

Anna Majchrowska

INTEGRACJA INFORMACJI POCHODZĄCYCH Z DAWNYCH MAP W SYSTEMACH GEOINFORMACYJNYCH

W artykule scharakteryzowane zostały wybrane teoretyczne i praktyczne problemy związane z wykorzystaniem informacji pochodzącej z dawnych map w systemach GIS. Przedstawiono procedurę integracji map historycznych w systemach GIS oraz przykład jej zastosowania w badaniach zmian użytkowania ziemi.

1. WPROWADZENIE

Dawne mapy stanowią cenne źródło informacji o środowisku przyrodniczym ostatnich 200 lat. Stosuje się je w badaniach użytkowania ziemi (Maruszczak 1950, Pietrzak 1975, Degórska 1996, Papińska 2001, Majchrowska 2002), szaty roślinnej (Plit 1996), stosunków wodnych i zagospodarowania wód (Krzemiński, Nowakowski 1980, Jankowska 1995) oraz rodzaju i natężenia procesów morfogenetycznych (Pietrzak 2002). Mapy są wykorzystywane do rekonstrukcji stanu środowiska w określonym momencie w przeszłości lub do analiz zachodzących zmian, dzięki porównaniu obrazów z różnych okresów. Niejednorodność informacji kartograficznej pochodzącej z kolejnych epok, wynikająca z ewolucji przekazu kartograficznego, utrudnia jej pełne wykorzystanie. Zarówno w ujęciu statycznym jak i dynamicznym integracja informacji pozyskiwanej z archiwalnych map w bazach systemów geoinformacyjnych może znacznie ułatwić i przyspieszyć prace badawcze, a także wpłynąć na rozszerzenie zakresu analiz ilościowych. Dzięki temu może wzrosnąć znaczenie archiwaliów kartograficznych jako materiału źródłowego w badaniach zmian środowiska przyrodniczego.

W niniejszym artykule przedstawiono procedurę służącą integracji w systemach GIS informacji pochodzących z historycznych map, a także przykłady jej zastosowania w celu oceny zmian użytkowania ziemi w Polsce Środkowej w okresie 1793–1990.

2. DAWNE MAPY JAKO MATERIAŁ ŹRÓDŁOWY W BADANIACH ZMIAN ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO

Wśród materiałów dokumentacyjnych wykorzystywanych w pracach o tematyce przemian środowiska w okresie historycznym dominującą rolę odgrywają dawne mapy. Spore zastrzeżenia budzi zazwyczaj ich dokładność, a szczególne utrudnienie stanowi niejednorodność informacji kartograficznej pochodzącej z map wykonanych za pomocą zróżnicowanych metod i przyrządów pomiarowych oraz stosujących odmienny styl i konwencję oznaczeń oraz interpretację niektórych wydzielen. Na dokładność map wpływ mają także warunki ich przechowywania i związane z nimi zniekształcenia papieru.

Porównywane dawne mapy różnią się nie tylko odwzorowaniem i skalą oraz obecnością zniekształceń cech geometrycznych, ale także zakresem treści i formami prezentacji. Przeprowadzając analizy należy więc uwzględnić fakt, że oprócz rzeczywistych zmian wielkości, liczby lub położenia badanych elementów można zaobserwować różnice pozorne, spowodowane zmianami cech wykorzystywanych map, głównie szczegółowości, np. zwiększeniem liczby wyróżnianych obiektów (Jankowska 1984). Powyższe właściwości map historycznych utrudniają przeprowadzanie analiz porównawczych. Jednak dzięki możliwości przetwarzania map za pomocą technik komputerowych wpływ wielu negatywnych cech może być zmniejszony lub zlikwidowany.

3. GIS JAKO NARZĘDZIE ANALIZY DANYCH PRZESTRZENNYCH

Systemy geoinformacyjne, powszechnie nazywane w skrócie GIS (od terminu angielskiego Geographical Information Systems), są szybko rozwijającą się informatyczną technologią danych przestrzennych. Są jednym z rodzajów systemów informacyjnych, czyli „układów przetwarzania informacji, składających się z celowo ze sobą powiązanych elementów, którymi są: źródła danych, metody ich gromadzenia i przetwarzania, kanały przepływu informacji, środki materialne i ludzie realizujący to przetwarzanie oraz miejsca przeznaczenia informacji” (Dominiński 1993). Z przytoczonej definicji wynika, że do głównych funkcji GIS jako systemów informacyjnych należą: 1) wprowadzanie danych i ich weryfikacja, 2) przechowywanie danych (w bazie danych), 3) analiza, 4) wyprowadzanie danych.

Do wykonywania wymienionych operacji stosowane są systemy komputerowe: zestawy sprzętu wraz z oprogramowaniem, co uprawnia do określania GIS mianem systemów informatycznych (Dominiński 1993).

Znane z literatury liczne definicje systemów informacji przestrzennej (Burrough 1986, Maguire 1991, Werner 1992, Urbański 1997, Kistowski, Iwańska 1997) podkreślają zgodnie, że przestrzenny (geo-

graficzny) charakter przetwarzanych danych jest zasadniczą cechą wyróżniającą GIS spośród innych systemów. Specyfika danych przestrzennych polega na tym, iż zawierają informacje o położeniu obiektów (materialnych i abstrakcyjnych) w przestrzeni dwuwymiarowej lub trójwymiarowej, w szczególności w stosunku do powierzchni Ziemi. Zdolność do integracji danych dotyczących różnorodnych, niepowiązanych ze sobą obiektów na podstawie ich lokalizacji jest najważniejszą cechą GIS.

Funkcje analityczne systemów geoinformacyjnych odnoszą się zarówno do przestrzennych, jak i do nieprzestrzennych atrybutów danych, a ich rozbudowany zakres wyróżnia GIS spośród innych dziedzin.

Zasadniczymi typami analiz przestrzennych (Burrough 1986, Berry 1987, Werner 1992, Cornelius, Heywood 1994, Urbański 1997), czyli odnoszących się do lokalizacji obiektów, do ich kształtu i właściwości topologicznych¹, są: 1) pomiary (odległości, powierzchni, obwodu, kształtu); 2) wyszukiwanie, którego rezultat stanowi odpowiedź na pytanie „gdzie jest ... coś”; 3) wskazywanie, dające odpowiedź na pytanie „co jest w danym miejscu”; 4) analizy sąsiedztwa, w których wartości przypisane punktowi o danym położeniu zależą od wartości otaczających go punktów (filtrowanie danych, pomiary spadku i ekspozycji) bądź od wartości przypisanych zbiorom, do których należy dany punkt (tworzenie buforów); 5) funkcje łączenia, zbierające i analizujące wartości wzdłuż pewnej drogi (np. analizy sieciowe), 6) nakładanie dwóch lub większej liczby warstw tematycznych, w którym końcowa wartość przypisana danemu punktowi jest funkcją wartości punktów o tej samej lokalizacji na warstwach składowych.

