

## STANDARYZACJA DANYCH KARTOGRAFICZNYCH I TELEDETEKCYJNYCH DO ANALIZY ZMIAN STRUKTURY KRAJOBRAZU

### THE STANDARDIZATION OF CARTOGRAPHICAL AND REMOTE SENSING DATA FOR THE ANALYSIS OF CHANGES IN LANDSCAPE STRUCTURE

**Mieczysław Kunz**

Zakład Teledetekcji i Kartografii, Instytut Geografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń

**Słowa kluczowe: GIS, pokrycie/użytkowanie terenu, przetwarzanie danych, standaryzacja danych**

Keywords: GIS, land-use/land-cover, data processing, data standardization

## Wprowadzenie

Sekwencje map topograficznych i historycznych wykonanych w tej samej skali to niezwykle cenne źródła informacji, które mogą być wykorzystywane do określenia przemian struktury użytkowania badanego terenu. Dane pochodzące z różnych źródeł kartograficznych, uzupełnione informacją ze zdjęć lotniczych i powiązane w system informacji geograficznej, mogą być wykorzystywane kompleksowo i analizowane w wielu aspektach.

Współcześnie systemy informacji geograficznej są standardowym narzędziem stosowanym w analizach zmian pokrycia/użytkowania terenu. Pomimo, że posługiwanie się procedurami i narzędziami geomatycznymi nie sprawia dziś większego problemu, to jednak sposób przygotowania danych pochodzących z różnych źródeł do analiz wieloczasowych jest wciąż skomplikowany i przez to często obarczony błędami. Popelniane błędy powinny być określone liczbowo, co pozwoliłoby na ich uwzględnienie przy interpretacji wyników. Początkowy etap wszystkich prac o strukturze użytkowania/pokrycia terenu, realizowany z wykorzystaniem map, a którego celem jest otrzymanie podkładów kartometrycznych, decyduje o jakości wyników osiąganych w dalszych etapach analizy przestrzennej.

Kolejnym etapem, po procesie geometryzacji danych rastrowych, jest proces szczegółowej interpretacji map pod kątem wydzielania wybranych klas pokrycia/użytkowania terenu. W przypadku sekwencji map różniących się czasem odwzorowania terenu (niejednokrotnie o setki lat) wyniki interpretacji powinny być poddane procesowi standaryzacji danych, po to aby analiza zmian dokonywana na podstawie różnorodnych źródeł była wiarygodna i po-

prawna. Na tym etapie analizy należy także wybrać najlepsze odniesienie czasowe ze względu na bogactwo treści występującej w materiałach źródłowych. Z uwagi na różnice treści map, wynikające ze stosowania różnych legend i korzystania z różnych instrukcji sporządzania map, pominięcie jednego stanu może dać bardziej interesujące wyniki, niż bezwzględne trzymanie się posiadanych zasobów.

## Cel i zakres opracowania

Celem niniejszej pracy było sformułowanie algorytmu postępowania w przypadku posługiwania się danymi wieloczasowymi oraz przeprowadzenie procesu standaryzacji danych pozyskanych z map historycznych, współczesnych podkładów topograficznych i leśnych map gospodarczych. Proces ten objął, oprócz map, także archiwalne i współczesne zdjęcia lotnicze.

W opracowaniu użyto następujących materiałów kartograficznych prezentujących obszar dzisiejszego Zaborskiego Parku Krajobrazowego (ZPK) w regionie Bory Tucholskie: map Schröttera-Engelhardta (1796–1802), pruskich map topograficznych – *Messtischblätter* (1874), map topograficznych Wojskowego Instytutu Geograficznego (1936), map topograficznych w układzie 1942 (1954), map topograficznych w układzie 1965 (1985). Dodatkowo w analizach wykorzystano mapy przeglądowe drzewostanów z lat: 1911, 1945, 1952–1954, 1966, 1976, 1987–1988, 1999–2000 oraz panchromatyczne i barwne zdjęcia lotnicze z lat: 1951, 1964, 1975, 1986 i 1997 (rys. 1 i 2).

