę, że w analizie regresji zmienną objaśnianą jest odsetek powierzchni przypadającej na las w każdym polu podstawowym (lesistość), natomiast w przypadku punktowego dwuszeregowego współczynnika korelacji – występowanie lasu w określonym miejscu (pikselu) lub jego brak.

Oprócz analizy korelacji i regresji stosowano także analizę wariancji. Istotność różnic pomiędzy poszczególnymi parami średnich określano metodą najmniejszej istotnej różnicy (Jóźwiak, Podgórski 1998). Warto dodać, że na etapie statystycznej analizy związków (analiza korelacji i regresji, analiza wariancji) atrybuty lokalizacji przestrzennej (współrzędne x, y) nie są uwzględniane. Powtórne nawiązanie do przestrzeni następuje jedynie w przypadku analizy regresji, podczas generowania map przedstawiających wartości zmiennej objaśnianej, wyjaśnione modelem regresji lub też wartości reszt z regresji.

2.4. Próba statystyczna i pola podstawowe analizy

Zastosowanie GIS w analizie przestrzennej wymaga wyboru pola podstawowego analizy oraz sposobu pobierania próby statystycznej, z czym wiąże się zagadnienie autokorelacji przestrzennej. Natura zjawisk przyrodniczych sprawia, że zmienne opisujące warunki środowiska przyrodniczego charakteryzują się na ogół wysoką autokorelacją przestrzenną. Problem skorelowania szeregów przestrzennych wiąże się również z zastosowaniem rastrowego formatu zapisu danych cyfrowych (dostosowanie rozdzielczości mapy cyfrowej do szczegółowości danych źródłowych) oraz z zastosowaniem niektórych technik przetwarzania danych, na przykład interpolacji wysokości (Norcliffe 1986; Chou 1991). W testowaniu autokorelacji stosowano współczynnik *I* Morana oraz standaryzowaną zmienną normalną z (Czyż 1978; Ebdon 1990). Wyniki testowania autokorelacji, tak w przypadku danych na temat ukształtowania, jak i użytkowania terenu, wskazują na skorelowanie szeregu przestrzennego, nawet przy kilkunastokrotnym opóźnieniu (próbkowanie w siatce kilkanaście na kilkanaście pikseli). W analizie statystycznej zastosowano więc losową próbę pikseli, o możliwie najniższej autokorelacji przestrzennej.

Obok danych punktowych (z losowej próby pikseli) analizie poddano także statystyki liczbowe (średnia, wartość minimalna i maksymalna, areały, odsetki powierzchni) obliczane w polach podstawowych (agregaty sąsiadujących ze sobą pikseli). Stosowano trzy

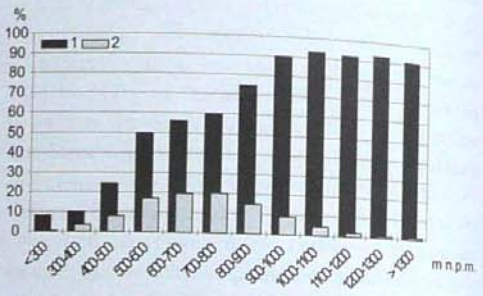
rodzaje pól podstawowych: kwadraty (270 x 270 m), poligony Thiessena oraz zlewnie rzeczne. Te ostatnie stanowiły rodzaj próby powierzchniowej, w której każdy element (zlewnia) należy do innej jednostki osadniczej – wsi, co wynika ze zgodności przebiegu granic administracyjnych z przebiegiem wododziałów w wyższych partiach Beskidów. Zlewnie zostały wyznaczone w oparciu o model spływu powierzchniowego (kierunki spływu, akumulacja spływu), uzyskany w wyniku przetworzenia numerycznego modelu terenu. Przy delimitacji zlewni przyjęto kilka założeń, co do ich wielkości, liczby oraz położenia:

- powierzchnie zlewni powinny być porównywalne i na tyle duże, aby zlewnie obejmowały również tereny użytkowane rolniczo, a nie tylko leśne,
- liczba zlewni nie może być zbyt mała, aby umożliwiała przeprowadzenie obliczeń statystycznych,
- wododziały zlewni nie mogą wykraczać poza granice obszaru badań.

Zgodnie z powyższymi założeniami wyznaczono 29 zlewni (ryc. 3). Ze względu na zróżnicowanie wysokości bewzględnej, zlewnie podzielono na nisko i wysoko położone, przy czym do nisko położonych zaliczono te, których średnia wysokość bezwzględna nie przekracza 800 m n.p.m., a wysokość zamknięcia zlewni – 500 m n.p.m. W analogicznym podziale na zlewnie słabo i silnie nachylone za kryterium przyjęto średnie nachylenie (w zlewniach słabo nachylonych do 10°) oraz odsetek powierzchni przypadającej na stoki o nachyleniu do 10° (w zlewniach słabo nachylonych do 50°).

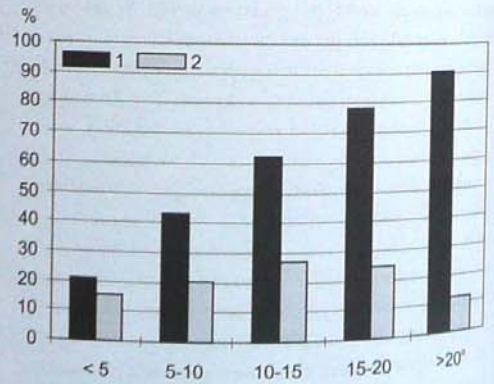
3. Wyniki

Porównanie rozmieszczenia lasów ze zróżnicowaniem wysokości bezwzględnych i nachyleń terenu świadczy o wzroście lesistości wraz ze wzrostem wysokości bezwzględnej i nachylenia. Partie terenu położone poniżej 400 m n.p.m. lub nachylone poniżej 10° cechują się lesistością poniżej 50%, natomiast na obszarach wzniesionych powyżej 1100-1200 m n.p.m. lub nachylonych powyżej 20° lasy zajmują ponad 90% powierzchni (ryc. 4, ryc. 5). Z badań autora wynika, że niższe partie zachodniej części Beskidów (do 500 m n.p.m.) w porównaniu z całymi Karpatami Polskimi (Guzik 1995) cechują się prawie dwukrotnie mniejszą lesistością (odpowiednio 17 i 32%), co jest skutkiem większego zaludnienia i „głodu ziemi" rolniczej w przeszłości. Dopiero w wyższych partiach obszaru badań (strefa wysokościowa 500-900 m n.p.m.) zalesienie wzrasta i jest podobne jak dla całych Karpat



Ryc. 4. Rozmieszczenie lasów w przedziałach wysokości bezwzględnej (m n.p.m.). 1 - odsetek powierzchni przedziału, 2 - odsetek całkowitej powierzchni leśnej.

Fig. 4. Distribution of forests in elevation classes (m a.s.l.). 1 – proportion of class area, 2 – proportion of total forested area.



Ryc. 5. Rozmieszczenie lasów w przedziałach nachyleń (°). 1 - odsetek powierzchni przedziału, 2 - odsetek całkowitej powierzchni leśnej.

Fig. 5. Distribution of forests in slope gradient classes (°). 1 – proportion of class area, 2 – proportion of total forested area.

Polskich (59 i 58%). Największy w całym profilu piono-wym przyrost lesistości (i spadek odsetka użytków rolnych) ma miejsce na wysokości 500 m n.p.m. (strefy wysokościowe 400-500 i 500-600 m n.p.m.) i wiąże się z największym wzrostem nachyleń terenu. Dostępność terenu, zależna w dużej mierze od nachylenia terenu, była więc jednym z czynników hamujących ekspansję rolnictwa w wyższych partiach Beskidów.

W ujęciu ilościowym związki korelacyjne pomiędzy lesistością a badanymi parametrami ukształtowania terenu są istotne, ale słabe – zróżnicowaniem wysokości bezwzględnych wyjaśnione jest około 22%, a zróżnicowaniem nachyleń – 25% zmienności lesistości (tab. 1). Z zastosowaniem metody analizy regresji wielorakiej uzyskano ilościowy wskaźnik łącznego oddziaływania obydwóch czynników – zróżnicowaniem wysokości i nachylenia terenu można wytłumaczyć 52% zmienności lesistości. O większym związku lesistości z nachyleniem terenu świadczą również wyniki analizy wariancji średnich odsetków lasów w zlewniach rzecznych. Zlewnie nisko i wysoko położone nie różnią się istotnie lesistością, natomiast zlewnie słabo i silnie nachylone wykazują istotną różnicę w zalesieniu (tab. 2 i 3). Jedyne znane z literatury miary tego

Tab. 1. Statystyka korelacji i regresji pomiędzy rozmieszczeniem lasów (zmienna dychotomiczna) a wybranymi parametrami morfometrycznymi (zmienne ciągłe): r_{pb} – punktowy dwuszeregowy współczynnik korelacji, r^2 – współczynnik determinacji, N – liczebność próby, t – test t, r – współczynnik korelacji wielokrotnej, F – test F.

Tab. 1. Statistics of correlation and regression between forest distribution (dichotomic variable) and chosen morphometric parameters (continuous variables): r_{pb} – point two-series correlation coefficient, r^2 – determination coefficient, N – number of sample pixels, t – t test, r – multiple correlation coefficient, F – F test.

Parametr morfometryczny	Analiza korelacji				Analiza regresji			
	r_{pb}	r^2	N	t	r	r^2	F (df = 2, 969)	t (df = 969)
Wysokość	0.47	0.22	1025	17	0.72	0.52	518.4	20.0
Nachylenie	0.5	0.25	1025	18.5				11.6

Tab. 2. Lesistość zlewni wysoko i nisko położonych - statystyka analizy wariancji: N – liczebność próby, F – test F, F_α – wartość krytyczna testu F na poziomie istotności α=0.05.

Tab. 2. Forest proportions in high and low situated river catchments – variance statistics: N – number of sample pixels, F – F test, F_α – critical value of F test, confidence level α=0.05.

Typ zlewni	Średni odsetek powierzchni leśnej	Analiza wariancji		
		N	F	F_α
Nisko położone	0.576	16	0.41	4.25
Wysoko położone	0.614	10		

Tab. 3. Lesistość zlewni słabo i silnie nachylonych – statystyka analizy wariancji: N – liczebność próby, F – test F, F_α – wartość krytyczna testu F na poziomie istotności α=0.05.

Tab. 3. Forest proportions in catchments with low and high slope gradients – variance statistics: N – number of sample pixels, F – F test, F_α – critical value of F test, confidence level α=0.05.

Typ zlewni	Średni odsetek powierzchni leśnej	Analiza wariancji		
		N	F	F_α
Słabo nachylone	0.514	16	15.29	4.21
Silnie nachylone	0.685	13		

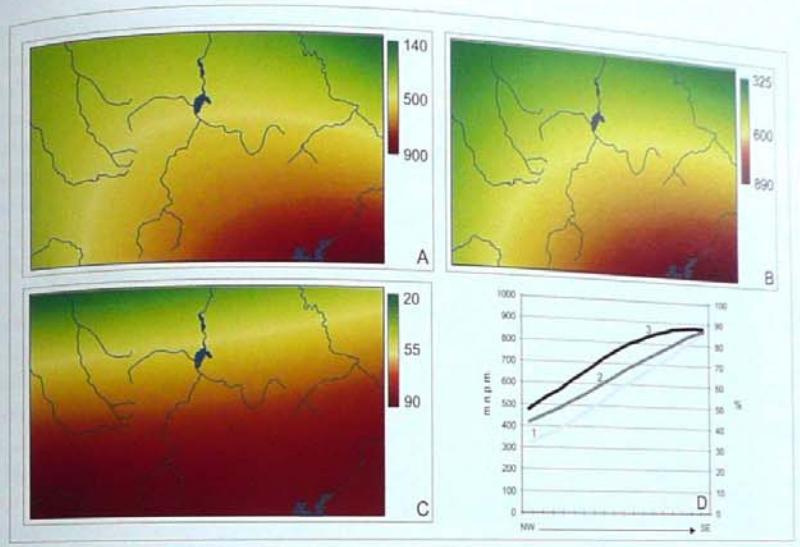
Tab. 4. Statystyka trendu powierzchniowego wybranych zmiennych opisujących użytkowanie ziemi i ukształtowanie terenu: r^2 – współczynnik determinacji wielokrotnej, F – istotność dopasowania powierzchni trendu, df – stopnie swobody.
Tab. 4. Trend surface statistics for chosen variables of land use and relief: r^2 – determination coefficient, F – F test, df – degrees of freedom.

Zmienna	Powierzchnia trendu	r^2	F (df)
Wysokość den dolin	kwadratowa	0.86	61.4 (5, 52)
Wysokość granicy rolno-leśnej	kwadratowa	0.63	419.9 (5, 1242)
Odsetek lasów iglastych	kwadratowa	0.57	260.5 (5, 970)

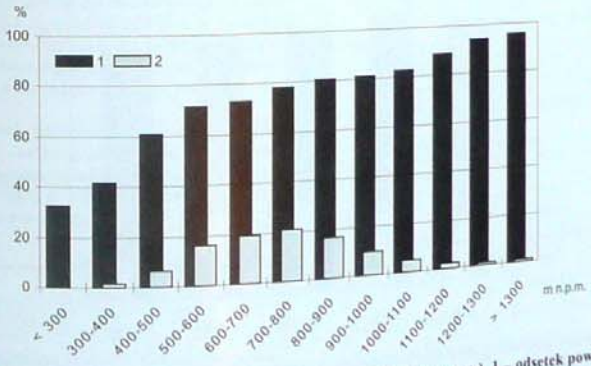
związku w badanej części Karpat dotyczą zlewni Jaszczurowej w Beskidzie Małym (Widacki 1989), gdzie stwierdzono podobną korelację pomiędzy użytkowaniem ziemi a ukształtowaniem, przy czym wyjaśnialność jest minimalnie wyższa w przypadku wysokości bezwzględnej (24% zmienności) niż w przypadku nachylenia terenu (21%).