Tworzenie trójwymiarowego modelu terenu i interpolacja przestrzenna danych to przykłady innych typowych zastosowań programów z grupy systemów geoinformacyjnych. Wymienione funkcje nie wyczerpują możliwości analitycznych systemów, a kompletne listy operacji możliwych do wykonania przez poszczególne pakiety oprogramowania GIS są zróżnicowane. Wiązanie operacji przestrzennych w procedury i łączenie ich z analizami nieprzestrzennymi umożliwia zastosowanie modelowania oraz badanie złożonych zagadnień dotyczących środowiska geograficznego.

4. MODELE DANYCH PRZESTRZENNYCH

Żadne analizy nie są możliwe bez danych. Fakt ten uzasadnia duże znaczenie bazy danych dla funkcjonowania każdego systemu geoinformacyjnego. Ważna jest nie tylko merytoryczna zawartość bazy, ale również postać,

¹ Właściwości topologiczne to takie, które nie ulegają zmianie przy przekształceniach polegających na skręcaniu, rozciąganiu lub ściskaniu. Zalicza się do nich sąsiedztwo, zawieranie, przecinanie się i ciągłość (połączenie).

w jakiej dane dotyczące świata rzeczywistego są reprezentowane w systemie komputerowym. Forma danych wpływa na zdolność systemu geoinformacyjnego do dokładnego oddawania położenia obiektów, do określania relacji topologicznych oraz do wykonania niektórych analiz.

Jak użytkownik mapy, będącej modelem Ziemi lub jej fragmentu, znający kartograficzne konwencje prezentacji, potrafi na tej podstawie odtworzyć lokalizację różnorodnych obiektów i ich związki topologiczne, tak w przypadku GIS, procesor komputera, opierając się na pewnych regułach (sposobach) przedstawiania przestrzeni, musi być w stanie zrozumieć dane o położeniu określonych elementów rzeczywistości.

W GIS stosuje się dwie zasadnicze metody zapisu danych przestrzennych, które nazywane są również numerycznymi modelami przestrzennymi (G a ż d z i c k i 1990), modelami (K i s t o w s k i, I w a Ń s k a 1997) czy formatami danych przestrzennych (Werner 1992), lub modelami reprezentacji przestrzennej (W i d a c k i 1997). Są to metody rastrowa i wektorowa.

W modelu rastrowym konstrukcja obrazu przestrzennego oparta jest na siatce złożonej z jednakowych wieloboków, najczęściej z kwadratów. Siatka rastrowa może być interpretowana jako macierz o określonej liczbie kolumn i rzędów, a położenie pojedynczej komórki siatki – piksela – jest identyfikowane przez numery kolumny – x i rzędu – y . Dodatkowo, komórce przypisana jest liczba reprezentująca rodzaj przedstawianego obiektu (np.: 1 – las, 2 – użytki rolne, 3 – nieużytki) lub wartość jego cechy (np.: 5,2 – pH gleby).

Piksel w dwuwymiarowej macierzy może mieć przyporządkowaną tylko jedną liczbę określającą jego właściwość nieprzestrzenną, dlatego do przedstawienia wielu zagadnień dotyczących tego samego obszaru potrzebna jest odpowiednia liczba warstw tematycznych. Zbiór warstw tworzy bazę danych o terenie.

W formacie rastrowym dokładność lokalizacji jest ograniczona przez wielkość piksela. Zwiększając rozdzielczość przestrzenną pomnażamy liczbę komórek rastra składających się na obraz danego obszaru, a to wymaga od komputera większej ilości pamięci do przechowania tego obrazu.

W formacie wektorowym zasadniczymi elementami graficznymi służącymi do przedstawienia obiektów są punkty, linie i pola. Przypomina to tradycyjny sposób prezentacji obiektów na mapach za pomocą elementów punktowych (np.: odkrywki glebowe lub miasta – zależnie od skali), liniowych (np.: drogi lub rzeki – zależnie od skali) i powierzchniowych (np.: miasta lub użytkowanie ziemi). Lokalizacja obiektu o charakterze punktu określona jest przez współrzędne x , y . Ponieważ linie i poligony składają się z punktów, ich położenie oraz kształt opisują serie par współrzędnych x , y .

W topologicznym modelu wektorowym (G a ż d z i c k i 1990) baza danych przestrzennych ma postać zbioru tablic, w których oprócz współrzędnych

x , y punktów określanych w topologii jako węzły, znajdują się informacje o wzajemnym położeniu linii i poligonów. Poszczególne typy obiektów opisane są w odrębnych tablicach, a każdy wiersz w tablicy stanowi opis pojedynczego obiektu.

Cechy nieprzestrzenne także mogą być umieszczone w zbiorach tablic, razem z przestrzennymi lub oddzielnie. Łącznikiem pomiędzy częścią przestrzenną a nieprzestrzenną bazy danych są unikatowe identyfikatory przypisane jednocześnie każdemu obiektowi graficznemu i odnoszącemu się do niego atrybutowi, umieszczonemu w tablicy.

Podobnie jak w przypadku formatu rastrowego, bazy danych oparte na modelu wektorowym mają strukturę warstwową. Każda z warstw odpowiada oddzielnej mapie tematycznej i zawiera różne kategorie obiektów przedstawione za pomocą punktów, linii i poligonów. Wybór rodzajów obiektów umieszczanych w bazie danych zależy od przeznaczenia systemu.

Oba przedstawione numeryczne modele przestrzenne – rastrowy i wektorowy – mają swoje wady i zalety, a mocne i słabe strony każdego z nich przeważnie wzajemnie kompensują się. Główne różnice pomiędzy modelami dotyczą dokładności i precyzji lokalizacji obiektów, wielkości powstających zbiorów danych oraz rodzajów analiz możliwych do wykonania na podstawie struktury danych każdego z formatów, a właściwie stopnia trudności przeprowadzenia niektórych typów analiz. Obecnie ograniczenia towarzyszące stosowaniu któregoś z formatów tracą na znaczeniu, gdyż coraz łatwiejsze staje się przechodzenie z jednego modelu do drugiego. Przy wyborze modelu danych przestrzennych powinno się uwzględniać przede wszystkim naturę przedstawianych obiektów i zjawisk oraz związaną z tym akceptowaną dokładność reprezentacji (Widacki 1997), rodzaj prowadzonych analiz, postać danych źródłowych oraz możliwości sprzętu komputerowego. W praktyce jednak czynnikiem decydującym jest najczęściej rodzaj oprogramowania, którym się dysponuje, i postać danych źródłowych.

5. KOMPUTEROWE TECHNIKI PRZETWARZANIA MAP

Tworzenie, przekształcanie i analizowanie map za pomocą technik komputerowych (GIS) staje się powszechną praktyką. Taki sposób postępowania jest coraz częstszy również w badaniach przemian środowiska przyrodniczego wykorzystujących dawne mapy (Plit 1996, Papińska 2001, Majchrowska 2002, Pietrzak 2002).

Podstawową przesłanką stosowania systemów geoinformacyjnych w badaniach historycznych środowiska przyrodniczego jest obniżona dokładność wykorzystywanych archiwalnych map oraz ich zróżnicowanie pod względem

cech geometrycznych oraz szczegółowości (J a n k o w s k a 1995). Wpływ tych negatywnych właściwości dawnych map jako materiału porównawczego może być zmniejszony lub zlikwidowany dzięki przetworzeniu archiwaliów kartograficznych przy użyciu technik komputerowych. Nowoczesne metody zastępują tradycyjne pracochłonne planimetrowanie oraz ręczne dopasowanie i nakładanie treści map historycznych i współczesnych. Dodatkowo, odpowiednie przygotowanie informacji kartograficznej za pomocą sprzętu komputerowego i specjalistycznego oprogramowania stwarza nowe możliwości jej analiz oraz łączenia z innymi typami danych w systemach geoinformacyjnych.

