

WIESŁAWA ŻYSZKOWSKA  
Zakład Kartografii Uniwersytetu Wrocławskiego

## **Analizy przestrzenne w systemach informacji geograficznej**

**Zarys treści.** Systemy GIS spełniają wiele funkcji, z których najczęściej wykorzystywane i uznawane za najważniejsze są funkcje związane z zapisywaniem informacji przestrzennej, jej wyszukiwaniem i identyfikacją oraz prezentacją. Nie mniej interesujące dla kartografów są funkcje działające na wyższym poziomie wykorzystania GIS, związane z bardziej złożonymi sposobami przetwarzania informacji przestrzennej, które można określić jako analizy przestrzenne. W artykule omówiono metody analizy przestrzennej w GIS w kontekście kartograficznej metody badań oraz kartografii analitycznej.

Mapy od początku swojego istnienia należały do podstawowych narzędzi pracy w wielu dziedzinach związanych z przestrzenią geograficzną, a wraz z pojawieniem się map topograficznych i rozwojem nauk przyrodniczych w połowie XIX w. analiza map stała się jedną z podstawowych metod badawczych nauk przyrodniczych. Początkowo analiza opierała się głównie na wzrokowym porównaniu map<sup>1</sup>. W latach trzydziestych XX w. rozwinęła się kartometria i pomiary na mapie znalazły szerokie zastosowanie w morfometrii (W. Żyszkowska 1980); w tym okresie również zaczęto stosować nakładanie treści map jako metodę analizy związków przestrzennych. Analiza elementów środowiska geograficznego na podstawie map należy do podstawowych procedur badawczych geografii i innych nauk, badających zjawiska przestrzenne. W związku z wkroczeniem systemów komputerowych do kartografii i powstaniem systemów informacji geograficznej mapa nie tylko nie przestała pełnić

funkcji takiego narzędzia, ale wręcz przeciwnie, analiza map jest coraz częściej wykorzystywana jako „narzędzie odkryć” (J.-M. Kraak 1998).

### **1. Kartograficzna metoda badań i kartografia analityczna**

Wypracowane w drugiej połowie XIX w. i pierwszej połowie XX w. metody analizy map zostały zaliczone przez K.A. Saliszczewa (1955) do „kartograficznej metody badań” (KMB), którą ten wybitny kartograf uznał za jeden z ważniejszych działów kartografii, a następnie za podstawę „kartograficznej metody poznania”. Ideę Saliszczewa rozwinął A.M. Bertant (1978), który scharakteryzował metody analizy map, wyróżniając sześć grup:

1. Opis na podstawie wzrokowej analizy mapy.
2. Metody graficzne – profile, przekroje, blok-diagramy, wykresy, diagramy, nakładanie izolinii.
3. Metody graficznoanalityczne – określanie wysokości względnych, głębokości, gradientów:
  - a) kartometria – pomiar długości i krętości linii, pola powierzchni, objętości, kątów i kierunków,
  - b) morfometria – obliczanie średniej wysokości, częstości i gęstości elementów, rozcięcia pionowego i poziomego, nachyleń i spadków oraz wskaźników kształtu.
4. Metody analizy matematycznej – zastosowanie matematycznych modeli przestrzennych procesów i zjawisk – aproksymacja za pomocą wielomianów algebraicznych, aproksymacja za pomocą ortogonalnych wielomianów algebraicznych, przedstawianie funkcji czasu i przestrzeni oraz funkcji pola fizycznego.
5. Metody matematyczno-statystyczne – charakterystyka statystycznego rozkładu wartości (średnie, miary odchyłeń i zróżnicowania zbioru), określanie zależności między zjawiskami (korelacja, analiza czynnikowa).
6. Metody teorii informacji – miary entropii,

<sup>1</sup> Przykładem zastosowania wzrokowego porównania map w badaniach naukowych jest teoria dryftu Wegenera, który na podstawie podobieństwa kształtów linii brzegowej Ameryki Pd. i Afryki opracował teorię o oddalaniu się tych kontynentów od siebie. Inny często przytaczany przykład jest związany z odkryciem przez dr. J. Snowa przyczyn epidemii cholery w Londynie w 1850 r. Naniósł on na mapę miejsca zgonów chorych i na tej podstawie stwierdził, że choroba ma związek z pobieraniem wody miejskiej, a nie z zakażeniami drogą powietrzną. Nakłonił władze miejskie do zamknięcia ujęć wody i epidemia ustąpiła (A.H. Robinson 1982).

miary współwystępowania.

Oprócz tych metod A.M. Berlant wyróżnił analizę jednej lub kilku map. W odniesieniu do analizy jednej mapy zidentyfikował trzy typy przetwarzania:

- 1) przetwarzanie metryki mapy – anamorfozy;
- 2) przetwarzanie struktury mapy – wyodrębnianie elementów, schematyzacja, uszczegółowianie, transformacja na ujęcia ilościowe, transformacja na ujęcia jakościowe (klasyfikowanie), transformacja w powierzchnie statystyczne, transformacja na ujęcia rozproszone;
- 3) przetwarzanie sposobów prezentacji kartograficznej – przetwarzanie map izoliniowych (określanie cech powierzchni), przetwarzanie sygnatur punktowych, przetwarzanie układów liniowych, przetwarzanie kartogramów i map chorochromatycznych.

Analiza serii map obejmuje badanie map z różnych okresów i map o różnej tematyce oraz prognozowanie. Wykonuje się tu analizę zgodności, wzajemnych związków, np. mapy współczynników korelacji, reszt z regresji, entropii konturów itp.

L. Ratajski (1989) zwrócił szczególną uwagę na analizę i charakterystykę rozmieszczenia zjawisk i wyróżnił cztery grupy metod analizy kartograficznej, związanych z tą problematyką:

- 1) analizy rozmieszczenia, obejmujące mapy potencjału, analizę kartometryczną sieci, ocenę zróżnicowania stopnia koncentracji za pomocą entropii i kartograficzną metodę koncentracji;
- 2) metody korelacji, obejmujące korelację prostą, ustalenie zależności w sposób empiryczny oraz korelację wielokrotną;
- 3) metody tendencji: metoda centrograficzna i mapy powierzchni trendu;
- 4) metody transformacji, do których zaliczył grafy oraz mapy anamorficzne.

Odmienne podejście do analizy map ukształtowało się w kartografii amerykańskiej. Artykuł W. Toblera (1959) o zastosowaniu metod komputerowych w kartografii oraz jego praca doktorska z 1961 r. o kartograficznej transformacji przestrzeni geograficznej (za H. Moelleringiem 2000), dały początek nowemu kierunkowi badań, który W. Tobler nazwał „kartografią analityczną” (KA). Żywiąc przekonanie o zasadniczej roli mapy jako narzędzia analizy geograficznej, W. Tobler (2000), starając się zarazem nawiązać do tradycji A. Humboldta, A. Wegenera i W. Christallera, podjął próbę wprowadzenia do kartografii metod ilościowych, które zaczęto w owych latach stosować w geografii. Początkowo kartografia analityczna obejmowała problematykę transformacji współrzędnych, interpolacji, filtrowania i generalizacji

(W. Tobler 1976, H. Moellering 2000).

W ostatnich latach kartografia analityczna jest coraz powszechniej uznawana za jeden z najważniejszych działów kartografii (J.-C. Muller 1991, A.J. Kimerling 1989, H. Moellering 2000), ponieważ obejmuje on wiele podstawowych zagadnień kartograficznych, jak: modelowanie danych, struktura informacji, jakości danych kartograficznych, standardy transformacji danych, odwzorowania kartograficzne, interpolacja danych przestrzennych, analityczna generalizacja map, numeryczna analiza map. W przeciwieństwie do kartograficznej metody badań, kartografia analityczna skupia się wyłącznie na ilościowych, matematycznych i statystycznych zależnościach między obiektami geograficznymi i ich właściwościami, a przetwarzanie odnosi się do danych, zapisanych w formie numerycznej, a nie do obrazu mapy i dokonuje się za pomocą systemów komputerowych.