Wyniki analizy przebiegu granicy rolno-leśnej wskazują na stopniowe podnoszenie się zasięg granicy z NW ku SE, zgodnie z trendem podnoszenia się den dolin beskidzkich. Prawidłowość tę ilustrują powierzchnie trendu drugiego stopnia, wyjaśniające odpowiednio 63 i 86% zmienności (tab. 4, ryc. 6a, 6b). Stwierdzony w badaniach wzrost zasięgu granicy rolno-leśnej z NW ku SE związany jest z ogólnym trendem wzrostu wysokości bezwzględnych terenu. Oznacza to, że we wsiach zakładanych w wyższych partiach Beskidów rozwój osadnictwa i rolnictwa na przestrzeni wieków doprowadził do wylesienia na podobną skalę, jak to miało miejsce we wsiach usytuowanych w najniższych partiach gór. Tym też należy tłumaczyć brak istotnych statystycznie różnic w lesistości zlewni niżej i wyżej położonych. Pomimo braku takiego zróżnicowania wpływ wysokości na przebieg granicy rolno-leśnej zaznacza się przy porównaniu względnej wysokości tego przebiegu ponad dnami dolin. Wysokość ta zmniejsza się z NW ku SE, wraz ze zbliżaniem się granicy rolno-leśnej do termicznej granicy upraw zbożowych, której przebieg jest wynikiem związku warunków klimatycznych z wysokością bezwzględną (ryc. 6d).

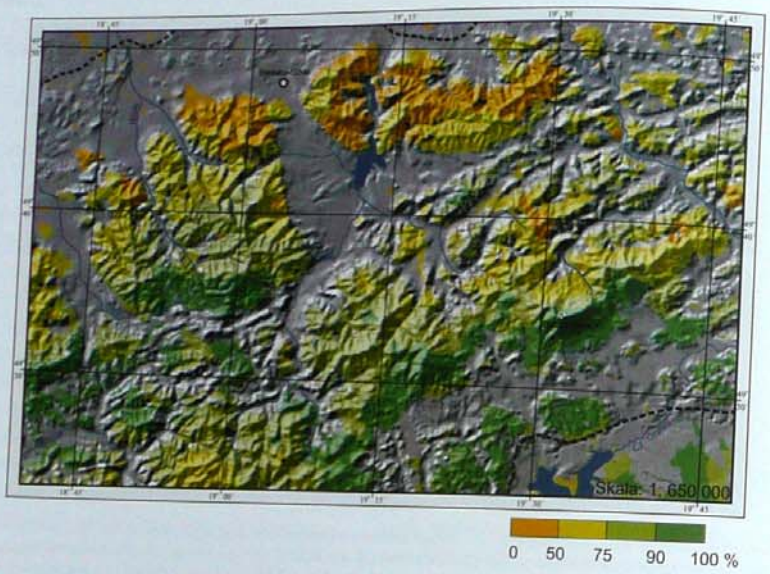
Analiza zróżnicowania lasów w profilu pionowym gór świadczy o stopniowym wzroście odsetka powierzchni przypadającej na lasy iglaste wraz ze wzrostem wysokości bezwzględnej (ryc. 7), przy czym jedynie do wysokości 400 m n.p.m. lasy iglaste ustępują pod względem areału lasom liściastym i mieszanym, natomiast powyżej 1100 m n.p.m. stanowią one co najmniej 90% powierzchni zalesionej. Przyrost odsetka lasów iglastych z wysokością jest znacznie większy w dolnych partiach terenu – do wysokości 600 m n.p.m. Z dotychczasowych badań wynika, że pierwotne zróżnicowanie lasów charakteryzowało się występowaniem dwóch pięter leśnych o przewadze lasów liściastych (grądów i buczyn) oraz dwóch zdominowanych przez lasy iglaste (jedliny i świerczyny), które występowały na przemian w profilu wysokościowym (Bernadzki 1963; Białecka 1982; Twaróg 1983). Analiza odsetków powierzchni przypadającej na lasy iglaste w przedziałach wysokościowych świadczy o współczesnej dominacji lasów iglastych w prawie całym profilu pionowym badanej części Beskidów, z wyjątkiem najniższych partii wysokościowych (poniżej 400 m n.p.m), w których przeważają lasy liściaste i mieszane. Takie zróżnicowanie pionowe jest wynikiem prawie całkowitego przekształcenia lasów tej części Beskidów w związku z hodowlą monokultur świerkowych. W XX w. rozpoczęto przebudowę świerczyn na lasy liściaste i mieszane, a efekty tej przebudowy są największe w najniższych partiach, gdzie stwierdzono



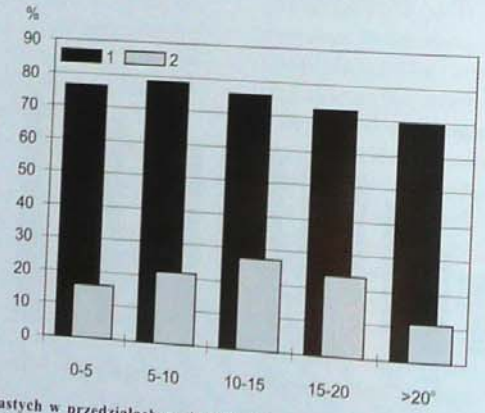
Ryc. 6. Powierzchnie trendu drugiego stopnia: A – trend zmian wysokości bezwzględnych den dolin (m n.p.m.), B – trend zmian wysokości bezwzględnych zasięgu granicy rolno-leśnej (m n.p.m.), C – trend zmian udziału lasów iglastych w powierzchni zalesionej (%), D – zmiany modelowanych zmiennych na przekroju NW-SE: 1 – wysokość bezwzględna den dolin, 2 – wysokość bezwzględna granicy rolno-leśnej, 3 – odsetek powierzchni przypadającej na lasy iglaste.
Fig. 6. Second order trend surfaces: A – elevations of valley bottoms (m a.s.l.), B – elevations of forest boundary (m a.s.l.), C – proportion of coniferous forest in the forested area (%), D – profiles of analysed variables in NW-SE direction: 1 – elevations of valley bottoms, 2 – elevations of agriculture-forest boundary, 3 – proportion of coniferous forests in forested area.



Ryc. 7. Rozmieszczenie lasów iglastych w przedziałach wysokości bezwzględnej (m n.p.m.). 1 – odsetek powierzchni przedziału wysokości, 2 – odsetek całkowitej powierzchni lasów iglastych.
Fig. 7. Distribution of coniferous forests in elevation classes (m a.s.l.). 1 – proportion of total elevation class area, 2 – proportion of total coniferous forests area.



Ryc. 8. Udział lasów iglastych w powierzchni zalesionej.
Fig. 8. Proportion of coniferous forests in total forested area.



Ryc. 9. Rozmieszczenie lasów iglastych w przedziałach nachyleń (°). 1 – odsetek powierzchni przedziału, 2 – odsetek całkowitej powierzchni lasów iglastych.
Fig. 9. Distribution of coniferous forests in slope gradient classes (°). 1 – proportion of total elevation class area, 2 – proportion of total coniferous forests area.

przewagę lasów mieszanych i liściastych nad iglastymi. W wyższych partiach przebudowa postępuje wolniej, ze względu na lepszą kondycję litych świerczyn, związaną z występowaniem siedlisk borowych. Przebudowę spowalnia tam również mniejsza dostępność terenu (Troll 1999).

W zróżnicowaniu lasów w przekroju poziomym gór stwierdzono występowanie południkowych gradientów wzrostu udziału lasów iglastych w powierzchni leśnej. Uwidoczniają to zarówno wyniki interpolacji (ryc. 8), jak i analizy trendu powierzchniowego (ryc. 6c). W północnej części Beskidów występuje równowaga pomiędzy udziałami lasów iglastych i pozostałych (izopleta 50%), natomiast w części południowej lasy iglaste zdecydowanie dominują (izopleta 90%). Wynik analizy trendu, w postaci powierzchni drugiego stopnia, wyjaśniającej około 60% zmienności, wskazuje, że gradient zmian w odsetkach lasów iglastych ma kierunek NW-SE (tab. 4). Takie zróżnicowanie lasów w wymiarze horyzontalnym wiąże się zarówno z warunkami siedliskowymi, zależnymi częściowo od hipsometrii terenu, jak i z gospodarczym użytkowaniem lasów (Troll 1999).

Wyniki analizy korelacji świadczą o braku liniowej zależności pomiędzy zróżnicowaniem lasów i wysokości (tab. 5). Również wyniki analizy wariancji (tab. 6) wskazują na brak istotnej różnicy w odsetkach lasów iglastych w zlewniach wysoko i nisko położonych (odpowiednio 72 i 89%). Zróżnicowanie odsetka lasów iglastych nie wykazuje również związku z nachyleniem terenu, co uwidoczniają zarówno wyniki klasyfikacji krzyżowej (ryc. 9), jak i analizy korelacji (tab. 5) i wariancji średnich (tab. 7).

Tab. 5. Statystyka korelacji pomiędzy rozmieszczeniem lasów iglastych (zmienna dychotomiczna) a wybranymi parametrami morfometrycznymi (zmienne ciągłe): r_{pb} – punktowy dwuszeregowy współczynnik korelacji, r^2 – współczynnik determinacji, N – liczebność próby, t – test t.

Tab. 5. Correlation statistics between coniferous forest distribution (dichotomic variable) and chosen morphometric parameters (continuous variable): r_{pb} – point two-series correlation coefficient, r^2 – determination coefficient, N – number of sample pixels, t – t test.

Parametr morfometryczny	r_{pb}	r^2	N	t
Wysokość	0.28	0.08	455	6.17
Nachylenie	-0.04	0.001	455	-0.88

Tab. 6. Udział lasów iglastych w powierzchni leśnej zlewni nisko i wysoko położonych – statystyka analizy wariancji: N – liczebność próby, F – test F, F_k – wartość krytyczna testu F na poziomie istotności α=0.05.

Tab. 6. Proportions of coniferous forests in catchments with low and high elevations – variance statistics: N – number of sample pixels, F – F test, F_k – critical value of F test, confidence level α=0.05.

Typ zlewni	Średni odsetek powierzchni lasów iglastych	Analiza wariancji		
		N	F	F_k
Nisko położone	0.723	16	10.83	4.25
Wysoko położone	0.889	10		

Tab. 7. Udział lasów iglastych w powierzchni leśnej zlewni słabo i silnie nachylonych – statystyka analizy wariancji: N – liczebność próby, F – test F, F_k – wartość krytyczna testu F na poziomie istotności α=0.05.

Tab. 7. Proportions of coniferous forests in catchments with low and high lope gradients – variance statistics: N – number of sample pixels, F – F test, F_k – critical value of F test, confidence level α=0.05.

Typ zlewni	Średni odsetek powierzchni lasów iglastych	Analiza wariancji		
		N	F	F_k
Słabo nachylone	0.829	16	3.17	4.21
Silnie nachylone	0.737	13		

4. Wnioski

Zastosowanie teledetekcji i GIS umożliwiło opracowanie numerycznych map użytkowania i ukształtowania terenu, będących źródłem informacji przestrzennej na temat współczesnego rozmieszczenia głównych form użytkowania ziemi (lasów i użytków rolnych), przebiegu granicy rolno-leśnej oraz morfometrii terenu – wysokości i nachyleń. Z pomocą metod analizy przestrzennej i metod statystycznych uzyskano ilościowe miary zróżnicowania użytkowania ziemi oraz miary związków występujących pomiędzy użytkowaniem i ukształtowaniem terenu. Porównania obydwóch układów przestrzennych dokonano w oderwaniu od jednostek podziału administracyjnego, których zastosowanie w dotychczasowych badaniach (jako pól podstawowych) skutecznie utrudniało analizę związków przestrzennych.

W przestrzennym układzie użytkowania ziemi badanej części Karpat stwierdzono prawidłowości związane z ukształtowaniem terenu – południkowe trendy zmian w wysokości zasięgu granicy rolno-leśnej oraz zmiany udziału lasów iglastych w powierzchni leśnej. Obydwie te cechy zróżnicowania użytkowania ziemi nie były dotychczas sygnalizowane w literaturze.

W statystycznej analizie związków jakościowe dane na temat użytkowania ziemi potraktowano jako zmienne dychotomiczne, co umożliwiło wykorzystanie takich miar, jak regresja logistyczna i punktowy dwuszeregowy współczynnik korelacji. Zastosowanie tych dwóch statystycznych miar związku użytkowania ziemi z ukształtowaniem terenu dało podobne rezultaty, choć w jednym przypadku analizie podlega areał kategorii użytkowania w polach podstawowych, a w drugim – jej punktowe występowanie. Obydwie miary dostarczyły zbieżnych wyników na temat związku użytkowania ziemi z ukształtowaniem terenu, choć w przypadku regresji mamy do czynienia z analizą w kategoriach prawdopodobieństwa zjawiska, zaś w przypadku współczynnika punktowego – z analizą jego punktowego występowania.

Badania autora potwierdzają występowanie zależności pomiędzy parametrami morfometrycznymi terenu (wysokość, nachylenie) i cechami struktury użytkowania ziemi. O ile jednak parametry te mają moc wyjaśniającą w przypadku ogólnej struktury użytkowania ziemi (występowanie lasów i użytków rolnych), to nie tłumaczą one zróżnicowania w obrębie samych użytków leśnych (udział lasów iglastych w powierzchni leśnej).

