

**PIOTR WERNER**

# Wprowadzenie do systemów geoinformacyjnych

**PIOTR WERNER** Wprowadzenie do systemów geoinformacyjnych



**WARSZAWA**  
2004



UNIwersytet warszawski  
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych

**Piotr Werner**

# **Wprowadzenie do systemów geoinformacyjnych**

Wydanie drugie  
poszerzone i uaktualnione

Warszawa 2004

© Piotr Werner, 1992-2004

Recenzent naukowy: dr hab. Artur Magnuszewski

Redakcja i korekta: Jerzy Biernacki

Projekt okładki: Radosław Kieryłowicz

Łamanie: Jark sp. z o.o.

ISBN: 83-921504-0-6

Wydanie II

Druk i oprawa:

Nakład: 1000 egz.

# Spis treści

Przedmowa	7
Wstęp do wydania II	9
Rozdział I Pojęcie i historia GIS	11
Rozdział II Sprzęt i komunikacja z użytkownikiem	25
Rozdział III Bazy danych w systemach geoinformacji	35
Zarządzanie bazą danych atrybutów	45
Tworzenie bazy danych przestrzennych	47
Format wektorowy zapisu danych	48
Format rastrowy zapisu danych	53
Rozdział IV Funkcjonalność systemów geoinformacji	67
Przetwarzanie i analiza danych w systemach geoinformacyjnych	67
Przetwarzanie i analiza danych zapisanych formatem rastrowym.	94
Przetwarzanie i analiza danych zapisanych formatem wektorowym	100
Rozdział V Modelowanie i analiza rzeźby terenu	103
Rozdział VI Web GIS.	117
Rozdział VII. Rynek systemów geoinformacyjnych	123
Rozdział VIII Standardy danych przestrzennych	131
Rozdział IX Geoinformacja – narzędzie czy nauka?	137
Aneks Zestawienie cech funkcjonalnych oprogramowanie wybranych pakietów GIS	141
Spis akronimów	183
Wybrane publikacje	187
Spis rysunków	193
Spis tabel	195
Indeks rzeczowy	197



# Przedmowa

Oprogramowanie geoinformacyjne (GIS) należy do najszybciej rozwijających się dziedzin informatyki. Powstał nawet termin geoinformatyka, który obejmuje problematykę przetwarzania danych przestrzennych. Dane takie pozwalają opisywać złożoność środowiska geograficznego za pomocą atrybutów odniesionych do pewnego układu współrzędnych geograficznych. Metody analizy danych przestrzennych wywodzą się głównie z nauk o Ziemi, a więc obejmują takie zagadnienia jak pozyskiwanie informacji o środowisku, klasyfikacja, generalizacja, interpolacja, modelowanie, redakcja map. Z drugiej strony przetwarzanie ogromnych zbiorów danych przestrzennych wymaga odpowiednich metod informatycznych niezbędnych do tworzenia baz danych, a także ich przeszukiwania i analizowania. Duże są także wymagania co do grafiki komputerowej, bo dane przestrzenne to przecież szczegółowe mapy, obrazy satelitarne i zdjęcia lotnicze.

Możliwości, jakie dają systemy geoinformacyjne zostały szybko dostrzeżone w wielu dziedzinach nauki jak i w sferze praktycznej. Dzisiaj posługują się nimi urzędy administracji (geodezja, ochrona środowiska, planowanie przestrzenne), a także takie służby jak policja, wojsko, straż pożarna. Rośnie zapotrzebowanie na specjalistów, którzy znają obsługę programów GIS, ale co ważniejsze rozumieją specyfikę przetwarzania danych przestrzennych.

Książka „Wprowadzenie do systemów geoinformacyjnych” jest podręcznikiem, który nie tylko opisuje istniejący poziom rozwoju systemów geoinformacyjnych, ale także pokazuje nowe możliwości ewolucji tego typu oprogramowania. W pierwszych rozdziałach przedstawiono podstawowe zagadnienia dotyczące sprzętu komputerowego, a także sposobów pozyskiwania i przetwarzania danych. Sporo miejsca poświęcono rozwojowi baz danych, które stanowią podstawowy składnik systemów geoinformacyjnych. Nowe możliwości w rozwoju GIS stwarza sieć internetowa, a także dynamiczny postęp w trójwymiarowej grafice komputerowej. Interesujący jest rozdział o rynkowych uwarunkowaniach rozwoju GIS, a także rozważania o pozycji geoinformatyki na tle innych nauk o Ziemi. Cennym uzupełnieniem książki jest porównanie cech funkcjonalnych najczęściej stosowanych programów GIS.

Autor umiejętnie połączył zagadnienia czysto informatyczne z wiedzą z dziedziny geografii i gospodarki przestrzennej. Książka zainteresuje studentów wydziałów przyrodniczych, ale także specjalistów zajmujących się szeroko rozumianym zarządzaniem z wykorzystaniem danych przestrzennych.

*Artur Magnuszewski*





# Wstęp do drugiego wydania

**G**dy w 1991 roku przygotowywałem tekst do pierwszego wydania książki, spodziewałem się, że będę obserwatorem i (być może w pewnym stopniu) uczestnikiem zmian w badaniach geograficznych związanych z wprowadzeniem techniki komputerowej. W ciągu ostatnich lat dokonała się rewolucja (geo)informacyjna (zdaniem niektórych tylko jej pierwsza faza), ogarniająca coraz szersze sfery życia społecznego. Oprogramowanie geograficzne także uległo zmianom. Systemy informacji geograficznej, geomatyka (geomatique), geoinformacja, GISc (Geographic Information Science), geoinformatyka, Business GIS, Business Geographic, WebGIS, online mapping Web tools, bazy danych geograficznych (geo-referenced data bases), geoprzedstawienia, to tylko niektóre pojęcia związane z opisywanymi przemianami. Z drugiej strony zachowana jednak została tożsamość programów spełniających rolę przechowywania, przetwarzania, porządkowania, udostępniania i wizualizacji danych geograficznych. W coraz szerszym zakresie stają się one ważną częścią innych technologii informacyjnych i programów komputerowych.

Dosłowne tłumaczenie z języka angielskiego pojęcia „Geographic Information System” – system informacji geograficznej – zostało zaakceptowane w Polsce i jest rozumiane jako termin opisujący nie tylko oprogramowanie geograficzne, ale także działania w gospodarce związane z użytkowaniem i udostępnianiem za pomocą techniki komputerowej map i innych geokodowanych informacji. Wzrost liczby zastosowań systemów GIS, rozwój podstaw teoretycznych i próby zdefiniowania nowej dziedziny – geoinformatyki (geomatyki), spowodowały, że zdecydowałem się zachować pierwotny tytuł, w przekonaniu, że opisuje w języku polskim rzeczywistą funkcjonalność GIS (SIG), traktując równoznacznie terminy: geograficzne systemy informacyjne, systemy informacji geograficznej i systemy geoinformacyjne, zwłaszcza że pojęcie „system informacyjny” ma w informatyce ugruntowaną pozycję.

Doceniając także znaczenie internetu, część tekstu poświęciłem koegzystencji i wzajemnemu wpływowi techniki internetowej i oprogramowania GIS.

*Piotr Werner,  
Utrecht-Warszawa, 1991-2003*



## Rozdział I

# Pojęcie i historia GIS

**P**ojęcie „system informacyjny” (ang. IS – information system) jest używane bardzo często łącznie z innymi terminami, takimi jak bazy danych lub przetwarzania informacji (bank informacji, hurtownia danych). Wykorzystuje technikę komputerową, a obecnie także sieci teleinformatyczne. Wiąże się z wprowadzaniem, magazynowaniem, przetwarzaniem i udostępnianiem danych. W ten sposób system jest procesorem nadającym pewną wartość i kreującym nową jakościowo informację oraz metainformację<sup>1</sup>. Systemy informacyjne służą, między innymi, wspomaganie podejmowania decyzji, dokonywania wyboru odpowiedniego działania, a więc zarządzaniu. Właściwa decyzja musi być skuteczna i ekonomiczna, a to zależy od znajomości sytuacji, informacji dostarczonej w odpowiednim czasie i w odpowiednim miejscu. Przestrzenna informacja tematyczna, zlokalizowana geograficznie (w dowolnym układzie współrzędnych geograficznych), nazywana jest obecnie geoinformacją.

System informacyjny składa się z komponentów:

1. organizujących i porządkujących kolejne etapy pracy z samym systemem,
2. wprowadzania i przekształcania informacji w dane cyfrowe (informację uporządkowaną wg reguł systemu),
3. zarządzania i uporządkowanego przechowywania danych,
4. udostępniania danych w postaci informacji czytelnej dla potencjalnego użytkownika.

System geoinformacyjny (GIS) jest narzędziem zbierania, przechowywania, analizy, przetwarzania i wizualizacji danych związanych z określoną lokalizacją w środowisku geograficznym. Równocześnie jednak różne systemy mogą realizować ten sam cel w odmienny sposób.

Rozwój techniki komputerowej i związana z nią rewolucja (geo)informacyjna w latach 80. i 90. XX wieku dały początek gwałtownemu rozwojowi technologii zarządzania geoinformacją. Ale wcześniej, już w latach 50., podjęto pierwsze próby zautomatyzowania procesu tworzenia map, wykorzystując ówczesnie dostępne techniki EMC<sup>2</sup>: karty perforowane, tabulatory i drukarki wierszowe. Ce-

<sup>1</sup> metainformacja – informacja o strukturze, lokalizacji i prawach dostępu do właściwej informacji; niekiedy wolumen metainformacji może w znaczny sposób przekraczać wielkość właściwej informacji.

<sup>2</sup> EMC – elektroniczne maszyny cyfrowe

lem było zebranie, uporządkowanie i opracowanie danych do map tematycznych (np. brytyjski atlas flory) lub próby wizualizacji za pomocą drukarek wierszowych (np. w meteorologii – w USA). Na początku lat 70. w podobny sposób próbowano w Polsce zobrazować dane na podstawie spisu powszechnego<sup>3</sup>. W tym czasie w znanej amerykańskiej uczelni MIT (Massachusetts Institute of Technology) opracowano technikę kreślenia komputerowego (scientific plotting), a w Wielkiej Brytanii skonstruowano pierwszy digitizer (urządzenie do precyzyjnego pomiaru współrzędnych kartezjańskich w zapisie cyfrowym).

Prototypy systemów operujących informacją geograficzną (nazwane później GIS) były rozwijane w celach militarnych, przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych Ameryki Pn. Główny kierunek rozwoju polegał na zautomatyzowaniu tradycyjnych, manualnych metod tworzenia map za pomocą techniki komputerowej. Rozpoczął się rozwój tzw. kartografii automatowej. Później ten etap rozwoju systemów geoinformacyjnych określono jako fazę innowacyjną. Faza innowacyjna rozwoju systemów GIS zbiegła się w czasie z intensywnym zastosowaniem metod matematyki i statystyki w geografii, określonym później mianem rewolucji ilościowej w geografii.

Jednym z pierwszych systemów /GIS/ był SYMAP (Synagraphic Mapping System) autorstwa Howarda Fishera<sup>4</sup> (1963), przeznaczony do przetwarzania, analizy i wizualizacji informacji przestrzennych w postaci map tematycznych. Przez następne lata stał się wzorcem dla kolejnych generacji programów GIS, służąc zastosowaniom cywilnym, m.in. MAP/MODEL – dla celów planowania, analiz przestrzennych i kartografii automatowej (Columbia Regional Association of Governments, 1965). W tym okresie w Amerykańskim Biurze Statystycznym opracowano, stosowany także współcześnie, format zapisu danych geograficznych GBF-DIME (geographic boundary file – dual independent map encoding, G. Farnsworth, 1967), stosowany w systemach TIGER i GIRAS. Z Laboratorium Grafiki Komputerowej Uniwersytetu Harvarda wywodzi się większość pionierów rozwoju oprogramowania GIS w USA: David Sinton (twórca firmy Intergraph), Jack Dangermond (założyciel ESRI i twórca ARC/Info), Lawrie Jordan i Bruce Rado (twórcy programu ERDAS). Pierwsze zastosowania ich programów dotyczyły zagadnień analizy przestrzennej urbanizacji i planowania regionalnego oraz architektury krajobrazu, ze szczególnym uwzględnieniem projektowania i symulacji komputerowych. Prace teoretyczne w dziedzinie systemów geoinformacyjnych dotyczyły przede wszystkim metod prezentacji rzeźby terenu, geografii ekonomicznej i społecznej oraz teorii ośrodków centralnych.

<sup>3</sup> Katedra Kartografii Wydz. Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego

<sup>4</sup> organizator Harvard Laboratory of Computer Graphics w 1965 roku, Harvard University

Pojęcie GIS (systemu informacji geograficznej) powstało pod koniec lat 60. Rząd kanadyjski w celu bardziej efektywnego zarządzania zasobami naturalnymi sfinansował program opracowania Kanadyjskiego Systemu Informacji Geograficznej (The Canadian Geographic Information System, CGIS, R. Tomlinson, 1967), pierwszego kompleksowego systemu informacji przestrzennej o zasięgu ogólnokrajowym. System pełną zdolność operacyjną osiągnął w 1971 roku po skompletowaniu dostatecznej ilości danych. Okres ten uznaje się za fazę pionierską rozwoju systemów informacji geograficznej.

Równolegle trwały badania nad zastosowaniem metod numerycznych i wykorzystaniem techniki komputerowej w bardzo wielu dziedzinach; m.in. w zakresie kartografii automatowej (wspomaganie komputerowe kartowania), geodezji, przetwarzania obrazów uzyskanych za pomocą technik teledetekcji, planowania urbanizacji, sieci transportowej, komunikacyjnej czy wykorzystania zasobów naturalnych. GIS jest między innymi efektem rewolucji ilościowej w geografii dokonującej się w ciągu ostatnich kilkunastu lat, jak również oczywiście wynikiem gwałtownego rozwoju informatyki i metod zarządzania bazami danych. Każda z dziedzin wykorzystujących dane o lokalizacji i cechach obiektów i zjawisk na powierzchni Ziemi wytworzyła pewne narzędzia analogiczne do funkcji GIS. Rozwój technologii wspomagania komputerowego projektowania (CAD) w latach 70. XX wieku, techniki komputerowej, wykorzystanie zdjęć satelitarnych przyspieszyły rozwój oprogramowania GIS. Połączono bazy danych zawierające graficzne opisy obiektów z opisem tekstowym i numerycznym, uzyskując dzięki temu nowe możliwości analityczne. Rozwijały się koncepcje analizy i statystyki danych przestrzennych i modelowania kartograficznego za pomocą narzędzi oprogramowania komputerowego.

Już wtedy, na wczesnym etapie rozwoju GIS, przejawiały się pewne charakterystyczne cechy, które później uznano za normy rozwoju wszystkich technologii informacyjnych. Wiele niezależnych, różnych inicjatyw w zakresie rozwoju technologii GIS pojawiało się równocześnie lub w bardzo krótkich odstępach czasu w różnych miejscach, często ignorując się wzajemnie i nie odnosząc się do siebie. Wczesny rozwój GIS był finansowany z funduszy państwowych i regionalnych. Zjawisko to zdiagnozował wiele lat później M. Castells w odniesieniu do całej gospodarki informacyjnej i powstających w jej obrębie technologii informatycznych. Po pierwsze – początkowy rozwój GIS odbywał się „w bezpiecznym środowisku finansowanym z funduszy publicznych i stworzonym przez uczonych prowadzących badania z poczuciem misji – środowisku, które nie tłumilo wolności myślenia i inwencji badaczy. Prywatny biznes nie mógłby sobie pozwolić na podjęcie tak śmiałego przedsięwzięcia, które przyniosłoby zyski z (...) dużym opóźnieniem”. Po drugie – użytkownicy technologii są także ich najważniejszymi producentami. Po trzecie – współczesna rynkowa gospodarka informacyjna cechuje się zasadą „zwycięzca bierze wszystko”. Ta zasada ujawniła się w rozwoju GIS dopiero w latach 80. – gdy oprogramo-

wanie systemów informacji geograficznej stało się towarem rynkowym – „opracowanie innowacji powoduje, że rozwój technologii podąża ścieżką wytyczoną przez tę innowację, co daje zdecydowaną przewagę jej odkrywcom i pierwszym użytkownikom” (Castells, 2003).

Faza instytucjonalnego rozwoju GIS w latach 1970-1985 (Tomlinson, 1987) stymulowana była dodatkowo przez wzrost zainteresowania ochroną środowiska i rozwój technik kosmicznych (w 1972 roku umieszczono na orbicie satelitę Landsat-1), umożliwiających pozyskiwanie obrazów satelitarnych, a więc danych przestrzennych dla systemów informacji geograficznej. W USA pojawiły się wtedy pierwsze prywatne firmy oferujące oprogramowanie GIS: ESRI<sup>5</sup> (ArcInfo), Intergraph.

W połowie lat 80. ukształtowały się pewne standardy pośród istniejących pakietów GIS. Można było wyróżnić kilka odmiennych grup (Cowen, 1986):

- systemy realizujące przetwarzanie informacji geograficznej (process oriented approach) – złożone ze zintegrowanych w jedną całość procedur, realizujących zadania systemu;
- systemy wyspecjalizowane, stosowane w określonych dziedzinach (application oriented approach – np. systemy monitorujące zmiany pogody);
- systemy o charakterze uniwersalnym (toolbox systems), składające się z luźno związanych, współpracujących ze sobą procedur, realizujących jednak odmienne zadania;
- systemy współpracujące z bazą danych (database oriented approach), zakładające, że realizacja wszelkich zadań wiąże się ze współpracą z wewnętrzną lub zewnętrzną względem GIS bazą danych.

Podział nie był rozłączny i niektóre systemy geoinformacyjne mogły realizować swoje funkcje w sposób wspólny dla kilku wyżej opisanych grup.

Następnym czynnikiem stymulującym rozwój GIS jest, trwający do chwili obecnej, gwałtowny rozwój sprzętu komputerowego (hardware). Postęp technologiczny dotyczył wzrostu mocy i szybkości procesorów (CPU, zgodnie z prawem Moore’a), szybkości i pojemności dysków – pamięci trwałych, konstrukcji kolorowych, graficznych, monitorów (CRT i LCD), wprowadzenia techniki przetwarzania rozproszonego i sieci komputerowych oraz doskonalenia urządzeń wejścia-wyjścia i peryferyjnych (digitizery, skanery, kolorowe plotery i drukarki – atramentowe i laserowe). Obecnie także przetwarzania mobilnego (mobile computing) i sieci bezprzewodowych (WI-FI). Po II wojnie światowej technika po raz kolejny wyprzedziła naukę w sposób, który wcześniej nie miał miejsca w tradycyjnych badaniach naukowych (Clarke, 1998).

W efekcie w każdej z dziedzin operujących geoinformacją powstawały odmiennie technologie związane z przetwarzaniem informacji geograficznej i zintegrowany zbiór narzędzi, których wykorzystanie pozwalało na realizację funk-

<sup>5</sup> ESRI – Environmental Systems Research Institute – Instytut Badań Systemów Środowiska

cji informacyjnych w obrębie danej dziedziny. Było to związane z różnym postrzeganiem istoty systemów geoinformacyjnych i wynikało z przyjmowania różnych definicji GIS określających ich funkcjonalność.

Przez niektórych badaczy (i równocześnie użytkowników) GIS był przede wszystkim postrzegany jako specjalny przypadek systemów informacyjnych, gdzie baza danych zawiera atrybuty obiektów rozmieszczonych w przestrzeni. Obiektami w bazie danych są: obiekty materialne, działania lub zdarzenia, które można zdefiniować w przestrzeni jako punkty, linie lub powierzchnie, a manipulacje w GIS tymi danymi pozwalają uzyskiwać informacje ad hoc i analizować te dane (Deuker, 1979). Miał być formą systemu zarządzania danymi MIS (Management Information System) pozwalającym na wyświetlanie map (Devine, Field, 1986) lub szerzej techniką, która umożliwia przechowywanie, analizę i prezentację zarówno danych przestrzennych jak i nieprzestrzennych (Parker, 1988). Te definicje zakładały rozwój współczesnych systemów geoinformacyjnych jako części szerszej dziedziny informatyki, przy czym czerpanoby z metodologii nauk o Ziemi.

Inni autorzy dostrzegali przede wszystkim fakt, że GIS jest specyficznym systemem bazy danych, zawierającym część informacji o współrzędnych lokalizujących obiekty przestrzennie; na nich wykonywane są procedury w celu uzyskania dostępu do informacji o całościach przestrzennych w bazie (Smith, 1987); podkreślali równocześnie jego związki z dziedziną systemów informacyjnych jak i odrębność wynikającą z wbudowanych specyficznych możliwości przetwarzania zlokalizowanych przestrzennie danych, a także (zbioru) operacji pozwalających na ich analizę (Star, Estes, 1990).

Najczęściej jednak postrzegano GIS funkcjonalnie – jako zbiór narzędzi techniki komputerowej: zautomatyzowany zbiór funkcji umożliwiający profesjonalistom zaawansowane możliwości przechowywania, wywoływania, manipulacji i wyświetlania danych zlokalizowanych geograficznie (Ozemoy, Smith, Sicherman, 1981), podkreślając dodatkowo możliwości ich transformacji (Burrough, 1986), sprawdzania i analizy (Doe, 1987), fakt wykorzystania techniki komputerowej (Aronoff, 1989), integrację procedur (Gaile, Willmott, 1989, Clarke 1990).

„GIS to równocześnie teleskop, mikroskop, komputer i kserokopiarka służąca analizom regionalnym i syntezie danych przestrzennych” (Abler, 1988). A więc ma być narzędziem służącym równocześnie badaniom przestrzennym (geograficznym) w mikro-, mezo- i makroskali, dając także możliwości geomodelowania (Koshkariov, Tikunov, Trofimov, 1989).

Zdefiniowanie systemów informacji geograficznej zbiegło się w czasie z ekspansją tej technologii na rynek komercyjny. Niebagatelną rolę odegrał także znaczny postęp mocy przetwarzania komputerów osobistych (PC) i wprowadzenie systemów operacyjnych wyposażonych w graficzne interfejsy użytkownika (GUI – MS Windows, XWindows). Rozpoczęła się faza komercyjnego rozwoju GIS.

Przydatność oprogramowania geograficznego dostrzegano w zastosowaniach, w których pełni ono rolę systemu wspomagania decyzji, obejmując zintegrowane dane, zlokalizowane przestrzennie (Cowen, 1988). Podkreślano aspekt organizacyjny, polegający na tym, że jest to całość instytucjonalna, odzwierciedlająca strukturę organizacyjną, która integruje technologię z bazą danych, ekspertyzę oraz ciągłe finansowe wsparcie (Carter, 1989). Przeznaczeniem GIS jest rozwiązywanie złożonych problemów z zakresu planowania, zarządzania i (geo)modelowanie (Cowen, NCGiA, 1989). Praktycy uważają, że za element geograficznego systemu informacji można uznać także personel operacyjny i dane nadchodzące do systemu (za USGS<sup>6</sup>).

Stąd różnorodność i wielość terminów określających systemy przetwarzające informacje geograficzne:

- geobase information system (system informacyjny bazy danych geograficznych)
- geo-data system (system danych geograficznych)
- spatial information system (system informacji przestrzennej)
- geographical data system (geograficzny system danych)
- land information system (system informacyjny użytkowania ziemi)
- natural resource information system (system informacyjny zasobów naturalnych)
- multipurpose cadastral information system (wielozadaniowy katastralny system informacyjny)
- multipurpose land information system (wielozadaniowy system informacyjny użytkowania ziemi)
- image based information system
- market analysis information system (system informacyjny analizy rynku)
- spatial decision support system (przestrzenny system wspomagania podejmowania decyzji)
- urban information system (system informacji o mieście)

Każde z tych określeń przybliża w pewien sposób funkcje, niekiedy zupełnie różne, realizowane przez poszczególne systemy. Jednak ponieważ punktem wyjścia w każdym przypadku jest informacja związana ze środowiskiem geograficznym, a także ze względu na pierwowzór nazwy (Geographic Information System – GIS) w dalszych rozważaniach pojęcie system geoinformacyjny używane będzie jako deskryptor opisujący ogólnie funkcje systemów operujących informacją geograficzną.

Niezależnie jednak od różnorodności celów i terminów istnieje we wszystkich systemach szereg analogicznych funkcji, procedur i algorytmów operujących metodami np. oceny odległości, porównywania współwystępowania obiektów geograficznych, przedstawiania ich rozmieszczenia itp. To zorientowanie na

<sup>6</sup> United States Geological Survey



przetwarzanie danych związanych z lokalizacją jest nieodłącznym elementem każdego systemu geoinformacyjnego. Niekiedy mówi się o przestrzennych bazach danych (spatial databases – Oracle). Potocznie używa się pojęcia mapy komputerowej (numerycznej, cyfrowej), ale w operacyjnych definicjach systemów GIS raczej używa się sformułowania: wizualizacja (obrazowanie, ang. display) danych geograficznych i dotyczy to nie tylko map na ekranie monitora komputerowego lub ich wydruków, ale również zdjęć lotniczych lub obrazów satelitarnych z nałożoną symboliką kartograficzną map i wmontowanymi zmniejszonymi zdjęciami fotograficznymi powierzchni ziemi (ortofotomapy) lub wykresami graficznymi obrazującymi zjawiska nieuchwytnie dla aparatury teledetekcyjnej (ekonomiczne, społeczne, itp.).

W systemach geoinformacyjnych dostrzega się aspekt organizacyjny (instytucjonalny). Jest to punkt widzenia pozwalający na oddzielenie samej technologii i oprogramowania od danych i od organizacji sposobu udostępniania informacji. Można wyraźnie rozróżnić fakt istnienia oprogramowania w zakresie baz danych i oprogramowania geograficznego oraz uruchomione i działające systemy (baz danych) geoinformacji. W gospodarce cyfrowej ocenia się, że łańcuch wartości dodanej przesuwa się w kierunku systemów dystrybucji informacji kosztem wartości samej informacji (Castells, 2003). Ważny jest zarówno sposób organizacji (łatwość) udostępniania, operowania i wizualizacji oraz metainformacja jak i sama geoinformacja. W ten sposób oprogramowanie komputerowe stanowi jedynie potencjalne narzędzie lub zbiór narzędzi do tworzenia systemów geoinformacyjnych jako zintegrowanych systemów złożonych z jednego lub wielu współdziałających razem programów komputerowych, zorganizowanych w taki sposób, aby umożliwić użytkownikom ciągły dostęp i przetwarzanie informacji (obecnie często w sieci teleinformatycznej), służąc jasno zdefiniowanym celom.

Z drugiej strony sposoby i metody przetwarzania danych o samych obiektach geograficznych i cele systemów znacznie się różnią. Na początku lat 90. w holenderskim Ośrodku Ekspertyzy GIS (NeXpri) w Utrechcie wyróżniono 12 dziedzin, zbieżnych z systemami GIS:

1. **GIS/AM** – automated mapping – wspomaga prace kartograficzne; jest narzędziem kartografii automatowej.
2. **GIS/CAD** – computer aided design – wspomaganie komputerowe projektowania w takich dziedzinach jak urbanistyka lub kształtowanie krajobrazu. Systemy zwane SCAD (spatial CAD) zawierają i przetwarzają dane w geograficznych układach odniesienia, wykorzystując różnorodne techniki edycji, wizualizacji i prezentacji. Z reguły zawierają także subsystemy AM.
3. **GIS/DOC** – document processing – systemy umożliwiające przetwarzanie informacji z dokumentów źródłowych (map, zdjęć, obrazów satelitarnych, plików danych), jak również ankiet statystycznych lub dokumentów geodezyjnych.

4. **GIS/DSS** – decision support systems – systemy wspomagające podejmowanie decyzji. GIS od początku jest narzędziem badań i polityki zorientowanej na monitorowanie, analizę, symulację i planowanie (Harts J.J., Henk F.L., Henk J.S., 1990).
5. **GIS/EXP** – expert systems – systemy diagnostyczne, wyspecjalizowane, sumujące i wykorzystujące niemal pełną wiedzę oraz podsuwające możliwe warianty rozwiązań w zakresie określonej (ale wąskiej) dziedziny.
6. **GIS/FM** – facility management – systemy wspomagające zarządzanie i planowanie w zakresie szeroko rozumianej infrastruktury i usług publicznych.
7. **GIS/IMAGE** – earth image processing – wyspecjalizowane systemy przetwarzające dane o powierzchni Ziemi, przede wszystkim związane z analizą obrazów uzyskanych za pomocą technik zdalnej rejestracji.
8. **GIS/LIS** – land information systems – są narzędziem działalności o charakterze prawno-administracyjnym (w Polsce upowszechnił się termin SIT – system informacji o terenie).
9. **GIS/MODEL** – spatial modelling – jest narzędziem szeroko rozumianej analizy i modelowania przestrzennego. Modelowanie cyfrowe może dotyczyć zarówno intensywności procesów (np. rozwoju sieci transportowej) jak i obiektów (np. rzutowania obrazu trójwymiarowego fragmentu terenu na ekran monitora).
10. **GIS/SA** – spatial analysis – analiza przestrzenna jest najściślej związana z metodami badawczymi stosowanymi w geografii.
11. **GIS/STAT** – geostatistics – systemy przetwarzające i obrazujące dane (geo)statystyczne.
12. **GIS/VISION** – animation systems – systemy wykorzystujące technikę animacji komputerowej do obrazowania danych geograficznych.

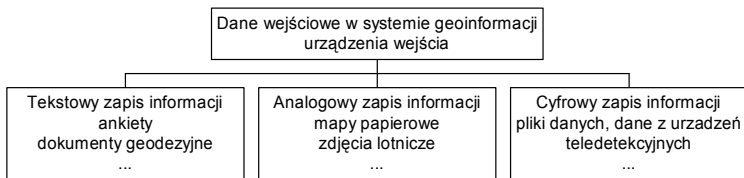
W praktyce większość systemów geoinformacyjnych realizuje jedynie kilka wybranych funkcji i zależy to przede wszystkim od celu, do jakiego dany system został skonstruowany. Ta różnorodność celów i funkcji powoduje, że systemy uniwersalne operują pojęciem „skrzynki z narzędziami” (toolbox) na określenie zbioru luźno ze sobą związanych procedur przetwarzających dane geograficzne. Istotnym składnikiem GIS jest cyfrowa geograficzna baza danych. Składa się ona z dwóch części zawierających dwa różne rodzaje danych: o lokalizacji (dane przestrzenne) oraz związane z cechami obiektów geograficznych (atrybuty nieprzestrzenne). Baza danych wyodrębniona jest przez to, że posiada własne, niezależne od systemu geoinformacyjnego, procedury. Może być usytuowana wewnątrz, tzn. dostęp do niej jest możliwy tylko poprzez system informacji geograficznej, lub na zewnątrz. Wtedy stanowi odrębny program komunikujący się jedynie z GIS. Często jednak stosowane są rozwiązania, w których dane o lokalizacji i identyfikacja obiektów przechowywane są przez bazę wewnętrzną, a pozostałe dane przez bazę zewnętrzną względem GIS, natomiast system geoinformacyjny zapewnia do nich dostęp.

## Moduły oprogramowania systemu geoinformacyjnego

System geoinformacyjny składa się z kilku grup programów (modułów) realizujących odrębne funkcje. Są to (Burrough, 1986):

- procedury wprowadzania i weryfikacji danych wejściowych,
- procedury zarządzania i przetwarzania w obrębie bazy danych,
- procedury przetwarzania i analizy geograficznej danych,
- procedury wyjściowe: prezentacji graficznej, kartograficznej i tekstowej danych,
- procedury porozumiewania się z użytkownikiem.

Danymi wejściowymi do systemu geoinformacji mogą być wszystkie informacje zebrane w dowolnej formie: mapy, zdjęcia fotograficzne, lotnicze, obrazy satelitarne, ankiety statystyczne, dokumenty z badań geodezyjnych, jak również wszelkiego rodzaju informacje w postaci zapisu cyfrowego (pliku danych).



Rys. 1. Dane wejściowe w systemach geoinformacji

Wprowadzanie danych w pracy z GIS jest jednym z najważniejszych etapów. Trzeba pamiętać, że błąd lub niedokładność informacji na wejściu jest zwielokrotniona w trakcie przetwarzania danych. Źródłem błędów lub niedokładności może być wykorzystanie nieaktualnych danych, zbyt mała gęstość obserwacji (np. terenowych), niekompletna informacja, wykorzystanie mapy w zbyt małej skali jako dokumentu źródłowego lub błąd związany z lokalizacją geograficzną. Trzeba także brać pod uwagę dokładność informacji wynikającą z wielokrotnego pomiaru naturalnego zróżnicowania zjawisk (np. pomiary temperatury powietrza) oraz możliwość pomyłki w trakcie samego wprowadzania danych przez użytkownika lub źle wyregulowane urządzenie wejścia. Zapis cyfrowy informacji w postaci pliku staje się częścią bazy danych: zbioru uporządkowanej w określony sposób informacji. Dostęp do niej zapewnia system zarządzania bazą danych (DBMS – database management system), realizujący także funkcje porządkujące w obrębie zbioru danych. Baza danych może być zorganizowana w różny sposób: relacyjnie, hierarchicznie, sieciowo lub zorientowana obiektowo.

Procedury przetwarzania i analizy geograficznej dokonują się na uporządkowanych danych wywołanych z bazy. Mogą być realizowane zarówno na atrybutach nieprzestrzennych jak i danych dotyczących lokalizacji, osobno lub w

odpowiednich zestawieniach. Duża część procedur jest wspólna dla większości systemów geoinformacyjnych (np. zmiana skali, odwzorowania kartograficznego, operacje logiczne, matematyczne – m.in. obliczanie pola powierzchni lub obwodu). Cyfrowa geograficzna baza danych o dwoistym charakterze i specyficzne algorytmy procedur oparte na rozwiązaniach metodologicznych geografii to główne wyróżniki GIS od innych systemów (oprogramowania).

Kluczowym zagadnieniem wykorzystania oprogramowania GIS pozostaje jakość i ilość danych. Początkowo uzyskiwano je z map papierowych (wektorowo w procesie digitalizacji lub w sieci pól podstawowych – raster). Zakładano, że reprezentacja (karto)graficzna danych pozwala zrozumieć obrazowane na mapach zjawiska. Współcześnie korzysta się z wielu rozproszonych źródeł danych, także z danych uzyskiwanych w czasie rzeczywistym, co ma istotny wpływ na dalszy rozwój oprogramowania GIS. Czy jednak rzeczywiście fakt, że można zobrazować o wiele więcej danych, pozwala uzyskać większą wiedzę o środowisku geograficznym?

W 1980 roku w laboratorium grafiki komputerowej Uniwersytetu Harvarda sformułowano dwa pytania i zbiór odpowiedzi pozwalających wyznaczyć rozwój GIS do chwili obecnej (a może i w przyszłości). Opierały się one na założeniu, że produktem pracy geografa jest mapa i ewentualnie komentarz do niej w postaci opisu słownego, tabeli statystycznej, formuły matematycznej itp.

Pierwszym pytaniem było:

Do czego służy mapa?

Odpowiedzi obejmowały m.in. (Marble, 1980):

- ◆ rozwiązywanie problemów geograficznych takich jak:
  - wybór najkrótszej drogi (po warunkiem, że...),
  - uzyskiwanie informacji (gdzie to jest, jak się nazywa),
  - przechowywanie informacji (mapa jest zbiorem zakodowanych informacji),
  - obliczenia azymutów i odległości,
- ◆ komunikowanie się (opis drogi, obszaru),
- ◆ orientowanie się (gdzie w danej chwili jesteście),
- ◆ percepcję zjawisk (np. zasięg obszaru zagrożenia),
- ◆ prezentację informacji (służącej np. przekonaniu kogoś).

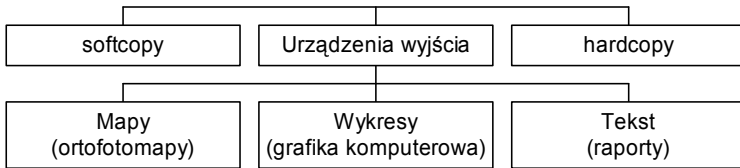
Te funkcje mapy realizują nieomal wszystkie systemy geoinformacyjne. Ponadto większość z nich realizuje jeszcze funkcje, które są odpowiedzią na następujące pytanie:

Do czego mapa (papierowa – dopisek autora) nie jest przydatna?

- do uzyskiwania odpowiedzi na pytania o informacje, które nie są bezpośrednio zakodowane na mapie (np. gdzie są mosty o określonej wytrzymałości?);
- do dostarczania obrazu szybko zmieniającej się sytuacji,
- do rozwiązywania problemów geograficznych obejmujących obliczenia wymagające uwzględnienia danych zmiennych w czasie (w oryginale: kiedy trzeba zatankować bombowce w powietrzu i gdzie one wtedy będą? Inspiracje militarne są oczywiste);

- do pokazywania zróżnicowanej w czasie informacji,
- do łączenia informacji z różnych źródeł.

Te wszystkie wyżej opisane odpowiedzi i jeszcze szereg innych pojawiają się w geograficznych systemach informacyjnych jako dane wyjściowe w jednej z dwóch postaci: softcopy – czyli mapy (lub ortofotomapy), wykresu (lub grafiki komputerowej), bądź tekstu wyświetlonego na ekranie monitora lub zapisanego w postaci pliku; oraz hardcopy czyli wydruku lub rysunku (trwałej kopii). Procedury prezentacji graficznej, kartograficznej i tekstów związane są przede wszystkim z urządzeniami wyjściowymi.



Rys. 2. Dane wyjściowe w systemie geoinformacji

Interakcji geograficznego systemu informacyjnego z użytkownikiem poświęcone będzie osobne omówienie.

## Informacja geograficzna – geoinformacja – geoinformatyka

Wykorzystanie oprogramowania GIS, na pograniczu geografii i informatyki, stworzyło potrzebę sformalizowania szeregu pojęć geograficznych, a następnie konieczność uściślenia metod wykorzystywanych w badaniach zjawisk przestrzennych. Wykorzystanie narzędzi oprogramowania komputerowego pozwala na uzyskanie innego punktu widzenia i być może odmiennego obrazu „faktów geograficznych”, organizacji przestrzennej, społeczeństwa. Dlatego też pojawiła się interpretacja pojęcia GIS jako nauki o informacji geograficznej (Geographic Information Science – GISc, M.F.Goodchild, 1997, geomatique – geomatyki). W Polsce używa się także pojęć geoinformacji i geoinformatyki<sup>7</sup>. W dalszej perspektywie rozwój systemów informacji geograficznej powinien czerpać z badań naukowych, jeżeli miałby stać się interdyscyplinarną dziedziną – nauką o informacji geograficznej.

Geoinformację postrzega się przede wszystkim jako informację przestrzenną, dotyczącą środowiska geograficznego – obiektów w otoczeniu człowieka. Dotyczy ona położenia oraz przestrzennych relacji i geometrycznych właściwości obiektów identyfikowanych w odniesieniu do Ziemi. Są to naturalne i sztucz-

<sup>7</sup> Komisja Geoinformatyki przy Polskiej Akademii Umiejętności; Stowarzyszenie Kartografów Polskich wykorzystuje pojęcie geoinformacji (por. Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacji, Wrocław, 2003).

ne (antropogeniczne), obiekty znajdujące się w granicach epigeosfery, jak również różnorodne zjawiska przyrodnicze, ekonomiczne i społeczne. Geoinformacja może przejawiać się jako informacja tekstowa (opisowa), wizualna (lub nawet dźwiękowa), powiązana z konkretnym miejscem w przestrzeni geograficznej – zawiera ona współrzędne położenia geograficznego lub dane umożliwiające precyzyjną lokalizację obiektu (także topologiczną – względem innych). Dane przestrzenne (geograficzne, geokodowane, dane georeferencyjne) dotyczą liczb i informacji związanych z wybraną cechą obiektu geograficznego.

Geoinformatyka to część informatyki, która wiąże się z przetwarzaniem geoinformacji. Wiąże się przede wszystkim z projektowaniem efektywnych algorytmów przetwarzania i struktur zapisu danych geokodowanych. Rozumiana w szerszym znaczeniu, jest dziedziną informatyki obejmującą także organizacyjną, sprzętową i programową obsługę systemów geoinformacyjnych, doradztwo, konsultację i szkolenie w zakresie GIS. W szczególności zaś geoinformatyka obejmuje tworzenie projektów geograficznych baz danych i map cyfrowych (numerycznych), produkcję map cyfrowych, implementację baz danych oraz wykonywanie specjalistycznych aplikacji dla systemów geoinformacyjnych.

W projekcie Varenius wyodrębniono szereg problemów – strategicznych obszarów dla dalszego rozwoju nauki o informacji geograficznej..

Są to przede wszystkim (NCGIA, M.F.Goodchild, 1997):

1. Modele poznawcze przestrzeni geograficznej – związane z percepcją przestrzeni przez człowieka. Wynikiem są pewne wspólne dla wszystkich ludzi zachowania w interakcji z przyrodą i w społeczeństwie. Istnieją także indywidualne różnice – wynikające między innymi np. z przygotowania zawodowego. Aby GIS stał się rzeczywiście uniwersalnym narzędziem – oprogramowanie geograficzne musi stać się na tyle przyjazne, aby pojawiało się w postaci dostępnej dla każdego użytkownika – realizując właśnie te wspólne dla wszystkich ludzi funkcje percepcji.
2. Zagadnienie konstrukcji algorytmów w programach komputerowych – odzwierciedlających pojęcia geograficzne: większość algorytmów realizujących funkcje systemów informacji geograficznej została skonstruowana przy założeniu, że z oprogramowania będzie korzystał użytkownik wykwalifikowany – informatyk, geodeta, kartograf, geograf – wymagający precyzyjnej lokalizacji, zdefiniowanych zasięgów geograficznych i pełnej informacji o analizowanych zjawiskach. Konieczne jest opracowanie takiej reprezentacji zjawisk geograficznych, aby była pojmowana intuicyjnie przez innych użytkowników, nie będących specjalistami.
3. Geografia społeczeństwa informacyjnego – rozwój technologii związanej z informacją geograficzną spowodował pojawienie się problematyki identyfikacji jej pozytywnych i negatywnych skutków dla poszczególnych osób, organizacji i firm oraz społeczeństwa. Pozytywnych – związanych z uzyskiwanymi korzyściami gospodarczymi, prawnymi, politycz-

nymi. Negatywnych (jeszcze nie do końca rozpoznanych), być może związanych z ochroną prywatności jednostki, koniecznością uporządkowania i dostępu do ogromnego wprost zbioru informacji i metainformacji. Geografia społeczeństwa informacyjnego wymaga stworzenia pewnych mierników związanych z jakością i adekwatnością informacji dla użytkownika, co wiąże się z właściwym rozpoznaniem oraz opisaniem procesów, które towarzyszą komunikacji i jej znaczeniu semantycznemu.

## GIS a polityka państwa w zakresie technologii informacyjnych

Obecnie najważniejszym użytkownikiem danych geoinformacyjnych są urzędy administracji państwowej i samorządowej. W dalszej kolejności są to organizacje ponadnarodowe działające w różnych dziedzinach społecznych, gospodarczych i kulturalnych. Równolegle wytworzyły się nisze rynkowe: komercyjna (handel, produkcja), edukacyjna (szkoły, uczelnie) oraz naukowa. Te segmenty rynku systemów geoinformacyjnych przeplatają się. Każdy z nich jest odbiorcą oprogramowania geograficznego, a równocześnie dostawcą: danych, map cyfrowych i (specyficznych) aplikacji, które same w sobie stanowią wartość dodaną.

Równocześnie wzrost gospodarczy i stan wiedzy naukowej społeczeństw zależy współcześnie od możliwości wykorzystania i połączenia dwóch technologii informacyjnych: zautomatyzowanej łączności i techniki komputerowej w celu przezwyciężenia bariery odległości między ludźmi, rozszerzenia naturalnego zakresu zmysłów ludzkich oraz dostarczenia możliwości przetwarzania informacji i pobudzenia potencjału intelektualnego ludzi. Funkcjonują one w ramach teleinformatyki<sup>8</sup>. Wysoko rozwinięte gospodarczo państwa formułują szereg zadań ułatwiających i stymulujących tę dziedzinę, składających się na politykę w zakresie technologii informacyjnych. Jednym z elementów polityki państw w obrębie teleinformatyki jest wykorzystanie systemów geoinformacyjnych w powiązaniu z dostępem do sieci internetu

Można zdefiniować kilka głównych wątków, wiążących się z rozwojem społeczeństwa opartego na wiedzy. W każdym z nich systemy geoinformacyjne odgrywają ważną rolę. Są to (4Cs, d'Haenes, Proulx, 2000):

- istnienie wirtualnych społeczności (w sieci) i ich relacje z rzeczywistością, geograficznie istniejącymi społecznościami (community);
- wytwarzanie i obrona powszechnego dostępu do elektronicznej, publicznej przestrzeni („cyberprzestrzeni”) jako dobra powszechnego (common);
- dynamiczne udostępnianie interaktywnej informacji (content),
- zwielokrotnienie (jakościowe i ilościowe) dróg dostępu do sieci, ale odpowiadające specyfice danych społeczności wirtualnych i geograficznych (carrier).

<sup>8</sup> W jęz. angielskim teleinformatykę opisuje pojęcie ICTs – information and communication technologies, technologie informacyjne i komunikacyjne





## Rozdział II

# Komputer i urządzenia zewnętrzne. Komunikacja z użytkownikiem

Nieodłączną częścią współczesnych systemów geoinformacyjnych jest sprzęt (ang. hardware). Obecnie najczęściej wykorzystuje się komputery osobiste (PC), połączone z różnymi urządzeniami zewnętrznymi (ang. peripheral devices). Dysponują one obecnie taką dużą mocą i szybkością przetwarzania danych, że zanikło już rozróżnienie pomiędzy komputerami osobistymi i stacjami roboczymi (ang. workstations), jakkolwiek wyróżnia się także wieloprocesorowe stacje robocze. Na przełomie stuleci (XX/XXI w.) pojawiły się natomiast przenośne urządzenia komputerowe umożliwiające przetwarzanie danych przestrzennych w terenie (ang. mobile computing<sup>1</sup>).

W niektórych przypadkach użytkownik będzie miał okazję pracować z terminalem, tzn. z komputerem włączonym jako jeden z wielu w sieć zarządzaną przez duży komputer (ang. mainframe). Z reguły są to systemy wielodostępne pracujące pod nadzorem (obecnie coraz częściej) systemu Linux lub odmian Windows NT (w przeszłości UNIX, VM/CMS). Główny komputer umożliwiał przetwarzanie większej liczby danych i szybciej, zapewniając równoczesny dostęp wielu użytkowników do geograficznej bazy danych i map cyfrowych. Stanowisko – terminal – może obejmować standardowy zestaw: multimedialny komputer (PC), niekiedy skaner ręczny lub inne urządzenia peryferyjne. Obecnie coraz częściej rolę głównego komputera pełni sieć internetowa, a terminalem jest zainstalowane na komputerze oprogramowanie przeglądarki WWW zawierające wirtualną maszynę języka skryptowego<sup>2</sup> (Java<sup>3</sup>).

Urządzeniami wejściowymi w GIS, oprócz standardowych: klawiatury, myszy, pióra świetlnego lub innego rodzaju manipulatora, mogą być digitizery (digitizer, digitizing tablet), skanery (scanners), a w przypadku komputerów ręcznych (osobne lub połączone z PDA) urządzenia GPS<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> PDA – personal digital assistant, hand-held computers

<sup>2</sup> Activex, Script Basic

<sup>3</sup> Java Virtual Machine

<sup>4</sup> GPS Global Positioning System, system nawigacji satelitarnej

Digitizer to urządzenie zamieniające pozycję ruchomego celownika na współrzędne na płaszczyźnie i wysyłające je do komputera. Wykorzystuje się je w celu przetworzenia mapy analogowej lub zdjęcia lotniczego na postać cyfrową. Rozwiązania konstrukcyjne digitizerów różnią się między sobą. Jedne mogą przesuwac celownik tylko w dwóch kierunkach, wzdłuż osi X i Y (arm type), inne w swojej konstrukcji podobne są do myszy (free cursor) i celownik może być przemieszczany swobodnie. Zasada działania opiera się na wykrywaniu zmian pola elektromagnetycznego, rejestracji pozycji celownika w stosunku do właściwego początku układu współrzędnych urządzenia (przez sygnał dźwiękowy, lub też konstrukcja digitizera zawiera urządzenie podobne do strun gitary – digitizery elektromagnetyczne, elektrostatyczne, elektroakustyczne). Z reguły wykorzystywane są digitizery ręczne (ręcznie przesuwany celownik).

Skaner to urządzenie zamieniające cały obraz analogowy (np. mapę) na jego zapis cyfrowy. W swojej konstrukcji ma wbudowane źródło światła (np. laser niskiej mocy). Odbite od dokumentu źródłowego światło jest rejestrowane (podobnie jak w kamerze TV). Detektor CCD<sup>5</sup> wbudowany w skaner dzieli obraz na bardzo małe pola (raster), kwantyfikując intensywność światła odbitego od nich. Efektem jest zbiór trójek liczb, z których dwie pierwsze określają pozycję pola, a trzecia intensywność odbicia. Ręczne skanery działają na podobnej zasadzie, obejmując jednorazowo obrazy mniejszego formatu. Wielkoformatowe skanery mogą być płaskie (ang. flatbed) lub bębnowe.

Termin skaner jest stosowany w teledetekcji także jako nazwa urządzeń rejestrujących różne zakresy promieniowania elektromagnetycznego, zapisujących jego natężenie. Taki obraz rastrowy można później wyświetlić jako spektrostrefowy, wykorzystując odpowiednio dobrane palety kolorów światła widzialnego.

Urządzenia wejścia powszechnie stosowane to obecnie także ręczne urządzenia GPS. Mogą to być samodzielne urządzenia (Trimble, Garmin), wyświetlające mapę na małym ekranie i rejestrujące (na żądanie użytkownika) w trybie ciągłym lub co pewien czas pozycję (współrzędne geograficzne) obserwatora. Mogą być przyłączone do komputera ręcznego (laptopa) i współpracują z oprogramowaniem GIS w terenie.

Zupełnie nowe (stosowane w geodezji) urządzenia to skanery 3D stosowane w fotogrametrii (3D laser scanning and photogrammetry). Są to skanery laserowe połączone z kamerą cyfrową, rejestrujące odległość, kierunek i lokalizację, i równocześnie obrazy badanych obiektów<sup>6</sup>.

Coraz częściej odbiorniki GPS i systemy laserowego pomiaru odległości wykorzystują technikę bezprzewodowej (radiowej) komunikacji w celu transferu danych oraz wprowadzania poprawki do współrzędnych geograficznych

<sup>5</sup> CCD Couple Charge Device – element światłoczuły, przetwarzający proporcjonalnie do natężenia światła promieniowanie padające na sygnał cyfrowy

<sup>6</sup> laser measurment systems

z naziemnych stacji korekcyjnych (DGPS – Differential Global Positioning System) lub z internetu.

Urządzenia wyjścia, oprócz pamięci zewnętrznych i monitorów, to przede wszystkim wielkoformatowe drukarki i plotery umożliwiające uzyskanie trwałych kopii (hardcopy).

Tradycyjny ploter pisakowy to urządzenie elektromechaniczne rysujące za pomocą kilku (6,8,12,24) pisaków. W zależności od typu plotera, rysunek jest uzyskiwany dzięki przemieszczaniu się pisaka, podczas gdy papier pozostaje nieruchomy (flatbed) lub też pisak przemieszcza się wzdłuż osi poziomej, a papier – pionowej (drum). Kolorowe plotery atramentowe (color ink-jet plotter) generują obraz przesuwając w osi X trzy dysze, z których każda zostawia na papierze ślad w postaci mikroskopijnej kropli atramentu jednego z podstawowych kolorów. Papier przesuwa się wzdłuż osi Y.

Spośród szerokiej gamy drukarek wykorzystuje się obecnie przede wszystkim drukarki laserowe i atramentowe. Drukarki laserowe produkują obrazy o znacznie wyższej jakości, w odcieniach szarości, jak również kolorowe (laser color printer). Urządzeniem wyjścia może być także Film Recorder (COM – computer output microfilm), gdzie niskiej mocy laser sterowany przez mikroprocesor od razu naświetla światłoczuły materiał.

Wszystkie urządzenia wejścia, wyjścia i przechowywania informacji komunikują się z komputerem za pomocą różnych portów: przewodowo lub bezprzewodowo. Mogą to być na przykład porty: szeregowy (COM#), równoległy (LPT#), USB, poprzez karty sieciowe lub drogą transmisji w podczerwieni, sieci bezprzewodowej (Wi-Fi).

Wszystkie urządzenia wejścia i wyjścia komunikują się z komputerem transmitując szereg sygnałów, z których każdy jest odpowiednikiem najmniejszej jednostki informacji, tj. bitu. Nie wnikając w sposób reprezentacji informacji w komputerze (zapis dwójkowy), można powiedzieć, że transmisja cyfry lub znaku alfabetu wymaga przesłania zbioru bitów (8 – tzn. bajtu). Bajty mogą być przesyłane jeden za drugim kolejno (szeregowo) lub w grupach po kilka jednocześnie (równoległe). Tym różnym sposobom transmisji odpowiadają wejścia, do których podłączone są do komputera urządzenia peryferyjne.

Sygnały wysyłane przez urządzenie peryferyjne obejmują zamknięty zbiór kombinacji liter, znaków i liczb. Tworzą one język komend urządzenia, powodując podjęcie określonego działania, np. w języku HPGL (Hewlett-Packard Graphics Language wykorzystywanym do sterowania ploterami) SP1 oznacza wybierz pisak nr 1 (select pen 1), PA 121,131 – rysuj linię do współrzędnych  $x=121$ ,  $y=131$  (plot absolute ...). Użytkownik nie musi znać komend języka graficznego; w pamięci komputera znajduje się zwykle specjalny plik (ang. driver), swoisty słownik, zawierający katalog wszystkich komend urządzenia. W ten sposób komunikacja między komputerem i urządzeniem peryferyjnym jest możliwa bez udziału człowieka. Niestety, róż-

ne urządzenia wykorzystują odmienne języki (zależy to od producenta urządzenia). Jeżeli na drodze między komputerem i urządzeniem peryferyjnym występują błędy, oznacza to, że „słownik” jest niekompletny lub źle ustalone zostały parametry transmisji.

Coraz częściej urządzenia w systemach geoinformacyjnych operują interfejsami bazującymi na dotyku (ang. pen-computers), dźwięku i gestach (także ruchu, przemieszczaniu się), a nie tylko na powszechnie używanych w graficznych interfejsach użytkownika: klawiaturze czy myszce. Ilość informacji pozyskiwana<sup>7</sup> za pomocą wbudowanych lub przyłączonych urządzeń peryferyjnych stale rośnie. Wymaga to coraz większej pojemności i szybkości pamięci masowych (dysków CDR, CDRW, DVD, pamięci taśmowych).

Sprzęt przeznaczony do współpracy z systemami geoinformacyjnymi obejmuje więc m.in.:

- wielkoformatowe (laserowe lub atramentowe) drukarki i plotery (Large Format Printers & Plotters),
- stacje robocze – komputery PC z oprogramowaniem GIS lub fotogrametrycznym – RS (PC/Workstation Technology, Photogrammetric Workstation),
- komputery przenośne połączone z urządzeniami GPS lub odbiorniki GPS wyposażone w oprogramowanie GIS (Hand-Held Devices for Personal Navigation),
- analogowe i cyfrowe kamery i sensory lotnicze i satelitarne (Analogue & Digital Airborne Cameras),
- urządzenia laserowe do pomiarów odległości (Laser Range Finders),
- digitizery, skanery i odbiorniki GPS (GPS/GIS Data Capture),
- cyfrowe instrumenty geodezyjne – dalmierze (Surveying Instruments),
- sprzęt i oprogramowanie do rejestracji, rozpoznawania i generowania mowy (Speech Recognition & Voice Output Technology),
- szybkie i pojemne pamięci masowe (Bulk Data Storage).

Jednym z najważniejszych elementów każdego programu (systemu) jest komunikacja z użytkownikiem (ang. user interface). Nawet najlepsze oprogramowanie może być bezużyteczne, jeżeli nie jest przyjacielskie (ang. user friendly). Użytkownik powinien właściwie nie tyle zdawać sobie sprawę, jak brzmią wszystkie komendy danego programu, ale dokładnie orientować się, na jakim etapie pracy się znajduje. W swojej najbardziej ogólnej postaci sprowadza się to do dokładnego zdefiniowania trzech elementów zadania:

- jakie dane początkowe (wejściowe) pozostają do dyspozycji,
- co należy zrobić z tymi danymi,
- jakie dane końcowe (wyjściowe) są potrzebne.

Pierwszą barierą, jaką napotyka użytkownik, jest zwykle system operacyjny (czyli zbiór programów zarządzających pracą komputera). Wprowadzie zna-

<sup>7</sup> W języku angielskim używa się terminu akwizycja danych (data acquisition)

jomość wszystkich szczegółów systemu operacyjnego nie jest konieczna, ale podstawową informacją jest, jak wywołać geograficzny system informacyjny i uruchomić go oraz jak ten program współpracuje z systemem operacyjnym. Funkcjonujące obecnie standardy graficznych interfejsów użytkownika (GUI – MS Windows, XWindows), ułatwiają posługiwanie się samym oprogramowaniem i jego aplikacjami.

Istnieją różne możliwości działania programu w obrębie systemu: interakcyjnie lub wsadowo (batch file), często w trybie graficznego interfejsu użytkownika (WIMP – windows, icon, mouse, pointing) lub za pomocą interpretera komend (wtedy gdy wykorzystywane są np. procedury utworzone za pomocą dołączonych do oprogramowania GIS języków skryptowych programowania). W tym ostatnim trybie dobrze zorganizowany system geoinformacyjny posiada specjalny podprogram – interpreter komend (shell), który zapewnia użytkownikowi działanie tylko i wyłącznie w obrębie uruchomionego programu, a każdy błąd jest sygnalizowany i w sytuacji, gdy jego naprawienie jest niemożliwe, zapewnia dalszą współpracę, nie kończąc działania GIS.

Konieczność współpracy programu z urządzeniami peryferyjnymi wymaga często zapisania danych wyjściowych w postaci pliku i wydrukowania lub narysowania poprzez moduły stanowiące część systemu operacyjnego.