Analiza merytoryczna dawnych map w GIS wymaga przetwarzania tradycyjnych materiałów kartograficznych na postać cyfrową. Istotnym etapem procedury przekształcania map jest ujednolicenie ich cech geometrycznych: układów odniesienia, współrzędnych i skali. Zbiory map o jednorodnych właściwościach geometrycznych stanowią podstawę do tworzenia warstw tematycznych. W tej fazie, gdy występują różnice szczegółowości map, można modyfikować formę i zakres prezentacji obiektów i zjawisk, na ogół przez generalizację map bardziej szczegółowych (nowszych). Ujednolicenie szczegółowości zapewnia porównywalność treści. Idealnie, porównywane mapy powinny mieć ten sam poziom generalizacji i opierać się na tej samej metodzie klasyfikacji. Zmiany szczegółowości map w rekonstrukcjach stanu środowiska w danym okresie w przeszłości zazwyczaj nie są celowe, gdyż można w ten sposób stracić część informacji przedstawionej na mapie.

Zapewnienie zarówno geometrycznej, jak i merytorycznej porównywalności map w GIS jest niezwykle istotne, gdyż łatwość z jaką można przeprowadzać operacje w GIS niesie ze sobą niebezpieczeństwo, że przeprowadzone analizy będą nielogiczne i nieodpowiednie do celu opracowania. Z drugiej strony ułatwienie i przyspieszenie analiz archiwaliów kartograficznych w porównaniu z pracochłonnymi, a nie zawsze obiektywnymi metodami manualnymi może się przyczynić do wzrostu znaczenia dawnych map jako materiałów źródłowych.

6. SCHEMAT DZIAŁAŃ PROWADZĄCYCH DO PRZYGOTOWANIA ZBIORÓW INFORMACJI STANOWIĄCYCH PODSTAWĘ OCENY ZMIAN ŚRODOWISKA

Procedura służąca do integracji informacji pochodzącej z historycznych map w spójnej bazie danych systemu geoinformacyjnego obejmuje wiele etapów:

- przetworzenie tradycyjnych dawnych map na postać cyfrową przy pomocy skanowania,

- identyfikacja punktów dostosowania,
- ustalenie współrzędnych punktów dostosowania,
- podstawienie danych do równania transformującego obraz archiwalnej mapy oraz akceptacja lub odrzucenie wyniku na podstawie oceny błędu transformacji,
- ujednolicenie szczegółowości informacji pochodzącej z dawnych map.

7. UJEDNOLICANIE CECH GEOMETRYCZNYCH

Dawne mapy skanowane są z rozdzielczością 200–300 dpi (Pauđitšova 2003, Pietrzak, Siwek 2000) w skali barwnej lub szarości, odpowiedniej do odczytania szczegółów rysunku. Skanowanie tworzy obraz na płaszczyźnie nieposiadający żadnej informacji dotyczącej układu współrzędnych. Zatem po zeskanowaniu obrazu historycznych map są importowane do systemu GIS umożliwiającego dalsze ich przetwarzanie w celu ujednolicenia cech geometrycznych oraz zakresu treści map i stworzenia spójnej bazy danych przestrzennych.

Korekta cech geometrycznych map polega na zlokalizowaniu zeskanowanych obrazów w przestrzeni dwuwymiarowej lub trójwymiarowej, a w szczególności w stosunku do powierzchni Ziemi. Rastrowy obraz dawnej mapy jest dopasowywany do układu współrzędnych geograficznych lub najczęściej do układu współrzędnych płaskich w określonym odwzorowaniu.

Celem transformacji geometrycznej mapy jest odniesienie jej do znanego układu współrzędnych w celu porównania z innymi danymi dotyczącymi określonego obszaru. Ponadto korekta deformacji geometrycznych obrazu i ustalenie skali są konieczne do przeprowadzenia wiarygodnych analiz kartometrycznych oraz nakładania na siebie obrazów w celu porównania treści.

Nawiązywanie do określonego układu odniesienia względem Ziemi nie jest konieczne przy analizach dawnych map. W pewnych przypadkach może wystarczać wzajemne dopasowanie analizowanych obrazów względem siebie, bez nawiązywania do położenia w stosunku do Ziemi. Taki zabieg umożliwia nakładanie obrazów w celu porównań, lecz skala mapy może być nieznana, co wyklucza pomiary.

Procedurę transformowania obrazu rastrowego mapy do nowego układu odniesienia nazywamy rektyfikacją (Widacki 1997). Obejmuje ona zarówno zmianę ustawienia pikseli obrazu w nowej siatce dopasowanej do nowego układu współrzędnych i odniesienie obrazu do powierzchni Ziemi, jak i przeliczenie wartości przyporządkowanych pikselom w starej siatce do nowej siatki. Typowo, procedura ta jest wykorzystywana w GIS do korekcji geometrycznej zdjęć lotniczych lub obrazów satelitarnych.

Dlaczego rektyfikujemy dawne mapy? Po zeskanowaniu nie posiadają one cech georeferencyjnych, a dodatkowo mogą zawierać zniekształcenia wynikające z odmiennego charakteru narzędzi i metod kartowania oraz standardów dokładności w przeszłości. Rektyfikacja jest niezbędna, gdy planujemy wykonywanie analiz kartometrycznych na dawnych mapach – konieczne jest wówczas określenie skali mapy. Nieodzowna jest również wtedy, gdy chcemy nakładać na siebie treści dawnych map pochodzących z różnych okresów, wykonanych na ogół w rozmaitych odwzorowaniach i skalach.

Rektyfikacja obejmuje transformację współrzędnych polegającą na obliczeniu współrzędnych w jednym nowym układzie nazwanym układem odniesienia, gdy dane są współrzędne w układzie innym (starym). Transformacja jest konieczna, gdy układy współrzędnych na porównywanych mapach zostały zdefiniowane za pomocą różnych odwzorowań lub gdy jeden z układów jest nieznany.

Jeśli znane są odwzorowania związane z porównywanymi układami, mającymi podlegać transformacji, można użyć formuł odwzorowawczych. Współrzędne prostokątne x , y w starym układzie przelicza się za ich pomocą na współrzędne geograficzne. Z kolei współrzędne geograficzne przelicza się na współrzędne X , Y nowego układu za pomocą odpowiednich równań odwzorowawczych.

W przypadku dawnych map, rodzaj zastosowanego odwzorowania może być nieznany i sposobem na nadanie obrazowi dawnej mapy współrzędnych w określonym układzie współrzędnych jest znalezienie zależności funkcyjnej, która wiąże obraz mapy dawnej z cechami georeferencyjnymi mapy przyjętej za wzorcową. W takiej sytuacji algorytmy transformacji opierać się będą na estymacji parametrów przekształcenia na podstawie punktów łącznych w obu układach.