K.C. Clarke (1998) wiąże kartografię analityczną przede wszystkim z różnego rodzaju transformacjami informacji za pomocą systemów komputerowych. Zalicza do nich:

- 1) transformacje wymiarów obiektów;
- 2) transformacje odwzorowań kartograficznych;
- 3) transformacje oparte na obiektach punktowych, w tym obliczanie odległości, wyznaczenie centroidów i sąsiedztwa;
- 4) transformacje oparte na obiektach liniowych, a więc wyznaczenie przecięć linii i obliczanie odległości punktów od linii;
- 5) transformacje oparte na obiektach powierzchniowych, które obejmują obliczanie pola powierzchni, wyznaczenie położenia punktu w poligonach i poligony Thiessena;
- 6) transformacje afiniczne, jak przesuwanie obiektów, rotacja i zmiana wielkości;
- 7) transformacje powierzchni statystycznych, w tym elastyczne naciąganie (ang. *rubber sheeting*) oraz opracowywanie kartogramów anamorficznych;
- 8) transformacje struktury danych mapy, które obejmują m.in. reklasyfikację, zmianę struktury wektorowej na rastrową i odwrotnie oraz zmianę relacji topologicznych i przetwarzanie modeli typu GRID na TIN i odwrotnie;
- 9) metody analizy terenu, do których zalicza budowanie modeli TIN i GRID z danych punktowych, metody interpolacji, wyznaczenie punktów charakterystycznych i modelowanie powierzchni za pomocą wielomianów, serii Fouriera i filtrowania powierzchni;
- 10) transformacje wolumetryczne obejmujące obliczanie nachyleń i ekspozycji, wyznaczenie obszarów widzialności oraz podział terenu na zlewnie.

Metody kartografii analitycznej są ściśle powiązane z systemami GIS i wydawać by się mogło, że wraz z rozwojem tych systemów idea kartograficznej metody badań K.A. Saliszczewa straci na znaczeniu, gdyż jej rolę w nowej dziedzinie nauki przejmie kartografia analityczna. Należy jednak pamiętać, że metody, zaliczane do KMB nie popadają w zapomnienie. Przeciwnie, większość z nich weszła do zestawu metod wykorzystywanych w programach GIS. P.A. Longley i in. (2001) podkreślają, że systemy te są naturalnym sukcesorem stosowanych dotychczas metod analizy zjawisk przestrzennych. Jednak zgodnie z wymaganiami systemów komputerowych, uległo zmianie podejście do tych metod oraz zasady wyznaczania parametrów. Przykładem tego rodzaju zmian są sposoby obliczania długości i pola powierzchni, które w systemie komputerowym opierają się na obliczaniu różnicy współrzędnych  $x$  i  $y$  poszczególnych punktów.

Zasadnicza różnica między kartograficzną metodą badań i kartografią analityczną polega na określaniu zakresu problematyki badawczej. O ile pierwsza skupia się głównie na formalnej stronie metod i interpretacji wyników badań, to druga kładzie nacisk na podstawowe problemy i pojęcia tej dziedziny. H. Moellering (2000) zalicza do nich: transformacje map geograficznych, mapy realne i wirtualne, problemy głębokiej i płytkiej struktury mapy, poziomy danych, elementarne obiekty przestrzeni oraz teorię próbkowania. Rozpatrywane są też inne problemy, związane z metodami matematycznymi jak: częstość przestrzenna, sąsiedztwo przestrzenne, zastosowania teorii Fouriera, teorii informacji i fraktali, sieci Warntza, nakładanie wieloboków, generalizacja oraz standardy danych przestrzennych. To właśnie ta problematyka przeżywa obecnie w światowej literaturze kartograficznej.

Wielu autorów wyraża pogląd, że kartografię analityczną można utożsamiać z analizami przestrzennymi w GIS i że należy ją zaliczyć do wyłaniającej się w ostatnich latach nowej dziedziny, określonej jako *nauka o informacji geograficznej* (ang. *GIScience*) (D. Mark 2000, H. Moellering 2000). O ścisłych związkach między tymi dziedzinami świadczy fakt, że opracowana przez UCGIS (2000) agenda w sprawie tematyki badań GIScience podkreśla znaczenie wielu wspomnianych wyżej problemów, znajdujących się w sferze zainteresowań kartografii analitycznej. Problematyka badawcza kartografii analitycznej obejmuje również zagadnienia związane nie tylko z analizą przestrzenną, ale także z prezentacją kartograficzną, takie jak wyznaczanie zakresu widoczności terenu, łączenie warstw oraz inter-

polacja i aproksymacja (R. Franklin 2000).

## 2. Metody analiz w systemach informacji geograficznej

W pierwszym okresie rozwoju zautomatyzowanych systemów kartograficznych stosowano ograniczony zakres metod analizy map, zapisywanych w systemie rastrowym. Było to określanie odległości między punktami, wyznaczanie optymalnego położenia obiektów i tras, przecięcia płaszczyzny z powierzchnią, zmiana skali i odwzorowania oraz wykonywanie operacji logicznych, związanych z selekcją informacji. Większość metod dotyczących map rastrowych opierała się koncepcji W. Toblera (1967), traktującej tego rodzaju mapy jako macierze. Stopniowo, wraz z wprowadzeniem wektorowej formy zapisu informacji przestrzennej oraz wzrostem możliwości obliczeniowych komputerów, poszerzał się zakres analiz przestrzennych.

Obecnie zakres analiz przestrzennych w GIS obejmuje kilka grup metod przetwarzania danych, opartych na różnych zasadach, które mogą być stosowane zarówno w odniesieniu do zapisu rastrowego, jak i wektorowego. Metody te są szczegółowo opisywane w materiałach pomocniczych poszczególnych programów, wiele uwagi poświęcają im również autorzy podręczników z zakresu GIS (A.U. Frank 1995; M. Kistowski, M. Iwańska 1997; J. Urbański 1997; W. Widacki 1997; A. Magnuszewski 1999; D.J. Maguire i in. 1991; T. Bernhardsen 1999; J. Delaney 1999).

Metody analiz przestrzennych można podzielić na kilka grup, różniących się stopniem złożoności i charakterem operacji. Metody pierwszej grupy można określić jako podstawowe, na drugą składają się metody oparte na relacjach topologicznych, o stricte analitycznym charakterze, do trzeciej należą metody kartometryczne, a czwarta obejmuje operacje na tabelach atrybutów i metody statystyczne. Obecnie wszystkie pakiety GIS zawierają algorytmy służące do realizowania metod podstawowych, natomiast różnią się one znacznie pod względem możliwości analitycznych; dotyczy to zwłaszcza możliwości definiowania topologii i budowania numerycznych modeli terenu. Niektórzy autorzy (A. Magnuszewski 1999, T. Bernhardsen 1999) wskazują na możliwości zastosowania metod logiki rozmytej i geometrii fraktalnej, jednak w funkcjonujących obecnie systemach, możliwości te są wykorzystywane w bardzo ograniczonym zakresie. Należy podkreślić, że ważne funkcje analityczne mogą spełniać niektóre operacje graficzne, stosowane w powiązaniu z operacjami przetwarzania da-

nych, jak np. różne wersje wycinania.

### 2.1. Metody podstawowe

Podstawowe metody przetwarzania danych obejmują operacje, bez których program nie mógłby funkcjonować jako GIS. Należą do nich operacje związane z integracją danych oraz selekcją informacji.