Struktura oprogramowania GIS to często zbiór osobnych programów w komputerze (np: ładowanych na żądanie użytkownika z tzw. dynamicznie łączonych bibliotek – DLL w Windows). Ich współpracę zapewnia rdzeń oprogramowania GIS (w Windows tzw. MDI<sup>8</sup>), system spełniający rolę organizującą pracę użytkownika oraz wizualizacji map i raportów z geograficznej bazy danych. Funkcjonalność systemu GIS może być rozszerzona o nowe algorytmy, przygotowane przez producentów oprogramowania (vendors), inne firmy (third party), lub użytkownika w postaci podprogramów (wtyczki – ang. plug-ins) lub dynamicznie ładowane w czasie działania programu GIS moduły (run-time modules). Standard przemysłowy większości oprogramowania GIS obejmuje także udostępniony użytkownikom język skryptowy tworzący tzw. API<sup>9</sup>. Działa on tylko we współpracy z właściwym oprogramowaniem GIS i zawiera funkcje umożliwiające interakcję z systemem menu i komend.

Dodatkowy element to osobne oprogramowanie (przeglądarki, viewers) umożliwiające przeglądanie gotowych, utrwalonych w postaci pliku, wykonanych map cyfrowych i raportów z geograficznej bazy danych systemu GIS. Przeglądarki (o ograniczonej funkcjonalności) dystrybuowane są bezpłatnie przez producentów oprogramowania i pozwalają na posługiwanie się mapami utworzonymi w systemach geoinformacyjnych bez konieczności zakupu właściwego oprogramowania GIS. Ograniczenie funkcjonalności przeglądarek GIS dotyczy wprowadzania

<sup>8</sup> MDI – Multiplay Document Interface

<sup>9</sup> API – Application Programming Interface

zmian na mapach w bazach danych. Natomiast możliwe jest stosowanie niektórych zapytań i zmiany grafiki mapy – kolorów i symboliki (ang. spatial queries). Większość producentów udostępnia bezpłatne przeglądarki map cyfrowych na swoich stronach internetowych, m.in. są to: ArcExplorer (także w wersji Java, ESRI), MapInfo ProViewer (MapInfo Corporation), Erdas MapSheets Express (Leica Geosystems), GeoMedia Viewer (Intergraph), ERViewer (ER Mapper). Funkcjonalność bezpłatnych przeglądarek jest rozwijana w kierunku wykorzystania możliwości współpracy w sieci internetowej. Tak jak w przypadku ArcExplorera – sam program jest klientem sieci i pozwala na przeglądanie zasobów map cyfrowych w sieci internetowej, łącząc się z adresami stron WWW, gdzie umieszczone są mapy w formacie ESRI (shape files). Inne rozwiązania w celu uzyskania możliwości przeglądania map cyfrowych w sieci, to udostępnianie podprogramów (wtyczek) do popularnych przeglądarek internetowych (Internet Explorer, Mozilla, Netscape, Opera) lub serwery map cyfrowych.

Możliwość pracy w sieci wymuszona została przez równoczesny dostęp do zasobów i właściwego oprogramowania GIS przez wielu użytkowników równocześnie. W relacyjnych bazach danych jest to rozwiązanie standardowe: na aktualnie edytowanej części danych przez jednego użytkownika zakładana jest blokada (lock file), uniemożliwiająca w tym czasie ich zmianę przez pozostałych. Ma to znaczenie przy pracy nad projektem składającym się z wielu map cyfrowych i tabel. Plik projektu lub tzw. obszar roboczy (project, workspace) zawiera wiele dokumentów, nie tylko mapy i tabele danych, ale także inne dokumenty: strony WWW, dokumenty tekstowe, grafikę (wykresy, obrazy – zdjęcia), niekiedy pliki dźwiękowe. Faktycznie standard przemysłowy oprogramowania GIS prezentuje się obecnie nie tylko jako zbiór aplikacji – pakiet programów, ale stanowi dobrze zintegrowaną platformę do tworzenia aplikacji, wygodne środowisko pracy grupowej (zawierające także elementy zarządzania uprawnieniami dostępu do informacji i jej dystrybucji w sieci).

Często zdarza się, że projekt lub zadanie do wykonania składa się z kilku odrębnych, nie związanych ze sobą ścieżek przetwarzania danych wejściowych i dopiero dane wyjściowe z kilku takich sesji stanowią podsumowanie pracy. Obszar roboczy użytkownika dzieli się wtedy dodatkowo, podczas gdy geograficzna baza danych pozostaje dostępna z wielu sesji. Pojęcia takie jak: projekt (zadanie), obszar roboczy, sesja, w systemach wielodostępnych są realnymi częściami systemu geoinformacyjnego. Po uruchomieniu program, a w niektórych przypadkach sam użytkownik tworzy sobie środowisko pracy. Zależnie od implementacji (zorganizowania współpracy GIS z systemem operacyjnym i sprzętem) może to być tworzenie obszaru roboczego, żądanie nazwania projektu lub po prostu zgłoszenie gotowości programu do działania (prompt).

Użytkownik porozumiewa się z geograficznym systemem informacyjnym za pomocą rozkazów udostępnionych w menu programu (ang. command), czasami jest

to określone jako żądanie (ang. request). W interakcyjnym trybie graficznym jest to najczęściej okno główne programu GIS zawierające podstawowy zestaw menu. Opcjonalnie, każde działanie systemu (komenda) jest zapisywane w określonym pliku tekstowym – tzw. log file. Ułatwia to w późniejszym etapie powtórzenie całej procedury, działań wykonanych w programie, które można zastosować do innych danych już w trybie wsadowym (niekiedy po wprowadzeniu pewnych modyfikacji).

Komenda to słowo, które w sposób jednoznaczny jest związane z określonym podprogramem (modułem) GIS. Zbiór komend może być bardzo obszerny (nawet kilkaset) i tworzy język komend. Nie wszystkie komendy są dostępne jednocześnie. Tworzą one strukturę hierarchiczną, występując w pewnych sekwencjach. Struktura języka komend tworzy menu. Menu może być niejawne i wtedy wydanie komendy wymaga wypisania jej lub jej skrótu na ekranie i potwierdzenia; może też być jawne, tzn. komendy pokazują się na ekranie a ich wybór dokonuje się za pomocą kursora albo naciśnięcia na klawiaturze wyróżnionej litery lub cyfry. Obydwa rodzaje komunikacji z użytkownikiem za pomocą menu niejawnego (ang. command language interface) lub jawnego (ang. menu type interface) mogą występować jednocześnie. Komendy mogą wymagać pewnych opcji, tzn. podania zbioru komend umiejscowionego niżej w hierarchii lub też podania parametrów. W jawnym menu opcje są wypisywane na ekranie (ang. pull-down menu, pop-up menu) w momencie wyboru określonej komendy. Parametry to pewne dane, które użytkownik powinien znać. Zwykle są one związane z merytorycznym charakterem jego projektu.

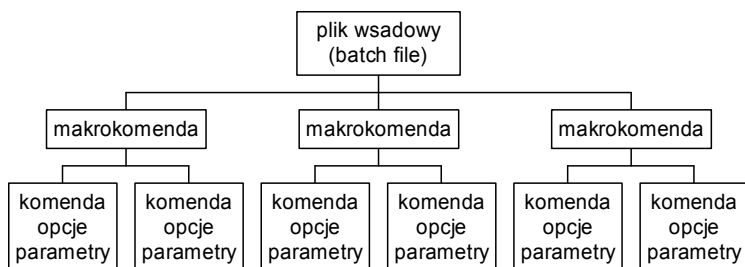
Pod względem funkcjonalnym można wyróżnić następujące grupy komend geograficznego systemu informacyjnego:

<b>Funkcjonalne grupy komend</b>	<b>Subsystem GIS</b>	<b>Przykład</b>
komendy kontroli programu	oprawa, główne okno programu	WORKAREA SESSION WORKSPACE PROJECT
komendy wejścia i edycji	wprowadzania danych	DIGITIZE EDIT
komendy opisu i przechowywania	wyświetlanie danych	VIEW TAG RETRIEVE
komendy przetwarzania danych opisowych	baza danych	TABLE SEARCH FIND SELECT SQL CONNECT
komendy analizy i przetwarzania	analizy geograficznej	RECLASSIFY OVERLAY UNION SUBTRACT
komendy wyjścia i generowania	Wyjścia	PRINT LAYOUT REPORT

Tab. 1. Przykłady komend oprogramowania GIS

Niektóre programy GIS posiadają ponadto moduły zwane interpretatorami języka komend. Język komend z reguły budowany jest w języku angielskim i składa się z trzech głównych komponentów: czasowników, rzeczowników

i parametrów (Burrorough,1986). Czasowniki odnoszą się zwykle do działań podejmowanych przez podprogramy GIS, rzeczowniki do różnych elementów baz danych. Parametry zwykle związane z rzeczownikiem są cechami przypisanymi elementom bazy danych, np. EDIT ROAD 143, SELECT TOWN „Warszawa”. Dostępna lista parametrów także znajduje się w bazie danych (tzw. look-up tables). Interpreter języka komend zwalnia bardziej wprawnego użytkownika z ciągłej interaktywnej pracy z programem, gdyż pozwala mu na definiowanie makrokomend, zastępujących bardziej skomplikowane wyrażenia, na które składają się rozkazy już zawarte w menu programu (tzw. makro), a nawet pisanie całych programów (zbiory makrokomend, tzw. batch files). Makrokomendy mogą być tworzone także na podstawie plików log files.



Rys. 3. Budowanie makrokomend i plików wsadowych

Interpreter języka komend traktuje batch file jak sekwencję komend wywoływanych kolejno do wykonania. Od pliku typu batch już tylko jeden krok do języka programowania (skryptowego). Można wtedy budować iteracje (wywoływanie komend aż do momentu wypełnienia określonego warunku logicznego lub arytmetycznego). Wywołanie nazwy takiej procedury jest traktowane na równi z wydaniem komendy. W bardzo wyrafinowanych programach GIS makro i pliki wsadowe mogą być konstruowane z instrukcji dostępnego i znanego języka programowania lub języka skryptowego (Avenue w programie ArcView, Map-Basic w MapInfo, Basic w ArcGIS).

Użytkownik programu GIS w praktyce operuje kilkunastoma najczęściej wykorzystywanymi komendami. Znajomość komend to rozumienie, jaki efekt komenda wywoła w przetwarzanym zbiorze danych. Oprócz opisu programu GIS zwykle posiada jeszcze moduł. Pomoc (ang. help) dotyczy najczęściej objaśnienia działania danej komendy, jej składni i funkcji w programie. Bardziej rozbudowane systemy (on-line help) oferują całe podręczniki do przeczytania (on-line manuals), niekiedy łącznie z animowaną symulacją działania procedur programu (tutorials).

Istotnymi cechami bardziej zaawansowanych systemów GIS jest zdolność do przerywania działania i przywrócenia zbiorowi danych ich początkowego stanu w trakcie działania innej komendy (komenda undo), np. w trakcie wpro-



dzania danych do tablicy zawierającej zbiór miast powtórny raz wczytuje się, przez omyłkę, kolumnę zawierającą dane dotyczące liczby ludności. Komenda undo usuwa od razu całą nowo wprowadzoną kolumnę. Inną, bardziej zaawansowaną cechą, jest wywołanie komendy, która przywraca zbiorowi stan początkowy po zakończeniu działania innej komendy (recall). Wywołanie komendy bez opcji i parametrów zwykle jest traktowane przez system jako żądanie przetworzenia tych samych danych jak w poprzednio wydanym rozkazie. Z reguły w systemie istnieje możliwość zmiany ustawień domyślnych (ang. default). W pewnych sytuacjach niektóre komendy mogą prowadzić do zablokowania działania. Większość programów GIS reaguje na to komunikatem (ang. error message).

Cechą charakterystyczną oprogramowania GIS jest fakt, że użytkownik pracuje jednocześnie z danymi przestrzennymi, których obraz na ekranie pojawia się w postaci graficznej oraz danymi je opisującymi (alfanumerycznymi). Równoczesne przetwarzanie danych opisowych i wiązanie ich z grafiką ma miejsce przede wszystkim w początkowym etapie pracy z GIS, tzn. w trakcie tworzenia cyfrowej bazy danych geograficznych. W dalszym etapie niekiedy konieczne jest jednoczesne opracowywanie kilku różnych tematycznie map jednego obszaru, stąd konieczność podziału ekranu na części. Rozwiązaniem jest oczywiście rozdzielenie wyświetlanych danych graficznych oraz alfanumerycznych i praca z dwoma monitorami. Jednak taki tryb pracy nie znalazł akceptacji wśród użytkowników (prawdopodobnie ze względu na trudność skonfigurowania systemu operacyjnego). Graficzne interfejsy użytkownika i zestawy okien, w których wyświetlane są odrębne widoki części lub warstw map i tabel, są obecnie standardem pracy z programami GIS.

Użytkownik programu „desktop GIS” zwykle rozpoczyna pracę od ustawienia początkowych parametrów. Ustawienia programu mogą dotyczyć m.in.: profilu kolorów wyświetlanych przez monitor, jednostek miar wyświetlanych na ekranie i na podglądzie wydruku, sposobu wyświetlania elementów grafiki (roboczy, dokładny, prezentacyjny), układu pasków narzędzi i menu programu, ustawień automatycznego zapisu kopii bezpieczeństwa dokumentów, zapisu działań użytkownika. Parametry sesji (zadania) dotyczą przede wszystkim lokalizacji zasobów – obszaru roboczego katalogów zawierających pliki, które będą przetwarzane w trakcie realizacji projektu GIS. Powyższe ustawienia ustalane są zwykle jednorazowo i odrębnie zapisywane. Można je później odtworzyć, za każdym razem, gdy ponownie przystępuje się do pracy nad tym samym zadaniem. Ten etap pracy, choć bardzo pomocny w miarę rozbudowy danych, jest bardzo często pomijany przez użytkowników programów GIS.

Profil kolorów wyświetlany przez monitor komputera wytwarzany jest poprzez mieszanie światła czerwonego z zielonym i niebieskim. Każdy z podstawowych kolorów modelu RGB (Red, Green, Blue), wyświetlanych przez monitor, moż-

na opisać liczbą z zakresu od 0 do 255. Model RGB nazywany jest addytywnym, gdyż mieszanie światła odpowiada sumowaniu natężenia kolorów podstawowych. Większe wartości składowych odpowiadają większemu natężeniu (ilości) światła i tym jaśniejsze kolory one opisują. Wszystkie maksymalne wartości składowych tworzą kolor biały. Model addytywny RGB barw można opisać geometrycznie jako sześcian, a każdy z jego wymiarów to odpowiednia składowa.

Alternatywny model opisujący kolory, stosowany w procesie druku, także stosowany do opisu kolorów to model CMYK, którego składowe to: niebieskozielony (C – Cyan), purpurowy (M – Magenta), żółty (Y – Yellow) i czarny (K). Ponieważ kolory modelu CMYK powstają w wyniku pochłaniania światła, jest on nazywany subtraktywnym modelem kolorów. Udział składowych CMY opisywany jest często za pomocą skali procentowej (od 0 do 100). Generowanie kolorów za pomocą wymieszania składowych atramentu polega na odbijaniu określonych kolorów światła i jednoczesnym absorbowaniu innych. Im większe wartości procentowe kolorów składowych, tym ciemniejszy kolor one opisują. Teoretycznie, po zmieszaniu trzech składowych CMY: 100% koloru niebieskozielonego, 100% purpurowego i 100% żółtego powinno się uzyskać kolor czarny. W praktyce (w druku) należy również stosować kolor czarny pozwalający ograniczyć zużycie pozostałych atramentów i osiągnąć właściwą barwę. (Rys. 4 – wklejka)

Alternatywne modele kolorów oparte są na wartościach określających barwę, nasycenie i jaskrawość koloru (H – Hue, barwa, S – Saturation, nasycenie, I – Intensity, intensywność, jaskrawość). Barwa jest podstawą koloru, nasycenie określa siłę koloru, bądź jego czystość w stosunku do szarej barwy, a jaskrawość odpowiada udziałowi bieli w danym kolorze. Nasycenie równe 0 to odcień szarości (w zakresie od bieli do czerni). Jaskrawość zmienia się w przedziale od 0 (kolor czarny) do 100 (kolor biały). Barwa określana jest za pomocą wskazania jednego z odcieni.

Odmiany modelu HSI to HSV (V – Value), HSL (L – Lightness). Inne sposoby opisywania modeli barw to tzw. ilościowe modele kolorymetryczne CIE-Lab<sup>10</sup>, niezależne od urządzeń i opisujące widzialny zakres kolorów. W trakcie pracy z oprogramowaniem (geo)graficznym wykorzystuje się palety barw, a także gotowe zestawy kolorów. Palety te przechowywane są jako tabele LUT (ang. look-up tables), tabele kolorów, pozwalające zmieniać barwy w paletach bez konieczności przerysowania całego obrazu.

<sup>10</sup>Commission Internationale de l'Eclairage – niezależna organizacja ustanawiająca standardy pomiaru kolorów i światła.

## Rozdział III

# Bazy danych w systemach geoinformacji

**G**eograficzna baza danych jest cyfrowym odzwierciedleniem mapy, tzn. każdy obiekt na mapie jest zakodowany w postaci zbioru znaków i cyfr. Obiekty punktowe, liniowe i powierzchniowe narysowane na mapie mają, oprócz określonych współrzędnych definiujących ich lokalizację, pewne cechy opisowe (atrybuty), jakościowe i ilościowe. Niekiedy rozróżnia się atrybuty przestrzenne i nieprzestrzenne.

Bazy danych w systemach geoinformacji to obszerny i złożony temat ze względu na różnorodność struktur danych i ich możliwych zastosowań. Stanowi także zupełnie odrębną dziedzinę w informatyce. W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat rozwijały się kolejne generacje baz danych dla systemów informacyjnych<sup>1</sup> (w tym dla systemów geoinformacji). Wzrastająca złożoność programów użytkowych, koszty wdrożenia oraz konieczność aktualizacji baz danych wymuszały postęp w tej dziedzinie. Systemy GIS korzystają z baz danych w zakresie gromadzenia i przetwarzania tych informacji, których cechą szczególną i wyróżniającą jest lokalizacja przestrzenna. Uporządkowana w sposób logiczny i merytoryczny informacja dotycząca wybranego fragmentu przestrzeni geograficznej jest przedstawiona w postaci pewnego modelu w uproszczony sposób. Dopiero model środowiska geograficznego zrealizowany w bazie danych jest punktem wyjścia do stworzenia spójnej i pełnej analizy obiektów (ang. features). W bazie danych niezbędne jest ustalenie cech obiektów (atrybutów), które opisują położenie, klasę (typ obiektów), charakterystykę ilościową i jakościową oraz związki łączące same obiekty (Magnuszewski, 1999).

Pierwszą generacją baz danych były systemy plików przechowujące dane w sposób liniowy (zbiory płaskich plików tekstowych, tzw. „flat files”), a dostęp do nich był możliwy za pomocą metody indeksowego dostępu sekwencyjnego (ISAM – index sequential access method – lub jej odmian – VSAM, QSAM<sup>2</sup>).

<sup>1</sup> Systemy multimedialne, ERP – Enterprise Resource Planning (planowanie zasobów przedsiębiorstwa), CRM – Client Relationship Management (zarządzanie w zakresie relacji z klientami), MRP – Management Resource Planning (planowania zasobów przedsiębiorstwa).

<sup>2</sup> VSAM – virtual storage access method, QSAM - quequed sequential access method – stworzone przez firmę IBM odmiany indeksowego dostępu sekwencyjnego: ISAM - index sequential access method

W bazach tego typu wykorzystywane były zazwyczaj pliki ASCII<sup>3</sup>, w których na jeden wiersz przypada jeden rekord informacji (o obiekcie). Pliki nie były ze sobą połączone i nie istniała możliwość stworzenia relacji między nimi. Metoda ISAM wykorzystuje odrębny słownik określający lokalizację danej informacji (pojęcia). Aby odszukać dany rekord należało za każdym razem przeglądać plik danych od początku. W pierwszej generacji baz danych, ze względu na koszty, jako główny nośnik wykorzystywano taśmy magnetyczne.

Istnieją dwa typy baz ISAM:

- Pliki o rozgraniczonych polach, w których poszczególne pola w rekordach oddzielone są od innych znakiem separatora (np: średnikiem lub przecinkiem – pliki CSV – ang. comma-separated values). Ograniczenia tego typu baz danych wiążą się przede wszystkim z długością czasu wyszukiwania, przeglądania słowników i plików, za każdym razem od początku oraz kontrolowaniem, czy separatory pól albo rekordów nie występują w samych danych.
- Pliki, w których każde pole ma przypisaną stałą długość; ich wadą jest fakt, że w trakcie aktualizacji bazy danych istnieje możliwość obcięcia wartości pól bez ostrzeżenia. Natomiast operacje na rekordach i ich aktualizacja są zwykle szybsze.

Wadą takiego zapisu jest problem spójności danych. W bazach danych typu ISAM istnieje możliwość wpisywania wielu identycznych rekordów oraz pozostaje problem obsługi sytuacji, w której więcej niż jeden użytkownik w tym samym czasie będzie chciał wpisać dane do bazy. Problem dotyczy także skalowalności. Aktualizacja baz danych ISAM najczęściej polega na pobraniu całego pliku tekstowego, wykonaniu aktualizacji i powtórnego zapisania, co może spowodować nadmierne wykorzystanie zasobów komputera.

Największą zaletą baz danych opartych na plikach tekstowych jest prostota i przejrzysty układ – zrozumiały dla każdego użytkownika. Największą wadą było to, że informacje przechowywane były w plikach o wielu różnych formatach i nie istniał jeden spójny system do zarządzania nimi.

Identyfikator #	Pole #	Pole #	Pole #	Pole #
-----------------	--------	--------	--------	--------

Rys. 5. Zapis danych w postaci rekordu

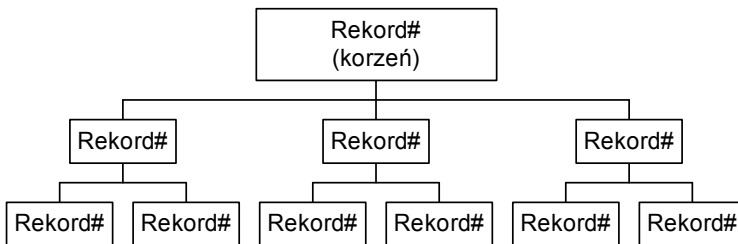
Niezależnie jednak od sposobu konstrukcji, zasadniczymi jednostkami, z których baza danych się składa, są rekordy (ang. record – zapis). Rekord to fragment informacji w bazie, który, może być dowolnie przemieszczany i rów-

<sup>3</sup> ASCII American Standard Code for Information Interchange – kod ASCII (amerykański standardowy kod ośmiobitowy)

nocześnie zapis, który pozwala informację zidentyfikować. Rekord składa się z pól – mniejszych części informacji (rys. 5). Pola oderwane od rekordu nie pozwalają na identyfikację i logiczne powiązanie z pozostałą informacją.

Indeksacja rekordów baz danych na dysku zaowocowała powstaniem metody bezpośredniego dostępu BDAM (basic direct access method). Każdy rekord w takiej bazie ma swój unikatowy adres określony przez algorytm indeksujący (ang. hashing algorithm) lokalizujący go jednoznacznie na dysku. Bezpośredni dostęp do rekordów jest szybki, ale dzieje się to kosztem przestrzeni dyskowej – algorytm rezerwuje także miejsce na dysku, które nie musi zostać wykorzystane. Lokalizacja na dysku (adres rekordu) jest stała, a sam rekord może zostać wyszukany na podstawie klucza (jego fizyczną lokalizację na dysku zapewnia sam algorytm).

Systemy hierarchiczne takie jak IMS<sup>4</sup> (system zarządzania informacją) i System 2000, stanowiły drugą generację baz danych. IMS prezentował jednolity format zapisu danych w celu przechowywania, przetwarzania i aktualizacji informacji, a zarazem umożliwiał obsługę wielu użytkowników równocześnie, przy czym mogli oni w tym celu wykorzystywać programy napisane w różnych językach (programowania). Podstawową jego zaletą było spójne zarządzanie i kontrolowanie danych. Hierarchiczność bazy polegała na utworzeniu relacji pomiędzy poszczególnymi poziomami hierarchii w postaci struktury drzewa: relacji jeden-do-wielu, gdzie istnieje wiele następných rekordów powiązanych, wyżej w hierarchii, tylko z jednym poprzednikiem.



Rys. 6. Sposób uporządkowania informacji w hierarchicznej bazie danych

Jak wskazuje nazwa, rekordy są ułożone w strukturze pionowej. Każdy z nich może mieć wiele rekordów następujących po sobie, ale tylko jeden poprzedzający.

Łatwość konstrukcji systemu hierarchicznego baz danych oraz ich szybkość działania w zakresie wyszukiwania informacji spowodowały, że ten sposób organizacji informacji stosowany jest także współcześnie. Zapytania do takiej bazy przebiegają wszystkie węzły i połączenia wzdłuż jednej ścieżki

<sup>4</sup> IMS (Information Management System) – System Zarządzania Informacją wprowadzony w 1960 roku przez firmę IBM;

(pionowo), natomiast indeksowanie dotyczy określonych poziomów w hierarchii informacji (np. alfabetycznie lub numerycznie). Ograniczenia hierarchicznych baz danych biorą się z trudności ustalenia dowolnych relacji (w tym wiele-do-wielu), które są ściśle określone. Aktualizacja (uzupełnianie lub usuwanie) informacji jest bardzo skomplikowana, zwłaszcza dla niższych poziomów, do których dostęp jest możliwy tylko przez wyższe poziomy hierarchii. W ten sposób użytkownik, wybierając kolejne rekordy, równocześnie ogranicza zbiór interesujących go danych. Gdyby szukać porównania, hierarchiczna baza danych jest odpowiednikiem katalogu rzeczowego zawierającego podkatalogi, które z kolei zawierają następne itd. Tak zresztą zorganizowane były systemy operacyjne komputerów (UNIX, DOS – disk operating system). Każdy rekord w hierarchicznej bazie danych posiada swój identyfikator i wskaźnik do rekordu poprzedzającego i następnych. Poruszanie się w takiej bazie danych może odbywać się tylko po z góry określonych gałęziach. Porządkowanie rekordów (np. jeżeli zawierają wartości liczbowe) może dokonywać się w obrębie każdej gałęzi osobno.

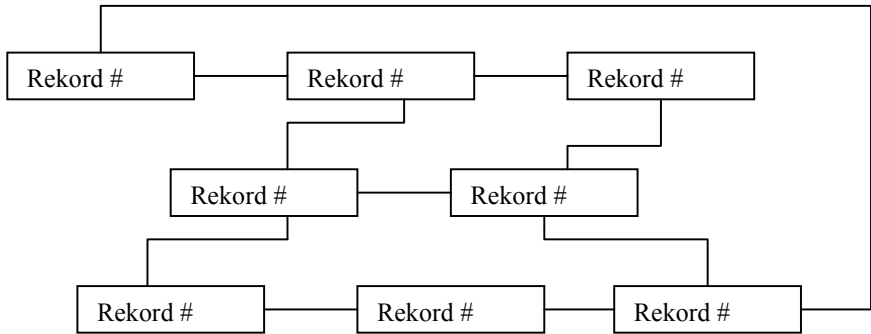
Sieciowa baza danych to odmiana hierarchicznej, z tym tylko, że użytkownik definiuje własne powiązania między rekordami. Była to trzecia generacja baz danych – stworzona przez organizację CODASYL (Conference on Data Systems Language) w latach 70. XX wieku. Strukturę sieciowego modelu bazy danych oparto na grafach. Rekordy są zidentyfikowane przez adresy i powiązane ze sobą przez wskaźniki: „związki semantyczne pomiędzy danymi reprezentowane są poprzez powiązania referencyjne lub wskaźnikowe<sup>5</sup>”. Model sieciowy bazy danych precyzyjnie definiował schemat bazy danych, wprowadził język manipulacji danymi (DML – data manipulation language) oraz język definiowania danych (DDL – data definition language), umożliwiające określenie logicznej struktury bazy danych. Jest ona odpowiednikiem zbioru działań o alternatywnych wariantach (np. model cyfrowy możliwości przemieszczania się w sieci dróg).

Wadą modelu sieciowego był brak niezależności danych oraz skomplikowana nawigacja pomiędzy rekordami. Złożoność i niezwykle trudna implementacja ich zmian strukturalnych dodatkowo zahamowały dalszy rozwój sieciowych baz danych. Ich renesans można obserwować współcześnie – protokół transferu hipertekstów HTTP (ang. hypertext transfer protocol), wykorzystywany w internecie do przesyłania stron sieci światowej WWW<sup>6</sup> (ang. world wide web) w powiązaniu z systemem adresów internetowych URL<sup>7</sup> (ang. uniform resource locator), jest odmianą sieciowej bazy danych.

<sup>5</sup> Józwik P., Mazur M., Obiektowe bazy danych – przegląd i analiza rozwiązań, na podst. dok. elektronicznego w formacie HTML <http://www.kapitanat.one.pl>

<sup>6</sup> WWW – światowa pajęczyna

<sup>7</sup> URL - Uniform Resource Locator, jednolity lokalizator zasobów, adres internetowy, adres URL



Rys. 7. Sposób uporządkowania informacji w sieciowej bazie danych

Obecnie powszechnie stosowany model to czwarta generacja, tzw. relacyjne bazy danych. Rozwój kolejnych generacji baz danych wymagał od ich projektantów przeniesienia powtarzających się funkcji systemowych. Twórcą idei relacyjnych baz danych był E.T. Codd (IBM, 1970). Ich zaletą była prostota konstrukcji i oparcie na silnych podstawach matematycznych algebry i analizy funkcjonalnej. W języku matematyki baza danych jest zbiorem relacji, podzbiorem iloczynu kartezjańskiego zbiorów wartości, reprezentowanych przez dwuwymiarowe tabele złożone z kolumn i wierszy (Banachowski, 1998).

W modelu relacyjnym pojawił się także język zapytań deklaratywnych SQL (structural query language – strukturalny język zapytań), ułatwiający dostęp do danych i ich modyfikację. Konstrukcja relacyjnych baz danych opiera się na wielu tabelach, dwuwymiarowych tablicach, w których wiersze (tuples – krotki) są rekordami. Wiersz reprezentuje jeden rekord informacji. Liczba kolumn tabel jest z góry ustalona. Z każdą kolumną jest związana jej nazwa oraz dziedzina, określająca zbiór wartości, jakie mogą wystąpić w kolumnie. Przecięcie kolumn i wierszy to pole, pojedyncza wartość należąca do dziedziny kolumny. Pionowe kolumny tabel (atrybuty) składają się z poszczególnych pól (pola tworzą kolumny tabel). W każdej z tabel znajduje się kolumna (pole, tzw. indeks prosty lub kilka pól – indeks złożony), która stanowi tzw. klucz główny (primary key). Jest to unikatowy indeks, jednoznacznie identyfikujący wiersz tabeli. Oprócz tego w tabelach może wystąpić jeden lub więcej tzw. kluczy obcych (alternatywnych, foreign keys), które pozwalają połączyć tabele za pomocą relacji i mogą być interpretowane jako wskaźniki do wierszy w innych tabelach. Pojęciowo, rekord w tabeli relacyjnej bazy danych można wyobrazić sobie jako wiersz tablicy zawierającej dane statystyczne. W modelu relacyjnym abstrahuje się od kolejności wierszy (rekordów) i kolumn (pól w rekordzie).

Model relacyjny bazy danych składa się z kilku poziomów. Zestawienia danych (perspektywy, views) i programy (aplikacje bazy danych), którymi posługują się użytkownicy, to poziom użytkowy. Aby możliwe było stworzenie i uporządkowanie informacji w relacyjnej bazie danych, administratorzy (twórcy) baz danych definiują i udostępniają użytkownikom (meta-)informację o logicznej organizacji i zawartości tabel (poziom logiczny, koncepcyjny). Najniższa warstwa to poziom fizyczny, operujący zbiorami plików z danymi i indeksami (definiowany przez autorów oprogramowania bazy danych).

Upowszechnienie relacyjnych baz danych polegało na tym, że prezentowały one prosty model oparty na tabelach z wierszami i kolumnami, który jest zrozumiały dla użytkownika końcowego, a równocześnie zapewniały niezależność danych. Możliwość dołączania obcych kluczy do każdej z tabel pozwala tworzyć dowolne relacje pomiędzy nimi (jeden-do-jednego, jeden-do-wielu, wiele-do-wielu). SQL jako deklaratywny język dostępu do bazy pozwala na formułowanie pytań określających warunki, jakie muszą spełnić poszukiwane dane. W bazie danych sposób fizycznego dostępu do rekordów jest ukryty przed użytkownikiem.

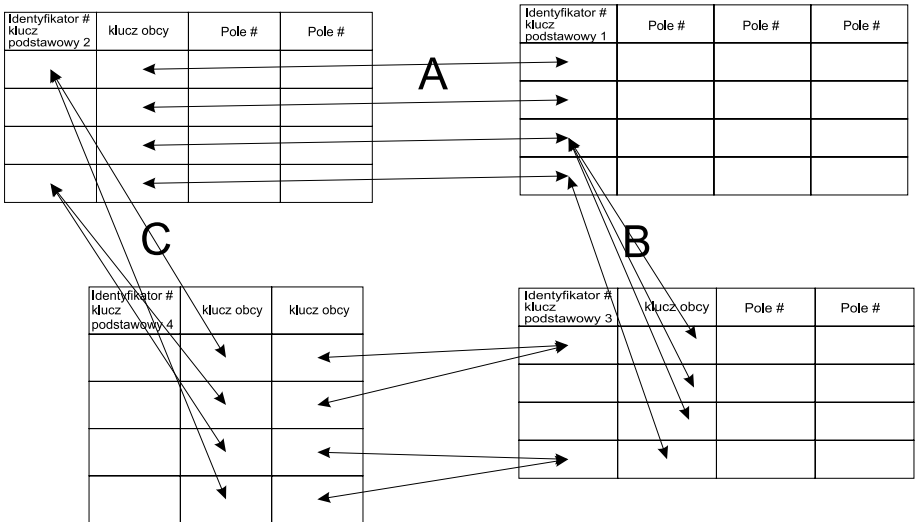
Relacyjna baza danych jest właśnie zbiorem tablic (i relacji między nimi). Wszelkie operacje dokonujące się w takiej bazie są odpowiednikiem wyboru i przestawiania wierszy (pól, rekordów), kolumn, łączenia ich nawet z kilku tablic (relacji). Powiązanie między danymi w różnych relacjach zapewniają klucze, indeksy – identyfikatory rekordów (nazwy wierszy) i niekiedy pól (nazwy kolumn).

Relacyjne bazy danych spełniły postulowany przez użytkowników warunek oddzielenia fizycznej i logicznej struktury. Obudowane są systemami zarządzania bazą danych (DBMS<sup>8</sup>) spełniającymi funkcję kontroli nad spójnością danych. Zawierają różne narzędzia: konstrukcji zapytań, automatyczną ich optymalizację, zdefiniowane metody dostępu, sterowanie współbieżnością przetwarzanych transakcji<sup>9</sup>, narzędzia kontroli semantycznej języka i autoryzacji dostępu. Istnienie dwóch funkcjonalnie oddzielonych części relacyjnej bazy danych wynika z zastosowania modelu: klient-serwer.

<sup>8</sup> DBMS – Database Management System – system zarządzania bazą danych

<sup>9</sup> Transakcja (w bazie danych) - transakcja jest sekwencją odczytów i zapisów dokonywanych na bazie danych w ten sposób, że sekwencja taka jest traktowana jako elementarne działanie dokonywane na bazie danych. Jeśli transakcja nie zakończy się pomyślnie, to system wycofuje każdą zmianę, która została wprowadzona do bazy danych przez tę transakcję. Jeżeli transakcja skończy się pomyślnie, to wszystkie zapisy do bazy danych zostaną utwalone.





Rys. 8. Schematyczny model uporządkowania rekordów w relacyjnej bazie danych:

- A. relacja jeden-do-jednego,
- B. relacja jeden-do-wielu,
- C. relacja wiele-do-wielu.

Język SQL umożliwia użytkownikom definiowanie i posługiwanie się danymi. Obejmuje:

- DDL – Data Definition Language – język definiowania danych, który służy specyfikacji schematu bazy.
- DML – Data Manipulation Language – język operowania danymi – narzędzie tworzenia zapytań i modyfikacji bazy.
- DCL – Data Control Language – język kontrolowania danych – umożliwia ochronę spójności bazy danych i zarządzanie zasobami.

Oprogramowanie przeznaczone dla użytkowników (klient bazy danych) zawiera zaprojektowane interfejsy ułatwiające kontakt z systemem zarządzania, funkcje prezentujące stan obliczeń, komunikaty błędów i sytuacji wyjątkowych, przyjmowania zleceń operacji, ich wykonywania, sprawdzania składni i przysyłania instrukcji SQL do systemu zarządzania. Oprogramowanie GIS zawiera najczęściej funkcje spełniające rolę programu – klienta bazy danych (np. Map-Info, ArcView), rzadziej systemu zarządzania bazą danych (np. SDE, Spatial Data Engine, ArcGIS)

Współcześnie bazy danych są zdolne do przechowywania dowolnych typów danych. Są nimi: dane numeryczne (liczby całkowite i zmiennoprzecinkowe – rzeczywiste), dane znakowe (tekstowe, indeksowane alfabetycznie),

daty i czasu, logiczne oraz obiekty (LOB – large object). Obiekty mogą być binarne: graficzne lub dźwiękowe (BLOB – binary large data object) lub tekstowe (duże pliki ASCII, CLOB – character large object). Najczęściej LOB-y są jedynie przechowywane w tabelach, ale zwykle nie można na nich wykonywać operacji tak jak na pozostałych typach danych. W bazach danych stosuje się także specjalny typ danych NULL, który nie zawiera wartości. Wartości NULL wykorzystywane są wszędzie tam, gdzie faktyczna wartość albo nie jest znana, albo nie ma znaczenia, a istnieje konieczność wypełnienia (dowolnego) pola. Wartość NULL nie jest zerem. Oznacza brak jakiegokolwiek wartości (pusty zbiór). Wartość NULL odgrywa ważną rolę w tzw. logice trójwartościowej, w której wyrażenia warunkowe SQL-a mogą przyjąć wartość „prawda”, „fałsz” albo właśnie NULL, czyli nic.

Zbiór operacji w relacyjnej bazie danych umożliwia między innymi:

- wprowadzanie i aktualizację informacji w polach rekordów (np. ENTER, APPEND, UPDATE, CREATE TABLE);
- sortowanie i porządkowanie danych według określonych kluczy (np. SORT, INDEX, ORDER BY, DESCEND, ASCEND);
- wyszukiwanie rekordów lub pól, których dane spełniają określone warunki (np. SEARCH, FIND);
- wyszukiwanie i zamiana informacji w polach spełniających określone warunki (np. REPLACE);
- przeglądanie tablic i ich struktury (np. LIST, DISPLAY, LIST STRUCTURE);
- łączenie pól w rekordach jednej lub więcej relacji i tworzenie nowych, jak również łączenie całych relacji (np. JOIN);
- definiowanie funkcji lub wyrażeń i wykonywanie ich dla kolumn (także warunkowych, np. WHERE, IF, AND, OR, XOR).

W trakcie rozwoju znajdują się bazy danych o strukturze zorientowanej obiektowo. Związane są z tzw. programowaniem z bazą wiedzy. Oznacza to, że informacja nie jest tylko uporządkowana w postaci rekordów zawierających dane, ale w bazie znajdują się wskaźniki do procedur nieodłącznie związanych z obiektem lub zjawiskiem identyfikowanym przez rekord. W ten sposób np. wiedza o procesach geomorfologicznych, ich przebiegu w konkretnym regionie lub przebiegu procesów demograficznych, związana jest tylko i wyłącznie w bazie danych z nazwą regionu (lub odpowiednim zidentyfikowanym w unikalny sposób obiektem geograficznym). Oczywiście do realizacji procedur niezbędne są pewne dane liczbowe i tekstowe. Wykorzystuje się tutaj także opisane wyżej struktury danych. Ale dostęp do nich możliwy jest tylko przez nazwy obiektów. Niezależnie jednak od sposobu organizacji, struktury bazy danych, jej częścią są procedury przetwarzania (np. porządkowania, wykonywania pewnych obliczeń czy porównań) oraz wybierania z niej podzbiorów danych. Obiektowe bazy danych cechują się hermetyzacją (enkapsulacją) za-

wartych w nich obiektów, tzn. poszczególnym klasom danych (obiektów) przypisane są nie tylko atrybuty, ale swoiste dla nich procedury.

Technika baz danych piątej generacji (obiektywne bazy danych) będzie się charakteryzować bogatszym modelem danych i bogatszym zbiorem narzędzi baz danych, potrzebnych do spełnienia wymagań programów użytkowych również spoza obszaru przetwarzania danych w biznesie, z myślą o których rozwijano pierwsze cztery generacje systemów baz danych (Won Kim, 1996).

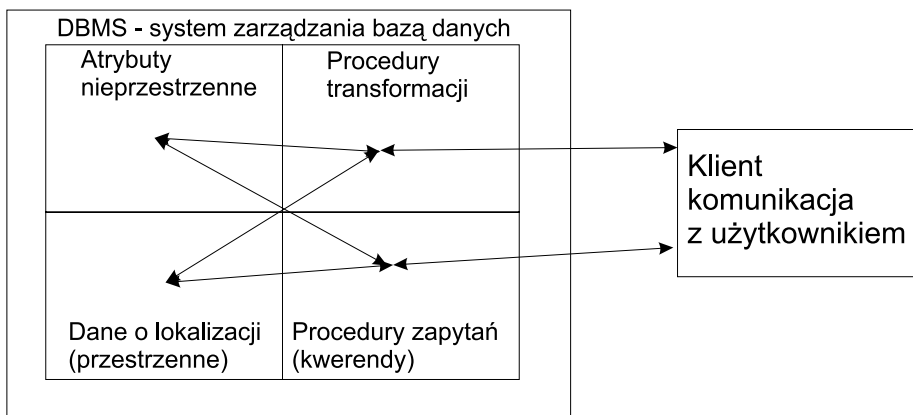
Cechą charakterystyczną (relacyjnej) geograficznej bazy danych jest fakt, że reprezentuje ona różne kategorie cech zjawisk. Dane geograficzne opisywane są najczęściej pojęciami: obiekt<sup>10</sup> (geograficzny, feature), zjawisko, region i identyfikowane przez nazwę. Nazwę traktuje się jako jeden z atrybutów i to nie najważniejszy dla przetwarzania danych cyfrowych. Tak więc obiektem w bazie może być region administracyjny, typ gleby, droga określonej kategorii, rodzaj opadu itp. Każdemu z obiektów towarzyszy identyfikator (oznaczenie). O ile nazwa geograficzna może opisywać całą kategorię obiektów i występować w tablicy w relacyjnej bazie danych wielokrotnie, to identyfikator jest różny i unikatowy dla każdego rekordu. Jest on wzajemnie jednoznacznie związany ze współrzędnymi lokalizującymi dane zjawisko. Identyfikatorem może być numer lub unikatowy zbiór znaków. Towarzyszą mu zwykle pozostałe cechy, tworząc tablicę atrybutów. Identyfikator obiektu wiąże atrybuty z lokalizacją przestrzenną, opisywaną zazwyczaj współrzędnymi układu odniesienia.

Następnym elementem bazy mogą być dane topologiczne obiektu lub też charakterystyka pola, w jakim obiekt występuje w zależności od formy przedstawienia – wektorowej (vector) lub rastrowej (raster, grid). Wszystkie dane z wyjątkiem identyfikatora mogą powtarzać się ze zmiennymi wariantami dla różnych przekrojów czasowych, formując bazę danych na wzór geograficznej macierzy obserwacji przestrzennych Berry'ego.

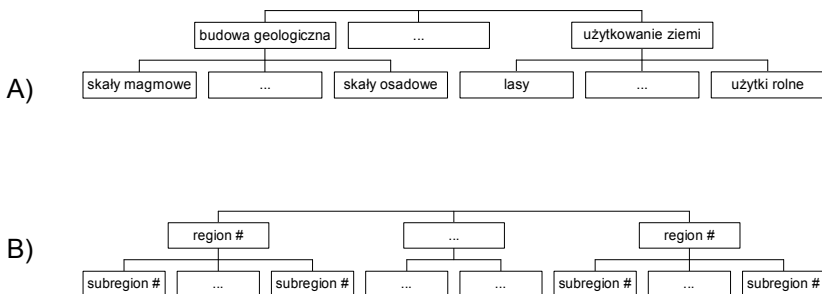
W praktyce każdy z trzech podstawowych komponentów cyfrowej, geograficznej bazy danych, tj.: lokalizacja przestrzenna, lokalizacja topologiczna oraz atrybuty nieprzestrzenne mogą występować w postaci odrębnych tablic i łączy je tylko identyfikator.

Tak skonstruowany pojęciowy model cyfrowej bazy danych geograficznych jest równocześnie związany z wymogami analizy przestrzennej współwystępowania obiektów i zjawisk w przestrzeni. Można wyobrazić sobie, że zbiór obiektów jednej klasy tworzy warstwę mapy. W ten sposób model mapy analogowej w zapisie cyfrowym wygląda tak, jak gdyby nałożono na siebie szereg warstw (folii), podkładów o różnym zakresie tematycznym (layers). Podziałowi tematycznemu na warstwy może towarzyszyć również podział regionalny (na arkusze, tiles).

<sup>10</sup> Feature – obiekt, wyróżnienie (Gaździcki, 2001)



Rys. 9. Model cyfrowej, geograficznej bazy danych

Rys. 10. A. Tematyczna organizacja cyfrowej geograficznej bazy danych;  
B. Przestrzenna organizacja cyfrowej geograficznej bazy danych

Poprawność i kompletność modelu danych geograficznych w relacyjnej bazie danych jest istotna dla funkcjonowania całości. Istotną rolę spełnia tutaj etap projektowania schematu bazy danych na poziomie logicznym i użytkowym. Warunkiem sprawnego, szybkiego działania i poprawności bazy danych jest brak nadmiarowości (redundancji), tzn. powtarzania się tych samych danych wielokrotnie lub pojawienie się zależności funkcyjnych pomiędzy kolumnami poszczególnych tabel. Brak redundancji danych wynikający z braku powtarzalności informacji oznacza, że baza danych występuje w tzw. pierwszej postaci normalnej. Dodatkowo, brak zależności funkcyjnych pozwala określić, że baza występuje w tzw. drugiej postaci normalnej. Takie postaci relacyjnych baz danych uniemożliwiają przewidzenie wartości pól (atrybutów) kolumn w tabelach na podstawie innych kolumn, a relacje oparte są tylko na atrybutach kluczowych.

## Zarządzanie bazą danych atrybutów

Atrybuty w bazie danych geograficznych to zbiór nazw, cech jakościowych i ilościowych opisujących obiekty przestrzenne. Tę część funkcji systemów geoinformacyjnych związanych z przetwarzaniem danych – atrybutów – mogą z powodzeniem spełniać dowolne bazy danych ogólnego zastosowania. Nawet do tego stopnia, że całą analizę można wykonać poza systemem geoinformacyjnym. Dotyczy to związku statystycznego zjawisk, koincydencji ich cech lub modelowania przebiegu zjawisk związanych ze sobą. Dane są przechowywane w tablicach dwuwymiarowych (w relacyjnej bazie danych). Niektóre systemy GIS przechowują dane o każdym zjawisku w odrębnych tablicach, inne tworzą tablice wielu atrybutów. W każdym wierszu tablicy znajduje się unikalny identyfikator obiektu lub zjawiska. W swojej najprostszej formie baza relacyjna danych geograficznych, tj. atrybutów nieprzestrzennych, to tablica zawierająca rekordy. Rekord odpowiada jednemu obiektowi (jednostce geograficznej, zjawisku, procesowi, regionowi – ang. entity). Najprostszy rekord zawiera dwa pola. Rekord może zawierać wiele pól, tworząc relacje wieloatrybutowe. W bazie danych takich relacji może być dowolna liczba.

Operując językiem SQL można konstruować złożone wyrażenia umożliwiające wyodrębnianie z tabel podzbiorów, których elementy spełniają określone warunki. W ten sposób można wyodrębniać podzbiory atrybutów spełniające określone warunki. Wszystkie te operacje dotyczą atrybutów o charakterze jakościowym lub ilościowym i wyrażonych w postaci tekstu lub liczb.

Większość baz danych, zarówno wbudowanych w geograficzny system informacyjny jak i zewnętrznych, zwykle w sposób jawny dokonuje opisanych operacji, umożliwiając śledzenie przebiegu transakcji przez użytkownika. Niekiedy stosuje się podwójne rozwiązanie umożliwiające krok po kroku śledzenie operacji na atrybutach, zatrzymanie działania procedury lub przywrócenie stanu początkowego. Oczywiście spowalnia to znacznie działanie, ale użytkownik kontroluje jakość nowo wykreowanych danych.

Dostęp do zbioru atrybutów w bazie danych powinien być tak zorganizowany, aby mogła z niego korzystać jak największa liczba użytkowników. Zawartość bazy danych jest dla użytkownika nieprzejrystą masą informacji i dopiero w momencie, gdy znane są nazwy pól rekordów, jej struktura staje się bardziej zrozumiała. Do tego celu stosuje się słowniki danych (ang. data dictionary) definiujące zawartość plików w bazie. Dla danych ilościowych są dostępne w bazie danych wszelkie operacje arytmetyczne, statystyczne, wykonywane na polach (na kolumnach) i na rekordach (na wierszach) oraz między tablicami. Z punktu widzenia użytkownika może być niewygodnie wypełniać lub przeglądać taką tablicę danych wierszami lub kolumnami. Dlatego też DBMS posiadają zdolność do kreowania na ekranie monitora dowolnego układu pól w rekordzie (ang. view), odpowiadającego np. wyglądowi aktual-

nie wprowadzanej ankiety statystycznej, jakkolwiek zasadnicze mechanizmy w relacyjnej bazie danych pozostają niezmienione.

Oprócz danych ilościowych i jakościowych, bazy danych mogą operować jeszcze dodatkowymi typami danych. Mogą to być np. dane logiczne, daty i notatki. Dane logiczne mogą przybierać tylko jedną z dwóch wartości – prawda albo fałsz (1 lub 0, .T. lub .F.). Dostępne są dla nich wszelkie operacje logiczne. Dla dat funkcjonują specjalne operacje umożliwiające określenie następstwa lub różnicy w czasie. Notatki – to rodzaj danych, odnośników – umożliwiających zapisanie uwag dotyczących danego rekordu (obiektu, zjawiska geograficznego), które nie mieszczą się w strukturze bazy danych ze względów merytorycznych, a mogą okazać się przydatne (np. własne wrażenia, opisy zdarzeń itp.). Z reguły mają charakter obiektów (ang. Large Objects – LOB).

Przy bardzo dużych zbiorach danych z reguły są one wprowadzane w sposób nieuporządkowany, tzn. obiekty i zjawiska lub procesy geograficzne opisywane cechami ilościowymi i jakościowymi (znakowymi, logicznymi, daty) występują w dowolnej, często losowej kolejności. Przy kilkunastu tysiącach rekordów wszelkie operacje zajmują bardzo dużo czasu. Dlatego też bazy danych zawierają procedury indeksowania. Indeksacja porządkuje plik umożliwiając szybki dostęp do żądanych informacji. Użytkownik nie musi wiedzieć, jak dokonuje się indeksowanie rekordów, chociaż korzysta z takich plików danych.

Komendy wyszukiwania warunkowego i sortowania pozwalają wybrać odpowiednie dane w polach i rekordach, uporządkowane w sposób nadający się jako punkt wyjścia do dalszych operacji lub wizualizacji. Wynikiem takich transformacji są nowe dane, związane ze zbiorem badanych obiektów geograficznych przez identyfikatory i zapisane w nowych tablicach. Zdolność generowania nowych kolumn i wykorzystywania tych danych w nowych procesach jest istotną właściwością bazy danych.

Zabezpieczenie przed omyłkowym skasowaniem, dostępność dla użytkowników oraz prawo wprowadzania zmian w strukturze danych stanowią jeden z ważnych elementów pracy w systemach wielodostępnych. Użytkownicy komputerów osobistych powinni także brać pod uwagę te elementy. Język komend z reguły udostępnia narzędzia pozwalające chronić zbiory danych (dostęp za pomocą hasła, oznaczenie rekordów lub plików jako niemożliwych do usunięcia).

Wyniki transformacji danych nie mają służyć dalszym procesom przetwarzania, zwykle wychodzą z bazy danych w postaci standardowych raportów, tj. wydruku zawartości pliku w formie odpowiadającej tablicy z podziałem na strony. Użytkownik może zdefiniować formę, wygląd zewnętrzny raportu, a następnie zapisać go w postaci pliku. Szablon raportu (ang. template) przydatny jest później, gdyż można do niego podstawiać dane z różnych map i tabel, ale zawierających tablice o tych samych nagłówkach. Stanowi także istotny element umożliwiający standaryzację procedur powtarzalnych w bazie danych.

Spójność bazy danych wymaga stosowania się do pewnych reguł.

- Dane w bazie powinny być jak najbardziej szczegółowe i dotyczyć najmniejszych powierzchniowo lub najbardziej elementarnych zjawisk, procesów czy regionów geograficznych.
- Wszelkie dane powinny mieć charakter absolutny, najlepiej niech będą to informacje jak najbardziej surowe, opisywane jednym mianem. W cyfrowej geograficznej bazie danych w tablicach atrybutów nie muszą znajdować się informacje dotyczące np. pola powierzchni, długości czy obwodu (np. granicy). Te informacje będą wygenerowane z plików zawierających dane o lokalizacji przestrzennej zjawisk. Zbędne są wskaźniki względne (udziały procentowe, gęstość zaludnienia) lub klasy zjawisk, gdy w bazie danych znajdują się informacje, z których można je utworzyć.
- Struktura bazy danych powinna być tak zorganizowana, aby informacje nie powtarzały się w różnym kontekście w różnych relacjach, np. tablica zawierająca zbiór informacji nt. miast i m.in. opis funkcji miasta oraz wielkości zatrudnienia w poszczególnych działach gospodarki, jak również tablica definiująca funkcje miast poprzez wyliczenie w kolejnych kolumnach wielkości granicznych zatrudnienia w poszczególnych działach.



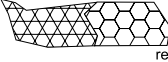
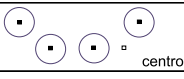
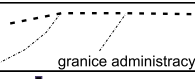
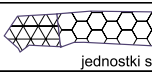
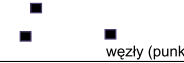
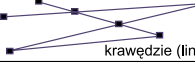
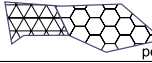
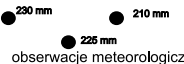
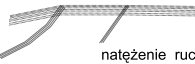

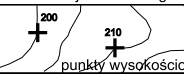


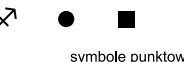
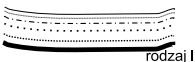



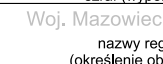
Dane uogólnione, względne lub w podziale na klasy i powtarzające się są danymi efemerycznymi i mogą bardzo szybko zapełnić dysk komputera, nie zostawiając miejsca na rzeczywiste, nowe dane w bazie. Baza atrybutów nieprzestrzennych jest tylko częścią, niemniej stanowi ważny element systemu geoinformacyjnego. Cyfrowa geograficzna baza danych może być konstrukcją myślową złożoną w rzeczywistości z dwóch lub więcej systemów, zewnętrznej bazy danych atrybutów i wewnętrznej bazy danych GIS operujących danymi o lokalizacji. Jedynym powiązaniem między nimi jest identyfikator, łączący atrybuty z danymi przestrzennymi. System geoinformacyjny to zbiór programów zawierających także wewnętrzny system zarządzania bazą danych atrybutów umożliwiających przetwarzanie danych i ich równoczesne zobrazowanie w postaci mapy.

## **Tworzenie bazy danych przestrzennych**

Wprowadzanie danych, opisujących położenie obiektów w przestrzeni, odbywa się z jednego lub kilku dokumentów źródłowych, najczęściej map, w wybranym odwzorowaniu i w określonej skali.

Tworzenie bazy danych o lokalizacji rozpoczyna rejestracja mapy i sformułowanie jej opisu (lub tytułu). Procedura zwykle sprowadza się do określenia unikatowej nazwy mapy, wyróżniającej ją w bazie danych, ewentualnego krótkiego opisu zawartości (to ważny element, gdy pracuje się z kilkunastoma mapami) i wyboru punktów kontrolnych. Punkty kontrolne to miejsca o dokładnie zdefiniowanych współrzędnych. Będą one występować na

każdym dokumencie stanowiącym źródło informacji o danych przestrzennych. Dalszy tok postępowania zależy od sposobu zapisu danych o lokalizacji, tj. formatu zapisu.

	PUNKTY	LINIE	OBSZARY
OBIEKTY	 studnie	 drogi	 regiony
JEDNOSTKI POWIERZCHNIOWE	 centroidy	 granice administracyjne	 jednostki spisowe
TOPOLOGIA	 węzły (punkty)	 krawędzie (linie)	 poligony
DANE POMIAROWE	 obserwacje meteorologiczne	 natężenie ruchu	 poligony badawcze
DANE POWIERZCHNIOWE	 punkty wysokościowe	 poziomice	 spadki
SYMBOLE GRAFICZNE	 symbole punktowe	 rodzaj linii	 szraf (wypełnienie)
NAPISY NA MAPACH	 nazwy miejscowości	 nazwy rzek	 nazwy regionów (określenie obszaru)

Rys. 11. Dane geograficzne i przykłady ich reprezentacji w systemie GIS (źródło: Dangermond, 1984, zmienione)

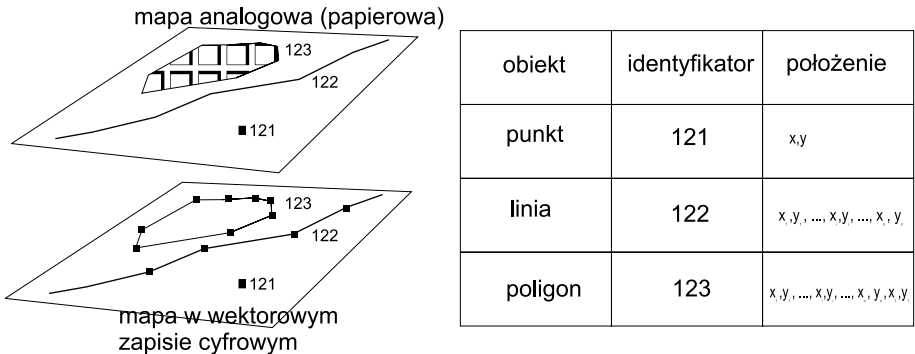
Z punktu widzenia użytkownika na mapie czy zdjęciu lotniczym znajduje się szereg punktów, linii, powierzchni i napisów. Na różnych etapach pracy te same obiekty pojawiają się w różnym kontekście i inaczej są traktowane przez procedury systemu GIS.