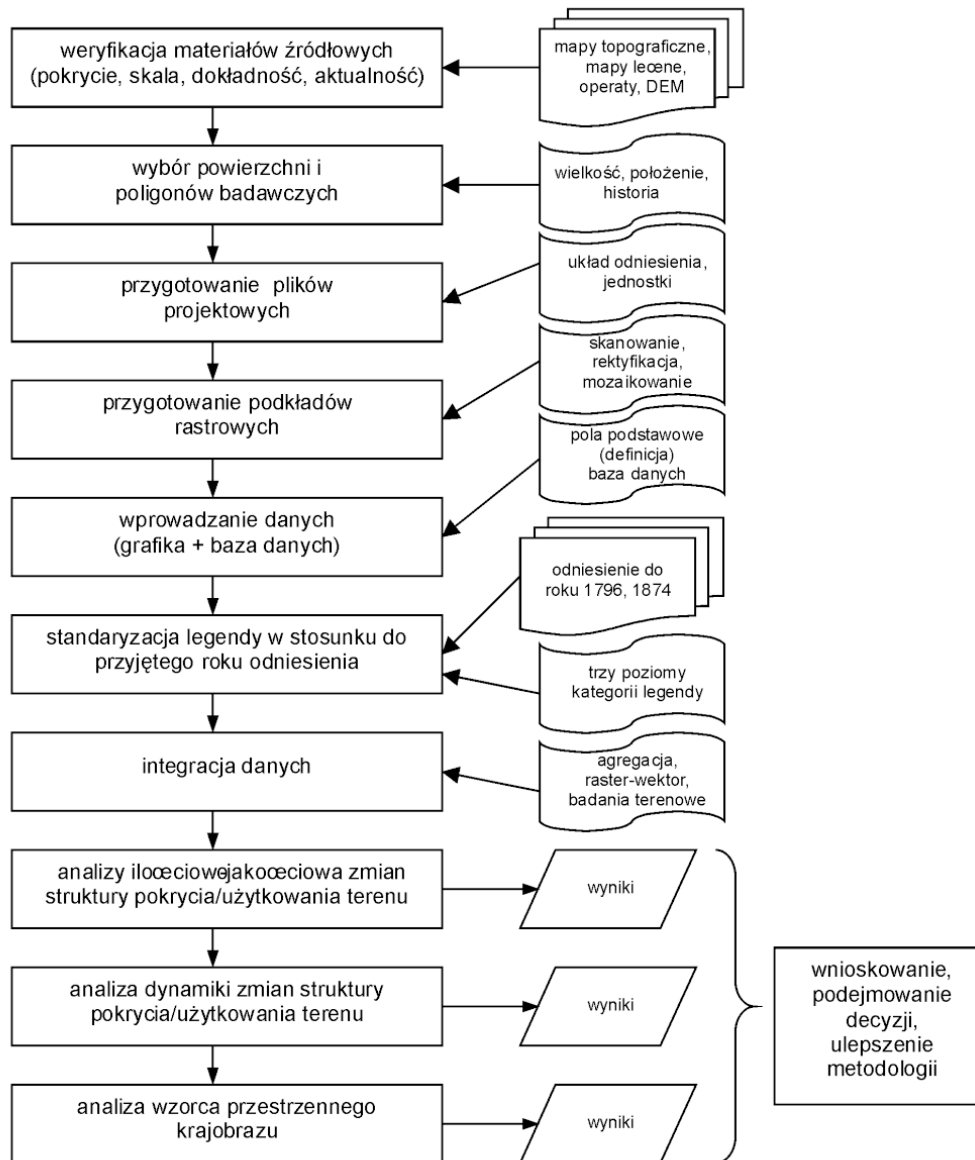
Pierwsza z analizowanej serii mapa topograficzna, opracowanie Schröttera-Engelhardta, wykonana była w skali 1:50 000. Skala pozostałych map wynosiła 1:25 000. Dostępny w analizie horyzont czasowy obejmował więc niecałe 200 lat. Mapy przeglądowe drzewostanów wykonane były w skali 1:20 000, za wyjątkiem roku 1987–1988, kiedy mapy te wyjątkowo wykonywano w skali 1:25 000. Zakres skal wykorzystanych zdjęć lotniczych mieścił się w zakresie od 1:12 000 do 1:26 000.

Badania prowadzono na trzech poligonach badawczych – Kruszyn (północna część ZPK), Łaska (środkowa część ZPK) oraz PNBT (południowa część ZPK).

## Metodyka pracy i uzyskane wyniki

Opracowany algorytm postępowania (rys. 3) obejmuje zagadnienie rekonstrukcji zmian pokrycia/użytkowania terenu Zaborskiego Parku Krajobrazowego wraz z analizą dynamiki tych zmian, przeprowadzoną w oparciu o możliwie najdłuższy horyzont czasowy i podobieństwo skal wykorzystywanych źródeł pierwotnych. Zaproponowane etapy pracy dotyczą całego postępowania badawczego, jednakże w niniejszym artykule uwzględniono tylko te etapy i ich uwarunkowania, które są związane bezpośrednio z tytułem i podanym zakresem opracowania.

