

ZENON F. POŁAWSKI

## MODELOWANIE KARTOGRAFICZNE W GIS

*ZARYS TREŚCI: W artykule przedstawiono próbę zastosowania metod modelowania kartograficznego do oceny zmian środowiska geograficznego.*

### 1. WSTĘP

Stale rosnące potrzeby w zakresie pozyskiwania informacji o środowisku przyrodniczym otaczającym człowieka, postęp w technologii pozyskiwania i przetwarzania danych, większa dostępność do sprzętu komputerowego mogącego stanowić racjonalną podstawę do efektywnego działania systemów informacji przestrzennej i dostrzeżenie korzyści wynikających z wykorzystania informacji zgromadzonych w bazach danych spowodowały niezwykle szybki rozwój w dziedzinie informacji przestrzennej.

Przejawem tego postępu jest znaczny wzrost liczby informacji przetworzonych z postaci analogowej na cyfrową. Coraz liczniejsze są geograficzne bazy danych oraz prezentacje wyników prowadzonych analiz przestrzennych. Są to nie tylko wydawane drukiem mapy, ale coraz częściej także dane w postaci informacji zapisanych na nośnikach magnetycznych lub optycznych bądź wprost wprowadzone do sieci lokalnej lub globalnej jako mapy wirtualne (Makowski [1997]).

### 2. MODELOWANIE KARTOGRAFICZNE

Kształtowanie nowej treści mapy na podstawie istniejących opracowań kartograficznych może być prowadzone metodami tradycyjnymi, czego przykładem jest znana i stosowana od początku lat trzydziestych metoda nakładania map. Przypomnijmy, że polegała ona na wyrysowywaniu z map tematycznych konturów poszczególnych kategorii znajdujących się na mapie np. kompleksów litologicznych, typów użytkowania, by po nałożeniu tych konturów na siebie

wyrysować nową mapę przedstawiającą granice regionów (Widacki [1996]). Szerokie zastosowanie techniki cyfrowej w analizach przestrzennych zmieniło i sprowadziło proces tworzenia map, które są najczęściej efektem analiz geograficznych, do dwu zasadniczych operacji: modelowania kartograficznego i prezentacji kartograficznej. Przy czym ta pierwsza funkcja, jak podkreśla Makowski [1997], należy do gatunku działań mentalnych, które wywołują skutki poznawcze, a druga do gatunku ujęć materialnych mających charakter formalny oraz psychofizyczny. Podstawą tak rozumianego modelowania kartograficznego są najczęściej dane zawarte w bazach danych GIS, jest ono odniesione do wybranego fragmentu rzeczywistości geograficznej i wykonywane w określonym celu. Można więc powiedzieć, że *modelowanie kartograficzne to proces kreowania nowej jakościowo informacji, najczęściej w postaci mapy (analogowej bądź cyfrowej), której zakres tematyczny jest optymalny z punktu widzenia potrzeb użytkownika.*

Podstawą każdego procesu modelowania kartograficznego są dane geograficzne, które przedstawiają rzeczywistość za pośrednictwem obiektów zlokalizowanych i określonych przestrzennie. Tymi obiektami są najczęściej punkty, linie i powierzchnie, które mogą występować zarówno w postaci analogowej, zwanej również ciągłą, jak i cyfrowej, określanej także jako dyskretna (Gązdziński [1990]). Dane geograficzne cechują się wyraźną strukturą hierarchiczną, co oznacza, że każdy element jest podporządkowany jednemu elementowi nadrzędnemu i ma pewną liczbę elementów podrzędnych (rys. 1).



Rys. 1. Organizacja danych geograficznych (Tomlin [1989])

Podstawą hierarchicznej struktury danych geograficznych jest *model kartograficzny*, który jest graficzno-matematyczną reprezentacją zjawisk zachodzących w środowisku, najczęściej w postaci map. Generalnie rzecz biorąc, można go traktować jako zestaw map, które zawiera np. atlas. Mapy te są skonstru-

owane zgodnie z podstawami i zasadami przyjętymi w kartografii i tak zorganizowane, że informacje tematyczne znajdujące się na poszczególnych mapach odnoszą się do ściśle określonego terenu, który można nazwać *obszarem analizy*.

Każdy model kartograficzny zawiera dane określające jego rozmiar, lokalizację geograficzną lub inne cechy charakterystyczne dla terenu badań. Ponadto może zawierać informacje jak, kiedy i przez kogo był skonstruowany, jaka jest jego organizacja itd. Cyfrowym odpowiednikiem modelu kartograficznego w postaci analogowej jest poprawnie zorganizowana baza danych systemu informacji geograficznej.

Warto zauważyć, że model kartograficzny może przekazywać informacje o danym obszarze, będącym przedmiotem analizy, w sposób bezpośredni oraz pośredni. Każda z map tworzących model kartograficzny może opisywać np. użytkowanie i pokrycie terenu na analizowanym obszarze, rozkład przestrzenny terenów o szczególnych walorach przyrodniczych itp. Jednak sporo dodatkowych informacji o analizowanym terenie można uzyskać w sposób pośredni, analizując treść dwóch lub więcej map tematycznych, które ten model kartograficzny tworzą.

Te "ukryte informacje" o danym terenie, które zawiera model kartograficzny wynikają z przestrzennych i logicznych zależności zachodzących między danymi umieszczonymi w poszczególnych warstwach tematycznych tworzących model kartograficzny danego terenu. *Podstawowym zadaniem modelowania kartograficznego jest więc wybranie takiej drogi postępowania, która prowadziłaby do stosunkowo prostego sposobu uzyskania tych „ukrytych informacji” i przybrania przez nie jasnej i czytelnej formy dla prowadzącego analizy.*

Model kartograficzny to zestaw map tematycznych, które w przypadku danych o charakterze dyskretnym można określić mianem warstw tematycznych. *Warstwa tematyczna* jest w szerokim znaczeniu podobna do tradycyjnej mapy, na której za pomocą umownych znaków przedstawione są w przestrzeni geograficznej informacje o otaczającym nas środowisku. Model kartograficzny może zawierać wiele warstw tematycznych, które opisują i charakteryzują różne aspekty analizowanego obszaru. Jedna warstwa tematyczna modelu kartograficznego może charakteryzować jego topografię, inna gleby czy osadnictwo. Tak więc warstwa tematyczna obejmuje zwykle obiekty mające pewną cechę wspólną. Na przykład warstwa tematyczna „lasy” zawiera dane na temat wszystkich aspektów lasów i tylko lasów. Z kolei warstwa tematyczna „drogi” może zawierać informacje o sieci komunikacyjnej.