## Format wektorowy zapisu danych

Reprezentacja wektorowa mapy cyfrowej sprowadza się do jak najdokładniejszego odzwierciedlenia geometrii i topologii mapy: rozmieszczenia linii, punktów i figur zajmujących pewne powierzchnie. Dane o lokalizacji obiektu: punktu (ang. point feature), linii (ang. line feature), powierzchni (ang. area feature, polygon) są pamiętane w postaci współrzędnych dokumentu źródłowego. Reprezentacja wektorowa mapy zakłada ciągłość przestrzeni, definiując precyzyjnie lokalizację obiektów oraz ich wymiary. Punkty są określone pojedynczą parą (X,Y) lub trójką (X,Y,Z) współrzędnych (Z określa wysokość). Linie są zdefiniowane przez co najmniej dwie różne pary współrzędnych. Podobnie jako zbiór współrzędnych zapisywany jest poligon, przedstawiający obiekt powierzchniowy.



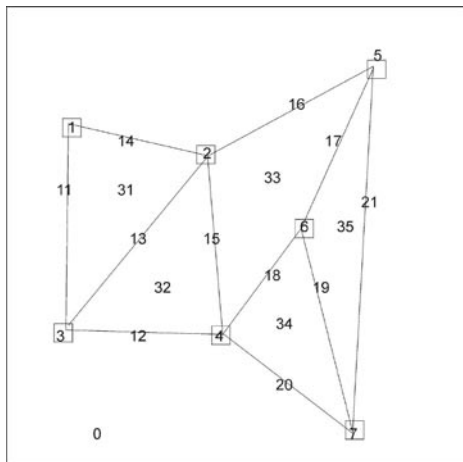
Geometryczne kodowanie modelu wektorowego jako ciągu współrzędnych w kolejności przebiegu linii (krawędzi poligonu) to tzw. prosty model wektorowy (ang. spaghetti model, the whole polygon structure, Magnuszewski, 1999), bezpośrednio odtwarzający rysunek analogowy, cechujący się prostotą zapisu. Przy większej liczbie obiektów powstaje jednak redundancja – wspólne linie (granice poligonów) zapisywane są dwukrotnie, a zależności przestrzenne (np. wzajemne położenie względem kierunków świata) i topologiczne pomiędzy zapisywanymi figurami (wielobokami) są wyliczane w trakcie działania programu.



Rys. 12. Format wektorowy zapisu danych przestrzennych

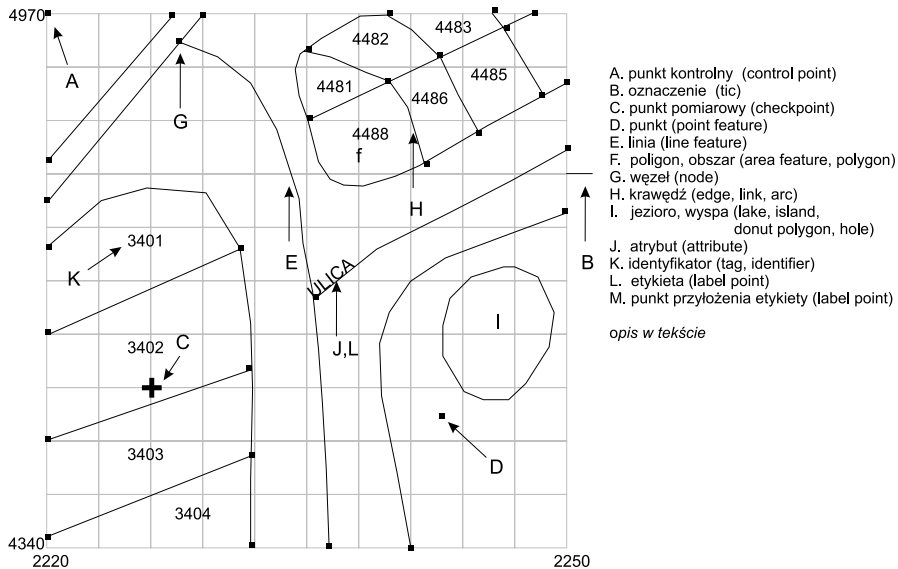
W modelu topologicznym zapisu wektorowego równocześnie z kodowaniem współrzędnych kartezjańskich buduje się w bazie danych obok obrazu geometrycznego – obraz topologiczny, w którym wyraża się wzajemne, względne rozmieszczenie punktów, linii i poligonów. W teorii grafów stanowiącej podstawę rozważania związków topologicznych punktom odpowiadają węzły, liniom – krawędzie. Pojęcie poligonu zostało zaczerpnięte z teorii grafów. Każdy punkt (węzeł), linia (krawędź) i poligon mają swoje identyfikatory. Model topologiczny zapisu pozwala zachować właściwości geometryczne obiektów bez względu na transformacje geometryczne obrazu. Podstawowym warunkiem poprawnego zapisu modelu topologicznego jest dokładność, łączenie się krawędzi w miejscach lokalizacji węzłów i domknięcie poligonów.

Relacje topologiczne nie muszą być zapisywane, lecz mogą być odtwarzane w trakcie pracy programu, przy wykorzystaniu bardzo szybkich algorytmów jedynie z zapisu współrzędnych prostego modelu wektorowego.



Zapis topologiczny poligonów – identyfikatory					Identyfikator węzła	Współrzędne	
Nr krawędzi	Nr prawego poligonu	Nr lewego poligonu	Nr węzła	Nr węzła		X	Y
11	31	0	3	1	1	$x_1$	$y_1$
12	32	0	4	3	2	...	...
13	32	31	3	2	3	...	...
14	31	0	1	2	4	...	...
15	33	32	4	2	5	...	...
16	33	0	2	5	6	...	...
17	33	35	5	6	7	...	...
18	34	33	6	4			
19	35	34	7	6			
20	34	0	7	4			
21	35	0	5	7			

Rys. 13. Przykład kodowania topologicznego



opis w tekście

Rys. 14. Elementy mapy cyfrowej w modelu topologicznym formatu wektorowego zapisu

Rozwiązania reprezentacji wektorowej mapy mogą różnić się w szczegółach dla różnych geograficznych systemów informacyjnych. Zawierają zwykle jednak elementy:

- A. punkt kontrolny (control point)
- B. oznaczenie (tic)
- C. punkt pomiarowy (checkpoint)
- D. punkt (point feature)
- E. linia (line feature)
- F. obszar, poligon (area feature, polygon)
- G. węzeł (node)
- H. krawędź (edge, link, arc)
- I. wyspa (island, donut polygon, hole)
- J. atrybut (attribute)
- K. identyfikator (identifier, tag)
- L. etykieta (label)
- M. punkt przyłożenia etykiety (label point)

- A. punkt kontrolny – ma zwykle formę pary współrzędnych (X,Y) np. długości, szerokości geogr. lub siatki kilometrowej. Znając współrzędne kartezjańskie, geograficzne i odwzorowanie kartograficzne, można związać mapę cyfrową z dokumentem źródłowym i z powierzchnią Ziemi. Każdy dokument źródłowy powinien posiadać kilka punktów kontrolnych (co najmniej cztery). Punktami kontrolnymi mogą być punkty charakterystyczne mapy. Najczęściej są nimi oznaczenia, węzły siatki kilometrowej lub punkty sieci geodezyjnej, a także charakterystyczne punkty terenowe. Topologicznie punkt kontrolny jest węzłem.
- B. oznaczenie – punkt przecięcia siatki kartograficznej z ramką mapy. Często są wykorzystywane jako punkty kontrolne. Topologicznie oznaczenie jest węzłem.
- C. punkt pomiarowy – w trakcie digitalizacji wykorzystuje się punkt pomiarowy do sprawdzenia, czy mapa nie przesunęła się, np. na pulpicie digitizera. Topologicznie punkt pomiarowy jest węzłem.
- D. punkt – obiekt geograficzny, który może być opisany przez pojedynczą parę lub trójkę współrzędnych np. na mapach wielkoskalowych: studnia, słup linii wysokiego napięcia; na mapach o małej skali: wioska, małe miasto. Punkt posiada identyfikator i może być związany z wieloma atrybutami. Jest równocześnie węzłem.
- E. linia – obiekt geograficzny, który może być opisany przez zbiór par współrzędnych, np. linia kolejowa, droga, rzeka. Linie łączą się ze sobą formując sieć, dla której istotny jest także zapis powiązań. Linia ma identyfikator i może być związana z wieloma atrybutami. Topologicznie linia jest krawędzią.

- F. obszar, poligon – obiekt geograficzny, który może być opisany przez zbiór par współrzędnych; topologicznie formuje go łańcuch węzłów i krawędzi. Poligonowi przypisany jest identyfikator i może być związany z wieloma atrybutami, jak również przypisane mogą mu być etykiety.
- G. węzeł – obiekt topologiczny; może być obiektem geograficznym (punktem), o określonych współrzędnych i identyfikatorze. Lokalizuje miejsca, łączenia się linii (krawędzi) lub ich przecięcia z brzegiem arkusza mapy. Jako obiekt topologiczny może wystąpić wzdłuż linii (krawędzi), zaznaczając jej przebieg.
- H. krawędź – obiekt topologiczny, łączący dwa węzły. Jest zbiorem par współrzędnych, opisanych identyfikatorem. Może być obiektem geograficznym (linią).
- I. wyspa – obszar wewnętrzny, poligon wewnętrzny – obiekt geograficzny, obszar, całkowicie otoczony przez inny obszar. Nie posiada żadnych krawędzi łączących go z innym obszarem. Wyspie przypisany jest identyfikator i może być związana z wieloma atrybutami, jak również przypisane mogą jej być etykiety. Obszar otaczający wyspę czasami nazywany jest poligonem otaczającym (ang. envelope polygon).
- J. atrybut – część informacji o obiekcie geograficznym dodana do jego współrzędnych. Obiekt może mieć wiele atrybutów.
- K. identyfikator – atrybut kluczowy, deskryptor; większość systemów geoinformacyjnych w miarę zapisywania kolejnych obiektów geograficznych i topologicznych nadaje im kolejny tzw. numer wewnętrzny. Z tym numerem związany jest atrybut, który użytkownik nada obiektowi (deskryptor). Z deskrytorem związane są z kolei pozostałe atrybuty bazy danych. Niektóre systemy, nadając własny numer wewnętrzny, pozwalają równocześnie na to, aby atrybut kluczowy nadany przez użytkownika był związany z więcej niż jednym obiektem.
- L. etykieta – jest jednym z atrybutów, istotnym z punktu widzenia użytkownika, gdyż jest to nazwa obiektu geograficznego, którą zwykle umieszcza się obok niego na mapie. Etykieta może być identyfikatorem.
- M. punkt przyłożenia etykiety – węzeł określający położenie etykiety względem obiektu.

W bazie danych przestrzennych w formacie wektorowym powstaje zbiór tablic, z których każda przeznaczona jest dla innego rodzaju obiektów topologicznych. Dla węzłów koduje się tylko identyfikator i współrzędne; dla linii (krawędzi) buduje się dwa rodzaje tablic: rekord pierwszej zawiera identyfikator i ciąg par współrzędnych opisujących przebieg linii. Rekord drugiej obejmuje opis połączeń topologicznych: zawiera identyfikator linii, identyfikatory węzłów: początkowego i końcowego oraz (opcjonalnie) wszystkich pośrednich wyznaczających przebieg krawędzi oraz poligonów po lewej stronie (lub nad) i po

prawej stronie (pod linią). Dla poligonów obok zapisu identyfikatorów i współrzędnych buduje się tablicę zawierającą możliwie pełny obraz topologiczny: własny identyfikator poligonu, wszystkich krawędzi ograniczających oraz sąsiadujących poligonów. Niekiedy dodatkowymi informacjami zapisywanymi w bazie są dla linii – długość wyrażona w jednostkach założonych przez użytkownika, pole powierzchni poligonów oraz zakres wartości X i Y wyznaczający prostokąt, w który poligon jest wpisany na mapie. Dane te są generowane przez odpowiednie procedury systemu geoinformacyjnego.

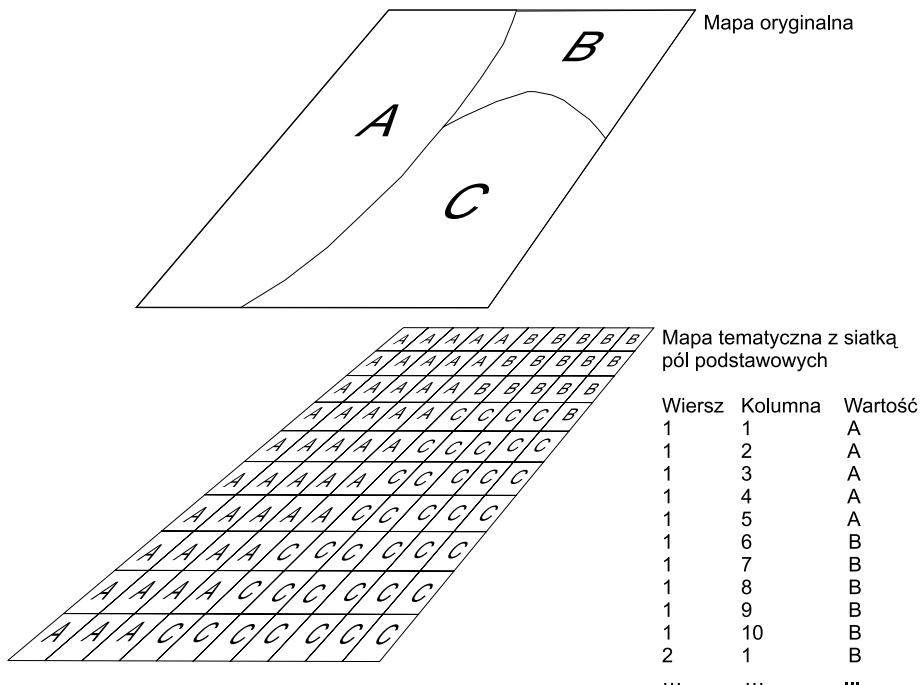
Zapis wektorowy map cyfrowych pozwala tworzyć pliki o względnie małej wielkości. Obiekty geograficzne na mapach wektorowych są precyzyjnie zlokalizowane za pomocą współrzędnych geograficznych. Modele topologiczne zapisu wektorowego pozwalają dodatkowo określić położenie geograficzne obiektów na mapie względem siebie. Geometrię i atrybuty nieprzestrzenne obiektów mapy wektorowej bardzo łatwo zmienić (zaktualizować). Z drugiej strony przy dużej liczbie obiektów geograficznych na mapie wytwarza się jednak złożona struktura danych zapisu wektorowego. Każda zmiana geometrii rysunku obiektów w modelu topologicznym zapisu wektorowego wymaga odbudowania całego zapisu topologii, a wykonanie niektórych funkcji (np. nakładania warstw wektorowych) jest czasochłonną operacją. Modele wektorowe zapisu prezentują na mapie tylko geometrię obiektów; aby uzyskać obraz zróżnicowania przestrzennego zjawisk, należy skorzystać z wbudowanych w oprogramowanie GIS funkcji analizy przestrzennej.

## Format rastrowy zapisu danych

Innym sposobem zapisu danych przestrzennych jest wykorzystanie siatki pól podstawowych (raster, grid, cell). Siatka pól podstawowych jest związana z geograficznym układem odniesienia (siatką kartograficzną, kilometrową) na dokumencie źródłowym poprzez punkty kontrolne.

Rozmiar i kształt pola może być dowolnie dobrany, odpowiednio do wykonywanego projektu/zadania. Jako pola z reguły wykorzystuje się figury proste, najczęściej kwadraty, utrzymując jednak zasadę lokalizacji pola poprzez określenie współrzędnej poziomej i pionowej. Im większy jest rozmiar pola, tym bardziej zgeneralizowana informacja o jego zawartości jest możliwa do zapisania w cyfrowej geograficznej bazie danych. W celu jak największego przybliżenia do rzeczywistości stosuje się bardzo małe rozmiary pól (kwadratów), przyjmując, że jedno pole odpowiada najmniejszej wymiarowo plamce świetlnej, jaką komputer jest zdolny wyświetlić na ekranie (piksel – picture element), lub najmniejszemu znakowi, jaki drukarka jest zdolna pozostawić na papierze. Ponieważ często dokumentem źródłowym dla zapisu rastrowego jest zdjęcie lotnicze lub satelitarne, przyjmuje się, że pikselowi odpowiada największa rozdzielczość, z jaką urządzenia teledetekcyjne zdolne są zareje-

strować obraz powierzchni Ziemi. Rozdzielczość lub skala danych rastrowych jest stosunkiem między rozmiarem pola w cyfrowej bazie danych i rozmiarem pola w rzeczywistości.



Rys. 15. Zapis danych przestrzennych w pliku o formacie rastrowym

U podłoża idei rastrowego zapisu danych przestrzennych leży pojęciowe rozumienie zapisu mapy analogowej jako dwuwymiarowej powierzchni, na której dane geograficzne nie są ciągłe, ale skwantyfikowane. Ma to istotny wpływ na ocenę np. pola powierzchni lub długości. Każdemu polu przypisuje się tylko trzy wartości: współrzędną poziomą (X), pionową (Y) oraz atrybut w postaci liczby lub ciągu znaków. Wartości przypisuje się polom, stosując konsekwentnie jedną z zasad:

- polu przypisuje się wartość, gdy jego powierzchnia jest pokryta w większej części przez dane zjawisko lub obiekt geograficzny;
- polu przypisuje się wartość, gdy chociaż drobny fragment jest pokryty przez dane zjawisko lub obiekt geograficzny;
- polu przypisuje się wartość, gdy dane zjawisko można zlokalizować w jego centrum;
- polu przypisuje się wartość, gdy granica zjawiska lub obiektu przecina je.

Kolejność kodowania i położenie poszczególnych wartości pól rastrowego tworzy macierz o początku układu w górnym, lewym rogu ekranu. Współrzędne odnoszą się zatem do numeracji wierszy i kolumn pól rastrowego.

Zbiór wartości charakteryzujących pola może być ciągły lub skwantyfikowany (dyskretny). Zbiór ciągłych danych może przybierać wartości z przedziału nieskończonego liczb (np. wysokość n.p.m.), albo wartości wynikające z zastosowania klas o pewnej szerokości przedziałów. W pewnych przypadkach zbiór dyskretny jest opisywany dwoma wartościami: 1 lub 0 (prawda albo fałsz) i reprezentuje występowanie zjawiska lub jego brak w polu. Ponieważ każdemu polu w siatce można przypisać tylko jeden deskryptor opisujący jedno zjawisko geograficzne, złożony z wielu zjawisk i obiektów geograficznych obraz mapy analogowej rozkłada się w reprezentacji cyfrowej na wiele warstw (ang. layers). Tak jak gdyby mapa składała się z szeregu folii nałożonych na siebie i na każdej narysowany byłby obraz jednej kategorii zjawisk.

Bardzo często najmniejsze pole, dla którego można określić współrzędne (x,y), traktuje się jako punkt.

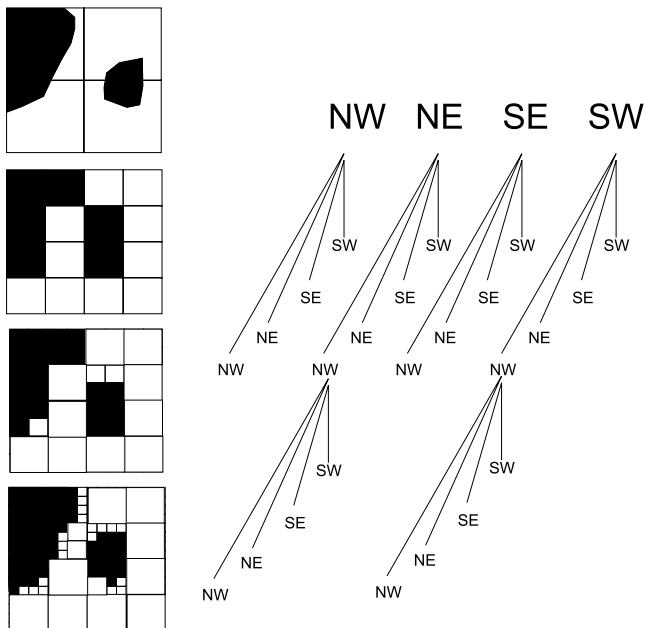
## Zapis w siatce pól o zróżnicowanej wielkości

Zapis danych o lokalizacji zarówno w formacie wektorowym jak i rastrowym daje w wyniku pliki o bardzo dużej objętości. Np. przyjmując rozdzielczość ekranu 1024×768, tj. 786432 pikseli – każdy opisany trzema liczbami (X,Y,Z) o wartościach z przedziału liczb całkowitych – można oszacować, że plik zajmie około 2.2Mb, tj. będzie odpowiadać ok. 2000-stronicowej książce (!). Dlatego też poszukuje się innych formatów zapisu, które zredukowałyby objętość plików danych, a co za tym idzie czas dostępu i przetwarzania. Jednym z rozwiązań jest format zapisu danych w siatce pól o zróżnicowanej wielkości (drzewo ćwiartkowe – ang. quad tree).

Punktem wyjścia jest format rastrowy zapisu danych. Przyjmuje się na początku, że siatka składa się z jednego wielkiego pola obejmującego całą mapę. Pole to dzieli się na cztery równe pod względem powierzchni kwadraty usytuowane tak, aby można było określić ich położenie względem środka symetrii warstwy poprzez kierunki róży wiatrów (NW,NE,SW,SE). Następnie w każdym z pól dokonuje się identycznej operacji. W ten sposób buduje się strukturę hierarchiczną (drzewo), w której każdy węzeł ma cztery odgałęzienia o wzajemnie jednoznacznie określonym kierunku świata.

Każdy węzeł jest opisany w sposób stały przez kombinację zer i jedynek. 1 – oznacza, że zjawisko występuje w polu, 0 – że nie. Kolejne miejsce zapisu jest na stałe przypisane kierunkowi róży wiatrów. W zapisie drzewa ćwiartkowego nie ma współrzędnych x i y. Tym formatem można jednak zakodować na jednej warstwie tylko jedno zjawisko (nawet nie zbiór zjawisk jednej kategorii). Jest to odmienny sposób traktowania zjawisk geograficznych. Przy zasto-

sowaniu formatu drzewa ćwiartkowego buduje się bazę danych w sposób hierarchiczny. Odmienny jest także sposób porównywania współwystępowania zjawisk, stwarzając pewne możliwości wykorzystania operacji logicznych. Wyobraźmy sobie dwie mapy np. zakodowane następująco:



Rys. 16. Przykład zapisu danych w formacie drzewa ćwiartkowego (quad tree)

poziom kodowania /mapy/	Poziom I	Poziom II			
Mapa I	1001	1100	0000	0000	1110
Mapa II	0111	0000	1100	0011	0001
Iloczyn	0001	0000	0000	0000	0000
Alternatywa	1111	1100	1100	0011	1111

Tab. 2. Obraz operacji logicznej iloczynu i alternatywy wykonany na warstwach zapisanych w postaci drzewa ćwiartkowego (quad tree)

Efekt jest interesujący, gdyż na różnych poziomach hierarchii (generalizacji) otrzymuje się odpowiednie wyniki graficzne. Szczególną cechą zapisu drzewa ćwiartkowego jest dopasowanie szczegółowości opisu (Magnuszewski, 1999). Zaletą jest także możliwość stosowania zróżnicowanych algorytmów generalizacji, zależnie od poziomu kodowania.



## Kodowanie pierścieniowe

Granica zjawiska, obiektu, regionu geograficznego może być określona przez kolejne numery odpowiadające kierunkom świata, np. E=0,N=1,W=2,S=3; kodowania dokonuje się przeciwnie do wskazówek zegara. Dodatkowo potrzebne są jeszcze współrzędne x i y punktu wyjścia oraz wartość pojedynczego kroku.

## Kodowanie według rzędów i kolumn

Polega na ustaleniu pewnej reguły zapisywania odnoszącej się do rzędów. Powtarzające się wartości pikseli w wierszach zapisywane są jako ciągi, określające wielokrotność powtórzeń wartości. Sposób kompresji metodą RLE (ang. run-length codes, RLE) jest bezstratny, tzn. po rozwinięciu zapisu (dekompresji) otrzymuje się dokładnie taki sam początkowy obraz rastrowy. Kompresja RLE najlepsze wyniki daje dla obrazów, które charakteryzują się dużą powtarzalnością wartości pól rastru w wierszach.

A	A	A	A	A	C	C	C	D	5A		3C		1D				
B	B	B	B	B	B	B	A	A	7B		2A						
C	C	C	A	A	A	A	A	A	3C		6A						
E	E	E	E	A	A	A	A	B	4E		4A		1B				
B	A	C	B	A	C	B	A	C	1B	1A	1C	1B	1A	1C	1B	1A	1C

Tab. 3. Przykład kodowanie wg rzędów i kolumn

## Kodowanie blokowe

Jest rozszerzeniem kodowania według rzędów i kolumn. Zapisuje się kolejno trójki liczb, pierwsza to numer wiersza, druga – numer kolumny a trzecia – zasięg bloku (mierzony iloczynem liczby pól i długości jednostkowej boku pola).

Model rastrowy jest prostą strukturą danych, w której każda mapa odpowiada osobnej warstwie tematycznej. Umożliwia bardzo łatwe i szybkie wykonanie niektórych funkcji (procedur) analizy przestrzennej systemu geoinformacyjnego (nakładania warstw, generalizacji). Operowanie równo wymiarowymi polami rastru (oczkami siatki – grid) ułatwia modelowanie zjawisk przyrodniczych (Magnuszewski, 1999). Jednakże wraz ze wzrostem rozdzielczości obrazu rastrowego i liczbą kolorów, przedstawiających poszczególne zjawiska, wielkość plików rastrowych staje się bardzo duża. Ponieważ model rastrowy danych operuje w zakresie pomiarów długości i powierzchni metryką miejską, obliczenia na mapach cyfrowych w tym mo-

delu dają jedynie przybliżone wyniki. Szereg funkcji dotyczących analizy sieci (dróg, infrastruktury) w modelu rastrowym jest zdecydowanie trudniej wykonać, ze względu na brak możliwości zapisu topologicznego obiektów geograficznych. Ponieważ mapa rastrowa prezentuje obraz skwantyfikowany zjawisk geograficznych, a początkowe odwzorowanie to układ prostokątnych kartezjańskich, każde przekształcenie odwzorowania geograficznego wiąże się z koniecznością dokonania transformacji dla każdego oczka siatki osobno i wiąże się z redystrybucją pikseli (Magnuszewski, 1999), co znacznie wydłuża procedurę. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku operacji generalizacji mapy rastrowej, która zmniejsza rozdzielczość rastru, ogranicza wielkość pliku i zwiększa wielkość pola rastru.

Systemy przetwarzające obrazy uzyskane ze zdalnej rejestracji powierzchni ziemi stanowią zasadniczo odrębne oprogramowanie, jakkolwiek ich powiązanie z systemami GIS jest oczywiste. Dane uzyskane z obrazów satelitarnych wymagają obróbki numerycznej i fotointerpretacyjnej, zanim można je wykorzystać w geograficznym systemie informacyjnym. Oprogramowanie w tej dziedzinie jest co najmniej tak samo rozwinięte jak geograficzne systemy informacyjne. Programy do przetwarzania obrazów teledetekcyjnych wykonują następujące działania:

- korekcja zniekształceń radiometrycznych (efekt atmosferyczny, oświetlenia oraz kontroli poprawności transmisji obrazu);
- korekcja zniekształceń geometrycznych – wynikających z ruchu wirowego i krzywizny powierzchni Ziemi oraz pozycji, szybkości i wysokości satelity; najbardziej zbliżone do procedur GIS są operacje nakładania na siebie obrazów lub obrazów na mapy cyfrowe, zmiana skali oraz wykrywanie podobieństwa między grupami pikseli;
- analiza radiometryczna obrazu – polegająca na przekształcaniach wartości pikseli przez obliczanie częstości występujących wartości i wyrównywanie histogramu danych (przeklasyfikowanie);
- analiza geometryczna obrazu – polegająca na przeklasyfikowaniu danych, np. przez wygładzenie wartości; ta grupa technik obejmuje także wykrywanie kształtów obiektów;
- analiza przekształcenia obrazów wielospektralnych i redukcja danych, wykorzystujących szereg metod statystyki i matematyki, począwszy od najprostszych operacji arytmetycznych wykonywanych na wartościach bitów do analizy kowariancji i składowych głównych;
- grupowanie i klasyfikacja – wykorzystujące wspomniane uprzednio procedury grupowania pikseli według różnych kryteriów związanych z ich wartością lub rozmieszczeniem, np. na zasadzie największego podobieństwa, najmniejszej odległości, wykonywanych pod nadzorem użytkownika lub bez nadzoru.

Oprócz tego systemy RS (remote sensing) wykorzystują pełną paletę komend kontroli środowiska i programu łącznie z przekształceniem odwzorowań.

## **Format zapisu lokalizacji dla obiektowo zorientowanych struktur danych**

Twórcy systemów geoinformacyjnych korzystali z doświadczeń informatyki, adaptując jej metody i przekładając algorytmy metod badawczych geografii w formę procedur i podprogramów. Idea obiektowo zorientowanych struktur danych także wyszła z informatyki (język Prolog), ale wydaje się, że jest bliższa myśleniu geograficznemu człowieka. Nie oznacza to, że zapis danych przestrzennych (format wektorowy, rastrowy) nie będzie wykorzystany w bazie danych zorientowanej obiektowo. Różnica polega na hierarchicznym związaniu poszczególnych obiektów i organizacji danych. Dotychczasowe próby rozwiązań opierały się m.in. na najbliższym programowaniu obiektowemu formacie zapisu drzewa ćwiartkowego (Badij N., 1990).

## **Komponenty przestrzennej bazy danych**

Cyfrowa geograficzna baza danych składa się z plików zawierających atrybuty oraz dane o lokalizacji obiektów. Elementem wiążącym obydwie typy danych jest unikalny identyfikator nadawany każdemu obiektowi w trakcie wprowadzania. Czym innym jest jednak fizyczna alokacja i rozmieszczenie plików w pamięci komputera, a czym innym jej pojęciowa logiczna konstrukcja ułatwiająca użytkownikowi dostęp do żądanych informacji. Przekładnię między tymi dwoma aspektami: technicznym i logicznym zapewniają odpowiednie procedury zarządzania systemem bazy danych (DBMS). Informacja w bazie może być zorganizowana z punktu widzenia lokalizacji lub tematycznie. Użytkownika nie interesuje, jak ta informacja i gdzie fizycznie zostanie zapisana. Natomiast musi on sobie zdawać sprawę z pojęciowej i logicznej organizacji bazy danych oraz jak tę informację zidentyfikować.

Tematyczna organizacja bazy danych operuje pojęciem warstwy, (ang. layer, coverage) zawierającej obiekty.

Organizacja danych przestrzennych według lokalizacji operuje pojęciem warstwy, strony (tile, page). Baza danych jest dzielona analogicznie jak mapy na arkusze, w których umieszczone są obiekty geograficzne sąsiadujące ze sobą w przestrzeni.

W niektórych systemach geoinformacyjnych użytkownik ma możliwość utworzenia dowolnej wersji mapy cyfrowej przez nakładanie na siebie zapisanych w bazie danych warstw tematycznych. Tzn.: jeżeli zostanie zaktywizowana warstwa określona nazwą „hydro”, na mapie wyświetlonej na monitorze pokażą się np. wody powierzchniowe regionu, ale w granicach zdefiniowanych przez za-

kres współrzędnych, tworzących tzw. okno. Aktywizując z kolei obiekty oznaczone atrybutem kluczowym „wieś”, można dołączyć do tej mapy wszystkie wsie mieszczące się w oknie itd., itd. Zmieniając wymiary okna (zmiana skali), zmienia się także liczbę obiektów geograficznych na mapie. Tak skonstruowaną mapę można zapamiętać w bazie danych w postaci nowego pliku. Oczywiście jakość danych przestrzennych jest tylko taka, jak na dokumencie źródłowym i zmiana skali mapy wirtualnej jest tylko prostym powiększeniem lub pomniejszeniem obrazu.

## Wprowadzanie danych przestrzennych

Wprowadzanie danych przestrzennych to proces konwersji informacji zakodowanych na mapie analogowej, zdjęciu lotniczym, obrazie satelitarnym do formatu czytelny dla systemu geoinformacyjnego. Wprowadzanie atrybutów dokonuje się niezależnie od danych o położeniu obiektów. Można rozróżnić kilka technik wprowadzania danych do systemu geoinformacyjnego.

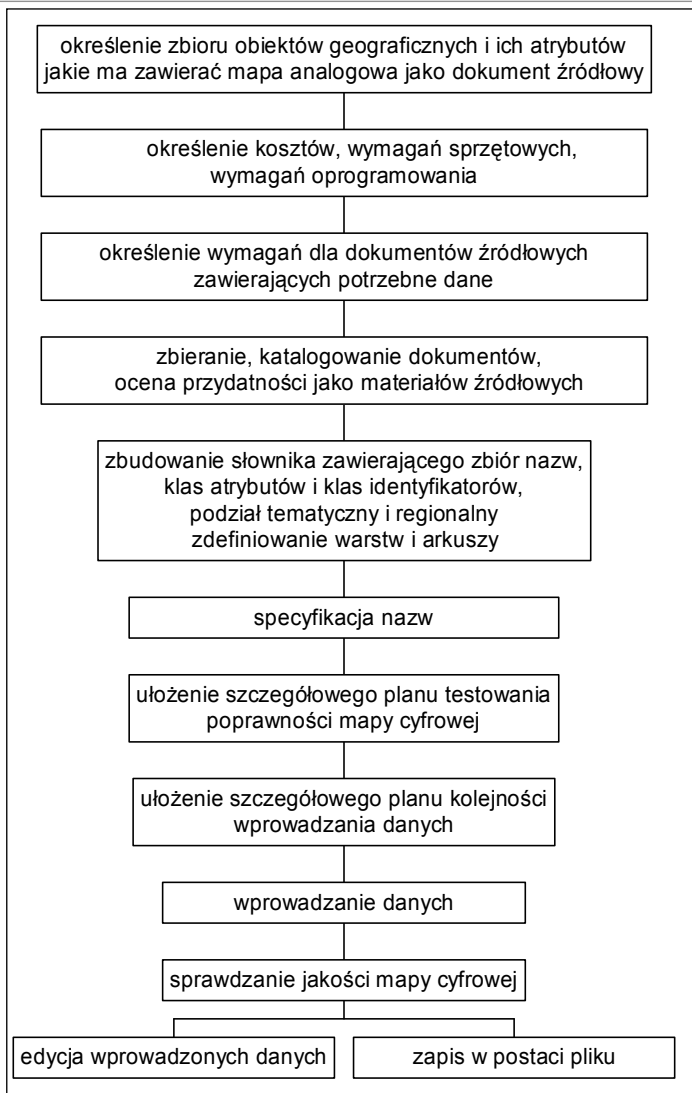
1. **Kodowanie danych geograficznych w polach.** Jest to ręczne kodowanie danych związane z formatem rastrowym. Na dokument źródłowy nakłada się siatkę pól podstawowych i wybiera dominujący lub należący do danej kategorii obiekt geograficzny. Kod obiektu jest wprowadzany z klawiatury komputera i zapisywany w pliku.
2. **Topologiczne kodowanie obiektów map.** Jest to ręczne kodowanie na podstawie mapy związków każdego punktu, linii lub poligonu w stosunku do przylegających do niego obiektów. Dane są wprowadzane z klawiatury w postaci kodów identyfikacyjnych węzłów początkowych, końcowych, krawędzi, poligonów położonych na lewo i na prawo od krawędzi, które są zapisywane automatycznie do pliku.  
Techniki ręcznego kodowania zarówno obiektów topologicznych jak i pól są procedurami występującymi w prawie wszystkich systemach geoinformacyjnych, ale wykorzystywane są na etapie edycji, weryfikowania już wprowadzonych map lub aktualizacji danych. Najczęściej procedury te wykorzystują edytor ekranowy (ang. screen locator device) oraz podprogram weryfikacji danych, którego zadaniem jest wyszukanie i zmiana wartości pola podstawowego lub własności topologicznych. Cursor graficzny wskazuje określone pole lub obiekt topologiczny na obrazie wyświetlonym na monitorze. Zmiany redakcyjne są wykonywane z klawiatury komputera lub za pomocą klawiszy umieszczonych na myszy.
3. **Instrumenty geodezyjne.** Wprowadzanie danych przestrzennych z pomiarów geodezyjnych. Zwykle dokonywane jest poprzez ręczne wprowadzanie z klawiatury komputera współrzędnych  $x$  i  $y$  lub odległości między obiektami. W trybie interaktywnym wykorzystuje się przy tym lokator ekranowy i procedury przeliczania własności geometrycznych obiektów.

tów na współrzędne kartezjańskie. Współcześnie wykorzystywane instrumenty geodezyjne mogą być bezpośrednio połączone z komputerem, umożliwiając automatyczne przekazywanie danych pomiarowych.

4. **Digitizer ręczny.** Wprowadzanie danych przestrzennych za pomocą digitizera (ang. digitizing tablet). Digitizer zamienia ruchy celownika przesuwanego ręcznie lub półautomatycznie na mapie na ruchy kursora graficznego na ekranie. Położenie celownika jest odczytywane przez program i zapisywana w formie współrzędnych  $x,y$  automatycznie do pliku. Digitizer jest bardzo dokładnym urządzeniem, może zapisywać pozycję każdego punktu lub linii zarówno w trybie dyskretnym (punkt po punkcie) jak i w trybie ciągłym w miarę przesuwania celownika na mapie. Współpracując z odpowiednim oprogramowaniem umożliwia także tworzenie zbiorów danych o formacie rastrowym.
5. **Digitizer automatyczny.** Współczesne digitizery umożliwiają automatyczne śledzenie linii, zbierając równocześnie i zapisując dane do pliku. Linia dzielona jest na odcinki i głowica śledząca przesuwa się od węzła do węzła, zapisując ciąg współrzędnych. Specjalny program interpretacyjny umożliwia pełne zrekonstruowanie topologii obrazu na podstawie tych współrzędnych.
6. **Urządzenia teledetekcyjne.** W teledetekcji są wykorzystywane różne urządzenia zbierające bezpośrednio informacje dotyczące położenia obiektów oraz atrybutów w postaci obrazu rastrowego. Zasada ich działania polega na wykorzystaniu CCD (ang. Charge Couple Device), podobnie jak skanerów i cyfrowych aparatów fotograficznych. W zastosowaniach militarnych i cywilnych pojawiły się także naziemne systemy wspomagania badań topograficznych (DTSS – digital topographic support system).
7. **Skanery.** Są to urządzenia, które umożliwiają zapis obrazu w formacie rastrowym, mierząc natężenie odbitego światła od skanowanego dokumentu papierowego za pomocą wbudowanego elementu CCD. Obraz rastrowy uzyskany ze skanera zwykle wymaga dodatkowej edycji i rejestracji do układu współrzędnych lub konwersji do formatu wektorowego. Wykorzystywane są także tzw. stereoplotery analityczne: operator, ręcznie poruszając celownikiem, odczytuje wysokości – automatyzacja polega na natychmiastowej rejestracji trójki współrzędnych  $x,y,z$ .

Wprowadzanie danych przestrzennych jest jedną z najbardziej kosztownych czynności przy budowaniu bazy danych geograficznych. W obecnej chwili najczęściej wykorzystuje się digitalizację na ekranie komputera, pozwalającą uzyskać zapis wektorowy danych przestrzennych z zeskanowanych map i innych dokumentów.

Proces tworzenia mapy cyfrowej obejmuje nie tylko digitalizację, ale pewne, ustalone czynności, których kolejność przedstawiono na rys.. 17. (Marble, Lauron, 1984):



Rys. 17. Kolejne kroki w modelu wprowadzania danych przestrzennych w formacie wektorowym napisu

W praktyce użytkownik systemu geoinformacyjnego, pracując z jedną mapą analogową, tworzy wiele warstw tematycznych. Rejestrując mapę określa nazwę, skalę, jednostki miary i odwzorowanie. Te dane służą każdorazowo przy kolejnych podkładach do prawidłowego „umocowania” arku-

sza mapy cyfrowej razem z punktami kontrolnymi. Współrzędne punktów kontrolnych są wprowadzane z klawiatury komputera. W ten sposób tworzy się podkład wzorcowy (szablon, ang. template), wywoływany przy każdym kolejnym podkładzie tematycznym, zawierający te same punkty kontrolne.

Dokładność pomiaru digitizerem może być kontrolowana według następującej procedury: oprogramowanie GIS oblicza odległości między punktami ze współrzędnych wprowadzonych uprzednio przez użytkownika; w trakcie pomiaru digitizerem obliczane są te same odległości, ale wyrażone we współrzędnych kartezjańskich. Odległości z obu pomiarów sprowadza się do jednego miana i porównuje. Sam algorytm może być różnie skonstruowany, np. sprawdzeniem może być suma odchyłań.

Dane przestrzenne wprowadzane są zwykle w postaci węzłów i krawędzi. W większości programów GIS na ekranie monitora pojawia się obraz kolejno przenoszonych obiektów topologicznych. Rozróżnia się węzły i krawędzie już zapisane oraz dopiero zmierzone, ale jeszcze nie wprowadzone do pliku. Na ekranie mogą pojawić się obydwa rodzaje obiektów topologicznych, różnione np. rodzajem linii, symbolu (dla węzłów) lub kolorem. Zintegrowany program do digitalizacji wykorzystuje do wprowadzania poleceń klawisze lupy digitizera lub menu ekranowe (pojawiające się razem z obrazem). Każdemu z klawiszy przypisana jest określona komenda. Funkcje, które spełniają poszczególne komendy, wiążą się z operacjami przenoszenia i edycji współrzędnych punktów kolejno do buforu pamięci i do pliku danych. Parametry, które mogą być regulowane przez użytkownika, dotyczą m.in.: wyświetlania pozycji kursora graficznego na ekranie we współrzędnych geograficznych, automatycznego domykania poligonów lub nawiązania wprowadzanej linii do węzłów uprzednio wprowadzonych obiektów (ang. snap, common), wygładzania wprowadzanych linii (ang. spline), powiększania (ang. zoom) obrazu, przesuwania arkusza (ang. pan).

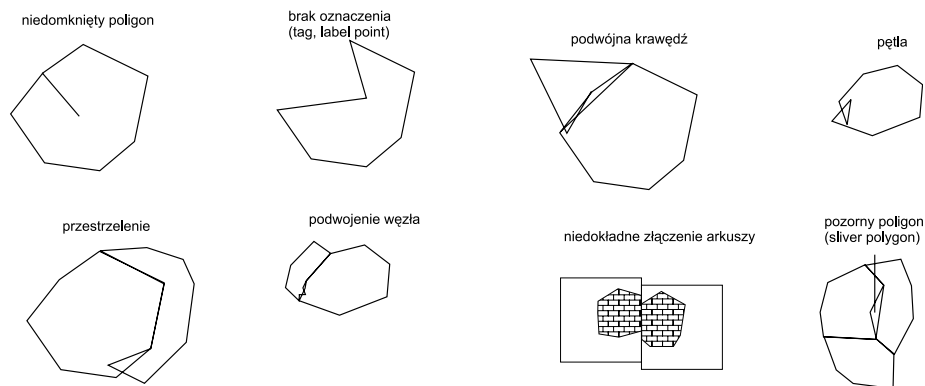
W trakcie wprowadzania współrzędnych węzłów, krawędzi i poligonów są one identyfikowane. Identyfikator może być nadawany przez użytkownika lub automatycznie. Ta operacja możliwa jest także w późniejszym etapie – edycji podkładu tematycznego, gdzie zwykle wykorzystuje się tylko lokator ekranowy. Na etapie edycji możliwe jest także określenie umiejscowienia napisów na mapie cyfrowej (ang. label points).

## **Edycja warstw**

Edycja warstw jest konieczna zarówno w przypadku plików zapisanych w formacie wektorowym jak i rastrowym. Pozwala automatycznie lub ręcznie usunąć błędy zaistniałe w trakcie wprowadzania danych. Procedury GIS mogą same wykryć pewne błędy i skorygować je albo tylko zaznaczyć ich obecność. Edycja może się dokonywać we współpracy z digitizerem lub

lokatorem ekranowym. Z reguły podprogramy GIS pozwalają na interaktywne wprowadzanie dodatkowych, usuwanie zbędnych i przesuwanie wprowadzonych węzłów i krawędzi. Edycja pliku wektorowego kończy budowanie struktury danych przestrzennych. Oznacza to określenie pełnej struktury wzajemnych relacji, w modelu topologicznym, jednoznacznie zidentyfikowanych obiektów punktowych, liniowych i poligonów (rys. 18). Do tego etapu należy jeszcze sprawdzenie poprawności połączenia krawędzi różnych arkuszy map oraz wydruk sprawdzający, przeznaczony do edycji wizualnej (ang. check plot).

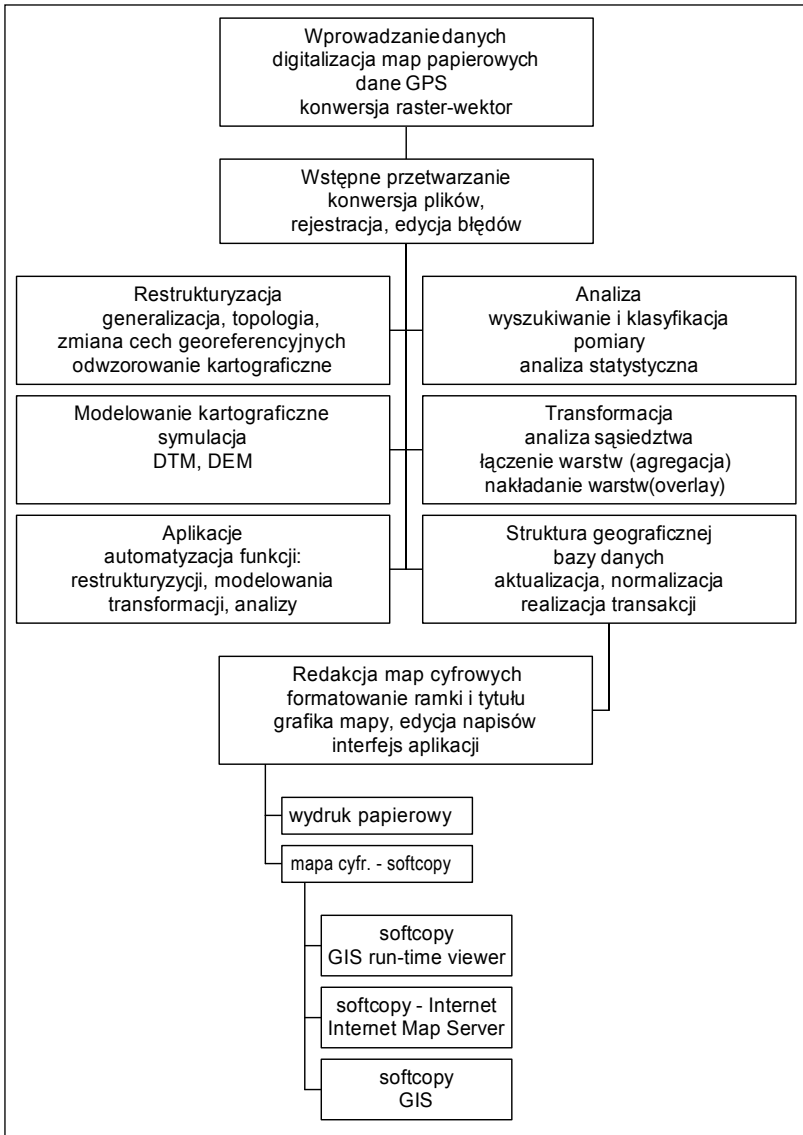
Dla plików o formacie rastrowym edycja sprowadza się do interaktywnego zmieniania wartości atrybutów przypisanych poszczególnym pikselom. Obraz graficzny warstwy może być wyświetlony na ekranie, a zmiana może dokonywać się przy pomocy kursora graficznego. Niektóre systemy geoinformacyjne pozwalają na interaktywne wyszukiwanie obiektów topologicznych lub pól i równoczesne wprowadzanie ich atrybutów do bazy danych.



Rys. 18. Możliwe do popełnienia błędy w trakcie wprowadzania danych w formacie wektorowym.

W trakcie pracy z systemem geoinformacyjnym edycja warstw tematycznych jest jedną z najczęściej wykonywanych operacji w trakcie wprowadzania (pozyskiwania) danych i stanowi punkt wyjścia do dalszych etapów przetwarzania danych, których wynikiem jest mapa w postaci cyfrowej lub wydruk (rys. 19). Operacje w systemie geoinformacyjnym dotyczą (zdaniami autora): restrukturyzacji, transformacji, analizy, modelowania kartograficznego, definowania i operowania geograficzną bazą danych oraz budowania aplikacji. Istnieje sprzężenie zwrotne pomiędzy poszczególnymi etapami pracy.





Rys. 19. Wprowadzanie, przetwarzanie i wydruk danych w systemie geoinformacyjnym (źródło: Urbański, 1997, zmienione)



## Rozdział IV

# Funkcjonalność systemów geoinformacji

## Przetwarzanie i analiza danych w systemach geoinformacyjnych

Większość możliwości GIS jako narzędzia analizy zjawisk geograficznych wywodzi się z modeli formalnych kartografii. Od kilku lat zauważa się stopniowy proces wypierania tradycyjnej mapy papierowej przez mapy numeryczne. Wśród badaczy panuje zgodność, że powodem tego jest m.in. możliwość szybkiej aktualizacji i reprodukcji map, co obniża koszty, brak problemu zniekształceń w trakcie przechowywania na nośnikach danych cyfrowych oraz łatwość posługiwania się i szybkość dostępu do bogatej informacji (Werner, Prokop, 1999).

Czy rzeczywiście GIS wykazuje przewagę nad tradycyjną kartografią i rozwiązuje wszystkie jej dotychczasowe problemy? Już samo zdefiniowanie systemów informacji geograficznej jako modelu świata rzeczywistego zakłada pewne ograniczenia i uproszczenia niezwykle skomplikowanych zjawisk geograficznych. W tradycyjnym ujęciu kartografia posuguje się znakami graficznymi, które są reprezentacją obiektów graficznych. Różnice np. między linią ciągłą a przerywaną nie wymagały dodatkowych wyjaśnień. Jeśli dane przestrzenne mają postać cyfrową, położenie i geometria obiektu terenowego powinny być zapamiętane z określoną dokładnością. Trudno jest jednak odpowiedzieć na pytanie „Gdzie jest brzeg płytkiej rzeki?” lub „Gdzie jest granica między dwoma typami gleby?” Tego typu pytania ujawniają paradoks, obarczonych niepewnością, danych geograficznych, które wykorzystywane są i w tradycyjnej kartografii i w systemach geoinformacyjnych. Robinson i Strahler (1984) stwierdzają, że systemy informacji geograficznej przechowują dane o nie do końca poprawnie zdefiniowanym środowisku przyrodniczym (zawierają niepewną reprezentację fragmentów rzeczywistości), ale za to z większą niż dotychczas precyzją. W odniesieniu do czysto technicznych aspektów produkcji map numerycznych istnieje nadal zapotrzebowanie na udoskonalenie metod automatycznego nadawania opisów obiektom na mapach, sposobów ich generalizacji czy automatycznej produkcji map ze zdjęć satelitarnych.

Zbudowana geograficzna baza danych to punkt wyjścia do właściwego zakresu operacji systemu geoinformacyjnego, realizowanego przez jego procedury. Liczba procedur służących do przedstawiania danych przestrzennych jest ogromna. Część z nich to procedury wyrosłe z gruntu geografii i dziedzin pokrewnych, algorytmy metod rozwiązywania problemów związanych z danymi przestrzennymi. Z punktu widzenia użytkownika komenda to czarna skrzynka. Jego zadaniem jest zdefiniowanie, co powinno być na wejściu i dobór odpowiednich parametrów. Ponadto powinien przynajmniej w ogólnych zarysach orientować się, co dana komenda powoduje i jaki będzie przypuszczalny efekt jej działania. Każda wydana komenda powinna być podporządkowana założonemu celowi analizy danych.

Fizyczna struktura bazy danych jest także nieistotna dla użytkownika. Geograficzna baza danych jest dla niego „czarną skrzynką”. Nie interesuje go, w jaki sposób zapisane są dane przestrzenne i atrybuty. Orientuje się jedynie co do zawartości tematycznej i regionalnej geograficznej bazy danych.

Procedury realizują przetwarzanie w obszarze roboczym. Każda zmiana wartości bazy danych jest odrębną operacją i wymaga potwierdzenia zapisu. Wykonanie zbioru komend w geograficznej bazie danych stanowi całą transakcję, której dokonanie należy potwierdzić (ang. committing).

O ile nie ma przeszkód w dopisywaniu nowego, to ponowne zapisanie już istniejącego w bazie danych elementu lub próba usunięcia go wywoła przynajmniej komunikat domagający się potwierdzenia. W systemach wielodostępnych i tam, gdzie decyduje administrator bazy danych, zwykle przed rozpoczęciem sesji, sprawdzane są uprawnienia użytkownika do wprowadzania zmian (np. przez konieczność podania hasła).

Celem systemów geoinformacyjnych jest przetwarzanie i analiza danych geograficznych zarówno w ich aspekcie przestrzennym jak i nieprzestrzennym. Procedury przetwarzania są ściśle związane z algorytmami, które wyrastają z metod geografii i kartografii. Znajomość zakresu tych operacji jest nieodzownym elementem świadomego postępowania użytkownika.

Procedur analizy i przetwarzania danych może być tyle, ile jest problemów geograficznych, dla których stosuje się odpowiednie metody. Właśnie w obecności tych procedur leży istota odróżnienia geograficznych systemów informacyjnych od programów wspomagających kartowanie (computer assisted cartography).

Z punktu widzenia użytkownika – GIS to zbiór metod operujących mapami lub obiektami geograficznymi na mapie. Formułuje on swoje żądania najpierw werbalnie, np. jaki jest związek przestrzenny między występowaniem określonego typu działalności człowieka a warunkami danego elementu środowiska przyrodniczego. Tradycyjną metodą rozwiązania takiego zagadnienia jest przedstawienie obydwu zjawisk na dwóch odrębnych mapach, na kalce, nałożenie ich na siebie i ocena zgodności. Ideałem zbioru procedur geograficznego systemu informacyjnego jest właśnie sprowadzenie całego działania użytkownika do możliwości tylko i wyłącznie werbalizowania swoich żądań w języku komend, np.:

- (A) mapa 1 .operator. mapa 2 → mapa wynikowa (np. rolnictwo.operator.gleby)
- (B) obiekt geograficzny, operator. → obiekt geograficzny o nowych cechach (np: wysokość n.p.m. .operator. → wysokość względna)
- (C) miasta .operator. → regiony węzłowe

Trzem przedstawionym wyżej przykładom odpowiadają wyodrębnione przez Berry'ego (1987) klasy operacji:

1. nakładania map (ang. overlay),
2. przeklasyfikowania (ang. reclassify),
3. charakterystyki sąsiedztwa, pomiaru odległości i powiązań (ang. neighbourhood).

Pojęć: operator i komenda użyto w powyższych przykładach zamiennie. Inteligentnie sformułowany algorytm programu powinien jednak uwzględniać fakt, że np. na wejściu potrzebne są dane zapisane formatem rastrowym i przynajmniej zasygnalizować niemożność wykonania operacji.

Zbiór komend systemu GIS można umownie podzielić, grupując je według kryterium funkcjonalności i celu działania na operacje dotyczące:

- analizy,
- restrukturyzacji,
- transformacji,
- modelowania i symulacji,
- konstrukcji struktury, aktualizacji i realizacji transakcji w geograficznej bazie danych;
- budowania aplikacji,
- przygotowania produktu końcowego systemu geoinformacyjnego, wydruku lub mapy cyfrowej (ang. hardcopy, softcopy).

Podział nie jest rozłączny, ma tylko umowny charakter i nie dotyczy etapu pozyskiwania danych. W każdym z wydzielonych zadań funkcjonalnych GIS można częściowo stosować zestawy powtarzających się komend. Jednak cel ich wykonania i uzyskane efekty w systemie geoinformacyjnym różnią się.

Sam etap pozyskiwania polega nie tylko na zebraniu danych początkowych – tabelarycznych i kartograficznych. To także szereg operacji na geograficznej bazie danych mających na celu ujednoczenie danych wyjściowych, przekształcenie odwzorowań oraz klasyfikację danych przy wykorzystaniu zapytań przestrzennych (ang. spatial query, geoprocessing).

## **Analiza, wyświetlanie i obrazowanie danych**

Łączna analiza danych kartograficznych i atrybutowych jest właściwa tylko oprogramowaniu GIS i odróżnia je od innych systemów informacyjnych.

W fazie pionierskiej rozwoju oprogramowanie GIS wykorzystywało szereg funkcji zaczerpniętych z metod wcześniej stosowanych technik analiz ręcznych (kartograficznych i geograficznych metod badania). Później zaimplementowano w programach funkcje oparte na metodach analizy ilościowej i przestrzennej, algorytmizując procedury. Do funkcji analizy przestrzennej zalicza się m.in.:

- przekształcenie odwzorowania kartograficznego i zmianę skali,
- funkcje selekcji i wyszukiwania,
- funkcje pomiarów i klasyfikacji,
- funkcje obliczeń statystycznych i matematycznych.

Funkcje analizy przestrzennej odróżnia od innych procedur implementowanych w systemie geoinformacyjnym to, że efektem ich działania nie jest generowanie nowych informacji w geograficznej bazie danych. Pozwalają one na wybór istniejących obiektów geograficznych (łącznie z atrybutami) lub na zobrazowanie (najczęściej w postaci mapy cyfrowej lub wykresu) klas obiektów.

Dobór odpowiedniego odwzorowania kartograficznego i dobór skali wyświetlania umożliwia lepszą wizualizację zjawisk przedstawionych na mapie cyfrowej. W przypadku oprogramowania GIS problem skali, rozumianej jako pewien poziom informacji, jaka może być zaobserwowana i przedstawiona na mapie, nabiera nowego znaczenia. System geoinformacyjny jest niezwykle elastycznym narzędziem umożliwiającym wprowadzanie i wypracowanie, w jednym systemie, map w różnych skalach oraz przeprowadzanie na nich operacji algebraicznych i analiz. Wbudowane funkcje pozwalają zastosować dużą liczbę odwzorowań, projektować własne i dokonywać wzajemnych transformacji. Nietrudno jest jednak wyobrazić sobie procedurę np. zdigitalizowania map w skali 1:25 000 i 1:200 000 i wydrukowania całości w skali tej pierwszej. W programach GIS brak jest wbudowanych jakichkolwiek ostrzeżeń w przypadku takiego wykorzystania danych z różnych źródeł i o różnym poziomie dokładności. Trzeba być świadomym, że przy pomocy oprogramowania GIS można produkować również śmieci, tyle że jeszcze szybciej i w znacznie atrakcyjniejszym opakowaniu. Identyfikacja „krytycznych progów”, przy których dane i ich struktura zmieniają się znacząco wraz ze zmianą skali, oraz rozwój metod inteligentnej generalizacji wydają się jednymi z podstawowych problemów do rozwiązania dla współczesnej kartografii numerycznej (por. rozdz. Transformacje danych przestrzennych).

