

**Maria ZACHWATOWICZ**

Uniwersytet Warszawski

Wydział Biologii

Warszawa, Polska

e-mail: m.zachwatowicz@uw.edu.pl

## DETEKCJA HISTORYCZNYCH PRZEMIAN POKRYCIA TERENU Z ZASTOSOWANIEM ELEMENTÓW LOGIKI ROZMYTEJ

### DETECTION OF HISTORICAL LAND COVER CHANGES WITH THE USE OF FUZZY LOGIC

**Słowa kluczowe:** archiwalne mapy topograficzne, Niecka Nidziańska, zmiany pokrycia terenu, zbiory rozmyte, wskaźniki Kappa, analizy ilościowe

**Key words:** archival topographic maps, Nida Basin, land cover changes, fuzzy sets, Kappa statistics, quantitative analyses

**Streszczenie** Opracowanie dotyczy problematyki propagacji błędów z danych źródłowych w procesie porównania archiwalnych map topograficznych. Celem pracy była poprawa skuteczności detekcji historycznych zmian pokrycia terenu. Wykorzystanie potencjału zbiorów rozmytych, w powiązaniu z prostą algebrą map pozwoliło na rozróżnienie zmian pokrycia terenu cechujących się wysokim prawdopodobieństwem zaistnienia od artefaktów będących efektem przesunięć, zniekształceń lub nieostrej klasyfikacji. Walidację wyników przeprowadzono przy użyciu wskaźników podobieństwa Kappa. Omówiono zalety i ograniczenia zastosowanej procedury oraz wskazano kierunki dalszych badań.

**Abstract** This paper regards a problem of error propagation when comparing archival topographic maps. The study aimed at improving the quantitative detection of historical land cover changes. By linking a fuzzy reasoning and a simple map algebra, the uncertainty stemming from dissimilar quality of the archival maps was reduced, which allowed to distinguish between the land cover changes of a high probability and the artefacts stemming from distortions and inaccuracies of the source data. The results were validated with the use of Kappa statistics. At last, the pros and limitations of the presented procedure were discussed and the further research needs specified.

## WPROWADZENIE

Archiwalne mapy topograficzne stanowią cenne źródło informacji o wieloletnich zmianach pokrycia terenu. Studia retrospektywne prowadzone przy ich wykorzystaniu pozwalają dostrzec nie tylko chronologiczny, ale i przestrzenny wymiar przemian (Antrop, 1997; Brandt, 1999; Zonneveld, 1995; Naveh & Lieberman, 1994; Plit, 2006).

Najczęściej stosowanym sposobem porównywania rastrowych obrazów pokrycia terenu o zdefiniowanych kategoriach legendy analiza metodą *cell-by-cell* („komórka po komórce”). Mapy są nakładane, każdej komórce obrazu rastrowego przypisywana jest konkretna kategoria legendy, po czym następuje porównanie odpowiadających sobie komórek na obrazach z dwóch momentów czasowych. W ten sposób określa się, które komórki zmieniły stan w danym przedziale czasowym (przeszły z jednej kategorii do innej), a które nie. Wynik takiej analizy można zobrazować na mapie oraz zapisać w macierzy przejść, która opisuje ilościowe różnice między poszczególnymi kategoriami legendy (np. zmiany pokrycia terenu między dwoma momentami w czasie).

Omówiona metoda opiera się na założeniu, że porównywane warstwy rastrowe wiernie odwzorowują rzeczywistość. Wiadomym jest jednak, że mapy (zwłaszcza archiwalne) obarczone są różnymi zniekształceniami, od tych powstałych na etapie kreślenia (potencjalne różnice w pomiarach terenowych, odmienne zasady redakcji map), po efekty związane z warunkami przechowywania arkuszy i ich przekształcania do formatów cyfrowych (odkształcenia papieru, skanowanie). Wspomniane artefakty są tylko częściowo eliminowane na etapie rektyfikacji, a kolejne przesunięcia i zniekształcenia powstawać mogą w fazie wektoryzacji oraz transformacji między układami współrzędnych. W efekcie zbiory danych uzyskiwane z porównania archiwalnych map topograficznych poprzez proste ich nałożenie mogą być więc obarczone licznymi nieścisłościami. Zmiany kategorii pokrycia terenu wykrywane będą zarówno tam gdzie zmiana rzeczywiście zaistniała, jak i tam gdzie różnice wynikają z różnej kartometryczności materiałów wejściowych. Prowadzi to do „przeszacowania” obfitości zmian oraz błędów w określaniu wielkości przemian w czasie.