#### a. Integracja danych

Integracja danych ma podstawowe znaczenie dla systemów GIS, ponieważ jedynie na jednolitej informacji przestrzennej można dokonywać różnego rodzaju operacji i przeprowadzać analizę danych przestrzennych. Tego rodzaju operacje polegają na łączeniu różnych rodzajów informacji:

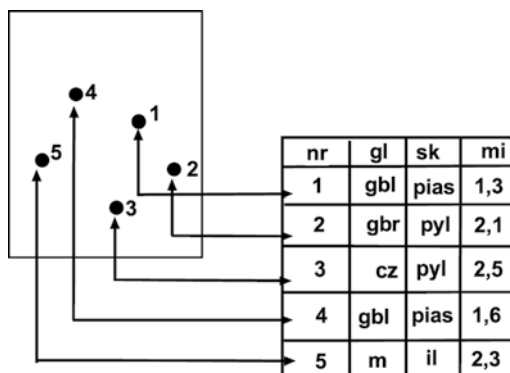
- 1) informacji o położeniu obiektów z informacjami o ich atrybutach (np. punktu oznaczającego miasto z jego liczbą mieszkańców),
- 2) informacji pochodzących z różnych źródeł, zapisanych w systemie wektorowym,
- 3) informacji zapisanych w różnych systemach (wektorowym i rastrowym),
- 4) informacji zapisanych w różnych układach współrzędnych lub odwzorowaniach,
- 5) informacji zapisanych w różnych formatach (np. w formacie ArcInfo, MapInfo),
- 6) informacji zapisanych na sąsiadujących ze sobą warstwach.

Ad. 1. Wszystkie pakiety GIS zawierają algorytmy służące do łączenia elementów mapy z tabelami atrybutowymi, ponieważ każdy program GIS w trakcie wprowadzania danych buduje odpowiednie tabele, do których można wpisywać atrybuty obiektów. Jest to prosta operacja, wymagająca wskazania wybranych obiektów i wpisania danych do rekordów związanej z nimi tabeli. Zasadę łączenia obiektów z charakterystycznymi im atrybutami przedstawia rycina 1. Po wskazaniu na mapie obiektu wpisuje się do rekordów tabeli atrybutowe dane (np. typ gleby, rodzaj skały macierzystej i miąższość profilu glebowego). Funkcja „attach” powoduje przyłączenie rekordu do wskazanego obiektu.

Ad. 2. Warunkiem łączenia danych w GIS jest ich zdefiniowanie we wspólnym układzie współrzędnych, co jest związane z transformacją odwzorowań i układów współrzędnych. Dzięki temu możliwe jest połączenie poszczególnych warstw w formie mapy.

Ad. 3. Możliwość połączenia obrazów rastrowych i wektorowych GIS jest również uwarunkowana zapisaniem obu obrazów we wspólnym

układzie współrzędnych. Warstwy w zapisie rastrowym są transformowane naabrany układ współrzędnych za pomocą operacji rejestracji



Ryc. 1. Łączenie obiektów z atrybutami  
Fig. 1. Objects linked with attributes

i kalibracji rastra. Zapis rastrowy może być przetwarzany na zapis wektorowy, za pomocą wektoryzacji, operację odwrotną określa się mianem rasteryzacji.

Ad. 4. Transformacje układów współrzędnych i odwzorowań są przeprowadzane automatycznie, pod warunkiem, że program zawiera algorytmy i informacje o parametrach układów. Jeśli jakiś układ np. układ „1992”, nie został jeszcze wprowadzony do menu programów funkcjonujących w Polsce, transformacja tego rodzaju wymaga zainstalowania specjalnych plików, które są opracowywane przez wyspecjalizowane zespoły programistów. W większości programów transformacje odwzorowań i układów współrzędnych są przeprowadzane w sposób trwały, a jedynie bardziej zaawansowane systemy umożliwiają ich tymczasowe przeprowadzanie podczas wyświetlania warstw.

Ad. 5. Do najtrudniejszych problemów należy wymiana danych między pakietami różnych producentów. Można tu korzystać z ogólnie dostępnych formatów wymiany, a więc importu i eksportu plików, dotyczy to jednak głównie formatów rastrowych, takich jak *jpg*, *tiff* itp. Format *dxf* pozwala na wymianę współrzędnych *x,y*, jednak nie zachowuje informacji o danych atrybutowych, związanych z tymi współrzędnymi. Jedynie nieliczne programy są wyposażone w funkcje wymiany między różnymi formatami. W niektórych programach, takich jak TNT, ArcInfo, Geographer lub MapInfo, możliwy jest import i eksport plików z innych programów. W dobie Internetu możliwość wymiany danych między

różnymi systemami stała się przedmiotem polityki dotyczącej infrastruktury informacji przestrzennej na świecie, określanej trudno przetłumaczalnym terminem „interoperability”.

Ad.6. Łączenie danych zapisanych na warstwach, które stanowią części większej całości, podobnie jak arkusze map wielkoskalowych, jest operacją prostą, pod warunkiem, że końce wszystkich linii, leżące na krawędziach obu warstw mają te same współrzędne i mogą się ze sobą połączyć w formie jednej linii. Jednak zarówno błędy samych map, jak i błędy wektoryzacji powodują, że taka idealna zgodność ma miejsce niezwykle rzadko. Niektóre systemy GIS zawierają operatory łączenia i „dociągania” takich niezgodnych odcinków linii.

Poważnym problemem związanym z integracją informacji jest jej niejednorodność. Przyczyną są zarówno różnice w przebiegu granic jednostek powierzchniowych na różnych mapach, jak i błędy map tematycznych. Mapy tematyczne, przedstawiające to samo zjawisko z tego samego okresu, ale opracowywane przez różne służby i osoby, w różnych skalach i z różną dokładnością, bardzo często znacznie różnią się pod względem przebiegu granic różnych wydzieleń. Różnice wynikają także ze zmian środowiska geograficznego. Łączenie w GIS informacji pochodzących z takich map wymaga podjęcia decyzji, jaki przebieg granic należy uznać za właściwy. Jest to bardzo trudny problem, rozwiązywany najczęściej poprzez arbitralną decyzję kartografa lub operatora GIS. J. Kolejka (2002) zaproponował rozwiązanie tego problemu przez dostosowywanie map poszczególnych elementów środowiska do mapy elementu wzorcowego.

## b. Selekcja danych

Przeprowadzenie jakiegokolwiek czynności na danych zapisanych w systemie musi być poprzedzone wskazaniem zakresu i charakteru informacji oraz miejsca, w którym jest ona zapisana, dlatego też selekcja danych należy do podstawowych operacji w GIS. Wybór informacji może polegać na wskazywaniu obiektów na mapie wyświetlanej na ekranie lub określeniu kryteriów wyboru. Selekcja jest dokonywana przez zaznaczenie pojedynczych obiektów lub fragmentu obszaru, na którym one występują.

Funkcję selekcji przestrzennej pełnią operacje wycinania wskazanych fragmentów obszaru, które na ogół wiążą się z operacjami łączenia dwóch warstw (patrz punkt 2.2.1.b). Pozwala ona na wyeliminowanie tej części obrazu mapy, która nie ma znaczenia z punktu widzenia celu

analizy lub prezentacji. Ułatwia to skupienie uwagi na istotnych cechach badanego zjawiska lub obszaru.

Bardziej złożona wersja selekcji jest związana z określaniem cech wybranych grup elementów lub obszarów, spełniających dwa lub więcej kryteriów. Przeprowadza się ją za pomocą zapytań (ang. *query*), mających formę zdań logicznych, określających kryteria. Taka forma selekcji pełni funkcję analizy przestrzennej i przez wielu autorów podręczników GIS jest zaliczana do najważniejszych metod tej analizy. W bardziej ograniczonych wersjach GIS formułowanie zapytań jest przeprowadzane w kilku etapach, kolejno na poszczególnych warstwach, podczas gdy programy bardziej zaawansowane mogą przeprowadzać proces selekcji na kilku warstwach jednocześnie, łącząc go ponadto z innymi operacjami analitycznymi.

## 2. 2. Metody topologiczne

Drugą grupę metod stanowią metody przetwarzania danych, określane często mianem analiz przestrzennych. Są to różnego rodzaju transformacje danych przestrzennych, służące do wykrywania charakteru rozkładu przestrzennego i związków przestrzennych, a więc uwidaczniania tych właściwości przestrzeni, które pozostają niedostrzegalne, gdy mamy do dyspozycji wyłącznie surowe dane (P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.A. Maguire, D.W. Rhind 2001). Innymi słowy jest to proces przetwarzania surowych danych na bardziej złożoną, a zarazem użyteczną informację.