W wyniku zastosowania metod statystycznych stwierdzono, że poza pionową zmiennością w udziale lasów iglastych, opisaną powyżej, zróżnicowanie lasów na iglaste i pozostałe nie wykazuje istotnego statystycznie związku z wysokością i nachyleniem terenu.

Zastosowanie metod generalizacji przestrzennej – trendu i interpolacji pozwoliło określić prawidłowości przestrzennego zróżnicowania użytkowania ziemi w wymiarze horyzontalnym, dotychczas nieopisywane w literaturze dotyczącej użytkowania ziemi w Karpatach.

Badania prowadzono dzięki finansowemu wsparciu Komitetu Badań Naukowych (grant nr 6 P04E 03815) oraz Fundacji Open Society Support (grant Research Support Scheme nr 1007/1998).

Autor dziękuje pracownikom Zakładu Doświadczalnego Instytutu Zootechniki w Lipowej za udostępnienie danych na temat użytkowania gruntów.

Bibliografia

1999 EOS Reference..., 1999, *1999 EOS Reference Handbook, A Guide to NASA's Earth Science Enterprise and the Earth Observing System*, King M. D., Greestone R. (red.), NASA, ss. 361. Dostępne w internecie: http://eospso.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/misc_html/refbook.html

Bernadzki E., 1963, *Typy siedliskowe lasu na utworach godulskich w Beskidzie Śląskim*, Prace IBL, nr 262, s. 119-195.

Białecka K., 1982, *Rośliny naczyniowe grupy Pilska w Beskidzie Żywieckim*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Botaniczne, z. 10, ss. 149.

Board C., 1969, *Mapy jako modele* (tłum. J. Ostrowski), Przegląd Zagranicznej Literatury Geograficznej, z. 3/4, s. 7-55.

Bogucka A., 1968, *Współzależność między gospodarką a warunkami środowiska geograficznego w regionie polskich Karpat*, Problemy Zagospodarowania Ziem Górskich, z. 6 (19), s. 107-146.

Burrough P.A., McDonnell R.A., 1998, *Principles of Geographical Information Systems*, ss. 333.

Chorley R.J., Haggett P., 1968, *Trend-Surface Mapping in Geographical Research*, [w:] Berry B. J. L., Marble D. F. (red.), *Spatial Analysis. A Reader in Statistical Geography*, s. 195-217.

Chou Y. H., 1991, *Map resolution and spatial autocorrelation*, Geographical Analysis, vol. 23, nr 3, s. 228-246.

Czyż T., 1978, *Metody generalizacji układów przestrzennych*, PAN, Oddział w Poznaniu, Seria: Geografia, t. 1, ss. 91.

Eastman J. R., 1997, *Idrisi for Windows. Tutorial Exercises*, Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, USA.

Ebdon D., 1990, *Statistics in Geography*, ss. 232.

Guzik Cz., 1967, *Z zagadnień użytkowania ziemi w powiecie bocheńskim*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, z. 15, s. 61-94.

Guzik Cz., 1992, *Pionowa zmienność użytkowania ziemi w Karpatach*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, z. 91, s. 54-71.

Guzik Cz., 1995, *Rolnicze użytkowanie ziemi*, [w:] Warszyńska J. (red.), *Karpaty polskie. Przyroda, człowiek i jego działalność*, s. 239-252, Kraków.

Instrukcja..., 1959, *Instrukcja szczegółowego zdjęcia użytkowania ziemi*, Dokumentacja Geograficzna, z. 2, s. 9-128.

Instrukcja..., 1959/60, *Instrukcja szczegółowego zdjęcia użytkowania ziemi* (II wyd.), Dokumentacja Geograficzna, z. 2, ss. 124.

Instrukcja..., 1962, *Instrukcja szczegółowego zdjęcia użytkowania ziemi* (III wyd.), Dokumentacja Geograficzna, z. 3, ss. 129.

Jagła S., Kostuch R., Kurek S., Pawlik-Dobrowolski J., 1981, *Analiza użytkowania ziemi w Karpatach na tle środowiska przyrodniczego*, Problemy Zagospodarowania Ziem Górskich, z. 22, s. 39-66.

Jankowski W., 1970, *Drugie brytyjskie zdjęcie użytkowania ziemi*, Przegląd Geograficzny, t. XLII, z. 4, s. 757-762.

Jelonek A., 1961, *Z badań nad użytkowaniem ziemi w powiecie limanowskim*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, z. 4, s. 71-94.

Jóźwiak J., Podgórski J., 1998, *Statystyka od podstaw*, ss. 549.

Kostrowicki J., 1957, *Uwagi o geografii rolnictwa w krajach anglosaskich*, Przegląd Geograficzny, t. 29, z. 1, s. 47-53.

Kostrowicki J., Kulikowski R., 1971, *Przeglądowe zdjęcie użytkowania ziemi*, Dokumentacja Geograficzna, z. 2, ss. 27.

Kozak J., 1992, *Fizyczno-geograficzne uwarunkowania przebiegu granicy rolno-leśnej w rejonie Babiej Góry*, Problemy Zagospodarowania Ziem Górskich, z. 35, s. 123-136.

Kurek W., 1974, *Wpływ wzniesienia nad poziom morza, ekspozycji i nachylenia na rolnicze użytkowanie ziemi w Zawoi*, Folia Geographica, Seria Geographica-Oeconomica, vol. VII, s. 145-165.

Mościbroda J., 1999, *Mapy statystyczne jako nośnik informacji ilościowej*, ss. 181.

Norcliffe G. B., 1986, *Statystyka dla geografów. Wprowadzenie*, ss. 258.

Ostasiewicz W. (red.), 1998, *Statystyczne metody analizy danych*, ss. 350.

Parysek J. J., 1982, *Modele klasyfikacji w geografii*, ss. 223.

Troll M., 1999, *Lasy, ich przemiany i przestrzenne zróżnicowanie*, [w:] Widacki W. (red.), *Przemiany środowiska przyrodniczego zachodniej części Beskidów pod wpływem antropopresji*, s. 15-32, Kraków.

Twaróg J., 1983, *Typologiczna i historyczna interpretacja zmienności składu gatunkowego drzewostanów grupy Wielkiej Raczy*, Prace IBL, nr 636, ss. 53.

Widacki W., 1997, *Wprowadzenie do Systemów Informacji Geograficznej*, ss. 95.

Summary

Research on Western Beskidy Mts. land use was carried out with use of GIS and remote sensing. Study area was located in the western part of the Beskidy Mts. in the Polish, Czech and Slovak borderland. This region was transformed by men since the 13th century. Sudden increase of the human impact has been observed since 19th century in connection with the development of industrial centres of Upper Silesia and Ostrava as well as with high population density in this part of the Carpathian Mts.

The spatial distribution of two dominating land use types: forests and agricultural land was analysed. With regard to forests the proportion of total forested land and proportion of coniferous forest in forested area were analysed. Coniferous forests (spruce monocultures) were introduced mainly in the 19th and the first part of the 20th centuries and still are the main component of forests. This is the effect of the long-term forest economy oriented towards timber production. Apart from the forest distribution, agricultural-forest boundary was analysed. This boundary was treated as the upper limit of agriculture – the result of interaction of two forms of human impact – forestry and agriculture economy.

The aim of the research was to describe the spatial arrangement of land use types and the influence of environmental conditions on it. In this paper the author focused on methodological aspects of the study, estimating the usefulness of GIS in this type of research.

Two data sources were used in the study: Landsat TM satellite image (scene from July 1995) and contour lines digitised from topographical maps in scale 1:50 000. These materials were used to create a land use map and a digital elevation model (DEM). The first map was used to analyse the present distribution of forests, agriculture land and forest-agriculture boundary, the latter to describe terrain morpmometry – elevations and slopes. Indices of land use spatial arrangement and land use – morphometry relations were calculated with use of spatial analysis and statistical methods. Such relationships were analysed in vertical and horizontal dimension using surface trend analysis. Proportions of the areas covered by specific land use types were calculated for watersheds and Thiessen polygons, not for administrative units which were used in the former research. In the statistical analysis qualitative land use data were used as a binary variable, enabling application of the logistic regression and point two-series correlation coefficient.

The main features of land use pattern, spatially related to morphometry of the Western Beskidy Mts., are horizontal gradients of the elevation of forest-agriculture boundary and of the proportion of coniferous forests. Increase of forest-agriculture boundary elevations and proportions of coniferous forests from north (north-west) to south (south-east) reflect the general increase of terrain elevations and related variability of environmental conditions. Two statistical measures applied provided similar results on spatial relationships between land use and terrain morphometry. Results of the research confirm the impact of morphometrical parameters on land use spatial variability. These parameters explain the spatial arrangement of forests and agriculture land but do not explain the distribution of forest categories (e.g. proportion of coniferous forests).

BOGDAN ZAGAJEWSKI[1]

ZASTOSOWANIE GEOINFORMACJI W BADANIACH WPŁYWU ABIOTYCZNYCH KOMPONENTÓW ŚRODOWISKA NA ROZMIESZCZENIE ROŚLINNOŚCI W NARWIAŃSKIM PARKU NARODOWYM I JEGO OTULINIE

Słowa kluczowe:

geoinformacja, roślinność, środowisko, GIS, Narwiański Park Narodowy

Abstrakt

Publikacja prezentuje metody ilościowej analizy wpływu abiotycznych komponentów środowiska na stan i zróżnicowanie występowania zbiorowisk roślinnych w Narwiańskim Parku Narodowym i jego otulinie (NPN). Dotyczy to ustalenia jakości tego wpływu, jego hierarchii, a przede wszystkim ilościowej analizy związków łączących typy zbiorowisk ze spadkami terenu, utworami powierzchniowymi, głębokością do pierwszego poziomu wodonośnego, wilgotnością i typami gleb, spadkami i ekspozycją terenu.

Materiały źródłowe pochodzą z badań terenowych i kartowań przeprowadzonych pod koniec lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku na obszarze ówczesnego Narwiańskiego Parku Krajobrazowego. Uzupełnieniem są zdjęcia lotnicze i satelitarne oraz mapy topograficzne z tamtego okresu.

Efektem pracy jest: statystyczna analiza stanu roślinności rzeczywistej NPK; określenie naturalności roślinności, wykazanie stopnia jej odkształcenia; wykazanie powiązań pomiędzy abiotycznymi komponentami środowiska a występowaniem zbiorowisk roślinnych, hierarchizacja omawianych zależności oraz określenie amplitudy siedliskowej poszczególnych zbiorowisk.

GEOINFORMATION IN THE INVESTIGATION OF INFLUENCE OF THE ABIOTICAL COMPONENTS CONDITIONING ON THE VEGETATION DISTRIBUTION IN THE NAREW RIVER NATIONAL PARK

Key words:

geoinformation, vegetation, environment, GIS, Narew River National Park

Abstract

The paper presents the influence and analysis of the abiotical components on the vegetation distribution and transformation. The research area is the Narew River National Park (Polish acronym: NPN) along with the surrounding protective zone, located in the north-east part of Poland. The valley of the Narew river is characterised by the dense

[1] Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Zakład Teledetekcji Środowiska

network of river beds. In the period of the spring and summer is the flood frequency high. The consequence is the water-and-swamp setting of the natural environment, with the specific ecological conditioning, different from those prevailing in other river valleys. This leads to a rich mosaic of the ecosystems having arisen from the aquatic, aquatic-and-meadow, land-and-swamp, as well as land environments. It's conducted quite an intensive anthropogenic pressure of the 1970s and 1980s. After them the economic crisis stopped human impact to the environment and followed by the advancement of the re-naturalisation works. Currently, after the National Park has been established, there has arisen the institutional capacity of conducting the environmental damage studies and proper environmental monitoring, because this area plays a significant role in the international system of migrations of living organisms. The area corresponding to the NPN was considered an international core area (25/M) in the European programme ECONET.

WSTĘP

Wiedza o strukturze zależności pomiędzy składowymi środowiska pozwala wnioskować o ekosystemie, jego kondycji, dynamice i kierunkach zmian oraz ustalić optymalne warunki wykorzystania zasobów przyrodniczych. Wynika to z faktu, iż podobieństwo warunków ekologicznych, biogeograficznych i historycznych pozwala na powstanie podobnych fitocenoz (Matuszkiewicz 1981), ponadto selekcyjne działanie czynników abiotycznych oraz współzawodnictwo są podstawowymi mechanizmami kształtującymi określoną kompozycję gatunków i decydują o ich przestrzennym rozmieszczeniu (Currie, Paquin 1987; Rosenzweig 1995; Falińska 1997). Znając zatem rozmieszczenie i strukturę zbiorowisk oraz przestrzenny rozkład czynników abiotycznych, możliwe jest poznanie mechanizmów selekcyjnych, a florystyczne ujęcie poszczególnych fitocenoz w typy (zbiorowiska roślinne) pozwala na wykorzystanie ich jako fitoindykatorów środowiska. Wynika to z faktu, iż istniejące zakresy tolerancji zbiorowisk są znacznie bardziej czułe niż gatunków je tworzących (Matuszkiewicz 1981; Ricklefs, Schluter 1993). Oznacza to, że zakres tolerancji zbiorowisk jest wypadkową warunków siedliskowych, w jakich występują fitocenozy.

Reasumując, należy stwierdzić, że siedlisko (niezależny od biocenozy zespół fizyczno-geograficznych warunków środowiska abiotycznego (Matuszkiewicz 1981)) wywiera wpływ na rozwój fitocenoz. Uwidocznia się on w składzie i rozmieszczeniu zbiorowisk roślinnych.