Wraz z upowszechnieniem się graficznych interfejsów użytkownika (okna), wbudowanych w systemy operacyjne, oprogramowanie GIS uzyskało możliwość pracy w trybie WYSIWYG<sup>1</sup>. Niekiedy częścią systemu jest moduł prezentacji podglądu wydruku umożliwiający dodatkowo edycję takich elementów jak ram-

<sup>1</sup> WYSIWYG - what you see is what you get - co widzisz (na ekranie komputera), to otrzymasz

ka mapy, opis ramki, tytuł, skala (liczbowa lub liniowa) i innych. Każdy obszar roboczy może składać się z wielu okien: graficznych prezentacji map i dokumentów tekstowych (wyświetlających tabele bazy danych), konsoli rozkazów w trybie tekstowym, podglądu wydruków, zapisu kolejnych działań użytkownika (log). Elementem zmiennym w obszarze roboczym może także być zestaw komend menu (inny dla każdego obszaru), określony zbiór pasków narzędzi graficznych. Cała konfiguracja obszaru roboczego może być zapamiętana i odtworzona na żądanie użytkownika. Innej konfiguracji potrzebuje np. osoba projektująca aplikację programu GIS, a innej (z ukrytymi niektórymi oknami) użytkownik ją stosujący.

Ważną z punktu widzenia przetwarzania i analizy danych jest grupa komend umożliwiających nieomal natychmiastowe wyświetlenie na ekranie mapy zawierającej szereg obiektów geograficznych. W większości programów standardem jest natychmiastowe automatyczne odświeżanie okna graficznego mapy lub innych (tekstowych), po wprowadzeniu żądanych zmian (ang. refresh). Ta opcja ustawiana jest najczęściej w tzw. pliku preferencji przed rozpoczęciem właściwej pracy z programem. Dostępna jest także komenda umożliwiająca wyświetlenie informacji opisowej o obiekcie wskazanym przez kursor graficzny (ang. info). Pierwsza z procedur wymaga podania nazwy klasy lub nazw atrybutów, których obraz kartograficzny ma ukazać się na monitorze lub po prostu nazwy całej warstwy.

Wyjściem dla informacji zawartej w pliku danych może być każde z urządzeń peryferyjnych, a więc monitor, drukarka, ploter lub plik w pamięci komputera. Odpowiednia komenda menu ustala potrzebne urządzenie. Następną czynnością to związanie symboli kartograficznych (z dostępnego standardowego zestawu wbudowanego w program) z obiektami na mapie pojawiającej się na monitorze. Mapa cyfrowa oprócz zmiany skali i odwzorowania umożliwia zmianę wyglądu graficznego. Dotyczy to także nazw na mapie. Nazwa jest jednym z atrybutów nieprzestrzennych, ale krój i rozmiar liter można dowolnie zmieniać, wybierając ze standardowego zestawu kroju czcionek (font). Przykładowy zestaw czynności użytkownika mógłby obejmować przypisanie obiektom geograficznym symboliki i koloru, ustalenie skali lub zasięgu geograficznego wyświetlanej mapy, wybór obiektów, które mają być podpisane na mapie oraz sposobu ich wyświetlania. Można dodatkowo (w trybie roboczym) wyświetlić graficznie elementy geometryczne obiektów na mapie: węzły (przecięcia linii lub jej odcinki), centroidy<sup>2</sup> obiektów powierzchniowych, figury geometryczne wyznaczające zasięg obiektów geograficznych. Te same elementy można edytować w tabelach, wprowadzając precyzyjne współrzędne geograficzne.

Istotne znaczenie ma zdolność systemu geoinformacyjnego do wykonywania operacji logicznych na atrybutach nieprzestrzennych i obiektach topologicznych jednocześnie. W ten sposób można łączyć ze sobą na ekranie

<sup>2</sup> Centroid – punkt w środku czworokąta opisanego na figurze geometrycznej wyznaczającej zasięg obiektu geograficznego

monitora obraz kartograficzny wielu obiektów z tej samej lub różnych warstw. Opisowe polecenie wyrażone w języku SQL: wyświetl na ekranie obszary leśne położone na wysokości powyżej 100 m n.p.m. mogłoby wyglądać następująco: `DISPLAY LAS.AND.WYSOKOSC>100`. Ten sam proces można wykonać za pomocą wbudowanej procedury graficznej konstrukcji typowych zapytań (kwerend) wybierających, warunkowych i parametrycznych – wyliczających (np: Query Builder – ArcView, Query Assistant – MapInfo).

Operacje logiczne są standardowymi operacjami bazy danych. System geoinformacyjny przechwytytuje tylko identyfikatory obiektów, które należy zobrazować. Cały ten zbiór operacji można odwrócić. Odpowiednikiem wywołania pojedynczego atrybutu nieprzestrzennego jest tutaj operowanie kursorem graficznym ekranu, wskazującym poszczególne obiekty, dla których ma się ukazać informacja opisowa. Kursorem graficznym może być też dowolnej wielkości figura geometryczna. Obiekty tak wskazane są wybierane z bazy danych (najczęściej przy pomocy procedury sumy logicznej). Odpowiednikiem różnicy logicznej jest w niektórych geograficznych systemach informacyjnych maskowanie. Cursor lub okno graficzne wskazuje obiekty, które znikają z ekranu. Pozostają tylko te, o których informacja ma się ukazać. Przeglądanie map z bazy danych oraz opisane procedury wyświetlania na ekranie informacji kartograficznej i opisowej w większości są wspólne dla znacznej części geograficznych systemów informacyjnych. Użytkownik ma także możliwość formułowania zapytań, wykorzystując zarówno okna graficzne jak i atrybuty, np. pokaż wszystkie obszary charakteryzujące się określonym typem wegetacji o powierzchni większej niż 100 ha.

Funkcje wyszukiwania mogą operować zarówno na danych tabelarycznych (atrybutowych) jak i kartograficznych. W pierwszym przypadku wykorzystywane są standardowe kwerendy (zapytania) wybierające bazy danych, także sparametryzowane, uwzględniające warunki logiczne (AND, OR, BETWEEN ... AND ..., WHERE, NOT), ilościowe (GT – GREATER THAN, EQ – EQUAL, LT – LESS THAN) lub porządkowanie (ORDER BY – rosnąco, malejąco). Specyficzną cechą oprogramowania GIS jest konstrukcja zapytań geoprzestrzennych (ang. spatial query), gdzie kwerendy tworzone są na podstawie wskazań z mapy. Wybór obiektów na mapie cyfrowej dokonuje się w trybie interaktywnym przez wskazanie samego obiektu, klasy obiektów lub zakreślenie granic wybranego obszaru (w zasięgu określonej regularnej lub nieregularnej figury geometrycznej, jak również ekwidystanty<sup>3</sup>). Efektem ich działania są podzbiory obiektów geograficznych wyświetlone na mapie cyfrowej, tabelarycznie lub w postaci raportów.

<sup>3</sup> linii równo oddalonych od samego obiektu lub jego krawędzi



Zestaw komend dotyczących wyszukiwania często obejmuje następujące procedury:

- ◆ wybór zbioru obiektów geograficznych w warstwie tematycznej (lub operacje reselekcji – toggle, zamiany – obiekty przedtem nie zaznaczone zostają zaliczone do zbioru wybranych i na odwrót);
- ◆ wybór zbioru obiektów geograficznych na podstawie zadanych kryteriów odnoszących się do tabeli atrybutów według:
  - wartości bezwzględnej,
  - zakresu wartości (w przedziale),
  - zadanych, indywidualnych parametrów logicznych lub arytmetycznych;
- ◆ wybór zbioru obiektów (lub reselekcja) na podstawie współrzędnych, położenia względem zdefiniowanego uprzednio i wybranego punktu lub obiektu na mapie według:
  - kryterium położenia (wewnątrz lub na zewnątrz),
  - kryterium wspólnej granicy (sąsiadujące lub nie),
  - zadanej uprzednio odległości (ekwidystanty).

Funkcje pomiarów i klasyfikacji można zaliczyć do analizy przestrzennej, gdy ich wynikiem nie jest wygenerowanie nowych danych w bazie, lecz jedynie podział logiczny, grupowanie danych istniejących i ich zobrazowanie graficzne. Do tej grupy procedur należą najczęściej spotykane w systemach GIS metody kartogramu, diagramy słupkowe, strukturalne, skokowe, diagramy kołowe, ciągle oraz losowe rozmieszczenie kropek w granicach jednostek odniesienia.

- Podział na klasy (ang. ranges) cech ilościowych obiektów może obejmować:
- podział na klasy o równej liczebności obiektów w każdym przedziale,
  - podział na klasy o równej rozpiętości przedziałów klasowych,
  - podział naturalny, metoda naturalnych przerw (granice klas wyznaczone są na podstawie algorytmu, takiego, że różnica pomiędzy wartością należącą do danej klasy a średnią wartością danej klasy jest zminimalizowana);
  - podział oparty na obliczonych odchyleniach standardowych zbiorowości (rozpiętość klas równa jest wartości odchylenia standardowego, a granice klas to kolejne wielokrotności odchylenia, dodawane i odejmowane od średniej arytmetycznej zbioru);
  - podział oparty na obliczonych kwantylach zbiorowości,
  - podział według wartości granic przedziałów klasowych ustalonych przez użytkownika.

Standardową procedurą jest możliwość zobrazowania jednej cechy zjawiska w postaci prostego kartodiagramu sygnaturowego. Spośród kartodiagramów do zobrazowania struktury zjawisk wielozmiennych wykorzystywane są strukturalne wykresy słupkowe i kołowe (ang. bar chart, pie chart).

Procedury analizy przestrzennej wbudowane w systemy geoinformacyjne umożliwiają przedstawienie zjawisk także w postaci map kropkowych o zadanej wadze lub liczebności (jednakże rozmieszczenie kropek w obrębie regionów jest losowe). Inną, wbudowaną metodą analizy przestrzennej jest kartogram powierzchniowy (metoda chorochromatyczna, barwnego lub jakościowego tła), metoda jednostek naturalnych polegająca na rozkolorowaniu jednostek powierzchniowych będących podstawą wydzielań powierzchniowych, służąca jakościowemu rozróżnieniu powierzchni mapy.

W przypadku danych ilościowych procedury analizy przestrzennej pozwalają zwykle także na stosowanie skal rozbieżnych barw od wskazanej przez użytkownika klasy (np. ujemne – czerwone, dodatnie niebieskie). Kartogramy złożone (przedstawiające kilka zjawisk) można budować, operując równocześnie kilkoma warstwami tematycznymi.

Funkcje pomiarów i analizy operujące tylko na tabelach atrybutów sprowadzają się do obliczeń wartości zapisanych w polach rekordów (ang. calculate column, update).

Spośród procedur pozostających do dyspozycji użytkownika wspólne dla większości geograficznych systemów informacyjnych są: obliczanie pola powierzchni, długości i obwodu obiektów geograficznych. Obliczenia z reguły uwzględniają rodzaj odwzorowania mapy źródłowej a więc zniekształcenia. Niekiedy dostępne są procedury obliczeń objętości między izoliniami. Często podczas nakładania map potrzebne są zestawienia rozkładu, np. pól powierzchni według obiektów geograficznych. Zdolność do tabularyzacji atrybutów nieprzestrzennych (cross-tabulation) to następny z algorytmów.

Z reguły geograficzne systemy informacyjne oferują zestaw funkcji statystycznych i matematycznych, wykonywanych przede wszystkim na atrybutach nieprzestrzennych, ale także i na danych wyliczanych ze współrzędnych, tj. średnie arytmetyczne, mediany, kwartyle, percentyle, wartości ekstremalne, odchylenia itp. Dostępne są zwykle także analizy: korelacji, regresji, wariancji, czynnikowa, składowych głównych. Jeżeli takie procedury nie występują, użytkownik zawsze może wykorzystać dostępne oprogramowanie statystyczne. Jedynym problemem, jaki może mu stać na przeszkodzie, jest konieczność zmiany formatu plików bazy danych atrybutów do postaci, którą pakiet statystyczny będzie w stanie przeczytać. Jeżeli procedury konwersji formatów nie są dołączone do pakietu statystycznego ani do geograficznego systemu informacyjnego, istnieje jeszcze możliwość przeniesienia danych w zwykłym pliku tekstowym.

Większość pakietów statystycznych i wewnętrznych baz danych systemów geoinformacyjnych zawiera narzędzia analizy statystycznej i matematycznej oraz zapisu do postaci prostego pliku ASCII. Taki plik tekstowy ma podobną strukturę jak arkusz kalkulacyjny: w pierwszym wierszu wystąpią nazwy kolumn, a w każdym następnym zawsze na początku wystąpi nazwa – identyfikator obiektu geograficznego i po nim dane go dotyczące.

## Obrazowanie danych

Wynik modelowania za pomocą systemu geoinformacyjnego powinien spełniać zasadę WYSIWYG. Użytkownik widzi na ekranie wynik modelowania i w ten sposób ocenia kolejne etapy swojej pracy.

Trzeba jednak rozróżnić nakładanie map cyfrowych i jednoczesne wyświetlanie różnych warstw tematycznych (podkładów). Operowanie mapami cyfrowymi dokonuje się równocześnie z przetwarzaniem danych i efektem tego działania jest nowa jakościowo mapa cyfrowa.

Nakładanie kolejnych map na ekran jest w praktyce zapalaniem i gaszeniem grup pikseli i jeżeli nie towarzyszy mu przetwarzanie atrybutów nieprzeznaczonych lub też weryfikacja – równa się to stracie pewnej informacji. Ale z punktu widzenia użytkownika jest to ważne narzędzie. Dzięki niemu może on kontrolować przebieg operacji rzeczywistego przetwarzania danych. Liczba map, które można wyświetlić, jest prawie nieograniczona.

Kolejny krok to powiększanie (ang. zoom in/out), które występuje w bardzo wielu etapach pracy. Zdolność do kolejnych powiększeń na ekranie jest ograniczona rozdzielczością monitora.

Zaawansowane systemy umożliwiają skokowe zmiany skali powiększenia, tzn. powrót z największego zbliżenia dokonuje się nie do całości mapy, ale do kroku pośredniego. Powiększenie jest po prostu procedurą umożliwiającą wskazanie (z reguły prostokątnego) fragmentu mapy, który wypełni następnie cały ekran itd. Odmianą powiększenia jest zdolność tworzenia obrazu panelowego (ang. pan). To narzędzie zakłada, że mapa jest ruchomym obiektem. Może być przemieszczana w dowolnym kierunku, także od i do obserwatora. Efekt takiego przemieszczenia będzie równoznaczny ze złożeniem komend zoom i scroll (przewijanie ekranu).

Obraz na ekranie może być zniekształcony. Wynika to z faktu, że różna jest liczba pikseli w wierszu i w kolumnie na monitorze. Większość systemów uwzględnia proporcje (tzw. aspekt) ekranu.

Kopiowanie ekranu może odbywać się programowo lub sprzętowo. Sprzętowo poprzez np. system operacyjny – naciskając klawisz PRTSCR na klawiaturze. W systemach GUI odpowiednikiem przechwytywania ekranu (ang. screen capture) jest jego kopiowanie (do schowka w systemie Windows) jako bitmapy.

W przypadku map o małej skali na ekranie zwykle mieści się cały arkusz. Problem powstaje, gdy mapę w skali 1:25 000 trzeba wydrukować na arkuszu o formacie np. A1. Rozwiązaniem dostępnym w bardziej zaawansowanych systemach GIS jest zdolność tworzenia map o dużych wymiarach w postaci mozaiki arkuszy. Użytkownik pracuje z kolejnymi fragmentami mapy, a następnie tworzy od razu jej kopię w postaci rysunku lub wydruku. Następny fragment będzie automatycznie dorysowany do poprzedniego.

Obraz mapy cyfrowej wyświetlonej na ekranie może być także punktem wyjścia do przetwarzania danych. Można założyć, że użytkownik chce pracować tylko z jej fragmentem i na nim dokonuje transformacji i przetwarzania danych. Przy mapach w dużej skali konwersja formatu zapisu z wektorowego na rastrowy (lub odwrotnie) zajmuje względnie dużo czasu i jeżeli okno jest małe, większa część operacji byłaby zbędna. Zdolność wyświetlenia żądanego fragmentu mapy na ekranie, a następnie przekształcenie jego zapisu do żądanego formatu jest znacznie wygodniejsze. Procedura bada kolejno każdy piksel ekranu, czy jest rozświetlony i odpowiednio go wiąże z kolejnym sąsiadującym, tworząc żądany (wektorowy lub rastrowy) zapis w postaci nowego pliku.

Ważną z punktu widzenia użytkownika jest zdolność tworzenia obrazów wyobrażających przedstawienia trójwymiarowe (3d). Rozróżnia się dwa rodzaje rzutów: ortograficzny i perspektywiczny. Związane są one przede wszystkim z rzeźbą terenu i/lub z przedstawieniem warstw leżących w podłożu, jakkolwiek każdy zapis rastrowy można wyświetlić w tej postaci. Obraz ortograficzny powstaje w wyniku rzutowania współrzędnych  $x, y, z$  na płaszczyznę. Obraz perspektywiczny uwzględnia dodatkowo zmniejszenie wymiarów obiektów, które są w ten sposób pozornie oddalone od użytkownika i zasady widzenia perspektywicznego.

Z reguły obraz taki jest ujęty w blokdiagram, co ułatwia użytkownikowi dokonywanie szeregu przekształceń obrazu. Dla każdej z osi blokdiagramu, można wyobrazić sobie układ trzech współrzędnych obrazu, na których wykonywane są przekształcenia: zmiana skali i obrót. Zmiana skali na osi  $Z$  to zwiększenie lub zmniejszenie przewyższenia. Zmiana na osi  $X$  i  $Y$  to skrócenie lub wydłużenie podstaw blokdiagramu. Operacje obrotu wokół poszczególnych osi pozwalają na zmiany kąta widzenia. Najczęściej jednak zmiana skali i obrót osobno zdefiniowane dla każdej z osi zastępowane są trzema łatwiej zrozumiałymi parametrami: kątem, pod jakim patrzy się na powierzchnię ( $-90; +90$ ), stroną świata lub kątem, w który patrzy użytkownik ( $0, 360$ ) i przewyższenie (osi  $Z$ ). Jest to zrozumiałe, gdy wyobrazimy sobie pozorne przemieszczanie się blokdiagramu lub użytkownika.

Wyspecjalizowane geograficzne systemy informacyjne mogą równocześnie wyświetlać na ekranie dane przestrzenne zapisane wektorowo i rastrowo. Inną pożądaną opcją jest zdolność wyświetlania map w podanej uprzednio skali oraz w żądanym odwzorowaniu kartograficznym. Dodatkowe możliwości obrazowania graficznego atrybutów stwarzają procedury generowania wykresów kołowych (w tym strukturalnych), słupkowych, kartogramów wstęgowych lub grafów (np. z sieci dróg czy rzek), związanych z przedstawionymi na mapie zjawiskami lub obiektami geograficznymi.

## Generowanie symboliki mapy cyfrowej.

Operując pojęciem obraz mapy cyfrowej, do chwili obecnej nie sprecyzowaliśmy, jak ta mapa wygląda. Wszystkie omówione operacje dają w wyniku obraz uproszczonej mapy. Wszystkie linie są jednakowe, obraz jest często monochromatyczny.

Standardowo w systemie geoinformacyjnym zwykle dostępne są trzy kategorie związane z charakterem symboliki mapy: punktowe (markers), liniowe (line) i powierzchniowe – szraf (hatch, fill patterns) i kolor. Powiązanie symboliki z obiektami geograficznymi jest nietrwałe i może być zmienione. Operacja wiązania, podstawiania symboliki dokonywana może być na każdym etapie pracy z systemem geoinformacyjnym po wprowadzeniu danych. Liczba dostępnych symboli jest dosyć duża, ich rodzaje liczne i zwykle opisywane są one numerami lub nazwami. W środowisku MS Windows™ symbolika mapy generowana jest przy wykorzystaniu specjalnych zestawów czcionek TrueType (skalowalne piktogramy – symbole wektorowe, obrazujące żądane znaki na mapie).

Jeżeli jednak brakuje jakiegoś znaku, niektóre z systemów geoinformacyjnych umożliwiają zdefiniowanie przez użytkownika wzoru wypełnienia, rodzaju linii lub symbolu. Podobnie są traktowane nazwy na mapie. Określa się rodzaj czcionki (font), wielkość, kierunek orientacji napisu i wiąże się go z określonym obiektem geograficznym. Zwykle wykreowana przez użytkownika symbolika przechowywana jest w dodatkowych tablicach.

## Opisywanie i kompozycja map

Rozmieszczenie nazw na mapie jest istotne ze względu na czytelność przekazu. Zwykle mapa cyfrowa posiada standardowo przypisane jej rozmieszczenie napisów. Dla poligonów jest ono związane z tzw. label point lub centroidem obiektu, zdefiniowanym w trakcie wprowadzania danych przestrzennych. Nazwy umieszczone są standardowo po prawej stronie węzłów (punktów) i linii. Dodatkowymi narzędziami są procedury automatycznego pozycjonowania lub „ręcznego” przemieszczania napisów i zmniejszania odstępów między literami. Wykorzystuje się zwykle do tego celu kursor graficzny i mysz. Wszystkie napisy traktowane są jak warstwa tematyczna mapy, kolejna warstwa tekstowa. Dodatkowym elementem jest zwykle opis mapy zawierający tytuł, podtytuł, legendę i skalę. W ten sposób pełna mapa cyfrowa składa się z szeregu kolejno komponowanych warstw tematycznych i tekstowych. Redakcja mapy może odbywać się w trybie interaktywnym lub tekstowym.

## Transformacje danych przestrzennych

Funkcje operujące równocześnie na danych atrybutowych i kartograficznych, prowadzące do ich zmiany, można zaliczyć częściowo do analizy przestrzennej. Ich zastosowanie prowadzi do zmian geometrii poszczególnych obiektów.

Funkcje dokonujące transformacji danych przestrzennych to:

- funkcje sąsiedztwa (neighborhood, proximity),
- funkcje ciągłości (contiguity),
- funkcje agregacji (aggregation),
- funkcje sieciowe (network),
- funkcje nakładania (overlay).

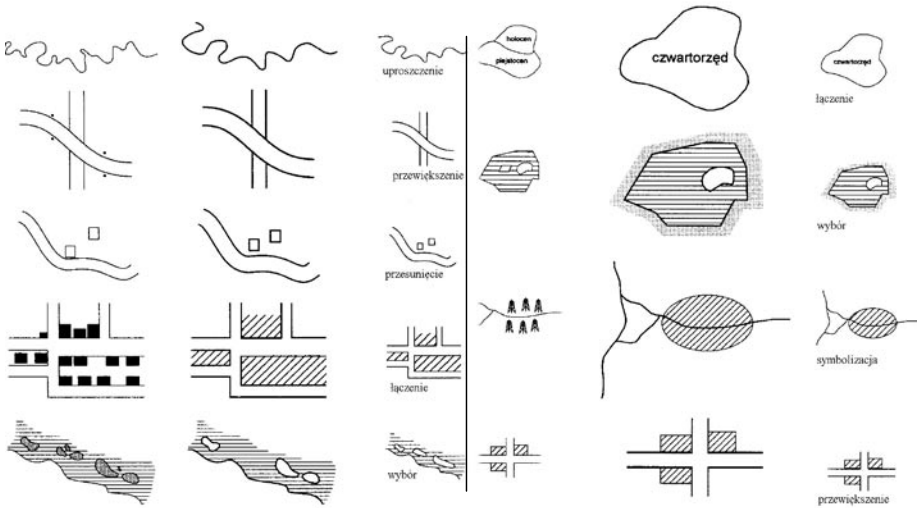
Operacje prowadzące do zmiany geometrii rysunku mapy cyfrowej można zaliczyć do zbioru funkcji transformacji. Określa się je mianem *coordinate geometry* (COGO). Oprócz nich transformacja map cyfrowych i danych atrybutowych dokonuje się w trakcie generalizacji map cyfrowych.

Istotne z punktu widzenia użytkownika wymagającego ścisłej lokalizacji jest przekształcenie odwzorowania mapy i zmiana skali. Zduplowane współrzędne punktów kontrolnych i algorytmy odwzorowań zapewniają możliwość dokonywania przekształceń. Transformacja danych obejmuje także zmianę skali. Nie jest to tylko proste zwiększenie lub zmniejszenie obrazu, gdyż obejmuje także algorytmy generalizacji. Ponieważ problem generalizacji w kartografii pozostaje stale przedmiotem dyskusji, tym bardziej generalizacja cyfrowa jest daleka od doskonałości. Shea i McMaster (za Lichtenerem 1979) podają kilkanaście sposobów generalizacji cyfrowej map. Dangermond (1984) podchodząc praktycznie do problemu generalizacji cyfrowej, wyróżnił procedury: uproszczenie, usuwanie granic między poligonami oraz łączenie poligonów z różnych map (ang. edge matching).

W kartografii można wyróżnić dwa typy generalizacji: graficzną i pojęciową (Kraak, Ormeling, 1998). Generalizacja graficzna (z wyjątkiem symboli) to: wygładzenie linii, powiększanie, przesuwanie, łączenie i selekcja. Generalizacja pojęciowa także obejmuje łączenie i selekcję, a ponadto symbolizację i wzmacnianie. Jednak zasadnicze operacje dotyczą bazy danych atrybutów.

Dane przestrzenne często pochodzą z różnych źródeł, dlatego w systemie geoinformacyjnym dostępne są także narzędzia geometryczne transformacji: obrót i przesunięcie obiektów oraz skalowanie osi X i Y. Procedury transformacji dotyczą także operacji dokonywanych na obiektach z różnych arkuszy (ang. tiles). Łączenie poligonów z różnych map wymaga precyzyjnego dopasowania krawędzi arkuszy i zgrania węzłów wspólnych granic poligonów (ang. edge matching).

Dodatkowym narzędziem wynikającym z techniki cyfrowej jest możliwość usuwania zniekształceń przez rozciąganie i ściskanie (ang. rubbershetting). Pro-



Rys. 20. Sposoby generalizacji graficznej i pojęciowej map cyfrowych (źródło: Kraak, Ormeling 1998)

cedura może np. porównać daną warstwę tematyczną i dopasować współrzędne linii do mapy wyjściowej. Dane przestrzenne można także dopasować na różnych warstwach, używając metody najmniejszych kwadratów (Urbański, 1997):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

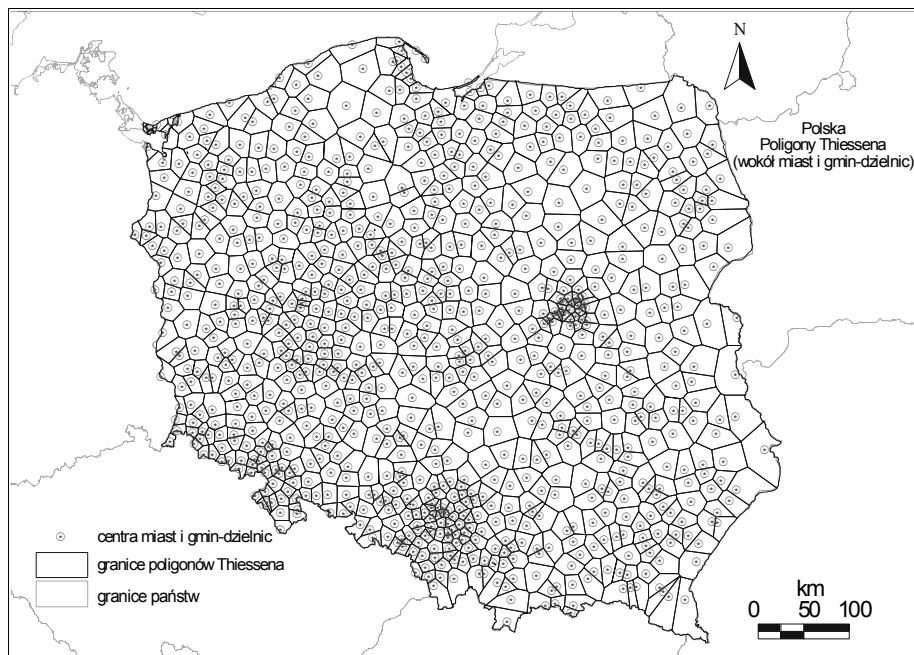
gdzie:  $x, y$  – współrzędne na mapie wyjściowej,  $u, v$  – współrzędne docelowe;  $T$  – transformacja

Operacja najczęściej wymaga zdefiniowania zbioru współrzędnych par punktów (wyjściowego i docelowego), za pomocą których (metodą najmniejszych kwadratów) znajduje się parametry funkcji transformacji wszystkich punktów (węzłów) mapy.

Wszystkie opisane wyżej transformacje znajdują zastosowanie dla danych zapisanych formatem wektorowym. Dla danych zapisanych w formacie rastrowym generalizacja jest równocześnie interpolacją danych liczbowych (ang. warping). Jedną z najprostszych operacji jest przekształcanie wartości w polu w zależności od wartości pól sąsiadujących (Burrough, 1986). Najczęściej jest to uśrednianie lub interpolacja wartości.

Za pomocą funkcji sąsiedztwa bada się otoczenie wybranych (za pomocą narzędzi selekcji) obiektów mapy cyfrowej. Parametry funkcji sąsiedztwa doty-

czą: obiektów początkowych na mapie cyfrowej (punktowych, liniowych lub powierzchniowych), których otoczenie będzie badane; zasięgu otoczenia wokół nich (wyrażonych w jednostkach odległości, czasu, ceny lub innych); rodzaju operacji, kryteriów lub atrybutów, które mają być wynikiem procedury. Przykładem wyniku działania funkcji sąsiedztwa są mapy ekwidystant (ang. buffer zones) lub poligonów Thiessena<sup>5</sup> (ang. Thiessen lub Voronoi polygons).



Rys. 21. Polska. Przykład wygenerowanych poligonów Thiessena utworzonych wokół miast i gmin

Zaawansowane zastosowania funkcji ciągłości wiążą się z analizą klastrow (ang. cluster analysis) – wyróżnienia jednorodnych powierzchni – skupień obszarów (obiektów) cechujących się założonym podobieństwem danych atrybutowych przy przyjętym progu parametru zasięgu przestrzennego. Urbański (1997) podaje przykład wyznaczania zwartych obszarów o powierzchni większej niż zadana wielkość i wielkości emisji zanieczyszczeń  $\text{SO}_2$  nie przekraczających określonego progu. Autor podobną procedurę stosował w trakcie symulacji obszaru zasięgu sygnału radiodifuzji (sygnału radiowego), przyjmując jako kryterium wielkość prawdopodobieństwa, że zadana liczba ludzi znajdzie się w zasięgu sygnału hipotetycznie zlokalizowanej stacji nadawczej,

<sup>5</sup> Poligony Thiessena charakteryzują się tą właściwością, że w obrębie granic każdy punkt znajduje się bliżej punktu stanowiącego środek poligonu, a nie sąsiadującego.



a wynikiem będzie zwarty obszar (poligon) wokół niej. Jednostką przestrzenną agregacji były poligony Thiessena.

Funkcje agregacji danych pozwalają na wykonanie operacji (arytmetycznych lub logicznych) na danych atrybutowych jednej warstwy (ang. input layer), wyliczeniu wyrażenia i podstawieniu obliczonych wartości do nowej tabeli atrybutów, towarzyszącej warstwie wynikowej (ang. output layer). Przykładem operacji jest np: zsumowanie liczby ludności według gmin i obliczenie średniej gęstości zaludnienia w powiatach, podział na klasy i przedstawienie w postaci kartogramu na mapie. Standardowe operacje obejmują zliczanie obiektów na mapie cyfrowej, sumowanie atrybutów, obliczanie średniej arytmetycznej, wybór wartości minimalnych, maksymalnych, z uwzględnieniem zadanych kryteriów (WHERE..., BETWEEN ... AND ...) lub obiektów geograficznych identyfikowanych przez nazwę albo pozycję w zbiorze danych wyjściowych obiektów geograficznych. Zaawansowane procedury agregacji obejmują możliwość wpisania dowolnego wyrażenia (expression) lub zapytania SQL, którego wyniki umieszczane są w tabeli docelowej atrybutów. Procedury agregacji opisane wyżej stanowią wariant transformacji danych i grupowania według lokalizacji (assign data by location, spatial join). Procedury agregacji mogą operować samymi tabelami atrybutów lub łącznie z obiektami geograficznymi na mapach.

Stosując kryteria geometrii obiektów można wyróżnić następujące procedury:

- **point-in-polygon**, np. zliczanie liczby punktów osadniczych w regionie, zliczanie liczby ludności w miastach w danym regionie;
- **point-near-line**, np. operacja podobna do opisanej powyżej, z tym, że dane są agregowane w granicach określonej ekwidystanty od linii; sama ekwidystanta jednak nie jest elementem jawnie wprowadzonym na mapę cyfrową;
- **line-in-polygon**, np. obliczanie długości cieków wodnych w granicach zlewni, obliczanie średniej intensywności ruchu kołowego na podstawie atrybutów przypisanych odpowiednim odcinkom dróg w granicach regionów;
- **polygon-in-polygon**, np. opisany wyżej przykład obliczania średniej gęstości zaludnienia według powiatów na podstawie danych demograficznych gmin; odmianą tej procedury jest uwzględnienie jako wagi powierzchni jednostek przestrzennych warstwy wejściowej (ang. area-weighted data aggregation); np. transformacja, zastosowana przez autora, miała na celu określenie liczby ludności w granicach poligonów Thiessena w Polsce na podstawie mapy gmin zawierającej w tabeli atrybutów dane ludnościowe; procedura pozwoliła zagregować żądane dane, uwzględniając udział powierzchni określonej gminy w granicach danego poligonu Thiessena; do sumy liczby ludności w tym poligonie dodana została jedynie część liczby ludności (proporcjonalnie do udziału powierzchni).

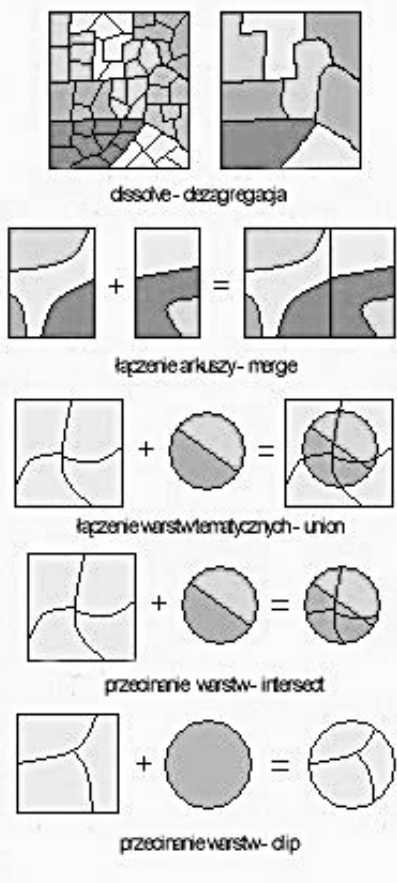
Funkcje sieciowe operują przede wszystkim na obiektach liniowych. Jedną z podstawowych analiz w tej grupie jest wyznaczanie optymalnej ścieżki pomiędzy połączonymi ze sobą obiektami w całej sieci (znany w informatyce problem komiwojażera – ang. route optimization). Kryterium optymalizacji wyrażane jest za pomocą miary odległości, czasu lub kosztów (ang. cost-least path). Szerszą aplikacją GIS obejmującą funkcje sieciowe są moduły oceny alokacji zasobów (ang. resource allocation). Przykład praktycznego zastosowania to aplikacje transportowe: zawierają one informacje o odbiorcach oraz wielkościach i terminach przewozów. Wynikiem działania procedur są mapy optymalnych tras oraz wyliczenie kosztów i czasu realizacji dostaw. Operują one dwoma lub więcej obiektami geograficznymi w sieci połączeń, często umożliwiając także ich interaktywny wybór z mapy oraz aktualizację danych tabelarycznych, pozwalając także na wyświetlenie raportu – podsumowania uwzględniającego wszystkie parametry.

Funkcje nakładania wiążą się z operacjami zarówno na tabelach atrybutów warstw tematycznych jak i na samych obiektach na mapach. Ich wynikiem jest powstanie zupełnie nowych zmiennych (kolumn tabel) i obiektów geograficznych, takich, których wcześniej nie było w geograficznej bazie danych (w przeciwieństwie do funkcji łączenia i agregacji operujących obiektami dotychczas istniejącymi).

Zbiór funkcji nakładania obejmuje:

- dezagregację (ang. dissolve),
- łączenie arkuszy warstw tematycznych (ang. merge),
- łączenie warstw tematycznych na jednym arkuszu (ang. union),
- przecinanie warstw (ang. intersect),
- przecinanie warstw z zachowaniem części wspólnej (ang. clip).

Dezagregacja polega na łączeniu obiektów geograficznych o założonym podobieństwie atrybutów w zupełnie nowe obiekty – jednostki przestrzenne.



Rys. 22. Operacje nakładania warstw i łączenia arkuszy

Łączenie arkuszy tych samych lub różnych warstw tematycznych polega na geometrycznym dopasowaniu kształtów obiektów i równoczesnym oszacowaniu zachowanych atrybutów.

Łączenie warstw tematycznych (na jednym arkuszu) polega na zachowaniu zarówno obiektów geograficznych jak i ich atrybutów w jednej nowej warstwie.

Przecinanie warstw (intersekcja) polega na wybraniu tylko tych obiektów z warstwy początkowej (ang. input), które znajdują się w granicach obiektów geometrycznych drugiej warstwy (ang. overlay). Atrybuty obiektów obu warstw zostają zachowane.

Przecinanie warstw (a właściwie przycinanie) polega na wybraniu tylko tych obiektów z warstwy początkowej (ang. input), które znajdują się w granicach obiektów geometrycznych drugiej warstwy (ang. overlay). Zachowane zostają kształty geometryczne wynikające z przecięcia warstw, ale tylko atrybuty z pierwszej, wejściowej warstwy.

## Restrukturyzacja danych przestrzennych

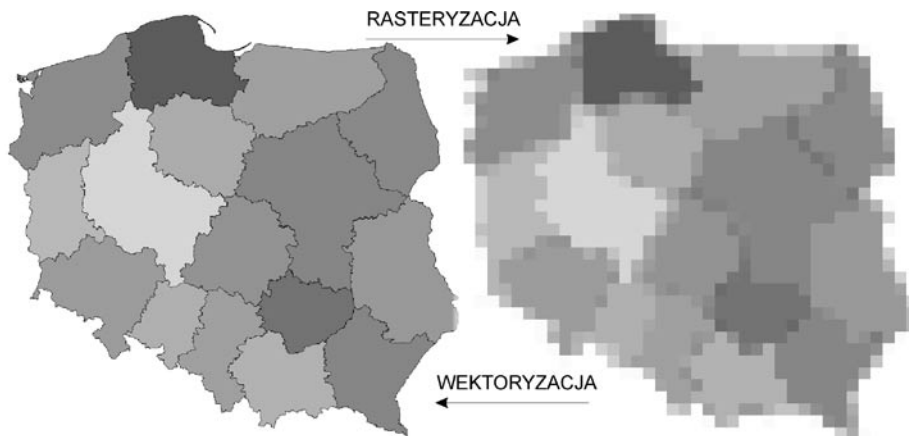
Do grupy funkcji restrukturyzacji danych przestrzennych można zaliczyć komendy operujące całymi mapami cyfrowymi (lub całymi warstwami tematycznymi). Dotyczy to takich metod jak zmiana formatu zapisu pliku mapy cyfrowej, animacja oraz algebra map.

Systemy GIS umożliwiają równoczesną pracę z mapami cyfrowymi o różnych formatach (rastrowych i wektorowych). Integracja danych rastrowych i wektorowych wymaga sprowadzenia warstw tematycznych, zarówno wektorowych jak i rastrowych, do wspólnego odwzorowania (układu współrzędnych) i poddania obiektów na mapach korekcji zniekształceń geometrycznych.

Istotnym elementem staje się w tym przypadku konieczność tzw. prawidłowej rejestracji obrazów rastrowych; takie ich wyświetlenie na ekranie monitora, aby współrzędne geograficzne warstw wektorowych i rastrowych zgodziły się. Procedura kalibracji map polega w tym przypadku na takiej ich transformacji, aby pasowały do przyjętego w systemie układu odniesienia (odwzorowania kartograficznego). W przypadku map rastrowych kalibracja polega na re-dystrybucji pikseli. Obecnie rejestracja warstw wektorowych i kalibracja map stosowana jest najczęściej na etapie zbierania danych lub później, w trakcie edycji, i umożliwia tzw. digitalizację ekranową: wyświetlenie mapy bitowej na ekranie monitora, a następnie interaktywne wprowadzanie (na nowej warstwie wektorowej) kolejnych obiektów geograficznych. Rejestracja mapy rastrowej wymaga wprowadzenia czterech lub więcej punktów, rozmieszczonych najczęściej w rogach arkusza mapy, opisanych zarówno współrzędnymi geograficznymi jak i określonymi współrzędnymi mapy bitowej (wiersz i kolumny). Na tej podstawie wyliczana jest funkcja transformacji. Funkcje transformacji to wielomiany różnego stopnia (liniowe, kwadratowe, trzeciego stopnia) o współ-

czynnikach obliczonych metodą najmniejszych kwadratów, minimalizujących błąd odwzorowania współrzędnych.

Zmianę formatu zapisu stosuje się, gdy trzeba wykonać pewne operacje na danych, które przy jednym zapisie wymagałyby bardzo skomplikowanych algorytmów i zajęłyby to bardzo dużo czasu, a przy innych jest to banalnie proste działanie. Konwersje formatu to zbiór procedur, które realizują przetwarzanie na danych przestrzennych i na atrybutach. Często wykonywaną konwersją jest przekształcenie zapisu wektorowego na rastrowy. Algorytm obejmuje nałożenie na mapę cyfrową siatki równowymiarowych pól (kwadratowych) i przypisanie każdemu z nich określonej wartości. Konwersja w drugą stronę jest także możliwa. Procedury takiej konwersji należą do algorytmów związanych z rozpoznawaniem i przetwarzaniem obrazu (ang. image processing). Specjalną formą konwersji jest przekształcenie zapisu danych z uwzględnieniem priorytetu wybranych obiektów, co oznacza równoczesne przetwarzanie atrybutów. Z bazy danych wybiera się tylko obiekty o określonych atrybutach, a konwersja formatu zapisu danych przestrzennych dotyczy ich współrzędnych. Na warstwie pojawia się tylko ich obraz graficzny.



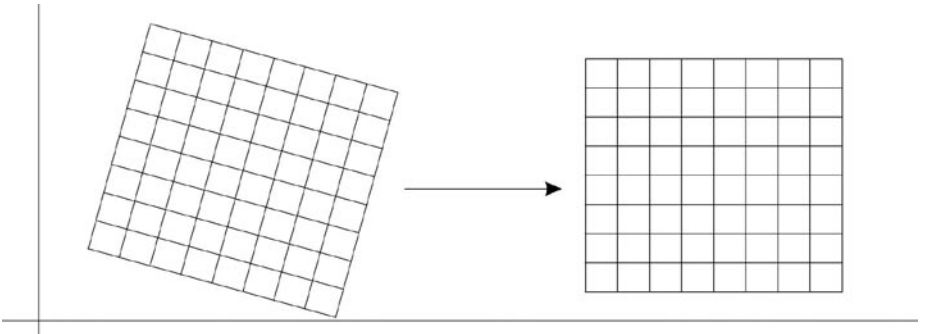
Rys. 23. Konwersja formatu zapisu danych przestrzennych (rasteryzacja, wektoryzacja)

Konwersja obrazu rastrowego do zapisu wektorowego może być dokonywana ręcznie, pół- lub automatycznie. Procedura wykorzystuje dodatkowe funkcje, takie jak: usuwanie szumu z obrazu rastrowego (izolowanych grup pikseli zakłócających regularny przebieg wektoryzowanych linii), trasowanie linii szkieletowych, dzięki wykrywaniu przebiegu tzw. linii środkowych na obrazie rastrowym, wykrywanie węzłów (punktów przecięcia trasowanych linii).

Konwersje do formatów zakodowanych według rzędów: chain codes, block codes i quad tree wykorzystywane są z reguły do kompresji i dekompresji da-

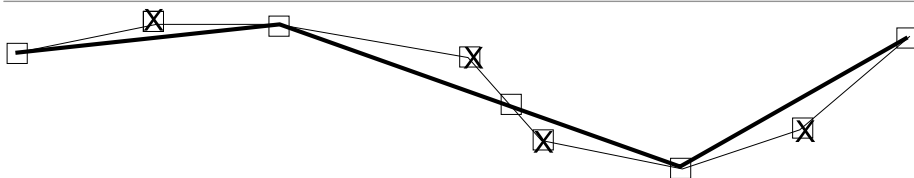
nych zapisanych formatem rastrowym. Dodatkowo konwersja zapisu quad tree może dokonywać się do różnych poziomów. Systemy geoinformacyjne operujące tym formatem umożliwiają wybranie poziomu zapisu, a więc pośrednio – stopnia generalizacji danych, dokonanie następnie pewnych wybranych operacji i ponowne zakodowanie tych informacji (ang. *select and redo quad tree level*). W systemach geoinformacyjnych można także stosować metody (de)kompresji danych stosowane w informatyce.

Restrukturyzacja danych przestrzennych zapisanych w formacie rastrowym obejmuje także przekształcenie geometryczne kompensujące zniekształcenia występujące między wartościami obserwowanymi i rzeczywistymi w przypadku, gdy wejściem jest zbiór cyfrowy danych uzyskany z obrazu satelitarnego. Najczęściej dokonuje się przesunięcia lub też zmienia się wymiar pola podstawowego. (ang. *re-sampling*).



Rys. 24. Geometryczna restrukturyzacja obrazu rastrowego (*resampling*, Bracken, 1991)

Technikę próbkowania (ang. *sampling*) stosuje się do danych odnoszących się w zapisie rastrowym np. do wysokości n.p.m. Polega ona na wybrze punktów (pikseli) o określonych współrzędnych tak, aby dobrana gęstość współrzędnych w najlepszy sposób uwidaczniała rzeźbę terenu. Wyboru punktów można dokonać arbitralnie przed (ang. *selective sampling*) lub w trakcie wyświetlania obrazu rzeźby terenu (ang. *adaptive sampling*). Na bardzo podobnej zasadzie dokonuje się w formacie wektorowym redukcja. Określa się te punkty, których współrzędne należy usunąć. Działa tu oczywiście pewien algorytm, gdzie określa się, jaka powinna być odległość między punktami na krzywej (ang. *weed tolerance*). Cała procedura jest bardzo podobna do generalizacji – upraszczania. Inną podobną procedurą, która może znaleźć zastosowanie zarówno do danych w zapisie rastrowym jak i wektorowym, jest wygładzanie (ang. *smoothing*). W przypadku map rastrowych wygładzanie danych wiąże się z filtrowaniem obrazu cyfrowego.



Rys. 25. Wygładzanie danych wektorowych

Restrukturyzacji danych często wymaga sytuacja, gdy łączy się dane z różnych arkuszy map, aby stworzyć jeden podkład (ang. edge matching), jak również operacja odwrotna: podziału podkładu na pewną liczbę mniejszych map.

Pojęcie algebry map wprowadzono dla przypadków, gdy procedury funkcji analizy i transformacji dotyczą całych warstw tematycznych. Ich nazwy pojawiają się jako parametry procedur, a zakres wykonywanych operacji dotyczy wszystkich obiektów geograficznych na dwóch lub więcej warstwach. Operacje algebry map mogą dotyczyć zarówno map wektorowych jak i rastrowych, jakkolwiek łatwiej jest użytkownikom intuicyjnie zrozumieć operacje algebry map dla modelu rastrowego (a programistom skonstruować odpowiednie algorytmy). W przypadku siatki (grid, raster) można potraktować każdą mapę jako macierz liczb i traktować je jak argumenty wykonywanych funkcji arytmetycznych. Z punktu widzenia użytkownika ważne jest, aby wykonywana operacja miała sens geograficzny lub służyła określonejmu celowi. Przykładowe operacje algebry map przedstawiono w tabeli.

Lp.	Mapa A	Mapa B	Operator <sup>(op)</sup>	Przykład	Mapa C (wynikowa)
1.	$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1m}$ $a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2m}$ ... .. $a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nm}$	$b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1m}$ $b_{21}, b_{22}, \dots, b_{2m}$ ... .. $b_{n1}, b_{n2}, \dots, b_{nm}$	A+B dodawanie A-B odejmowanie A*B mnożenie A/B dzielenia	Obliczenia bilansowe, wylczanie wskaźników względnych	$(a^{op}b)_{11}, (a^{op}b)_{12}, \dots, (a^{op}b)_{1m}$ $(a^{op}b)_{21}, (a^{op}b)_{22}, \dots, (a^{op}b)_{2m}$ ... .. $(a^{op}b)_{n1}, (a^{op}b)_{n2}, \dots, (a^{op}b)_{nm}$
	$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1m}$ $a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2m}$ ... .. $a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nm}$	$b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1m}$ $b_{21}, b_{22}, \dots, b_{2m}$ ... .. $b_{n1}, b_{n2}, \dots, b_{nm}$	A-B/A+B $A^B$ min(A,B) max(A,B) A.overlay.B(B≠0)	Normalizacja zbioru, wybór wartości min, max, różnych od zera	$(a^{op}b)_{n1}, (a^{op}b)_{n2}, \dots, (a^{op}b)_{nm}$

Tab. 4. Przykłady operacji algebry map dla plików rastrowych

Podobne operacje można wykonywać na mapach wektorowych; wtedy jednak operacje dotyczą atrybutów. Algebra map wektorowych to te same funkcje analizy, transformacji i restrukturyzacji, zastosowane do całej zbiorowości obiektów geograficznych na warstwach.

Animacja map cyfrowych w systemach geoinformacyjnych wykorzystywana jest do robienia filmów komputerowych, które później można wykorzystać do tworzenia niezależnych od oprogramowania GIS prezentacji multimedialnych. Natomiast w ramach systemów GIS można (posługując się językiem skryptowym) przedstawić przemieszczenie się obiektów, np. projektowaną trasę przelotu i harmonogram przemieszczania się nie tylko w postaci statycznej mapy, ale także jako symulowany ruch obiektu na warstwie tematycznej, zgodnie z zadaniem chronometrażem. Animacja na mapach często jest wykorzystywana w trakcie modelowania zjawisk do przedstawienia zjawisk zmiennych w czasie i przestrzeni.

## Modelowanie

Systemów informacji geograficznej używa się dzisiaj nie tylko do prostej reprodukcji kartograficznej, ale również do modelowania zjawisk geograficznych. Tradycyjnie posługując się bazą danych przestrzennych, poszukuje się lokalizacji obiektów terenowych (gdzie?), ich atrybutów (co?) oraz zachodzących relacji (jak?). Czwarty wymiar – czas – traktowany jest z założenia jako element stały. Prowadzi to do nierównomiernego „starzenia” się bazy danych, gdyż lokalizacja atrybutów na ogół jest stała, natomiast ich wartości zmieniają się w czasie. Systemy informacji geograficznej dobrze sprawdzają się w przypadku wstępnego przetwarzania danych (ang. preprocessing) i w statycznych porównaniach wykonanych już analiz (ang. post processing). Daje się odczuć istotny brak w pewnych dziedzinach (np. hydrologia, klimatologia) możliwości analiz w czasie rzeczywistym, wykonywania dynamicznych prognoz czy symulacji zjawisk. Istniejące już oprogramowanie do modelowania używa wąskiego zakresu specjalistycznych algorytmów i jest w porównaniu z GIS mało uniwersalne, a tym samym trudne do bezpośredniego połączenia z informacją przestrzenną. Wydaje się, że słabsza dynamika rozwoju pakietów GIS w tym zakresie wynika niekiedy z postawy samych użytkowników. Nie wywierają oni presji na producentów oprogramowania, takiej jak w przypadku pakietów biurowych, ale zadowolają się możliwościami GIS tylko na poziomie reprodukcji kartograficznej.

Zasadniczą metodą przetwarzania danych w systemach geoinformacyjnych jest modelowanie kartograficzne (ang. cartographic modelling). Procedura wykorzystuje najczęściej sekwencję funkcji analizy przestrzennej (Urbański, 1997), łącząc zbiory danych (geokodowanych na warstwach tematycznych i atrybutów). Są one argumentami tych funkcji. Modele tworzą „zbiór map, zdjęć oraz innych przestrzennych, skalowalnych i zgeneralizowanych modeli obiektów ziemskich oraz procesów przedstawionych w formie graficznej” (Berlant, 2001). Celem modelowania kartograficznego staje się dążenie do zobrazowania coraz większych zasobów informacji, ich przetwarzanie operacyjne i ob-

razowanie – jak najbardziej realistyczne przedstawienie wirtualnych kartograficznych modeli komputerowych. W systemach geoinformacyjnych można wyróżnić kilka odmiennych metod modelowania kartograficznego. Wykorzystuje się w nich zmienne (dane) modeli przestrzennych, obrazy fotograficzne, animacje oraz efekty akustyczne (Berlant, 2001):

- mapa → blokdiagram → animacja → model wirtualny,
- mapa i zdjęcie → ortofotomapa → foto-blokdiagram → model wirtualny,
- mapa → mapa elektroniczna → animacja → model wirtualny.

Komputerowe modele kartograficzne powinny w sposób plastyczny obrazować morfologię obiektów na mapach w formie blokdiagramów a równocześnie zapewnić mierzalność modelu – możliwość otrzymywania ilościowych wskaźników morfometrycznych. Dotyczy to zwłaszcza opisu rzeźby terenu (zob. rozdz. V). Modelowanie kartograficzne w systemach GIS rozwija się w kierunku uzyskania interaktywnych lub animowanych, wykorzystujących także znaki umowne, trójwymiarowych, wielozmiennych zobrazowań, a oprogramowanie zdolne będzie przedstawić je na odpowiednim, w stosunku do zadanej skali wyświetlania, poziomie generalizacji.

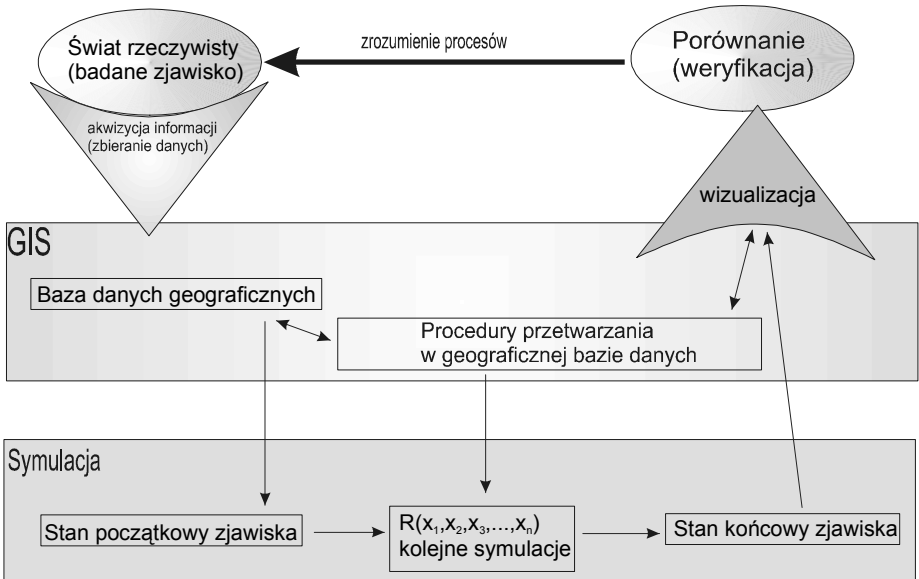
Najczęściej modelowanie kartograficzne identyfikuje się z konstruowanymi w systemach geoinformacyjnych trójwymiarowymi modelami rzeźby terenu (DTM). W zastosowaniach komercyjnych, w gospodarce, dużą rolę odgrywają także symulacje zjawisk (przyrodniczych i społeczno-ekonomicznych). Model rzeźby terenu stanowi w takim przypadku element wyjściowy i jest jedną z warstw tematycznych. Przykładami są m.in.: zobrazowanie zasięgu obszaru zagrożonego powodzią, wyznaczanie granic zasięgu (i jakości, tj. słyszalności) sygnału radiokomunikacji lub radiodyfuzji (telefonii komórkowej, radia, telewizji).

Inną dziedziną modelowania kartograficznego jest przedstawienie symulacji zjawisk społeczno-gospodarczych. Jako podłoże rozgrywających się procesów wykorzystuje się w tym przypadku także mapy dwuwymiarowe, natomiast dynamiczne zobrazowanie dotyczy atrybutów obiektów geograficznych na warstwach tematycznych. Symulacja taka może być interaktywna lub animowana. Przykładem może być model rozwoju zasięgu przestrzennego działania operatorów telefonii komórkowej, uwzględniający potencjał geograficzny (ludnościowy) oraz szereg parametrów fizyczno- i ekonomiczno-geograficznych w Polsce. W badaniu tym uwzględniono zalesienie obszaru, zróżnicowanie rzeźby, sąsiedztwo sieci transportowej, występowanie i rangę miast (Werner, 2003).

Symulacja przy wykorzystaniu GIS stwarza także możliwość eksperymentowania, zmiany parametrów i wielokrotnej weryfikacji wyników. Kolejne iteracje symulacji mają na celu wyróżnienie zmiennych niezależnych. Uzyskane wyniki ponownie wprowadza się do geograficznej bazy danych, przez co mogą posłużyć do dalszych badań. Kolejne etapy symulacji w praktyce ujmują się w



postaci algorytmu, zapisanego jako program komputerowy języka skryptowego, a tylko dla celów wizualizacji można także kolejne stany zapisać np. jako animowaną sekwencję obrazów.



Rys. 26. Procedura symulacji z wykorzystaniem GIS (za Fulong Wu, 1999)

Operowanie modelami dynamicznymi w systemach GIS wymaga wprowadzenia zmiennych w czasie i w przestrzeni lub zastosowania teorii procesów losowych. Natomiast obecnie użytkownicy systemów geoinformacyjnych w przeważającej mierze wykorzystują je do zadawania prostych pytań (oceny rozmieszczenia i warunków lokalizacji). Systemy GIS operują dobrze zdefiniowanymi zbiorami danych geograficznych (np. cyfrowymi odpowiednikami map papierowych lub abstrakcyjnymi wskaźnikami liczbowymi). Za podstawowy produkt systemu geoinformacyjnego uznaje się przede wszystkim mapę.