Analizy przestrzenne opierają się na specyficznej strukturze danych, w której obiekty są jednoznacznie powiązane z ich atrybutami w relacyjnej lub obiektowej bazie danych, zawierającej informację topologiczną, określającą relację sąsiedztwa i połączeń z innymi obiektami. Zasadnicza różnica między programami GIS i innymi programami, w których można wyświetlać, a nawet rysować mapy, polega na możliwości jednoznacznego definiowania relacji topologicznych, zapisywanych automatycznie, w trakcie lub po wprowadzeniu współrzędnych. Informacje te są podstawą takich operacji jak: określanie relacji ilościowych i statystyk przestrzennych, generalizacja, wyznaczenie regionów, modelowanie interakcji przestrzennych, określanie sąsiedztwa oraz rozpoznawanie układów przestrzennych.

Metody analizy przestrzennej, które opierają się na topologii, obejmują trzy grupy procedur. Pierwsze dotyczą obiektów powierzchniowych i polegają na wyznaczaniu rejonów oraz podziale obszaru. Druga grupa procedur odnosi się do ele-

mentów liniowych i umożliwia analizy sieciowe, takie jak: wyznaczanie położenia oraz wyznaczanie najkrótszej drogi. Trzecia grupa analiz jest związana z budowaniem i przetwarzaniem numerycznych modeli wysokości.

### 2.2.1. Procedury odnoszące się do obiektów powierzchniowych

#### a. Wyznaczanie regionów

W GIS możliwe jest wyznaczanie różnego rodzaju obszarów zwanych regionami. Pierwszy, to regiony obejmujące jednostki o jednakowych właściwościach, które są wyznaczane za pomocą procedury usuwania granic między jednostkami o tych samych atrybutach (ryc. 2).

Drugi rodzaj regionów stanowią grupy jednostek powierzchniowych sąsiadujących ze sobą, o różnych właściwościach i wyznaczanych na podstawie topologicznej relacji sąsiedztwa, którego zasięg określa wskazana przez użytkownika GIS odległość.

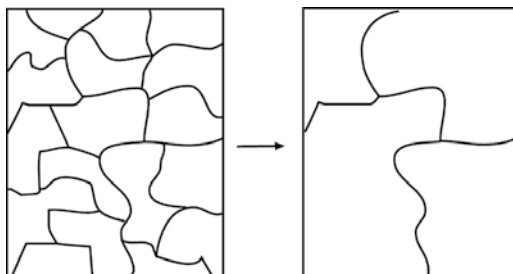
Za specyficzny rodzaj regionów można uznać pasy o wyznaczonej szerokości, otaczające dany obiekt (punktowy, liniowy lub powierzchniowy). Są to innymi słowy ekwidystanty, określane w systemach GIS mianem „buforów” (ryc. 3), które są wykorzystywane do wyznaczania obszarów, objętych wpływem wybranych obiektów lub wywierających wpływ na te obiekty.

#### b. Podział obszaru

Podział obszaru może być również przeprowadzany w dwojaki sposób. Pierwsza operacja polega na wyznaczaniu granic między obszarami w kształcie wieloboków, związanymi z wyznaczonymi uprzednio punktami, na podstawie odległości między tymi punktami. W programach GIS tego rodzaju podział nazywany jest „poligonami Thiessena” lub „Voronoi’a” (ryc. 4), natomiast w polskiej kartografii bardziej znane jest określenie „sieć zmienności” (wg L. Rajtalskiego 1989).

Innego rodzaju podział przestrzeni uzyskuje się w wyniku zastosowania operacji nakładania (*overlay, union*) na siebie dwóch warstw z różnego rodzaju jednostkami. W wyniku tej operacji następuje jednoczesne połączenie informacji o położeniu i o atrybutach obiektów, zapisanych na każdej z tych warstw. W efekcie obszar zostaje podzielony na mniejsze jednostki przestrzenne, z których każda jest charakteryzowana przez atrybuty obu warstw składowych (ryc. 5). Nakładanie wykonuje się z użyciem dwóch warstw,

jednak operację tę można powtarzać wielokrotnie, co prowadzi do wyznaczenia obszarów charakteryzujących się różnymi zestawami cech.



Ryc. 2. Agregacja jednostek o tych samych atrybutach  
Fig. 2. Inner border removal. The system removes borders between areas of similar attributes

Topologiczne łączenie warstw (*Union, Overlay, Combine*) można przeprowadzać z zastosowaniem różnych operatorów logicznych (*or, and* itp.) z jednoczesnym zastosowaniem operacji wycinania (*Clip*). Pozwala to na dowolne łączenie i wybieranie informacji, będącej przedmiotem analizy. Na rycinie 6 przedstawiono efekt zastosowania operatora *and* oraz funkcji wycinania.

### 2.2.2. Procedury odnoszące się do obiektów liniowych (sieci)

Analizy sieciowe obejmują dwie metody, opierające się na analizie układów elementów liniowych, lokalizację (*allocation*), wyznaczanie najkrótszej trasy (*shortest path*) oraz wyznaczanie odległości z uwzględnieniem kosztów (*cost weighted*).

#### a. Lokalizacja

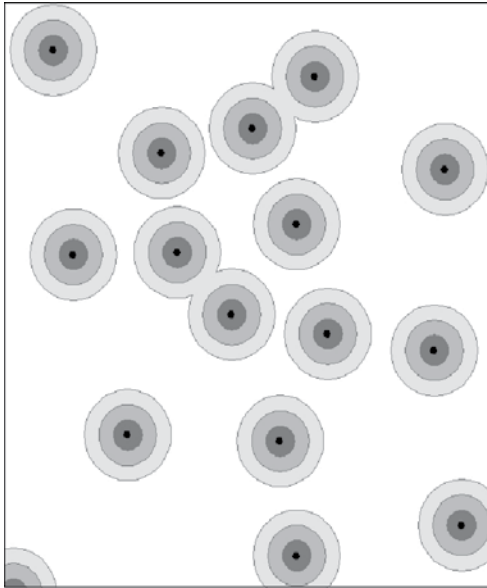
Pierwsza operacja, określana jako lokalizacja, polega na wyznaczaniu zbioru elementów liniowych lub punktowych, leżących najbliżej wskazanego punktu. Jest ona wykorzystywana do określania dostępności.

#### b. Najkrótsza trasa i uwzględnianie przeszkód

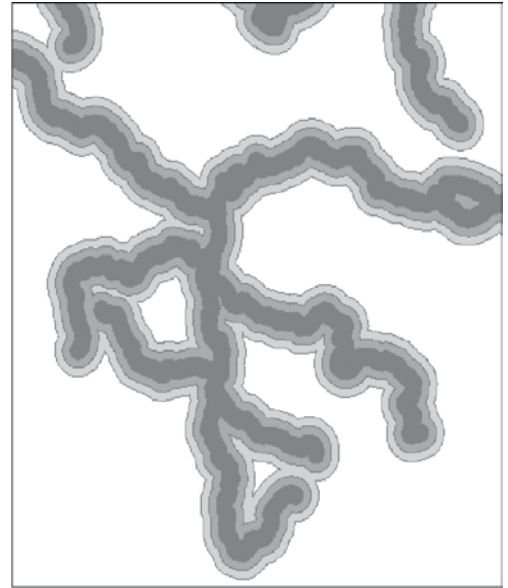
Druga metoda jest numeryczną wersją metody komiwojażera i polega na wyznaczaniu najkrótszej trasy między wskazanymi punktami. Na podstawie długości poszczególnych odcinków sieci wyznaczana jest droga między dwoma punktami tej sieci, spełniająca jeden z dwóch warunków: najkrótszej odległości lub najmniejszej liczby odcinków drogi (ryc. 7). Po wprowadzeniu

informacji o ograniczeniach ruchu na pewnych skrzyżowaniach lub odcinkach, wyznaczona zostanie inna trasa, która omija te przeszkody. Pewna odmiana tej metody umożliwia wprowadzenie informacji o kosztach podróży.