Poprawę skuteczności porównania map archiwalnych uzyskać można korzystając z potencjału logiki rozmytej (Zadeh, 1965), zgodnie z którą przynależność obiektu do zbioru może być częściowa:

$$A = \{(x, \mu_A(x)); x \in \mathbf{X}\}, \text{ gdzie: } \mu_A : \mathbf{X} \rightarrow [0,1],$$

gdzie:

A – zbiór rozmyty,

X – przestrzeń rozważań,

x – element należący do przestrzeni rozważań X,

$\mu_A$  – funkcja przynależności.

Możliwe są następujące przypadki:

$\mu_A(x) = 1$  (pełna przynależność elementu x do zbioru rozmytego A, tzn.  $x \in A$ ),

$\mu_A(x) = 0$  (brak przynależności elementu x do zbioru rozmytego A, tzn.  $x \notin A$ ),

$0 < \mu_A(x) < 1$  (częściowa przynależność elementu x do zbioru rozmytego A).

Podejście to pozwala opisywać obiekty i zjawiska niepewne, o niejednoznacznej przynależności do klas (Longley, 2006). Zastosowanie logiki rozmytej do analizy porównawczej map archiwalnych jest rozwiązaniem stosunkowo nowym, lecz cieszy się rosnącym zainteresowaniem na świecie.

Szczególnie ciekawy sposób porównywania map rastrowych z wykorzystaniem elementów zbiorów rozmytych zaproponował Hagen (2003). Opracowany przez niego algorytm (*Fuzzy set*) powoduje, że każda komórka obrazu rastrowego rozpatrywana jest wraz ze swym najbliższym sąsiedztwem i może w różnym stopniu przynależać do kilku kategorii pokrycia terenu. Ulega więc „rozmywaniu”. Stopień przynależności danej komórki do poszczególnych kategorii pokrycia terenu opisywany jest przez tzw. wektor przynależności i zależy od: jej własnej kategorii, charakteru sąsiedztwa (rodzaju oraz konfiguracji komórek znajdujących się w pobliżu) oraz parametrów funkcji przynależności (autor rekomenduje pewne parametry wykładniczej funkcji rozmycia: *radius of neighbourhood* = 4, *halving distance* = 2, ale zachęca badaczy do testowania innych rozwiązań). Wektory przynależności, przypisane komórkom odpowiadającym sobie na dwóch mapach, są porównywane. Wynikiem porównania jest kolejna mapa, na której każda komórka ma przypisaną wartość z przedziału  $\langle 0,1 \rangle$ , gdzie 1 – oznacza pełną zgodność, a 0 – całkowitą niezgodność. Proces przebiega z uwzględnieniem relacji sąsiedztwa, co pozwala na dokonanie rozróżnienia między zmianami w położeniu cechującymi się wysoką dozą prawdopodobieństwa a zmianami wysoce niepewnymi.

## CEL BADAŃ

Celem opracowania było zbadanie skuteczności zastosowania elementów logiki rozmytej w procesie porównywania archiwalnych map topograficznych do rozróżnienia zmian pokrycia terenu cechujących się wysokim prawdopodobieństwem zaistnienia od artefaktów będących efektem zniekształceń, przesunięć lub nieostrej klasyfikacji.

## TEREN BADAŃ

Badaniami objęto fragment Ponidzia Pińczowskiego o powierzchni 400 km<sup>2</sup>. Granice terenu badań bieżą wzdłuż linii siatki według układu współrzędnych PUWG 1992, odpowiednio: 300 000 m (N), 280 000 m (S), 598 000 m (W) oraz 618 000 m (E). Dla potrzeb analiz ilościowych przyjęto strefę buforową o szerokości 1km. Zabieg ten pozwala zminimalizować potencjalny wpływ efektów brzegowych na wyniki analiz.

Pod względem administracyjnym teren badań jest częścią województwa świętokrzyskiego i – w przeważającej części – należy do powiatu pińczowskiego, natomiast według podziału fizycznogeograficznego Kondrackiego (2001) obszar należy do makroregionu Niecki Nidziańskiej i zlokalizowany jest u zbiegu sześciu mezoregionów:

Płaskowyżu Jędrzejowskiego, Garbu Wodzisławskiego, Doliny Nidy, Niecki Soleckiej, Garbu Pińczowskiego i Niecki Połanieckiej.

Niecka Nidziańska jest jednym z najstarszych regionów osadniczo-gospodarczych na ziemiach polskich. Najdawniejsze ślady pobytu człowieka sięgają paleolitu. Współcześnie teren odznacza się mozaikową strukturą pokrycia terenu o tradycyjnie rolniczym charakterze.