„Inteligentne” oprogramowanie GIS, które może „uczyć się” i stosować „wiedzę”, pozwoli zobrazować zmiany zjawisk w czasie rzeczywistym i symulacje (przynajmniej w części) stanu zjawisk w przyszłości. Osobną rozwijającą się techniką komputerową jest wirtualna rzeczywistość (ang. virtual reality), która w coraz większym stopniu przyciąga uwagę projektantów oprogramowania i aplikacji GIS. Łatwość zastosowania i adaptacji pakietów oprogramowania pozwala w coraz większym stopniu zdefiniować własne wirtualne modele użytkownikom i zobrazować je. Ale pozostaje jeszcze problem wiarygodności, oce-

ny propagacji błędów w trakcie przetwarzania danych geograficznych i końcowej weryfikacji wyników, np. symulacji.

Rozwój oprogramowania GIS doprowadził do sytuacji, w której modelowanie staje się podstawowym elementem możliwości analitycznych systemów geoinformacyjnych. Wspólna dla modułów modelowania różnych systemów jest konstrukcja nowych map przedstawiających prawdopodobieństwo występowania, zasięg i wielkość zjawisk na podstawie zapisanych wcześniej warstw tematycznych. Rozwój oprogramowania, internetu i systemów operacyjnych oraz interoperacyjność (ang. interoperability) oprogramowania stały się dodatkowym czynnikiem stymulującym funkcjonalność oprogramowania GIS. Modelowanie realizowane jest za pomocą makrokomend lub języków skryptowych. Po pewnym okresie, gdy zostanie już przetestowana niezawodność kodu źródłowego, a sam model zostanie zweryfikowany (najczęściej przez użytkowników), moduł (lub aplikacja) jest oferowana przez producenta (lub programistę aplikacji – developera) jako standardowa lub dodatkowa (ang. third-party), jako rozszerzenie głównego programu.

## **Aplikacje i zastosowania**

Systemy geoinformacyjne traktowane są przede wszystkim jako narzędzie. W opinii wielu specjalistów jest to bardzo wszechstronne narzędzie; z drugiej strony zdarza się sytuacja, gdy użytkownicy wykonujący wybrane analizy nie dysponują odpowiednimi funkcjami oprogramowania GIS – czy to analitycznymi, czy też w zakresie prezentacji grafiki map komputerowych. Dotychczasowe ograniczenia funkcjonalności oprogramowania GIS wynikają z dwóch przyczyn: konstruktorzy oprogramowania nie wbudowali danej funkcji do systemu a równocześnie nie przewidzieli możliwości rozszerzenia go o funkcje definiowane przez użytkownika.

Oprogramowanie GIS stosowane jest na świecie w bardzo wielu dziedzinach, od mikroskali (np. do analizy obrazów z mikroskopów elektronowych) do skali globalnej (np. do analizy zmian klimatu, rozwoju sytuacji demograficznej itp). Najczęściej oprócz geografów i kartografów, systemami GIS posługują się specjaliści różnych dziedzin i użytkownicy nieprofesjonalni, a ich edukacja w zakresie wykorzystania map i analizy lub syntezy zjawisk geograficznych jest zróżnicowana. Podobna sytuacja ma miejsce w Polsce. Inny problem zastosowania GIS to sprawność działania oprogramowania, swoista ergonomia. Mapy cyfrowe i geograficzne bazy danych wykonywane są zawsze dla jakiegoś użytkownika. Autor projektu GIS – geograf czy kartograf, posługując się językiem komend programu wykonuje pracę programisty. Łączy swoją wiedzę geograficzną z informatyczną. Tak więc trzy strony uczestniczące w projekcie GIS to: użytkownik określający cele projektu, geograf (kartograf) budują-

cy aplikację oraz konstruktorzy oprogramowania, którzy określają pośrednio zakres funkcjonalny projektu GIS, dostarczając odpowiednich narzędzi. W niektórych przypadkach użytkownik, programista aplikacji i geograf to jedna i ta sama osoba (lub grupa osób).

Efektom pracy zespołu może być:

1. interaktywna geograficzna baza danych i mapa cyfrowa, którą można wykorzystywać stale za pomocą danego systemu GIS (ang. softcopy);
2. tradycyjny wydruk albo wyrys mapy papierowej (analogowej, hardcopy),
3. mapy cyfrowe, które można wyświetlić bez konieczności zakupu oprogramowania GIS, wykorzystując różnego rodzaju bezpłatne programy pozwalające wyświetlić je graficznie i wykonać pewną część analiz; stosowane są w takich przypadkach tzw. run-time viewers, np. ArcExplorer, MapInfo Pro Viewer, GeoMedia Viewer lub atlasy elektroniczne – oprogramowanie specjalnie skonstruowane dla tego celu, wykorzystujące ograniczoną funkcjonalność pełnego pakietu GIS;
4. mapy cyfrowe, które można wyświetlić, wykorzystując oprogramowanie WEB GIS dla serwerów i przeglądarek-klientów WWW, pozwalające wyświetlić mapę i wykonywać pewne operacje w geograficznej bazie danych za pomocą dokumentów HTML w internecie.

W początkowej fazie rozwoju, w latach 80. i 90. XX w., realizowane były głównie naukowe i wdrożeniowe projekty GIS. Naukowe, których celem było opracowanie naukowo-badawcze. Wdrożeniowe – gdzie celem było wdrożenie pewnej technologii, opracowanie metod przetwarzania danych geograficznych w określonej dziedzinie gospodarki, instytucji państwowej lub administracji samorządowej. Oprogramowanie dostosowywano tylko dla określonych w danej sytuacji celów, zbiorów danych i zadań projektu. Później pojawiły się projekty komercyjne, które były naturalnym etapem rozwoju dwóch wyżej wymienionych typów. System geoinformacyjny zrealizowany dla celów naukowych lub wdrożeniowych (tzw. projekty pilotowe) został zastosowany w pewnej dziedzinie gospodarki, a zakres jego funkcjonalności był na tyle uniwersalny, że sam projekt stał się odrębnym systemem informatycznym oferowanym na rynku. Przykładem takiej ewolucji są systemy katastralne. O ile naukowe i wdrożeniowe projekty systemów GIS miały niekiedy charakter docelowy – zostały wykonane, wykorzystane i zakończyły się (np. projekt analizy lokalizacji i rozmieszczenia punktów usługowych), to jednak większość zastosowań systemów geoinformacyjnych w gospodarce ma charakter bardziej uniwersalny. Celem było stworzenie działającej, stale aktualizowanej i wykorzystywanej, o skończonej liczbie zdefiniowanych procedur, geograficznej bazy danych, umożliwiającej wyświetlanie map cyfrowych (i) lub geoprzedstawień oraz raportów. Z kolei rozszerzanie funkcjonalności GIS wiązało się albo z pojawieniem się nowych wersji oprogramowania oferowanych przez producen-

tów, a sam projekt wykorzystywał standardowe, wbudowane w system funkcje, lub też były to osobne, wykorzystywane dodatkowo w projekcie GIS aplikacje języków skryptowych, wzbogacające oprogramowanie funkcjonalnie lub sam projekt jest częścią szerszego projektu informatycznego – a dane geograficzne i atrybutowe map cyfrowych są wykorzystywane przez inne podsystemy. Takie aplikacje (zwane modułami lub wtyczkami – plug-ins) oferowane są jako osobne produkty (np: ArcView Spatial Analyst, MapInfo Vertical Mapper).

W rozwoju oprogramowania GIS uczestniczą, oprócz informatyków, specjaliści tych wszystkich dziedzin, którzy na co dzień wykorzystują w swojej pracy mapy oraz ci użytkownicy nieprofesjonalni, którzy zainteresowani są mapami jako narzędziem podejmowania decyzji lub po prostu chcący np. zaplanować urlop czy podjąć pewne decyzje osobiste dotyczące np. zmiany miejsca zamieszkania. Funkcjonalność, łatwość stosowania i wierność w odwzorowaniu świata rzeczywistego w postaci map cyfrowych i geograficznych baz danych zależy pośrednio od zasięgu i zakresu zastosowań oprogramowania GIS w różnych sferach życia ludzi. Im większy zakres zastosowań, tym większa funkcjonalność systemów, które będą musiały sprostać oczekiwaniom coraz to większej liczby użytkowników (w tym geografów). Taki proces prawdopodobnie doprowadzi do utrwalenia się nawyku posługiwania się oprogramowaniem GIS na co dzień. Istotnym elementem propagacji map cyfrowych jest oczywiście internet.

Zakres zastosowań GIS początkowo był ograniczony do tych dziedzin, w których wcześniej wykorzystywano mapy papierowe: nauk o Ziemi, geodezji, katastru, planowania przestrzennego, transportu, marketingu i innych. Obecnie, z uwagi na możliwość rozszerzenia funkcjonalności oprogramowania, jest on tylko ograniczony wyobraźnią projektantów aplikacji. Ostatecznym czynnikiem weryfikującym ich przydatność jest liczba osób, które będą wykorzystywać systemy geoinformacyjne, opłacalność ekonomiczna stosowania i (co staje się normą dla oprogramowania) łatwość wykorzystania związana z dobrze zaprojektowanymi interfejsami, także opartymi na dotyku, dźwięku i gestach.

Nowe dziedziny zastosowania GIS dotyczą m.in. dziedzin: rynku nieruchomości (real estate), telekomunikacji, multimediiów, planowania rozmieszczenia usług – w tym finansowych, ubezpieczeniowych (wiążących się także z oceną ryzyka), systemach ratunkowych, epidemiologii. W naukach przyrodniczych zakres zastosowań poszerzył się m.in. o systemy GIS stosowane w ekologii do monitoringu w czasie rzeczywistym (radary meteorologiczne), oceny zagrożeń klęskami żywiołowymi .

Właściwie jednak rola informacyjna systemów GIS we wszystkich dziedzinach sprowadza się do funkcji wspomagającej w procesie podejmowania decyzji i jest dość ograniczona. Istotną rolę odgrywa człowiek i proces podejmowania przez niego decyzji. Poza tym sam komputer jako urządzenie stał się dla wszystkich czymś pośrednim pomiędzy telewizorem a telefonem.

Projekty GIS		Docelowy			Permanenty		
		naukowy	wdrożeniowy	komercyjny	naukowy	wdrożeniowy	komercyjny
standardowy	interaktywna geograficzna baza danych, mapa cyfrowa (softcopy)	DTM - model rzeźby terenu					Mapa adresowa miasta
	wydruk (hardcopy)		Koncepcja mapy dziedzictwa przyrodniczego i kulturowego	Mapy turystyczne		Mapa zasięgu i typów lasów	
	mapy obrazowe (przeglądarki, internet)		Mapy podziału administracyjnego		Mapy demograficzne		
rozszerzony	interaktywna geograficzna baza danych, mapa cyfrowa (softcopy)					System ochrony i ratownictwa w miejscowości	Aplikacja transportowa w celu optymalizacji tras przewozów
	wydruk (hardcopy)						
	mapy obrazowe (przeglądarki, internet)		Interaktywna mapa internetowa				System informacji turystycznej w internecie

Tab. 5. Przykłady różnych typów aplikacji systemów geoinformacyjnych (projektów GIS)

Aplikacje mogą być budowane albo za pomocą tego samego języka programowania, za pomocą którego zostało skompilowane samo oprogramowanie GIS lub też za pomocą odrębnych języków makrokomend, skryptowych lub programowania. W pierwszym przypadku producent oferuje tzw. moduły API (ang. application programming interface), umożliwiające dostęp do funkcji standardowych systemu i modyfikowanie jego interfejsu. Takie aplikacje mogą być wykonywane tylko w przypadku obecności zainstalowanego systemu GIS. Wczesne języki makrokomend i skryptowe oprogramowania GIS (ang. macro-scripting languages, ML), np. ArcInfo AML, Erdas EML, Idrisi IML, pozwalały budować sekwencje standardowo wbudowanych w system komend lub, w niektórych przypadkach, modyfikowanie interfejsu programu (Arc View Avenue). Języki makrokomend dawały duże możliwości, ale wadą ich było związanie z oryginalnym, specyficznym systemem oprogramowania GIS.

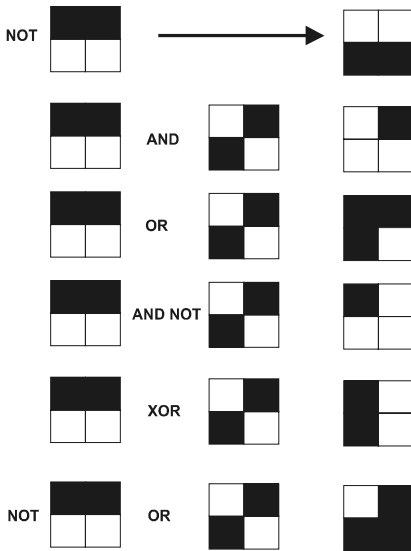
Następnym krokiem rozwoju były narzędzia zwane kalkulatorami map. Analogicznie do używanych powszechnie urzędzeń – kalkulatorów obliczeniowych, kalkulatory map (kartograficzne) umożliwiały wykonanie szeregu operacji (funkcji transformacji) algebraicznych lub logicznych na zadanych warstwach tematycznych map. Stały się popularne ze względu na łatwość wykonywania złożonych operacji, ale nie oferowały funkcjonalności języków skryptowych, a zestawu ich operacji nie można było rozszerzyć.

Nowe narzędzia programowania GIS powstały w powiązaniu z rozwojem systemów operacyjnych i sieci komputerowych (internetu). Jest to programowanie zgodne z propagowanym przez firmę Microsoft, i wbudowanym w system Windows, modelem COM (ang. Component Object Model klient/serwer), którego zadaniem jest doprowadzenie do interoperacyjności (ang. interoperability) dowolnego oprogramowania użytkowego oraz graficzne narzędzia modelowania aplikacji (ang. rapid, graphic modelling environment). COM jest następcą znanych w systemie Windows technologii OLE (łączenia i osadzania obiektów) i stanowi podstawę tzw. programowania wizualnego (VBX, OCX, ActiveX). Oprogramowanie systemów GIS łączy się z systemem operacyjnym i innymi programami za pomocą interfejsu COM (tzw. serwery COM). Budowanie aplikacji nie wymaga już wykorzystania wbudowanych, specyficznych makrokomend i skryptów GIS, ale dowolnych, standardowych języków programowania lub programów zewnętrznych (klientów COM). Pozwala to na wykorzystanie możliwości dynamicznego modelowania i skoncentrowanie się na samym projekcie (zadaniu) w systemie geoinformacyjnym, bez konieczności uczenia się dodatkowego języka programowania.

Nowy krok w tym zakresie stanowi rozwój interoperacyjności i wprowadzanie możliwości programowania rozproszonego w sieci (internet) za pośrednictwem platformy NET (C#, VB – Microsoft) lub języka Java (SUN Microsystem) oraz udostępnianie aplikacji w postaci interakcyjnych stron WWW.

## **Przetwarzanie i analiza danych zapisanych formatem rastrowym**

Zbiór danych rastrowych cechuje zdolność do przekształceń niedostępnych niekiedy innym formatom zapisu. Wszystkie operacje przetwarzania dokonują się na wartościach przypisanych polom – pikselom (lub węzłom siatki – grid). Użytkownik nie zawsze zdaje sobie sprawę, że wybór określonego zbioru zmiennych przypisywanych polom (binarne, dyskretne, ciągłe) ma brzemienne w skutki konsekwencje. Proste operacje arytmetyczne dla tych liczb dają zupełnie różne wyniki. Dla zbioru o wartościach dychotomicznych (0-1, prawda-falsz), czyli obrazów czarno-białych, nie mają one większego sensu (z wyjątkiem zliczania liczebności). Zbiór wartości dyskretnych najczęściej trak-



Rys. 27. Wybrane przykłady operacji logicznych dostępnych w systemach geoinformacyjnych (np: na zbiorach rastrowych)

towany jest przez procedury jako zbiór liczb całkowitych, co oznacza, że np. dzielenie 5/4 daje w wyniku 1 (bez reszty). Z kolei większość procedur traktuje zbiór wartości ciągłych w operacjach zgodnie z arytmetyką liczb rzeczywistych (zmiennoprzecinkową), co daje w efekcie taki rezultat, że gdy użytkownik nie uwzględni zaokrąglenia wyniku, uzyskanie znaczącej dla niego wartości może bardzo długo potrwać, gdyż obliczenia dokonują się z dokładnością np. do 11 cyfr po przecinku.

Podstawowymi operacjami dostępnymi w analizie danych rastrowych (analizie rastrowej) są przekształcenia logiczne zbiorów wartości.

Bardziej zaawansowane systemy geoinformacyjne umożliwiają statystyczne badanie zbioru wartości pól rastrowych. Jedną z częściej wykonywanych operacji jest badanie rozkładu wartości dwóch zbiorów pól względem siebie (ang. cross tabulation). Jest to pewien miernik współwystępowania pól o tej samej wartości na dwóch mapach. Traktując zbiór wartości rastrowych jako zbiór statystyczny, można na nim wykonywać szereg analiz, począwszy od obliczania współczynnika korelacji dla dwóch map, poprzez analizę regresji, analizę czynnikową, powierzchni trendu czy składowych głównych. Jeżeli takie procedury są dostępne w systemie geoinformacyjnym, łatwość ich wykonania jest niewspółmierna do późniejszej interpretacji wyników, zwłaszcza w postaci kartograficznej (np. reszty z regresji czy przestrzenny rozkład czynników). Wszystkie wyżej opisane procedury operują jako jednostką – wartością w polu podstawowym. Dla tych operacji dostępny jest poziom analizy dla całych warstw, niezależnie od tego, czy znajdują się na nich obiekty, które użytkownik chce – lub nie – analizować. Te same procedury mogą operować jako jednostką – regionem (ang. region, unit), czyli podzbiórami pól (pikseli), zidentyfikowanymi przez odpowiednie atrybuty. Dostępny jest w tym przypadku cały opisany wyżej zestaw operacji, począwszy od prostego podstawiania wartości aż po pełną gamę procedur przeklasyfikowania i operacji logicznych. Jest to możliwe, gdyż w bazie danych zakodowane są nie tylko informacje o lokalizacji w układzie przestrzennym, ale także o zjawia-

skach i obiektach geograficznych. Operacje wykonywane są analogicznie jak w przypadku nakładania map o wszystkich wartościach w polach podstawowych. Zbiór procedur nakładania i przeklasyfikowania map jest łatwo wykonalny dla danych rastrowych. Nieco więcej trudności sprawiają algorytmy charakteryzujące sąsiedztwo wartości lub zjawisk (regionów). Najbardziej charakterystyczną dla badań geograficznych metodą jest regionalizacja. Narzędziem pozwalającym jej dokonać na mapie cyfrowej jest wyszukiwanie wartości z przedziału pól, w obrębie uprzednio określonej odległości.

Algorytm operuje z reguły ekwidystantą (kółkiem, kwadratem) o określonej wielkości, przemieszczającym się w siatce pól, przeszukując pole po polu. Procedura zlicza liczby zdarzeń, zjawisk geograficznych w obrębie promienia wyszukiwania i umieszcza te wartości w nowej mapie. Najczęściej dokonuje się tutaj analiza liczebności, częstotliwości zjawisk. Uzupełnieniem tej procedury jest podprogram identyfikacji ciągłych grup pól lub jednostek. Wykonanie tych operacji jest bardzo proste, gdy zbiór danych rastrowych ma wartości wzajemnie jednoznacznie przypisane atrybutom (np. klasom użytkowania ziemi). Operacje charakteryzujące sąsiedztwo najczęściej wykonywane są jednak dla danych, wartości liczbowych rastrowych, które początkowo nie są znaczące dla użytkownika. Bracken (1990) podaje następujący przykład zbioru uzyskanego z obrazów satelitarnych. Są to wartości uzyskane z obrazu w podczerwieni (infrared digital record). Żeby przypisać znaczenie określonym wartościom (rodzaj pokrycia szatą roślinną, typ gleby) należy określić, poprzez wykorzystanie danych z już rozpoznanego obszaru, które wartości związane są z określonymi, rozpoznanymi obiektami lub zjawiskami geograficznymi (tzw. reference training set). W ten sposób zbiór nieoznaczonych wartości rastrowych można odnieść do zbioru ściśle zdefiniowanego.

Dla każdej wartości albo określa się próg wartości decydujący o jego znaczeniu, albo rozważa się też jego położenie w obrębie już rozpoznanego obszaru. Stosując szereg procedur, m.in. określenie prawdopodobieństwa warunkowego, można wyeliminować z badanego zbioru wartości nieznaczące. Technika ta jest także dostępna dla zbiorów o wiadomych i znaczących wartościach. Wykonanie analizy zgrupowań (cluster analysis) sprowadza się tutaj do określenia progów wartości poszczególnych klas. Oba warianty procedury zakładają, że użytkownik nadzoruje proces właśnie przez narzucenie klas (progów) albo poprzez odniesienie do zbioru o znanej i oznaczonej skali wartości.

Nadzorowana przez użytkownika analiza zgrupowań polega więc na zdefiniowaniu pewnych kategorii informacji i następnie badaniu ich rozdziału między poszczególne zakresy (spektra dla obrazów satelitarnych)

W analizie nie nadzorowanej przez użytkownika (unsupervised cluster analysis) określa się zakresy różnych klas i dopiero potem definiuje się ich znaczenie, rodzaj informacji, jakie dane klasy wartości przenoszą (Bracken 1990). Zasadniczą czynnością wykonywaną przez algorytm drugiej procedury jest



ocena częstości wartości w zbiorze i podział na klasy. Każda klasa ma swoje odzwierciedlenie kartograficzne w regionie (jednostce, unit), podzbiorze pól.

Wykonanie analizy zgrupowań nie w pełni odpowiada warunkom regionalizacji jako metody geograficznej; podział na regiony musi być całkowity, rozłączny i oparty na sprecyzowanej zasadzie, tzn. musi obejmować cały rozpatrywany obszar, który dzieli się na wyodrębnione regiony o jednorodnych cechach. Analiza zgrupowań często pozostawia grupy pól nieoznaczone lub pojedyncze rozproszone pola o wyraźnie różnych wartościach w obrębie regionów. Niektóre geograficzne systemy informacyjne posiadają podprogramy umożliwiające „generalizację” obrazu w taki sposób, że wartość pola lub grupy pól odzwierciedla wartość otaczającego lub sąsiadującego regionu.

Drugą ważną w geografii i często wykorzystywaną metodą jest określanie zasięgu i granic regionów węzłowych. Wyznaczają je np. zasięgi codziennych dojazdów do pracy czy proces rozchodzenia się innowacji technicznych. Zaawansowane systemy geoinformacyjne zawierają narzędzia umożliwiające wyznaczenie regionów węzłowych. Algorytmy procedur, począwszy od najprostszego, opierają się na zasadzie, że określa się punkt wyjścia, tj. wartość pola, która jest centrum (lub jednym z centrów) i od tego pola, izotropicznie, następuje przeklasyfikowanie kolejnych sąsiadujących pól. Algorytm może być zmodyfikowany. Opcje są wiernym odzwierciedleniem stosowanych w badaniach geograficznych rozwiązań. Przeklasyfikowanie wartości pól może być modyfikowane (np. zgodnie z regułą odwrotnej proporcjonalności do kwadratu odległości). Algorytm może uwzględniać funkcjonowanie barier, a więc kolejne pole lub zbiór pól, które należy przeklasyfikować, posiada wartość znaczącą, uruchamiającą funkcję, która nadaje mu jeszcze inną wartość.

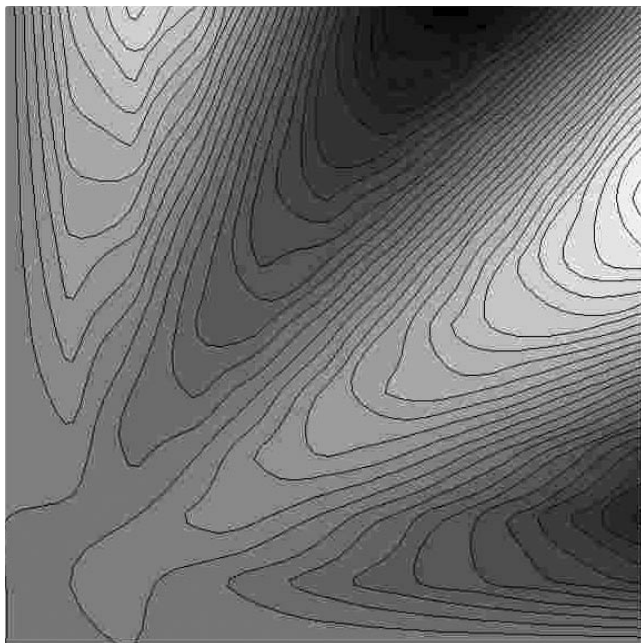
Zbiory zapisane w formacie rastrowym bardzo często służą jako punkt wyjścia do generowania rzutów dwu- i trójwymiarowych obrazów izolinii (np. poziomic). Pierwszy krok to interpolacja wartości w polach siatki ze zbioru losowo rozrzuconych punktów. Algorytm może opierać się przy gęstej sieci punktów na prostych średnich. Najczęściej jednak używa się średnich ważonych (Burrough, 1986).

Interpolacja dokonuje się w obrębie przesuwanego się okienka (np. 3x3 pola) kolejno po całym arkuszu mapy. Z tak wypełnionej wartościami pól (pikseli) siatki bardzo łatwo wygenerować nowy podkład, zawierający tylko te pola, których wartość pokrywać będzie się z żądanym cięciem izolinii mapy cyfrowej. Modele powierzchni wyświetlane jako obraz rzutu trójwymiarowego na ekranie, jako zbioru wyjściowego do przetwarzania danych, potrzebują tylko nieregularnej siatki punktów. Model traktuje punkty jak węzły, łącząc je ze sobą i formując trójkąty triangulacji na powierzchni. Dodatkowo, zakłada się istnienie węzłów na krawędziach arkusza podkładu.

Prezentacja graficzna rzeźby może być przedstawiona właśnie w postaci trójkątów, które będą tworzyć płaszczyzny nachylone powierzchni. Aby zagęścić początkowy podział na trójkąty interpoluje się niekiedy wartości punktów na bo-

kach trójkątów i ich sieć zagęszcza się. Bardzo gęsta siatka triangulacyjna jest zbliżona do rastru, który, jeżeli jest to regularna i pełna siatka pól, może bezpośrednio być wyświetlony jako rzut obrazu trójwymiarowego powierzchni Ziemi.

Metody interpolacji w systemach geoinformacyjnych wykorzystują algorytmy opracowania danych przestrzennych stosowane w kartografii i wzbogacone o techniki statystyczno-matematyczne. Źródłem danych interpolacji mogą być losowo (nieregularnie) rozmieszczone punkty, serie danych tworzących profile lub węzły regularnej siatki (Magnuszewski, 1999). Celem jest ustalenie powierzchni statystycznej i jej wizualizacja. Tradycyjnym w kartografii przedstawieniem powierzchni statystycznej za pomocą znaków liniowych są izoliny<sup>6</sup>. Wizualizacja regularnej siatki punktów (grid) jest możliwa natychmiast w postaci mapy rastrowej, dla której określonym punktom cechowanym (o współrzędnych  $x,y,z$  lub długość, szerokość geograficzna i np. wysokość n.p.m.) przypisana jest paleta barw (lub odcieni szarości) związana z trzecią współrzędną ( $z$ ), a rozmiar pola rastru (rozdzielczość) określony przez odległości między punktami. Siatka może być ani- lub izotropowa.



Rys. 28. Wizualizacja regularnej siatki punktów (grid) w postaci bitmapy z nałożonymi izarytmami

<sup>6</sup> Izolinia to ślad przecięcia płaszczyzny poziomej z powierzchnią statystyczną. Izolinie przedstawiające rozmieszczenie wielkości rzeczywistych lub pochodnych to izarytmy rzeczywiste. Izarytmy teoretyczne (izoplety) to izolinie przedstawiające wielkości, które nie występują rzeczywiście w danych punktach, lecz odniesione są do danych powierzchni (Robinson, Randall, Morrison, 1988).

W zależności od algorytmu wybranej metody, wyniki interpolacji powierzchni statystycznej mogą różnić się między sobą. Część metod, interpolujących wartości na podstawie losowo rozmieszczonego zbioru punktów cechowanych, rzeczywiście odzwierciedla ich miary, szacując jedynie przybliżone wartości cech pomiędzy nimi. Inne modelują (często na podstawie regularnej siatki punktów) przybliżone wartości izoplei dla całej powierzchni statystycznej, minimalizując błąd obliczeń (metodą najmniejszych kwadratów). Najczęściej stosowane metody interpolacji:

- średniej wagowej (metoda odwrotnych odległości – ang. *inverse distance*); wartość z interpolowanych punktów jest szacowana względem pozostałych, a wagę określa (spotęgowana) odległość między nimi. Współczynnikiem ważącym jest wykładnik potęgi. Im jest wyższy, tym mniejszy jest wpływ miar dalej położonych punktów;
- krigging; jest to metoda geostatystyczna umożliwiająca interpolację powierzchni na podstawie statystycznego podobieństwa miar punktów cechowanych zależnych od funkcji odległości. W funkcji odległości ujmuje się zależność matematyczną: liniową, potęgową lub statystyczną; funkcji rozkładu normalnego, Gaussa (lub innych) w celu oszacowania autokowariancji przestrzennej na podstawie wykresu wariogramu (Magnuszewski, 1999). Praktycznie – wartość interpolowana jest średnią ważoną miar punktów otaczających, wyliczoną na podstawie ustalonego, sparametryzowanego modelu;
- metoda funkcji sklejaných (ang. *minimum curvature splines*); pozwala interpolować powierzchnie statystyczne, minimalizując (szacowane) zakrzywienia pomiędzy punktami cechowanymi. Analogią jest wyobrażenie elastycznego płatu materiału rozpiętego na danej powierzchni, którego zakrzywienie wyznaczają miary losowo rozmieszczonych punktów cechowanych;
- interpolacja na podstawie wartości sąsiadujących punktów cechowanych rozmieszczonych w regularnej siatce (interpolacja w regularnej siatce punktów); najczęściej jest stosowana w celu uzupełnienia brakujących punktów danych w siatce. Stosowaną metodą jest prosta interpolacja liniowa, na podstawie czterech lub więcej, regularnie rozmieszczonych punktów sąsiadujących. Możliwe także jest wykorzystanie bardziej skomplikowanych funkcji matematycznych, np. kwadratowej, logarytmicznej;
- interpolacja za pomocą statystycznych funkcji regresji (ang. *polynomial regression*); umożliwia oszacowanie trendu przestrzennego badanych punktów cechowanych. Wykorzystywane funkcje wielomianowe to m.in.: regresja liniowa, kwadratowa, bikubiczna (dla danych w trzech wymiarach). Możliwe jest także zastosowanie algorytmów wybranych metod matematyczno-statystycznych (np. składowych głównych). Interpolacja metodą statystycznych funkcji regresji, analizy czynnikowej i składowych głównych.

- triangulacja (metoda triangulacji geodezyjnej); porządkuje punkty cechowane w siatce trójkątów, a wartości interpolowane są metodą średniej wagowej. Triangulacja odwzorowuje wiernie wartości początkowe punktów.

## Przetwarzanie i analiza danych zapisanych formatem wektorowym

Jedną z najczęściej wykonywanych procedur dla danych zarówno w zapisie wektorowym jak i rastrowym jest obliczanie odległości między dwoma punktami na płaszczyźnie. Wykorzystuje się tutaj znane z geometrii analitycznej równanie odległości euklidesowej.

Dla danych zapisanych formatem wektorowym będzie to obliczona odległość w jednostkach, które użytkownik założy przy wprowadzaniu danych i obliczenia będą dokonane zgodnie z regułami arytmetyki zmiennoprzecinkowej (liczb rzeczywistych). Pomiar długości krzywej opiera się na algorytmie operującym wielokrotnie równaniem odległości euklidesowej wzdłuż punktów wyznaczających przebieg linii (ang. break points, knots). Zaawansowane systemy geoinformacyjne wykorzystują tutaj algorytmy całkowania i uwzględniają zniekształcenia wynikające z aktualnego odwzorowania mapy cyfrowej.

Innym algorytmem często wykorzystywanym w trakcie szeregu operacji jest tworzenie ekwidystanty, tj. figury geometrycznej wokół punktu, linii prostej, krzywej lub wokół poligonu. Procedura służy jako narzędzie pomocne przy klasie operacji nakładania i charakterystyki sąsiedztwa. Zdolność kreowania ekwidystanty jest narzędziem często wykorzystywanym bez udziału użytkownika przez podprogramy systemu. Szerokość może być zdefiniowana zależnie od rodzaju informacji jaką się przetwarza tą metodą.

Procedury nakładania dla danych zapisanych formatem wektorowym wymagają rozważenia całej struktury topologicznej obiektów. Jakkolwiek cała operacja dokonuje się bez udziału użytkownika – operuje on tylko atrybutami – to jednak zrozumienie jej przebiegu jest pomocne w definiowaniu zadania.

Analizę, czy punkt znajduje się w obrębie poligonu, rozpoczyna się od zbudowania prostokąta ograniczającego poligon i określenia jego ekstremalnych współrzędnych. Z czterech punktów A,B,C,D pierwszy krok algorytmu eliminuje te punkty, których przynajmniej jedna współrzędna znajduje się poza zbudowanym prostokątem. Niekiedy drugi krok algorytmu to zbudowanie prostokąta wewnętrznego wpisanego w poligon i określenie jego współrzędnych. Porównanie współrzędnych prostokąta z punktem C umiejscawia ten ostatni na pewno wewnątrz poligonu. Ostatni krok to badanie linii wyprowadzonej z punktu (zwykle jest ona równoległa do osi współrzędnych). Jeżeli linia przetnie grani-

ce poligonu parzystą ilość razy, punkt znajduje się poza poligonem. Jeżeli nieparzystą – to punkt znajduje się w obrębie poligonu. Procedura dotyczy zwykle punktów, dla których dwa pierwsze kroki nie dały zadowalającego rezultatu.

W przypadku poszukiwania przecięcia linii i punktów stosuje się ogólnie znane równania geometrii analitycznej. Dla linii i poligonów rozróżnia się dodatkowo przypadki, gdy linia leży całkowicie w obrębie granic czy też tylko przecina poligon.

Szczególnym przypadkiem jest nakładanie na siebie poligonów. W tej sytuacji bada się potencjalne punkty przecięcia fragmentów linii (segmentów) ograniczających poligony. Ponieważ tych segmentów jest zazwyczaj dużo, żeby uniknąć nieistniejących kombinacji współrzędnych, dla każdego segmentu definiowane są wartości ekstremalne współrzędnych. Procedura porównania prostokątów opisanych na segmentach służy eliminacji niepotrzebnych obliczeń. Współrzędne punktów przecięcia wyliczane są z równań geometrii analitycznej. Prostokąty lub inne figury geometryczne, budowane w celu określenia ekstremalnych współrzędnych wokół punktów, linii i poligonów, stanowią elementy analizy topologicznej niezbędnej przy nakładaniu poligonów i mają podobne zastosowanie jak ekwidystanty.

Równocześnie lub po nałożeniu na siebie obiektów topologicznych wraz z nowymi utworzonymi w trakcie operacji obiektami geograficznymi budowana jest struktura danych w bazie atrybutów. Jakkolwiek DBMS posiadają zdolność tworzenia nowych danych alfanumerycznych, np. poprzez łączenie ciągów znaków, to jednak nowo powstałe obiekty geograficzne na mapie cyfrowej (np: regiony agroklimatyczne) charakteryzowane są przez geografów określeniami nowymi jakościowo. Oznacza to budowanie nowych relacji o pomnożonych atrybutach. A więc zbudowanie pustej jeszcze tablicy, dla której zdefiniowane będą nagłówki kolumn. Należy wtedy wziąć pod uwagę wszystkie możliwe kombinacje atrybutów z kilku podkładów.

Utworzoną mapę cyfrową należy zweryfikować, co pozwoli na prawidłowe zbudowanie nowej topologii obiektów. Jeżeli geograficzne systemy informacyjne nie posiadają procedur automatycznie śledzących relacje topologiczne, użytkownik musi sam dokonać takiej weryfikacji, wyświetlając kolejno części mapy. Nakładanie danych zapisanych formatem wektorowym dokonuje się najczęściej w trakcie operacji logicznych na mapach lub obiektach geograficznych wybranych przez użytkownika, poprzez nadanie nazw lub identyfikatorów.

Następna klasa operacji wykorzystująca ekwidystantę to charakteryzowanie sąsiedztwa obiektów geograficznych. Przede wszystkim poszukiwanie i określenie najbliższego sąsiadującego z początkowo wybranym obiektem geograficznego. Wyszukiwanie może być modyfikowane przez odległość, kierunek i ewentualnie rodzaj obiektu, np. znalezienie odpowiedniej lokalizacji (spełniającej pewne warunki) najbliższej skrzyżowania dróg. Podobne działanie ma analiza sąsiedztwa związana z klasą obiektów (ang. proximity analy-

sis). W obrębie ekwidystanty znajduje się szereg miejsc, które spełniają odpowiednie warunki i mogą być wykorzystywane, np. pod lokalizację stacji benzynowej. W końcu można skonstruować całą mapę charakteryzującą stopień przydatności dla potencjalnej lokalizacji wybranego rodzaju obiektów geograficznych (allocation analysis).

Z operacjami charakteryzującymi sąsiedztwo związane są także procedury wyszukiwania najkrótszej lub optymalnej drogi (ang. shortest path, optimum path), z uwzględnieniem wpływu różnych obiektów geograficznych. Te procedury operują przede wszystkim w sieci (np. dróg) lub uwzględniają warunki rzeźby terenu. Ich uzupełnieniem może być wyszukiwanie alternatywnej drogi względem już istniejącej (ang. alternative path). Ponieważ wszystkie wyszukiwane obiekty są odniesione do siatki współrzędnych, możliwe jest także wyszukiwanie – za pośrednictwem współrzędnych geograficznych i odwrotnie – określenie lokalizacji względem współrzędnych geograficznych przez wskazanie obiektu (ang. address matching, geocoding).

W wielu przypadkach punktem wyjścia procedur charakteryzujących sąsiedztwo jest wyliczenie i przedstawienie poligonów Thiessena. To podejście szczególnie nadaje się przy danych rozmieszczonych punktowo, ale opisujących informację ciągłą na pewnej powierzchni. Pierwszy krok to szczególnego rodzaju podział powierzchni na poligony. Szczególną własnością tych poligonów jest fakt, że punkt wewnątrz zawsze będzie znajdował się bliżej jego środka niż jakiegokolwiek punktu poza jego granicami, stąd łatwo ocenić sąsiedztwo punktów i poligonów (Bracken 1990).

Procedury charakterystyki sąsiedztwa współdziałają z procedurami kompleksowej generalizacji kartograficznej na mapie cyfrowej. Często zdarza się, że informacja na dwóch różnych podkładach powinna zostać częściowo wymieniona między nimi, np. podkład zawierający przebieg granic i m.in. granice administracyjne miast, które powinny także znaleźć się na podkładzie zawierającym obraz użytkowania ziemi jako granice obszaru o skoncentrowanej zabudowie. W tym przypadku konstruowanie nowego podkładu jest niepotrzebne. Wystarczy jedynie „przenieść” dane, tzn. uzupełnić topologię podkładu użytkowania ziemi i zmienić opis atrybutów nieprzestrzennych.

## Rozdział V

# Modelowanie i analiza rzeźby terenu

**W** badaniach geograficznych rzeźba terenu i jej cechy odgrywają ważną rolę. Ukształtowanie powierzchni często jest traktowane jako czynnik decydujący dla procesów i zjawisk przyrodniczych. Ujęcie trzeciego wymiaru – rzeźby – traktowane jest w tradycyjnej kartografii jako jedno z ważniejszych zadań. Wysokość na lądzie (a na mapach zbiorników wodnych – głębokość) wzbogaca treść mapy, ożywia obraz powierzchni Ziemi, jest zasadniczym elementem mapy i podnosi jej estetykę (Szaflarski, 1955).

Rzeźba terenu występowała już na mapach w starożytności, najczęściej w postaci uproszczonych rysunków – tzw. kopczyków – dokumentujących istnienie zróżnicowania wysokości obszaru. Już w XII wieku na mapach wykonanych przez arabskiego kartografa – Idrisi<sup>1</sup> – łańcuchy górskie przedstawione były jako barwne, perspektywiczne układy łańcuchowe (Szaflarski, 1955, s.339). Jednak schematyczne, faliste lub łamane, linie nie miały wiele wspólnego z rzeczywistymi cechami rzeźby – wysokością bezwzględną lub względną, przebiegiem linii szkieletowych.

W czasach średniowiecza rysunek rzeźby terenu na mapach został udoskonalony: był zgodny z zasadami rysunku perspektywicznego, wykonany często w rzucie poziomym. Dodatkowy element to cieniowanie, próby plastycznego oddania na mapie rzeźby terenu uwzględniające oświetlenie wyniosłości rzeźby. Położenie i kształt elementów rzeźby stały się bardziej dokładne i zbliżone do rzeczywistości. Zwiększyła się szczegółowość rysunku, zróżnicowanie detali i ich kształt w większym stopniu nawiązywał do rzeczywistości. Zdolności kartograficzne twórców map szły w parze ze zdolnościami malarskimi. Nadal jednak mapa była odręcznym szkicem.

W 1644 roku Evangelista Torricelli zbudował pierwszy barometr rtęciowy. Ten wynalazek oraz odkrycie miary ciśnienia atmosferycznego pozwoliło na pomiary wysokości. Pierwszych pomiarów wysokości opartych na różnicy ciśnień dokonał Blaise Pascal w 1648 roku we Francji (w Clermont). Od połowy XVII wieku na mapach pojawiają się również opisane punkty wysokościowe (wysokości względne).

<sup>1</sup> Edrisi, Idrisi, Abu Abdallah Mohammed (1100-1166)

Od XVIII wieku kartografia stała się domeną instytucji państwowych i wojskowych. Zapożyczenie z metod projektowania i przedstawiania fortyfikacji wojskowych rysunku półperspektywicznego (fr. perspective cavalière), wykorzystującego kreskowanie za pomocą ukośnych linii, pozwoliło obrazować rzeźbę terenu z lotu ptaka. Metoda ta, połączona z uwzględnieniem oświetlenia terenu, dawała bardzo plastyczny efekt rysunkowy, ale tylko na obszarach górskich. Duże obszary o niezróżnicowanej rzeźbie pozostawały na mapach białymi plamami. Dopiero pod koniec XVIII wieku zaczęto stosować metodę kreskowania dla całego obszaru przedstawianego na mapie.

Od końca XVIII wieku zaczęto stosować w przedstawieniu rzeźby terenu na mapach metodę, opracowaną przez majora armii saskiej J.G. Lehmana, polegającą na uzasadnionym w sposób matematyczny przedstawieniu oświetlenia za pomocą grubości i odstępów kresek, rysowanych na mapach zgodnie z kierunkiem spływu wody. Metoda kreskowa została nazwana metodą Lehmana. W wielu krajach europejskich stosowano ją, poddając różnym modyfikacjom (m.in. w Prusach, we Francji, w Rosji). Jedną z odmian metody kreskowej jest, stosowane nawet współcześnie, schematyczne kreskowanie i cieniowanie stoków, podczas gdy linie szkieletowe grzbietów oznacza się jasnymi kolorami. Dalszym rozwinięciem tej metody jest przedstawienie rzeźby terenu na mapach za pomocą cieniowania naśladującego fotografię terenu przy oświetleniu bocznym. Kolejny krok w rozwoju metody cieniowania to przedstawienie terenu za pomocą oświetlenia skośnego.

Stosowane współcześnie metody przedstawienia ukształtowania powierzchni w postaci poziomic wynaleziono na początku XVIII wieku w Holandii (Mikołaj S. Cruquiua, 1728-1730). W szerszym zakresie zaczęto je stosować w momencie, gdy do powszechnego użytku oraz praktyki kartograficznej i geodezyjnej weszły metody i przyrządy umożliwiające ściśle pomiary odległości i wysokości (teodolit, niwelator), a w technice druku kolorowych map zaczęto wykorzystywać barwną litografię. W dalszych próbach uplastycznienia rysunku poziomicowego rzeźby terenu na mapach stosowano pogrubienie lub zagęszczenia poziomic na stromych zboczach oraz wykorzystanie różnych odcieni poziomic w zależności od oświetlenia. Równocześnie zaczęto stosować barwoplastykę kartograficzną, wykorzystując plastyczne oddziaływanie barw na widzenie stereoskopowe ludzi. Opracowana przez Konrada Peuckera w 1911 roku skala barw rzeźby terenu na mapach, (z niewielkimi modyfikacjami) stosowana współcześnie – oparta jest na zasadzie: im wyżej, tym kolory powinny być jaśniejsze i cieplejsze (efekt bliskości), a im niżej – tym ciemniejsze i chłodniejsze. W różnych krajach oryginalną skalę barw Peuckera modyfikowano, dobierając różne barwy do skały, ale oryginalna zasada pozostała nie zmieniona. Dalsze eksperymenty prowadziły między innymi do wykorzystania skał w barwach umownych i cieniowania oraz zróżnicowania oświetlenia w rysunku rzeźby terenu na mapach.

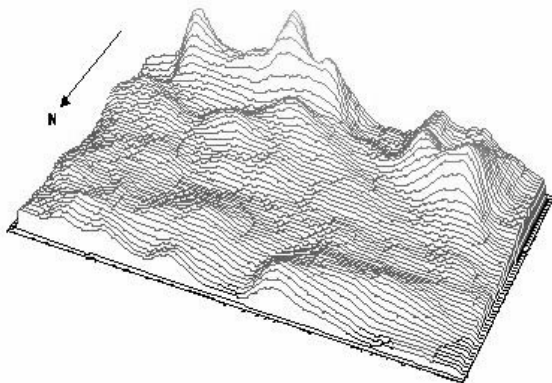


Dalszy rozwój metod przedstawienia ukształtowania powierzchni na mapach pod koniec XIX i w XX wieku - to próby połączenia metod: kreskowej Lehmana i cieniowania w postaci systemu punktowego (M.Eckert, 1898). Plastyczny obraz rzeźby terenu na mapie odwzorowany jest za pomocą siatki zróżnicowanych pod względem wielkości i jasności punktów. Liczba i jasność punktów oraz ich rozmieszczenie podlegała ścisłym regułom matematycznym wynikającym z relacji pomiędzy nachyleniem terenu i jego oświetleniem. Stosowano także metodę szeregu profilów (Tanaka Kichiro, 1932) oraz blokdiagramy przedstawiające rzeźbę terenu w postaci cieniowanego rysunku perspektywicznego. Łącząc technikę blokdiagramu z mapą uzyskano również diagramy fizjograficzne: schematyczne, obrazkowe przedstawienie form rzeźby terenu na mapach, której uogólnieniem jest przedstawienie na mapie typów terenu (Robinson i in. 1988).

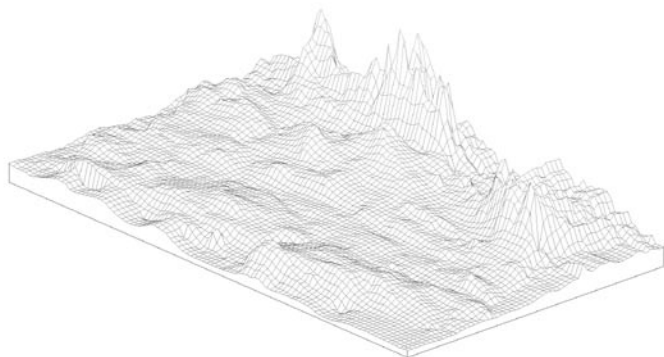
Metody komputerowego przedstawiania ukształtowania powierzchni wywodzą się częściowo z metod kartografii. Rozwój teledetekcji, fotogrametrii i komputerowe obrazowanie zdjęć lotniczych i satelitarnych to kolejne źródło rozwoju komputerowych metod przedstawiania rzeźby terenu. Niebagatelne znaczenie miały także gry komputerowe, gdzie ukształtowanie powierzchni, a szerzej krajobraz i mapy wyimaginowanej rzeczywistości pozwalały zorientować się użytkownikowi w „komputerowym terenie”. W początkowym okresie rozwoju techniki komputerowej, jeszcze w latach 80. XX w., jedną z niewielu technik pozwalającą na uzyskanie komputerowej mapy rzeźby terenu było kreślenie rysunku za pomocą plotera pisakowego. Nieco później, gdy rozwinęła się technika graficznego obrazowania rysunków (ang. WIMP – windows, icons, mouse, pointing), mapy można było już także przedstawić na ekranach komputerów, niezależnie od sposobu zapisu plików: wektorowego (w postaci linii czarnych lub kolorowych) czy rastrowego (siatki punktów, każdego o zdefiniowanej jasności lub barwie).

Problemem pozostaje konieczność statystyczno-matematycznej interpolacji wysokości na komputerowych mapach rzeźby. Ukształtowanie powierzchni jest cechą ciągłą krajobrazu. Aby przedstawić wysokości na mapie komputerowej, należy wprowadzić zbiór punktów, opisując dla każdego współrzędne geograficzne i wysokość. Im ten zbiór jest większy, tym dokładniejszy będzie opis rzeźby danego terenu. Dyskretyzacja (nieciągłość) opisu komputerowego rzeźby wymaga interpolowania wysokości pomiędzy zdefiniowanymi punktami. Dla tego celu rozwinięto wiele technik: począwszy od tradycyjnych metod interpolacji po wyrafinowane techniki statystyczne (krigging). W geograficznych systemach informacyjnych efektem interpolacji jest regularna lub nieregularna siatka punktów, którą można wykorzystać do przedstawienia rzeźby, np. w postaci szeregu profili (rys. 29) lub tradycyjną już dla kartografii metodą poziomiec ze skalą barwną. Oczywiście, dokładność interpolacji wysokości punktów wpływa na końcowy obraz rzeźby.

Inny sposób przedstawienia rzeźby terenu na ekranie komputera to stworzenie siatki linii (kwadratowej, trójkątnej) łączącej punkty o zdefiniowanych wysokościach (rys. 30).



Rys. 29. Zgeneralizowany i spłaszczony obraz rzeźby terenu Polski w postaci serii profili w rzucie perspektywicznym



Rys. 30. Zgeneralizowany obraz rzeźby terenu Polski w postaci siatki w rzucie ortogonalnym

Dane można zobrazować na ekranie komputera jako bitmapę, przyjmując skalę barwną zbliżoną do skali Peuckera. Taki model rzeźby nazywany jest DTM (Digital Terrain Model). Jeżeli zbiór danych w komputerze zawiera tylko informacje o wysokości punktów, nazywany jest DEM (ang. Digital Elevation Model, rys. 31).

Cyfrowe modele rzeźby (DTM, digital terrain models, DEM, digital elevation models) mogą operować zarówno danymi rastrowymi jak i wektorowymi.

Do przedstawienia zróżnicowania warstw geologicznych, używa się w systemach geoinformacyjnych formatu zapisu octree, tzn. zamiast czterech pól na płaszczyźnie (quad tree), wykorzystuje się osiem sześciątów w przestrzeni trójwymiarowej jako odpowiednika pikseli (voxel).

Skala jakościowa ukształtowania terenu stosowana była w kartografii przy wykorzystaniu skal nominalnych typów rzeźby. Określone powierzchnie zasięgu jednorodnych typów rzeźby przedstawiano za pomocą zasięgów (przy wykorzystaniu umownych znaków) lub barw. To dyskretne podejście zostało przeniesione do systemów GIS w postaci automatyzacji procedur dzielących dany obszar według przyjętych kryteriów morfologicznych i wydzielen (dno doliny, stok, taras). Same kryteria opierają się na modelach DEM i wyliczonych na ich podstawie poszczególnych cechach rzeźby: spadkach, wysokościach względnych, ekspozycji. Przedziały ilościowe cech narzuca użytkownik, jakkolwiek często w programach GIS założone są już początkowe kryteria podziału<sup>2</sup>.

Traktowanie rzeźby jako ciągłego elementu krajobrazu wyrażonego ilościowo znacznie ułatwia operowanie modelami DEM. Rozróżnia się dwa rodzaje metod modelowania numerycznego rzeźby (Burrough, 1986): matematyczne i przetwarzania obrazu (ang. image processing). Inne rozróżnienie sposobów przedstawiania rzeźby to modele: poziomicowy, triangulacyjny i rastrowy. Modele poziomicowe są klasycznym sposobem przedstawiania ukształtowania powierzchni. W mapach komputerowych najczęściej służą jako pomocnicza warstwa tematyczna. Stosowane są również jako punkt wyjścia do uzyskania pozostałych modeli.

Metody matematyczne to aproksymacja ciągłej trójwymiarowej funkcji, która w najlepszy sposób opisuje daną powierzchnię. Niestety, rzeczywistość nie daje się dokładnie wymodelować i nawet bardzo skomplikowane narzędzia matematyczne i statystyczne jak szeregi Fouriera lub układy równań o wielu zmiennych nie dają zadowalającego rezultatu. Znajdują one zastosowanie do przedstawienia makrorzeźby na niektórych obszarach. Ich wynikiem może być m.in. opisany wyżej podział jakościowy typów rzeźby.

O wiele częściej stosuje się metody numeryczne przetwarzania obrazów. Danymi wyjściowymi modeli cyfrowych jest zwykle zbiór nieregularnie rozrzuconych punktów o współrzędnych X,Y,Z (współrzędne geograficzne lub kartograficzne i wysokość). Poziomice interpoluje się, wykorzystując m.in. techniki stosowane w kartografii. Procedury wykorzystują algorytm wyszukiwania najbliższych punktów i generowane są nowe wysokości odpowiadające założonemu cięciu. Niekiedy dane wprowadzane są z już gotowych map poziomico-

<sup>2</sup> Np. w programie IDRISI32 moduł TOPOSHAPE dzieli badany obszar na następujące kategorie: szczyty, grzbiety, kotliny, obszary płaskie, wąwozy, doliny, wypukłe zbocza, wklęsłe zbocza, proste zbocza, pofałdowany teren nachylony, teren nachylony z zagłębieniami oraz obszary niesklasyfikowane. Algorytm poszukuje najlepiej dopasowanej matematycznie powierzchni do ukształtowania danego obszaru metodą wielomianów. Teren jest dzielony na małe fragmenty i dla każdego z nich obliczane są parametry nachylenia i ekspozycji.

wych. Wtedy możliwe jest odwrócenie algorytmu i utworzenie zbioru regularnie lub nieregularnie rozmieszczonych punktów o współrzędnych X,Y,Z. Jedną z częściej stosowanych procedur w analizie rzeźby jest nieregularna sieć triangulacyjna (ang. TIN, triangulated irregular network).

Podstawę modelu triangulacyjnego (TIN) stanowi siatka trójkątna o zmiennej rozdzielczości. Wierzchołki nieregularnych trójkątów, dopasowanych w taki sposób, aby jak najlepiej pasowały do zróżnicowania rzeźby, to punkty o określonej wysokości. Boki trójkątów obrazują krawędzie występujące w terenie. Zdefiniowane wysokości uwzględniają punkty, w których charakter powierzchni morfologicznej się zmienia – na liniach szkieletowych rzeźby. Różnice wysokości pomiędzy wierzchołkami trójkąta zmieniają się stopniowo, tzn. brak jest między nimi zboczy o dużym nachyleniu (Widacki, 1997). Algorytmy budowania modelu TIN opierają się na tzw. tesselacji, czyli podziale obszaru za pomocą poligonów Thiessena. Na tej podstawie dokonuje się triangulacji Delanuy. Algorytm triangulacji łączy liniami (tworząc nieregularną siatkę trójkątów) poszczególne środki poligonów Thiessena. Każdy z trójkątów charakteryzuje określona wartość ekspozycji i nachylenia, zmienia się tylko wysokość wierzchołków. Model TIN można przedstawić jako blokdiagram, w rzucie perspektywicznym lub prostokątnym na płaszczyźnie. Zmieniając pozycję obserwatora w pionie i w poziomie oraz kierunek obserwacji, uzyskuje się szereg obrazów (klatek, ang. frames), które mogą stanowić punkt wyjścia do animacji – filmu prezentującego zmieniającą się rzeźbę terenu w miarę ruchu obserwatora i jego kierunku widzenia.

Najczęściej do zobrazowania rzeźby terenu jest stosowany model rastrowy. Dokładne odwzorowanie rzeźby terenu w modelu rastrowym DEM zależy jednak od liczby, rozmieszczenia i dokładności punktów wysokościowych oraz stosowanego algorytmu interpolacji (Magnuszewski, 1999).

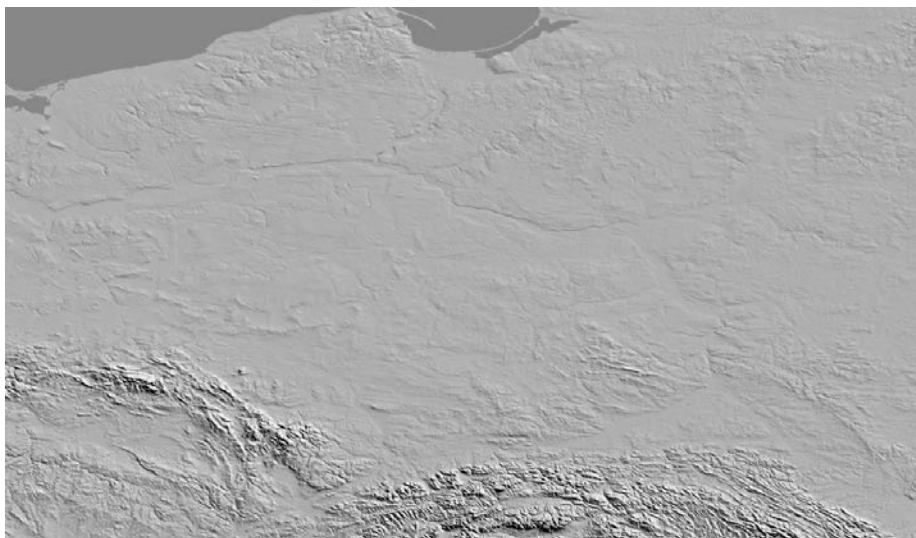
Źródła danych do uzyskania modeli rzeźby to najczęściej mapy topograficzne jak również: pomiary geodezyjne, dane fotogrametryczne, teledetekcyjne (w różnych zakresach promieniowania uzyskiwane przez radary, sonary lub lasery). W rastrowych modelach rzeźby zapisywane są tylko wysokości. Współrzędne geo- lub kartograficzne wynikają z kolejności zapisu i pozycji w regularnej siatce punktów, natomiast kolorystyka modelu przechowywana jest w odrębnych plikach zwanych paletami (lub LUT, tj. ang. look-up table). Są to tabele kolorów, w których zapisane są liczby (wysokości) i odpowiadające im barwy. Edytując tylko tabele LUT lub zmieniając je (zmiana palet), uzyskuje się możliwość szybkiej zmiany kolorów na ekranie bez konieczności zmiany całego obrazu bitmapy.