### 2.3. Pomiary kartometryczne

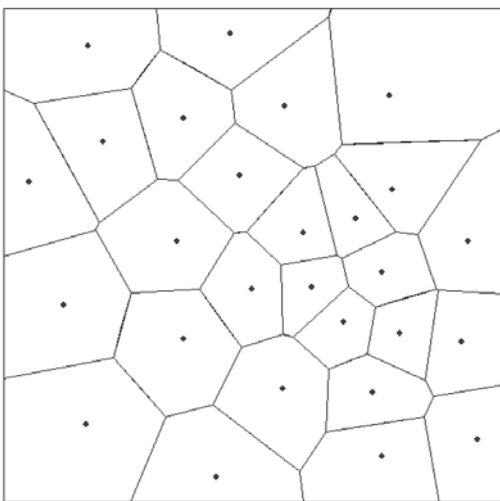


A

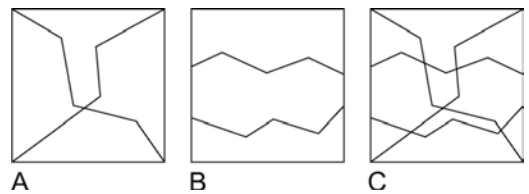


B

Ryc. 3. Ekwidystanty: A – obiektów punktowych, B – obiektów liniowych (rzek)  
Fig. 3. Buffering of: A – point objects, B – linear objects (rivers)



Ryc. 4. Poligony Thiessena (sieci zmienno-gęste)  
Fig. 4. Thiessen's polygons (variable density networks)



A

B

C

Ryc. 5. Nakładanie (łączenie) warstw: A – warstwa I, B – warstwa II, C – warstwa III, zawierająca treść obu warstw (I i II)

Fig. 5. Superimposing (joining) of layers: A – layer I, B – layer II, C – layer III, comprising the contents of both layers (I and II)

Pomiary kartometryczne są w GIS wykonywane na podstawie różnic wartości współrzędnych poszczególnych punktów (ryc. 8). Niektóre programy dokonują automatycznie obliczeń długości odcinków linii oraz pola powierzchni poligonów i zapisują wartości w tabelach, w innych należy w tym celu wywołać odpowiednią funkcję. Informacje o odległości między wskazanymi dwoma punktami mogą

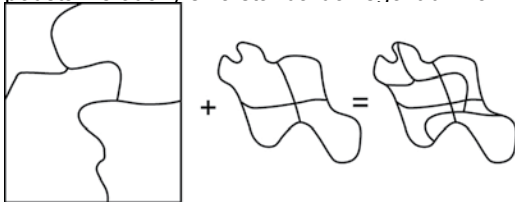
być wyświetlane na ekranie. Część programów dysponuje także możliwością obliczania pola powierzchni (ryc. 9) i objętości brył na analogicznych zasadach. Wyniki obliczeń kartometrycznych mogą być wykorzystane do obliczeń długości i gęstości sieci lub intensywności obiektów i zjawisk.

2.4. Operacje na tabelach atrybutowych

Informacje atrybutowe są w GIS zapisywane w formie tabel, na których można przeprowadzać różnego rodzaju operacje przekształcania danych. Należą do nich operacje o charakterze grupowania i operacje związane z metodami statystycznymi. Procedury, za pomocą których dokonuje się transformacji danych mogą stanowić część oprogramowania GIS; możliwe jest także korzystanie z zewnętrznych programów kalkulacyjnych.

a. Grupowanie i rekłasyfikacja

Grupowanie zbioru danych liczbowych jest w GIS przeprowadzane w sposób automatyczny, po wskazaniu liczby klas i ich wartości granicznych. Większość programów zawiera najprostsze algorytmy grupowania, dzielące zbiór na klasy o jednakowej rozpiętości oraz algorytm wprowadzania wartości przedziałów przez użytkownika. Jedynie nieliczne pakiety mają możliwość podziału według bardziej złożonych reguł, jak np. na podstawie odchylenia standardowego lub kwan-



Ryc. 6. Nakładanie warstw połączone z operacją wycinania obszaru

Fig. 6. Superimposing of layers with area cutout



Ryc. 7. Najkrótsza droga między czterema punktami

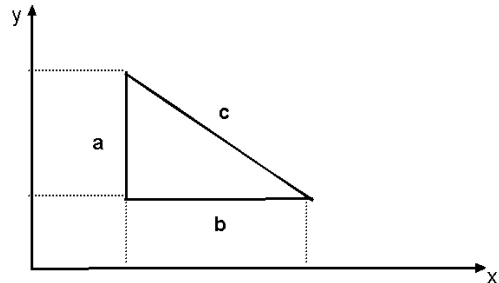
Fig. 7. The shortest route between four points

tyli. Do wyjątków należą programy zawierające algorytmy oparte na metodzie Jenksa.

Rekłasyfikacja, która odnosi się do danych zapisanych w formie literowej, jest również przeprowadzana w sposób automatyczny, jednak wymaga wprowadzenia formuł logicznych, wskazujących nazwę tabeli oraz kolumnę, gdzie zapisany jest dany zbiór oraz definiujących kryteria wyboru elementów zbioru, z których mają być utworzone kolejne klasy.

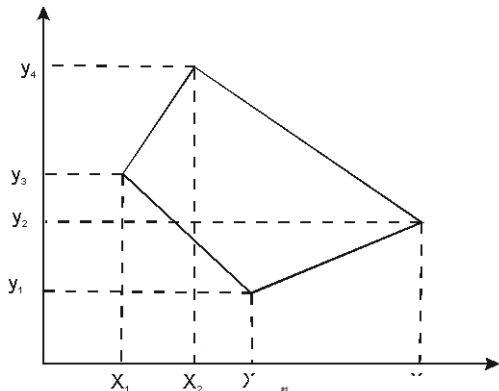
b. Metody statystyczne

Programy GIS dysponują procedurami wykonującymi obliczenia statystyczne o różnym zakresie. Niezależnie jednak od tego zakresu możliwe jest zastosowanie dowolnych metod statystycznych, ponieważ wszystkie pakiety mają możliwość eksportu i importu danych z i do różnego rodzaju arkuszy kalkulacyjnych. Informacje o możliwych formatach i sposobach wymiany danych zawierają instrukcje pakietów. Do najczęściej stosowanych



Ryc. 8. Obliczanie odległości:  $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ ,  $a = x_1 - x_2$ ,  $b = y_1 - y_2$

Fig. 8. Distance calculation:  $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ ,  $a = x_1 - x_2$ ,  $b = y_1 - y_2$



Ryc. 9. Obliczanie pola po  $\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$ anie

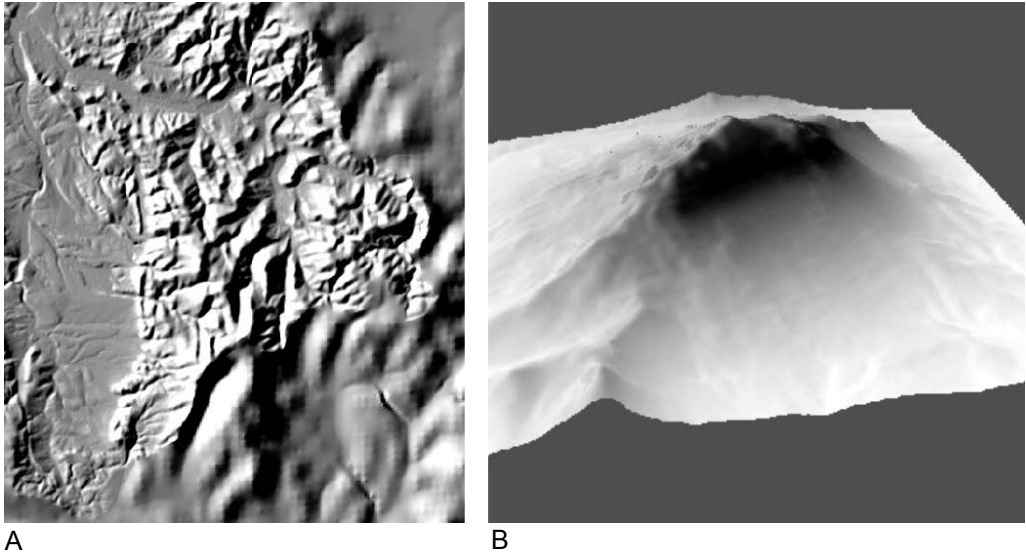
metodą trapezów:  $A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$