Składnikami definiującymi warstwę tematyczną są najczęściej jej nazwa, szczegółowość, orientacja oraz zawarte w niej obiekty.

*Nazwa warstwy tematycznej* jest określeniem typowo porządkującym. Za pomocą opisu lub innego przyjętego oznaczenia nadaje się unikalną nazwę mapie

wyróżniającą ją pośród wielu warstw tematycznych tworzących model kartograficzny. Nazwa ta powinna być jasno określona i adekwatna do opisywanych elementów.

Ważnym elementem charakteryzującym warstwę tematyczną jest jej *rozdzielczość*, którą można określić przyjmując terminologię tradycyjnej kartografii jako skalę. Rozdzielczość jest często utożsamiana z dokładnością lub szczegółowością. Należy pamiętać, że dokładność jest stałą cechą mapy nadaną w momencie jej tworzenia. Nie możemy w trakcie oglądania mapy zwiększyć jej dokładności. Możemy ewentualnie osiągnąć zmniejszenie dokładności jej prezentacji przez oglądanie jej na monitorze lub drukując na drukarce w niższej rozdzielczości niż jest przechowywana w bazie danych. Szczegółowość mapy jest zaś cechą, którą możemy w każdej chwili zmienić, np. zmniejszając liczbę prezentowanych obiektów lub ich opisów (Myrda [1998]).

Innym elementem określającym warstwę tematyczną jest jej *orientacja* w stosunku do kierunku północy. Jak wiemy, arkusz czytanej mapy ma swoją „górze i dół”. Minęło już kilka stuleci od czasu, gdy górną część mapy utożsamiano z kierunkiem północy, do czego zdążyliśmy się tak dalece przyzwyczaić, że mechanicznie nawet myślimy: „na górze” mapy, czyli na północy i „na dole”, czyli na południu (Robinson [1988]).

Warstwę tematyczną budują *obiekty*, czyli przestrzennie określone elementy rzeczywistości, które nie są podzielne na elementy tego samego rodzaju. Obiektem warstwy tematycznej o nazwie „pokrycie terenu” może być np. las, grunty orne bądź zabudowa wysoka. Obiekty zawarte w warstwie tematycznej mogą być zróżnicowane pod względem pojęciowym. Na przykład las jest pojęciem stosunkowo szerokim, natomiast zabudowa wysoka - zdecydowanie węższym.

Obiekty budujące warstwę tematyczną są najczęściej określane, nazywane i opisywane poprzez tzw. *etykiety* wskazujące istotę danego obiektu i będące najczęściej opisowymi atrybutami obiektów. I tak np. warstwę tematyczną pokrycia terenu tworzą obiekty o takich etykietach, jak lasy, tereny zdegradowane czy wody.

W przypadku analogowego obrazu obiektów, które tworzą warstwę tematyczną, a ta z kolei jest częścią modelu kartograficznego, są one reprezentowane przez barwę, deseń bądź symbol. W przypadku danych numerycznych obiekty są kwantyfikowane za pomocą kodu - najczęściej liczbowego.

Obiekty określone za pomocą etykiet, symbolu bądź oznaczone kodem są umiejscowione w przestrzeni kartograficznej, którą tworzy warstwa tematyczna. Położenie geograficzne poszczególnym obiektom warstwy tematycznej jest zaś nadawane poprzez *współrzędne*. Warstwa tematyczna w postaci wektorowej składać się będzie z obiektów opisanych współrzędnymi w określonym układzie współrzędnych, natomiast w przypadku warstwy tematycznej w postaci rastrowej obiekty ją tworzące będą odnoszone do regularnych pól podstawowych zorganizowanych w wiersze i kolumny.

### 3. INTERPRETACJA DANYCH GIS W PROCESIE MODELOWANIA KARTOGRAFICZNEGO

Założeniem modelowania kartograficznego jest kreowanie nowego pod względem treści obrazu kartograficznego. Te nowe treści są wypadkową prowadzonych analiz na podstawie posiadanej dokumentacji kartograficznej - najczęściej w formie cyfrowej. Ponieważ analizy takie mogą ułatwiać prowadzenie wielokierunkowych analiz środowiska, postanowiono więc wykorzystać metody modelowania kartograficznego do oceny zmian środowiska na porażonym poligonie Borne Sulinowo. Jest to o tyle istotne, iż zagospodarowanie przekazane władzom cywilnym poligonu wymaga rzetelnej dokumentacji kartograficznej, zawierającej opis aktualnego pokrycia terenu, jak i dynamiki oraz kierunków przekształceń środowiska.

Podstawą modelowania kartograficznego były informacje zawarte w relacyjnej bazie danych GIS, która została utworzona na podstawie danych pozyskanych w wyniku interpretacji panchromatycznych zdjęć lotniczych wykonanych w latach 1953 i 1993 oraz badań terenowych (*Identyfikacja...* [1994]). Wyniki interpretacji były doprowadzone do jednolitej skali 1:25 000 i odwzorowania Gaussa-Krügera (układ 1942), a utworzona na ich podstawie poprawna pod względem topologicznym baza danych GIS obejmowała trzy warstwy tematyczne:

- warstwę tematyczną przedstawiającą pokrycie terenu na poligonie w roku 1953 (pokr53.),
- warstwę tematyczną przedstawiającą pokrycie terenu na poligonie w roku 1993 (pokr93.),
- warstwę tematyczną przedstawiającą zanieczyszczenia i zniszczenia na poligonie w roku 1993 (degr93.).