## **METODY**

### **Dobór materiałów źródłowych**

Podstawę analizy przemian struktury krajobrazu stanowiły archiwalne i współczesne mapy topograficzne. Jako podstawową skalę rozważań przyjęto 1:100 000 oraz Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych (PUWG) 1992. Detekcja zmian pokrycia terenu obejmowała okres ponad 150 lat i odbywała się przez porównywanie materiałów kartograficznych z różnych okresów. Wybrano arkusze map z następujących lat i serii: 1839 (Topograficzna Karta Królestwa Polskiego 1:126 000), 1915 (Karte des Westlichen Russlands 1:100 000), 1938 (WIG – mapa taktyczna Polski 1:100 000), 1974 (Wojskowa mapa topograficzna 1:50 000), 2000 (Mapa topograficzna 1:50 000, Główny Urząd Geodezji i Kartografii).

### **Przetworzenie materiałów źródłowych**

Materiały przeznaczone do analizy zarejestrowano w Państwowym Układzie Współrzędnych Geodezyjnych 1992, z zastosowaniem terenowych punktów kontrolnych (ang. GCP - *Ground Control Points*) i wielomianów transformacji II i III stopnia. Warstwę referencyjną stanowiła mapa topograficzna GUGiK 1:50 000.

Do kalibracji map wykorzystywano kilkadziesiąt punktów kontrolnych na arkusz. Punkty kontrolne rozmieszczano równomiernie, wybierając miejsca charakterystyczne (najczęściej skrzyżowania dróg), możliwe do identyfikacji na obu mapach (referencyjnej i wpasowywanej). W przypadku *Topograficznej Karty Królestwa Polskiego* zastosowano w sumie 110 punktów kontrolnych, dla *Karte des Westlichen Russlands* – 50 punktów kontrolnych, dla map WIG – 114, dla map *Sztabu WP* – 34 punkty.

Do opisu zniekształceń map wykorzystano wartości błędu wpasowania poszczególnych punktów kontrolnych (ang. residual error) oraz ich wartość średnią – błąd średniokwadratowy RMSE (ang. Root Mean Square Error). Błąd średniokwadratowy dla Topograficznej Karty Królestwa Polskiego wynosił 170 m, dla *Karte des Westlichen Russlands* – 15 m, dla map WIG – 12 m, dla map *Sztabu WP* mniej niż 5 m. Topograficzna Karta Królestwa Polskiego cechuje się znacznym błędem wpasowania, jednak zważywszy, że europejskie krajobrazy rolnicze uzyskały maksymalne zróżnicowanie w okresie preindustrialnym (Antrop, 1997) ważne było uwzględnienie jej w dalszych analizach.

Przepróbkowanie przeprowadzono metodą najbliższego sąsiedztwa (ang. nearest neighbour). Następnie wykonano manualną wektoryzację ekranową wybranych typów pokrycia terenu.

Korzystano z kluczy znaków opracowanych przez Lewakowskiego (1920) i Gąsiewiczza (1930). Ze względu na różnice w zakresach treści i sposobach konstrukcji legend map archiwalnych i współczesnych uwzględniono tylko trzy główne elementy powierzchniowe: „lasy”, „łąki”, „inne”. Potrzebna była również harmonizacja map – ze wszystkich warstw usunięto poligony o powierzchniach mniejszych niż 1 ha i włączono je do poligonów, z którymi sąsiadowały najdłuższym bokiem (1ha to powierzchnia najmniejszego poligonu jaki udało się zwektoryzować na mapach o najniższej szczegółowości – Topograficznej Karcie Królestwa Polskiego i Karte des Westlichen Russlands). Końcowym etapem przetworzenia danych była automatyczna konwersja map wektorowych do formatu rastrowego (20m).

### **Metody detekcji zmian pokrycia terenu**

Obrazy rastrowe wygenerowane z archiwalnych map topograficznych poddano rozmywaniu, a następnie porównywano wektory przynależności przypisane komórkom odpowiadającym sobie na mapach cyfrowych z dwóch momentów czasowych. Zastosowano, omówiony we wstępie, algorytm *Fuzzy set* (dostępny w aplikacji *Map Comparison Kit*, Visser & Nijs, 2006) i parametry rekomendowane przez Hagena (2003).