Jako podstawowy układ współrzędnych w opracowaniu przyjęto układ „1965”, który jest systemem obowiązującym do końca 2009 roku. O wyborze tego układu zdecydowało kilka czynników, z których najważniejsze to: prostota definiowania (układ kartezyjski) oraz fakt, że ostatnia seria wykorzystanych map topograficznych wykonana była w tym układzie.



**Rys. 3.** Schemat postępowania badawczego dotyczącego rekonstrukcji pokrycia/użytkowania terenu Zaborskiego Parku Krajobrazowego oraz określenia dynamiki tych zmian

Ponadto układ „1965” przyjmowano jako podstawowy przy sporządzaniu różnych opracowań tematycznych związanych z gospodarką leśną. Również archiwalne leśne mapy gospodarcze i mapy przeglądowe wykonywane były w tym układzie. Istotne jest także pełne odtajnienie parametrów i równań transformacyjnych omawianego układu.

## Standaryzacja danych

Właściwa klasyfikacja treści mapy ułatwia stworzenie poprawnego, w sensie geograficznym, obrazu pokrycia/użytkowania terenu na podstawie interpretacji wieloczasowych map topograficznych i innych map tematycznych, w tym leśnych map gospodarczych. Pozwala ona także na wyjawienie, w procesie wnioskowania i generalizacji, ogólnych typowych cech tych obiektów.

W etapie standaryzacji następuje weryfikacja otrzymanej treści z interpretacji wszystkich wykorzystanych źródeł danych. W procesie porównywania wieloczasowych źródeł kartograficznych, a następnie wyciągania wniosków na podstawie różnic i podobieństw ich stanów, prześledzono zawartość tych danych źródłowych pod kątem wyróżnionych na mapach kategorii pokrycia/użytkowania terenu. Stwierdzono, że nie wszystkie kategorie występują na wszystkich stanach map.

Z powyższych względów, dla potrzeb krajobrazowych analiz wieloczasowych prowadzonych przez porównania źródeł kartograficznych (map topograficznych i map przeglądowych drzewostanów), proponuje się określać podczas weryfikacji trzy poziomy ilości kategorii pokrycia/użytkowania terenu:

- potencjalną liczbę kategorii (PTL),
- rzeczywistą liczbę kategorii (RLK),
- wykorzystaną liczbę kategorii (WLK).

**Potencjalna liczba kategorii** określa bogactwo informacyjne danej mapy, czyli informuje jakie kategorie pokrycia/użytkowania terenu zostały wydzielone podczas jej sporządzania.

**Rzeczywista liczba kategorii** określa bogactwo informacyjne danego obszaru, który podlega szczegółowej analizie, czyli określa liczbę wyróżnionych kategorii na badanym obszarze.

**Wykorzystana liczba kategorii** określa liczbę kategorii pokrycia/użytkowania terenu powstałych w procesie standaryzacji legendy na potrzeby analiz sekwencji czasowych.

Dzięki procesowi standaryzacji legend możemy porównywać treść map wykonanych w różnych okresach. W proponowanej metodyce pojęcie kategoria jest równoznaczne z pojęciem klasa, ale pierwsze z nich lepiej charakteryzuje źródła danych jakimi są mapy topograficzne.

Między proponowanymi poziomami kategorii pokrycia/użytkowania terenu zachodzi następująca zależność:

$$PLK \geq RLK \geq WLK,$$

co oznacza, że rzeczywista liczba kategorii nigdy nie przekracza potencjalnej liczby kategorii, zaś wyróżniona liczba kategorii jest co najwyżej równa rzeczywistej liczbie kategorii.

Weryfikację poziomów kategorii, zgodnie z zaproponowaną powyżej procedurą, przeprowadzono na wszystkich wykorzystanych źródłach informacyjnych, tj. na mapach topograficznych i mapach przeglądowych drzewostanów. Przykładowe wyniki analiz zawierają tabele 1 i 2 oraz rysunki 3 i 4.