Mapą wzorcową może być jedną z map w analizowanym zbiorze, albo też inna mapa. Najczęściej stosowana jest mapa współczesna o znanym odwzorowaniu, układzie współrzędnych i skali. Cechy geometryczne tej mapy przyjęte są jako wzorcowe dla całego analizowanego zbioru map, do nich dostosowywane są układy współrzędnych i skala pozostałych map.

Wszystkie metody transformacji geometrycznej map opierają się na punktach kontrolnych, choć w różnych metodach transformacji wykorzystuje się różną ich liczbę. Znalezienie punktów referencyjnych należy zatem do najważniejszych kroków w procesie rektyfikacji dawnych map. Współrzędne punktów można odczytać na transformowanym obrazie dawnej mapy (współrzędne pliku) oraz na mapie współczesnej lub zmierzyć w terenie za pomocą odbiornika GPS. Ważny jest wybór obiektów łatwych do zidentyfikowania i o pewnej lokalizacji, np. charakterystyczne budowle sakralne lub świeckie, skrzyżowania dróg w osiedlach lub skrzyżowania głównych dróg (Janowska 1995). Punktami dostosowania nie mogą być obiekty terenowe,

których położenie ulegało zmianie w badanym czasie, np. granice form użytkowania, zakola rzek, brzegi zbiorników wodnych.

Punkty dostosowania powinny regularnie pokrywać całą powierzchnię mapy, łącznie z jej strefami brzegowymi. Wymagana liczba zidentyfikowanych punktów zależy od wielkości terenu, rozmiarów zniekształceń geometrycznych, od przyjętej metody transformacji i stopnia funkcji matematycznej stanowiącej jej podstawę.

Środowiska GIS oferują możliwości transformacji z wykorzystaniem różnych metod. Na przykład w programie Idrisi for Windows zastosowano transformacje oparte na wielomianach 1, 2 lub 3 stopnia, Imagine zaś ma możliwości realizacji transformacji afinicznych, wielomianowych oraz transformacji typu „elastycznego dopasowania” (*rubber sheeting*). Posiada też moduły przeznaczone dla transformacji obrazów wykonanych przez konkretne rodzaje sensorów.

Na podstawie literatury (Wyczałek 1996, Pietrzak, Siwek 2000, Majchrowska 2002, Pauditšova 2003) można stwierdzić, że do rektyfikacji dawnych map często stosowane są metody transformacji, których matematyczną podstawę stanowią wielomiany algebraiczne n -tego stopnia.

$$W_n(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

Wybór formuły zależy od założonego stopnia dokładności przekształcenia oraz od liczebności punktów łącznych. Zazwyczaj stosowane są transformacje 1 lub 2 stopnia.

Wielomiany są funkcjami, które wiążą zeskanowany obraz ze znanym układem współrzędnych za pośrednictwem punktów kontrolnych. Współczynniki transformacji wielomianowych ($a_0, a_1, \dots, a_n$) wyznaczone są w procesie estymacji przy wykorzystaniu znanych współrzędnych punktów łącznych. Minimalna liczba punktów dopasowania wymagana w transformacji wielomianowej stopnia n równa jest $[(n+1)(n+2)]/2$, a więc wynosi 3 dla transformacji pierwszego stopnia, 6 – dla drugiego stopnia, 10 – dla trzeciego stopnia. W celu osiągnięcia lepszego dopasowania należy używać większej liczby punktów niż minimalna.

Stosując transformacje wielomianowe dostosowujemy stopień transformacji do liczby dostępnych punktów wspólnych obu układów. Włączając do obliczeń tylko minimalną wymaganą liczbę punktów dostosowania nie można ocenić dokładności samego przekształcenia ani wpływu błędów parametrów transformacji na błędy przeliczanych punktów. Większa liczba punktów dostosowania układów pozwala na zastosowanie kilku algorytmów transformacyjnych i porównania uzyskanych błędów średnich.

Typowo oprogramowanie GIS umożliwia ocenę stopnia dokładności transformacji przez podanie błędów RMS poszczególnych punktów lub

całkowitego błędu średniego RMS. Błąd średni punktu jest odległością między miejscem położenia źródłowego punktu kontrolnego i miejscem tego samego punktu po transformacji (*Erdas Field Guide* 1998).

$$RMS = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2}$$

gdzie:

x_i, y_i – współrzędne źródłowe,

x_r, y_r – współrzędne ponownie transformowane.

Błąd RMS jest podawany w pikselach, a dokładnie w mierze odległości w źródłowym systemie współrzędnych.

Jeśli nie akceptujemy poziomu błędu RMS, możemy odrzucić punkty dopasowania o największych błędach i powtórzyć transformację, zachowując równomierny układ punktów dopasowania na całym obszarze. Alternatywą jest zwiększenie stopnia transformacji. Należy jednak wybrać możliwie najniższy stopień transformacji.

W trakcie rektyfikacji pojawia się konieczność ustalenia wielkości siatki rastrowej, czyli rozmiaru najmniejszego rozróżnialnego elementu obrazu – piksela. Jest to niezwykle istotny moment w budowaniu rastrowego modelu przestrzeni, gdyż od wielkości piksela zależy w istocie dokładność modelu, z implikacjami w postaci błędnych wyników analiz. Przy ustalaniu rozmiaru rastra trzeba wziąć pod uwagę szereg czynników, wśród których najważniejszymi są skala i dokładność materiałów będących źródłem danych oraz charakter danych. Nie należy bowiem przyjmować większej szczegółowości modelu niż szczegółowość map, na podstawie których został zbudowany, ani sztucznie powiększać precyzji lokalizacji nieprecyzyjnej z natury rzeczy. Uwzględniając, że oko ludzkie efektywnie rozróżnia elementy o wymiarach $0,5 \times 0,5$ mm (Kistowski, Iwańska 1997), dla materiałów źródłowych w skali zbliżonej do 1:100 000 przyjęto 25 m za podstawową wielkość rastra (Majchrowska 2002), a dla map źródłowych w skali 1:28 800 – 5×5 m (Pietrzak, Siwek 2000).

Rektyfikacja polega na transformacji siatki rastrowej przetwarzanego obrazu na inną siatkę rastrową, pokrywającą ten sam obszar. Współrzędne ulegają zmianie w taki sposób, że każdemu punktowi mapy wyjściowej zostaje przyporządkowane jedno (nowe) położenie na mapie docelowej. Po przekształceniu nowa siatka rastrowa musi zostać wypełniona liczbami reprezentującymi atrybuty przedstawianych obiektów. Operację nadawania wartości nowym pikselom nazywamy próbkowaniem (Widacki 1997). Do ustalenia nowych wartości komórek wykorzystuje się wartości otaczających je pikseli. Stosowane są następujące metody próbkowania (*Erdas Field Guide* 1998):

- najbliższego sąsiedztwa – wykorzystuje wartość piksela najbliższej położonego – odpowiednia dla cech jakościowych lub ilościowych w skali stosunkowej lub porządkowej;

- interpolacji bilinearnej – wykorzystuje wartości 4 najbliższych pikseli znajdujących się w oknie 2×2 – odpowiednia dla danych ilościowych przy zmianie rozmiaru komórek;

- splotu sześciennego – wykorzystuje wartości 16 pikseli, znajdujących się w oknie 4×4 – odpowiednia dla danych ilościowych przy zmianie rozmiaru komórek.