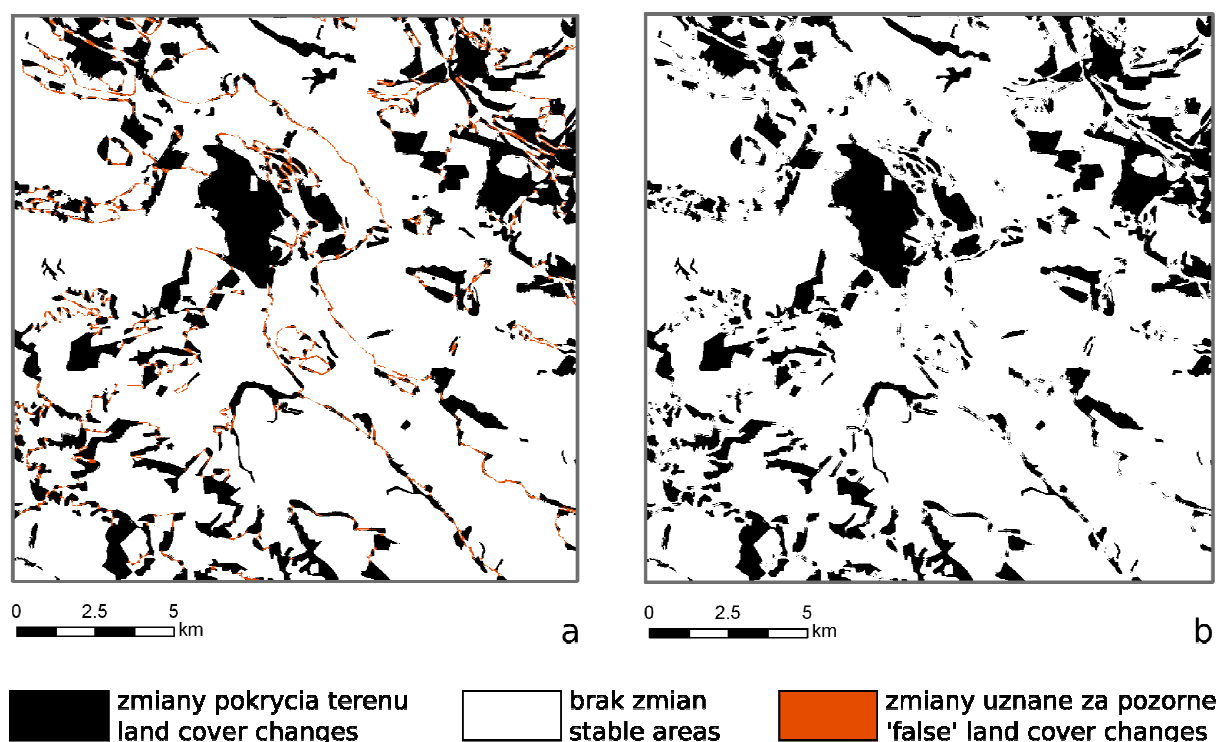
W aspekcie kolejności analizy warstw z poszczególnych momentów czasowych autorka zaproponowała sposób, który można nazwać *aktualizacją retrospektywno-kaskadową* (Zachwatowicz, 2011). Analizę rozpoczęto od pary map z lat 1974-2000, za referencyjny uznając obraz z 2000 r. Uzyskano wynikową mapę podobieństwa między komórkami porównywanych obrazów rastrowych, obrazującą poziom prawdopodobieństwa z jakim poszczególne komórki nie zmieniły kategorii pokrycia terenu. Komórkom o wysokich wartościach podobieństwa przyporządkowano atrybut: „brak zmian”, zaś komórkom o wartościach niskich, atrybut: „zmiany zaistniały”. Próg ustalono na podstawie histogramów rozkładu wartości prawdopodobieństwa zmian (por. Hagen 2003) oraz wizualnej interpretacji obrazu (por. także Giętkowski & Zachwatowicz 2010).

Następnie przystąpiono do usuwania zmian uznanych za pozorne. W tym celu nałożono na siebie trzy warstwy: mapę cyfrową z roku 1974, mapę cyfrową z roku 2000 oraz mapę zmian uzyskaną w wyniku zastosowania metody *Fuzzy set*. Za pomocą prostej algebry map (*Arc GIS 9.1, Spatial Analyst*), zmiany uznane za pozorne (komórki z atrybutem „brak zmian”) dołączono do odpowiednich, trwałych kategorii pokrycia terenu na obrazie z roku 1974 (mapa z roku 2000 uznana została za referencyjną, a więc nie mogła podlegać korekcie). Ze skorygowanych map pokrycia terenu uzyskano skorygowaną macierz przejść.