W obrazowaniu rzeźby można wykorzystać także modele oświetlenia terenu, generowane na podstawie istniejącego modelu rzeźby i zadanych parametrów wysokości oraz kierunku padania promieni słonecznych (rys. 32).

Procedury związane z cyfrowym modelem rzeźby zasadniczo służą dwóm celom: przygotowaniu do wyświetlenia rzutu obrazu trójwymiarowego rzeź-

by całego terenu lub jego części oraz obliczeniom niezbędnym dla wykonania analiz geograficznych i kompozycji z pozostałymi warstwami tematycznymi map komputerowych.

Analizy wykonywane w cyfrowych modelach rzeźby to m.in. wyszukiwanie form negatywnych i pozytywnych. Bardziej zaawansowane systemy geoinformacyjne umożliwiają wykreślenie przebiegu linii spływu (ang. drainage networks) i działów wodnych, uzyskiwanie profilu pionowego, linii profilu poziomego, obliczanie i obrazowanie nachylenia stoków, zasięgu widoczności z wybranego punktu, wysokości względnych, wizualizacji ekspozycji zboczy, oszacowanie kubatury form (Widacki, 1997).

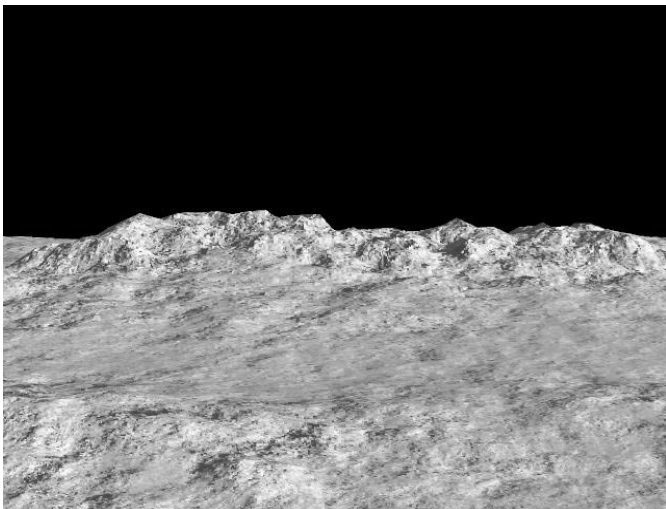


Rys. 32. Cyfrowy model rzeźby terenu obszaru Polski – oświetlenie boczne (w odcieniach szarości)

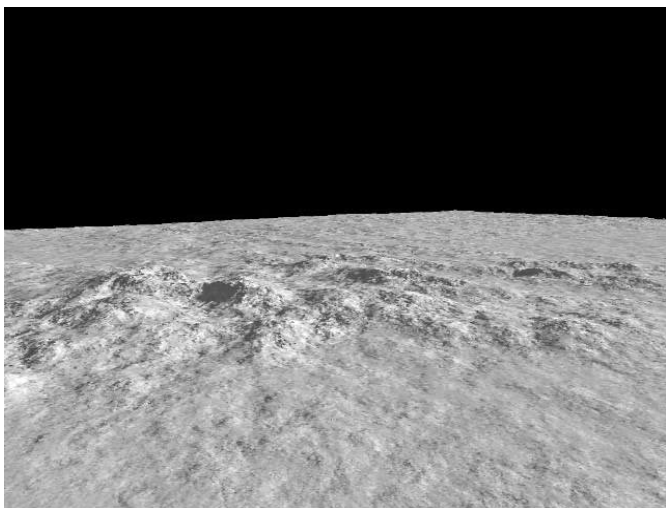
Użytkownicy często oczekują, że wygenerowany trójwymiarowy model rzeźby terenu będzie odwzorowywał ukształtowanie powierzchni w postaci analogicznej lub zbliżonej do fotografii. A to oznacza, że należy na podstawie DTM wygenerować obraz zbliżony do rzeczywistości. Takie możliwości ma zarówno szereg programów komercyjnych (ArcInfo, Erdas, Microstation, AutoDesk GIS) jak i oprogramowanie dostępne za darmo (Terragen, Genesis). W każdym z przypadków punktem wyjścia jest właśnie cyfrowy model rzeźby terenu (DEM).

Celem jest odwzorowanie widoków krajobrazów, na podstawie siatki punktów o zdefiniowanych wysokościach. Wirtualny krajobraz jest generowany na podstawie tego modelu. Aby uzyskać dodatkowe realistyczne szczegóły rzeźby, stosuje się grafikę wykorzystującą fraktale. Ten sposób postępowania

nia nawiązuje do tradycyjnego w geografii „czytania mapy”, z tym, że to nie użytkownik wyobraża sobie na podstawie mapy, jak wygląda ukształtowanie powierzchni widziane z wybranego miejsca; on jedynie określa lokalizację obserwatora, jego wysokość oraz kierunek, w którym będzie spoglądał. Równocześnie jednak metoda fraktali wzbogaca wizerunek trójwymiarowego krajobrazu o szczegóły, które w rzeczywistości wcale nie muszą wystąpić.



Rys. 33. a. Widok na Tatry od północy (na podstawie DEM, program Terragen)



Rys. 33. b. Widok na Sudety od północnego-wschodu (na podstawie DEM, program Terragen)

Oprogramowanie jest doskonałe w zakresie odwzorowania nie tylko danych dotyczących wysokości, ale także danych tematycznych na mapach. Tworzenie map obrazowych powinno w sposób jak najbardziej obrazowy, plastycznie oddać morfologię obiektów, a modele DEM powinny zapewnić metryczność, tzn. możliwość otrzymania ilościowych wskaźników morfometrycznych (Berlant, 2001).

Losowe (syntetyczne) modele DEM, bez dodatkowych informacji tematycznych, są wykorzystywane w badaniach symulacji procesów rozwoju rzeźby (Magnuszewski 1999). Całkowicie wirtualne krajobrazy, wzbogacone o detale dotyczące rzeźby terenu, roślinności, stanu atmosfery (wysokość i położenie słońca, pokrycie nieba chmurami, zamglenia), tekstury odwzorowujące powierzchnię terenu (gleby i pokrycie roślinne), zbiorniki wodne, a także zjawiska związane z działalnością człowieka są jeszcze na razie wytworem fantazji autorów i stosowane są obecnie najczęściej w produkcji filmów fabularnych i grach multimedialnych. Programy geoinformacyjne wzbogacają wyobraźnię człowieka w procesie „czytania” informacji kartograficznej.

Współcześnie głównym źródłem danych do tworzenia cyfrowych modeli rzeźby terenu są zdjęcia lotnicze i obrazy satelitarne. Dodatkowymi źródłami danych mogą być także analogowe lub cyfrowe fotografie lub klatki filmów video. Dane punktów wysokościowych do modeli DEM można uzyskiwać przy zastosowaniu oprogramowania analizującego obrazy stereoskopowe (Magnuszewski, 1999).

Metody wizualizacji modeli cyfrowych rzeźby terenu w kartografii i w systemach GIS opierają się na zasadzie przedstawienia dwuwymiarowych obrazów na płaszczyźnie w rzucie prostokątnym, ukośnym lub perspektywicznym, ale zasadniczą metodą stwarzającą złudzenie widoku przestrzennego (trójwymiarowego) jest operowanie wielkością natężenia światła padającego na formy ukształtowania powierzchni. Dodatkowo stosuje się zasady perspektywy, ukrywanie obiektów zasłoniętych (na drugim planie). Jednak nadal jest to tylko operowanie zróżnicowanym natężeniem oświetlenia. Blokdiagram stwarza złudzenie obrazu trójwymiarowego przede wszystkim przez fakt, że wynikiem działania systemu GIS jest zróżnicowanie natężenia światła. Dążenie do przedstawienia trzeciego wymiaru wiąże oprogramowanie GIS ze stereoskopią i holografia.

Wytworzenie obrazu stereoskopowego, widzianego przez człowieka rzeczywiście trójwymiarowo, polega na takim przedstawieniu dwóch obrazów tego samego zjawiska zarejestrowanych z dwóch różnych punktów widzenia (o znanej odległości między nimi, tzw. bazowej, i tej samej odległości od widzianych obiektów), aby dostarczyć obserwatorowi odrębne widoki dla prawego i lewego oka. Efekt widzenia trójwymiarowego można uzyskać przy pomocy stereoskopu (urządzenia stosowanego w fotointerpretacji zdjęć lotniczych) lub różną polaryzacją światła dla każdego z obrazów. Oglądany przez specjalne okulary obraz stereoskopowy stwarza wrażenie modelu trójwymiarowego.

Na mapach drukowanych lub na monitorze komputera stosowane są w tym celu także obrazy anaglifowe<sup>3</sup>.

Obrazy stereoskopowe wykorzystywane są głównie w badaniach naukowych (w fotogrametrii i fotointerpretacji), ale nie upowszechniły się wśród użytkowników systemów GIS. Zasadniczą przeszkodą wydaje się konieczność stosowania specjalnych okularów w celu uzyskania efektu trójwymiarowego. Inną (rozwijającą się dopiero) techniką wizualizacji jest holografia. Hologramy (obrazy holograficzne) nie wymagają od patrzącego żadnego dodatkowego urządzenia i rzeczywiście pozwalają uzyskać widzenie stereoskopowe. Technika holograficzna zapisu obrazów polega nie tylko na rejestracji natężenia światła padającego na obiekt, lecz także na wielkości paralaksy (przez równoczesną rejestrację dwóch wiązek światła odbitych od obiektu obserwowanego: tzw. zasadniczej i referencyjnej). To jest amplitudy i fazy fali świetlnej odbitej od zobrazowanego obiektu.

Tradycyjna technika rejestracji hologramów na materiale światłoczułym szybko rozczerowała zarówno badaczy jak i entuzjastów tej nowej dziedziny, gdyż umożliwiała obrazowanie małych (kilku-, kilkunastocentymetrowych), nieruchomych obiektów, a hologramy mogły być widzialne poprzez odtworzenie zarejestrowanej wiązki referencyjnej – oświetlenie obiektu. Postęp techniczny w dziedzinie konstrukcji laserów oraz techniki komputerowej pozwolił na rozwój tzw. holografii cyfrowej (ang. digital holography<sup>4</sup>). M.in. technologia Kinemax<sup>5</sup>, rozwinięta w Polsce, pozwala uzyskać stereogramy na podstawie serii renderowanych<sup>6</sup> komputerowo obrazów (w przypadku scen 3D) lub serii cyfrowych fotografii. Każdy z obrazów reprezentuje widok obiektu z innego kierunku. Na hologramie barwy komponowane są z podstawowych kolorów widzianych z tych punktów na kolejnych obrazach. Cały hologram rejestrowany jest na materiale światłoczułym i widzialny bez dodatkowego oświetlenia (Pizzanelli, 1994).

Uzyskiwane hologramy są jeszcze jednak zbyt małe, aby znalazły zastosowanie w druku map (stosuje się je jako zabezpieczenia znaków pieniężnych, kart kredytowych i nośników multimedialnych). Ograniczenia technologii holograficznej prawdopodobnie są do pokonania, jak dowodzi rozwój techniki komputerowej. Powiązanie techniki systemów informacji geograficznej i holografii w przyszłości wydaje się oczywiste w celu wizualizacji map i blokdiagramów.

<sup>3</sup> Dwa wydrukowane w różnych barwach i przesunięte wobec siebie obrazy tego samego przedmiotu, oglądane przez odpowiednie okulary, których soczewki są właściwie filtrami subtraktywnymi poszczególnych barw, dostarczają różne widoki dla prawego i lewego oka obserwatora, stwarzając efekt widzenia stereoskopowego.

<sup>4</sup> Historię rozwoju holografii prezentuje m.in. Pizzanelli, D., *Aspects of Spatial and Temporal Parallax in Multiplex Holograms, a study based on appropriated images*, PhD Thesis, Royal College of Art, London, 1994 (na podstawie dok. elektronicznego w formacie HTML; <http://www.pizzanelli.co.uk>, 2003)

<sup>5</sup> Polskie Systemy Holograficzne

<sup>6</sup> Odtwarzanie warunków oświetlenia obrazów na monitorze komputera



Uzyskanie obrazu dynamicznego, takiego, że spełnia wymagania systemów geoinformacyjnych, operujących danymi zmiennymi w czasie, jest możliwe dzięki osiągnięciom z dziedziny gier komputerowych. Takie metody grafiki zostały wykorzystane ostatnio np. w filmie, gdzie wprowadzono technikę rejestracji paralaksy ruchu (ang. motion parallax, temporal parallax, Pizzanelli, 2003). Uważny obserwator niektórych multimedialnych gier komputerowych (odtwarzanych na rzeczywiście szybkich komputerach) może być zaskoczony jakością wizualizacji wirtualnych krajobrazów stwarzających wrażenie obrazów trójwymiarowych. Niekiedy w trakcie seansów filmowych niektóre sceny stwarzają wrażenie oglądania obrazów trójwymiarowych. Subtelny, ledwo zauważalny ruch obiektów może stworzyć to wrażenie. Paralaksa ruchu jest rejestrowana w bardzo wielu danych cyfrowych: w telewizji, wideo, filmach kinowych i w programach komputerowych. Taka sytuacja ma miejsce, gdy nieruchomy obiekt pokazywany jest kolejno, z dwóch różnych punktów widzenia, w ściśle określonej kolejności, tak, aby dostarczyć obserwatorowi kolejno obrazy tego samego obiektu: najpierw widziane przez jedno oko a potem przez drugie. Warunkiem zarejestrowania paralaksy ruchu jest widok i zapis kolejnych obrazów z pozycji obserwatora poruszającego się torem kołowym (najlepiej po okręgu) wokół nieruchomego obiektu, który jest celem obserwacji. Jest więc to odwrócenie sytuacji klasycznego obrazowania stereoskopowego w fotointerpretacji za pomocą stereoskopu lustrzanego.

Paralaksa ruchu jest zjawiskiem wynikającym z oceny przez obserwatora prędkości obiektu i czasu potrzebnego na jego przesunięcie się w polu widzenia. Podobnie ocenia się względną wielkość obiektu, odnosząc go do informacji o jego prędkości. Mechanizm wytwarzania widzenia stereoskopowego na podstawie paralaksy ruchu polega na weryfikacji następujących informacji:

- pozorny ruch obiektów bliżej obserwatora jest szybszy, a one same przesuwają się w kierunku przeciwnym do jego ruchu;
- pozorny ruch obiektów położonych dalej od obserwatora jest wolniejszy, a one same przesuwają się w kierunku przeciwnym do jego ruchu;
- na podstawie różnicy względnej prędkości pozornego ruchu obiektów obserwator wnioskuje o głębi i kształcie obrazu.

Łącząc efekt paralaksy ruchu z odpowiednim oświetleniem obiektu (obiekty na drugim planie są słabiej oświetlone) z uwzględnieniem kierunku padania promieni światła uzyskuje się wrażenie obrazu stereoskopowego. Ocena oparta na podstawie paralaksy ruchu jest dostatecznie wiarygodnym źródłem oceny odległości trzeciego wymiaru, a więc stwarza wrażenie widzenia stereoskopowego. Paralaksa ruchu może być bardzo łatwo, za pomocą techniki komputerowej, przekształcona na paralaksę stereoskopową w celu rejestracji hologramu. Manipulacja uzyskanymi komputerowo obrazami jest bardzo łatwa (Pizanelli, 2003). Natomiast technologia wytworzenia trwałych obrazów holograficznych jest jesz-

cze dosyć kosztowna (wymaga odpowiedniego oprogramowania, sprzętu i światłoczułych materiałów holograficznych), a sam proces naświetlania hologramu trwa względnie długo (kilka do kilkunastu godzin zależnie od wielkości obrazu).

Techniką zobrazowania przestrzennego realizowaną wyłącznie za pomocą komputerów jest wykorzystanie tzw. wirtualnej rzeczywistości (VR – virtual reality). Komercyjną realizacją VR jest oprogramowanie QuickTime odtwarzające pliki video (format \*.mov). Przeglądarka QuickTime (Apple) jest wprawdzie programem dystrybuowanym bezpłatnie, ale oprogramowanie (i sprzęt wideo) umożliwiające przygotowanie filmu w formacie \*.mov jest już sprzedawane jako produkt komercyjny. Pliki video QTVR (Quick Time Virtual Reality) to panoramy (360°) umożliwiające interakcję użytkownika: powiększanie i zmniejszanie obrazu - przybliżanie i oddalanie się w danym kierunku oraz obrót wokół własnej osi obserwatora, jak również w pewnym zakresie zmiana kierunku widzenia w kierunku pionowym (około 150°). Pliki QTVR można tworzyć przy użyciu odpowiedniego sprzętu wideo, jak również za pomocą grafiki komputerowej. Specyficzne warunki oświetlenia oraz umiejętne operowanie obrazami pozwala stworzyć wrażenie widzenia obrazu trójwymiarowego na podstawie paralaksy ruchu. Generowanie widoków panoram na podstawie map cyfrowych jest obecnie standardową funkcją, wbudowaną w większość systemów geoinformacyjnych. Wystarczy tylko ich przeniesienie do postaci pliku video QTVR.

Odminną techniką tworzenia obrazów trójwymiarowych jest wykorzystanie tzw. wirtualnych światów budowanych za pomocą specjalnie w tym celu stworzonego języka VRML (Virtual Reality Markup Language). W 1994 roku twórcy światowej pajęczyny WWW i języka HTML<sup>7</sup>: Tim Berners-Lee i Dave Ragget zainicjowali ideę opracowania trójwymiarowego internetu. Już w 1997 roku pojawiła się druga wersja języka opisu trójwymiarowych scen światów wirtualnych – VRML v.2 – zatwierdzona przez konsorcjum W3<sup>8</sup> i uznana przez Międzynarodową Organizację Standaryzacji ISO za standard międzynarodowy. Pliki VRML (tzw. world file, \*.WRL) to pliki tekstowe opisujące sceny trójwymiarowe, ściągane z sieci, których odkodowania i wyświetlenia dokonuje się w komputerze użytkownika. Język VRML rozszerza możliwości operowania scenami, umożliwiając swobodny ruch, przemieszczanie się i definiowanie kierunku widzenia obserwatora. Pozwala definiować dowolne obiekty, oświetlenie, typy materiałów oraz efekty wpływające na realistyczną percepcję pokazywanej sceny. Oglądanie scen wirtualnych światów (VRML) możliwe jest w przeglądarce internetowej z zainstalowanym specjalnym programem – wtyczką (ang. plug-in).

Powiązania systemów geoinformacyjnych i języka VRML dokonano, opracowując rozszerzenie języka VRML, tzw. GeoVRML definiującego sceny trój-

<sup>7</sup> HTML – Hypertext Markup Language

<sup>8</sup> Organizacja non-profit, zrzeszająca producentów i autorów oprogramowania przeznaczonego dla internetu w celu wypracowania standardów sieci i oprogramowania internetowego

wymiarowe na podstawie map numerycznych. Implementacja GeoVRML (wersja 1.1, 2003) umożliwia obecnie obrazowanie trójwymiarowych scen na podstawie map w układach współrzędnych: długości i szerokości geograficznej oraz w układzie UTM. Możliwe jest definiowanie wybranych elipsoid, skalowanie (w trakcie zmiany pozycji i kierunku widzenia obserwatora), a także wyświetlenie danych o obiektach i ich atrybutach. Obiekty mogą być animowane i można odczytać ich współrzędne geograficzne (tzw. introspekcja). W języku GeoVRML zostały wprowadzone pewne schematy przemieszczania się po wirtualnym świecie (tzw. nawigacja) umożliwiające skalowanie oglądanych obiektów i rzeźby terenu.

Badania nad sposobem reprezentacji modeli (obrazowaniem) to jedna z głównych linii rozwoju oprogramowania GIS. Przy obecnych możliwościach systemów multimedialnych, zdolności generowania obrazów perspektywicznych w czasie rzeczywistym, kombinacji techniki komputerowej i video – rezultatem może być „wirtualny” spacer w wygenerowanym komputerowo krajobrazie. Oczywiście, częściowo są to innowacje w zakresie rozwoju technicznego sprzętu, pozyskiwania, przechowywania i obrazowania danych

Być może lepsza jest reprezentacja (zobrazowanie danych) polegająca na indywidualnie zróżnicowanej percepcji i interpretacji użytkowników. Z punktu widzenia problematyki teorii komunikacji należałoby wtedy skoncentrować badania nie tylko na sposobie opisu środowiska przyrodniczego, ale także na użytkownikach i ich zdolnościach percepcyjnych.

Wykorzystanie urządzeń umożliwiających widzenie stereoskopowe w systemach geoinformacji pozwala rozszerzyć zakres pomiarów i interpretacji, zwłaszcza obrazów uzyskanych za pomocą technik teledetekcyjnych (satelitarnych i lotniczych). Konieczna jest jednak dokładna identyfikacja i pomiar lokalizacji oraz wysokości naziemnych punktów kontrolnych, tak aby można było precyzyjnie określić współrzędne kartograficzne uzyskanego obrazu cyfrowego. Następne kroki to analiza (pomiar) szczegółów rzeźby terenu (ang. feature extraction), wykonywana w celu późniejszej redakcji map topograficznych i zbierania danych dla systemów geoinformacyjnych.

Obecnie wykorzystuje się zasadniczo sześć różnych metod obrazowania stereoskopowego w systemach geoinformacji (Petrie, 2001).

Podstawowym wymogiem widzenia stereoskopowego we wszystkich metodach jest to, że obserwator musi widzieć lewym okiem jeden obraz, a prawym drugi, przesunięte względem siebie o odległość bazową.

Jedną z metod (ang. binocular viewing) jest wykorzystanie dwóch płaskich monitorów, wyświetlających osobno obrazy – lewy i prawy – pary obrazów stereoskopowych. Te z kolei można obserwować za pomocą stereoskopu lustrzanego. Całe urządzenie wymaga precyzyjnego ustawienia monitorów i dokładnej kalibracji każdego z pary wyświetlanych obrazów. Niewygoda operowania

kilkoma urządzeniami: dwoma monitorami i stereoskopem oraz trudność precyzyjnego zgrania wyświetlanych obrazów spowodowała, że ten sposób wizualizacji nie przyjął się.

Alternatywnym sposobem, opracowanym przez DVP Geomatic System (Kanada), Geosystems (Delta Workstation) jest wyświetlanie dwóch obrazów (z pary stereoskopowych) na jednym ekranie i ich obserwacja przez stereoskop lub specjalnie skonstruowane okulary, których soczewki polaryzują padające światło (ang. split-screen stereo method). Rozwój konstrukcji szerokich, płaskich monitorów o wysokiej rozdzielczości (HDTV) mógłby być czynnikiem rozwoju tej technologii obrazowania stereoskopowego.

Inną metodą jest ustawienie dwóch monitorów pod kątem  $90^\circ$ , pionowo i poziomo, wyświetlających odpowiednio spolaryzowane obrazy, a między nimi, pod kątem  $45^\circ$ , układu optycznego odbijających obrazy luster. Obraz stereoskopowy jest obserwowany przy użyciu okularów o odmiennie spolaryzowanych soczewkach (ang. complementary filters method).

Najtańszą metodą jest wyświetlanie równocześnie na ekranie obrazów anaglifowych. Wymaga ona także wykorzystania okularów filtrujących różne zakresy światła widzialnego. Stosowana jest przy wykorzystaniu stereoploterów analogowych przez takie firmy jak: Multiplex, Balplex, Kelsh Plotter, Zeiss.

Najczęściej jednak wykorzystywaną techniką jest wyświetlanie naprzemiennie, z dużą szybkością odświeżania (50 do 60 Hz) prawego i lewego obrazu na jednym monitorze (ang. alternating images). Do widzenia stereoskopowego niezbędne są w tym przypadku okulary z przesłonami zsynchronizowanymi z wyświetlanymi obrazami. Nowsze wersje to same okulary, których soczewkami są ciekłokrystaliczne ekrany (LCD).

Inną odmianą tej technologii jest zamontowanie na ekranie monitora przesłony polaryzującej światło i wyświetlanie na ciekłokrystalicznym ekranie (LCD) za nią, naprzemiennie, dwóch obrazów o odmiennie spolaryzowanej teksturze (zgodnie i niezgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara). Obserwator widzi obraz przez okulary z zamontowanymi filtrami polaryzującymi.

Przez wiele lat główną metodą umożliwiającą utrwalenie obrazów (hardcopy), które można obserwować stereoskopowo, były wydruki (fotograficzne lub litograficzne) składowych obrazów z pary stereoskopowych odpowiednio w barwach niebieskich i czerwonych, a widok trójwymiarowy widzialny był przez okulary filtrujące odpowiednie kolory. Obecnie wydruki dokonywane są obustronnie także na przezroczystych foliach, a uzyskiwane efekty są porównywalne.

Rozwijają się także technika konstrukcji autostereoskopowych monitorów. Ich konstrukcja oparta jest na wielu warstwach ciekłokrystalicznych ekranów wyświetlających odpowiednio spolaryzowane obrazy lub przesłony - warstw siatek dyfrakcyjnych albo arkuszy polimerowych mikrosoczewek.

## Rozdział VI

# Web GIS

Sieć komputerowa internetu rozwija się równie długo jak oprogramowanie GIS. Dopiero jednak w latach 1995-2000 stała się siłą napędową całego sektora IT (technologii informacyjnych) i równocześnie miała znaczący wpływ na dalszy rozwój oprogramowania geograficznego. Technologia WWW internetu stała się realną konkurencją dla innych mediów dzięki łatwości i szybkości dostępu do informacji tekstowej i wizualnej. Obecnie pojawiły się nawet opinie, że z jednej strony dostęp do internetu i pojawienie się aplikacji sieciowych, uruchamianych przez oprogramowanie wykorzystujące możliwości dynamicznego języka opisu stron HTML, języki skryptowe zainstalowane na komputerach użytkowników (Java – JSP, BasicScript – ASP) i serwerach (Active Server Pages, PHP, Perl), dostęp do serwerów baz danych i możliwość interaktywnego wyświetlania grafiki w przeglądarkach WWW, a z drugiej strony – coraz szersze wykorzystanie funkcji spotykanych dotychczas tylko w programach geograficznych spowoduje, że oprogramowanie GIS zostanie wchłonięte i przestanie być udostępniane (sprzedawane) w postaci zwartych osobnych pakietów.

Początkowy rozwój internetu<sup>1</sup> spowodował wzrost zainteresowania użytkowników GIS jako formy wymiany doświadczeń. W 1988 roku powstała, założona przez E.Zubrowa, publiczna lista dyskusyjna GIS-L. Na początku lat 90. przekształciła się w funkcjonującą do chwili obecnej listę dyskusyjną Usenet-u (comp.infosystems.gis Usenet Newsgroup), która w 1995 liczyła prawie 65 000 uczestników. Równoczesne pojawienie się przeglądarek WWW od 1993 roku spowodowało gwałtowny przyrost liczby użytkowników internetu, a każdy z liczących się na rynku producentów oprogramowania geograficznego utrzymywał bezpośrednio lub wspierał inicjatywy użytkowników swojego oprogramowania w formie wymiany doświadczeń za pomocą list dyskusyjnych. Idea udostępniania map poprzez internet ("Web GIS: Toy vs. Tool<sup>2</sup>") była bardzo

<sup>1</sup> Eksplozję zainteresowania użytkowników siecią internet wiąże się z pojawieniem się przeglądarki WWW Mosaic, która stała się wzorem dla dalszego rozwoju oprogramowania internetowego. Spowodowało to wzrost liczebności internautów średnio 300% rocznie. Internet i technologia WWW porównywane są z takimi wynalazkami jak technologia druku Gutenberga (w XVw.) czy maszyna parowa Jamesa Watta (w XVIII w.) i uznawana za kamień milowy rewolucji informacyjnej.

<sup>2</sup> <http://www.gisnet.com/gis/notebook/Webgis.html>

żywo dyskutowana. Zasadniczą trudność sprawiał jednak problem sprzedaży map cyfrowych w internecie (ang. on-line). Serwery internetowe map były albo reklamą producentów oprogramowania GIS (siłą rzeczy o ograniczonej funkcjonalności dla użytkowników) lub grup użytkowników, zafascynowanych możliwościami oprogramowania GIS i liczących w dalszej perspektywie na możliwości sprzedaży swoich usług.

W większości państw Europy Zachodniej i w Stanach Zjednoczonych w pierwszej połowie lat 90. wypracowano jednolite reguły polityki pozyskiwania, wykorzystania i (niekiedy bezpłatnego) udostępniania informacji i danych zbieranych przez agencje rządowe lub instytucje finansowane ze źródeł publicznych<sup>3</sup>. W ten sposób zostały usunięte bariery uniemożliwiające pozyskiwanie wysokiej jakości zintegrowanych danych po rozsądnej cenie. Oczwistym medium dystrybucji tych danych stała się sieć internetu. Użytkownicy przyzwyczaili się do faktu stałej dostępności danych geoinformacyjnych w sieci. Następnym czynnikiem było wprowadzenie w 1995 roku na rynek użytkowników komputerów osobistych (PC) nowego jakościowo – 32-bitowego systemu operacyjnego Microsoft™ Windows™ 95 posiadającego standardowo wbudowaną obsługę sieci. Przeważająca część producentów oprogramowania zaoferowała w niedługim czasie wersje swoich systemów GIS na platformę Windows™. Równocześnie całkiem realny stał się handel w internecie (E-commerce). Firmy dostarczające dane przestrzenne zaczęły wprowadzać serwisy umożliwiające dostęp do danych geograficznych na żądanie w czasie rzeczywistym (ang. jit, just-in-time), oparte przede wszystkim na aplikacjach WWW (ang. online Web mapping tools). Planowanie podróży i handel nieruchomościami były pierwszymi komercyjnymi dziedzinami, w których zastosowano na szerszą skalę narzędzia GIS w powiązaniu z siecią internet (Thoen, 1999). Tożsamość oprogramowania geograficznego jako odrębnych pakietów zaczęła w pewnym stopniu zanikać na rzecz rozszerzenia funkcjonalności innych programów użytkowych (biurowych i statystycznych).

Proste programy wyświetlające mapy przesyłane siecią WWW stały się powszechne. Ich producentami są z reguły firmy geoinformatyczne oferujące pakiety GIS. Portale wyświetlające mapy początkowo były traktowane jako możliwość pokazania nowej technologii i zalet oprogramowania przez producentów. Celem było stworzenie platformy umożliwiającej sprzedaż map i programów klientom komercyjnym.

Na rynku wiele systemów GIS osiągnęło stan dojrzałego produktu. Firmy geoinformatyczne stanęły przed problemem: jak sprzedać (względnie zyskownie) klientowi nową, jeżeli posiada on starszą wersję programu, działającą bez błą-

<sup>3</sup> W USA w latach 1993-1994: OMB Circular A-130, „Management of Federal Information Resources” oraz rozporządzenie wykonawcze prezydenta Billa Clintona nr 12906 tworzące skoordynowaną narodową infrastrukturę danych przestrzennych (National Spatial Data Infrastructure) wspomagającą zastosowania danych przestrzennych w sektorze publicznym i prywatnym.

dów i przystosowaną do jego potrzeb. Jednym z czynników wymuszających wymianę oprogramowania GIS przez użytkowników jest sam postęp techniki komputerowej (m.in. konstrukcji procesorów) i konieczność optymalizacji oprogramowania – dostosowania jego (bezbłędnego) działania do sprzętu i nowych systemów operacyjnych. Z drugiej jednak strony użytkownicy często bronią się przed wymianą i sprzętu i programów, wychodząc z założenia, że jeżeli coś działa już bez błędów, to nie należy tego zmieniać.

Internet zmienił punkt widzenia zarówno firm oferujących oprogramowanie GIS jak i ich użytkowników. Nie wszyscy klienci muszą kupować oprogramowanie kategorii desktop GIS, aby zainstalować je w każdym komputerze PC. Wystarczy zakupić w firmie jeden serwer map GIS działający w sieci /intra/internet i umożliwić do niego dostęp za pomocą przeglądarki WWW (Internet Explorer, Netscape, Mozilla, Opera) lub specjalnego, często bezpłatnego, programu GIS kategorii run-time viewer (ArcExplorer – ESRI, MapPro – MapInfo).

Następny krok producentów to (niekiedy płatne) serwisy udostępniane przez firmę geoinformatyczną czyli serwery map i aplikacji w sieci internet za pomocą przeglądarek WWW.

Przy takim rozwiązaniu nie trzeba kupować całego pakietu aplikacji internetowych GIS, dodatkowego sprzętu, danych i licencji. Dodatkowe oszczędności wynikają z braku konieczności prowadzenia specjalnych szkoleń w zakresie obsługi oprogramowania geograficznego dla pracowników (użytkowników), gdyż wystarczy tylko ogólna znajomość i umiejętności poruszania się w sieci WEB. Zyskiem firmy geoinformatycznej jest niewielka opłata za dokonaną transakcję udostępniania aplikacji i danych (przez serwis SMS operatora telefonii komórkowej) lub abonament. Zdaniem specjalistów taki model sprzedaży usług i aplikacji geoinformacyjnych przynosi duże korzyści (skali). O wiele więcej osób kupuje taką usługę niż pełne pakiety oprogramowania GIS, znacznie droższe i szybko starzejące się.

W sieci internet dostęp do udostępnianych danych przestrzennych może mieć teoretycznie każdy, kto posiada odpowiednie łącze. Poprzez konstrukcję systemu zabezpieczeń, regulowanie praw dostępu (system haseł, definiowanie zakresów numerów IP komputerów) jest możliwe określenie grupy użytkowników uprawnionych do korzystania z zasobów geograficznych baz danych i map cyfrowych.

Większość systemów GIS zawiera bazę danych geokodowanych typu OLTP (ang. online transaction processing), umożliwiających aktualizację danych. Włączenie do bazy procedur analitycznych i interfejsów pozwala przekształcić ją na bazę typu OLAP (ang. online analytical processing), czyli hurtownię danych, umożliwiającą analizę wielowariantową informacji. Wyniki analiz prezentowane są w postaci raportów lub za pośrednictwem serwerów internetowych map na stronach WWW. Wszystkie analizy wykonywane są po stronie serwera WWW

i bazy OLAP, natomiast formularze, raporty i mapy są stronami WWW. Całość może działać zarówno jako system internetowy lub intranetowy.

Rozwój otwartych standardów wymiany danych przez internet (XML, GML), zmienił sytuację i relacje firm geoinformatycznych i ich klientów. Możliwość szybkiego tworzenia aplikacji internetowych GIS przez użytkowników za pomocą względnie tanich narzędzi (RAD<sup>4</sup>), bez umiejętności programowania komputerów, zmieniła sytuację na rynku oprogramowania GIS. Pojęcie współdziałania (ang. interoperability) różnych programów, oddzielenie źródeł danych geograficznych i systemów GIS stworzyło zupełnie nową jakość w zakresie posługiwaną się techniką geoinformacyjną.

Można przypuszczać, że internet jest techniką konkurencyjną względem oprogramowania systemów informacji geograficznej, a dla celów gospodarczych oprogramowanie aplikacyjne dostępne za pomocą przeglądarek internetowych (WWW) będzie wypierać właściwe oprogramowanie GIS. Warunkiem tego procesu jest wykształcenie się jednolitego standardu zapisu map w sieci internetowej oraz wymiany danych i metadanych (Berlant, 2001).

Firmy komercyjne oferują serwery internetowe map zapisanych w formacie określonym, najczęściej, przez system GIS, który jest produktem flagowym danego producenta. Inne rozwiązania wykorzystują język Java, umożliwiając interaktywne przeglądanie map lub prezentują mapy zapisane w formacie standardowych obrazów graficznych (GeoTIFF, JPEG).

O wyborze oprogramowania decydują potrzeby końcowego użytkownika. Jednak należy liczyć się z faktem, że regułą jest sprzężenie zwrotne: łatwość i szybkość wykonania i wyświetlenia żądanych danych (komfort pracy) po stronie klienta systemu intra/internetowego – zwiększa znacznie wymagania szybkości przetwarzania i mocy serwera oraz przepustowości łącz sieci. Powiązanie technologii WWW i GIS jest bardzo wygodnym rozwiązaniem, gdyż pozwala zarówno na prezentację map jak i przetwarzanie danych przestrzennych.

Organizacja W3C<sup>5</sup> działająca jako moderator rozwoju standardów sieci internet, jako jedno z rozwiązań, standardowego i otwartego zapisu map w sieci propaguje m.in. rozwiązania zapisu wektorowego SVG<sup>6</sup> – jednego z odmian zapisu języka XML<sup>7</sup>. SVG to otwarty standard zapisu grafiki w internecie umożliwiający pełną interaktywność aplikacji i map po stronie użytkownika. SVG umożliwia opis dwuwymiarowych, wektorowych oraz rastrowych obrazów graficznych i tekstu. Jest faktycznie językiem opisu grafiki. Obrazy SVG mogą być interaktywne i dynamiczne. Animacje można realizować za pomocą samego języka SVG (osadzanie elementów animacji w obrazach) lub poprzez skrypty (Java, VBS). W ten sposób mogą być prezentowane w sieci WWW interak-

<sup>4</sup> RAD – rapid application development

<sup>5</sup> WWW Consortium, organizacja typu non-profit, propagująca otwarte standardy przemysłowe w sieci internet

<sup>6</sup> Scalable Vector Graphics

<sup>7</sup> Extensible Markup Language



Oprogramowanie GIS	Rola producenta oprogramowania	Rola użytkownika	Uwagi
Systemy Desktop GIS (pakiety oprogramowania)	Sprzedaż oprogramowania (odpowiedniej liczby licencji), wsparcie instalacji, szkolenie wszystkich użytkowników, tworzenie aplikacji, aktualizacja (płatna) oprogramowania, sprzedaż danych (geoinformacyjnych)	Określenie potrzeb i zakresu wykorzystania systemu GIS, użytkowanie pakietu w celu uzyskania wartości dodanej do podstawowego zakresu swojej działalności	Cała odpowiedzialność za właściwe uruchomienie i użytkowanie systemu GIS po stronie firmy geoinformacyjnej i użytkowników. Koszty użytkownika są bardzo wysokie.
Serwery map /intra/internetowe GIS	Sprzedaż systemu, szkolenie administratora, tworzenie wybranych aplikacji wg określonej przez użytkownika specyfikacji dotyczącej funkcjonalności GIS, sprzedaż danych, aktualizacja okresowa oprogramowania serwera map GIS	Określenie potrzeb i zakresu wykorzystania systemu GIS, użytkowanie systemu w celu uzyskania wartości dodanej do podstawowego zakresu swojej działalności, przygotowanie do udostępniania swoich danych z serwera map GIS, określenie wymagań sprzętowych i oprogramowania w celu możliwości użytkowania systemu GIS. Możliwość współpracy z programem Desktop GIS (nie potrzeba wielu licencji) w celu wykonania nietypowych dla serwera map zadań	Odpowiedzialność za uruchomienie i ciągłość pracy serwera map GIS rozkłada się na firmę geoinformacyjną i użytkownika. Koszty użytkownika przy zakupie względnie wysokie. Koszty użytkowania niskie.
Internetowe serwery map i aplikacji GIS (dostępne przez WWW)	Organizacja sposobu udostępniania map i aplikacji GIS w sieci internet (WWW). Określenie metod uzyskiwania płatności za usługi sieciowe.	Określenie potrzeb i zakresu wykorzystania map i aplikacji w sieci WWW, użytkowanie systemu w celu uzyskania wartości dodanej do podstawowego zakresu swojej działalności.	Odpowiedzialność za uruchomienie i ciągłość pracy serwera map i aplikacji GIS spoczywa wyłącznie na firmie geoinformacyjnej. Koszty użytkownika przy zakupie usługi względnie niskie. Koszty użytkowania niskie.
Mobile GIS (usługi GIS w sieci bezprzewodowej): Location based services, Pocket GIS	Organizacja sposobu udostępniania map i aplikacji GIS w sieci bezprzewodowej. Określenie metod uzyskiwania płatności za usługi w sieci bezprzewodowej.	Określenie potrzeb i zakresu wykorzystania map i aplikacji w sieci bezprzewodowej, użytkowanie systemu w celu uzyskania wartości dodanej do podstawowego zakresu swojej działalności.	Odpowiedzialność za uruchomienie i ciągłość pracy serwera map i aplikacji GIS spoczywa wyłącznie na firmie geoinformacyjnej. Koszty użytkownika przy zakupie usługi względnie niskie. Koszty użytkowania niskie.

Tab. 6. Porównanie sposobów i warunków korzystania z systemów geoinformacyjnych

tywne aplikacje GIS. Główna cecha SVG to zapis obrazu za pomocą tekstu (ASCII), co daje możliwość modyfikowania map za pomocą dowolnych narzędzi, indeksacji nazw i budowania słowników nazw geograficznych, konstrukcja obrazu z warstw, skalowanie map wektorowych, co umożliwia dokładny wydruk; powiększanie i zmniejszanie obrazów map (PAN/ZOOM) bez straty informacji; interaktywność, umożliwiającą użytkownikowi operowanie mapą; animacja – realizowana za pomocą języka SVG lub poprzez język skryptowy (JavaScript); zaletą tego rozwiązania jest fakt, że jest to otwarty standard W3C, nie będący własnością żadnego producenta oprogramowania GIS, realizujący swoje funkcje poprzez syntaktykę języka XML.

SVG jest wprost stworzony do prezentacji aplikacji GIS w sieci internet, szczególnie w przypadku operacji na warstwach tematycznych map cyfrowych. Nie powinno się go jednak traktować jako zamiennika oprogramowania GIS, ale raczej jako sposób prezentacji informacji geograficznej użytkownikom sieci.

## Rozdział VII

# Rynek systemów geoinformacyjnych

Cele wykorzystania systemów geoinformacyjnych w handlu, usługach i produkcji są wyraźnie określone, wspomagają oszacowanie:

- lokalizacji i wielkości koniecznych inwestycji,
- wielkości oczekiwanych przychodów na podstawie analizy zasięgu i potencjału rynku zbytu.

Informacja geograficzna jest ściśle związana z procesem podejmowania decyzji w przedsiębiorstwach rynkowych, a zatem rozwój zastosowań komercyjnych GIS jest naturalnym kierunkiem ewolucji.

Jednak, ze względu na specyfikę, Business GIS zdecydowanie różni się od zastosowań naukowych, zarządzania zasobami naturalnymi czy w zakresie administracji samorządowej (lub państwowej). Dotyczy to przede wszystkim horyzontu czasowego i jakości danych na wejściu oraz oceny trwałości wyników analiz i syntez uzyskiwanych z systemu informacji geograficznej.

Ocena nakładów pracy i kosztów, jakie są potrzebne do realizacji systemu informacji geograficznej w firmie komercyjnej, jest utrudniona, zwłaszcza w sytuacji, gdy oprogramowanie geograficzne wymaga zmian struktury istniejących baz danych funkcjonujących w przedsiębiorstwie. Z drugiej strony efekty operacyjne wdrożenia oprogramowania geograficznego w firmie są, przynajmniej na początkowym etapie rozwoju systemu informacji geograficznej, oczywiste i bardzo zyskowe. Pierwszym i najbardziej docenianym efektem zastosowania GIS jest możliwość uzyskiwania na żądanie, w bardzo krótkim czasie, map zawierających kluczowe informacje dla funkcjonowania przedsiębiorstwa. Wdrażanie kolejnych funkcji w systemie informacji geograficznej firmy często powoduje, że oczekiwania użytkowników wobec oprogramowania geograficznego rosną. W ten sposób zastosowanie GIS w systemie informatycznym przedsiębiorstwa jest procesem kolejnych przybliżeń (ang. iterative GIS project, Geldermans, Hoogenboom, 2001). Często nie sposób jest określić na początku wdrażania ostatecznej funkcjonalności projektów GIS. Podstawową ich cechą jest dystrybucja informacji, służącej następnie jako element procesu podejmowania decyzji, także w zakresie dalszego rozwoju funkcjonalności samego systemu informacji geograficznej w przedsiębiorstwie.

Główne kroki wdrażania projektów komercyjnych GIS dotyczą:

- pozyskiwania danych geograficznych,
- ustalenia funkcjonalności systemu geoinformacyjnego,
- procesu aktualizacji i zarządzania systemem geoinformacyjnym.

Pozyskiwanie danych w zastosowaniach komercyjnych GIS wiąże się najczęściej z dużymi nakładami pracy w celu przystosowania, istniejących w firmach, dużych zbiorów informacji, które początkowo nie mają charakteru danych przestrzennych. Ten etap pracy jest często niedoszacowany w trakcie planowania kosztów implementacji Business GIS. Dlatego w początkowej fazie rozwoju systemu informacji geograficznej często operuje się wybranymi podzbiórami danych systemów informatycznych działających w firmie, kluczowymi dla toku głównego procesu usługowego, produkcyjnego lub handlu w przedsiębiorstwie. Wybiera się część informacji z bazy danych, którą łatwiej jest przedstawić na mapach. Taka sytuacja pozwala także na zaplanowanie rozwoju dalszej funkcjonalności systemu GIS. Zrozumienie jego nowych funkcji przez użytkowników jest łatwiejsze, gdy wykorzystują dane systemu informatycznego, z którymi wcześniej pracowali, niż komputerowo wygenerowane dane testowe.

Większość programów geograficznych zawiera często funkcje, które są rzadko wykorzystywane. Przyczyną może być brak potrzeby lub też brak zrozumienia ich działania przez użytkowników (wymagają zbyt skomplikowanych operacji). Istotnym elementem planowania implementacji systemu informacji geograficznej w firmie jest określenie wymaganego zakresu działania: które z funkcji programu GIS są konieczne dla wsparcia podstawowego zakresu działalności przedsiębiorstwa.

Składniki kosztów systemu informacji geograficznej w zastosowaniach komercyjnych to sprzęt, oprogramowanie i specyficzne aplikacje GIS (ang. GIS application development). Spektrum rozwiązań obejmuje: od indywidualnej instalacji programów i procedury GIS na komputerach PC użytkowników (wymagających osobnych, często kosztownych, licencji), do udostępnianego w sieci /intra/internet standardowego zestawu funkcji i zbioru danych systemu GIS. Programy mogą być uruchamiane lokalnie na komputerze użytkownika lub jako usługa serwera aplikacji.

Podstawową cechą Business GIS jest fakt, że implementacja systemu informacji geograficznej w przedsiębiorstwie musi być rozwijana z punktu widzenia jego podstawowej działalności komercyjnej a nie dla osiągnięcia technicznej doskonałości działania oprogramowania GIS we wszystkich jego możliwych aspektach funkcjonalności. Celem jest wsparcie i optymalizacja działania firmy.

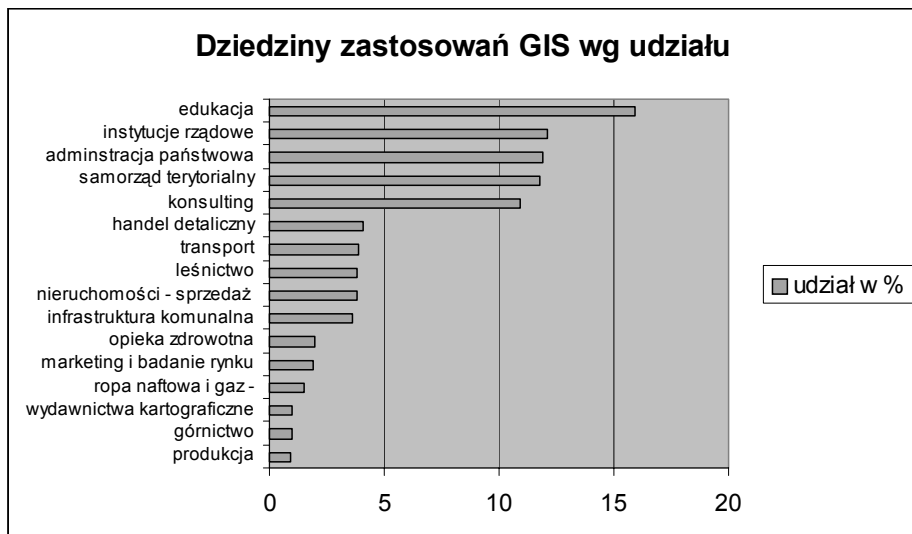
Elementem implementacji komercyjnego systemu geoinformacyjnego (oprócz wyżej wymienionych) są:

- wysokiej jakości dokumentacja systemu GIS (podręczniki, pomoc on-line),
- szkolenie użytkowników,
- pomoc specjalistów wdrażających system GIS.

Pomoc specjalistów ma na celu przede wszystkim utrzymanie ciągłości działania systemu geoinformacyjnego. Nie chodzi tylko o aspekty techniczne funkcjonowania oprogramowania i sprzętu (upgrade, update), ale przede wszystkim o aktualizację danych w firmie. Przeszarzałe dane przestrzenne, niezależnie od wysiłków i kosztów poniesionych na modernizację sprzętu i oprogramowania, powodują w konsekwencji brak wsparcia organizacyjnego i finansowego przedsiębiorstwa dla całego projektu GIS.

Zgodnie z danymi DATATECH, firmy badającej rynek oprogramowania komputerowego, światowy rynek oprogramowania, produktów i usług GIS oszacowano na około 7 miliardów \$ w 1999 roku, a dynamikę jego rocznego wzrostu na około 13%. Sprzedaż rozkłada się prawie po połowie pomiędzy USA z Kanadą i resztą świata.

Systemy informacji geograficznej wykorzystywane są przez użytkowników pracujących w wielu dziedzinach. Większość głównych użytkowników GIS to specjaliści pracujący w dziedzinach szeroko rozumianych nauk o Ziemi. Inni użytkownicy to: naukowcy, administracja państwowa i lokalna, konsultanci, handlowcy, transportowcy, leśnicy, pośrednicy nieruchomości, pracujący w usługach rynkowych, zarządzający opieką zdrowotną i ubezpieczeniami, analitycy rynku i pracujący w marketingu.



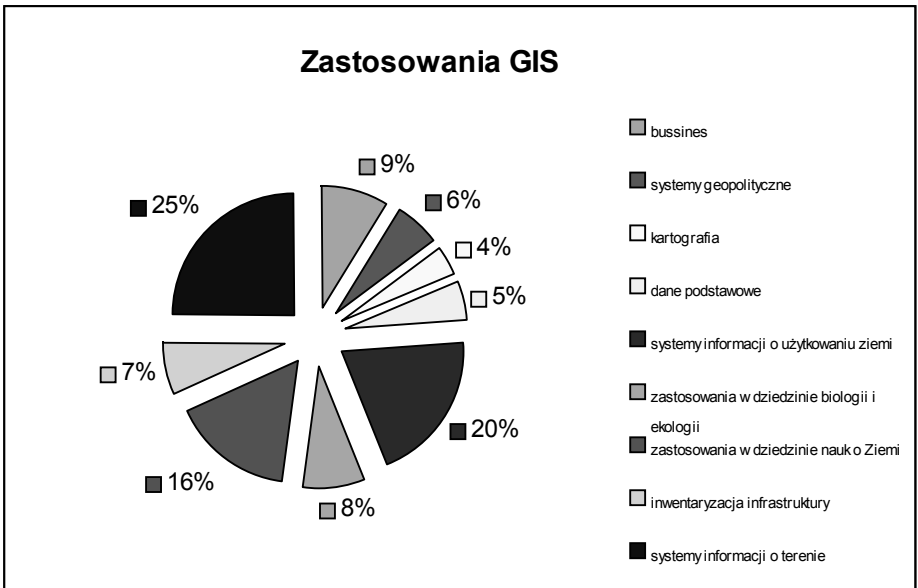
Rys. 35. Zastosowania GIS w różnych dziedzinach gospodarki (źródło Datatech, 2000)

Z kolei Dataquest, inna firma badająca rynek oprogramowania GIS, przeprowadziła analizę sprzedaży według typów aplikacji. Wydzielono:

- sprzedaż danych podstawowych: zakres obejmuje tworzenie map wektorowych i rastrowych zwykle na podstawie zdjęć lotniczych, ortofotografii cyfrowej, fotogrametrii oraz istniejących map cyfrowych i papierowych;
- sprzedaż danych i usług katastralnych: obejmujących tworzenie i utrzymanie baz danych przede wszystkim dla działek budowlanych;
- tworzenie oprogramowania dla ochrony środowiska, zdrowia, systemów bezpieczeństwa, leśnictwa i rolnictwa;
- tworzenie oprogramowania dla górnictwa: ropy naftowej, gazu ziemnego i pozostałych surowców mineralnych;
- tworzenie oprogramowania dla zarządzania infrastrukturą: transportową, logistyczną, służb ratunkowych;
- tworzenie oprogramowania dla zarządzania infrastrukturą komunalną: sieciami kanalizacji, elektrycznymi, gazowymi, telefonicznymi, kablowymi, komputerowymi;
- tworzenie oprogramowania dla biznesu i marketingu – w zakresie analizy danych demograficznych, lokalizacji;
- opracowanie i aplikacje dla systemów wyborczych (politycznych) i militarnych,
- aplikacje systemów kartografii automatowej.

Rodzaje usług oferowanych różnym organizacjom wykorzystującym systemy informacji geograficznej to:

- Strategiczne usługi konsultingowe w zakresie GIS; celem jest pomoc różnym organizacjom w rozpoznawaniu potrzeb w zakresie GIS, planowanie architektury systemów, przygotowania specyfikacji w zakresie oprogramowania, sprzętu, kartowania i konwersji danych oraz pomoc przy wyborze odpowiedniej propozycji dostawcy oprogramowania. W 1999 na świecie działa ok. 500 firm w tej dziedzinie (z tego  $\frac{2}{3}$  w USA). Konsultanci pomagają w znacznej części władzom miast i jednostek administracyjnych w skali lokalnej, współpracując w zakresie planowania programów rozwoju GIS. Usługi konsultingowe świadczą także producenci sprzętu i oprogramowania GIS.
- Usługi w zakresie kartowania i konwersji baz danych. Najczęściej w systemie brakuje map i aplikacji decydujących o funkcjonalności całego systemu. Wymaga to stworzenia podstawowych map cyfrowych, które będą później wykorzystywane jako warstwy dla map tematycznych. Oznacza to często tworzenie nowych map topograficznych na podstawie zdjęć lotniczych lub satelitarnych przy wykorzystaniu technik fotogrametrycznych. Kartowanie fotogrametryczne to wyspecjalizowana dziedzina wymagająca drogiego, specjalistycznego sprzętu i wykwalifikowanego personelu. W USA działa w tej dziedzinie ok. 200 prywatnych firm. Inne mapy tematyczne, np. mapy katastralne dla celów podatkowych, mapy



Rys. 36. Rodzaje zastosowań systemów GIS (źródło: Dataquest, 2000)

środowiska przyrodniczego, granice administracyjne tworzone są najczęściej na podstawie istniejących map papierowych. Dodatkową usługą związaną z tworzeniem map tematycznych jest wprowadzanie informacji do bazy danych atrybutowych. W 2000 roku w Stanach Zjednoczonych działało około 350 firm oferujących usługi w tym zakresie. Dla przyszłych użytkowników systemów GIS decyzja o tym, czy samodzielnie wykonać mapy cyfrowe i stworzyć do nich bazy danych atrybutów czy wynająć w tym celu wyspecjalizowaną firmę zewnętrzną, nie jest prostym wyborem. Koszty opłacenia czasu pracy własnych pracowników z reguły są mniejsze niż zlecenie zewnętrzne. Z drugiej strony wynajęcie zewnętrznej firmy zapewnia współpracę z doświadczonymi w swoim zakresie profesjonalistami, wyposażonymi we własny sprzęt i oprogramowanie, którzy wykonają zleczone im prace o wiele szybciej (ang. outsourcing).

- Szkolenia i edukacja użytkowników: nowi użytkownicy potrzebują przeszkolenia w zakresie obsługi i zastosowań oprogramowania GIS; producenci i sprzedawcy oprogramowania GIS zwykle zapewniają (w ramach wsparcia użytkownika, odpłatnie lub w cenie pakietu) początkowe szkolenie za pośrednictwem własnych działów szkolenia lub poprzez wyspecjalizowane, autoryzowane centra szkoleniowe swoich sprzedawców. Oferowane są także szczegółowe programy wsparcia użytkowników poszukujących specjalnych zastosowań. Także większość firm kon-

sultingowych i zajmujących się dostarczaniem map cyfrowych świadczy podobne usługi. Szkoły wyższe i uniwersytety koncentrują się raczej na edukacji w zakresie teorii i pojęć GIS, rzadko specjalizując się w zakresie konkretnego oprogramowania GIS. Niekiedy w wyższych szkołach zawodowych oferowane są kursy umożliwiające zdobycie certyfikatu stwierdzającego przeszkolenie w zakresie danego systemu GIS.

- Implementacja, przystosowanie, tworzenie aplikacji i integracja oprogramowania GIS w ramach systemów informatycznych: producenci i sprzedawcy oprogramowania GIS dążą do powiększenia funkcjonalności swoich pakietów oprogramowania GIS poprzez oferowanie narzędzi już stosowanych w podobnym zakresie przez innych użytkowników. Systemy geoinformacyjne są często integrowane z innymi systemami informatycznymi. Inny problem to tłumaczenie dokumentacji samego oprogramowania na język użytkownika w przypadku kontraktów międzynarodowych. Ten zakres usług, poza granicami kraju, w którym działa dany producent oprogramowania, pełnią lokalne filie firm lub autoryzowani sprzedawcy (ang. *authorized dealers*), jak również niektóre firmy konsultingowe. Niekiedy są to zupełnie odrębne przedsiębiorstwa, które niezależnie sprzedają swoje aplikacje lub wersje językowe, określane mianem (ang.) *third party products*, ale operujących w ścisłym powiązaniu z podstawowym oprogramowaniem GIS (np. ArcView, MapInfo, GeoMedia).
- Aktualizacja i utrzymanie ciągłości funkcjonowania systemów i baz danych (*maintenance*): geograficzna baza danych to model świata rzeczywistego, który jednak stale podlega zmianom; te zmiany muszą znaleźć odzwierciedlenie w systemie geoinformacyjnym. Wiarygodność systemu GIS polega przede wszystkim na stałej aktualizacji wprowadzanych do niego informacji. Dotyczy to zarówno danych przestrzennych jak i atrybutowych. Etap tworzenia geograficznej bazy danych, a następnie jej ciągła aktualizacja, są pracochłonne. Organizacja (firma komercyjna, instytucja państwowa) w trakcie wdrażania systemu geoinformacyjnego ma do wyboru: zlecić tworzenie i aktualizację geograficznej bazy danych własnym pracownikom lub zakontraktować usługi wyspecjalizowanej firmy zewnętrznej, rozważając elementy: kosztów i czasu pracy.
- Rozwój oprogramowania GIS i integracja systemów; celem jest przystosowanie pakietów oprogramowania GIS, które zakupione oferują funkcjonalność „skrzynki z narzędziami” (*toolbox systems*) do szczególnych potrzeb użytkowników<sup>1</sup> jako aplikacje. Niekiedy aplikacje oprogramowania GIS oferowane są jako osobny produkt, a ceną często przewyższają sam system GIS.
- Usługi w zakresie systemów GIS w geodezji: obejmują także wyżej opisane przedsięwzięcia. Istnieje jednakże specyfika dotycząca:

<sup>1</sup> tzw. *commercial-off-the-shelf* (COTS) GIS software



- usług konsultingowych, w zakresie planowania, wdrażania oraz standaryzacji warstwy katastralnej w zbiorze map tematycznych systemu geoinformacyjnego, map topograficznych oraz metadanych;
- usług w zakresie GPS (systemów pozycjonowania i nawigacji satelitarnej), weryfikacji stworzonych w systemie geoinformacyjnym (na podstawie zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych) map w terenie;
- usług w zakresie konstrukcji i aktualizacji geograficznej bazy danych; prawo większości krajów wymaga, aby tworzenie map (w tym także numerycznych), które później będą stanowić podstawę do podejmowania decyzji przez uprawnione organy administracji terytorialnej i rządowej, było kontrolowane przez uprawnionych specjalistów (geodetów).