Przy przetwarzaniu danych z dawnych map najczęściej mamy do czynienia z danymi jakościowymi, do których stosujemy metodę najbliższego sąsiedztwa (Pietrzak, Siwek 2000, Majchrowska 2002).

8. UJEDNOLICANIE SZCZEGÓŁOWOŚCI

Obrazy rastrowe dzielimy na klasy obiektów za pomocą procedur klasyfikacyjnych. Jednak w przypadku przetwarzania zeskanowanych dawnych map taki sposób postępowania nie jest właściwy, gdyż na mapie znajduje się zbyt wiele treści zbędnej dla celów analizy porównawczej, np. zróżnicowane napisy lub przebarwienia.

Prawidłowo rektyfikowane mapy dawne w postaci rastrowej stanowią natomiast podstawę do tworzenia warstw wektorowych w środowisku GIS (wyróżnianie kategorii). Tworzenie wektorowej bazy danych powinna poprzedzić analiza treści map, przy której należy kierować się wykazem znaków w legendach poszczególnych map. Jeśli zamierzamy analizować przebieg zmian niezbędna będzie generalizacja treści map nowszych, na ogół bardziej szczegółowych. W tej fazie, przypominającej nieco manualne odrysowywanie wybranych elementów z mapy topograficznej, można ujednolicić szczegółowość map dawnych.

Stosując digitalizację na ekranie monitora można tworzyć warstwy wektorowe przedstawiające pokrycie terenu lub użytkowanie ziemi, przebieg dróg lub sieci rzecznej, itp. Na tym etapie można próbować niwelować niejednorodność informacji kartograficznej archiwalnych map uprzednio zunifikowanych pod względem geometrycznym. Etap wektoryzacji powinien być poprzedzony planowaniem rodzaju warstw wektorowych – ich zakresu merytorycznego i formy danych (punkt, linia lub poligon), zależnych od rodzaju analizowanych obiektów i od zakresu planowanych analiz.

9. PRZYKŁADY INTEGRACJI DANYCH Z DAWNYCH MAP W GIS

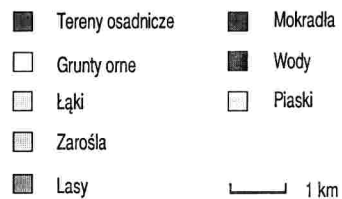
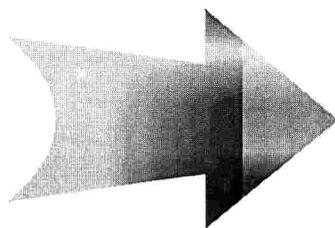
Zanim komputerowe techniki przetwarzania informacji i jej integracji w bazach systemów geoinformacyjnych upowszechniły się, w warunkach polskich nakładanie map historycznych pewnego obszaru w celu porównania ich treści wiązało się ze sporymi błędami. Powodem tego było zróżnicowanie archiwaliów kartograficznych.

Z przyczyn historycznych dla całego kraju w jego obecnych granicach nie istnieje jednolite pokrycie materiałem kartograficznym sprzed 1945 r. Dostępne są tylko mapy wykonywane przez służby geodezyjne państw zaborców. Obejmują one najczęściej wycinki terytorium Polski, a dodatkowo pochodzą z różnych okresów czasu, sporządzane były w rozmaitych odwzorowaniach, skalach, według trudno porównywalnych kluczy znaków.

10. WYBRANE MAPY DAWNE Z OBSZARU POLSKI ŚRODKOWEJ

Do najważniejszych dawnych map topograficznych przedstawiających obszar Polski Środkowej i wykorzystywanych w analizach historycznych zmian użytkowania ziemi, zalesienia i zagospodarowania cieków (Pietrzak 1975, Krzemiński, Nowakowski 1980, Olaczek 1986, Papińska 2001, Majchrowska 2002) należą: *Mapa Prus Południowych* Gilly'ego (*Spezialkarte von Südplessen*), *Topograficzna karta Królestwa Polskiego*, *Karte des westlichen Russlands* i mapa taktyczna 1 : 100 000 Wojskowego Instytutu Geograficznego. Zostały one przekształcone za pomocą opisanej procedury i wykorzystane w badaniach zmian użytkowania ziemi i związków użytkowania ziemi z warunkami abiotycznymi (Majchrowska 2002).

Mapa zatytułowana *Spezialkarte von Südplessen*, zwana *Mapą Prus Południowych* Gilly'ego, została wydana w Berlinie w latach 1802–1803. Zdjęcie terenowe będące jej podstawą wykonano wkrótce po 1793 r. w skali 1 : 50 000 (Buczek 1963) lub 1 : 57 600 (Olszewicz 1921, Osowski 1955), pod kierunkiem m.in. Dawida Gilly'ego. *Spezialkarte von Südplessen* jest trzykrotnym (skala 1 : 150 000 – Buczek 1963) lub dwukrotnym (skala 1 : 115 200 – Olszewicz 1921, Osowski 1955) pomniejszeniem materiałów oryginalnych. K. Buczek (1935) wyraził negatywną opinię o ich jakości i zalecił ostrożność przy korzystaniu z tej mapy w badaniach historyczno-geograficznych, gdyż kartowania nie poprzedziła ani triangulacja, ani określenie współrzędnych geograficznych i zdjęcie było prowadzone tylko za pomocą busoli. Według T. Lankamera (1967) średni błąd szerokości geograficznej wynosi $\pm 0,741$ km, a średni błąd położenia geograficznego waha się od $\pm 1,404$ do $\pm 4,187$ km.



Rys. 1. Fragment *Topograficznej Karty Królestwa Polskiego*, 1 : 126 000, z 1839 r., oraz fragment opracowanej na jej podstawie warstwy „Użytkowanie ziemi około 1830 r.”

Fig. 1. A fragment of a *Topographic Map of Polish Kingdom*, 1 : 126 000, of 1839, and a part of a layer „Land use in 1830” based on the map

Mimo powyższych zastrzeżeń powstały prace odwołujące się do mapy Gilly'ego, gdyż jej treść jest stosunkowo bogata. Legenda zawiera oznaczenia ośmiu typów jednostek osadniczych, trzech rodzajów dróg, pięciu typów pokrycia terenu oraz liczne symbole dla obiektów o charakterze punktowym.

Topograficzna karta Królestwa Polskiego uznawana jest za „arcydzieło swego rodzaju”, „pierwowzór dla całej kartografii państwa rosyjskiego” (Romer, Pawłowski 1918, za Olszewiczem 1921), „najpiękniejsze dzieło kartografii I połowy XIX wieku, dotyczące ziem polskich” (W. Stankiewicz w przedmowie do: Krassowski 1978). Przebieg prac nad jej wydaniem przedstawiony został przez B. Olszewicza (1921) i B. Krassowskiego (1978) oraz przez A. W. Postnikowa (1990), mającego dostęp do materiałów przechowywanych w archiwach rosyjskich, dopiero niedawno udostępnionych Polakom.