Analogicznie porównywano parę obrazów 1938-1974, przy czym jako referencyjną przyjęto skorygowaną w poprzednim kroku wersję mapy z 1974 r. Znow korekcie uległa macierz przejść oraz obraz pokrycia terenu z roku 1938. W porównaniu pary map 1915 i 1938 jako referencyjną zastosowano poprawioną mapę z roku 1938, zaś w ostatniej fazie za punkt odniesienia posłużyła skorygowana mapa z 1915 r.

W celu zweryfikowania skuteczności zastosowanej procedury dla poszczególnych par map 'przed korektą' i 'po korekcie' wyliczono wskaźnik *Kappa* (Cohen 1960) – będący powszechnie stosowaną miarą podobieństwa dla danych skategoryzowanych – oraz dwie jego pochodne: *Kappa Location* (będący miarą podobieństwa w przestrzennym rozmieszczeniu kategorii na dwóch porównywanych mapach, Pontius 2000) i *Kappa Histo* (służący do testowania zgodności ilościowej kategorii na porównywanych mapach bez uwzględniania aspektu przestrzennego, Hagen 2002). Wartość wynikowa wskaźników może zawierać się w przedziale  $<-1, +1>$ . Wartość równa (+1) oznacza tożsamość map, wartość równa (-1) to całkowity brak podobieństwa między mapami. Wzrost wartości wskaźników dla par map 'po korekcie' świadczy więc o zwiększeniu zgodności par map, a co za tym idzie o ograniczeniu artefaktów i powodzeniu procedury.

## WYNIKI



Ryc. 1. Przykłady zmian pokrycia terenu w latach 1839-1915,  
a – obraz przed eliminacją zmian niepewnych, b – obraz poddany korekcie.

Fig.1. Examples of land cover changes in a period of 1839-1915,  
a – before correction, b – after correction.

W wyniku zastosowanej procedury uzyskano cztery skorygowane obrazy zmian pokrycia terenu, cztery skorygowane macierze przejść, pięć skorygowanych map pokrycia terenu dla kolejnych momentów czasowych, a także wartości wskaźników *Kappa* dla poszczególnych par map przed i po korekcie.

Powierzchniowo, najwięcej artefaktów (czyli zmian uznanych za pozorne) ujawniło się między mapami z lat 1839-1915. Eliminacji uległy przede wszystkim elementy ujawniające się na krawędziach płątów, mające postać długich i wąskich zespołów pikseli. Dotyczy to zwłaszcza granic zwartych powierzchni leśnych, jak również sąsiedztwa doliny rzecznej i otaczających ją pól uprawnych (ryc. 1).

Wartości wskaźników *Kappa* uległy zmianom, świadczącym o zwiększeniu zgodności par map (tab. 1).

**Tab. 1.** Wartości wskaźników *Kappa* przed oraz po korekcie obrazów pokrycia terenu

**Tab. 1.** *Kappa* values 'before' and 'after' the correction of land cover layers

|                       | 1839-1915              |                    | 1915-1938              |                    | 1938-1974              |                    | 1974-2000              |                    |
|-----------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
|                       | przed<br><i>before</i> | po<br><i>after</i> | przed<br><i>before</i> | po<br><i>after</i> | przed<br><i>before</i> | po<br><i>after</i> | przed<br><i>before</i> | po<br><i>after</i> |
| <b>Kappa</b>          | 0.62                   | 0.66               | 0.78                   | 0.82               | 0.84                   | 0.87               | 0.89                   | 0.91               |
| <b>Kappa location</b> | 0.68                   | 0.72               | 0.86                   | 0.90               | 0.89                   | 0.92               | 0.95                   | 0.97               |
| <b>Kappa histo</b>    | 0.92                   | 0.92               | 0.91                   | 0.91               | 0.94                   | 0.95               | 0.94                   | 0.94               |

Wyraźne podwyższenie wartości wskaźnika *Kappa location* wskazuje, że dane uległy korekcie zwłaszcza w aspekcie przestrzennym. Rozkład częstości klas pokrycia terenu nie uległ większym zmianom, o czym świadczą nieznaczne różnice w wartościach wskaźnika *Kappa histo*. Wskaźniki *Kappa* ujawniły również, że największym ogólnym podobieństwem cechowała się para map z lat 1974 i 2000, zaś najmniejszą mapy z lat 1839 i 1915.