Do składowych abiotycznych należy zaliczyć (Odum 1982; Falińska 1997): czynniki energetyczne – światło i ciepło (warunkują krążenie wody i ruch powietrza w środowisku); wodę – przenosi materiał glebowy, pochłania i wypromieniowuje ciepło; powietrze – receptor pary wodnej oraz źródło tlenu, dwutlenku węgla i azotu oraz sole mineralne, które zmieniają właściwości wody i cząstek stałych, odczyn gleby i procesy elektrolityczne.

Pojęcie komponentu środowiska wiąże się z litologią, rzeźbą, glebą, stosunkami wodnymi, szatą roślinną, klimatem oraz użytkowaniem ziemi, które wspólnie z klimatem modyfikuje pozostałe elementy (Starkel 1978). Natomiast A. Richling (1992) z pojęciem geokomponentu wiąże: budowę geologiczną, litologię (utwory powierzchniowe), rzeźbę powierzchni terenu, klimat, wodę, glebę oraz roślinność i zwierzęta.

Zatem na potrzeby niniejszego opracowania za abiotyczne komponenty środowiska będą uważane: gleby (typy gleb), litologia (utwory powierzchniowe), stosunki wodne (wilgotność i jej zmienność w glebie oraz głębokość do pierwszego poziomu wodonośnego), rzeźba (spadki terenu) oraz klimat (wykorzystany jako ekspozycja terenu).

1.1. Narwiański Park Narodowy – obszar badań

Wybór obszaru Narwiańskiego Parku Narodowego wynikał z następujących przesłanek: jest to jeden z najcenniejszych i unikatowych przyrodniczo obszarów Europy; z dużą dostępnością do wiarygodnych, szczegółowych i niepublikowanych materiałów, wnoszących wkład w poznanie Parku i procesów w nim zachodzących; ze stosunkowo niewielkim rozpoznaniem naukowym; nieodpartym urokiem,

naturalnością, bogactwem kulturowym oraz przyjemnością płynącą z eksploracji Parku.

Za główne walory Parku należy uznać naturalność i osobliwość stosunków hydrologiczno-siedliskowych. Bogata sieć koryt rzecznych, które na wielu odcinkach zajmują całą dolinę (2-4 km), mały spadek (średnio 0,15‰), powolny nurt oraz płaski zatorfiony teren powodują, że przepływ powierzchniowych i gruntowych wód jest hamowany i ulega spiętrzaniu, a cały obszar znajduje się w zasięgu długotrwałego zalewu wód rzecznych, rozprowadzanych po nim gęstą siecią koryt. W okresie wiosennych i letnich wezbrań woda płynie całą szerokością doliny. Następstwem tego jest wodno-bagienny układ środowiska o specyficznych warunkach ekologicznych, odmiennych w porównaniu z warunkami w innych dolinach rzecznych. Konsekwencją jest mozaika ekosystemów powstałych ze środowisk: wodnych, wodno-łąkowych, lądowo-bagiennych i lądowych (Banaszuk 1996).

Zgodnie z podziałem fizycznogeograficznym Polski (Kondracki 1988) obszar Parku znajduje się w czterech mezoregionach: dolina górnej Narwi (od Suraża do Rzędzian), Kotlina Biebrzańska (od Rzędzian do Żółtek), Wysoczyzna Białostocka (na wschód od doliny Narwi) oraz Wysoczyzna Północnomazowiecka (na zachód od doliny Narwi).

W podziale Polski na regiony fotomorficzne J. R. Olędzkiego (2001) teren badań znajduje się częściowo w obrębie: Wysoczyzny Wysokomazowieckiej Północnej, przełomowej doliny Narwi i Wysoczyzny Białostockiej.

1.2. Cel badań

Wychodząc zatem od ogólnych i stwierdzonych obserwacji wpływu utworów powierzchniowych, gleb, wód podziemnych, wilgotności, nachylenia zboczy i ich ekspozycji na rozwój i rozmieszczenie roślinności, a także posiadając szczegółowe i wiarygodne dane oraz niezbędny warsztat badawczy, celowe jest określenie wpływu abiotycznych komponentów środowiska na rozmieszczenie roślinności w Narwiańskim Parku Narodowym i jego otulinie. Dotyczy to ustalenia jakości tego wpływu, jego hierarchii, a przede wszystkim ilościowej analizy związków łączących poszczególne zbiorowiska z wymienionymi komponentami i ich cechami.

MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Materiałem dokumentacyjnym są oryginalne mapy: roślinności rzeczywistej, utworów powierzchniowych, typów gleb, wilgotności gleb, głębokości do pierwszego poziomu wodonośnego, spadków i ekspozycji oraz topograficzne w skali 1:10 000, zdjęcia lotnicze i satelitarne, a także punkty i opisy pomiarowe. Treść map tematycznych została w trakcie badań terenowych wrysowana w mapy topograficzne w skali 1:10 000 (układ współrzędnych 1965), część z nich została zgeneralizowana przez autorów do skali 1:25 000). Na postać numeryczną zostały przetworzone mapy w skali 1:25 000.

Przeprowadzona analiza roślinności rzeczywistej obejmuje 109 wydzieleń zawartych na 5170 poligonach (stanowią one pole podstawowe do analiz). W niniejszym artykule zakres analiz został ograniczony do 7 typów zbiorowisk (Solon 1987): leśne i zaroślowe siedlisk mokrych i wilgotnych; leśne i zaroślowe siedlisk świeżych i suchych; szuwarowe; torfowiskowe; łąki i pastwiska; suche murawy i traworośla oraz ruderalne i segetalne.

Stopień naturalności fitocenoz opierał się na wskaźniku antropizacji roślinności (Kostrowicki, Plit, Solon 1988). Poszczególnym klasom antropizacji odpowiadają następujące grupy roślinności:

1) zbiorowiska finalne, leśne i nieleśne;
2) naturalne zbiorowiska leśne o zaburzonej strukturze;
3) lasy odroślowe, naturalne zbiorowiska zaroślowe, naturalne, sukcesyjne, nieużytkowane zbiorowiska trawiaste (np. murawy piaskowe i kserotermiczne);
4) wieloletnie, kośne zbiorowiska trawiaste;
5) wieloletnie, pastwiskowe zbiorowiska trawiaste;
6) dojrzałe lasy sadzone na niewłaściwym siedlisku;
7) leśna sukcesja wtórna;

8) zbiorowiska synantropijne o dobrze wykształconej, charakterystycznej kombinacji gatunków (w tym zbiorowiska segetalne, ruderalne i porębowe);
9) zbiorowiska synantropijne kadłubowe;
10) nieustabilizowane zgrupowania roślin;
11) brak roślinności.

Mapa typów gleb posiada następujące wydzielenia: gleby bielicowe i pseudobielicowe; brunatne właściwe; kwaśne i wyługowane brunatne; torfowo-mułowe; czarne ziemie właściwe; czarne ziemie zdegradowane i ziemie szare; mady; glejowe; torfowe i murszowo-torfowe; murszowo-mineralne i murszowate; antropogeniczne oraz wody.

Mapa utworów powierzchniowych prezentuje: żwiry, piaski luźne, piaski gliniaste, gliny, pyły, torfy, wody oraz inne elementy (tereny zabudowane, wysypiska śmieci).

Mapa wilgotności gleb (wilgotność wagowa) zawiera następujące kategorie wilgotności: stała > 20%, występuje w dnie doliny Narwi; powyżej 20%, ze stałą tendencją spadku, występuje na rozległych obniżeniach dolinnych i kotlinowatych zagłębieniach, wilgotność regulowana melioracjami; 10-20%, często > 20%, występuje w dnach dolin denudacyjnych; 10-20% z dużymi wahaniami, występuje na obszarach przydolinnych; 5-10%, okresowo > 10%, występuje na obszarach pozadolinnych, użytkowanych jako pola uprawne lub lasy; 5-10%, okresowo < 5%, występuje na obszarach pozadolinnych, zbudowanych z utworów piaszczystych, pokrytych lasami lub gruntami ornymi; stała poniżej 5%, warunki lokalne wpływają na wilgotność oraz ostatnia kategoria, charakteryzująca się bardzo zmienną wilgotnością, zależną od budowy geologicznej.

Mapa głębokości występowania pierwszego poziomu wodonośnego zawiera 9 kategorii (<1; 1-2; 2-3; 3-4; 4-5; 5-6; 6-7; 7-8 i >8 m).

Do określenia spadków oraz ekspozycji terenu został wykonany Numeryczny Model Terenu (NMT) (Wolk-Musiał, Zagajewski 2001). Mapa ekspozycji terenu, ze względu na dużą, mało znaczącą liczbę wydzieleń, została zgeneralizowana do 4 kategorii: północna (315-45°), wschodnia (45-135°), południowa (135-225°) oraz zachodnia (225-315°). Drugim powstałym produktem z NMT jest mapa spadków terenu. Obrazuje ona możliwości rozprzestrzeniania się wód oraz, wraz z ekspozycją terenu, możliwości napromienienia. Wpływa to na warunki siedliskowe roślin.

1.3. Przygotowanie danych do analiz

Celem wykonania analiz należało doprowadzić wszystkie materiały do jednego układu odniesienia oraz skali i zapisać je w bazie danych. Umożliwiło to przecięcie warstw tematycznych, obliczenie współczynników oraz przygotowanie wydruków map.

Proces przetworzenia analogowych postaci map na postać numeryczną przebiegał według następujących procedur: skanowanie; rektyfikacja do układu współrzędnych 1942; wektoryzacja (w trakcie tworzenia warstw tematycznych w podkładzie znajdowała się mapa roślinności rzeczywistej z podkładem topograficznym. Umożliwiało to zachowanie kontroli nad wprowadzanymi granicami w odniesieniu do sytuacji topograficznej i wydzieleń roślinnych); budowa topologii; kodowanie; grupowanie według zagadnień tematycznych; kontrola jakości uzyskanych warstw tematycznych (na gotowe warstwy zostały nałożone profile tematyczne z kartowań terenowych); redakcja i wydruk map (ustalenie treści i skali; dobór kolorów; stworzenie legendy; wykonanie linii obrysów, siatki, opisów).

1.4. Metody analiz danych

Analiza wpływu abiotycznych komponentów środowiska na zbiorowiska roślinne została wykonana według następującego algorytmu: nałożenie roślinności rzeczywistej na warstwy z badanymi komponentami; obliczenie procentowego udziału poszczególnych elementów w danym zbiorowisku roślinnym, wskaźnika mocy powiązań, mocy powiązań i szerokości amplitudy siedliskowej.

Wpływ poszczególnych elementów abiotycznych komponentów środowiska na zbiorowisko roślinne wyrażony został procentowym udziałem danej cechy w ogólnym areale danego zbiorowiska oraz wskaźnikiem mocy powiązania (Richling 1983, 1992). Natomiast zależność między komponentem a zbiorowiskiem

określona jest mocą powiązań. Suma mocy powiązań badanych komponentów określiła amplitudę siedliskową, tzn. zakres warunków, w jakich może występować dane zbiorowisko.

Wskaźnik mocy powiązań (1), (2)

$$W = \frac{P_{rg}}{P_g} \text{ gdy } P_g < P_r \quad (1)$$

$$W = \frac{P_{rg}}{P_r} \text{ gdy } P_r < P_g, \quad (2)$$

P_{rg} - całkowita powierzchnia, na której występują obie badane cechy,

P_r - całkowita powierzchnia (frekwencja) komponentu z cechą r,

P_g - całkowita powierzchnia (frekwencja) komponentu z cechą g.

Matematyczny zakres uzyskiwanych wyników zamyka się w granicach <0-1>, w przypadku gdy poszczególne płaty badanych komponentów nie pokrywają się, obliczony wskaźnik osiąga wartość zero. Wartość maksymalna (1) jest osiągana, gdy oba komponenty współwystępują i charakteryzują związki trwałe i stabilne.

Uzyskane wartości wskaźnika mocy powiązań zostały sklasyfikowane w następujące typy związków (Bezkowska 1986): bardzo słabe, wmp = (0-0,2>; słabe, wmp = (0,2-0,4>; przeciętne, wmp = (0,4-0,6>; mocne, wmp = (0,6-0,8>; bardzo mocne, wmp = (0,8-1>.

Moc powiązań (3) pozwala na porównania jakości zależności występujących pomiędzy roślinnością a poszczególnymi abiotycznymi komponentami środowiska.

$$mp = (wmp_1 * \%pt_1) + \ldots + (wmp_n * \%pt_n) \quad (3)$$

wmp_1 – obliczony wskaźnik mocy powiązań dla danego zbiorowiska roślinnego i pierwszej cechy danego komponentu,

$\%pt_1$ – procentowy udział powierzchni pierwszej cechy danego komponentu w danym zbiorowisku roślinnym,

wmp_n – obliczony wskaźnik mocy powiązań dla danego zbiorowiska roślinnego i n-tej cechy danego komponentu,

$\%pt_n$ – procentowy udział powierzchni n-tej cechy danego komponentu w danym zbiorowisku roślinnym.

Podobnie jak w przypadku wskaźnika mocy powiązań została dokonana klasyfikacja mocy powiązań na związki: bardzo słabe, mp = <100>; słabe, mp = (100-200>; przeciętne, mp = (200-300>; mocne, mp = (300-400> oraz bardzo mocne, mp = (400-500>. Wartości mocy powiązań pozwalają na wskazanie zakresu występowania zbiorowiska na danym komponencie. Niskie wartości wskazują, iż zbiorowisko występuje na wielu cechach i nie jest z nimi silnie powiązane. Wysokie wartości zarezerwowane są dla fitocenoz, które występują na niewielu cechach; jedna z nich jest silnie dominująca i współzależność jest bardzo mocna. Powyższa obserwacja odpowiada definicji amplitudy ekologicznej (Krebs 1972). Wysokie wartości mocy powiązań świadczą, iż gatunki danego zbiorowiska posiadają wąską amplitudę i są to zbiorowiska stenotopowe, natomiast – eurytopowe osiągają niskie wartości mocy powiązań.