Na podstawie powyżej opisanej analizy można stwierdzić, że liczba możliwych do wydzielenia typów kategorii (klas) pokrycia/użytkowania terenu wzrastała wraz z rozwojem nowych metod prezentacji kartograficznej i eksploracji terenowej, natomiast liczba wykorzystanych kategorii utrzymywała się na stałym poziomie. Powierzchnia na wykresie pomiędzy liniami PLK a WLK to niewykorzystany potencjał informacyjny danej serii map, który

**Tabela 1. Potencjalna (PLK), rzeczywista (RLK) i wykorzystana (WLK) liczba kategorii pokrycia użytkowania/terenu otrzymana na podstawie interpretacji map topograficznych 1796–1985**

Mapa / rocznik	Poligon Kruszyn	Poligon Laska	Poligon PNBT
Schrötter-Engelhardt / 1796–1802	6/5/4	6/5/4	6/5/4
Messtischblätter / 1874	8/6/4	8/7/5	8/8/5
WIG / 1936	7/7/5	7/7/5	7/7/5
PUW "1942" / 1954	8/6/4	8/7/4	8/8/5
PUW "1965" / 1985	9/6/5	9/6/4	9/6/4

Zapis x/x/x oznacza PLK/RLK/WLK

**Tabela 2. Potencjalna (PLK), rzeczywista (RLK) i wykorzystana (WLK) liczba kategorii pokrycia użytkowania/terenu otrzymana na podstawie interpretacji map przeglądowych drzewostanów 1911–2000**

Mapa / rocznik	Poligon Kruszyn	Poligon Laska	Poligon PN BT
1911/1945	15/10/10	15/10/10	15/6/6
1952/53/54	15/12/12	15/10/10	15/12/12
1966	15/13/12	15/13/12	15/12/11
1976	15/12/10	15/10/10	15/10/9
1987/88	15/12/10	15/11/10	15/8/7
1999/2000	15/11/9	15/10/9	15/9/8

Zapis x/x/x oznacza PLK/RLK/WLK

może być brany pod uwagę w przypadku interpretacji struktury krajobrazu badanej w pojedynczym przedziale czasowym.

W przypadku wykorzystania map przeglądowych drzewostanów liczba możliwych do wydzielenia kategorii utrzymuje się na niezmiennym poziomie przez cały analizowany okres. Jest to dowód na trwałość założeń i podejścia do gospodarki leśnej oraz stosowania podobnych metod prezentacji kartograficznej. Rzeczywiste kategorie nie wykazują jednak takiego przebiegu i w przypadku każdego analizowanego poligonu badawczego wraz ze wzrostem wartości na osi czasu maleje liczba wyróżnianych kategorii.

Na podstawie analizy klas (kategorii) pokrycia/użytkowania terenu przeprowadzonej dla wykorzystanych serii map proponuje się wprowadzić dwa nowe wskaźniki:

- wskaźnik ubytku informacji ( $U_i$ ) analizowanych serii map,
- wskaźnik potencjału informacyjnego ( $P_i$ ) analizowanych serii map.

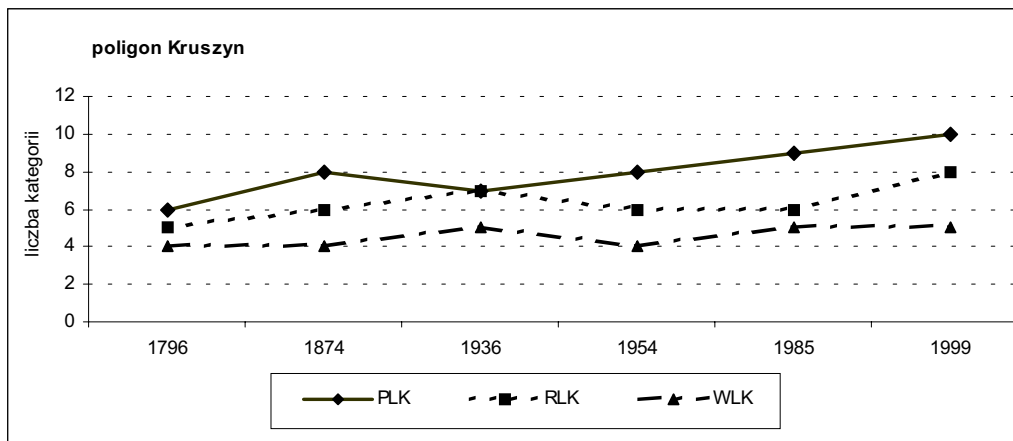
Wskaźniki te obliczane są jako wektorowa suma odległości pomiędzy PLK, RLK a WLK dla poszczególnych serii map zgodnie ze wzorem:

$$U_{i(rok_a-rok_z)} = (RLK-WLK)_{rok_a} + (RLK-WLK)_{rok_m} + \dots + (RLK-WLK)_{rok_z}$$