Dwie pierwsze warstwy tematyczne tworzące model kartograficzny poligonu Borne Sulinowo zawierały obiekty o następujących etykietach i były zapisane za pomocą następujących kodów:

11 - tereny zdegradowane (obszary całkowicie pozbawione warstwy glebowo-roślinnej, powstałe w wyniku składowania i dystrybucji paliw oraz odpadów, budowy i eksploatacji obiektów inżynieryjno-technicznych, przemieszczania środków transportu i sprzętu specjalnego oraz prowadzenia ćwiczeń);

12 - murawy i wrzosowiska silnie zdegradowane (siedliska roślinności trawiastej w znacznej części pozbawione warstwy glebowo-roślinnej, powierzchniowy zasięg terenów zdewastowanych obejmuje od 50% do 80% analizowanej powierzchni);

13 - murawy i wrzosowiska zdegradowane (siedliska roślinności trawiastej z fragmentami zniszczonej części warstwy glebowo-roślinnej, powierzchniowy zasięg terenów zdewastowanych obejmuje do 50% analizowanej powierzchni);

14 - lasy zdegradowane (grunty leśne, na których występują drzewostany o zwarcu luźnym, drzewa utraciły wzajemny wpływ na siebie, a runo leśne i podszyt są zniszczone głównie w wyniku przejazdu środków transportu oraz składowania odpadów; klasa ta obejmuje także grunty leśne przejściowo pozbawione drzewostanu, np. zręby, pożarzyska);

15 - obiekty antropogeniczne (zabudowa mieszkaniowo-koszarowa i obiekty inżynierijno-techniczne wraz z placami i drogami dojazdowymi);

21 - wody (stawy, jeziora, ciek);

22 - tereny podmokłe (bagna, torfowiska), łąki (tereny o zwartych zespołach roślinności mezofitowej występujące w dolinach rzek);

25 - murawy i wrzosowiska (obszary, na których występują niskie i zwarte formacje roślinne składające się głównie z siedlisk roślinności trawiastej oraz krzewów, krzewinek, np. wrzosów, jałowca);

26 - murawy oraz zadrzewienia i zakrzaczenia (obszary pokryte roślinnością trawiastą wraz z zespołami roślinności drzewiastej i krzaczastej z często występującymi krzewami, kępami drzew lub luźno rosnącymi pojedynczymi drzewami);

27 - lasy zwarte (drzewostany, w których korony drzew stykają się brzegami bądź nachodzą na siebie);

28 - lasy rozluźnione (drzewostany, w których występują przerwy i luki);

29 - las w stanie zmian (zalesienia i odnowienia, obszary przejściowo pozbawione drzewostanu, na których prowadzone są prace odnowieniowe, bądź tereny opanowane przez gatunki drzewostanów pochodzące z samosiewu lub z odrośli, płazowiny i halizny).

Trzecia warstwa tematyczna zawierała natomiast obiekty o następujących etykietach, które były zapisane za pomocą następujących kodów:

30 - składowiska paliw;

31 - składowiska odpadów;

50 - zanieczyszczenia produktami ropopochodnymi;

51 - zanieczyszczenia substancjami chemicznymi.

Interpretacja jest procesem, którego istotą jest takie przełożenie jego potencjalnych możliwości, by wyrażały one jak najlepiej specyficzną naturę badanego zjawiska i były użyteczne w konkretnym przypadku. Należy pamiętać, że jest to proces, który może mieć zarówno subiektywny, jak i obiektywny wymiar. W przypadku modelowania kartograficznego elementem zasadniczym i podstawą prowadzenia analiz jest jedna, dwie lub więcej warstw tematycznych.

Analizy przebiegają najczęściej w ramach jednej warstwy tematycznej, tworzą nową warstwę z już istniejącej lub obejmują dwie lub więcej warstw tematycznych. Wynikiem prowadzonych analiz jest nowa - wyjściowa warstwa tematyczna.

Generalnie, modelowanie kartograficzne jest oparte na analizie obiektów zawartych w poszczególnych warstwach tematycznych i przebiega trzyetapowo. Pierwszym jest wybór z istniejących warstw tematycznych tworzących model kartograficzny danego terenu - warstwy (lub warstw), która będzie podlegała analizie. Następnie treść wybranej warstwy tematycznej jest przetwarzana według określonej procedury analitycznej, w wyniku czego powstaje nowa, pod względem zawartej w niej treści, warstwa tematyczna, która zasila model kartograficzny danego terenu. Może ona mieć charakter pośredni i wtedy jej treść może być analizowana w dalszych badaniach lub ostateczny.

#### 4. MODELOWANIE KARTOGRAFICZNE W ANALIZIE WYBRANYCH ASPEKTÓW ZMIAN ŚRODOWISKA

Proces modelowania kartograficznego może wykorzystywać bardzo wiele funkcji analitycznych. W naszym przypadku podstawą do aplikacji założeń modelowania kartograficznego było oprogramowanie MapInfo. Wybór taki wynikał ze znacznych możliwości analitycznych i użytkowych, jakie daje ten pakiet typu desktop GIS. Zalety tego oprogramowania potwierdza też znaczna liczba użytkowników (Myrda [1997]).

Jednym z najczęściej stosowanych metod modelowania kartograficznego są metody rekasyfikacji. Pozwalają one na selekcję danych przestrzennych na warstwie tematycznej w celu uzyskania nowego obrazu, z reguły o treści zgeneralizowanej. Podstawowymi metodami przeklasyfikowania danych są analizy wyodrębniania i agregacji. Przypomnijmy, że pierwsza z wymienionych operacji polega na wyeksponowaniu na mapie (w przypadku danych analogowych) co najmniej jednej wybranej klasy, przy jednoczesnym połączeniu pozostałych klas nie będących w danym momencie przedmiotem zainteresowania użytkownika. Grupowanie (agregacja) zaś polega na połączeniu kilku klas w jedną, zgodnie z kryteriami przyjętymi przez użytkownika, przy jednoczesnym pozostawieniu bez zmian pozostałych klas (Kistowski, Iwańska [1997]).