WYNIKI

1.5. Zależność występowania zbiorowisk roślinnych i spadków terenu

Obszar doliny Narwi oraz otaczające wysoczyzny są generalnie płaskie, wyraźniejsze urozmaicenia terenu występują lokalnie, niemniej, ze względu na stosunkowo małe powierzchnie, w skali całego Parku nie mają one większego znaczenia. Dla fragmentów dolinnych moc powiązań mierzona w typach zbiorowisk (tab. 1), jak i w poszczególnych zbiorowiskach roślinnych jest bardzo wysoka (bliska maksymalnej wartości 500).

Teren płaski umożliwia utrzymanie się wysokiego poziomu wody i wytworzenie specyficznych warunków siedliskowych oraz zbiorowisk roślinnych. Zbiorowiska leśne i zaroślowe siedlisk świeżych i suchych oraz

Tabela 1. Zależność pomiędzy typami zbiorowisk a spadkami terenu (% - udział procentowy danej klasy spadku w ogólnej powierzchni danego typu zbiorowisk; wmp – wskaźnik mocy powiązań).
Table 1. Relationship between vegetation types and slopes (% - surface fraction of slope elements in vegetation types, wmp - coefficient of connection's power).

Zbiorowiska	Spadek terenu														Moc powiązań
	< 1°		1-2 °		2-3 °		3-4 °		4-5 °		5-6 °		> 6 °		
	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	
leśne i zaroślowe siedlisk mokrych i wilgotnych	94	5	4	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	477
leśne i zaroślowe siedlisk świeżych i suchych	53	3	25	2	12	1	4	2	2	2	1	2	2	4	245
szuwarowe	98	5	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	494
torfowiskowe	99	5	1	1	0	1	0	1							496
łąki i pastwiska	79	5	16	1	3	1	1	1	0	1	0	1	0	1	418
suche murawy i traworośla	72	4	11	1	6	1	5	1	3	1	2	1	1	1	317
ruderalne i segetalne	42	3	38	4	14	4	4	4	1	4	0	3	0	3	357

ruderalne i segetalne, pomimo stosunkowo niewielkich powierzchni, charakteryzują się mocnymi związkami z różnymi stopniami nachyleń terenu (tab. 1). W szczegółowej analizie poszczególne zbiorowiska, poza zarastającymi ugorami z dominacją rumianku pospolitego i nasadzeniami sosnowymi, nie wykazują silniejszych związków z nachyleniami terenu. Największa współzależność występuje pomiędzy zbiorowiskami szuwarowymi i torfowiskowymi oraz terenami zupełnie płaskimi. Zbiorowiska segetalne i ruderalne oraz leśne i zaroślowe siedlisk świeżych i suchych, ze wszystkich typów fitocenoz, są w najmniejszym stopniu powiązane z terenami zupełnie płaskimi. Pomimo niewielkich udziałów powierzchni zbiorowisk na terenach bardziej nachylonych, wskaźniki mocy powiązań wskazują na średnie bądź mocne zależności współwystępowania. Średnia moc powiązań dla typów zbiorowisk przekracza wartość 400 - związek ma bardzo mocny charakter (tab. 1).

Tabela 2. Zależność pomiędzy typami zbiorowisk a utworami powierzchniowymi (% - udział procentowy danego utworu w ogólnej powierzchni danego zbiorowiska; wmp - wskaźnik mocy powiązań).
Table 2. Relationship between vegetation types and lithological surface layers (% - surface fraction of lithological surface layer elements in vegetation types, wmp - coefficient of connection's power).

Typy zbiorowisk	Żwiry		Piaski luźne		Piaski gliniaste		Glina		Pyły		Torf		Inne		Moc powiązania
	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	
leśne i zaroślowe siedlisk mokrych i wilgotnych	0	1	11	1	27	2	0	1	1	1	61	4	0	1	311
leśne i zaroślowe siedlisk świeżych i suchych	0	1	41	3	51	3	0	1	0	1	7	1	0	1	285
szuwarowe			1	1	6	1	0	1	0	1	92	5	0	4	470
torfowiskowe			7	1	14	1			1	1	78	4	0	1	334
łąki i pastwiska	0	1	11	2	52	3	3	2	2	4	31	2	0	3	257
suche murawy i traworośla	0	1	31	2	45	3	0	1			23	2	1	1	244
ruderalne i segetalne	0	5	5	1	87	5	6	4	0	1	1	1	0	3	467

1.6. Zależność występowania zbiorowisk roślinnych i utworów powierzchniowych

Przeprowadzone analizy wykazały, że istnieje silny związek pomiędzy utworami powierzchniowymi a zbiorowiskami roślinnymi. Omawiana zależność ustępuje relacji roślinność-spadki terenu. Średnia moc powiązania dla 109 zbiorowisk roślinnych wynosi 356. W skali typów zbiorowisk potwierdza się istnienie silnej zależności.

W budowie dna doliny dominują torfy, natomiast piaski gliniaste na obszarach wysoczyznowych. Wymienione utwory, obok piasków luźnych, determinują występowanie roślinności. W skali całego Parku najsilniej powiązane są torfy i zbiorowiska szuwarowe (ponad 92% szuwarów występuje na torfach). Piaski gliniaste ze zbiorowiskami ruderalnymi i segetalnymi wykazują także bardzo silne związki (87%), a żwiry, pomimo niewielkiego udziału w ogólnej powierzchni Parku, wykazują bardzo silne związki ze zbiorowiskami antropogenicznymi (tab. 2). Szczegółowe wyniki mocy powiązań pomiędzy zbiorowiskami roślinnymi a utworami powierzchniowymi wskazują, iż żwiry nie odgrywają istotnej roli w kształtowaniu roślinności. Podobnie, aczkolwiek z kilkoma wyjątkami, sytuacja wygląda z glinami i pyłami. W pierwszym przypadku zbiorowisko zarastających ugorów z dominacją rumianku pospolitego (*Matricaria chamomilla*) w ponad 64% występuje na glinach, a pastwisko *Lolio-Cynosuretum* z udziałem *Lolium multiflorum* w prawie 26%. Natomiast w podłożu pastwiska *Lolio-Cynosuretum* z udziałem pojedynczych drzew iglastych aż w 92,8% występują pyły, także w połowie powierzchni zbiorowiska z dominacją jeżogłówki znajdują się pyły.

1.7. Zależność występowania zbiorowisk roślinnych i głębokości do pierwszego poziomu wodonośnego

Wykonane obliczenia nie wykazały tak silnej zależności pomiędzy rozmieszczeniem zbiorowisk roślinnych a głębokością do pierwszego poziomu wodonośnego, jak to można było zaobserwować w poprzednich analizach. Dość wyraźnie różnicuje się północna, zmeliorowana i południowa część Parku.

W południowej, na odcinku Suraż - Łupianka Stara, omawiana zależność jest bardzo mocna, podobna sytuacja ma miejsce w okolicach Zawad i Baciut oraz w licznych, małych fragmentach doliny. Na pozostałym obszarze dna doliny Narwi zależność ta jest mocna. Na wysoczyźnie zdecydowanie dominują związki słabe, które są tłem przeciętnych. W ujęciu ogólnym (typy zbiorowisk) obliczona średnia moc powiązań dla całego Parku wynosi 304, natomiast średnia z poszczególnych zbiorowisk jest nieznacznie wyższa i wynosi 334.

Zbiorowiska torfowiskowe występują prawie wyłącznie na obszarach, gdzie głębokość do pierwszego poziomu wodonośnego jest mniejsza niż 1 m. W przypadku szuwarów 75% zbiorowisk ma do pierwszego poziomu mniej niż 1 m, a 25% mniej niż 2 m. Świeże i suche zbiorowiska leśne i zaroślowe zlokalizowane są głównie na terenach o większych głębokościach do wody (2-5 m). Natomiast synantropijne fitocenozy wykazują silne związki ze znaczną głębokością do wody (10-20 m) (tab. 3).

Szczegółowe informacje o każdym zbiorowisku generalnie potwierdzają ogólne spostrzeżenia. W wielu przypadkach można zaobserwować, że zbiorowiska należące do tego samego związku posiadają zupełnie inne preferencje. Jako przykład mogą służyć zbiorowiska z *Phragmition*. Szuwar skrzypowy w całości występuje na najpłytszych miejscach (poniżej 1m). Szuwar tatarakowy wyraźnie preferuje wilgotne siedliska (86,5% powierzchni ma do pierwszego poziomu wodonośnego mniej niż jeden metr), podobnie pałka wąsko- i szerokolistna, trzcina (67% - < 1m), a w 32% ma poniżej 2 m do poziomu wód gruntowych. Dokładnie odwrotna sytuacja ma miejsce w przypadku zbiorowisk rzepichy

Tabela 3. Zależność pomiędzy typami zbiorowisk a głębokością do pierwszego poziomu wodonośnego (% - udział procentowy danej głębokości w ogólnej powierzchni danego typu zbiorowisk; wmp –wskaźnik mocy powiązań).
Table 3. Relationship between vegetation types and depth to the 1st groundwater level (% - surface fraction of depth classes in vegetation types, wmp - coefficient of connection's power).

Zbiorowiska	Pierwszy poziom wodonośny występuje na głębokości do														Moc powiązań
	1	m	2	m	3-4	m	5-6	m	7-8	m	9-10	m	10-20	m	
	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	
leśne i zaroślowe siedlisk mokrych i wilgotnych	58	3	37	2	4	1	0	1			0	1			254
leśne i zaroślowe siedlisk świeżych i suchych	3	1	42	3	36	2	11	2	2	3	4	4	2	2	235
szuwarowe	75	4	25	2	0	1	0	1							350
torfowiskowe	95	5	5	1											481
łąki i pastwiska	38	2	47	3	13	1	1	1	0	1	0	1	0	1	231
suche murawy i traworośla	47	3	30	2	7	1	6	1	3	1	5	1	2	1	224
ruderalne i segetalne	3	1	39	3	42	5	9	5	1	3	3	4	2	4	351

i kropidła oraz fitocenoz z dominacją jeżogłówki. Inne zbiorowiska lub mozaiki i fragment zbiorowisk z *Phragmition* występują w zdecydowanej przewadze (94%) na obszarach o głębokości 2-3 m. Ponadto na uwagę zasługuje podobieństwo warunków, na jakich występują zbiorowiska polne i leśne.

1.8. Zależność występowania roślinności i wilgotności gleb

Ze względu na specyfikę doliny Narwi, zagadnienia związane z podażą wody dla roślin są bardzo istotne. W całym spektrum preferencji wodnych roślin, począwszy od hydrofilnych, a skończywszy na kseroterm icznych, można znaleźć wykształcone mechanizmy przystosowawcze do panujących warunków. Zjawisko to obserwuje się niezależnie od skali na całym obszarze Parku, zarówno w dolinie, jak i na wysoczyznach.

Średnia moc powiązania dla typów zbiorowisk wynosi 340, natomiast dla zbiorowisk 329. Obie wartości świadczą, iż istniejąca współzależność jest mocna. Wśród typów zbiorowisk najbardziej dostosowane do panującej wilgotności są zbiorowiska: szuwarowe, torfowiskowe, segetalne i ruderalne oraz leśne i zaroślowe siedlisk świeżych i suchych. Pierwsze dwa typy preferują wyraźnie wilgotne siedliska, bez zmian w ciągu okresu wegetacyjnego, natomiast dwie kolejne grupy wilgotność w zakresie 5-10% z okresowymi wahaniami (tab. 4). W analizie szczegółowej zwraca uwagę fakt, iż 14 zbiorowisk związanych jest wyłącznie z jednym typem wilgotności.

Reasumując, zależność pomiędzy wilgotnością gleby a występowaniem zbiorowisk roślinnych jest wyraźna i obejmuje większą część Parku. Związek słaby występuje na mozaice drobnych pól uprawnych oraz na obszarze wzdłuż torów kolejowych od Uhowa w stronę Białegostoku, na północnych obszarach okolic Bojar oraz pomiędzy miejscowościami Kolonia Kościuki-Kościuki i na zachód od Choroszczy.

1.9. Zależność występowania zbiorowisk roślinnych i typów gleb

Wykonane analizy wskazują, że w skali całego Parku występuje przeciętna zależność pomiędzy zbiorowiskami roślinnymi a typami gleb. Średnia moc powiązań, zarówno dla skali szczegółowej (109 zbiorowisk roślinnych), jak i zgeneralizowanej (7 typów zbiorowisk) wynosi 283 (tab. 5). Płaty o bardzo mocnych związkach występują prawie wyłącznie w środkowej części doliny (od Łupianki Starej do Bokin). Są to w większości wydłużone, stosunkowo duże

Tabela 4. Zależność pomiędzy typami zbiorowisk a wilgotnością gleby (% - udział procentowy danej wilgotności w ogólnej powierzchni danego typu zbiorowisk; wmp – wskaźnik mocy powiązań).
Table 4. Relationship between vegetation types and soil moisture (% - surface fraction of soil moisture classes in vegetation types, wmp - coefficient of connection's power).