W roku 1822 Kwatermistrzostwo Generalne Wojska Polskiego przystąpiło do zdjęcia topograficznego obszaru Królestwa Polskiego w skali 1 : 42 000 i do przygotowania wydania mapy w skali 1 : 126 000. Kartowania nie poprzedzono ogólną triangulacją, lecz wykorzystano dla jego potrzeb wcześniejsze lokalne pomiary geodezyjne przeprowadzane przez Niemców i Austriaków oraz własne (Olszewicz 1921). Korzystano także z istniejących map obejmujących częściowo obszar Królestwa Kongresowego: z mapy Prus Wschodnich Textora, Prus Południowych Gilly'ego, Galicji Zachodniej Mayera von Heldensfelda. Przyjęto odwzorowanie pseudostożkowe Bonne'a z początkiem układu współrzędnych na przecięciu południka $\lambda = 38^{\circ} 50'$ (na wschód od południka zerowego Ferro niemieckiego, położonego o $17^{\circ} 39' 59''$ na zachód od Greenwich) i równoleżnika ($\varphi = 52^{\circ}$ (Bonatowski 1995)). Na mapie umieszczono cztery punkty o współrzędnych geograficznych określonych metodami astronomicznymi: Warszawę $\lambda = 38^{\circ} 42' 30''$ $\varphi = 52^{\circ} 14' 28''$), Kraków, Stołupiany i Olitę. Prace zasadnicze polegały na poprawianiu i uzupełnianiu w terenie podkładu sporządzonego na podstawie wyżej wymienionych map, wzbogaconych o dane pochodzące z wcześniejszych prac Kwatermistrzostwa oraz z map dóbr i lasów państwowych Komisji Rządowej Przychodów i Skarbu i map majątków prywatnych. Prace zaczęto od granicy Królestwa Polskiego z Prusami i do 1828 r. zostały opracowane sekcje obejmujące szeroki pas przygraniczny od północy, zachodu i południa, wzdłuż granicy z Austrią. Do 1831 r. wykonano zdjęcie, lecz nie ukończono rysunku obszaru Królestwa Polskiego po linię Ostrołęka – Mińsk Mazowiecki Opatów (kolumny I–IV, sekcje I–VII, VIII, oraz arkusze wzdłuż południowej granicy Królestwa Polskiego), czyli na około dwóch trzecich powierzchni Królestwa. Po upadku powstania listopadowego, zespół topografów i wojskowych rosyjskich, z udziałem Polaków, pod kierownictwem generała Karola Richtera doprowadził zadanie do końca w 1839 r. Z tą datą wydano mapę w 1843 r.

Dokładność *Topograficznej karty Królestwa Polskiego* jest zbliżona do współczesnych jej map wykonanych podobną, pólinstrumentalną techniką kartowania, co oznacza, że odbiega od dzisiejszych standardów. Stwierdzenie to nie umniejsza jednak niezaprzeczalnych zalet mapy, którymi są bogata w stosunku do skali treść i przejrzysty, czytelny rysunek. Średni błąd szerokości geograficznej na wybranym arkuszu z pierwszego wydania wynosi 0,310 km, a błąd długości geograficznej 0,680 km. Średni błąd położenia równa się 0,747 km. Poddany kontroli arkusz pochodzący z drugiego wydania mapy ma mniejsze błędy, a średnia odchyłka położenia wynosi 0,690 km (Pietkiewicz 1960). Według B. Krassowskiego (1978) różnica wynika najprawdopodobniej z nieuwzględnienia deformacji papieru. Ten sam autor stwierdził, że przeciętny błąd odległości na mapie Kwatermistrzostwa w porównaniu z mapą WIG wynosi 1,7% (70 pomiarów na dziesięciu arkuszach). Najnowsze oceny dokładności, stosujące przetwarzanie komputerowe i algorytmy transformacji, są nawet korzystniejsze od dawniejszych. Wykazują bowiem, że wielkości odchyłek na punktach kontrolnych położonych w węzłach siatki kartograficznej w większości nie przekraczają 100 m, a na punktach sytuacyjnych maksymalnie osiągają wartości rzędu 500 m w terenie (Szozda 1997).

Sygnatury powierzchniowe przedstawiające pokrycie terenu oznaczają następujące formy: las, las błotny, krzaki, łąki, łąki błotne, piasek, wody, bagna. Nie ma oznaczeń gruntów ornych i nieużytków.

Mapa Rosji zachodniej 1 : 100 000 (*Karte des westlichen Russlands*), wydana przez Niemców w latach 1914–1916, została przygotowana na potrzeby I wojny światowej. Składała się z powiększonej mapy rosyjskiej w skali 1 : 84 000 „dwuwiorstówki”, w nielicznych przypadkach poddanej rewizji (Lewakowski 1920), oraz z pomniejszonej mapy Daniela Gottlieba Reymanna w skali 1 : 200 000, noszącej pełny tytuł *Topographische Spezialkarte von Mittel-Europa*, czyli *Specjalna Mapa Topograficzna Europy Środkowej*. Umieszczona na mapie linia kolejowa łącząca Kalisz z Warszawą przez Łódź – uruchomiona w 1903 r. (Liszewski 1965) – wskazuje, iż wybrany egzemplarz mapy reprezentuje początek XX stulecia (Majchrowska 2002).