**Tab. 2.** Bilans korekty macierzy przejść (%)

**Tab. 2.** Transition matrixes' balance of correction (%)

|             | 1839-1915 | las/forest | łąka/meadow | inne/others |
|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|
| las/forest  |           | +2.81      | -0.79       | -2.02       |
| łąka/meadow |           | -0.47      | +3.70       | -3.23       |
| inne/others |           | -0.54      | -0.90       | +1.44       |
| 1915-1938   |           |            |             |             |
| las/forest  |           | +2.15      | -0.27       | -1.88       |
| łąka/meadow |           | -0.23      | +2.82       | -2.59       |
| inne/others |           | -0.46      | -0.94       | +1.40       |
| 1938-1974   |           |            |             |             |
| las/forest  |           | +2.34      | -0.15       | -2.19       |
| łąka/meadow |           | -0.58      | +3.76       | -3.18       |
| inne/others |           | -0.45      | -0.69       | +1.14       |
| 1974-2000   |           |            |             |             |
| las/forest  |           | +1.88      | -0.40       | -1.48       |
| łąka/meadow |           | -0.49      | +2.60       | -2.11       |
| inne/others |           | -0.82      | -0.72       | +1.54       |

Zastosowanie elementów logiki rozmytej i prostej algebry map pozwoliło na wyodrębnienie oraz korektę przynajmniej niektórych zniekształceń map źródłowych już na etapie przygotowywania macierzy przejść (por. tab. 2). Należy jednak mieć na uwadze, że nie wszystkie błędy położenia zostały wyeliminowane, dlatego uzyskane macierze przejść powinny być rozumiane jako „macierze prawdopodobieństwa przejść”.

## DYSKUSJA I WNIOSKI

Największe trudności w prowadzeniu historycznych badań o charakterze ilościowym sprawiają: przestrzenna i czasowa nieregularność zdjęć topograficznych terenu oraz różna ich jakość, niejednorodność skal, a także rozbieżności klasyfikacyjne legend. Częstym zabiegiem jest więc uzależnienie skali analizy od dostępności materiałów źródłowych, uwzględnienie jedynie głównych kategorii pokrycia terenu oraz harmonizowanie map pod względem najmniejszej mapowanej jednostki. Działania te nie rozwiązują jednak problemu zniekształceń, których nie udało się usunąć na etapie rektyfikacji lub przesunięć powstałych w wyniku nieostrej klasyfikacji.

W przypadku dobrze rozpoznanych obszarów testowych o małych powierzchniach analizowanych w relatywnie dużej skali błędy położenia skorygować można na zasadzie eksperckiej, na etapie wektoryzacji. Tworzenie każdej kolejnej warstwy polega wtedy na rejestrowaniu zmian na warstwie utworzonej dla poprzedniego momentu czasowego. Modyfikowane są więc granice tylko tych wydzielen, które w danym okresie ulegały zmianom (tzw. *backward editing*, m.in. Privat, 1996; Bender i. in., 2005). Jest to jednak sposób nie tylko niezwykle pracochłonny, ale przede wszystkim wymagający specyficznej wiedzy eksperckiej. Dlatego w przypadku analizy o zasięgu historycznym, prowadzonej na powierzchni setek kilometrów kwadratowych potrzebna była metoda o wyższym stopniu zautomatyzowania i powtarzalności.

W ostatniej dekadzie, dla tego samego obszaru prowadzone były badania wykorzystujące klasyczną analizę kartograficzną z różnymi wariantami metody zasięgów (Pliń, 1990, 1994). Podejście to cechuje się dużym potencjałem interpretacyjnym w sytuacji, gdy za cel stawiamy sobie wskazanie głównych kierunków przemian pokrycia terenu w czasie oraz ich ocenę jakościową, uchwycenie prawidłowości w rozmieszczeniu zjawisk, ich intensywności czy częstości. Interpretator dokonuje wtedy analizy eksperckiej, posiłkując się informacją zaczerpniętą z rozmaitych archiwalnych danych źródłowych (statystyk i spisów ludności, opisów historycznych, listów, pamiętników, dawnych fotografii, etc.). Gdy jednak celem badań jest ilościowa ocena przemian struktury krajobrazu, modelowanie i prognozowanie zmian – pożądane jest zastosowanie procedur zapobiegających propagacji błędów z danych źródłowych na jak najwcześniejszym etapie analiz.