Procedury te okazały się bardzo pomocne w określeniu dynamiki degradacyjnych zmian pokrycia terenu na obszarze byłego poligonu wojskowego, czyli określeniu przestrzennego rozkładu obszarów zniszczonych w latach 1953-1993. Na pierwszym etapie analiz wyznaczono na obszarze poligonu Borne Sulinowo ogół terenów zniszczonych i zdegradowanych w 1953 r. Podstawą do modelowania takiego ujęcia treści była warstwa tematyczna przedstawiająca pokrycie terenu na poligonie w roku 1953 (pokr53.). W ramach wyselekcjonowanej warstwy tematycznej dokonano agregacji obiektów o kodach: 11, 12, 13,

14, 15, a następnie grupowania pozostałych obiektów (kody: 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29). Efektem takiego podejścia było uzyskanie nowej warstwy tematycznej (terz53.), która przedstawiała tereny zniszczone i zdegradowane w 1953 r. na poradzieckim poligonie Borne Sulinowo (rys. 2a). Podobną procedurę zastosowano w stosunku do warstwy tematycznej pokrycie terenu w 1993 r. (pokr93.). W wyniku tego postępowania powstała następna warstwa tematyczna (terz93.) składająca się, podobnie jak w poprzednim przypadku, z obiektów o następujących etykietach: tereny zdegradowane i zniszczone oraz inne elementy pokrycia terenu, co ilustruje rysunek 2b zamieszczony w tekście.

W większości przypadków funkcje analityczne oprogramowań stosowanych w modelowaniu kartograficznym są najczęściej powiązane z oprogramowaniem pozwalającym na analizę liczbową i graficzną uzyskanych wyników. Analizując treść opracowanych map (rys. 2a, 2b) oraz pozyskane dane statystyczne można stwierdzić, że w latach 1953-1993 zniszczenia i zanieczyszczenia terenu spowodowane w wyniku stacjonowania na tym obszarze wojsk radzieckich objęły powierzchnię ponad 6100 ha, co stanowiło jedną trzecią powierzchni całego poligonu Borne Sulinowo. Warto zaznaczyć, że w 1953 r. tereny zniszczone i zanieczyszczone obejmowały łącznie 2499,1 ha, co stanowiło 13,2% całej powierzchni i były przeważnie skoncentrowane w północnej i zachodniej części poligonu, co wyraźnie ilustruje zamieszczona mapa (rys. 2a). Czterdzieści lat później zniszczenia i zanieczyszczenia objęły także centralne obszary poligonu, a ich powierzchnia wzrosła ponad dwukrotnie i objęła blisko 30 % powierzchni badanego obiektu (rys.2b).

Nakładanie obiektów przestrzennych i analizy dokonywane na ich podstawie to jedno z najważniejszych zastosowań GIS w modelowaniu kartograficznym. Proces nakładania warstw tematycznych automatyzuje procedury stosowane we wszystkich dziedzinach związanych z operacjami przestrzennymi. Jest on szczególnie istotny w badaniach zjawisk zmieniających się w czasie. Jego istota polega na nałożeniu kilku warstw tematycznych w celu dokonania analizy np. oceny zmian pokrycia terenu i otrzymania nowej mapy wynikowej (warstwy tematycznej). Procedury nakładania można wykonywać zarówno na danych w postaci rastrowej, jak i wektorowej. Przy nakładaniu map (warstw tematycznych) stosuje się cztery podstawowe operacje logiczne wykorzystujące zasady tzw. algebry bullowskiej, co przedstawia załączony schemat (rys. 3). Z analizy treści rysunku wynika, że wynik nałożenia obiektów przestrzennych na nowej mapie może być różny w zależności od zastosowania algorytmu (iloczyn logiczny, suma logiczna, alternatywa rozłączna i różnica logiczna). I tak na przykład nakładając mapę pokrycia terenu w 1953 r. na dane o pokryciu terenu w 1993 r. oraz wybierając z treści tych map wydzielenie „las” oraz „las zdegradowany”, stosując operację zwaną *iloczynem logicznym*, otrzymamy na mapie wyjściowej te tereny leśne, które zostały zdegradowane, a więc obszary będące lasem w 1953 r., a w roku 1993 - lasem zdegradowanym. Analizując dwie mapy



przy zastosowaniu operacji *sumy logicznej*, otrzymamy na mapie wyjściowej wszystkie tereny leśne zarówno zdegradowane, jak i nie zdegradowane. Przy aplikacji operacji *alternatywy rozłącznej* na mapie wyjściowej zostaną przedstawione wszystkie tereny leśne z wyłączeniem tych, które w 1993 r. były lasami zdegradowanymi, a poprzednio, czyli w 1953 r., były lasem. Ostatnim z prezentowanych zastosowań operacji nakładania warstw tematycznych jest *różnica logiczna*, która pozwala na wyznaczenie tych terenów, które zarówno na pierwszej z analizowanych map, jak i na drugiej były lasami, czyli nie uległy zmianie.

Przykładem zastosowania techniki nakładania warstw tematycznych w modelowaniu kartograficznym może być określenie za pomocą tych procedur kierunków zmian pokrycia terenu na poligonie. Biorąc pod uwagę długotrwałość oddziaływania procesów degradacyjnych, specyfikę źródeł zanieczyszczeń - szczególnie ich wysoką toksyczność oraz fakt, że wiele z wykrytych zanieczyszczeń ma właściwości kancerogenne i znaczny czas rozkładu i neutralizacji, ważne jest określenie czy obecny teren na którym występują np. murawy i wrzosowiska bądź lasy nie był w przeszłości miejscem składowania odpadów, magazynem bojowych środków chemicznych czy też terenem prowadzenia intensywnych ćwiczeń bojowych oraz wskazanie kierunków zmian pokrycia terenu i prezentacja kartograficzno-statystyczna tych procesów.

W tym przypadku na dane o pokryciu terenu na poradzieckim poligonie wojskowym w 1953 r. (pokr53.) zostały „nałożone” dane o pokryciu terenu z 1993 r. (pokr93.). Analiza związków między rozkładem przestrzennym elementów pokrycia terenu na jednej i drugiej warstwie tematycznej pozwoliła na opracowanie nowej warstwy tematycznej, która zawierała informacje o korelacji między poszczególnymi klasami pokrycia terenu. Zbieżność elementów pokrycia terenu została określona na warstwie wynikowej jako tereny, na których nie wystąpiły zmiany pokrycia terenu na obszarze Bornego Sulinowa w latach 1953-1993. Brak koincydencji między poszczególnymi elementami pokrycia terenu pozwolił na wyznaczenie obszarów, na których nie zaobserwowano zmian pokrycia terenu.