Wielu użytkowników komputerów sądzi, że mapa wyświetlona na ekranie komputera przekazuje precyzyjny obraz powierzchni Ziemi. Dokładność map komputerowych wymaga jednak uprzednio wprowadzenia dokładnych informacji. Dla wielu projektantów systemów geoinformacyjnych ocena dokładności map komputerowych, a tym samym poprawna ich interpretacja oraz słuszność oceny sytuacji lub podejmowanej decyzji, jest funkcją finansów, terminów, dostępności danych, kwalifikacji użytkowników, celów i priorytetów. Istnieje również czynnik wiedzy, związany z kontrolą całego projektu przez specjalistę w zakresie tworzenia map i geograficznych baz danych, który może w znaczący sposób wpłynąć na dokładność powstających map numerycznych.



## Rozdział VIII

# Standardy danych przestrzennych

Pojęcie geoinformatyki opisuje dziedzinę, część informatyki dotyczącą przetwarzania informacji geograficznej – zlokalizowanej przestrzennie. Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej propaguje pojęcie geomatyki<sup>1</sup> (Gaździcki, 2001). Geoinformacja to właśnie informacja zlokalizowana geograficznie. Systemy informacji geograficznej (systemy informacji przestrzennej) są systemami informatycznymi i korzystają z metod i algorytmów wypracowanych w informatyce (Michalak, 2000). Początkowo (i obecnie także) czynnikiem standaryzującym systemy GIS był rozwój urządzeń peryferyjnych (drukarek, ploterów, skanerów i in.).

Jednym z ważniejszych celów informatyki jest zapewnienie poprawnego działania komputerów i oprogramowania w sieciach teleinformatycznych. Ważną rolę pełnią standardy komunikacji i formaty danych. W sieci internet taką rolę pełnią dokumenty RFC<sup>2</sup>. Pod koniec lat 90. XX w. szereg firm geoinformatycznych (producentów systemów, sprzętu i danych) dobrowolnie zrzeszyło się w konsorcjum o nazwie Open GIS Consortium, współpracujące z organizacją ISO<sup>3</sup>. Jego celem jest wypracowanie wspólnych dla wszystkich systemów geoinformacyjnych standardów. Jednym ze standardów zaczerpniętych właśnie z teleinformatyki i adoptowanych w geoinformatyce jest współdziałanie (interoperability, interoperacyjność). Interoperacyjność w dziedzinie geoinformacji to termin, który znajduje zastosowanie w sytuacji współpracy różnych systemów informatycznych, w celu wspólnej realizacji określonych zadań w zakresie przetwarzania lub przesyłania informacji. Interoperacyjność jest bezpośrednio wymuszana przez rozproszenie systemów informatycznych komunikujących się w sieciach komputerowych, wśród których najważniejszą rolę pełni internet. W przypadku geoinformacji, zagadnienie współdziałania (interoperacyjności) systemów informa-

<sup>1</sup> Geomatyka (fr. *geomatique*), Gaździcki J., Leksykon geomatyczny, Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej, Warszawa, 2001; Termin powstały z pojęć: geografia i informatyka (informatyka à informacja + automatyka); w jęz. ang. GISc: Geographic Information Science lub geoinformatics.

<sup>2</sup> RFC – Request for Comment, zbiór dokumentów opisujących standard internetu, wypracowany przez organizacje monitorujące rozwój sieci komputerowych.

<sup>3</sup> ISO – International Standard Organization.

cji przestrzennej nie może być rozwiązane tylko przez informatykę, bez udziału geoinformatyki, ze względu na specyficzne cechy przesyłanych danych. Ta sytuacja wymaga rozwijania standardów i związanych ze znormalizowanymi metodami kodowania i przesyłania danych (Michalak, 2003).

Prace nad współdziałaniem systemów geoinformacyjnych dotyczą przede wszystkim interoperacyjności systemów informacji geograficznej, działających na różnych komputerach o odmiennych systemach operacyjnych, komunikujących się za pośrednictwem globalnych sieci komputerowych (WAN, internet). Znaczenie ma także funkcjonalność systemów geoinformacyjnych. Taka ich konstrukcja, że uzyskana interoperacyjność ma polegać na modułowej współpracy poszczególnych elementów oprogramowania geograficznego (funkcji) w celu stworzenia możliwości wykorzystania dla realizacji projektu GIS modułów pochodzących od różnych producentów. Równie istotnym celem prac w zakresie interoperacyjności jest standaryzacja metod udostępniania danych przestrzennych w sieci internet (HTML, XML, GML, SVG). Jest to zgodne z obserwowaną w całej teleinformatyce tendencją wzrostu roli systemów dystrybucji informacji kosztem wartości samej informacji (Castells, 2003).

Współdziałanie (interoperability) jest możliwe tylko wtedy, gdy wszystkie elementy systemów operują standardowymi metodami (protokołami) wymiany danych. Specyfiką interoperacyjności systemów geoinformacyjnych odróżniającą je od innych standardów (tele)informatycznych jest to, że treść danych zawiera informacje geokodowane.

Prace Open GIS Consortium są prowadzone w zakresie kilkunastu grup tematycznych, a ich podstawą jest ogólny opis normy (Abstract Specification Overview). Autorzy poszczególnych norm standardów, oprócz opisu tekstowego posługują się także językiem UML (Universal Modelling Language). Tematy poszczególnych specyfikacji dotyczą: geometrii obiektów (przestrzennych – Feature Geometry), funkcjonalności systemów związanej z obiektami (Stored Functions and Interpolation), cech obiektów (Features), układów odwzorowań (Spatial Reference Systems), geometrii przekształceń odwzorowań (Locational Geometry Structures), warstw tematycznych z ich kombinacjami (The Coverage Type and its Subtypes), zobrazowań lotniczych, satelitarnych uzyskanych za pomocą różnych sensorów (The Earth Imagery Case), relacji pomiędzy obiektami (Relationships Between Features), jakości map (Quality), zbiorów obiektów (Feature Collections), metadanych (Metadata), architektury serwisów systemów geoinformacyjnych (OpenGIS Service Architecture), katalogowania usług serwisów geoinformacyjnych (Catalog Services), serwisów obrazów satelitarnych, lotniczych (Image Exploitation Services), transformacji ich współrzędnych (Image Coordinate Transformation Services) oraz zagadnień językowych (Semantics and Information Communities).

Abstrahując od rozstrzygania sporu, czy GIS jest tylko pewną metodyką rozwiązywania problemów czy też odrębną dziedziną, oraz przyjmując fakt,

że stał się pełnoprawnym narzędziem, technologią stosowaną w zarządzaniu i gospodarce, należy zwrócić uwagę na jego dalszy rozwój. Czynnikiem decydującym o zasięgu i zakresie zastosowań systemów geoinformacyjnych jest na pewno rozwój techniki komputerowej. Biorąc pod uwagę empirycznie potwierdzone w ciągu ostatnich lat "prawo Moore'a", że moc obliczeniowa komputerów podwaja się co 18 miesięcy, oraz fakt, że technika komputerowa zaczyna wkraczać do wielu dotąd nieskażonych elektroniką dziedzin – można spodziewać się dalszego rozwoju oprogramowania GIS.

W zakresie pozyskiwania danych, obok stosowanych jeszcze w latach 80. technik digitalizacji map analogowych (papierowych), skanowania zdjęć lotniczych, obróbki obrazów satelitarnych, doszły zupełnie nowe techniki. Są nimi: zdjęcia cyfrowe wykorzystywane zarówno w teledetekcji jak i fotografii oraz GPS (globalne systemy nawigacji), które stają się uzupełnieniem dotychczasowych technik kartowania terenowego, spełniając rolę digitizerów terenowych w powiązaniu z komputerami przenośnymi (ang. handheld computers). Potencjalnym źródłem danych są także cyfrowe filmy wideo. Automatyzacja pozyskiwania danych może dotyczyć większości aspektów badań geograficznych (automatyczne stacje meteorologiczne, fotokomórki i ekrany dotykowe, zliczające np. natężenie ruchu lub preferencje konsumpcyjne ludzi), ankiety, wykorzystujące technikę kodów kreskowych, umożliwiającą zeskanowanie odpowiedzi.

W zakresie funkcjonalności GIS – poszczególne programy mają pewien wspólny zakres funkcji (jakkolwiek algorytmy procedur mogą się różnić między sobą). Wynikiem działania programu GIS pozostaje mapa, jakkolwiek niektóre systemy geoinformacyjne (np. GeoMedia) umożliwiają stworzenie takich map, które na podobieństwo tzw. hipertekstu mogą zawierać wszelkie elementy audiowizualne, tekstowe i grafiki komputerowej. Za najważniejsze można uznać, że mapa numeryczna jest w istocie geograficzną bazą wiedzy o faktach i zjawiskach zachodzących w środowisku geograficznym. Te mapy numeryczne, które będą wykonywane w przyszłości, być może nie będą już interaktywnym modelem świata rzeczywistego, spełniającym wymagania rozszerzonej o dodatkowe pojęcia, tradycyjnej definicji mapy zapożyczonej z kartografii, ale powiązane z techniką wirtualnej rzeczywistości (virtual reality).

Zmienia się także sposób funkcjonowania mapy. Tradycyjny model działania kartografii polega na przygotowaniu kompletnej mapy (papierowej), jej druku w określonym nakładzie, a następnie dystrybucji (ang. print to distribute). Posługiwanie się systemami geoinformacyjnymi daje możliwość odwrócenia dotychczas ukształtowanych nawyków posługiwania się mapami. Użytkownik GIS ma możliwość przygotowania mapy numerycznej i związanej z nią geograficznej bazy danych, a następnie jej dystrybucji dla końcowych użytkowników, którzy mogą tak przygotowaną mapę wydrukować (ang. distribute to print).

Jest jeszcze jeden element istotny z punktu widzenia rozwoju systemów GIS i geografii, a mianowicie, kto i ile osób będzie wykorzystywał mapy cyfrowe.

Nie ulega wątpliwości, że w obecnej chwili największym odbiorcą są organizacje związane z administracją państwową oraz duże (często ponadnarodowe) korporacje i firmy komercyjne.

Posługiwanie się oprogramowaniem GIS może zmienić diametralnie możliwości badawcze geografów i kartografów w tym sensie, że stanowi praktyczne urzeczywistnienie kartograficznej metody badań w geografii (nakładania i porównywania map tematycznych – za pomocą technik operowania grafiką komputerową i bazą danych atrybutów), rozszerzając ją o pewne dodatkowe elementy. Są nimi: dowolność skali wyświetlania i szczegółowość mapy (zależna od skali), praktycznie nieograniczone możliwości kształtowania grafiki mapy (grafika komputerowa), przypisywanie dowolnej symboliki jednej mapie. Wszelkie pomiary (np. powierzchni, odległości) wyliczane są numerycznie. A analizy wykonywane na mapach cyfrowych są ściśle związane (lub wykonywane równocześnie) z analizą atrybutów.

Można postawić tezę, że rozwój GIS dopiero nastąpi w momencie, gdy użytkownikami mapy cyfrowej związanej z geograficzną bazą danych staną się firmy i osoby prywatne. Najbardziej prawdopodobnym medium i stymulatorem tego rozwoju jest w tej chwili sieć internet z jej techniką WWW.

## **Wymiana plików między programami. Konwersje formatów**

Niewątpliwą zaletą GIS jest dostępność dużej ilości różnorodnego oprogramowania na rynku komputerowym. Pozwala to na zakup programu odpowiedniego do rozwiązania określonego problemu, za określoną cenę. Możliwość wyboru staje się słabością GIS w momencie konieczności transformacji danych między programami. Brak powszechnie uznawanych elektronicznych standardów wymiany danych, powoduje trudności, zwłaszcza w przypadku użycia programów mniej znanych (ale relatywnie tanich). Efektem transformacji baz danych są częste straty istotnych elementów, np. określających położenie obiektów, co wpływa na dokładność przyszłych analiz. Podpieranie się standardami przemysłowymi, np. DXF programu AutoCad lub zaczerpniętymi z DTP, np. język PostScript, jest tutaj jedynie prowizorycznym rozwiązaniem. Mimo intensywnych prac w najbliższym czasie trudno się spodziewać istotnego postępu w tej dziedzinie. Powodem są nie tylko duże różnice w polityce marketingowej producentów oprogramowania, lecz także podejście do problemu standaryzacji w poszczególnych krajach Europy, wynikające z różnych tradycji i doświadczeń historycznych. Wzorem mogą być USA nie obciążone historycznymi zaszłościąmi.

Dla celów ujednoczenia zapisu danych i umożliwienia wymiany plików między poszczególnymi systemami bez straty informacji próbuje się rozwijać standardowy format zapisu (Standard Data Transfer Format – STDS), który spełniałby dla systemów geoinformacyjnych rolę podobną, jaką dla całej informa-

tyki pełni obecnie kod ASCII. Chodzi przede wszystkim o ujednoczenie zapisu topologicznego danych przestrzennych.

Równie istotna jest konieczność umożliwienia włączenia gotowych map cyfrowych do przygotowywanych za pomocą systemów Desktop Publishing publikacji. Może to się odbywać poprzez kodowanie od razu w jednym z powszechnie wykorzystywanych formatów DTP (np: Postscript) lub pośrednio poprzez zapis danych w postaci pliku ASCII.

W ostatnich latach standardem rynkowym zapisu map cyfrowych w formacie wektorowym stał się opublikowany i udostępniony przez ESRI tzw. shape file (\*.shp), przenoszący informację o geometrii i identyfikacji obiektów na mapie cyfrowej (tworzy osobne pliki dla każdej z warstw mapy), łącznie z informacją atrybutową zawartą w tabelach umieszczonych w oddzielnych plikach zapisanych formatem dBase (\*.dbf). Popularność tego standardu związana jest z silną pozycją rynkową ESRI jako producenta oprogramowania GIS (ArcInfo, ArcView, ArcGIS).

Geographic Markup Language (GML) jest nowym, otwartym, rozwijanym przez konsorcjum OpenGIS standardowym formatem zapisu (XML) tekstowego map wykorzystującym znaczniki (ang. tags). Dodatkowo jest przystosowany do pracy w sieci internet. Pozwala na wizualizację grafiki poprzez transformację do postaci plików SVG lub grafiki trójwymiarowej (X3D), wykorzystując skrypty lub dokumenty stylów internetowych (XSL). Wersja 3. języka GML pozwala pracować z mapami za pomocą przeglądarek WWW z wbudowanymi wtyczkami (plug-ins) umożliwiającymi transformację i wyświetlanie map. GML jest nie tylko językiem opisu wektorowych danych geometrycznych i atrybutowych – może spełniać także funkcje narzędzia opisu operacji przestrzennych oraz danych uzyskanych z urządzeń teledetekcyjnych. Wersja 3 języka wspiera także model topologiczny opisu danych przestrzennych. Pełna implementacja GML pozwala uzyskać rzeczywistą interoperacyjność pomiędzy aplikacjami. Z jego pomocą praktycznie urzeczywistnia się idea „Internet GIS”. Pliki GML wykorzystywane są coraz częściej jako format wymiany danych, a coraz więcej aplikacji wykorzystuje je jako podstawowy format zapisu (ang. native format).





## Rozdział IX

# Geoinformacja – narzędzie czy nauka?

W drugiej połowie lat 90. rozgorzała wśród geografów i użytkowników systemów geoinformacyjnych dyskusja – czym właściwie jest GIS – narzędziem czy też nową dziedziną nauki. Pojawiły się pojęcia takie jak: GISc (nauki o informacji geograficznej), geomatyka, geoinformacja, geoinformatyka. W edukacji w zakresie systemów geoinformacyjnych to rozróżnienie pozwala określić, czy GIS jako narzędzie będzie nauczany na poziomie zawodowym (licencjat), czy też możliwe jest tworzenie specjalności w dziedzinie nauki o informacji geograficznej. W tej dyskusji pojawiły się trzy różne punkty widzenia (Wright, Goodchild, Proctor, 1997):

- (i) GIS jest narzędziem wykorzystującym specjalne oprogramowanie, sprzęt i dane przestrzenne dla osiągnięcia specyficznych, naukowych i gospodarczych celów.
- (ii) GIS jest techniką, która sama w sobie może być przedmiotem badań w celu skonstruowania specjalnych narzędzi ułatwiających osiągnięcie określonych celów naukowych i gospodarczych.
- (iii) GIS jest dyscypliną badawczą, której zadaniem jest analiza podstawowych problemów związanych z wykorzystaniem informacji przestrzennej.

W dyskusji tej padały często argumenty przypominające dyskusje metodologiczne, które odbywały się w trakcie ekspansji metod ilościowych w geografii w latach 50. i 60. XX w. (w Polsce w latach 70.). Sformułowania: „badania z wykorzystaniem systemów informacji geograficznej” i „badania w zakresie geoinformacji” mają wyraźnie określone znaczenie. Pierwsze implikuje użycie narzędzia (i), drugie pogłębianie wiedzy w dziedzinie informacji geograficznej (ii,iii). Ale to rozróżnienie nie jest oczywiste. Badania geograficzne z wykorzystaniem metod statystyki i matematyki to wykorzystanie jako narzędzi w geografii metod i wiedzy innych dziedzin. Inny aspekt to oczywiście wyraźne rozróżnienie pomiędzy nauką o informacji geograficznej (geoinformacją) a geografią. W publikowanym piśmiennictwie geograficznym, na świecie i w Polsce, poświęcono mało uwagi debacie nazwanej „GIS tool or science”, która odbywała się przede wszystkim poprzez listy dyskusyjne w sieci internetu i na stronach WWW.

W dyskusji brało udział ponad 40 osób z 6 różnych krajów, reprezentujących różne dyscypliny naukowe, bądź specjalności. Byli to naukowcy, inżynierowie i

praktycy wykorzystujący oprogramowanie GIS w różnych dziedzinach. Punktem wyjścia do dyskusji były tezy dotyczące automatyzacji geografii: postęp metod analitycznych geografii w powiązaniu z techniką komputerową stworzył możliwość zautomatyzowania procedur stosowanych w badaniach geograficznych i w konsekwencji automatyzacji rozwiązywania problemów geograficznych. Niezaprzeczalnym osiągnięciem GIS było usunięcie barier oddzielających tradycyjnie izolowane od siebie dyscypliny: m.in. fotogrametrii, teledetekcji, geodezji, kartografii, geografii, geologii, informatyki, statystyki przestrzennej.

Zwolennicy poglądu, że GIS jest narzędziem, przedstawiali systemy informacji geograficznej raczej jako technikę, środowisko rozwiązywania problemów geograficznych, precyzując, że geoinformacja stanie się dyscypliną badawczą, gdy wyraźnie oddzieli się od geografii. Wiedza o tym, jak posługiwać się oprogramowaniem, nie stanowi odrębnej dziedziny. Zrozumienie zjawisk przestrzennych dokonuje się przez wykorzystanie narzędzi GIS (podobnie jak map). Systemy geoinformacyjne opierają się na zaprojektowanej przez inżynierię oprogramowania konstrukcji. Oprogramowanie GIS to stosowanie metod nauk geograficznych w celu badania zjawisk i obiektów. Podobne zastosowanie w geografii znajdują np. metody analizy przestrzennej. Wynalazek teleskopu jako narzędzia optycznego nie spowodował powstania nowej dziedziny, ale zrewolucjonizował część optyki i innych dyscyplin naukowych. Natomiast wynalazek GIS na pewno miał wpływ na zmianę paradygmatów wielu nauk o Ziemi (Wright, Goodchild, Proctor, 1997).

Z kolei geoinformacja (GISc) jako nauka powinna przede wszystkim zwracać uwagę nie na aspekty technologiczne swojego rozwoju, ale na podstawy modelowania zjawisk przestrzennych, zagadnienie jakości geokodowanych informacji, oceny błędów przetwarzania. Proces projektowania, rozwoju i wdrażania narzędzi jest faktycznie dziedziną nauki. Ale wiąże się to ze sprecyzowaniem przedmiotu badań geoinformacji, podobnie jak w innych naukach o Ziemi. Czy odpowiedzi na pytania dotyczące integralności danych przestrzennych zebranych z różnych źródeł można znaleźć w innych dziedzinach? Teoria systemów geoinformacyjnych powinna dotyczyć rozwoju algorytmów i swoistej metodologii. W tym sensie GISc jest odrębną nauką. Projektowanie nowych metod w celu testowania teorii powoduje zmianę paradygmatu według terminologii Khuna. Ale nie w oderwaniu od pozostałych dyscyplin zajmujących się naukami o Ziemi. Poszukiwanie w geoinformacji nowych metod analizy danych obejmuje rozwijanie teorii zjawisk umiejscowionych w czasie i przestrzeni. GIS jest zarówno narzędziem jak i stanowi odrębną dziedzinę, podobnie jak kartografia i teledetekcja, w zależności od tego, kto ją stosuje i w jakim celu. Teoria geoinformacji na pewno obejmuje elementy formalne, które wyodrębniają ją jako nową dziedzinę nauki.

GIS jako technika wykorzystywana w gospodarce na pewno odniósł sukces w takich dziedzinach jak administracja, handel i produkcja, edukacja. Ma także swój wkład w kulturze i życiu społecznym. W zakresie nauk matematycz-

no-przyrodniczych i ekonomiczno-społecznych systemy informacji geograficznej znalazły swoje miejsce jako ważne narzędzie badawcze.

Na wielu uczelniach działają już od kilku lat kierunki studiów o tej specjalności, jednakże raczej związane z macierzystą dziedziną, z której wywodzą się jej nauczyciele akademicy: m.in. geografią, geodezją, geologią. Równocześnie jednak główne ośrodki rozwoju systemów informacji geograficznej jako techniki informatycznej formowały się poza ośrodkami akademickim w wielkich korporacjach naukowo-przemysłowych oraz instytutach rządowych pracujących na zlecenie administracji.



## Aneks

# Zestawienie cech funkcjonalnych oprogramowania wybranych pakietów GIS

Tab. 7. Charakterystyka wybranych pakietów GIS (na podstawie 2000 GIS Software Survey, zmienione)

Nazwa programu	Autodesk MapGuide	AutoCAD Map 2000i	Autodesk PowerLine
Producent/Dystrybutor	Autodesk	Autodesk	Autodesk
Koszt pojedynczej licencji	Przeglądarka (viewer) gratis; serwer-\$8.995	\$4.250	Przeglądarka (viewer) gratis; serwer-\$50.000 & up
Data pojawienia się pierwszej wersji	1996	1996	1999
Cechy programu			
System operacyjny/platforma sieciowa			
model sieciowy: klient-serwer	Tak	Tak	Tak
serwer: system operacyjny	WinNT	Nie	WinNT
klient: system operacyjny	Mac, Sun Solaris, Win95, Win98, WinNT	Win 95/98/NT	Win95/98/NT
internetowy serwer map	Tak	Tak	Tak
Aplikacje			
Aplikacje niezależnych producentów		Tak	
Aplikacje dedykowane	Nie	Tak	
Administracja danymi geokodowanymi			
równoczesny dostęp wielu użytkowników - blokowanie	Nie	Tak	Nie
wersje oprogramowania	Nie	Nie	Nie
metadane	Nie	Nie	Tak
Zarządzanie bazą danych DBMS			
własny projekt systemu zarządzania bazą danych DBMS	Tak	Nie	Tak
relacyjny system zarządzania bazą danych RDBMS	współpraca Oracle, Sybase, Microsoft Access, SQL Server, ODBC.	Tak	wsparcie dla Oracle, Sybase, Microsoft Access, SQL Server, ODBC.

zarządzanie i dostęp do zewnętrznych serwerów RDBMS	Support for Oracle8i Spatial in 2000.	Tak	wparcie Oracle8i Spatial
<b>Własny format zapisu struktury danych geometrycznych</b>			
wektorowy (spaghetti)	Tak	Tak	Tak
wektorowy (topologiczny)	Tak	Tak	Tak
parametryczny	Nie	Tak	Nie
3-D	Nie	Tak	Nie
TIN	Nie	Tak	Nie
grid	Nie	Nie	Nie
rastrowy	Tak	Tak	Tak
<b>Narzędzia importu i eksportu danych geograficznych</b>			
narzędzia bezpośredniego importu danych	ARC/INFO Coverages, SHP, DGN, DWG, DXF, BNA, MIF/MID, Oracle8i	DWG Autodesk MapGuide SDF, DXF, MIF/MID, DGN, SHP	ARC/INFO Coverages, SHP, DGN, DWG, DXF, BNA, MIF/MID, Oracle8i
narzędzia bezpośredniego eksportu danych	SDF	DWG Autodesk MapGuide SDF, DXF, MIF/MID, DGN, SHP	SDF
<b>Format tekstowy zapisu danych geokodowanych</b>			
import		DWG Autodesk MapGuide SDF, DXF, MIF/MID, DGN, SHP	
eksport		DWG Autodesk MapGuide SDF, DXF, MIF/MID, DGN, SHP	
<b>Wprowadzanie i edycja danych geokodowanych</b>			
digitalizacja: współpraca z digitizerem	Nie	Tak	Nie
wprowadzanie współrzędnych (COGO)	Tak	AutoCAD Map 2000i	Tak
akwizycja danych z plików i urządzeń cyfrowych (GPS)	Tak	DXF	Tak
digitalizacja ekranowa	Tak	Tak	Tak
wektoryzacja	Nie	wymaga dodatkowych aplikacji	Nie
rektyfikacja map	Nie	Tak	Nie
korekcja błędów graficznych	Nie	Tak	Nie
wprowadzanie danych geodezyjnych	Tak	Nie	Tak

Opisywanie i kompozycja map			
interaktywna kompozycja map	Tak	Tak	Tak
generowanie etykiet na podstawie atrybutów	Tak	Tak	Tak
interaktywna zmiana symboliki mapy	Tak	Tak	Tak
kartowanie tematyczne	Tak	Tak	Tak
Funkcje analizy przestrzennej i kwerendy geograficzne			
funkcje selekcji i wyszukiwania	Tak	Tak	Tak
funkcje pomiarów i obliczeń	Tak	Tak	Tak
geokodowanie adresów	Tak	Nie	Tak
funkcje sąsiedztwa (buforowanie)	Tak	Tak	Tak
funkcje analizy point/line-in-polygon	Tak	Tak	Tak
przecinanie warstw (overlay)	Nie	Tak	Nie
funkcje sieciowe	Nie (tylko z rozszerzeniami)	Tak	Tak
operacje na plikach rastrowych	Nie	Nie	Nie
bezpośredni dostęp do formatów zapisu innych programów GIS	wparcie Oracle8i Spatial	Nie	wparcie Oracle8i Spatial
Przetwarzanie i analiza danych rzeźby terenu			
generowanie DEM	Nie	wymaga dodatkowych aplikacji	Nie
generowanie izolinii	Nie	wymaga dodatkowych aplikacji	Nie
możliwość wyświetlania trójwymiarowych blokdigramów lub profili terenowych	Nie	wymaga dodatkowych aplikacji	Nie
wyświetlanie warstw tematycznych na blokdigramie	Nie	Nie	Nie
generowanie map spadków i ekspozycji	Nie	Nie	Nie
Operacje na plikach rastrowych			
korekcja geometryczna	Nie	Tak	Nie
generowanie rzutu ortograficznego obrazów	Nie	Tak	Nie
reklasyfikacja obrazów	Nie	Tak	Nie
klasyfikacja spektralna	Nie	Nie	Nie
Język projektowania aplikacji			
Własny język skryptowy projektowania aplikacji	Nie	VisualLisp, ADSRX, ObjectARX	Nie
Standardowy, zewnętrzny język projektowania aplikacji	Tak	Visual Basic /VBA, C++	Tak

Nazwa programu	VISION Enterprise	VISION Objects	VISION Framework
Producent/Dystrybutor	Autodesk	Autodesk	Autodesk
Koszt pojedynczej licencji	Licencja	\$1.000 L1; \$2.000 L2	\$2.500
Data pojawienia się pierwszej wersji	1996	1996	1999
<b>Cechy programu</b>			
<b>System operacyjny/platforma sieciowa</b>			
model sieciowy: klient-serwer	AIX, Solaris, Tru64, HPUX		
serwer: system operacyjny		Win NT/95/98	Win NT/95/98
klient: system operacyjny			
internetowy serwer map			
<b>Aplikacje</b>			
Aplikacje niezależnych producentów			
Aplikacje dedykowane			
<b>Administracja danymi geokodowanymi</b>			
równoczesny dostęp wielu użytkowników - blokowanie	we współpracy z RDBMS Oracle	zintegrowany (ROSE)	
wersje oprogramowania	we współpracy z RDBMS Oracle	zintegrowany (ROSE)	
metadane	Rational ROSE, Oracle		
<b>Zarządzanie bazą danych DBMS</b>			
własny projekt systemu zarządzania bazą danych DBMS	Nie		
relacyjny system zarządzania bazą danych RDBMS	Oracle 8, 8i		
zarządzanie i dostęp do zewnętrznych serwerów RDBMS	Oracle 8i		
<b>Własny format zapisu struktury danych geometrycznych</b>			
wektorowy (spaghetti)	przechowywany w Oracle		
wektorowy (topologiczny)	przechowywany w Oracle		
parametryczny	przechowywany w Oracle		
3-D	przechowywany w Oracle		
TIN	Nie		
grid	wewnętrzna baza danych		Tak
rastrowy	TIFF, JPEG, 8 bit	TIFF, JPEG, 8 bit	TIFF, JPEG, 8 bit



Narzędzia importu i eksportu danych geograficznych			
narzędzia bezpośredniego importu danych	DGN, DWG, IGDS		
narzędzia bezpośredniego eksportu danych			
Format tekstowy zapisu danych geokodowanych			
import			
eksport			
Wprowadzanie i edycja danych geokodowanych			
digitalizacja: współpraca z digitizerem		Tak	
wprowadzanie współrzędnych (COGO)			
akwizycja danych z plików i urządzeń cyfrowych (GPS)			
digitalizacja ekranowa		Tak	
wektoryzacja		Nie	
rektyfikacja map		Tak	
korekcja błędów graficznych		Tak	
wprowadzanie danych geodezyjnych		Tak	
Opisywanie i kompozycja map			
interaktywna kompozycja map			Tak
generowanie etykiet na podstawie atrybutów	Wyrażenia SQL		Tak
interaktywna zmiana symboliki mapy	dynamicznie		
kartowanie tematyczne			Tak
Funkcje analizy przestrzennej i kwerendy geograficznych			
funkcje selekcji i wyszukiwania	z wykorzystaniem SQL	z wykorzystaniem SQL	z wykorzystaniem SQL
funkcje pomiarów i obliczeń	Tak	Tak	Tak
geokodowanie adresów			
funkcje sąsiedztwa (buforowanie)	Tak	Tak	Tak
funkcje analizy point/line-in-polygon	Tak	Tak	Tak
przecinanie warstw (overlay)	Tak	Tak	Tak
funkcje sieciowe	dotatkowa aplikacja sieciowa	dotatkowa aplikacja sieciowa	dotatkowa aplikacja sieciowa
operacje na plikach rastrowych	Tak	Tak	Tak
bezpośredni dostęp do formatów zapisu innych programów GIS	translacja	translacja	translacja
Przetwarzanie i analiza danych rzeźby terenu			
generowanie DEM			
generowanie izolinii	Tak		

możliwość wyświetlania trójwymiarowych blokdigramów lub profili terenowych			
wyświetlanie warstw tematycznych na blokdigramie			
generowanie map spadków i ekspozycji			
Operacje na plikach rastrowych			
korekcja geometryczna			
generowanie rzutu ortograficznego obrazów	Tak(warping)		
rekasyfikacja obrazów			
klasyfikacja spektralna			
Język projektowania aplikacji			
Własny język skryptowy projektowania aplikacji	oparty na SQL		
Standardowy, zewnętrzny język projektowania aplikacji	akceptuje wyrażenia SQL	ActiveX	ActiveX

Nazwa programu	MAPublisher for Adobe Illustrator	MAPublisher for Macromedia FreeHand	MicroStation GeoGraphics
Producent/Dystrybutor	Avenza Software	Avenza Software	Bentley Systems Inc.
Koszt pojedynczej licencji	\$495	\$495	w zależności od liczby użytkowników serwera
Data pojawienia się pierwszej wersji	1995	1995	1996
Cechy programu			
System operacyjny/ platforma sieciowa			
model sieciowy: klient-serwer	---	---	Win NT/95/98
serwer: system operacyjny	---	---	
klient: system operacyjny	MacOS, Win 9x/NT	MacOS, Win 9x/NT	
internetowy serwer map	---	---	
Aplikacje			
Aplikacje niezależnych producentów			GeoAddress, GeoParcel, GeoWater, GeoWastWater, GeoCoordinator,
Aplikacje dedykowane	Tak		Tak
Administracja danymi geokodowanymi			
równoczesny dostęp wielu użytkowników - blokowanie	---	Tak	Tak

wersje oprogramowania	---	---	Tak
metadane	Tak	Tak	Tak
Zarządzanie bazą danych DBMS			
własny projekt systemu zarządzania bazą danych DBMS	wewnętrzna baza danych	wewnętrzna baza danych	VSQL
relacyjny system zarządzania bazą danych RDBMS	Any ODBC	Any ODBC	Oracle, Informix, SQL Server, Sybase, Access
zarządzanie i dostęp do zewnętrznych serwerów RDBMS	wewnętrzna baza danych	wewnętrzna baza danych	Tak
<b>Własny format zapisu struktury danych geometrycznych</b>			
wektorowy (spaghetti)	---	---	
wektorowy (topologiczny)	---	---	Nie
parametryczny	---	---	Tak
3-D	---	---	Tak
TIN	---	---	GeoTerrain
Grid	---	---	
rastrowy	Tak	Tak	Tak
<b>Narzędzia importu i eksportu danych geograficznych</b>			
narzędzia bezpośredniego importu danych	SHAPE, MID/MIF, E00, DXF, STDS, GENERATE	SHAPE, MID/MIF, E00, DXF, STDS, GENERATE	DXF, DWG, DXB, CGM, IGES, VersaCAD 386, Step AP203 / AP214, ESRI, SHP, MapInfo MIF, TIFF, COT, C29, CIT, TG4, RLE, CAL, RGB, JPG, PCX, RLC, TGA, BMP, Sun Raster RS
narzędzia bezpośredniego eksportu danych	Shape, mid/mif, e00	Shape, mid/mif, e00	DXF, DWG, CGM, IGES, VRML World, Step AP203 / AP214, ESRI SHP, MapInfo MIF, TIFF, COT, C29, CIT, TG4, RLE, CAL, RGB, JPG, PCX, TGA, BMP, Sun Raster RS
<b>Format tekstowy zapisu danych geokodowanych</b>			
Import	Illustrator, EPS, PDF	FreeHand, EPS, PDF	ESRI E00, ESRI GEN, Digital Line Graph OPT, DGN, HMR
Eksport	Illustrator, EPS, PDF, PDFPLUS	FreeHand, EPS, PDF, PDFPLUS	ESRI E00, ESRI GEN, DGN, HMR
<b>Wprowadzanie i edycja danych geokodowanych</b>			
digitalizacja: współpraca z digitizerem	Tak	Tak	Tak
wprowadzanie współrzędnych (COGO)	Tak	Tak	GeoParcel

akwizycja danych z plików i urządzeń cyfrowych (GPS)	Tak	Tak	GeoParcel
digitalizacja ekranowa	Tak	Tak	Descartes
wektoryzacja	---	---	Descartes
rektyfikacja map	---	---	Tak
korekcja błędów graficznych	---	---	Tak
wprowadzanie danych geodezyjnych	Tak	Tak	Nie
Opisywanie i kompozycja map			
interaktywna kompozycja map	Tak	Tak	Tak
generowanie etykiet na podstawie atrybutów	Tak	Tak	Tak
interaktywna zmiana symboliki mapy	Tak	Tak	Tak
kartowanie tematyczne	Tak	Tak	Tak
Funkcje analizy przestrzennej i kwerendy geograficzne			
Funkcje selekcji i wyszukiwania	Tak	Tak	Tak
Funkcje pomiarów i obliczeń	Tak	Tak	Tak
geokodowanie adresów	---	---	GeoAddress
Funkcje sąsiedztwa (buforowanie)	Tak	Tak	Tak
Funkcje analizy point/line-in-polygon	---	---	Tak
przecinanie warstw (overlay)	---	---	Tak
funkcje sieciowe	---	---	Tak
operacje na plikach rastrowych	---	---	Tak
bezpośredni dostęp do formatów zapisu innych programów GIS	---	---	Tak
Przetwarzanie i analiza danych rzeźby terenu			
generowanie DEM	---	---	GeoTerrain
generowanie izolinii	---	---	GeoTerrain
możliwość wyświetlania trójwymiarowych blokdiagramów lub profili terenowych	---	---	GeoTerrain

wyświetlanie warstw tematycznych na blokdigramie	---	---	GeoTerrain
generowanie map spadków i ekspozycji	---	---	GeoTerrain
Operacje na plikach rastrowych			
korekcja geometryczna	---	---	Descartes
generowanie rzutu ortograficznego obrazów	---	---	
reklasyfikacja obrazów	---	---	Descartes
klasyfikacja spektralna	---	---	Descartes
Język projektowania aplikacji			
Własny język skryptowy projektowania aplikacji	---	---	MDL, MicroStation Basic, JMDL
Standardowy, zewnętrzny język projektowania aplikacji	C, C++, Visual C	C, C++, Visual C	C++, Java, Visual Basic

Nazwa programu	MicroStation GeoOutlook	ModelServer Discovery	ModelServer Continuum
Producent/Dystrybutor	Bentley Systems Inc.	Bentley Systems Inc.	Bentley Systems Inc.
Koszt pojedynczej licencji	w zależności od liczby użytkowników serwera	w zależności od liczby użytkowników serwera	w zależności od liczby użytkowników serwera
Data pojawienia się pierwszej wersji	1997	1998	1998
Cechy programu			
System operacyjny/ platforma sieciowa			
model sieciowy: klient-serwer		Tak	Tak
serwer: system operacyjny		Windows NT	Windows NT
klient: system operacyjny	Win NT/95/98	Windows NT	Windows NT
internetowy serwer map		Tak	Tak
Aplikacje			
Aplikacje niezależnych producentów	GeoDynSeg		
Aplikacje dedykowane			

Administracja danymi geokodowanymi			
równoczesny dostęp wielu użytkowników - blokowanie	Tak	Tak	Tak
wersje oprogramowania	Tak	Tak	Tak
metadane	Tak	Tak	Tak
Zarządzanie bazą danych DBMS			
własny projekt systemu zarządzania bazą danych DBMS	VSQL		
relacyjny system zarządzania bazą danych RDBMS	Oracle, Informix, SQL Server, Sybase, Access	ADRG, Arc Generate, ASCII, AVHRR, CADRG, CIB, USGS DEM, DGN (IGDS), ERDAS DIG, DLG, USGS DOQ, DTED, DXF, ERS (CEOS), ETAK, BIL, BIP, BSQ, GEOSPOT, GeoTIFF, ERDAS GIS, GRASS, ESRI GRID, IGES, IRS-1C, JFIF (JPEG), Landsat (MSS, TM, ETM), ERDAS LAN, MapInfo, NITF, PCX, Radarsat (CEOS), NLAPS, RPF, SDTS, SeaWiFS, Shapefile, SPOT, Sun Raster, TIFF, TIFF World, TIGER, VPF.	Oracle
zarządzanie i dostęp do zewnętrznych serwerów RDBMS	Tak	Tak	Tak
<b>Własny format zapisu struktury danych geometrycznych</b>			
wektorowy (spaghetti)			
wektorowy (topologiczny)	Nie		
parametryczny	Tak		
3-D	Tak		
TIN	Nie	Nie	Nie
grid			
rastrowy	Tak	Tak	

Narzędzia importu i eksportu danych geograficznych			
narzędzia bezpośredniego importu danych	DXF, DWG, DXB, TIFF, COT, C29, CIT, TG4, RLE, CAL, RGB, JPG, PCX, RLC, TGA, BMP, Sun Raster RS		
narzędzia bezpośredniego eksportu danych	DXF, DWG, TIFF, COT, C29, CIT, TG4, RLE, CAL, RGB, JPG, PCX, TGA, BMP, Sun Raster RS.		
Format tekstowy zapisu danych geokodowanych			
import	DGN, RDL, HMR		
eksport	DGN, RDL, HMR		
Wprowadzanie i edycja danych geokodowanych			
digitalizacja: współpraca z digitizerem	Tak		
wprowadzanie współrzędnych (COGO)	Nie		
akwizycja danych z plików i urządzeń cyfrowych (GPS)	Nie		
digitalizacja ekranowa	Nie		
wektoryzacja	Nie		
rektyfikacja map	Nie		
korekcja błędów graficznych	Nie		
wprowadzanie danych geodezyjnych	Tak		
Opisywanie i kompozycja map			
interaktywna kompozycja map	Tak		
generowanie etykiet na podstawie atrybutów	Tak		
interaktywna zmiana symboliki mapy	Tak		
kartowanie tematyczne	Tak		
Funkcje analizy przestrzennej i kwerendy geograficzne			
funkcje selekcji i wyszukiwania	Tak		Tak

funkcje pomiarów i obliczeń	Tak		
geokodowanie adresów	Nie		
funkcje sąsiedztwa (buforowanie)	Tak		
funkcje analizy point/line-in-polygon	Tak		
przecinanie warstw (overlay)	Tak		
funkcje sieciowe	Nie		
operacje na plikach rastrowych	Tak	Tak	
bezpośredni dostęp do formatów zapisu innych programów GIS	Nie		
Przetwarzanie i analiza danych rzeźby terenu			
generowanie DEM	Nie		
generowanie izolinii	Nie		
możliwość wyświetlania trójwymiarowych blokdigramów lub profili terenowych	Nie		
wyświetlanie warstw tematycznych na blokdigramie	Nie		
generowanie map spadków i ekspozycji	Nie		
Operacje na plikach rastrowych			
korekcja geometryczna	Nie		
generowanie rzutu ortograficznego obrazów	Nie		
reklasyfikacja obrazów	Nie		
klasyfikacja spektralna	Nie		
Język projektowania aplikacji			
Własny język skryptowy projektowania aplikacji	MDL, MicroStation Basic, JMDL	MDL, MicroStation Basic, JMDL	MDL, MicroStation Basic, JMDL
Standardowy, zewnętrzny język projektowania aplikacji	C++, Java, Visual Basic	C++, Java, Visual Basic	C++, Visual Basic



Nazwa programu	GeoView	GeoView LT	GeoObjects	Geographic Calculator	Geographic Translator	Geographic Tracker	Maptitude	GIS+
Producent/Dystrybutor	Blue Marble Geographics	Blue Marble Geographics	Blue Marble Geographics	Blue Marble Geographics	Blue Marble Geographics	Blue Marble Geographics	Caliper Corporation	Caliper Corporation
Koszt pojedynczej licencji	\$999	\$299	\$499	\$499	\$399	\$99	\$395	\$2.995
Data pojawienia się pierwszej wersji	1996	1997	1998	1992	1997	1993	1995	1989
Cechy programu								
<b>System operacyjny/platforma sieciowa</b>								
model sieciowy: klient-serwer				Tak	Tak	Nie	Tak	Tak
serwer: system operacyjny				Win 95/NT	Win 95/NT	Nie	Win 95/98/2000/NT	Win 95/98/2000/NT
klient: system operacyjny	Win 95/NT	Win 95/NT	Win 95/NT	Win 95/NT	Win 95/NT	Win 3X/95/NT	Win 95/98/2000/NT	Win 95/98/2000/NT
internetowy serwer map					Nie	Nie	wymaga licencji serwera WWW	wymaga licencji serwera WWW
<b>Aplikacje</b>								
Aplikacje niezależnych producentów							Tak	Tak
Aplikacje dedykowane								
<b>Administracja danymi geokodowanymi</b>								
równoczesny dostęp wielu użytkowników – blokowanie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
wersje oprogramowania	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Nie	Nie
metadane	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Nie	Nie

Zarządzanie bazą danych DBMS								
własny projekt systemu zarządzania bazą danych DBMS	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
relacyjny system zarządzania bazą danych RDBMS	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
zarządzanie i dostęp do zewnętrznych serwerów RDBMS	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Nie	Nie
Własny format zapisu struktury danych geometrycznych								
wektorowy (spaghetti)	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie		Nie	Nie
wektorowy (topologiczny)	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie		Tak	Tak
parametryczny	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak		Nie	Nie
3-D	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Nie	Nie
TIN	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Nie	Tak
grid	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Nie	Tak
rastrowy	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak

Narzędzia importu i eksportu danych geograficznych								
narzędzia bezpośredniego importu danych	AutoCAD DXF, DWG, ESRI SHAPE, MicroStation DGN, MapInfo MIF, JPEG, TIFF, BITMAP, BSB Charts, NOS, TGA.	DXF, DWG, MicroStation DGN, SHAPE, MapInfo MIF, JPEG, TIFF, BITMAP, BSB Charts	TIFF, JPEG, BMP, BSB Charts		DWG, DXF, MicroStation DGN, MapInfo MIF, TAB, ESRI SHAPE.		TIGER/Line, Etak Streets (.MBS), AutoCAD (.DXF), MapInfo Interchange (.MIF), Atlas BNA (.BNA), ARC/INFO Export (.E00), UNGEN (.LIN, .PTS), ArcView Shapefile, BTS National Transportation Atlas (.LNK, .NOD, .PNT, .ARE), Ordnance Survey (.NTF),	TIGER/Line, Etak Streets (.MBS), AutoCAD (.DXF), MapInfo Interchange (.MIF), Atlas BNA (.BNA), ARC/INFO Export (.E00), UNGEN (.LIN, .PTS), ArcView Shapefile, BTS National Transportation Atlas (.LNK, .NOD, .PNT, .ARE), Ordnance Survey (.NTF), Vector
narzędzia bezpośredniego eksportu danych	DXF, ESRI SHAPE, MapInfo MIF, Blue Marble BML	BLM			AutoCAD DXF, ESRI SHAPE, MapInfo MIF, TAB, Blue Marble BML		AutoCAD DXF MapInfo MIF, Atlas BNA, ARC/INFO UNGEN, ArcView SHAPE, Caliper Text/Geography format	AutoCAD DXF, MapInfo MIF, Atlas BNA, ARC/INFO UNGEN, ArcView SHAPE, Caliper Text/Geography format

Format tekstowy zapisu danych geokodowanych								
import							Nie	Tak
eksport							Nie	Tak
Wprowadzanie i edycja danych geokodowanych								
digitalizacja: współpraca z digitizerem	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak
wprowadzanie współrzędnych (COGO)	Nie	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie
akwizycja danych z plików i urządzeń cyfrowych (GPS)	Nie	Nie	Nie	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak
digitalizacja ekranowa	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak
wektoryzacja	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
Rektyfikacja map	Nie	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak
korekcja błędów graficznych	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
wprowadzanie danych geodezyjnych	Nie	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie	Tak	Tak
Opisywanie i kompozycja map								
interaktywna kompozycja map	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak	Tak
generowanie etykiet na podstawie atrybutów	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak	Tak
interaktywna zmiana symboliki mapy	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak
Kartowanie tematyczne	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak

Funkcje analizy przestrzennej i kwerendy geograficzne								
funkcje selekcji i wyszukiwania	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
funkcje pomiarów i obliczeń	Nie	Nie	Nie	Tak	Nie		Tak	Tak
geokodowanie adresów	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
funkcje sąsiedztwa (buforowanie)	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
funkcje analizy point/line-in-polygon	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
przecinanie warstw (overlay)	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
funkcje sieciowe	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
operacje na plikach rastrowych	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
bezpośredni dostęp do formatów zapisu innych programów GIS	Tak	Tak	Nie	Tak	Tak		Nie	Tak
Przetwarzanie i analiza danych rzeźby terenu								
generowanie DEM	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Nie	Tak
generowanie izolinii	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
możliwość wyświetlania trójwymiarowych blokdigramów lub profili terenowych	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Tak	Tak
wyświetlanie warstw tematycznych na blokdigramie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Nie	Tak
generowanie map spadków i ekspozycji	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie		Nie	Tak

Operacje na plikach rastrowych								
Korekcja geometryczna	Nie	Nie	Nie				Nie	Nie
generowanie rzutu ortograficznego obrazów	Nie	Nie	Nie				Nie	Nie
reklasyfikacja obrazów	Nie	Nie	Nie				Nie	Nie
klasyfikacja spektralna	Nie	Nie	Nie				Nie	Nie
Język projektowania aplikacji								
Własny język skryptowy projektowania aplikacji						DDE	GISDK	GISDK
Standardowy, zewnętrzny język projektowania aplikacji	Delphi, VC++, VB	Delphi, VC++, VB	Delphi, VC++, BC, Power Builder			Nie	Tak	Tak

Nazwa programu	CARIS GIS	MAPdirector 5.0	Idrisi32	CartaLinx	Stereo Analyst
Producent/Dystrybutor	CARIS	CarteGraph Inc.	Clark Labs	Clark Labs	ERDAS Inc.
Koszt pojedynczej licencji	od \$5.000	\$1.495	\$1.500	\$400	\$3.000
Data pojawienia się pierwszej wersji	1983	1996	1987	1998	2000
Cechy programu					
System operacyjny/ platforma sieciowa					
model sieciowy: klient-serwer	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
serwer: system operacyjny	Windows NT, UNIX	Windows 95/98/Me/NT	Win 95/98/2000/NT	Nie	Win NT/98/95
klient: system operacyjny	Windows NT/95, UNIX	Windows 95/98/Me/NT	Win 95/98/2000/NT	Win 95/98/NT	Windows NT/95/99
internetowy serwer map	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie

Aplikacje					
Aplikacje niezależnych producentów		Tak			Nie
Aplikacje dedykowane		16+	Nie	Nie	
Administracja danymi geokodowanymi					
równoczesny dostęp wielu użytkowników - blokowanie	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie
wersje oprogramowania	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie
metadane	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie
Zarządzanie bazą danych DBMS					
własny projekt systemu zarządzania bazą danych DBMS	Tak	Nie	MS Access	MS Access	Nie
relacyjny system zarządzania bazą danych RDBMS	Tak	MS Access 2000, Oracle 8, SQL 7	Access, Dbase	Access, Dbase	Nie
zarządzanie i dostęp do zewnętrznych serwerów RDBMS	Nie	Tak	Nie	Nie	Tak
Własny format zapisu struktury danych geometrycznych					
wektorowy (spaghetti)	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
wektorowy (topologiczny)	Tak	Tak	Nie	Tak	Nie
parametryczny	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie
3-D	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak
TIN	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie

grid	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak
rastrowy	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
<b>Narzędzia importu i eksportu danych geograficznych</b>					
narzędzia bezpośredniego importu danych	Tak	Tak	Raster: BSQ, BIP, BIL, BMP, TIF, GEOSPOT, ERDAS LAND-GIS. Uses DEM, USGS CTG, RADARSAT, GRASS, SURFER for GRD. Wektor: USGS DLG, DXF, ARC/INFO, SHAPE, BNA, MIF	Wektor: IDRISI, SHAPE, MIF, ARC/INFO, ASCII, USGS STDS, Ord	JPEG, IMG, TIFF, SHAPE
narzędzia bezpośredniego eksportu danych	Tak	Tak	Raster: BSQ, BMP, TIF, ERDAS LAN-GIS, SURFER. Wektor: WMF, PostScript, BNA, DXF, ARC/INFO, SHAPE, MIF	Wektor: IDRISI, SHAPE, MIF, ARC/INFO; Raster: WMF, EMP, BMP	3D SHAPE, Generic ASCII
<b>Format tekstowy zapisu danych geokodowanych</b>					
import	Tak	BMP, DIB, JPG, PCX, TGA, TIF, OVR, IMG			IMAGINE IMG, GRID, TIFF (including GeoTIFF), JPEG, ERDAS LAN & GIS, MrSID, BIL, BIP, BSQ, ERS, NITF, HMR, ESRI ArcView Shapefile, DXF
eksport	Tak	SHP, DXF, DWG, DGN, MIF, WMF, BMP and CartéGraph Asset Databases			3D SHAPE, Generic ASCII
<b>Wprowadzanie i edycja danych geokodowanych</b>					
digitalizacja: współpraca z digitizerem	Tak	Nie	Nie	Tak	Nie
wprowadzanie współrzędnych (COGO)		Nie	Nie	Tak	Tak



akwizycja danych z plików i urządzeń cyfrowych (GPS)	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie
digitalizacja ekranowa	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
wektoryzacja	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak
rektyfikacja map	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak
korekcja błędów graficznych	Tak	Tak	Nie	Tak	Nie
wprowadzanie danych geodezyjnych	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
Opisywanie i kompozycja map					
interaktywna kompozycja map	Tak	Nie	Tak	Tak	Nie
generowanie etykiet na podstawie atrybutów	Tak	Nie	Nie	Tak	Nie
interaktywna zmiana symboliki mapy	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie
kartowanie tematyczne	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
Funkcje analizy przestrzennej i kwerendy geograficzne					
funkcje selekcji i wyszukiwania	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
funkcje pomiarów i obliczeń	Tak	Nie	Tak (raster)	Tak	Tak
geokodowanie adresów	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie
funkcje sąsiedztwa (buforowanie)	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie
funkcje analizy point/line-in-polygon	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie

przecinanie warstw (overlay)	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak
funkcje sieciowe	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie
operacje na plikach rastrowych	Nie	Nie	Tak	Nie	Tak
bezpośredni dostęp do formatów zapisu innych programów GIS	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak
<b>Przetwarzanie i analiza danych rzeźby terenu</b>					
generowanie DEM	Tak	Nie	Tak	Nie	Semi-automated
generowanie izolinii	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak
możliwość wyświetlania trójwymiarowych blokdiagramów lub profili terenowych	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak
wyświetlanie warstw tematycznych na blokdiagramie	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak
generowanie map spadków i ekspozycji	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak
Operacje na plikach rastrowych					
korekcja geometryczna	Tak	Nie	Tak	Tak	Nie
generowanie rzutu ortograficznego obrazów	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie
reklasyfikacja obrazów	Nie	Tak	Tak	Nie	Tak
klasyfikacja spektralna	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie

Język projektowania aplikacji					
Własny język skryptowy projektowania aplikacji	Tak	Nie	makrokomendy	Nie	Nie
Standardowy, zewnętrzny język projektowania aplikacji	Tak	VBScript, Java, XML, C++	Delphi, C++, Visual Basic, Borland Pascal	Nie	Nie

Nazwa programu	ERDAS IMAGINE 8.4	Arc View Image Analyst Extension	ERDAS MapSheets 1.2a	MapSheets Express 1.2a
Producent/Dystrybutor	ERDAS Inc.	ERDAS Inc.	ERDAS Inc.	ERDAS Inc.
Koszt pojedynczej licencji	od \$2.000	\$2.495	\$349	gratis
Data pojawienia się pierwszej wersji	1991	1998	1997	1998
Cechy programu				
System operacyjny/ platforma sieciowa				
model sieciowy: klient-serwer	Tak	Tak	Tak	Nie
serwer: system operacyjny	Win NT/98, 2000, various UNIX	wymaga protokołów sieciowych	wymaga protokołów sieciowych	wymaga protokołów sieciowych
klient: system operacyjny	Win NT/98, 2000, various UNIX	Win 95/98/NT/2000	Win 95/98/NT/2000	Win 95/98/NT/2000
internetowy serwer map	Nie	ArcView IMS	HTML	HTML
Aplikacje				
Aplikacje niezależnych producentów	IMAGINE Subpixel Classifier, IMAGINE NITF 2.0, ATCOR2 for IMAGINE.	skrypty ArcView	Nie	Nie
Aplikacje dedykowane		Image Analysis		Nie

Administracja danymi geokodowanymi				
równoczesny dostęp wielu użytkowników - blokowanie	Nie	Nie	Nie	za pomocą systemu operacyjnego
wersje oprogramowania	Nie	za pomocą systemu operacyjnego	za pomocą systemu operacyjnego	Tak
metadane	Tak	Tak	Tak	
Zarządzanie bazą danych DBMS				
własny projekt systemu zarządzania bazą danych DBMS	Tak	Rozszerzenie ArcView	MS Excel	Nie
relacyjny system zarządzania bazą danych RDBMS	Nie	Rozszerzenie ArcView	Via ODBC	Nie
zarządzanie i dostęp do zewnętrznych serwerów RDBMS	Nie	Rozszerzenie ArcView	Via ODBC	Nie
Własny format zapisu struktury danych geometrycznych				
wektorowy (spaghetti)	Tak	Rozszerzenie ArcView	Tak	Tak
wektorowy (topologiczny)	Tak	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
parametryczny	Nie	Nie	Nie	Nie
3-D	Tak	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
TIN	Nie	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
grid	Tak	Tak	Tak	Tak
rastrowy	Tak	Tak	Tak	Tak