Prezentowane opracowanie pokazuje korzyści płynące ze stosowania metod i narzędzi badań ilościowych do analizy danych archiwalnych. Dzięki wykorzystaniu potencjału zbiorów rozmytych odróżniono zmiany pokrycia terenu cechujące się



wysokim prawdopodobieństwem zaistnienia od zmian wysoce niepewnych. Należy jednak mieć na uwadze pewne ograniczenia prezentowanej procedury. Omawiany sposób zakłada nieufność do zmian pokrycia terenu, eliminując zmiany uznane za pozorne, lecz nie dopuszcza możliwości wystąpienia fałszywie trwałych kategorii pokrycia terenu, nie uzależnia także doboru parametrów funkcji rozmycia od wielkości błędów rektyfikacji map źródłowych.

Ten i inne problemy podjęto w ostatniej fazie zakończonego niedawno grantu badawczego (Giętkowski & Zachwatowicz, niepubl.). W wyniku prowadzonych badań zoptymalizowano dobór wielkości komórki obrazu rastrowego względem wartości błędów rektyfikacji, zaproponowano kilka nowych funkcji rozmycia oraz sposobów porównania rozmytych wektorów przynależności, przeprowadzono również ocenę wpływu wartości błędów rektyfikacji na sposób działania funkcji rozmycia.

Zauważono, że pomiędzy obszarami, na których zachodzi wysokie prawdopodobieństwo zmiany pokrycia terenu (wartości bliskie 0), a obszarami na których z wysokim prawdopodobieństwem pokrycie terenu nie ulega zmianie (wartości bliskie 1) występuje przedział, który reprezentuje obszary niepewne co do stałości lub zmian pokrycia terenu. Powierzchnie znajdujące się w tym przedziale, czyli rozmyte wektory przynależności komórek na porównywanych mapach, różnią się za mało by powiedzieć, że zmiana zaszła, a jednocześnie nie są aż tak podobne, by stwierdzić, że pokrycie terenu pozostało bez zmian. T. Giętkowski opracował sposób wyodrębniania granic tego przedziału i nazwał go zakresem niepewności ogólnej (ang. range of general uncertainty – RGU). Istnienie RGU wynika ze zniekształceń danych źródłowych, a umiejscowienie jego granic zależy od wartości błędów rektyfikacji (im większy RMSE, tym szerszy zakres RGU). Przy takim podejściu, skorygowana macierz przejść generowana jest z całkowitym wyłączeniem komórek należących do RGU (Giętkowski & Zachwatowicz, niepubl.).

Dalszym testom podlegać powinny sposoby aktualizacji macierzy przejść po zidentyfikowaniu zmian uznanych za pozorne. Problem jest relatywnie łatwy do rozstrzygnięcia w sytuacji, gdy mamy do czynienia tylko z dwiema mapami (Giętkowski & Zachwatowicz 2010) – jako referencyjną ustala się wtedy warstwę o mniejszym błędzie rektyfikacji. Sytuacja komplikuje się, gdy analiza obejmuje całe serie map z różnych momentów w czasie. Prezentowana przez autorkę metoda *aktualizacji retrospektywno-kaskadowej* jest jednym z możliwych podejść, które wymaga optymalizacji. Elementem ograniczającym jego zastosowanie może być m.in. fakt, że korekta macierzy przejść wiąże się z uprzednią, roboczą ingerencją w treść map archiwalnych.

Poza analizami dotyczącymi serii czasowych, dalszych badań wymaga również parametryzacja funkcji rozmycia dla map o skalach szczegółowych, identyfikacja związków między wielkością błędów rektyfikacji a zróżnicowaniem morfometrycznym terenu oraz ocena wpływu korekty macierzy przejść na działanie zaawansowanych, prognostycznych modeli przemian krajobrazu.

Niezależnie od zagadnień wymagających rozstrzygnięcia uzyskane dotychczas wyniki stanowią, zdaniem autorki, przyczynek do stworzenia spójnej procedury

hamowania propagacji błędów z danych źródłowych, co ma kluczowe znaczenie dla skuteczności ilościowego porównywania map z różnych okresów i efektywności modelowania przemian struktury krajobrazu.

Badania współfinansowane ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (grant N N306 217537 „Ograniczenie wpływu zniekształceń archiwalnych map topograficznych na wyniki modelowania przemian struktury krajobrazu”) oraz z Europejskiego Funduszu Społecznego i Budżetu Państwa w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego – Działanie 2.6 „Regionalne Strategie Innowacyjne i transfer wiedzy” – projekt własny Województwa Mazowieckiego „Mazowieckie Stypendium Doktoranckie”.