Rozkład przestrzenny obszarów o zmienionym i nie zmienionym pokryciu terenu na terenie poligonu Borne Sulinowo przedstawia rysunek 2c, natomiast dokumentację statystyczną tabela 1.

Tabela 1. Borne Sulinowo - zmiany pokrycia terenu w latach 1953-1993

| Pokrycie terenu  | Powierzchnia |       |
|--|--------------|-------|
|  | ha           | %     |
| Tereny, na których zaobserwowano zmiany pokrycia terenu    | 12288,15     | 64,9  |
| Tereny, na których nie zaobserwowano zmian pokrycia terenu | 6641,75      | 28,9  |
| Ogółem   | 18927,00     | 100,0 |

Z analizy danych zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że zmiany pokrycia terenu na poradzieckim poligonie miały znaczny zasięg powierzchniowy. Świadczy o tym fakt, że w ciągu 40 lat zaobserwowano je na obszarze ponad 12 tys. ha, co stanowiło blisko 65% całej powierzchni poligonu. Obszary, na których nie zaobserwowano w wyniku analizy zdjęć lotniczych zmian w pokryciu zajmowały obszar 6641,75 ha (28,9% ogólnej powierzchni). Proces przekształcenia środowiska może polegać zarówno na wzbogacaniu i powiększaniu pojemności ekologicznej danego układu przyrodniczego, wyrównywaniu skutków niewłaściwej gospodarki w środowisku, jak i na ograniczaniu lub całkowitym zaburzeniu istniejącego układu komponentów środowiska i przerwaniu związków między nimi (Richling [1993]).

Proces modelowania kartograficznego, którego efektem byłoby określenie charakteru zmian ekosystemów występujących na terenie poligonu Borne Sulino wymagał określenia wszystkich kombinacji zachodzących pomiędzy poszczególnymi obiektami zawartymi na wyznaczonych do analizy warstwach tematycznych i przebiegał następująco. Jeżeli dany obiekt, np. 13 - murawy i wrzosowiska zdegradowane (siedliska roślinności trawiastej z fragmentami zniszczonej części warstwy glebowo-roślinnej, powierzchniowy zasięg terenów zdezastowanych obejmuje do 50% analizowanej powierzchni), zawarty w warstwie tematycznej „pokrycie terenu” w 1953 r. (pokr53.) współwystępuje z obiektem np. 11 - tereny zdegradowane (obszary całkowicie pozbawione warstwy glebowo-roślinnej, powstałe w wyniku składowania i dystrybucji paliw oraz odpadów, budowy i eksploatacji obiektów inżynieryjno-technicznych, przemieszczania środków transportu i sprzętu specjalnego oraz prowadzenia ćwiczeń) na warstwie tematycznej pokrycie terenu w 1993 r. (pokr93.), to na warstwie tematycznej wynikowej (wyjściowej) taki przypadek wskazuje na to, że zmiany środowiska miały charakter degradacyjny. Jeżeli analizowany obiekt współwystępuje z obiektem o tej samej etykietce, to na warstwie wyjściowej zaznaczony jest jako obiekt, na którym nie wystąpiły zmiany pokrycia. Jeżeli zaś nasz analizowany obiekt "przechodzi" w obiekt np. „murawy oraz zadrzewienia i zakrzaczenia” (obszary pokryte roślinnością trawiastą wraz z zespołami roślinności drzewiastej i krzaczastej z często występującymi krzewami, kępami drzew lub luźno rosnącymi pojedynczymi drzewami), to mamy do czynienia ze zmianami środowiska o charakterze maskująco-regeneracyjnym.

Z analiz tych wynika, co ilustruje treść nowo opracowanej warstwy tematycznej (rys. 2d), że w przypadku Bornego Sulino zmiany środowiska miały przeważnie charakter degeneracyjny, a więc spowodowały nieodwracalne i szkodliwe konsekwencje dla środowiska. Przeobrażenia pokrycia terenu wystąpiły na powierzchni blisko 6 tys. ha, czyli na ponad 30% ogólnej powierzchni poligonu, co potwierdzają dane statystyczne zamieszczone w tabeli 2.

Tabela 2. Borne Sulinowo - charakter zmian pokrycia terenu w latach 1953-1993

| Charakter zmian pokrycia terenu  | Powierzchnia |       |
|----------------------------------|--------------|-------|
|                                  | ha           | %     |
| Zmiany degeneracyjne             | 5965,25      | 31,5  |
| Zmiany maskująco-regeneracyjne   | 6320,00      | 33,4  |
| Tereny bez zmian pokrycia terenu | 6641,75      | 35,1  |
| Ogółem                           | 18927,00     | 100,0 |

Wystąpiły także - na co warto zwrócić uwagę - zmiany środowiska, które może nie tyle wyrównywały skutki niewłaściwej gospodarki środowiskiem wskutek świadomej proekologicznej polityki użytkownika, ile raczej miały charakter maskujący, bądź - jak w przypadku drzewostanów (samosiewy) - nastąpiło samoczynne wzbogacanie układu przyrodniczego na analizowanym terenie. Taki charakter zmian objął obszar ponad 6 tys. ha, co stanowiło ponad 33% ogólnej powierzchni poligonu. Tak więc te dwa główne typy zmian równoważyły się.

Jak wykazały przeprowadzone badania terenowe (*Identyfikacja...* [1993]), podstawowym źródłem skażeń i zanieczyszczeń poligonu były składy paliw wraz z rurociągiem paliwowym oraz składowiska różnego typu odpadów. Występowanie tych skażeń ilustruje warstwa tematyczna przedstawiająca zanieczyszczenia i zniszczenia na poligonie w 1993 r. (degr93.). Przenikanie do gleby substancji trujących miało niewątpliwy wpływ na kształtowanie się poziomu zanieczyszczeń wód podziemnych. Rozprzestrzeniają się one, na co wskazuje analiza treści przedstawionych map (rys. 4), z rejonu składów paliw w kierunkach zachodnim (W), północno-zachodnim (NW) oraz wschodnim (E). Groźne wydaje się szczególnie rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w kierunkach północnym (N) i zachodnim (W) z uwagi na sąsiedztwo jeziora Pile. Zagrożenie środowiska przyrodniczego wpływami antropogenicznymi może być analizowane na podstawie tzw. opcji buforowych. Grupa analiz sąsiedztwa opiera się głównie na tworzeniu buforów wokół obiektów przestrzennych (punktów, linii, poligonów) i ma na celu wyznaczenie obszaru o określonym promieniu otaczającego dany obiekt. Wyznaczanie obszaru buforowego służy do wskazania obiektów znajdujących się w określonej odległości od obiektu o szkodliwym oddziaływaniu na środowisko i stwierdzenia jakie obiekty mogą być narażone w hipotetycznej strefie oddziaływania.