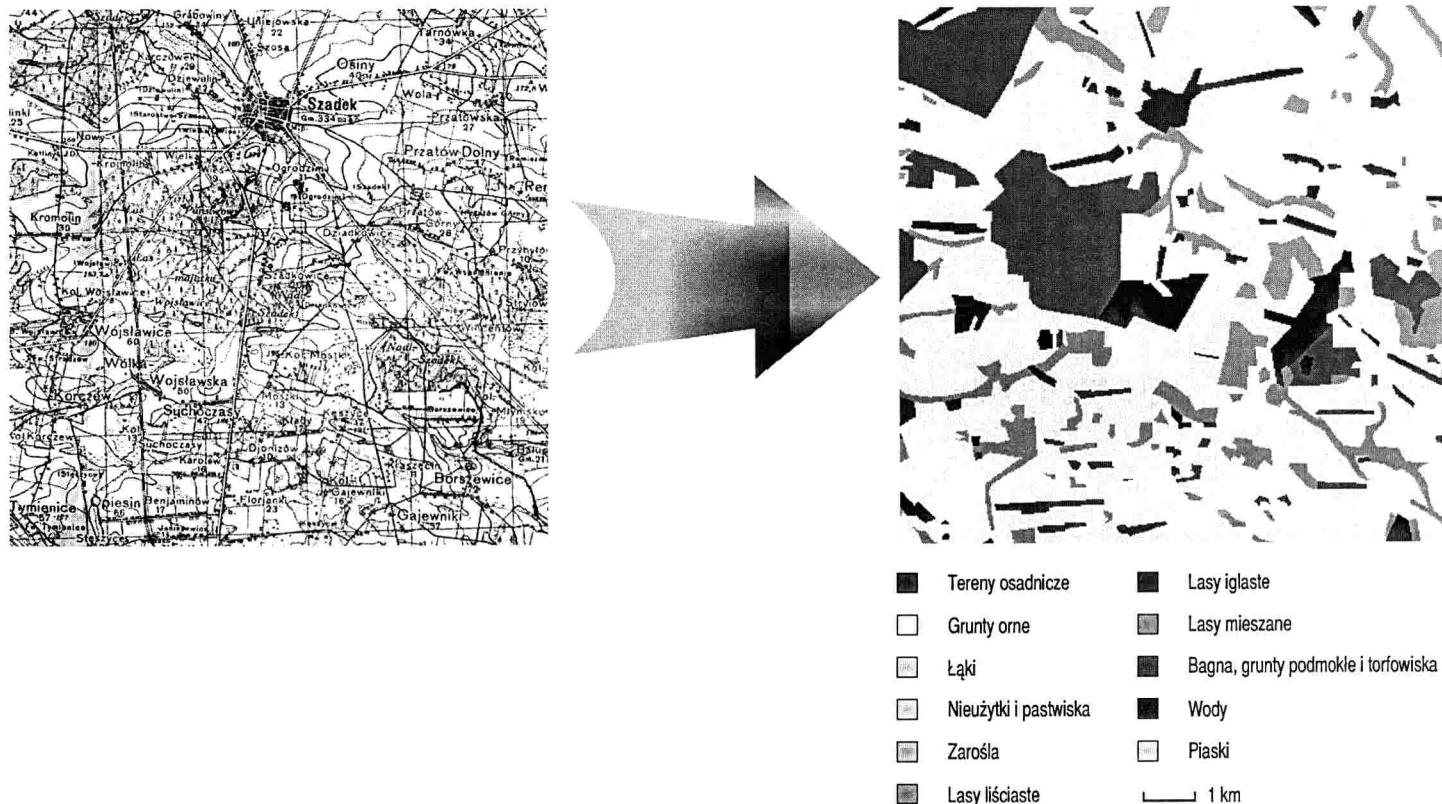
Mapa rosyjska *Nowaja topograficeskaja Karta Zapadnoj Rosji* w skali 1 : 84 000, „dwuwiorstówka”, była wydawana w latach 1881–1905 (Bonatowski 1995). Opracowano ją w odwzorowaniu wielościennym Mufflinga; długość geograficzną określano względem południka Pułkowa, położonego 30° 19' 39" na wschód od Greenwich (Osowski 1955). Dwuwiorstówka opierała się na pomiarach terenowych w skali 1 : 21 000 i 1 : 42 000 prowadzonych od 1880 r. G. Bonatowski (1995) podaje, na podstawie prac prowadzonych w Katedrze Kartografii UW, że średni błąd położenia punktu na mapie wynosi 0,7 mm, czyli 0,06 km w terenie.

Mapa Reymanna była wydawana od roku 1806 do ok. 1900 (Szczawiński 1960). Arkusze obejmujące analizowany obszar zostały ukończone w latach 50. XIX w. (Olszewicz 1921), lecz w późniejszym okresie dwu-, a nawet trzykrotnie aktualizowano je (Plit 1996).

W długim, prawie stuletnim okresie wydawania mapy zmieniały się jej podstawy matematyczne, zastosowane sygnatury oraz tytuł. Nazwę *Specjalna Mapa Topograficzna Europy Środkowej* otrzymała w 1874 r. Wtedy również zmodyfikowano symbole oznaczające obiekty osadnicze i lasy (Szczawiński 1960). Mapa była wykonywana w odwzorowaniu stożkowym prostym, ze styczonym równoleżnikiem $\varphi = 50^\circ \text{ N}$ i południkiem środkowym $\lambda = 30^\circ \text{ E}$, mierzonym od Ferro.

Pomiary dokładności mapy Reymana przeprowadzone przez W. Szczawińskiego (1960) wykazują, że im nowsze wydanie, tym są dokładniejsze. Średnie błędy położenia geograficznego na badanych arkuszach pochodzących z różnych okresów mieszczą się w przedziale od 0,250 do 1,810 km. Średni błąd szerokości geograficznej wydania z lat 50. XIX w. wynosi 0,320 km, a długości 0,130 km. Średni błąd położenia punktów na sześciu arkuszach sprawdzanych przez G. Bonatowskiego (1995) waha się od 0,120 do 0,570 km.

Materiałem źródłowym do mapy taktycznej 1 : 100 000 Wojskowego Instytutu Geograficznego były zdjęcia stolikowe oparte na szczegółowych triangulacjach, wykonane w latach 1873–1913 przez instytucje pomiarowe państw zaborczych (Słomczyński 1934, Osowski 1955, Krassowski, Tomaszewska 1979). Mapa w skali 1 : 100 000 wydawana w okresie 1918–1922 była fotomechaniczną reprodukcją starych map niemieckich 1 : 100 000, rosyjskich 1 : 84 000 i austriackich 1 : 75 000, jedynie ze zmianą obcojęzycznych nazw na polskie. Od 1922 r. stopniowo zmniejszano zakres zapożyczeń. Przede wszystkim zmieniano zestaw i kształt znaków topograficznych oraz modyfikowano opis pozaramkowy. W dalszym ciągu wykorzystywano dawniej pomierzone punkty triangulacyjne i niwelacyjne oraz stosowano odwzorowanie wielościenne. Od 1926 r. zaczęto podawać długość geograficzną względem Greenwich, początkowo obok współrzędnych z map wyjściowych, mierzonych od Ferro lub Pułkowa, potem samodzielnie. W 1928 r. wprowadzono siatkę kilometrową jednolitą dla całego kraju, opartą na zasadach odwzorowania *quasi*-stereograficznego WIG, a rok później przyjęto przepis zobowiązujący do prowadzenia prac terenowych w skali nie mniejszej niż 1 : 25 000, co poprawiło dokładność mapy. W 1931 r. pojawił się tzw. „typ normalny czterobarwny” lub „wzór 1931” mapy taktycznej, będący „szczytowym osiągnięciem polskiej kartografii w dziedzinie map topograficznych” (Krassowski, Tomaszewska 1979).



Rys. 2. Fragment mapy taktycznej 1 : 100 000 Wojskowego Instytutu Geograficznego oraz fragment opracowanej na jej podstawie warstwy „Użytkowanie ziemi około 1930 r.”

Fig. 2. A fragment of a tactical map of Military Geographical Institute, and a part of a layer „Land use in 1930” based on the map

Z przedstawionej charakterystyki wynika, że podstawowymi wskazówkami do oceny dokładności mapy są daty sprawdzenia sytuacji w terenie i wydania, umieszczone na marginesie każdego arkusza (Słomczyński 1934). Średni błąd położenia punktów waha się od 25 do 150 m (Bonatowski 1995).

Opisane wyżej archiwalne mapy zostały przetworzone i ujednolicone za pomocą scharakteryzowanej procedury. Następnie zostały zintegrowane w bazie systemu geoinformacyjnego z innym rodzajami danych, m.in. Corine Land Cover i posłużyły do dalszych analiz użytkowania ziemi we fragmencie Polski Środkowej w latach 1793–1990 (Majchrowska 2002). Wybrane efekty przetworzenia map z użyciem GIS przedstawiono na rys. 1 i 2.