Zbiorowiska	Dno doliny Narwi. Wilgotność stała > 20%		Obniżenia dolinne i zagłębienia z wilgotnością > 20 % stałym spadkiem		Dna dolin denudacyjnych. Wilgotność 10-20 % często > 20 %		Obszary przydolinne z dużymi wahaniami w granicach 10-20 %		Pola uprawne i łasy. Wilgotność 5-10 %, okresowo > 10%		Pola uprawne i lasy. Wilgotność 5-10 %, okresowo < 5%		Pola uprawne i lasy. Wilgotność stale < 5 %		Wilgotność zróżnicowana i zależna od budowy geologicznej		Moc powiązania
	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	
leśne i zaroślowe siedlisk mokrych i wilgotnych	54	3	18	2	8	1	5	1	13	1	1	1	0	1	1	1	226
leśne i zaroślowe siedlisk świeżych i suchych	0	1	2	1	3	1	4	1	60	4	21	3	8	5	0	1	355
szuwarowe	95	5	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	482
torfowiskowe	81	5	5	1	1	1	8	1	3	1			0	1	2	1	424
łąki i pastwiska	21	2	17	3	16	4	10	3	33	2	1	1	0	1	2	2	259
suche murawy i traworośla	34	2	1	1	3	1	21	2	27	2	85	1	1	1	3	1	183
ruderalne i segetalne	1	1	1	1	3	1	2	1	83	5	8	3	0	1	2	3	454

Tabela 5. Zależność pomiędzy typami zbiorowisk a typami gleb (% - udział procentowy danego typu w ogólnej powierzchni danego typu zbiorowisk; wmp – wskaźnik mocy powiązań).
Table 5. Relationship between vegetation types and soil types (% - surface fraction of soil type classes in vegetation types, wmp - coefficient of connection's power).

Zbiorowiska	gleby bieliceowe i pseudobielicowe		gleby brunatne właściwe		gleby kwaśne i wyługowane brunatne		gleby torfowo-mułowe		czarne ziemie właściwe		czarne ziemie zdegradowane i ziemie szare		mady		gleby glejowe		gleby torfowe i murszowo-torfowe		gleby murszowo-mineralne i murszowate		tereny zabudowane		moc powiązania
	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	
leśne i zaroślowe siedlisk mokrych i wilgotnych	3	1	0	1	7	1	11	1	3	1	3	1	3	2	0	1	51	3	19	2	0	1	223
leśne i zaroślowe siedlisk świeżych i suchych	25	2	1	1	55	3	5	1	2	1	2	1	0	1			2	1	7	1	0	2	236
szuwarowe	2	1	0	1	1	1	14	3	7	1	0	1	0	1	0	3	79	5	2	1	0	1	443
torfowiskowe	1	1			5	1	2	1	1	1	0	1	1	1			76	4	14	1	0	1	328
łąki i pastwiska	5	1	2	1	12	1	8	2	13	3	10	3	3	3	0	2	23	2	23	3	1	2	230
suche murawy i traworośla	6	1	2	1	38	2	10	1	1	1	2	1	9	1			13	1	17	1	2	1	138
ruderalne i segetalne	21	4	8	5	49	4	0	1	7	3	6	3	0	1	0	1	1	1	3	1	3	5	383

poligony, ułożone przy krawędzi zboczy lub też liczne małe płaty, ułożone nieregularnie w dnie doliny Narwi. Natomiast na fragmencie doliny od Łap do Żółtek zależność współwystępowania badanych komponentów może zostać określona jako silna. Związki o podobnej mocy zaznaczają się także na wysoczyźnie, w postaci niewielkich i rzadkich płatów. Powyżej Łap i Uhowa zatraca się granica zależności pomiędzy doliną a otaczającymi ją terenami, ponieważ całość obszaru cechuje się przeciętną mocą związku; podobnie jak inne części otuliny Parku.

Rozmieszczenie dużych poligonów, oznaczających związki słabe, w przybliżeniu pokrywa się ze słabymi związkami pomiędzy zbiorowiskami i wilgotnością gleby. Na pozostałych fragmentach współzależności słabe występują stosunkowo często, w postaci drobnych poligonów. Pierwszy raz można zaobserwować związki bardzo słabe. Występują one stosunkowo często na niewielkich powierzchniach; w przybliżeniu odpowiadają terenom zabudowanym.

Bardzo silna zależność występuje pomiędzy: glebami torfowymi i murszowo-torfowymi a zbiorowiskami szuwarowymi oraz glebami brunatnymi właściwymi i terenami zabudowanymi a zbiorowiskami segetalnymi i ruderalnymi.

Szczegółowa analiza zależności występowania roślinności i typów gleb wykazała, iż mady i gleby glejowe są tylko w marginalnej części siedliskami fitocenoz (częściej przypadkowych niż na nich wykształconych). Nie dotyczy to pastwiska *Lolio-Cynosuretum* z udziałem pojedynczych drzew iglastych (związek bardzo mocny z madami) oraz zbiorowiska z *Robinia pseudoacacia*, które w większości występuje na madach. Poza tymi przypadkami, większość gleb posiada co najmniej kilkuprocentowy udział w ogólnym areale poszczególnych zbiorowisk bądź też wykazuje się co najmniej średnią intensywnością związku. Oba elementy współwystępują stosunkowo rzadko.

1.10. Zależność współwystępowania zbiorowisk roślinnych i ekspozycji terenu

Z przeprowadzonych analiz wynika, iż ekspozycja terenu jest elementem najmniej istotnym dla rozmieszczenia zbiorowisk roślinnych na badanym obszarze. Średnia moc powiązań dla całego badanego obszaru przekracza 202 (dla 7 typów roślinności), a dla wyróżnionych 109 zbiorowisk – 237. Oznacza to, iż zależność pomiędzy badanymi elementami ma przeciętny charakter. Graficzna prezentacja omawianych zależności dla badanych zbiorowisk jest stosunkowo prosta, ponieważ na całym obszarze dominuje związek słaby, stosunkowo nieliczne fragmenty z mocną lub bardzo mocną zależnością zlokalizowane są na wysoczyznach (głównie w południowej części Parku).

Tabela 6. Zależność pomiędzy typami zbiorowisk a ekspozycją (% - udział procentowy danego kierunku w ogólnej powierzchni danego typu zbiorowisk; wmp – wskaźnik mocy powiązań).
Table 6. Relationship between vegetation types and aspects (% - surface fraction of aspect classes in vegetation types, wmp - coefficient of connection's power).

Zbiorowiska	Ekspozycja								Moc powiązań
	N		E		S		W		
	%	wmp	%	wmp	%	wmp	%	wmp	
leśne i zaroślowe siedlisk mokrych i wilgotnych	33	2	21	2	19	2	27	2	200
leśne i zaroślowe siedlisk świeżych i suchych	31	2	19	2	25	2	25	2	200
szuwarowe	28	2	21	2	23	2	28	2	200
torfowiskowe	32	2	17	1	24	2	27	2	183
łąki i pastwiska	25	2	22	2	25	2	28	2	200
suche murawy i traworośla	23	2	20	2	27	2	29	2	200
ruderalne i segetalne	26	2	22	2	27	3	25	2	228

1.11. Hierarchia mocy powiązań roślinności i komponentów środowiska

Jak wykazały badania, na zróżnicowanie roślinności wpływa szereg czynników. Oddziałują one ze zróżnicowanym natężeniem na poszczególne fitocenozy. Czynnikiem o największej skali oddziaływania są spadki terenu. Najwyraźniej daje się to zaobserwować w dnie doliny Narwi. Niewielkie deniwelacje terenu powodują długotrwałe zaleganie wód i wykształcenie specyficznych ekosystemów.

Kolejną grupę stanowią czynniki związane z podażą substancji mineralnych dla roślin. Są to głównie utwory powierzchniowe, które pozwalają na wykształcenie się określonych gleb, a jednocześnie są źródłem minerałów i elektrolitów. Warstwa utworów powierzchniowych w sposób bardzo wyraźny współdecyduje o rozwoju roślinności zarówno dolinnej, jak i wysoczyznowej. W przypadku 40 zbiorowisk obserwuje się bardzo mocne powiązanie z litologią, w 37 kolejnych fitocenozach związek jest mocny, 30 zbiorowisk powiązane jest przeciętnie i tylko 2 słabo.

Na trzecim miejscu uplasowały się zagadnienia bezpośrednio związane z podażą wody. Zależność pomiędzy wilgotnością gleby a jej zmianami w skali całego Parku jest dość wyraźna. Na obszarze dna doliny Narwi współwystępowanie roślin i stałej wilgotności powyżej 20% jest praktycznie całkowite, tzn., że poza nielicznymi wyjątkami (szczególnie na północy) zależność jest bardzo silna.

Zależność występowania roślinności od głębokości do pierwszego poziomu wodonośnego jest słabsza niż wyżej wymienione związki. W dolinie dominują mocne, lokalnie bardzo mocne współzależności, a na wysoczyźnie słabe oraz przeciętne moce powiązań.

Lokalnie istotną rolę odgrywają typy gleb oraz ekspozycja terenu. W przypadku gleb dotyczy to głównie doliny, gdzie występują mocne i bardzo mocne związki. Na pozostałym obszarze dominują przeciętne zależności.

Ekspozycja terenu najsłabiej determinuje rozmieszczenie roślinności. Związek słaby zdecydowanie dominuje i to zarówno w dolinie, jak i na otaczających ją obszarach. Na wzniesieniach, znajdujących się na wysoczyznach, miejscami występuje przeciętna współzależność. Zupełnie punktowo rozmieszczone są fitocenozy wykazujące mocne związki z ekspozycją terenu.

WNIOSKI

W niniejszym opracowaniu ujawnił się dialektyczny charakter badań – przejścia od dużej liczby jakościowych danych tematycznych do ich precyzyjnej ilościowej charakterystyki i hierarchizacji istniejących współzależności (Zagajewski 2002). Przeprowadzone badania wykazały, że:

- Pomimo intensywnie postępujących, przeciwstawnych sobie procesów fragmentacji i homogenizacji środowiska struktura przestrzenna roślinności, dobór materiałów i metod pozwoli na określenie zależności pomiędzy abiotycznymi komponentami środowiska a występującymi zbiorowiskami roślinnymi.
- Narzędzia komputerowe umożliwiły zgromadzenie danych, przystosowanie do wspólnej skali i układu odniesienia oraz wykonanie analiz w sposób obiektywny.
- Uzyskane wyniki wskazują, że najważniejszymi komponentami dla roślin są: rzeźba terenu, utwory powierzchniowe oraz wilgotność gleby. Kilkanaście zbiorowisk jest indykatorem poszczególnych komponentów.
- Interesujące są zbiorowiska, których amplitudy siedliskowe osiągnęły zarówno wysokie, jak i niskie wartości. W pierwszym przypadku oznacza to, że fitocenozy wskazują stan środowiska (fitoindykatory), i wszelkie jego zmiany będą się objawiały zmianami w składzie gatunkowym zbiorowiska lub zajmowanym areale. Rośliny o szerokiej amplitudzie stanowią poważne źródło konkurencji, wypierając gatunki o węższych zakresach.
- Podobnie może się dziać podczas świadomego lub nieświadomego generowania przez człowieka nisz ekologicznych. Mogą one być niekorzystne dla środowiska, ponieważ ułatwiają

zasiedlanie przez obce dla danego miejsca gatunki. Przykładem może być zbiorowisko z *Calamagrostis canescens*, które cechuje się bardzo wąską amplitudą siedliskową, ale ze względu na fakt, iż człowiek, wycinając brzozy niskie (*Betuletum humilis*) lub osuszając płytkie torfowiska, generuje jego nisze (Kucharski 1996; Pisarek, Kucharski 1999).

- Do grupy wysokiego zainteresowania powinny należeć zbiorowiska typowe dla badanego terenu. Na obszarze Parku są to m.in.: zbiorowisko z dominacją wierzby rokity (relikt występujący w NE Polsce), grądy z *Alnus glutinosa* (unikatowe zbiorowisko klimaksowe), murawa szczotlichowa (jedyny zespół w Europie Środkowej) oraz ginące: postać typowa boru bagiennego, fitocenozy rzepichy i kropidła, szuwar mózgowy, torfowisko niskie, zbiorowisko situ rozpierzchłego, łąka rajgrasowa, postać typowa pastwiska *Lolio-Cynosuretum*.
- Znaczna część Parku (około 45%) cechuje się najwyższym stopniem naturalności, kolejna grupa łąk i pastwisk oraz roślin segetalnych jest ekstensywnie wykorzystywana i stanowi cenny element krajobrazu kulturowego. Są to obiekty godne ochrony. Analiza naturalności roślinności potwierdza niski stopień wpływu człowieka na środowisko przyrodnicze Parku.

Podsumowując, należy stwierdzić, że została przeprowadzona dokładna analiza wpływu abiotycznych komponentów środowiska na zbiorowiska roślinne. Efektem pracy jest zestaw ogólnych i szczegółowych danych, które pozwalają na modelowanie procesów środowiskowych. Uzyskane informacje potwierdzają ogólne sądy, uszczegółowiają je i pokazują przestrzenne, jakościowe i ilościowe powiązania.

Bibliografia

Banaszuk H., 1996, *Paleogeografia. Naturalne i antropogeniczne przekształcenia doliny górnej Narwi*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.

Bezkowska G., 1986, *Struktura i typy geokompleksów w środkowej części Niziny Południowowielkopolskiej*, Acta Geographica Lodziensia, nr 54.

Currie D. J., Paquin V., 1987, *Large-scale biogeographical patterns of species richness of trees*, Nature, 329, ss.326-327.

Falińska K., 1997, *Ekologia roślin*, WN PWN, Warszawa.

Kondracki J., 1988, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa.

Kostrowicki A. S., Plit J., Solon J., 1988, *Przekształcenie środowiska geograficznego*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 147.

Krebs C. J., 1972, *Ecology. Harper and Row*, New York.