Wyznaczona na podstawie informacji zawartych w warstwie tematycznej (degr.93.) 500-metrowa strefa buforowa wokół terenów zniszczonych i zanie-

czyszczonych wskazuje na duże zagrożenie wód powierzchniowych. Choć pomiary terenowe nie potwierdzają zanieczyszczeń jeziora Pile, na co może mieć wpływ złożona budowa geologiczna terenu poligonu, a co się z tym wiąże - prędkość przepływu wód podziemnych, to warto jednak zasygnalizować ten problem.

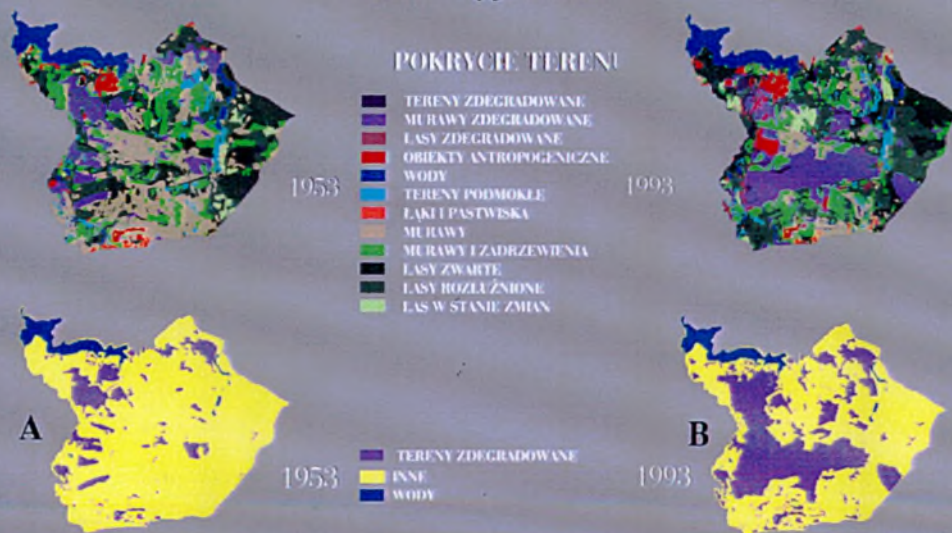
Obszary najbardziej skażone i zanieczyszczone koncentrują się w północno-zachodniej części poligonu, w sąsiedztwie strefy koszarowej i jeziora Pile (rys. 4) i obejmują obszar 2140,39 ha, co stanowi ponad 11% całego analizowanego terenu. Opracowana na podstawie analiz przestrzennych warstwa tematyczna, która powstała w wyniku przecięcia warstwy tematycznej "pokrycie terenu w 1993 r." (pokr.93.) z warstwą tematyczną "obszary zanieczyszczeń i skażeń" (degr.93.) wskazuje m. in. na strukturę terenów zdewastowanych i zagrożonych (tab. 3). Dane zamieszczone w tabeli 3 wykazują, że skażenia i zanieczyszczenia środowiska objęły głównie klasę drzewostanów zwartych i rozluźnionych (ponad 42% całkowitej powierzchni zdegradowanej).

*Tabela 3. Borne Sulinowo - struktura terenów zniszczonych i zanieczyszczonych (stan na 1993 r.)*

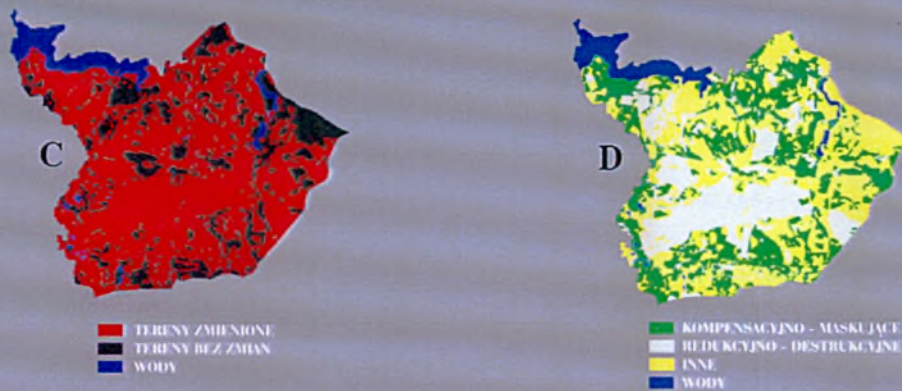
| Klasa pokrycia terenu                      | Powierzchnia |       |
|--|--------------|-------|
|  | ha           | %     |
| Tereny zdegradowane                        | 145,55       | 6,8   |
| Murawy i wrzosowiska zdegradowane          | 183,61       | 8,6   |
| Obiekty antropogeniczne                    | 328,04       | 15,3  |
| Wody                                       | 308,58       | 14,4  |
| Tereny podmokłe                            | 2,75         | 0,2   |
| Łąki                                       | 21,93        | 1,0   |
| Murawy i wrzosowiska                       | 39,24        | 1,8   |
| Murawy i wrzosowiska wraz z zadrzewieniami | 172,10       | 8,0   |
| Lasy zwarte                                | 538,36       | 25,3  |
| Lasy rozluźnione                           | 363,38       | 16,9  |
| Las w stanie zmian                         | 36,85        | 1,7   |
| Ogółem                                     | 2140,39      | 100,0 |