Fig 9. Area calculation:  $A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$



metod statystycznych w GIS należą: opisowe statystyki zbiorów (średnie, odchylenia standardowe, kwantyle itp.), histogramy oraz metody korelacji i regresji oraz analizy wieloczynnikowej.

położenie w trójwymiarowej przestrzeni zbioru punktów, stanowiących próbkę modelowanej powierzchni. Algorytmy aproksymacji i interpolacji, służą do wyznaczania kształtu powierzchni



Ryc. 10. Numeryczny model wysokości: A – cieniowany, B – perspektywiczny  
Fig 10. Digital elevation model: A – shaded, B – perspective

### 2.5. Metody analizy rozkładu przestrzennego

Metody statystyczne można wykorzystywać również do analizy regularności i prawidłowości rozkładu przestrzennego. Do najczęściej stosowanych metod należy metoda centroidu, wykorzystywana do wyznaczania środka ciężkości danych rozproszonych i powierzchni. Położenie centroidu wyznaczają średnie wartości współrzędnych  $x$  i  $y$ . Analiza najbliższego sąsiedztwa polega na obliczeniu średniej odległości między sąsiadującymi punktami.

Charakterystyka zmienności rozkładu danych przestrzennych opiera się na określeniu autokowariancji przestrzennej, wyznaczanej na podstawie semiwariogramów (A. Magnuszewski 1999).

### 2.6. Metody analizy powierzchni 3D

Ważnym elementem analiz przestrzennych w GIS są operacje przeprowadzane na danych, związanych z numerycznymi modelami wysokości, częściej, choć mniej poprawnie nazywane numerycznymi modelami terenu (ryc. 10 A,B). Składają się one z dwóch elementów – zbioru danych oraz algorytmów aproksymacji powierzchni lub interpolacji. Zbiór danych tworzą trzy współrzędne –  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , określające

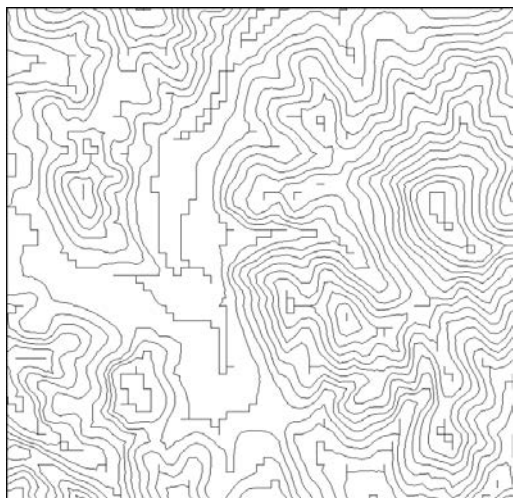
między próbkowanymi punktami. Na podstawie współrzędnych  $x, y, z$ , można również wyznaczyć morfometryczne cechy modelowanej powierzchni oraz parametry statystyczne, charakteryzujące zbiory punktów reprezentujących sąsiedztwo danego obszaru (W. Żyszkowska 1980).

#### a. Aproksymacja

Aproksymowanie powierzchni polega na określeniu zachowania powierzchni między próbkowanymi punktami. W przeciwieństwie do tradycyjnej metody interpolacji stosowanej w kartografii, która była przeprowadzana na osiach interpolacyjnych, metody komputerowe opierają się na interpolacji powierzchniowej, co oznacza, że uwzględniają wartości wielu, a nie tylko dwóch punktów otaczających interpolowany punkt. Podobnie jednak, jak interpolacja tradycyjna, metody interpolacji komputerowej oparte są na założeniu, że różnica między wartością punktu wyznaczanego i wartościami punktów cechowanych jest odwrotnie proporcjonalna do odległości między nimi.

Algorytmy różnią się sposobem przypisywania wagi wartościom, w zależności od ich odległości od punktu wyznaczanego, a ich parametry określają liczbę i układ branych pod uwagę punktów. Najczęściej stosowany algorytm opiera się na za-

sadzie odwrotnej proporcjonalności do odległości (ang. *inverse distance*), który jednak często daje rezultaty trudne do zaakceptowania przez kartografów, co przedstawia rycina 11. Wyznaczanie



Ryc. 11. Poziomicie wyinterpolowane metodą odwrotnych odległości

Fig. 11. Contour lines interpolated by inverse distance function

ukształtowania powierzchni może się dokonywać w różny sposób, z wykorzystaniem dwóch podstawowych typów struktury numerycznych modeli wysokości – GRID (ryc. 12) i TIN (ryc. 13).

Wpływ metod i ich parametrów na stopień aproksymacji i obraz izol linii nie został dotychczas definitywnie określony. Jak wykazała M. Wieczorek (2002), różne metody interpolacji dają różne wyniki, w zależności od charakteru terenu. Większość autorów uważa jednak, że najlepsze rezultaty daje metoda krigging (A. Magnuszewski 1999, J. Mościbroda 1999, M. Wieczorek 2002).

#### b. Morfometryczne parametry powierzchni

Druga grupa operacji jest związana z wyznaczaniem cech morfometrycznych modelowanej powierzchni. Do standardu należą obecnie algorytmy wyznaczania nachylenia i ekspozycji stoków, jednak tylko nieliczne pakiety dysponują możliwością wyznaczania kształtu form, przebiegu linii dolinnych i grzbietowych, obszaru zlewni lub pól widokowych. Ze względu na prostotę obliczeń większość algorytmów odnosi się do modeli o strukturze siatkowej (GRID), różnią się one jednak liczbą i układem punktów, na podstawie których wyznaczane są poszczególne

wartości (W. Żyszkowska 1980, P.L. Guth 1995). Na rycinach 14, 15 i 16 przedstawione są obrazy morfometrycznych cech terenu, wyznaczone na podstawie numerycznego modelu wysokości za



Ryc. 12. Numeryczny model wysokości typu GRID. Każde oczko reprezentuje określoną wysokość powierzchni. Niższe wysokości oznaczone są tonami ciemnymi, wyższe – jasnymi

Fig. 12. Digital height model of GRID type. Each grid represents a given surface height. Lower values are shown with darker value, higher – with lighter value

pomocą systemu ArcInfo.

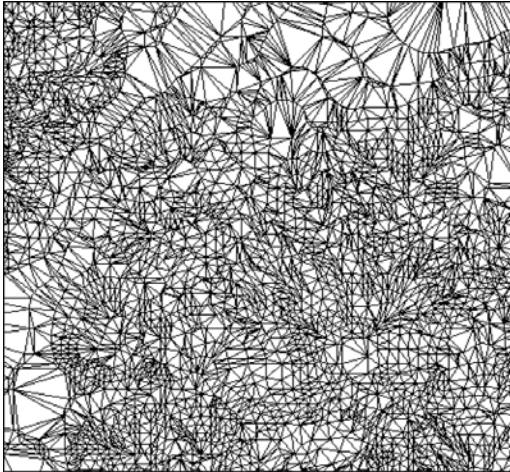
#### 2.7. Generalizacja

Aczkolwiek w tradycyjnej kartografii proces generalizacji nie jest na ogół łączony z analizą mapy, to należy podkreślić, że już A.M. Berlant (1978) zaliczył ją do kartograficznej metody badań, ponieważ geografowie często korzystają z uproszczonego i uogólnionego obrazu do wykrywania ogólnych tendencji rozmieszczenia zjawisk (A.J. Pannekoek 1967). W. Tobler (1961) jako pierwszy włączył generalizację do kartografii analitycznej, proponując metodę automatycznej generalizacji za pomocą filtrowania. Najbardziej znanym przykładem jest zastosowanie powierzchni trendu i reszt z regresji do wyjaśniania przyczyn odchyłań od ogólnego rozkładu przestrzennego (R. Domański 1982).