## LITERATURA

- Antrop M., 1997: A concept of traditional landscapes as a base for landscape evaluation and planning. The example of Flanders Region. *Landscape and Urban Planning* 38: 105-107.
- Bender O., Boehmer H.J., Jens D., Schumacher K.P., 2005: Using GIS to analyse long-term cultural landscape change in Southern Germany. *Landscape and Urban Planning* 70: 111-125.
- Brandt J., 1999: Geography as Landscape Ecology. *Danish Journal of Geography* 1: 21-32.
- Cohen J., 1960: A coefficient of agreement for nominal scales, *Educational and Psychological Measurement* 20, 1: 37-46.
- Gąsiewicz S., 1930: Znaki topograficzne map polskich 1:25 000 i 1:100 000, niemieckich 1:25 000 i 1:100 000, B. Ros. Zach. 1:100 000, austriackich 1: 75 000, rosyjskich 1:84 000.. Główna Księgarnia Wojskowa, Warszawa.
- Giętkowski T., Zachwatowicz M., (niepubl.). Sprawozdanie merytoryczne z przebiegu projektu badawczego pt. „Ograniczenie wpływu zniekształceń archiwalnych map topograficznych na wyniki modelowania przemian struktury krajobrazu”, Projekt finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (grant N N306 217537).
- Giętkowski T., Zachwatowicz M., 2010: Przemiany krajobrazu – czy można uniknąć złudzeń? [w:] Richling A., Fuhrmann M. (red.). *Geograficzne spotkania w drodze. Krok trzeci* – Warszawa, Wydawnictwo WGiSR, Warszawa.
- Hagen A., 2002: Multi-method assessment of map similarity, *Proceedings of the 5th AGILE Conference on Geographic Information Science*: 171-182.
- Hagen A., 2003: Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Information Science* 17(3): 235-249.
- Kondracki J., 2001: *Geografia regionalna Polski*. PWN Warszawa.
- Lewakowski J., 1920: Klucz znaków przyjętych dla map austriackich 1:75 000 i 1:200 000, pruskich 1:00 000 i 1:200 000, rosyjskich 1:84 000 i 1:126 000. Nakładem Księgarni J. Czerneckiego, Warszawa-Kraków.

- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Hind. D.W., 2006: GIS Teoria i praktyka, PWN, Warszawa.
- Naveh Z., Liberman A., 1994: Landscape Ecology, Theory and Application. Springer Verlag, New York.
- Plit J., 1990: Metoda zasięgów w analizie historycznych przemian środowiska przyrodniczego, *Przegląd Geograficzny* 62 (1-2): 137-149.
- Plit J., 1994: Transformacja środowiska w świetle analizy historycznej [w:] Kostrowicki A.S., Solon J. (red.), 1994. Studium geobotaniczno-krajobrazowe okolic Pińczowa, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN Warszawa.
- Plit J., 2006: Analiza historyczna jako źródło informacji o środowisku przyrodniczym. *Problemy Ekologii Krajobrazu* 16: 217-226.
- Pontius Jr. R.G., 2000: Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 66: 1011-1016.
- Privat C., 1996: Einsatz von Geo-Informationssystemen bei kulturlandschaftlichen Fragestellungen. *Beitraege zur Landesentwicklung* 51: 54-60.
- Visser H., Nijs T. de, 2006: The Map Comparison Kit. *Environmental Modelling Software* 21(3): 346-358.
- Zachwatowicz M., 2011: The potential of fuzzy logic for quantitative land cover change analysis basing on historical topographic maps. *Miscellanea Geographica* XV: 231-240.
- Zadeh L.A., 1965: Fuzzy sets. *Information and Control* 8: 338-353.
- Zonneveld I.S., 1995: Land Ecology. SPB Academic Publishing, Amsterdam.

### **Materiały kartograficzne**

- Karte des Westlichen Russlands 1:100 000, 1915, Königlich Preußischen Landesaufnahme, arkusze: G39, G40.
- Mapa taktyczna Polski 1:100 000, 1937-38, Wojskowy Instytut Geograficzny, arkusze: Pas 46 Słup 31, Pas 47 Słup 31.
- Mapa topograficzna 1:50 000, 2000, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, arkusze: M-34-53-B, M-34-53-D, M-34-54-A, M-34-54-C.
- Topograficzna Karta Królestwa Polskiego 1: 126 000, 1839, Kwatermistrzostwo Sztabu Generalnego Wojska Polskiego, arkusze: K3S7, K3S8, K4S7, K4S8.
- Wojskowa mapa topograficzna 1:50 000 wydanie pierwsze PRL, Służba Topograficzna Wojska Polskiego, arkusze: M-34-53-D, M-34-53-B, M-34-54-A, M-34-54-C.