Rys.2 Analiza geograficzna danych przestrzennych

Dane wyjściowe



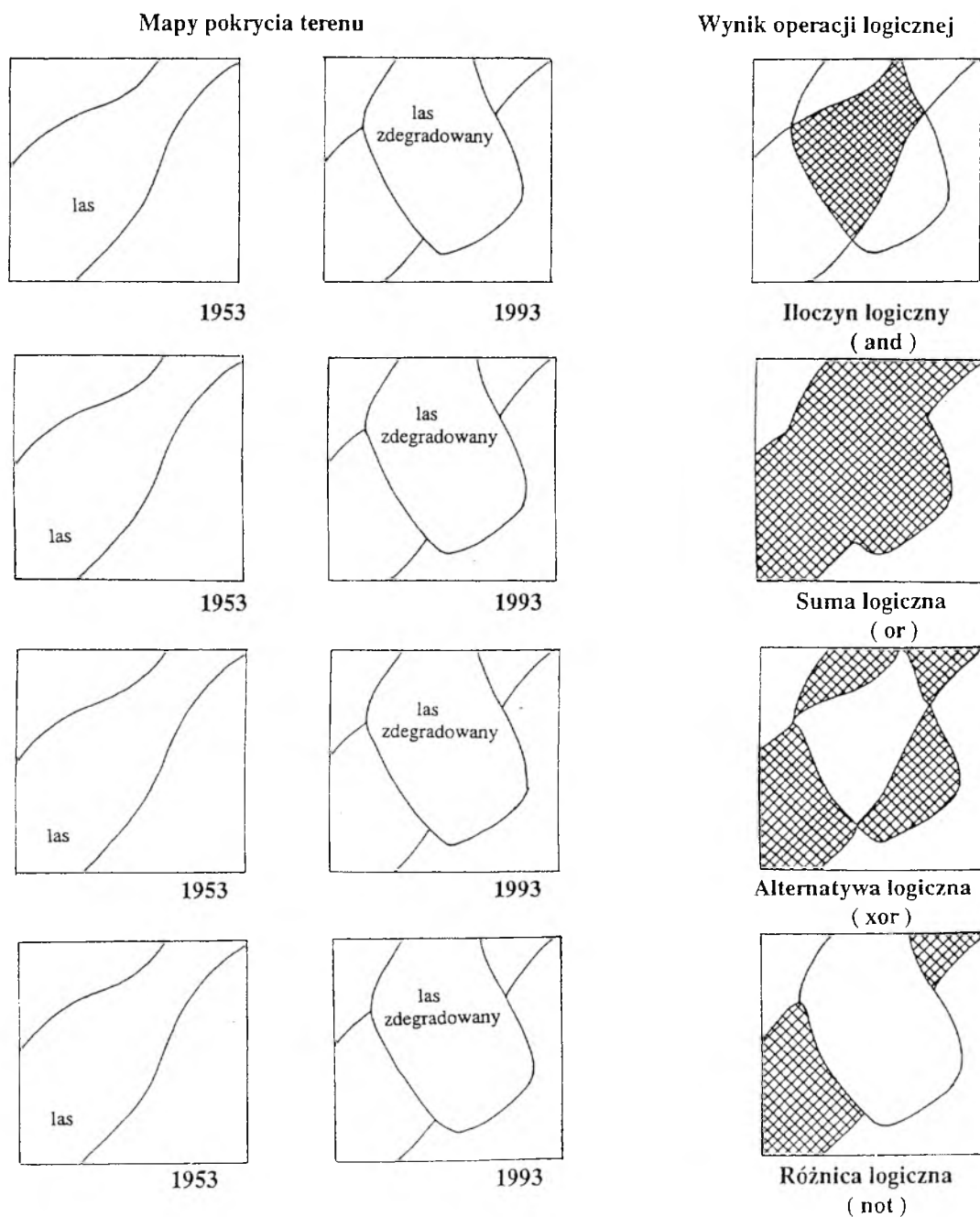
Wynik reklasyfikacji obiektów



Wynik nakładania obiektów przestrzennych



Rys. 3 Operacje logiczne przy nakładaniu map

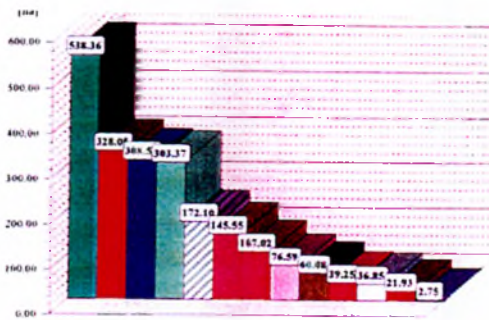
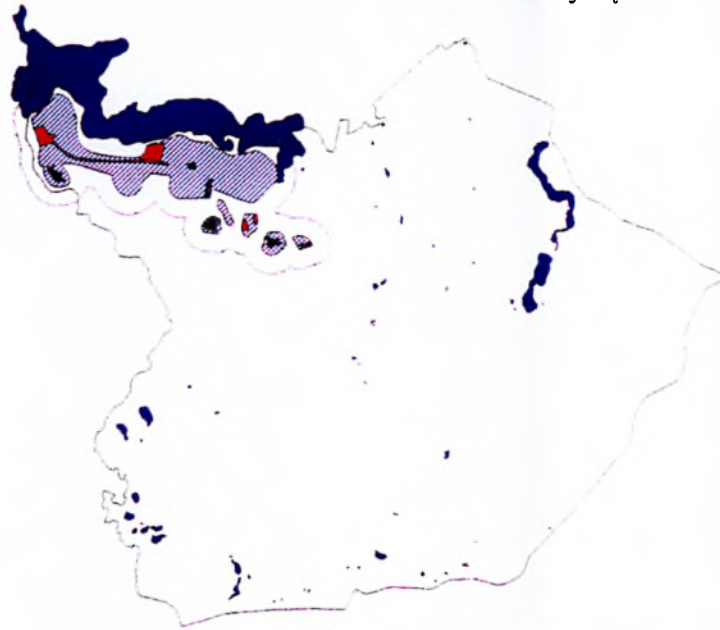


Opracowano na podstawie P.A Burrough ( 1989 )





Rys.4 Modelowanie kartograficzne - analizy sąsiedztwa



Obszary zanieczyszczeń i skażeń

- Składowiska paliw
- Składowiska odpadów
- Zasięg zanieczyszczeń gruntów produktami ropopochodnymi
- Zasięg zanieczyszczeń gruntów substancjami chemicznymi
- Zasięg zanieczyszczeń wód podziemnych
- Zasięg wpływu zanieczyszczeń wód podziemnych (strefa 500 m)