LITERATURA

- Berry J. K., 1987, *Fundamental operations in computer-assisted map analysis*, Int. J. Geogr. Information Systems, 1, 2.
- Bonatowski G., 1995, *Działalność prof. Stanisława Pietkiewicza w zakresie badania dawnych map z obszaru Polski*, Prace i Studia Geogr. Uniw. Warsz., 17.
- Buczek K., 1935, *Prace kartografów pruskich w Polsce za czasów Stanisława Augusta*, Pr. Kom. AHP, PAU, Kraków.
- Burrough P. A., 1986, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford.
- Cornelius S., Heywood I., 1994, *Spatial operations*, [w:] *International Distance Learning GIS Diploma Programme*, Manchester.
- Degórska B., 1996, *Zmiany lesistości wschodniej części Kujaw w ostatnim dwustuleciu jako wynik oddziaływania człowieka na środowisko*, Przegl. Geogr., 64, 1–2.
- Domiński W., 1993, *Charakterystyka systemów informatycznych*, [w:] E. Niedzielski (red.), *Wstęp do informatyki*, PWE, Warszawa.
- ERDAS Field Guide. Przewodnik geoinformatyczny*, 1998, GEOSYSTEMS Polska, Warszawa.
- Gaździcki J., 1990, *Systemy informacji przestrzennej*, PPWK im. E. Romera, Warszawa–Wrocław.
- Hooke J. M., Kain R. J. P., 1982, *Historical change in the physical environment*, Butterworth.
- Jankowska M., 1984, *Ocena i wykorzystanie dawnych map topograficznych do badań zmian krajobrazu (na przykładzie okolic Poznania)*, maszynopis rozprawy doktorskiej, PW.
- Jankowska M., 1995, *Ewolucja informacji o wodach powierzchniowych Poznania w świetle średnioskalowych źródeł kartograficznych z XVIII i XIX wieku*, [w:] A. Kaniecki, J. Rotnicka (red.), *Konferencja Naukowa „Wody powierzchniowe Poznania. Problemy wodne obszarów miejskich”*, Poznań.
- Kistowski M., Iwańska M., 1997, *Systemy Informacji Geograficznej*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- Krassowski B., 1978, *Topograficzna karta Królestwa Polskiego (1822–1843)*, Biblioteka Narodowa, Zakł. Zbiorów Kartograficznych, Warszawa.
- Krassowski B., Tomaszewska M., 1979, *Mapy topograficzne ziem polskich 1871–1945*, Biblioteka Narodowa, Zakł. Zbiorów Kartograficznych, Warszawa.
- Krzemiński T., Nowakowski M., 1980, *Przemiany niektórych składników środowiska geograficznego województwa piotrkowskiego w świetle źródeł kartograficznych*, Stud. Reg. 4 (9).

- Lankamer T., 1967, *Mapą J. C. Textojra pod tytułem „Nowe Prusy wschodnie” z lat 1795–1800*, Roczn. Białostocki, 7.
- Liszewski S., 1965, *Rozwój sieci drogowej województwa łódzkiego w okresie od 1770 do 1963 r.*, Kwart. Historii Kultury Materialnej, 12, 2.
- Maguire D. J., 1991, *An overview and definition of GIS*, [w:] D. J. Maguire, M. F. Goodchild, D. W. Rhind (eds.), *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Longman, London.
- Majchrowska A., 2002, *Wpływ antropopresji na przemiany środowiska przyrodniczego zachodniej części województwa łódzkiego (z wykorzystaniem Systemów Informacji Geograficznej)*, Acta Geogr. Lodz., 82.
- Maruszczak H., 1950, *Stan i zmiany lesistości województwa lubelskiego w latach 1830–1930*, Ann. UMCS, sec. B, 5.
- Olszewicz B., 1921, *Polska kartografia wojskowa*, Wojskowy Inst. Naukowo-Wydawniczy, Warszawa.
- Osowski F., 1955, *Stan pokrycia obszaru Polski materiałami kartograficznymi*, Dok. Geogr., 10.
- Papińska E., 2001, *Wpływ antropopresji na przemiany środowiska geograficznego województwa łódzkiego (w granicach z lat 1975–1998)*, Acta Geogr. Lodz., 81.
- Paudītšova E., 2003, *Old maps – a basis for the observation of transformations in the landscape structure (A model territory: the Nova Bana settlement, Slovakia)*, [w:] *Dealing with diversity, Proceedings of 2nd International Conference of the European Society for Environmental History*, Prague.
- Pietrzak A., 1975, *Zmiany zalesienia terytorium województwa łódzkiego od okresu porobiorowego do czasów obecnych*, Reg. Łódzki, 3.
- Pietrzak M., 2002, *Geomorfologiczne skutki zmian użytkowania ziemi na Pogórzu Wiśnickim. Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim*, t. 2, Inst. Geogr. i Gosp. Przestrzennej UJ, Kraków.
- Pietrzak M., Siwek J., 2000, *Wykorzystanie map historycznych przetworzonych przy użyciu GIS do oceny zmian użytkowania ziemi na Pogórzu Wiśnickim. Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim*, t. 1, Inst. Geogr. i Gosp. Przestrzennej UJ, Kraków.
- Plit J., 1996, *Antropogeniczne i naturalne przeobrażenia krajobrazów roślinnych Mazowsza*, Pr. Geogr. IG PAN, 166.
- Postnikow A. W., 1990, *Nowe materiały źródłowe do historii opracowania i wydania Topograficznej karty Królestwa Polskiego*, Pol. Przegl. Kartograficzny, 22, 1–2.
- Słomczyński J., 1934, *Polskie mapy wojskowe*, Wiad. Służby Geogr., 8.
- Szczawiński W., 1960, *Monografia „Topographische Spezialkarte von Mittel-Europa” D. G. Reymanna*, praca magisterska, Katedra Kartografii UW.
- Szozda B., 1997, *Topograficzna karta Królestwa Polskiego na tle współczesnej mapy numerycznej*, praca magisterska, Wydz. Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, AR-T w Olsztynie.
- Urbański J., 1997, *Zrozumieć GIS. Analiza informacji przestrzennej*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Werner P., 1992, *Wprowadzenie do Geograficznych Systemów Informacyjnych*, Wydz. Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa.
- Widacki W., 1997, *Wprowadzenie do Systemów Informacji Geograficznej*, Inst. Geogr. UJ, Text, Kraków.
- Wyczałek E., 1996, *Kartograficzna metodyka badania zmian użytkowania terenu na przykładzie doliny środkowej Obry*, maszynopis rozprawy doktorskiej, Wydz. Geodezji i Kartografii PW.

*Anna Majchrowska***INTEGRATION OF HISTORICAL MAPS INTO GIS**

Historical maps are precious materials, which show spatial distribution of land use, vegetation, river patterns, and so on at the time the maps were produced. They are used for the reconstruction of past environments or for comparisons in time analyses. However the imprecision of the historical maps, in the geometrical sense, makes the task of the comparison very difficult. This drawback brings us to the idea of incorporating the historical maps into GIS, after geometrical transformation of the maps. It makes possible comparing and overlaying multiple maps from different time periods. Furthermore it gives map-scales to historical maps and enables broader range of quantitative considerations. This greatly increases the value of archival maps as information source.

The paper outlines the procedure of incorporating old maps into GIS and some results of the transformation of early maps.