Kucharski L., 1996, *Szata roślinna gleb hydrogenicznych Kujaw Południowych. II. Zespoły i zbiorowiska szuwarowe*, Acta Univ. Lodz., Folia Bot., 11.

Matuszkiewicz W., 1981, *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*, PWN, Warszawa.

Odum E. P., 1982, *Podstawy ekologii*, PWRiL, Warszawa.

Olędzki J. R., 2001, *Regiony fotomorficzne Polski*, KTŚ PTG, Warszawa.

Pisarek W., Kucharski L., 1999, *Roślinność szuwarowa i torfowiskowa Bolimowskiego Parku Krajobrazowego*, [w:] Czyżewska K. (red), *Roślinność Bolimowskiego Parku Krajobrazowego. Monographiae Botanicae*, vol. 85, Polskie Towarzystwo Botaniczne, Dyrekcja Bolimowskiego Parku Krajobrazowego, Warszawa-Łódź.

Richling A., 1083, *Metody badania powiązań pomiędzy komponentami środowiska geograficznego*, Prace i Studia Geograficzne, t. 4.

Richling A., 1992, *Kompleksowa geografia fizyczna*, PWN, Warszawa.

Ricklefs R. E., Schluter D., 1993, *Species diversity in ecological communities*, University of Chicago Press, Chicago.

Rosenzweig M. L., 1995, *Species diversity in space and time*, Cambridge University Press, Cambridge.

Solon J., 1987, *Lądowe zbiorowiska roślinne*, [w:] Olędzki J. R. (red.). *Przygotowanie i przeprowadzenie eksperymentu Telegeo-87 „Narew" oraz opracowanie wyników*, IGiPZ PAN, Warszawa, maszynopis.

Starkel L. (red.), 1978, *Studia nad typologią i oceną środowiska geograficznego Karpat i Kotliny Sandomierskiej*, Prace Geograficzne, nr 125, IGiPZ PAN.

Wolk-Musiał E., Zagajewski B., 2001, *DTM in geomorphological analysis of deglaciation forms in the north-eastern part of Poland*, [w:] Buchroithner M. F. (red.), *A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation. Proceedings of the 20th EARSeL Symposium Dresden 14-16.06.2000*, A.A. Balkema Publishers, ss. 353-358, Lisse.

Zagajewski B., 2002, *Zastosowanie geoinformacji w badaniach wpływu abiotycznych komponentów środowiska na rozmieszczenie roślinności w Narwiańskim Parku Narodowym i jego otulinie*, rozprawa doktorska, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Warszawa, maszynopis.

Summary

The paper presents the influence and analysis of the abiotical components on the vegetation distribution and transformation. The research area is the Narew River National Park (Polish acronym: NPN) along with the surrounding protective zone, located in the north-east part of Poland. The valley of the Narew river is characterised by the dense network of river beds. In the period of the spring and summer is the flood frequency high. The consequence is the water-and-swamp setting of the natural environment, with the specific ecological conditioning, different from those prevailing in other river valleys. This leads to a rich mosaic of the ecosystems having arisen from the aquatic, aquatic-and-meadow, land-and-swamp, as well as land environments. It's conducted quite an intensive anthropogenic pressure of the 1970s and 1980s. After them the economic crisis stopped human impact to the environment and followed by the advancement of the renaturalisation works. Currently, after the National Park has been established, there has arisen the institutional capacity of conducting the environmental damage studies and proper environmental monitoring, because this area plays a significant role in the international system of migrations of living organisms. The area corresponding to the NPN was considered an international core area (25/M) in the European programme ECONET.

The scope of the research was organised into the following stages: analysis of potential, actual and native vegetation maps at the 1:25000 scale; analysis of morphometry, geomorphology, lithology, soils, groundwater level, soil humidity at the 1:25000 scale; creation of vegetation condition map using colour-infrared aerial photomaps and Landsat TM imagery; assessment of the condition for each vegetation native group; selection of the sets of plants related to human activity; analysis of relations between vegetation and abiotical components.

The most important abiotical components for vegetation are slopes, lithological surface layer, depth to 1st groundwater level, soil moisture, quality of soils and aspects. Human impact on the vegetation of Narew's valley is low, and the state of the vegetation was assessed to be good. The most noticeable damages introduced by the humans were noted within few towns and villages located within the Narew River NP.

KRONIKA
PRAC KOMISJI

W okresie od 1 października 2003 roku do 30 czerwca 2004 odbyły się następujące posiedzenia naukowe Komisji:

8 października 2003 roku z referatem prof. dr. hab. inż. Bogdana Cianciary (Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Zakład Geofizyki) pt. „Problemy identyfikacji procesów geodynamicznych w górotworze poddawanym eksploatacji górniczej";

12 listopada 2003 roku z referatem dr. Bogdana Zagajewskiego (Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Zakład Teledetekcji Środowiska) pt. „Analiza wpływu abiotycznych komponentów środowiska na rozmieszczenie roślinności w Narwiańskim Parku Narodowym z wykorzystaniem technik geoinformacyjnych";

10 grudnia 2003 roku z referatem prof. dr. hab. inż. Jerzego Gaździckiego (prezes Polskiego Towarzystwa Informacji Przestrzennej, Warszawa) pt. „Społeczeństwo geoinformacyjne";

14 stycznia 2004 roku z referatem dr. inż. Janusza Magiery (Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Złóż Surowców Skalnych) pt. „Analiza przestrzenna aluwiów i złóż kruszyw naturalnych w dolinie górnej Odry";

18 lutego 2004 roku z referatem dr. Marka Baranowskiego (United Nations Environment Programme/ Global Resource Information Database – Centrum Informacji o Środowisku) pt. „Kartograficzne aspekty terminologii geomatycznej";

10 marca 2004 roku z referatem prof. dr. hab. Andrzeja Makowskiego (Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii) pt. „Mapa – puścizna kulturowa postaci przekazu geoinformacji";

14 kwietnia 2004 roku z referatem prof. dr. hab. inż. Tadeusza Chrobaka (Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Geodezji i Kartografii) pt. „Proces redakcji kartograficznej wspierany automatyczną generalizacją";

12 maja 2004 roku z referatem dr. Janusza Michalaka (Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Zakład Hydrogeologii) pt. „Modele pojęciowe hydrogeologicznej informacji geoprzestrzennej";

9 czerwca 2004 roku z referatem dr. Mateusza Trolla (Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład GIS) pt. „Międzynarodowy program EOS (Earth Observing System) – nowa era w badaniach Ziemi".

Streszczenia referatów ukażą się w kolejnym tomie **„Sprawozdań z czynności i posiedzeń PAU"**. Streszczenia referatów wygłoszonych na posiedzeniach w trzecim roku działalności Komisji (2001) znajdują się w tomie LXV/2001 (Kraków 2001) tychże **„Sprawozdań ..."**.

Streszczenia referatów z 2002 roku ukażą się w październiku 2004 roku w tomie LXVI/2002 **„Sprawozdań ...”.**

W części organizacyjnej kolejnych posiedzeń omawiano sprawy:

- prezentowania referatów na najbliższych posiedzeniach Komisji;
- przygotowania publikacji w kolejnych rocznikach **„Geoinformatica Polonica”**;
- współudziału Komisji w organizacji konferencji powiązanych tematycznie z geoinformatyką (informacja o współorganizowanej konferencji w Polanicy Zdroju znajduje się w niniejszym tomie **„Geoinformatica Polonica”**); wybrane referaty członków Komisji znajdą się w 6 tomie **„Geoinformatica Polonica”**;
- czynnego udziału członków Komisji w konferencjach geoinformatycznych;
- przyjęcia nowych członków w skład Komisji.

W omawianym okresie Komisja specjalną uwagę poświęcała postępom w przygotowywaniu „Słownika geoinformatyki”. Pracami zespołu ds. słownika kieruje wiceprzewodniczący Komisji, prof. Józef Jachimski.

Na posiedzeniu Komisji Geoinformatyki w dniu 14 stycznia 2004 roku członkowie Komisji: prof. J. R. Olędzki i prof. J. Kotlarczyk przedstawili dorobek naukowy dr Małgorzaty Mycke-Dominko i zaproponowali Jej kandydaturę na członka Komisji.

Na posiedzeniu w dniu 18 lutego 2004 roku w części organizacyjnej posiedzenia stwierdzono, że kandydatka spełniła warunki stawiane kandydatom i poddano pod tajne głosowanie zgłoszoną kandydaturę.

Kandydatka uzyskała jednomyślne poparcie członków Komisji i została zatwierdzona na członka przez Dyrektora Wydziału IV PAU.

przewodniczący — Janusz KOTLARCZYK

sekretarz — Ryszard ŚLUSARCZYK

INFORMACJE O KONFERENCJACH

Ogólnopolskie interdyscyplinarne sympozjum:

„Geoinformacja zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych”

Wrocław-Polanica Zdrój,
15-17. 09. 2003 r.

Geoinformacja, geoinformatyka, w tym geoinformatyka obrazowa, cieszą się stale wzrastającym zainteresowaniem specjalistów wielu branż, od geologów i geofizyków poczynając po geografów i kartografów. Poczesne miejsce w tych zainteresowaniach zajmują fotogrametria i teledetekcja oraz systemy informacji przestrzennej.

Komisja Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności już po raz trzeci uczestniczy w organizacji ogólnopolskiego interdyscyplinarnego sympozjum dotyczącego geoinformatyki.

Pierwsze sympozjum z udziałem PAU zorganizowano w 2000 roku w Krakowie i Kalwarii Zebrzydowskiej, w 70 rocznicę powstania Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji. Sympozjum, które odbyło się pod hasłem „Fotogrametria, teledetekcja i GIS u progu trzeciego tysiąclecia”, patronowały Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji, Komisji Geoinformatyki PAU oraz Sekcja Fotogrametrii i Teledetekcji Komitetu Geodezji PAN. Głównym organizatorem był Zakład Fotogrametrii AGH.

Rok później, w 2001 roku, Komisja Geoinformatyki PAU była współorganizatorem pierwszego sympozjum pt. „Geoinformacja zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych”, które odbyło się w Wysowej. Inicjatorami zorganizowania cyklu sympozjów pod tym hasłem były: Zakład Teledetekcji Środowiska Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego oraz Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji. Organizatorem kierowniczym został Klub Teledetekcji Środowiska Polskiego Towarzystwa Geograficznego i Zakład Teledetekcji Środowiska Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Przy organizacji sympozjum współpracowały: Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji, Komisja Geoinformatyki PAU, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie oraz Komisja Teledetekcji Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN.

Po raz trzeci Komisja Geoinformatyki PAU uczestniczyła w organizacji ogólnopolskiego interdyscyplinarnego sympozjum geoinformatycznego w 2003 roku. Sympozjum to, drugie z kolei odbywające się pod hasłem „Geoinformacja zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych”, miało miejsce we Wrocławiu-Polanicy Zdroju w dniach 15-17 września 2003 roku. Przodującymi organizatorami tego sympozjum było Stowarzyszenie Kartografów Polskich oraz Katedra Geodezji i Fotogrametrii Wydziału Inżynierii, Kształtowania Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej we Wrocławiu, a współorganizatorami były: Sekcja Kartografii Komitetu Geodezji PAN, Komisja Geoinformatyki PAU, Klub Teledetekcji Środowiska Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji, Polskie Towarzystwo In-

formacji Przestrzennej oraz Instytut Geodezji i Kartografii. Patronat nad sympozjum objęli: Główny Geodeta Kraju, marszałek województwa dolnośląskiego oraz Wydział VII PAN (Nauki o Ziemi i Nauki Górnicze).

W pierwszym dniu sympozjum obrady toczyły się w dostojnej siedzibie Wydziału Inżynierii, Kształtowania Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej we Wrocławiu, natomiast w następnych dniach odbywały się w pięknej scenerii uzdrowiska Polanicy-Zdroju.

Sympozjum otworzyli: rektor Akademii Rolniczej, prof. Michał Mazurkiewicz oraz w imieniu marszałka województwa dolnośląskiego Pan Michał Borys.

W sesji pierwszej pt. „*Geoinformacja w nauce i praktyce*" – prowadzonej przez dziekana Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej we Wrocławiu, prof. Andrzeja Drabińskiego – zaprezentowane zostały referaty autorstwa prezesa GUGiK Jerzego Albina i wiceprezesa GUGiK Ryszarda Preussa dotyczące geograficznych systemów informacji i planowanego zakresu wykorzystania produktów obrazowych w pracach Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii. Następnie prof. Bogdan Ney, przewodniczący VII Wydziału Nauk o Ziemi i Nauk Górniczych PAN, mówił o związanych z geoinformacją kierunkach działalności wydziału, którym kieruje. Prof. Ewa Krzywicka-Blum (AR Wrocław) w referacie: „Współczesna użyteczność mapy" przedstawiła zmieniającą się rolę kartografii jako narzędzia badawczego w geoinformacji. Druga część sesji poświęcona była mapom i bazom danych o użytkowaniu ziemi jako źródłom informacji o zagospodarowaniu przestrzennym, o których mówił prof. Andrzej Ciołkosz (IGiK), oraz potrzebie uzupełnienia technologii tworzenia Baz Danych Topograficznych (TBD) o wysokorozdzielcze zobrazowania satelitarne (VHRS); problem ten omawiał dr Wiesław Wolniewicz (PW). Następnie zaprezentowano zagadnienia geoinformacji w działalności stowarzyszeń i organizacji, które przygotowały sympozjum. Oprócz wcześniej zaprezentowanych: VII WNoZiNG PAN, GUGiK, UMWD i IGiK swoją działalność przedstawiły: Sekcja Kartografii Komitetu Geodezji Polskiej Akademii Nauk (przewodniczący prof. A. Makowski), Komisja Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności (wiceprzewodniczący prof. J. Jachimski), Klub Teledetekcji Środowiska Polskiego Towarzystwa Geograficznego (wiceprzewodnicząca dr M. Mycke-Dominko), Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji przy SGP (przewodnicząca prof. A. Bujakiewicz), Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej (wiceprzewodniczący dr M. Baranowski) i gospodarz: Stowarzyszenie Kartografów Polskich (przewodnicząca dr J. Bac-Bronowicz).