Pokrycie terenu

- Tereny zdegradowane
- Murawy i wrzosowiska silnie zdegradowane
- Murawy i wrzosowiska zdegradowane
- Lasy zdegradowane
- Obiekty antropogeniczne
- Wody (stawy, jeziora, ciekł)
- Tereny podmokłe (bagna, torfowiska)
- Grunty bms
- Łąki
- Murawy i wrzosowiska
- Murawy i wrzosowiska oraz zadrzewienia i zakrzaczenia
- Lasy zwane
- Lasy rozluźnione
- Zalesienia i odnowienia



## 5. ZAKOŃCZENIE

Nowe treści map, które powstały na podstawie analizy danych zgromadzonych w geograficznej bazie danych pozwoliły na wydobycie wielu dodatkowych informacji o przestrzennych i logicznych zależnościach zachodzących między różnymi komponentami środowiska badanego terenu. Możliwość kartograficzno-statystycznej prezentacji tych "ukrytych informacji" sprawia, że metody modelowania kartograficznego wzbogacają model kartograficzny analizowanego obszaru o nowe warstwy tematyczne i tym samym rozszerzają możliwości badań środowiska geograficznego.

Zastosowane i zaprezentowane powyżej funkcje analityczne modelowania kartograficznego nie wyczerpują, rzecz jasna, wszystkich możliwości, jakie daje ten rodzaj analiz w badaniach środowiska. Mają one, z konieczności, ograniczony zakres i raczej charakter propozycji niż gotowej metodyki. Wynika to z faktu, iż trudno o wypracowanie metod modelowania treści map, które byłyby optymalne w każdym analizowanym przypadku. Proces modelowania kartograficznego ma bowiem najczęściej charakter indywidualny, zależny w dużym stopniu od celu badań i charakteru prowadzonych analiz, zakresu tematycznego, wreszcie zasobów geograficznych baz danych.

## LITERATURA

1. Gaździcki J. [1990]: *Systemy Informacji Przestrzennej*. PPWK.
2. *Identyfikacja i wycena szkód ekologicznych spowodowanych przez stacjonujące w Polsce Wojska Federacji Rosyjskiej*. Warszawa 1994
3. Kistowski M., Iwańska M. [1997]: *Podstawy informacji geograficznej*. Poznań: BWN
4. Makowski A. [1997]: O mapie XXIV Ogólnopolska Konferencja Kartograficzna "Kartografia w ochronie środowiska przyrodniczego i zagospodarowaniu przestrzennym", Poznań.
5. Mills B. [1994]: *Map Algebra: an emerging standard for analysis GIS*. GIS Europe Vol. 3, nb. 9.
6. Myrda G. [1997]: *GIS czyli mapa w komputerze*, Helion.
7. Nyerges T. [1993]: *Understanding the Scope of GIS: Its Relationship to Environmental Modeling*.
8. Piotrowska J. [1997]: *Numeryczna mapa użytkowania ziemi w zlewni górnej Parsęty (Pomorze Zachodnie)* XXIV Ogólnopolska Konferencja Kartograficzna "Kartografia w ochronie środowiska przyrodniczego i zagospodarowaniu przestrzennym", Poznań.

9. Rickling A. [1996]: *Ekologia krajobrazu*. Warszawa: PWN
10. Robinson A. [1988]: *Podstawy kartografii*. Warszawa: PWN.
11. Tomlin C. D. [1990]: *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Prentice - Hall, Inc.
12. Werner P. [1992]: *Wprowadzenie do geograficznych systemów informacyjnych*. Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Warszawa.
13. Widacki W. [1996]: *Od papierowych map do systemów informacji geograficznej*. Czasopismo Geograficzne, LXVII, nr 3-4.

Recenzował: dr Marek Baranowski

ZENON F. POŁAWSKI

## CARTOGRAPHIC MODELLING AND GIS

### S u m m a r y

The term - cartographic modelling refers to the process of creating qualitatively new information, usually in the form of map, which has optimum thematic content from user's point of view. Geographic data, which represent reality through spatially defined objects, are the basis of each process of cartographic modelling. The most common objects are: points, lines and areas; they can appear both in analogue (continuous), as well as in digital (discrete) form.

In case of assessment of environmental changes on Borne Sulnowo post-Soviet military ground I used for cartographic modelling information contained in relational GIS database, which was created on the basis of data acquired as a result of interpretation of panchromatic aerial photographs taken in 1951 and 1993, as well as data collected through field works.

Process of cartographic modelling comprised many analytical functions. The most important were: re-classification, overlaying of spatial objects and neighbourhood analysis. New map contents, which were formed on the basis of these analyses, enriched cartographic model of the analysed area through adding new thematic layers. It enabled to acquire for the study area new additional information about spatial and logical relations between various environmental components.

Translatiom: Zbigniew Bochenek

*ЗЕНОН Ф. ПОЛАВСКИ*

## КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В GIS

### Резюме

Картографическое моделирование это процесс создания качественно новой информации, чаще всего в виде карты, тематический охват которой является оптимальным с точки зрения нужд потребителя. Основой каждого процесса картографического моделирования являются географические данные, которые представляют действительность с помощью объектов локализованных и определённых пространственно. Этими объектами чаще всего являются пункты, линии и поверхности, которые могут выступать как в аналоговой форме, называемой также непрерывной, так и в цифровой, определяемой также дискретной.

В случае оценки изменений географической среды на постсоветском полигоне Борне Сулиново основой картографического моделирования были информации, содержащиеся в реляционной базе данных GIS, которая была создана на основе данных, полученных в результате дешифрирования панхроматических аэрофотоснимков, выполненных в 1953 и 1993 годах, а также данных полевых исследований.

Процесс картографического моделирования охватывал много аналитических функций. К наиважнейшим принадлежали методы реклассификации, накладки пространственных объектов и анализа соседства. Новое содержание карт, которое появилось на базе этих анализов, обогатило картографическую модель анализируемой территории новыми тематическими слоями, что значительно расширило возможности исследования географической среды и разрешило извлечь много дополнительной информации о пространственных и логических зависимостях, происходящих между разными компонентами окружающей среды исследуемой местности.

Перевод: Róża Tolstikowa