Narzędzia importu i eksportu danych geograficznych

narzędzia bezpośredniego importu danych	ADRG, ADRI, ANT, Arc Generate, Arc Interchange, ASCII, AVHRR (NOAA), AVHRR (Dundee), AVHRR (SHARP), CADRG, CIB, Daedalus, USGS DEM, DFAD, DGN (IGDS), ERDAS DIG, DLG, USGS DOQ, DTED, DXF, ERS (CEOS), ETAK, Generic Binary (BIL, BIP, BSQ), GEOSPOT, GeoTIFF, ERDAS GIS, GRASS, ESRI GRID, IGES, IRS-1C, JFIF (JPEG), Landsat MSS (Various), Landsat TM (Various), Landsat ETM+ (Various), ERDAS LAN, MapInfo, NITF, PCX, Radarsat (CEOS), NLAPS, RPF, SDTS (raster), SDTS (Vector), SeaWIFS, ESRI Shapefile, SPOT, SPOT MetroView, Sun Raster, TIFF, TIFF World, TIGER, VPF	Landsat, SPOT, DOQ/DOQQ, IRS-1C, IRS-1D, RPF, CIB, CADRG, NLAPS, Radarsat, ERS	Nie	Nie
---	---	--	-----	-----

narzędzia bezpośredniego eksportu danych	Arc Generate, Arc Interchange, MapInfo, USGS DEM, DFAD, DGN (IGDS), DLG, USGS DOQ, DXF, Generic Binary (BIL, BIP, BSQ), GeoTIFF, ERDAS GIS, GRASS, ESRI GRID, IGES, JFIF (JPEG), ERDAS LAN, NITF, PCX, SDTS (Raster), SDTS (Vector), ESRI Shapefile, Sun Raster, TIFF, TIFF World, TIGER, VPF	IMAGINE IMG, GRID, TIFF (including GeoTIFF)	Nie	Nie
Format tekstowy zapisu danych geokodowanych				
import	AOI, Annotation, Arc Coverage, Arc/Info and Space Imaging BIL/BIP/BSQ, DTED, ER Mapper, ERDAS GIS, ERDAS LAN, FIT, GIF, GRID, Generic Binary (BIL, BIP, BSQ), IMAGINE IMG, JFIF (JPEG), MrSID, NITF, RAW Binary, RPF, SDE Vector, ESRI Shapefile, TIFF, GeoTIFF, TIFF World, TerraModel	IMAGINE IMG, GRID, TIFF (including GeoTIFF), JPEG, ERDAS LAN & GIS, MrSID, BIL, BIP, BSQ, ERS, NITF, HMR, ESRI ArcView Shapefile, DXF	ERDAS img, TIFF (GeoTIFF), JPEG, ESRI SHAPE	ERDAS img, TIFF (GeoTIFF), JPEG, ESRI SHAPE

eksport	IMAGINE IMG, ESRI GRID, TIFF, GeoTIFF, TIFF World, Arc Coverage, ESRI Shapefile	3D SHAPE, Generic ASCII	ERDAS img, JPEG (HTML ) , ESRI SHAPE	JPEG
Wprowadzanie i edycja danych geokodowanych				
digitalizacja: współpraca z digitizerem	Tak	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
wprowadzanie współrzędnych (COGO)	Nie	Rozszerzenie ArcView	Tak	Nie
akwizycja danych z plików i urządzeń cyfrowych (GPS)	Tak	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
digitalizacja ekranowa	Tak	Rozszerzenie ArcView	Tak	Nie
wektoryzacja	Tak	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
rektyfikacja map	Tak	Tak	Tak	Nie
korekcja błędów graficznych	Tak	Tak	Nie	Nie
wprowadzanie danych geodezyjnych	Tak	Tak	Tak	Nie
Opisywanie i kompozycja map				
interaktywna kompozycja map	Tak	Rozszerzenie ArcView	Tak	Tak
generowanie etykiet na podstawie atrybutów	Tak	Tak	Tak	Tak
interaktywna zmiana symboliki mapy	Tak	Tak	Tak	Tak
kartowanie tematyczne	Tak	Tak	Tak	Tak

Funkcje analizy przestrzennej i kwerendy geograficzne				
funkcje selekcji i wyszukiwania	Tak	Tak	Tak	Tak
funkcje pomiarów i obliczeń	Tak	Tak	Tak	Tak
geokodowanie adresów	Nie	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
funkcje sąsiedztwa (buforowanie)	Tak	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
funkcje analizy point/line-in-polygon	Tak	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
przecinanie warstw (overlay)	Tak	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
funkcje sieciowe	Nie	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
operacje na plikach rastrowych	Tak	Tak	Tak	Tak
bezpośredni dostęp do formatów zapisu innych programów GIS	Tak	Tak	Tak	Tak
Przetwarzanie i analiza danych rzeźby terenu				
generowanie DEM	Tak	Nie	Nie	Nie
generowanie izolinii	Tak	Rozszerzenie ArcView	Nie	Nie
możliwość wyświetlania trójwymiarowych blokdigramów lub profili terenowych	Tak	3D Analyst	Nie	Nie
wyświetlanie warstw tematycznych na blokdigramie	Tak	3D Analyst	Nie	Nie
generowanie map spadków i ekspozycji	Tak	ArcView Spatial Analyst	Nie	Nie



Operacje na plikach rastrowych				
korekcja geometryczna	Tak	Tak	Tak	Nie
generowanie rzutu ortograficznego obrazów	Tak	Nie	Nie	Nie
reklasyfikacja obrazów	Tak	Tak	Tak	Tak
klasyfikacja spektralna	Tak	Tak	Nie	Nie
Język projektowania aplikacji				
Własny język skryptowy projektowania aplikacji	Tak	Avenue	Nie	Nie
Standardowy, zewnętrzny język projektowania aplikacji	IMAGINE Developers' Toolkit	Nie	Nie	Nie

Nazwa programu	ArcInfo 8.0.2	ArcView GIS 3.2a	MapObjects 2.0a	ArcIMS 3
Producent/dystrybutor	ESRI	ESRI	ESRI	ESRI
Koszt pojedynczej licencji	w zależności od konfiguracji	\$1.500	\$1.500	w zależności od liczby użytkowników serwera
Data pojawienia się pierwszej wersji	1982	1993	1996	1999
Cechy programu				
System operacyjny/platforma sieciowa				
model sieciowy: klient-serwer	Tak	Tak	Tak	Tak
serwer: system operacyjny	Windows NT, Digital (Tru64) UNIX, HP-UX, AIX, IRIX, Solaris.	Windows NT/95/98	Win NT4.0 & 95+	Win NT 4.0 Intel, Solaris
klient: system operacyjny	UNIX/Win NT	Windows NT	Win NT4.0 & 95+	Win NT 4.0 Intel, Solaris
internetowy serwer map	Tak	Via Internet Map Server	Via MapObjects Internet Map Server	Tak

Aplikacje				
Aplikacje niezależnych producentów	skrypty AML	skrypty Avenue	skrypty i rozszerzenia	skrypty i rozszerzenia
Aplikacje dedykowane	skrypty AML	skrypty Avenue	skrypty i rozszerzenia	skrypty i rozszerzenia
Administracja danymi geokodowanymi				
równoczesny dostęp wielu użytkowników - blokowanie	Tak	Tak	Tak	Tak
wersje oprogramowania	Tak	Tak	Via ESRI's SDE	Tak
Metadane	Tak	Nie	Nie	Nie
Zarządzanie bazą danych DBMS				
własny projekt systemu zarządzania bazą danych DBMS	Nie	Nie	Nie	Nie
relacyjny system zarządzania bazą danych RDBMS	Tak	Tak	Tak	Tak
zarządzanie i dostęp do zewnętrznych serwerów RDBMS	Tak	Tak	Via ESRI's SDE software	Via ESRI's SDE software
Własny format zapisu struktury danych geometrycznych				
wektorowy (spaghetti)	Tak	Tak	Tak	Tak
wektorowy (topologiczny)	Tak	Tak	Tak	Tak
Parametryczny	Tak	Tak	Tak	Nie
3-D	Tak	Tak	Tak	Nie
TIN	Tak	Via 3-D Analyst	Nie	Nie
Grid	Tak	Via Spatial Analyst	Tak	Nie
Rastrowy	Tak	Tak	Tak	Tak

Narzędzia importu i eksportu danych geograficznych				
narzędzia bezpośredniego importu danych	DXF, DFAD, DIME, ETAK, Geodatabase, Arclnfo Interchange Files, MOSS, VPF, TIN, SLF, SDTS, DLG, IGDS, TIGER, ArcView SHAPEfiles, EPS ERDAS, BIL, ADRG, BIP, BSQ, CADRG, CIB, GRASS, JFIF, NITF, RLC, SunRaster file, TIFF	DXF, DWG, DGN, MapInfo, Atlas GIS, ASCII, ADRG, BIP, BIL, BSQ, CADRG, BMP, CIB, EPS, ArcCAD, Arclnfo, PC ARC/INFO export files, ERDAS Image, Sun Raster, SPOT, Geo TIFF, GIF, JPEG, LandSat, NITF, PICT, RLC, TIFF, USGS DOQ	niedostępne	niedostępne
narzędzia bezpośredniego eksportu danych	DXF Coverage, DFAD, DIME, DLG, Geodatabase, IGES, Interchange files, MOSS, SDTS, ArcView SHAPEfiles, SLF, VPF, IGDS, TIGER, EPS, ERDAS, BIL, BIP, BMP, BSQ, JFIF, SunRaster, TIFF, JPEG, BIP, TIN	TIFF, WMF, BMP, PICT, EPS, JPEG, CGM, Adobe Illustrator		niedostępne
Format tekstowy zapisu danych geokodowanych				
import	DXF, DLG, IGDS, TIGER, CGM, EPS, SDTS, ERDAS, BIL, TIFF, ArcView SHAPEfiles, PC Arclnfo	ESRI SHAPEfiles, Arclnfo Coverages, PC ARC/INFO Coverages, DXF, DWG, AutoCAD 2000 DWG, DGN, MSG, TIFF 6.0, GeoTIFF, VPF, ADRG, CADRG, CIB, NITF, MrSID, JPEG, JFIF, ERDAS IMAGINE, ERDAS LAN and GIS, BSQ, BIL, BIP, SunRaster files, BMP, GRID (as image data), SAP, DIGEST, MIF, S-57, SDTS (raster, point), ASCII		niedostępne

eksport	ERDAS, BIL, TIFF, DXF, DLG, IGDS, TIGER, CGM, EPS, Adobe Illustrator, JPEG, BIP	ESRI SHAPEfiles, DXF, Placeable WMF, Windows Metafile, Windows Bit Map, PostScript, CGM (Binary, Character, Clear Text), JPEG		niedostępne
<b>Wprowadzanie i edycja danych geokodowanych</b>				
digitalizacja: współpraca z digitizerem	Tak	Tak	Może być zaimplementowana	Nie
wprowadzanie współrzędnych (COGO)	Tak	Tak	Może być zaimplementowana	Nie
akwizycja danych z plików i urządzeń cyfrowych (GPS)	Tak	Tak	Może być zaimplementowana	Nie
digitalizacja ekranowa	Tak	Tak	Tak	Tak
wektoryzacja	Tak	Tak	Nie	Nie
rektyfikacja map	Tak	Tak	Nie	Nie
korekcja błędów graficznych	Tak	Tak	Nie	Nie
wprowadzanie danych geodezyjnych	Tak	Tak	Tak	Tak
<b>Opisywanie i kompozycja map</b>				
interaktywna kompozycja map	Tak	Tak	Może być zaimplementowana	Może być zaimplementowana
generowanie etykiet na podstawie atrybutów	Tak	Tak	Tak	Tak
interaktywna zmiana symboliki mapy	Tak	Tak	Tak	Tak
kartowanie tematyczne	Tak	Tak	Tak	Tak
<b>Funkcje analizy przestrzennej i kwerendy geograficzne</b>				
funkcje selekcji i wyszukiwania	Tak	Tak	Tak	Tak
funkcje pomiarów i obliczeń	Tak	Tak	Tak	Tak
geokodowanie adresów	Tak	Tak	Tak	Tak
funkcje sąsiedztwa (buforowanie)	Tak	Tak	Tak	Nien-persistent

funkcje analizy point/line-in-polygon	Tak	Tak	Tak	Tak
przecinanie warstw (overlay)	Tak	Tak	Tak	Nie
funkcje sieciowe	Tak	Via Network Analyst	Nie	Tak
operacje na plikach rastrowych	Tak	Via Spatial Analyst	Może być zaimplementowana	Może być zaimplementowana
bezpośredni dostęp do formatów zapisu innych programów GIS	Tak	Tak	Tak	Nie
<b>Przetwarzanie i analiza danych rzeźby terenu</b>				
generowanie DEM	Tak	Via Spatial Analyst	Nie	Nie
generowanie izolinii	Tak	Via Spatial Analyst	Nie	Nie
możliwość wyświetlania trójwymiarowych blokdigramów lub profili terenowych	Tak	Via 3-D Analyst	Nie	Nie
wyświetlanie warstw tematycznych na blokdigramie	Tak	Via Spatial Analyst		Nie
generowanie map spadków i ekspozycji	Tak	Via Spatial Analyst	Nie	Nie
<b>Operacje na plikach rastrowych</b>				
korekcja geometryczna	Tak	Image Analyst	Nie	Nie
generowanie rzutu ortograficznego obrazów	Nie	Image Analyst	Nie	Nie
reklasyfikacja obrazów	Tak	Image Analyst	Nie	Nie
klasyfikacja spektralna	Tak	Image Analyst	Nie	Nie
<b>Język projektowania aplikacji</b>				
Własny język skryptowy projektowania aplikacji	Arc Macro Language (AML)	Avenue	Nie	Nie
Standardowy, zewnętrzny język projektowania aplikacji	Visual Basic, C, Visual C++, Delphi, TCL/TK, ActiveX components	Visual Basic, C, Visual C++, Delphi	Nie	Visual Basic Script, Java Script

Nazwa programu	Didger 2	GeoMedia	GeoMedia Professional	GeoMedia Web Map	Vertical Mapper	Geomatica
Producent/Dystrybutor	Golden Software Inc.	Intergraph Corporation	Intergraph Corporation	Intergraph Corporation	Northwood Technologies Inc.	PCI Geomatics
Koszt pojedynczej licencji	\$329	\$1.500	\$7.500	\$7.800	\$995	od \$300 do \$7.000
Data pojawienia się pierwszej wersji	2000	1996	1998	1997	1995	2000
Cechy programu						
<b>System operacyjny/platforma sieciowa</b>						
model sieciowy: klient-serwer	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
serwer: system operacyjny	Windows, Novell	Win NT/98/95	Win NT/98/95	Win NT	Tak	Windows NT, Solaris, Linux, Irix, Digital Unix, HPUX, AIX.
klient: system operacyjny	Win NT/98/95	Win NT/98/95	Win NT/98/95	All Web-enabled clients	Tak	Windows NT, Windows 95/98, Solaris, Linux, Irix, Digital Unix, HPUX, AIX.
internetowy serwer map	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
<b>Aplikacje</b>						
Aplikacje niezależnych producentów	niedostępne	Tak	Tak	Tak	MapInfo Professional	
Aplikacje dedykowane	niedostępne	>50	>50	niedostępne	MapInfo Professional	
<b>Administracja danymi geokodowanymi</b>						
równoczesny dostęp wielu użytkowników - blokowanie	niedostępne	Nie	Nie	niedostępne	Nie	Tak
wersje oprogramowania	niedostępne	Nie	Nie	niedostępne	Nie	Nie
Metadane	niedostępne	Aplikacje producentów niezależnych	Aplikacje producentów niezależnych	niedostępne	Tak	Tak

Zarządzanie bazą danych DBMS						
własny projekt systemu zarządzania bazą danych DBMS	niedostępne	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
relacyjny system zarządzania bazą danych RDBMS	niedostępne	Oracle, SQL, Access	Oracle, SQL, Access	Oracle, SQL, Access	Nie	Tak
zarządzanie i dostęp do zewnętrznych serwerów RDBMS	niedostępne	Oracle, Access	Oracle, Access	Oracle, Access	Nie	Tak
Własny format zapisu struktury danych geometrycznych						
wektorowy (spaghetti)	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak
wektorowy (topologiczny)	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
Parametryczny	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie
3-D	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak
TIN	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak
Grid	Nie	Aplikacje	Aplikacje	niedostępne	Tak	Tak
Rastrowy	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
Narzędzia importu i eksportu danych geograficznych						
narzędzia bezpośredniego importu danych	DXF, MIF, SHP, DDF, E00	Główne formaty	Główne formaty	Główne formaty	Tak	Tak
narzędzia bezpośredniego eksportu danych	DXF, SHP, MIF	Nie	DGN, DWG, SAP	DGN, DWG, SAP	Tak	Tak
Format tekstowy zapisu danych geokodowanych						
Import	PJT	Główne formaty	Główne formaty	Główne formaty		Tak
Eksport	PJT	Nie	DGN, DWG, SAP	DGN, DWG, SAP		Tak
Wprowadzanie i edycja danych geokodowanych						
digitalizacja: współpraca z digitizerem	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie	Tak

wprowadzanie współrzędnych (COGO)	Nie	Nie	Tak	niedostępne	Nie	Nie
akwizycja danych z plików i urządzeń cyfrowych (GPS)	Nie	Aplikacje	Aplikacje	niedostępne	Tak	Tak
digitalizacja ekranowa	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
Wektoryzacja	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak
rektyfikacja map	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie	Tak
korekcja błędów graficznych	Nie	Nie	Tak	niedostępne	Nie	Tak
wprowadzanie danych geodezyjnych	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie
Opisywanie i kompozycja map						
interaktywna kompozycja map	Tak	Tak	Tak	niedostępne	Nie	Tak
generowanie etykiet na podstawie atrybutów	Tak	Tak	Tak	niedostępne	Nie	Tak
interaktywna zmiana symboliki mapy	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
kartowanie tematyczne	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
Funkcje analizy przestrzennej i kwerendy geograficzne						
funkcje selekcji i wyszukiwania	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
funkcje pomiarów i obliczeń	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
geokodowanie adresów	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
funkcje sąsiedztwa (buforowanie)	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
funkcje analizy point/line-in-polygon	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
przecinanie warstw (overlay)	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
funkcje sieciowe	Nie	Nie	Nie	Tak	Nie	Tak



operacje na plikach rastrowych	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
bezpośredni dostęp do formatów zapisu innych programów GIS	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
Przetwarzanie i analiza danych rzeźby terenu						
generowanie DEM	Nie	Aplikacje	Aplikacje	Nie	Tak	Tak
generowanie izolinii	Nie	Aplikacje	Aplikacje	niedostępne	Tak	Tak
możliwość wyświetlania trójwymiarowych blokdigramów lub profil terenowych	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak
wyświetlanie warstw tematycznych na blokdigramie	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak
generowanie map spadków i ekspozycji	Nie	Aplikacje	Aplikacje	Nie	Tak	Tak
Operacje na plikach rastrowych						
korekcja geometryczna	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie	Tak
generowanie rzutu ortograficznego obrazów	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak
reklasyfikacja obrazów	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak
klasyfikacja spektralna	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak
Język projektowania aplikacji						
Własny język skryptowy projektowania aplikacji	niedostępne	niedostępne	niedostępne	niedostępne	Nie	EASI, PCI Author
Standardowy, zewnętrzny język projektowania aplikacji	niedostępne	VB, Power Builder, VC++	VB, Power Builder, VC++	Any Web tool	Tak	C++, Visual Basic

Nazwa programu	Smallworld GIS	MapViewer	Surfer	Mapinfo Professional
Producent/Dystrybutor	Smallworld Systems Inc.	Golden Software	Golden Software	MapInfo Corp.
Koszt pojedynczej licencji		\$400	\$1.600	Od \$2.000
Data pojawienia się pierwszej wersji	1991	1990	1985	1990
Cechy programu				
System operacyjny/platforma sieciowa				
model sieciowy: klient-serwer	Tak	Tak	Tak	Tak
serwer: system operacyjny	Tak	Win NT/98/95	Win NT/98/95	Win NT/98/95, Solaris
klient: system operacyjny	Tak	Win NT/98/95	Win NT/98/95	Win NT/98/95
internetowy serwer map	Tak	Nie	Nie	Tak
Aplikacje				
Aplikacje niezależnych producentów				Tak (Vertical Mapper)
Aplikacje dedykowane				Tak (transportowa)
Administracja danymi geokodowanymi				
równoczesny dostęp wielu użytkowników - blokowanie	Tak	Nie	Nie	Tak
wersje oprogramowania	Tak	Nie	Nie	Tak
metadane	Customizable	Nie	Nie	Tak
Zarządzanie bazą danych DBMS				
własny projekt systemu zarządzania bazą danych DBMS	Tak	Tak	Tak	Tak
relacyjny system zarządzania bazą danych RDBMS	Oracle RDBMS	Nie	Nie	Tak
zarządzanie i dostęp do zewnętrznych serwerów RDBMS	Oracle RDBMS	Nie	Nie	Tak

Własny format zapisu struktury danych geometrycznych				
wektorowy (spaghetti)	Tak	Tak	Nie	Tak
wektorowy (topologiczny)	Tak	Nie	Tak	Tak (aplikacje zewnętrzne)
parametryczny	Tak	Nie	Nie	Nie
3-D	Tak	Nie	Tak	Tak (aplikacje zewnętrzne)
TIN	Tak	Nie	Tak	Nie
grid	Tak	Nie	Tak	Nie
rastrowy	Tak	Nie	Nie	Nie
Narzędzia importu i eksportu danych geograficznych				
narzędzia bezpośredniego importu danych	ARC/INFO, ASC II Tabular, BC MOEP, CCOGIF, CDF, DLG, DWG, DX, FRAMME, GDMS, GDS, GRD, IDGS, MID, MGE, NTX, Oracle, Oracle Spatial, PHODAT, SAIF, SDE, SDL, SLF, SHAPE, Swedish, KF85, TAB, Tydac Server, Vision Native, VPF, XDR	Główne formaty	Główne formaty	Tak
narzędzia bezpośredniego eksportu danych	ARC/INFO, ASC II Tabular, BC MOEP, CCOGIF, CDF, DLG, DWG, DX, FRAMME, GDMS, GDS, GRD, IDGS, MID, MGE, NTX, Oracle, Oracle Spatial, PHODAT, SAIF, SDE, SDL, SLF, SHAPE, Swedish, KF85, TAB, Tydac Server, Vision Native, VPF, XDR	Główne formaty	Główne formaty	Tak
Format tekstowy zapisu danych geokodowanych				
import	DWG, DXF, DGN, SHAPE, MrSID, Oracle Spatial	Tak	Tak	Tak
eksport	Oracle Spatial	Nie	Tak	Tak

Wprowadzanie i edycja danych geokodowanych				
digitalizacja: współpraca z digitizerem	Nie	Tak	Tak	Tak
wprowadzanie współrzędnych (COGO)	Tak	Nie	Nie	Tak
akwizycja danych z plików i urządzeń cyfrowych (GPS)	Tak	Nie	Nie	Tak
digitalizacja ekranowa	Tak	Tak	Tak	Tak
wektoryzacja	Tak	Nie	Nie	Nie
rektyfikacja map	Tak	Nie	Tak	Nie
korekcja błędów graficznych	Tak	Nie	Tak	Tak
wprowadzanie danych geodezyjnych	Tak	Nie	Nie	Tak
Opisywanie i kompozycja map				
interaktywna kompozycja map	Tak	Tak	Tak	Tak
generowanie etykiet na podstawie atrybutów	Tak	Tak	Tak	Tak
interaktywna zmiana symboliki mapy	Tak	Tak	Tak	Tak
kartowanie tematyczne	Tak	Tak	Tak	Tak
Funkcje analizy przestrzennej i kwerendy geograficzne				
funkcje selekcji i wyszukiwania	Tak	Tak	Tak	Tak
funkcje pomiarów i obliczeń	Tak	Tak	Nie	Tak
geokodowanie adresów	Tak	Nie	Nie	Tak
funkcje sąsiedztwa (buforowanie)	Tak	Tak	Tak	Tak
funkcje analizy point/line-in-polygon	Tak	Nie	Nie	Tak
przecinanie warstw (overlay)	Tak	Nie	Nie	Tak
funkcje sieciowe	Tak	Nie	Nie	Tak
operacje na plikach rastrowych	Tak	Nie	Tak	Tak
bezpośredni dostęp do formatów zapisu innych programów GIS	DWG, DXF, DGN, SHAPE, Oracle Spatial			Tak

Przetwarzanie i analiza danych rzeźby terenu				
generowanie DEM	Tak	Nie	Tak	Tak (aplikacje zewnętrzne)
generowanie izolinii	Tak	Nie	Tak	Nie
możliwość wyświetlania trójwymiarowych blokdigramów lub profili terenowych	Tak	Tak	Tak	Nie
wyświetlanie warstw tematycznych na blokdiagramie	Nie	Tak	Tak	Nie
generowanie map spadków i ekspozycji	Customizable	Nie	Tak	Nie
Operacje na plikach rastrowych				
korekcja geometryczna	Tak	Nie	Nie	Nie
generowanie rzutu ortograficznego obrazów	Nie	Nie	Tak	Tak (aplikacje zewnętrzne)
reklasyfikacja obrazów	Tak	Nie	Tak	Nie
klasyfikacja spektralna	Tak	Nie	Nie	Nie
Język projektowania aplikacji				
Własny język skryptowy projektowania aplikacji	Tak	Tak	Tak	Tak (Map Basic)
Standardowy, zewnętrzny język projektowania aplikacji	COM-compliant languages; Visual Basic; C; C++; Delphi; JAVA	Basic	Basic	COM-compliant languages; Visual Basic; C; C++; Delphi; JAVA



# Spis akronimów

3D, three-dimensional, trójwymiarowy	26, 76, 112
AML, Arc Macro Language, język makrokomend systemu Arc/Info	93
ASCII, American Standard Code for Information Interchange zestaw kodów, standardowo z zakresu 0-127 (dziesiętnie), przyporządkowany przez ANSI – amerykański instytut ds. standardów - poszczególnym znakom alfanumerycznym (litery alfabetu angielskiego i cyfry) i znakom pisarskim oraz sterującym (np. nowa linia)	36, 42, 74, 122
ASP, Active Server Pages, technologia firmy Microsoft przeznaczona dla serwerów HTML służąca tworzeniu dynamicznych stron WWW	117
BDAM, basic direct access method, podstawowa bezpośrednia metoda dostępu (do rekordów w bazie danych)	37
BLOB, binary large object, duży obiekt binarny	42
CCD, couple charge device (Charge Injection Device), element elektroniczny służący akwizycji i transformacji do postaci zapisu cyfrowego danych (foto)optycznych	26, 61
CDR, Compact Disk, Recordable, (Compact Disc Read Only Memory) płyta kompaktowa, nośnik danych wykorzystujący laser optyczny	28
CDRW, Compact Disk, Read-Write, płyta kompaktowa z możliwością wielokrotnego nagrywania za pomocą odpowiedniej nagrywarki komputerowej	28
CMYK, Cyan-Magenta-Yellow-black (model kolorów)	34
CODASYL, Conference On DATA SYstem Languages, konferencja nt. języków systemów danych	38
COM, Component Object Model, model programowania aplikacji firmy Microsoft umożliwiający ich wzajemną współpracę	94
CPU, Central Processing Unit, mikroprocesor	14
CRT, Cathode Ray Tube, monitor katodowy	14
CSV, Comma-Separated Values, tekstowy zapis danych arkusza kalkulacyjnego, format pliku	36
DBMS, Data Base Management System, system zarządzania bazą danych	19, 40, 45, 59, 101
DCL, Data Control Language, język kontroli danych	41

DDL, Data Definition Language, język definiowania danych	38, 41
DEM, Digital Elevation Model, numeryczny model terenu (wysokości)	103-111
DLL, Dynamic Link Library, dynamicznie łączona biblioteka (programu komputerowego)	29
DML, Data Manipulation Language, język manipulacji danymi	38, 41
DOS, Disk Operating System, nazwa systemu operacyjnego	38
DSS, Decision Support Systems, systemy wspomagania decyzji	18
DTM, Digital Terrain Model, numeryczny model terenu	88, 93, 106, 109
DTP, Desk Top Publishing, przygotowanie komputerowe wydawnictw drukowanych	134-135
DVD, Digital Versatile Disk	28
DXF, Drawing Exchange Format, wektorowy format wymiany plików graficznych (AutoDesk)	134
EMC, elektroniczne maszyny cyfrowe	8
ESRI, Environmental Systems Research Institute, producent oprogramowania a GIS	12, 14, 30, 119, 135
FM, Facility Management, zarządzanie infrastrukturą	18
GBF-DIME, geographic boundary file – dual independent map encoding, format zapisu danych geograficznych stosowany w USA	12
GeoVRML, Virtual Reality Modeling Language, język modelowania obrazów rzeczywistości wirtualnej	114, 115
GIS, Geographic Information Systems, systemy informacji geograficznej, systemy geoinformacyjne	7, 12-23, 25, 28-33, 35, 41, 45, 47, 48, 53, 58, 63, 64, 67-72, 87-94, 111, 112, 115, 117, 120-122, 123, 128, 131-135, 137-138
GISc, Geographic Information Science, nauka o informacji geograficznej (geoinformacja, geomatyka)	9, 21, 131, 137-138
GML, General Modelling Language, ogólny język modelowania (standard organizacji W3)	120, 132, 135
GPS, Global Positioning System, system globalnej nawigacji, sieć satelitów USA, umożliwiający procezyjną lokalizację współrzędnych geograficznych	25-26, 28, 129, 133
GUI, Graphical User Interface, graficzny interfejs użytkownika	15, 29, 75
HDTV, High Definition Television, standard telewizji cyfrowej o wysokiej rozdzielczości obrazu	116
HSI, H – Hue, barwa, S – Saturation, nasycenie, I – Intensity, intensywność, jaskrawość (model kolorów)	34



HSL, H – Hue, S – Saturation, L – Lightness (model kolorów)	34
HSV, – Hue, S – Saturation, V – Value (model kolorów)	34
HTML, HyperText Markup Language, oparty na znacznikach język projektowania stron → WWW	91, 114, 117, 132
HTTP, HyperText Transfer Protocol, protokół wykorzystywany do komunikacji klient-serwer w sieci WWW	38
IBM, International Business Machines, nazwa korporacji	35, 37, 39
IMS, Information Management System, systemy zarządzania informacją	37
IS, Information Systems, systemy informacyjne	11
ISAM, index sequential access method, indeksowana, sekwencyjna metoda dostępu do danych w bazie	35-36
JSP, Java Servlet Pages, oparty na języku Java format zapisu skryptów interpretowanych po stronie serwera na stronach zapisanych językiem HTML	117
LCD, Liquid Crystal Display, płaski wyświetlacz ciekłokrystaliczny	14, 116
LIS, Land Information System, system informacji o terenie (użytkowania ziemi)	18
LOB, Large Object, (duży) obiekt (zapisany w bazie danych)	42, 46
LUT, Look-Up Table, tabela kolorów	34, 108
MDI, multiple document interface, model wielokienkowej komunikacji programu z użytkownikiem w systemie operacyjnym MS Windows™	29
MIS, Management Information System, system zarządzania informacją	15
MIT, Massachusetts Institute of Technology, nazwa znanej uczelni amerykańskiej	12
ML, macro-scripting language, język skryptowy	93
NCGiA, National Center for Geographic Information & Analysis, Narodowe Centrum Informacji Geograficznej i Analiz (USA)	16, 22
OLAP, On Line Analytical Processing, przetwarzanie analityczne (danych) w sieci	119, 120
OLE, Object Linking and Embedding, łączenie i osadzanie obiektów w systemie MS Windows™	94
OLTP, OnLine Transaction Processing, przetwarzanie transakcji (w bazie danych) w sieci	119
PC, Personal Computer, komputer osobisty	15, 25, 28, 118, 119, 124
PDA, Personal Digital Assistant, komputer (ręczny) kieszonkowy	25
PHP, PHP Hypertext Preprocessor, skryptowy język programowania wykorzystywany w celu wygenerowania stron → WWW w języku → HTML	117
QSAM, Queued Sequential Access Method, kolejkowana, sekwencyjna metoda dostępu (do danych) na dużych komputerach (mainframe) firmy → IBM	35

QTVR, Quick-Time Virtual Reality, format zapisu plików graficznych panoram i filmów (wirtualnej rzeczywistości) firmy Apple	114
RGB, Red-Green-Blue (model kolorów)	33, 34
RLE, Run Length Encoded, kodowanie wg. rzędów i kolumn; format zapisu skompresowanych plików graficznych	57
RS, Remote Sensing, teledetekcja	28, 59
SQL, Structured Query Language, (standardowy) strukturalny język zapytań baz danych	31, 39, 40-42, 45, 72, 81
SVG, Scalable Vector Graphics, format zapisu plików graficznych	120, 122, 132, 135
TIN, Triangular Irregular Network, nieregularna sieć triangulacyjna stosowana w przestawieniach DTM	108
USB, Universal Serial Bus, złącze komputerowe pozwalające na dołączanie do komputera różnych urządzeń cyfrowych	27
USGS, United States Geological Survey, służba geologiczna USA	14
UTM, Universal Transverse Mercator, odwzorowanie transwersalne Merkatora	115
VR, Virtual Reality, rzeczywistość wirtualna	114
VRML, Virtual Reality Modeling Language, język modelowania wirtualnej rzeczywistości	114
VSAM, Virtual Sequential Access Method, wirtualna, sekwencyjna metoda dostępu do danych (w bazie)	35
W3, World Wide Web, Globalna Pajęczyna, „Wszechnica Wiedzy Wszelakiej”, sieć stron WWW w Internecie	114, 120, 122
WI-FI, Wireless Fidelity, standard sieci bezprzewodowych	14, 27
WIMP, Windows Icons Menus Pointers, okna, ikony, menu, wskaźniki (kursory), standard graficznego interfejsu programów komputerowych	29, 105
WRL, world file, rozszerzenie nazwy plików zapisanych formatem → VRML	114
WWW, World Wide Web, World Wide Web, Globalna Pajęczyna, „Wszechnica Wiedzy Wszelakiej”, sieć stron → WWW w Internecie	25, 30, 38, 91, 94, 114, 117-121, 135, 138
WYSIWYG, What You See Is What You Get, to co widzisz (na ekranie monitora) to masz na wydruku, określenie zbieżności wyświetlanych i drukowanych obrazów graficznych i tekstowych	70, 75
XML, Extensible Markup Language, język zapisu stron a WWW, następca a HTML	120, 122, 132

# Wybrane publikacje

- ❖ Aronoff S., Geographic Information Systems. A Management Perspective. WDL Publications Ottawa 1989
- ❖ Aronson P., The geographic database - logically continuous and physically discrete w: Auto-Carto 9, Techn.Pap. 9th Internat.Symp.on Computer Assisted Cartography, ASPRS&ACSM Falls Church 1989
- ❖ Badij N., An object oriented GIS based on linear quadtrees, w: Harts J.J., Henk F.L., Scholten J., Proceedings of First European Conference on GIS, EGIS Amsterdam 1990
- ❖ Banachowski L., Bazy danych. Tworzenie aplikacji. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998
- ❖ Bailey T.C., Geographical spreadsheet for visual interactive spatial analysis, w: Harts J.J, Henk F.L., Scholten J., Proceedings of First European Conference on GIS, EGIS Amsterdam 1990; Berry J.K., Fundamental operations in computer assisted map analysis. w: International Journal of Geographic Information Systems, pp.119-136, Taylor&Francis London 1987
- ❖ Berlant A.M., Pasławski J., Metody kartograficzne a możliwości systemów komputerowych, Wyd. Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa 2001
- ❖ Bracken I., Webster Ch., Information Technology in Geography and Planning. Including Principles of GIS. Routledge London 1990; Burrough P., Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Monographs on Soil and Resources, Clarendon Press Oxford 1986
- ❖ Burrough P., The development of intelligent geographical information systems, w: Harts J.J., Ottens F., Scholten J., Proc. Second European Conference on GIS, EGIS Brussel 1991
- ❖ Carter J.R., On defining the Geographic Information System, w: Ripple W.J., Fundamentals of Geographic Information Systems, ASPRS&ACSM Bethesda 1989
- ❖ Castells M., Galaktyka Internetu. Refleksje nad Internetem, biznesem i społeczeństwem., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań, 2003
- ❖ Clarke K.C., Visualising Different Geofutures, w: Longley P.A., Brooks S.M., McDonnel R., Macmillan B., Geocomputation, A Primer., J.Wiley & Sons, Chichester 1998.
- ❖ Chauce A., Newell R., Thierault D., An object oriented GIS; Issues and solutions. w: Harts J.J., Henk F.L., Scholten J., Proceedings of First European Conference on GIS, EGIS Amsterdam 1990

- ❖ Church R., Parent P., Evolution of geographic information systems as decision making tools, w: Ripple W.J., Fundamentals of Geographic Information Systems, ASPRS&ACSM Bethesda 1989; Congdon P., Batley P., Advances in Regional Demography: Information, Forecasts, Models, Belhaven Press London 1989
- ❖ Dangermond J., Harnden E., Description of techniques for automation of regional natural resource inventories, w: Ripple W.J., Geographic Information Systems for Resource Management: A Compendium, ASPRS&ACSM Falls Church 1987
- ❖ Dangermond J., A review of digital data commonly available and some of the practical problems of entering them into GIS, w: Ripple W.J., Fundamentals of Geographic Information Systems, ASPRS&ACSM Bethesda 1989
- ❖ Dangermond J., A classification of software components commonly used in Geographic Information Systems, w: Marble D.F. et al., Basic Readings in Geographic Information Systems, SPAD Systems Williamsville 1984
- ❖ Dąbkowski K., VRML'97. Trzeci wymiar sieci. Mikom, Warszawa 1998
- ❖ Deltasystems, The Deltamap training manual, Deltasystems Fort Collins 1988
- ❖ d'Haenes L., Proulx S., The changing stance of the Canadian Government in an age of globalization and information, Gazette, Vol. 62(3-4): 281-299, Sage Publications, London, Thousand Oaks & New Delhi 2000
- ❖ Dortmont J., van, Visual representation of new landscape situation, w: Harts J.J., Henk F.L., Scholten J., Proceedings of First European Conference on GIS, EGIS Amsterdam 1990
- ❖ Downs A.L., Doughty J.W., Expert systems and GIS for terrain analysis, w: ASPRS&ACSM) Technical Papers, ASPRS&ACSM Baltimore 1989
- ❖ ESRI, Understanding GIS. The ARC/INFO Method. Environmental Systems Research Institute, ESRI Redlands 1990
- ❖ Feuchtwanger H., () Geographic logical database model requirements, w: Auto-Carto 9, Techn.Pap. 9th Internat.Symp.on Computer Assisted Cartography, ASPRS&ACSM Falls Church 1989
- ❖ Fulong Wu, GIS-based simulation as an exploratory analysis for space-time processes, Journal of Geographical Systems, Springer-Verlag, 1999, vol. 1, pp:199-218 (z bazy czasopism elektronicznych Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego, <http://www.buw.uw.edu.pl>)
- ❖ Gaździcki J., Leksykon geomatyczny. Polskie Towarzystwo Informatyki Prze-strzennej, Warszawa 2001.
- ❖ GIS World Geographic Information Systems Technology, in 1990 GIS World, Inc Fort Collins 1990
- ❖ Geldermans S., Hoogenboom M., The Business Case for GIS. An Absolutely Necessary but Still Rare Phenomenon. Geoinformatics, vol.4, March, 2001, Emmeloord, pp. 22-25

- ❖ Goodchild M.F., Mark D.M., Egenhofer M.J. and Kemp K.K., Varenius: NCGIA's Project to Advance Geographic Information Science, Proceedings of the Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, Vienna, Austria, April 16-18, 1997
- ❖ Goodchild M.F., Wright D.J., Proctor J.D., GIS: Tool or Science. Demystifying the Persistent Ambiguity of GIS as "Tool" versus "Science", Annals of Association of American Geographers, (87)2, pp. 346-362, Blackwell Publishers, Oxford 1997
- ❖ Harts J.J., Henk F.L., Scholten J., The development and the application of Geographical Information Systems in Europe EGIS Amsterdam 1990, w: Harts J.J., Henk F.L., Scholten J., Proceedings of First European Conference on GIS, EGIS Amsterdam 1990
- ❖ Hodler T.W., Cartographic modelling of hydrothermal resource potential, w: Ripple W.J., Geographic Information Systems for resource management: A compendium ASPRS&ACSM Falls Church 1987; Jackson J.P., Algorithms for Triangular Irregular Networks Based on Simplicial Complex Theory, w: ASPRS&ACSM, Technical Papers, ASPRS&ACSM, Ann.Conv. Baltimore 1989
- ❖ Kistowski M., Iwańska M., Systemy informacji geograficznej. Podstawy techniczne i metodyczne. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań 1997
- ❖ Kozieł Z., Jakościowe i ilościowe zmiany struktury obrazu spowodowane przez różne lokalizacje pól PPK. V. 22, nr 1, Warszawa 1990
- ❖ Kraak, M-J., Ormeling F., Kartografia. Wizualizacja danych przestrzennych., Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1998
- ❖ Lemmes M.J., Strategies for integration of raster and vector data (GIS vs RS), w: Harts J.J., Henk F.L., Scholten J.,) Proceedings of First European Conference on GIS EGIS Amsterdam 1990; Lord Chorley,ed., Handling Geographic Information. Report to the Secretary of State..., HMS Office London 1987
- ❖ Maclaren P., Visualisation techniques and application within GIS, w: AutoCarto 9, Techn.Pap. 9th Internat.Symp.on Computer Assisted Cartography ASPRS&ACSM Falls Church 1989
- ❖ Macmillan B., Remodelling geography, Basil Blackwell Cambridge 1989
- ❖ Magnuszewski, A., GIS w geografii fizycznej, PWN, Warszawa 1999
- ❖ Marble D.F., Lauron J.P., Development of conceptual model of the manual digitizing process, w: Marble D.F., Basic Readings in GIS SPAD Systems Wiliamsville 1984
- ❖ Marble F.D., GIS: An overview, w: Ripple W.J., Geographic Information Systems for Resource Management: A Compendium, ASPRS&ACSM Falls Church (1987
- ❖ Michalak J., Interoperacyjność w zakresie informacji geoprzestrzennej, dokument elektr. w formacie MS Word, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, <http://netgis.geo.uw.edu.pl>, 2003

- ❖ Michalak J., Geomatyka (geoinformatyka) – czy nowa dyscyplina? Prz. Geol., z. 48(8), 673-678, Warszawa, 2000.:
- ❖ Moellering H., Stereoscopic display and manipulation, w: Auto-Carto 9, Techn.Pap.) 9th Internat.Symp.on Computer Assisted Cartography, ASPRS&ACSM Falls Church 1989
- ❖ Moore P., Computer Graphics Hardware. Harvard Library of Computer Graphics. Vol 9. Harvard University Harvard 1980
- ❖ Moore P., Cartographic and Statistical Data Bases and Mapping Software. Harvard Library of Computer Graphics, vol 8., Harvard University Harvard 1980
- ❖ Nyergess T., GIS support for micro-macro spatial modelling, w: Auto-Carto 9, Techn.Pap. 9th Internat.Symp.on Computer Assisted Cartography, ASPRS&ACSM Falls Church 1989
- ❖ Ottens H.F.L., GIS in Europe, w: Harts J.J., Ottens F., Scholten J., (1991) Proc.Second European Conference on GIS, EGIS Brussel 1991; Raper J., Three Dimensional Application in Geographical Information Systems, Taylor&Francis London 1989
- ❖ Petrie G., 3D Stereo-Viewing of Digital Imagery. Is Auto-Stereoscopy the Future of 3D? Geoinformatics, vol.4, pp. 24-29, Dec. 2001, Emmeloord
- ❖ Pizzanelli, D., Aspects of Spatial and Temporal Parallax in Multiplex Holograms, a Study Based on Appropriated Images, PhD Thesis, Royal College of Art, London, 1994 (na podstawie dok. elektronicznego w formacie HTML; <http://www.pizzanelli.co.uk> , 2003)
- ❖ Robinson, A., Sale, R., Morrison J., Podstawy kartografii, PWN, Warszawa 1988
- ❖ Smith T.R., Requirement and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information system, w: Ripple W.J., Fundamentals of Geographic Information Systems ASPRS&ACSM Bethesda 1989
- ❖ Proulx S., d'Haenens L., The changing stance of the Canadian Government in an age of globalization and information, Gazette, vol. 62(3-4), 281-299 copyright © Sage Publications, London 2000, Thousand Oaks & New Delhi, [0016-5492(200006/08)62:3-4;281-299;012867]
- ❖ Seff G., SVG and GIS, Directions Magazine, May 07, 2002, <http://www.directionsmagazine.com>
- ❖ Szaflarski, J., Zarys kartografii, PPWK, Warszawa 1955
- ❖ Thoen B., GIS Online. How Has the Internet Influenced GIS? GeoWorld 1999. Dokument elektroniczny w formacie HTML, <http://www.gisnet.com/gis/>
- ❖ Star J., Estes J., Information Systems. An Introduction. Prentice Hall Englewood Cliff 1991
- ❖ Tomlinson R.F., Current and potential uses of GIS. The North American experience. GIS, vol 1. Ottawa 1987
- ❖ Tomlinson R.F., Boyle R., The state of development of systems for handling natural resource inventory data, w: Ripple W.J., Geographic Informa-

tion Systems for Resource Management: A Compendium. ASPRS&ACSM Falls Church 1987

- ❖ Urbański J., Zrozumieć GIS. Analiza informacji przestrzennej. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1997
- ❖ Widacki, W., Wprowadzenie do Systemów Informacji Geograficznej, Inst. Geografii Uniw. Jagiellońskiego, Kraków 1997
- ❖ Werner, P., Prokop P., Zastosowania systemów informacji geograficznej w geografii polskiej, w: Widacki, W., Domański, B., Geografia polska u progu trzeciego tysiąclecia, Inst. Geogr. UJ, Kraków 1999, str. 275-290
- ❖ Werner P., Geograficzne uwarunkowania rozwoju infrastruktury społeczeństwa informacyjnego w Polsce, Wyd. Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa 2003
- ❖ Won Kim, Wprowadzenie do obiektowych baz danych, WNT, Warszawa 1996
- ❖ Verts W.T. Quadtree meshes, w: Auto-Carto 9, Techn.Pap. 9th Internat.Symp.on Computer Assisted Cartography, ASPRS&ACSM Falls Church 1989
- ❖ \_\_\_\_\_, The Evolution of Modelling Tools in GIS, Directions Magazine, 07. 18. 2001, <http://www.directionsmagazine.com>





# Spis rysunków

Rys. 1. Dane wejściowe w systemach geoinformacji	19
Rys. 2. Dane wyjściowe w systemie geoinformacji	21
Rys. 3. Budowanie makrokomend i plików wsadowych	32
Rys. 4. Modele kolorów; a) addytywny RGB; b)subtraktywny CMYK; R - red; G - green; B - blue; C - cyan; Y - yellow; M - magenta	wklejka
Rys. 5. Zapis danych w postaci rekordu	36
Rys. 6. Sposób uporządkowania informacji w hierarchicznej bazie danych	37
Rys. 7. Sposób uporządkowania informacji w sieciowej bazie danych	39
Rys. 8. Schematyczny model uporządkowania rekordów w relacyjnej bazie danych; A. relacja jeden-do-jednego; B. relacja jeden-do-wielu; C. relacja wiele-do-wielu;	41
Rys. 9. Model cyfrowej, geograficznej bazy danych	44
Rys. 10. A. Tematyczna organizacja cyfrowej geograficznej bazy danych; B. Przestrzenna organizacja cyfrowej geograficznej bazy danych	44
Rys. 11. Dane geograficzne i przykłady ich reprezentacji w systemie GIS (źródło: Dangermond, 1984, zmienione)	48
Rys. 12. Format wektorowy zapisu danych przestrzennych	49
Rys. 13. Przykład kodowania topologicznego	50
Rys. 14. Elementy mapy cyfrowej w modelu topologicznym formatu wektorowego zapisu	50
Rys. 15. Zapis danych przestrzennych w pliku o formacie rastrowym	54
Rys. 16. Przykład zapisu danych w formacie quad tree	56
Rys. 17. Kolejne kroki w modelu wprowadzania danych przestrzennych w formacie wektorowym napisu	62
Rys. 18. Możliwe do popelnienia błędy w trakcie wprowadzania danych w formacie wektorowym.	63
Rys. 19. Struktura funkcji systemu geoinformacji (źródło: Urbański, 1997, zmienione)	65
Rys. 20. Sposoby generalizacji graficznej i pojęciowej map cyfrowych (źródło: Kraak, Ormeling 1998)	79
Rys. 21. Polska. Przykład wygenerowanych poligonów Thiessena wokół miast i gmin dzielnic.	80
Rys. 22. Operacje nakładania warstw i łączenia arkuszy	82
Rys. 23. Konwersja formatu zapisu danych przestrzennych (rasteryzacja, wektoryzacja)	84

Rys. 24. Geometryczna restrukturyzacja obrazu rastrowego (resampling, źródło: Bracken, 1991)	85
Rys. 25. Wygładzanie danych wektorowych	86
Rys. 26. Procedura symulacji z wykorzystaniem GIS (źródło: Fulong Wu, 1999)	89
Rys. 27. Wybrane przykłady operacji logicznych dostępnych w systemach geoinformacyjnych (np: na zbiorach rastrowych)	95
Rys. 28. Wizualizacja regularnej siatki punktów (grid) w postaci bitmapy z nałożonymi izarytmami	98
Rys. 29. Zgeneralizowany i spłaszczony (wygładzony) obraz rzeźby terenu Polski w postaci serii profili (program Surfer, siatka liczy 6121 punktów). Rzut perspektywiczny.	106
Rys. 30. Zgeneralizowany obraz rzeźby terenu Polski w postaci siatki (program Surfer, siatka liczy 6121 punktów). Rzut prostokątny.	106
Rys. 31. DEM - model rzeźby terenu Polski o rozdzielczości 1km x 1 km	wklejka
Rys. 32. Cyfrowy model rzeźby terenu obszaru Polski - oświetlenie boczne (w odcieniach szarości)	109
Rys. 33. a. Widok na Tatry od północy (na podstawie DEM)	110
Rys. 33. b. Widok na Sudety od północnego-wschodu (na podstawie DEM)	113
Rys. 34. Panorama wschodniej części Tatr (na podstawie DEM). Widok od północy.	wklejka
Rys. 35. Dziedziny wg udziału w rynku zastosowań GIS (źródło Datatech, 2000)	125
Rys. 36. Dziedziny wg udziału w rynku zastosowań GIS (źródło Dataquest, 2000)	127

# Spis tabel

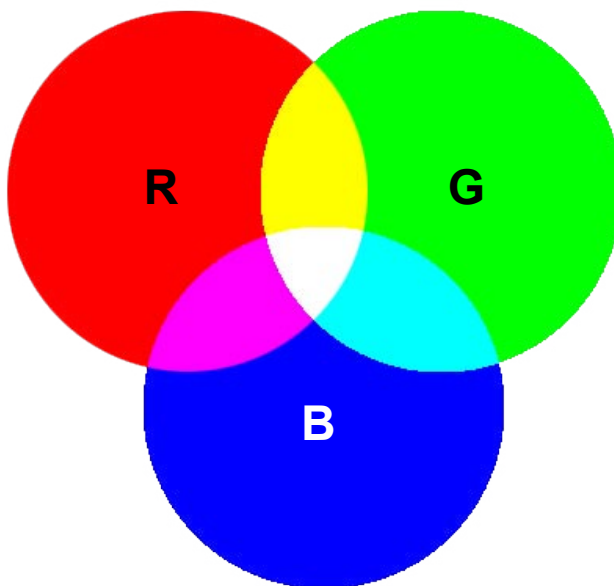
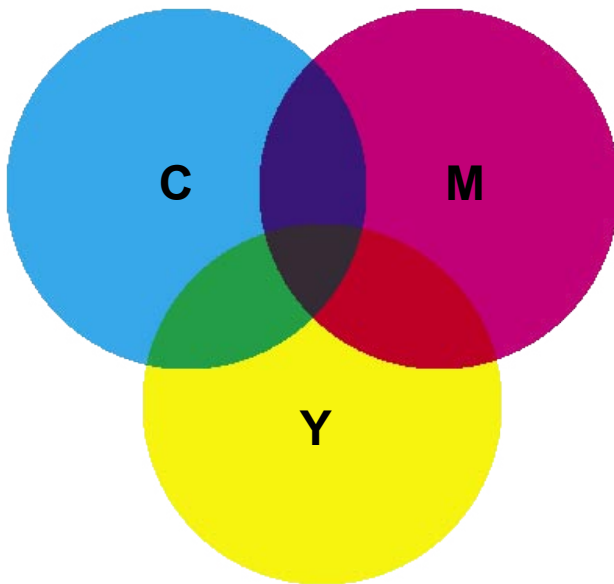
Tab. 1. Przykłady komend oprogramowania GIS	31
Tab. 2. Obraz operacji iloczynu i alternatywy logicznej wykonany dla warstw zapisanych formatem quad tree	56
Tab. 3. Przykład kodowania wg rzędów i kolumn	57
Tab. 4. Przykłady operacji algebry map dla plików rastrowych	86
Tab. 5. Przykłady różnych typów aplikacji systemów geoinformacyjnych (projektów GIS)	93
Tab. 6. Porównanie sposobów i warunków korzystania z systemów geoinformacyjnych	121
Tab. 7. Charakterystyka wybranych pakietów GIS (na podstawie 2000 GIS Software Survey, zmienione)	141



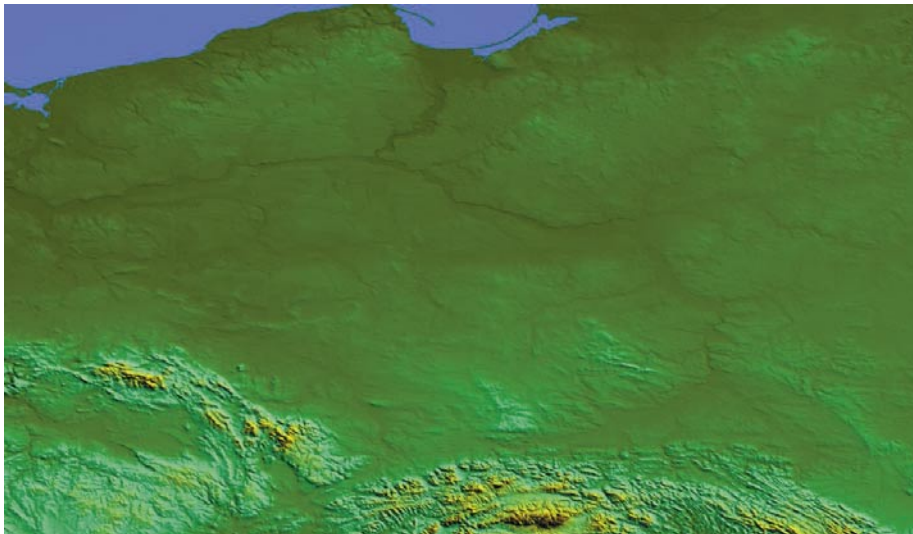
# Indeks rzeczowy

algorytm	13, 16, 18, 19, 25, 35, 48, 56, 58, 62, 66, 67, 71, 72, 77, 83, 85, 86-88, 96-104, 110, 111, 123, 126, 143, 145
analiza danych	65-66, 68, 95, 96, 101, 105-121
analiza przestrzenna	8, 14
analiza statystyczna	64
analiza sąsiedztwa	103
analiza zgrupowań	97
atrybuty	14, 16, 33, 37, 41-47, 50-52, 59-77, 80-88, 92, 96, 101-104, 119, 136, 140, 146
bazy danych	9, 11, 15, 16, 21, 25, 33, 34-66, 70, 72, 77, 84, 88, 90, 92, 136, 140, 141, 146
business GIS	5, 135, 136, 137
geoinformacja	5, 13, 17, 126
geoinformatyka	5, 17, 18
geomatyka	5,
GIS	3, 5, 8-16, 25, 28, 29, 63, 65, 68, 89-94, 115, 125, 126, 129-141, 145, 146
GISc	5, 18, 125, 126, 143
gospodarka informacyjna	7, 9, 10, 94, 129
informatyka	18, 58, 126, 130, 143, 147
internet	20-26, 37, 64, 90, 92-95, 118, 125, 129-137, 143-146
język programowania	25, 28, 35, 40, 58, 60, 90, 94-95, 132
kartografia	65, 106, 126, 139
mapa	8, 13, 18, 25, 26, 29, 59, 64, 65, 67, 68, 72, 73, 77, 78, 83, 85, 86, 90, 92, 94, 96, 119, 130, 131-134, 138-141, 145-148
metainformacja	7, 19, 119

metody numeryczne	9-10
model	8, 14, 30, 33, 37, 38, 39, 42, 47, 48, 57, 61, 87, 88, 90, 93, 94, 98, 109, 111, 112, 114, 132, 141, 145, 148
modelowanie	12, 14, 64, 87, 90, 105-121
obrazy satelitarne	10, 13, 24, 53, 65, 96, 97, 107, 114, 123, 141, 144, 145
odwzorowanie kartograficzne	8, 9, 13, 15-19, 50, 52, 64-70, 73-77, 83, 87, 88, 91, 96-98, 103-108, 110, 111, 115, 119, 126, 137-139, 145, 146
oprogramowanie (software)	10, 13, 19, 21, 24, 25, 39, 52, 62, 68, 69, 72, 74, 87-94, 112, 114-118, 123-126, 129-136, 140
raster	16, 22, 41, 52-58, 60, 64, 67, 74, 75, 83-86, 95-98, 101, 107, 109-111, 123, 129, 138
rzeźba terenu	105
sieci teleinformatyczne	7
społeczeństwo informacyjne	7, 9-20, 23, 34-37, 40, 45, 58, 59, 61, 65, 68-70, 72-75, 84, 87, 93, 96, 97, 109, 123, 125-129, 135-139, 143, 144, 146, 147
sprzęt (hardware)	8, 21-31, 69, 118, 125, 136, 140
symulacja	8, 64, 67, 68, 80, 87, 88, 89, 114
system geoinformacyjny	7, 12, 15, 25, 65, 68, 91
system informacji geograficznej	5, 10, 65, 87, 126, 143
system informacyjny	7, 9, 12-20, 23, 34-37, 40, 45, 58, 59, 61, 65, 68-70, 70, 72, 73, 75, 76, 84, 87, 93, 96, 97, 109, 123, 125, 127, 129, 135, 136, 139, 143-147
system wspomagania podejmowania decyzji	7, 12, 14, 92, 94, 135-136, 141
technologia	5, 10, 116, 117, 121, 127, 129
teledetekcja	9, 14, 23, 60, 107, 123, 126, 145
teleinformatyka	20, 143
topologia	18, 41, 47-52, 57, 59, 60, 62-64, 70, 101-104
wektor	41, 47-52, 55, 58, 60-64, 74-76, 83-86, 101, 103, 107, 109, 129, 134, 146
wizualizacja	7, 8, 13, 14, 25, 44, 68, 87-89, 98, 99, 112-116, 120, 132, 147



Rys. 5. Modele kolorów a. addytywny b. subtraktywny R-red, G-Green, B-Blue  
C-Cyan, M-Magenta, Y-Yellow



Rys. 31. DEM - model rzeźby terenu Polski o rozdzielczości 1km × 1 km



Rys. 35. Panorama wschodniej części Tatr (na podstawie DEM). Widok od północy.