### 3. Modelowanie przestrzenne

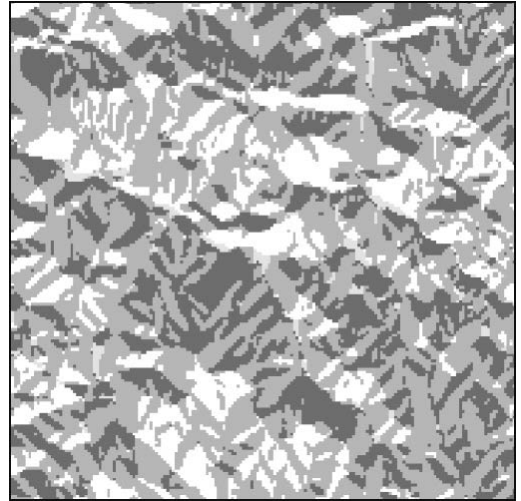
Topologiczne, kartometryczne i statystyczne metody przetwarzania informacji, w połączeniu z procedurami selekcji i wycinania, dają systemom GIS ogromne możliwości analizy danych przestrzennych i modelowania zjawisk. Możliwości te mogą być rozszerzone poprzez wykorzystanie

programów statystycznych oraz programowanie w języku wewnętrznym programu lub językach zewnętrznych, a także poprzez połączenie analizy obrazów satelitarnych i zdjęć lotniczych.

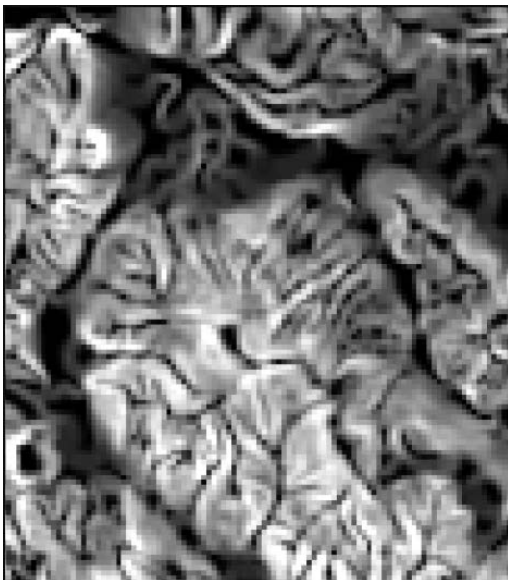


Ryc. 13. Numeryczny model wysokości typu TIN, zbudowany z trójkątów Delaunaya  
Fig. 13. Digital elevation model of TIN type, constructed of Delaunay's triangles

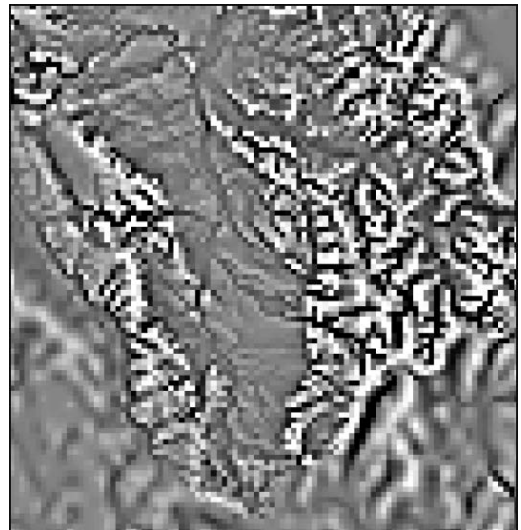
Zastosowanie różnych rodzajów analiz i operacji w systemach GIS określane jest jako „modelowanie kartograficzne” (C.D. Tomlin 1990, J. Delaney 1999), które może się odnosić



Ryc. 15. Obraz ekspozycji stoków wygenerowany w systemie ArcInfo na podstawie numerycznego modelu wysokości  
Fig. 15. A picture of slope aspect generated by ArcInfo system basing on a digital elevation model



Ryc. 14. Obraz nachyleń stoków wygenerowany w systemie ArcInfo na podstawie numerycznego modelu wysokości  
Fig. 14. A picture of sloping generated by ArcInfo system basing on a digital elevation model



Ryc. 16. Obraz zakrzywienia powierzchni wygenerowany w systemie ArcInfo na podstawie numerycznego modelu wysokości  
Fig. 16. A picture of a surface curve generated by ArcInfo system basing on a digital elevation model

zarówno do zjawisk fizycznych jak i społeczno-gospodarczych. Polega ono na budowaniu modeli zjawisk, uwzględniających jednocześnie aspekt przestrzenny i funkcjonalny, przy czym modele mogą mieć charakter wyjaśniający lub predykcyjny. Pierwsze służą do opisu rozmieszczenia zjawiska, wynikającego z zależności między elementami i właściwościami środowiska geograficznego, drugie służą do wyjaśniania zmian w obrębie zjawiska w sytuacji zmiany jednego lub kilku czynników.

Z przedstawionego powyżej przeglądu metod analiz przestrzennych i modelowania w GIS wynika, że wszystkie metody należące tradycyjnie

do kartograficznej metody badań, mogą być obecnie realizowane za pomocą GIS. Systemy te nie tylko przyspieszają czasochłonne obliczenia, ale przede wszystkim rozszerzają zakres analizy, poprzez możliwość zmiany parametrów poszczególnych operatorów oraz łączenia różnych operacji. Nie wydaje się zatem uzasadniona obawa kartografów, że GIS spowodują upadek kartografii, można raczej sądzić, że wręcz przeciwnie – właściwie przez kartografów wykorzystywane, mogą przyczynić się do jej rozwoju.