Następnego dnia rano prof. J. Jachimski poprowadził sesję drugą pt. *Geoinformacja* (zorganizowaną pod patronatem PAU). W pierwszym referacie prof. A. Makowski w sposób arcyciekawy przedstawił filozoficzno-kartograficzny temat „Mapa – puścizna kulturowa postaci przekazu czasoprzestrzennie i relacyjnie odniesionej geoinformacji" (PW, SK KG PAN). Dalsza część była poświęcona terminologii w geoinformacji. Wiele dyskusji wzbudziły oba referaty poświęcone temu zagadnieniu: „Interdyscyplinarny Słownik Terminologiczny Komisji Geoinformatyki PAU – zarys projektu pilotażowego" przedstawiony przez prof. J. Jachimskiego (PAU) oraz dotyczący terminologii kartograficznej w Systemach Informacji Geograficznej autorstwa dr M. Baranowskiego (PTiP, GRID). Ściśle związany tematycznie były także referaty: „Modelowanie informacji geograficznej – cele, metody i środki formalne" prof. W. Pachelskiego (Centrum Badań Kosmicznych PAN-CBK, Uniwersytet Warmińsko-Pomorski w Olsztynie – UWM) oraz „Geoinformatyka zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych (z punktu widzenia teledetekcji i geografii)" prof. J. R. Olędzkiego (UW).

Kolejna przedpołudniowa sesja poświęcona była *Roli fotogrametrii i teledetekcji w geoinformacji* (patronat: PTFiP, KTŚ). Prowadziła ją dr M. Mycke–Dominko (ZST UW), która przedstawiła teledetekcyjną metodę kategoryzacji zagrożenia pożarowego lasu. B. Zagajewski i M. Sobczak z tego samego zakładu omówili badania górskich zbiorowisk roślinnych z użyciem technik hiperspektralnych. Pracownicy IGiK: prof. K. Dąbrowska–Zielińska wraz z zespołem w składzie: M. Gruszczyńska, A. Hościło, K. Stankiewicz, W. Kowalik przedstawili zmiany środowiska Biebrzańskiego Parku Narodowego w świetle wieloczasowych zdjęć satelitarnych wykonanych w widmie optycznym i mikrofalowym. Dwa następne referaty z Krakowa: „Teledetekcyjny monitoring środowiska w rejonie wysadów solnych z wykorzystaniem zobrazowań satelitarnych systemu Landsat (ETM+)" autorstwa S. Mularza (AGH) oraz „Skaner hiperspektralny AISA (Airborne Imaging Spectrometer for Applications) jako narzędzie pozyskiwania informacji o ekosystemie leśnym" P. Wężyka i B. Wertza (AR), a także „Nowe techniki wymiany i gromadzenia informacji a dane fotogrametryczne" R. Jędryczki (UWM) dotyczyły zastosowania nowych narzędzi i technik do badań w geoinformacji.

Sesję popołudniową: *Rola mapy w modelowaniu i prezentacji geoinformacji* (SKP, SK KG PAN) prowadził prof. A. Makowski. Referaty dotyczyły głównie map topograficznych. Prof. I. Gajderowicz (UWM) przedstawił lokalne układy współrzędnych. Koledzy z Katedry Kartografii Politechniki Warszawskiej mówili o zagadnieniach kartograficznych w różnych etapach tworzenia mapy topograficznej: „Baza Danych Topograficznych a produkcja map topograficznych" - D. Gotlib (GUGiK), „Od obiektu terenowego do jego odpowiednika na mapie i w bazie danych" - M. Stankiewicz, „Modelowanie kartograficzne z wykorzystaniem neurorozmytych automatów komórkowych" - R. Olszewski. Tematycznie uzupełniał te zagadnienia referat prof. T. Chrobaka (AGH) o metodzie uogólnienia danych w procesie generalizacji obiektów liniowych. Praktyczne aspekty konstrukcji map tematycznych przedstawił prof. Z. Ustrnul i D. Czekierda (IMGW Kraków) w referacie: „Konstrukcja map temperatury powietrza Polski z wykorzystaniem GIS".

Następne dwie równoległe sesje posterowe zajęły resztę popołudnia. Każdy z autorów miał 3 minuty na prezentację przed zgromadzoną publicznością, a potem godzinę na indywidualne dyskusje przy posterach.

Jedną z sesji pt. *Fotogrametria* prowadził K. Pyka (UMWM, AGH). Postery dotyczyły skaningu laserowego - U. Marmol (AGH), A. Borkowski (AR Wrocław), georadaru - Ł. Ortyl (AGH)), rozkładu irradiacji nieba - J. Cierniewski, T. Gdala (UAM). Częstym tematem były

powierzchnie odwzorowane na zdjęciach lotniczych i satelitarnych, o różnym sposobie użytkowania - S. Królewicz (UAM), T. Pirowski (AGH), K. Koniński, T. Kozłowska (IMUZ), A. Krężel, M. Kowalewski (UG), B. Hejmanowska, E. Głowienka (AGH), P. Gołuch (AR Wrocław), S. Follehr, P. Jaszczak, M. Piskorz, R. Zieliński (PW – studenci). Szczególnie dużo posterów dotyczyło zdjęć terenów zalesionych - A. Boroń, M. Borowiec (AGH), K. Będkowski, J. Mozgawa, H. Norman (SGGW), M. Wrzesień (UW), A. Hościło (IGiK). Trzy postery przedstawiały zastosowania fotogrametrii do różnego rodzaju inwentaryzacji budynków: S. Mularz, A. Wróbel, R. Tokarczyk, M. Brodzińska W. Mierzwa, A. Rzonca (AGH). Innymi zagadnieniami były ortofotomapy cyfrowe w internecie - P. Wężyk (AR Kraków) i A. Świąder (ProGea Consulting, Kraków).

Równolegle E. Bielecka prowadziła sesję *Systemy Informacji Geograficznej*. Tematyka dotyczyła zastosowania Geograficznych Systemów Informacyjnych w: klimatologii i meteorologii - I. Dyras, D. Serafin–Rek, B. Łapeta (IMGW Kraków), J. Bac–Bronowicz, A. Borkowski (AR Wrocław), ochronie przyrody - J. Adamczyk (SGGW), J. Zaczek–Peplińska (PW), tworzeniu numerycznych modeli terenu na podstawie różnych źródeł - K. Osińska–Skotak, J. Zaczek–Peplińska (PW), M. Krówczyńska (UW), M. Kamieński (PIG), kartografii morza – A. Makar, K. Naus, D. Szulc (AMW Gdynia), geologii - S. F. Jucha, J. Kotlarczyk, W. Mastej (AGH). Sporo miejsca poświęcono klasyfikacjom: obiektowej - W. Hanik (Geosystems Polska), K. Zaremski (ZST UW), eksperckiej - J. Pluto–Kossakowska (PW), metodami sztucznej inteligencji - M. Krówczyńska, M. Sobczak (ZST UW). Modele potencjału geograficznego były tematem prezentacji P. Wernera (UW). Inne postery dotyczyły ogólnych zagadnień geoinformacji - A. Łaszczuk (AON), P. Wysocki (UWM). Trzy postery poświęcone były kartografii internetowej – mapy i plany miast - J. Górski i M. Leszczyńska (UWM) i E–język „tekst–grafika"- A. Tarnowski (UWM).

W środę rano prof. A. Ciołkosz poprowadził sesję *Fotogrametria bliskiego zasięgu* (PTFiT, KTŚ). Dwa pierwsze referaty przedstawiali pracownicy AGH: „Współczesne tendencje w zakresie kompresji zdjęć

lotniczych i obrazów teledetekcyjnych"- J. Jachimski, K. Pyka, S. Mikrut i „Stereoskopia przy interpretacji termogramów obiektów inżynierskich" – I. Grzesik, J. Grońska, A. Wróbel, A. Wróbel. Następne dwa wystąpienia przygotowali: prof. A. Bujakiewicz z zespołem: D. Zawieska, M. Kowalczyk na temat trójwymiarowego modelowania obiektu architektonicznego oraz D. Zawieska, P. Podlasiak z Instytutu Fotogrametrii i Kartografii PW na temat analizy czynników wpływających na dokładność pomiarów systemem mory projekcyjnej. Po ostatnim referacie „Kalibracja aparatu cyfrowego Kodak DC 4800 w procesie fotogrametrycznego pomiaru punktów w bliskim zasięgu" P. Sawickiego (UWM) prof. A. Ciołkosz podsumował 30 – letni dorobek w dziedzinie fotogrametrii. Było to pierwsze wystąpienie podsumowujące zagadnienia geoinformacyjne w czasie sympozjum.

Przed południem odbyły się jeszcze dwie sesje równoległe. Pierwszą, referatową *Zastosowania Systemów Informacji Geograficznej* prowadził S. Mularz. Pierwsze dwa wystąpienia dotyczyły oceny obszarów użytkowanej rolniczo - E. Bielecka (IGiK) i J. Kozak (PAU, UJ), następne dwa zastosowania narzędzi geoinformatycznych do oceny zawartości informacji na zdjęciach satelitarnych – St. Lewiński, Z. F. Poławski (IGiK), R. Selby (PCI Geomatics), S. Mikrut (AGH). Przedstawiono też bazy danych numerycznej mapy sozologicznej – K. Fagiewicz, L. Poniży (UAM). Ostatnim referatem tej sesji było wystąpienie A. Iwaniaka (AR Wrocław) na temat metodologii zarządzania projektami GIS - był to referat zbierający dotychczasowe doświadczenia w tej dziedzinie.

W drugiej sali prof. E. Krzywicka-Blum prowadziła sesję posterową: *Zastosowania Systemów Informacji Geograficznej i kartografia*. Tematem głównym była technologia GIS jako kompleksowe narzędzie w badaniach waloryzacyjnych środowiska przyrodniczego - B. Kuraś, M. Szubert (AP Kraków), K. Fagiewicz, L. Poniży (UAM), T. Nałęcz (PIG), R. Pajkert (UMWD), O. A. Slinkina, V. A. Bychkov, A. I. Sukhinin (V. N. Sukachev Institute of Forest, Sib. Br. RAS, Russia), P. Wężyk, M. Goś (AR Kraków), B. Zagajewski (ZST UW). Był także poster A. Machnik (AWF Poznań) przedstawiający nowe obszary stosowania GIS w badaniach nad hemerobią. Sesję zakończył P. Decewicz, przedstawiając działalność centrum doskonałości geoinformatyki i projektowania przestrzennego działające w ramach szóstego programu ramowego UE.

Następna sesja poświęcona była atlasom elektronicznym (PTiP, SKP). Prowadził ją M. Baranowski. Przedstawiono na niej kartograficzne i techniczne aspekty funkcjonowania atlasów elektronicznych - M. Okonek (Map 1), interaktywne mapy w internecie - P. Madej (IMGW Kraków). Konkretne rozwiązania przedstawiono, podając jako przykłady Elektroniczny Atlas Środowiska Polski - M. Andrzejewska, M. Baranowski (GRID), AutoMapę - W. Hanik (Geosystems Polska) i Atlas Kanady - E. Siekierska (NRCan).

Ostatnim spotkaniem uczestników była sesja podsumowująca. Zgłoszono wiele wniosków w sprawie organizacji sympozjum za dwa lata. Będzie ono zorganizowane przez Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej. Wnioski z sympozjum dotyczyły zwiększenia czasu na dyskusję po każdej sesji tematycznej. Były też głosy na temat wydłużenia czasu na referaty przekrojowe w sesjach plenarnych. Z drugiej strony chwalono formułę równoległych sesji posterowych, umożliwiającą młodym przedstawicielom środowisk naukowych prezentację swoich prac. Dają one też możliwość zaprezentowania praktycznych zastosowań geoinformacji w wielu instytucjach i przedsiębiorstwach.

Druga część sesji poświęcona była zmianom w dydaktyce przedmiotów związanych z geoinformacją. Przedstawiciele uczelni przedstawiali przedmioty oraz rodzaje wykorzystywanego oprogramowania. Przygotowane wystąpienia zaprezentowali: Z. Zwoliński (UAM) - „Geoinformacja - studia uniwersyteckie", J. Woźniak, P. Zając (PWr) — „Kształcenie GIS na Politechnice Wrocławskiej" oraz A. Iwaniak – „Podyplomowe studium GIS na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej we Wrocławiu".

Ogółem na sesjach audiowizualnych i posterowych zaprezentowano 87 referatów poruszających bardzo duży zakres tematyki geoinformatycznej, szczególnie geoinformatyki obrazowej. Skróty referatów, a także prezentacje multimedialne referatów i posterów, oraz komunikaty wydane zostały na CD zaraz po zakończeniu sympozjum. Pełny tekst większości referatów, po uzyskaniu pozytywnych recenzji wydawniczych, przekazany został do druku w czasopiśmie Geoinformatica Polonica wydawanym przez PAU lub w interdyscyplinarnym wydawnictwie ciągłym Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji.

Kolejne sympozjum z tej interdyscyplinarnej serii będzie zorganizowane w 2005 roku przez Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej w Warszawie.

Joanna BAC-BRONOWICZ
Józef JACHIMSKI