## Literatura

- Berlant A.M., 1978, *Kartograficzeskij metod issledowanija*. Moskwa: Izdat. Mosk. Uniw., 254 s.
- Bernhardsen T., 1999, *Geographic Information Systems, an introduction*. New York: Wiley.
- Clarke K.C., 1998, *Analytical and computer cartography*. Prentice Hall, N. Jersey.
- Delaney J., 1999, *Geographic Information Systems, an introduction*. New York: Oxford Univ. Press.
- Domański R., 1982, *Teoretyczne podstawy geografii ekonomicznej*. Warszawa: PWE.
- Frank A.U., 1995, *Geographic Information Systems – Materials for a Post-Graduate Course*. Vol. 1, *Spatial Information*, Dept. of Geoinformation, TU Wien.
- Franklin R., 2000, *Applications of analytical cartography*. „Cartography and Geogr. Inform. Science” Vol. 27, no. 3, s. 225–237.
- Guth P.L., 1995, *Slope and aspect calculations and gridded digital elevation models: examples from a geomorphometric toolbox for personal computers*. „Zeitschr. für Geomorph.”, Neue Folge, Suppl. Bd 101, s. 31–52.
- Kimerling A.J., 1989, *Cartography*. W: Gaile G., Willmot C.: *Geography in America*, Columbus, Ohio, s. 686–718.
- Kistowski M., Iwańska M., 1997, *Systemy informacji geograficznej. Zastosowania w badaniach środowiska geograficznego*. Poznań: Bogucki, Wydawnictwo Naukowe.
- Kolejka J., 2002, *Integracja warstw i zjawisk w systemach informacji geograficznej*. W: Główne problemy współczesnej kartografii „Świat mapy, świat na mapie”, Wrocław: Uniwersytet Wrocławski, s. 94–107.
- Kraak M.-J., 1998, *Kartograficzna metoda badań: mapy jako narzędzia odkryć*. VIII Konferencja Naukowo-techniczna „Systemy Informacji Przestrzennej”. Warszawa: Pol. Tow. Inform. Przestrz., s. 251–268.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.A., Rhind D.W., 2001, *Geographic Information Systems and Science*. New York: Wiley.
- MacEachren A.M., 1998, *Wizualizacja – kartografia XXI wieku*. VIII Konferencja Naukowo-techniczna „Systemy Informacji Przestrzennej”. Warszawa: Pol. Tow. Inform. Przestrz., s. 239–250.
- Magnuszewski A., 1999, *GIS w geografii fizycznej*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Maguire D.J., Goodchild M.F., Rhind D.W., 1991, *Geographical Information Systems; Principles and applications*. Essex: Longman.
- Mark D., 2000, *Geographic Information Science: Critical issues in an emerging cross-disciplinary research domain*. „Journal of the Urban and Regional Information Systems Association” Vol. 12, no. 1, s. 45–54.
- Moellering H., 2000, *The scope and conceptual content of analytical cartography*. „Cartography and Geogr. Inform. Science” Vol. 27, no. 3, s. 205–223.
- Mościbroda J., 1999, *Mapy statystyczne jako nośnik informacji ilościowej*. Lublin: Wydawn. UMCS.
- Muller J.-C., 1991, *Advances in cartography*. London: Elsevier.
- Pannekoek A.J., 1967, *Generalized contour maps, summit level maps and streamline surface maps as geomorphological tools*. „Zeitschr. für Geomorphologie” B. 11, H. 2, s. 169–182.
- Ratajski L., 1989, *Metodyka kartografii społeczno-gospodarczej*. Warszawa: PPWK.
- Robinson A.H., 1982, *Early thematic mapping in the history of cartography*. Chicago: Univ. Of Chicago Press.
- Saliszczew K.A., 1955, *O kartograficzeskom metodie issledowanija*. „Wiestn. Moskow. Uniw., Ser. Geogr.”, nr 10, s. 161–170.
- Tobler W.R., 1959, *Automation and cartography*. „Geogr. Review” Vol. 49, no. 4, s. 526–534.
- Tobler W.R., 1961, *Geographical filters and their inverses*. „Geogr. Analysis” Vol. 1, no. 3.
- Tobler W.R., 1967, *Of maps and matrices*. „Journal of Regional Science” Vol. 7, no. 2, s. 275–280.
- Tobler W.R., 1976, *Analytical cartography*. „The American Cartogr.” Vol. 3, no. 1, s. 21–31.
- Tobler W.R., 2000, *The development of analytical cartography: a personal note*. „Cartography and Geogr. Inform. Science” Vol. 27, no. 3, s. 189–194.
- Tomlin C.D., 1990, *GIS and cartographic modelling*. New Jersey: Prentice Hall.
- UCGIS (Univesity Consortium for Geographic Information Science), 2000, *Emerging themes in GIScience research*. <http://www.ucgis.org>

- Urbański J., 1997, *Zrozumieć GIS. Analiza informacji przestrzennej*. Warszawa: PWN.
- Widacki W., 1997, *Wprowadzenie do systemów informacji geograficznej*. Kraków: Inst. Geogr. UJ.
- Wieczorek M., 2002, *Wpływ metod interpolacji na obraz poziomicowy*. Praca magisterska wykonana

w Zakładzie Kartografii Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.

- Żyszkowska W., 1980, *Analiza charakterystycznych cech rzeźby na podstawie numerycznych modeli terenu*. Praca doktorska, maszynopis. Uniwersytet Wrocławski, Wrocław.

*Recenzował dr Artur Magnuszewski*

## Spatial analysis in Geographic Informations Systems

### Summary

Maps are basic tools in many branches dealing with geographic space; map analysis belongs to primary research methods of natural science. These methods, which are a part of 'cartographic research method' (K.A. Salishchev 1955), include: description basing on a visual analysis of a map, graphic methods, grapho-analytical methods, cartometry, morphometry, mathematical analysis methods, statistical methods and information theory methods (A.M. Berlant 1978).

In American cartography, W.R. Tobler started so called 'analytical cartography', which bases on quantitative, mathematical and statistical relations between geographical phenomena. It covers basic cartographic issues: transformations of map projections, transformations of point, linear and spatial objects, affinal transformations, transformations of statistical surfaces and structure of map data as well as volumetric transformations (J.-C. Muller 1991, A.J. Kimerling 1989, K.C. Clarke 1998, H. Moellering 2000). Data transformation is performed by computer systems, mainly geographical information systems, which are considered to be the natural successor of the methods of spatial phenomena analysis (P.A. Longley et al. 2001), known from cartographic research method. The main difference between cartographic research method and analytical cartography lies in scope of research. The first concentrates mainly on formal aspect of methods and interpretation

of results, the second stresses basic problems and terms of the field. The character of computer systems changed the approach to methods and rules of parameter assignment. Analytical cartography is currently linked to a new scientific discipline connected to spatial information systems 'Geographic Information Science' (D. Mark 2000, H. Moellering 2000).

In GIS there exist many methods of data transformation, basing on various principles, which are specified in software manuals and GIS handbooks. They can be divided into several groups, differing in complexity and character of operation. These methods are described in the article.

Application of various types of analyses and operations in GIS systems is labeled 'cartographic modeling' (C.D. Tomlin 1990, J. Delaney 1999); it can refer to physical as well as socio-economic phenomena. It depends on phenomena models, which simultaneously take into account spatial and functional aspects. The models can be of explanative or predictive character.

All methods, which traditionally belonged to cartographical research method can now be realized with GIS. When used properly, they can add to its development.

*Translated by M. Horodyski*

## Пространственные анализы в системах географической информации

### Резюме

Карты принадлежат к основным орудиям труда во многих областях, а их анализ – к основным исследовательским методам естественных наук. Эти методы, зачисляемые к «картографическому методу исследования» (К.А. Салищев 1955), охватывают: описание на основе зрительного анализа карты, графические приёмы, аналитические приёмы, картометрию, морфометрию, приёмы математического анализа, математическо-статистические приёмы, а также приёмы теории информации (А.М. Берлянт 1978).

В американской картографии В.Р. Тоблер положил начало направлению, называемому «аналитической картографией», которое сосредотачивается на количественных, математических и статистических зависимостях между географическими объектами и их характерными чертами. Она охватывает основные

картографические вопросы, как: трансформации картографических проекций, трансформации касающиеся точечных, линейных и площадных объектов, аффинические трансформации, трансформации статистических поверхностей и структуры данных карты, анализа рельефа, а также объёмные трансформации (J.-C. Muller 1991, A.J. Kimerling 1989, K.C. Clarke 1998, H. Moellering 2000). Обработка данных производится с помощью компьютерных систем, прежде всего систем GIS, которые считаются натуральным преемником метода анализа пространственных явлений (P.A. Longley и др. 2001). Основная разница между картографическим методом исследования и аналитической картографией состоит в определении объёма исследовательской проблематики. Первый сосредотачивается, главным образом, на

формальной стороне приёмов и интерпретации их результатов, зато вторая делает упор на основные проблемы и понятия этой области, причём специфика компьютерных систем вызвала изменение подхода к методам и принципам определения параметров. Аналитическая картография в настоящее время соединяется с новой областью науки, связанной с системами пространственной информации, с наукой о географической информации – GIScience (D. Mark 2000, H. Moellering 2000).

В системах GIS функционирует в настоящее время много методов обработки данных, основанных на разных принципах, описанных подробно в вспомогательных программах и учебниках из области GIS. Их можно разделить на несколько групп, зависимо от

сложности и характера операции. Эти методы кратко описаны в статье.

Применение разных видов анализов и операций в системах GIS определяется как *картографическое моделирование* (C.D. Tomlin 1990, J. Delaney 1999). Оно заключается в постройке модели явлений, учитывающих одновременно пространственный и функциональный аспекты, причём, модели могут иметь объясняющий или атрибутивный характер.

Все приёмы, принадлежащие к картометрическому методу исследования, могут сейчас осуществляться с помощью GIS, а правильно использованные, могут содействовать его развитию.

*Перевод Р. Толстикова*