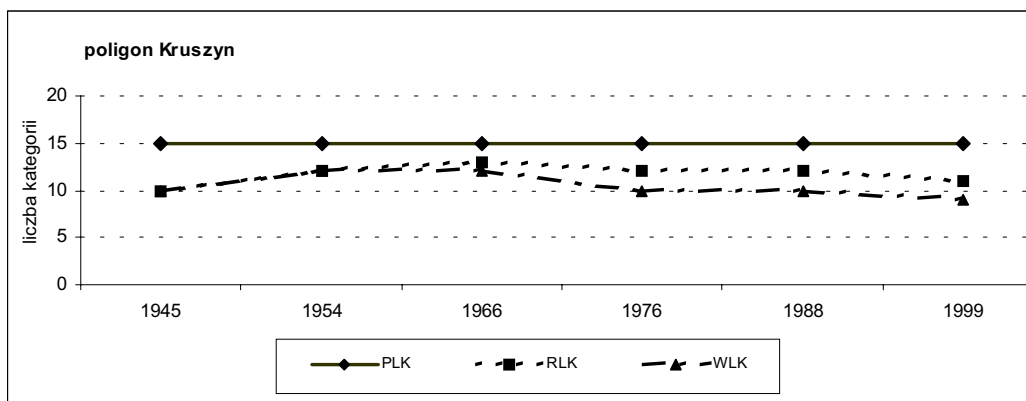
$$P_{i(rok_a-rok_z)} = (PLK-RLK)_{rok_a} + (PLK-RLK)_{rok_m} + \dots + (PLK-RLK)_{rok_z}$$

gdzie: rok  $a$  jest rokiem aktualności najstarszej, rok  $m$  pośredniej, a rok  $z$  najnowszej mapy.

Wskaźnik ubytku informacji ( $U_i$ ) mówi nam o zubożeniu ilości wykorzystanych klas pokrycia/użytkowania terenu w stosunku do rzeczywistej liczby wyróżnionych kategorii, spowodowanym standaryzacją wieloczasowych danych użytych do analiz porównawczych. Im wyższa jest wartość tego wskaźnika tym większa redukcja wyróżnionych klas pokrycia/



Rys. 4. Potencjalna (PLK), rzeczywista (RLK) i wykorzystana (WLK) liczba kategorii pokrycia/użytkowania terenu poligonu Kruszyn otrzymana na podstawie interpretacji map topograficznych 1796–1999



Rys. 5. Potencjalna (PLK), rzeczywista (RLK) i wykorzystana (WLK) liczba kategorii pokrycia/użytkowania terenu poligonu Kruszyn otrzymana na podstawie interpretacji map przeglądowych drzewostanów 1911–2000

użytkowania terenu nastąpiła w procesie standaryzacji danych. Wzrost wskaźnika oznacza też większy ubytek pierwotnej treści map.

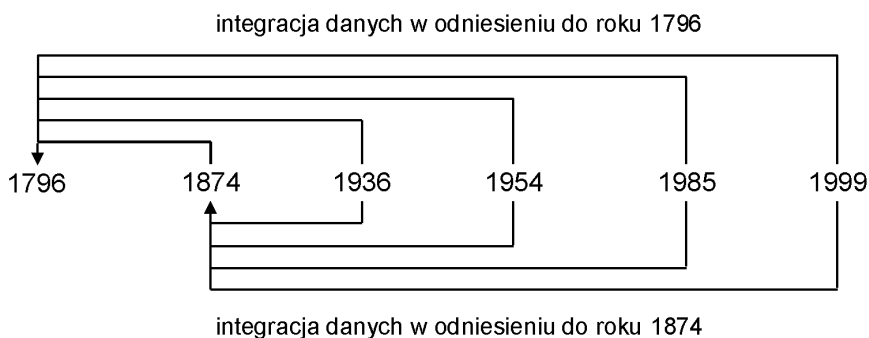
Wskaźnik potencjału informacyjnego ( $P_i$ ) mówi natomiast o bogactwie wyróżnionych klas pokrycia/użytkowania terenu w stosunku do ilości teoretycznej, założonej w procesie opracowywania materiału pierwotnego, zgodnie z instrukcją sporządzania danej serii map. Mniejsza wartość tego wskaźnika oznacza większe wykorzystanie pierwotnych klas pokrycia/użytkowania terenu, większą różnorodność krajobrazu i mniejszy niewykorzystany potencjał informacyjny źródła danych.

Z przedstawionych zależności wynika, że najkorzystniejsza sytuacja występuje wtedy, gdy:

$$U_i = P_i \text{ oraz } U_i \text{ i } P_i > 0.$$

Oznacza to, że wszystkie wyróżnione na mapach kategorie pokrycia/użytkowania terenu zostały wykorzystane w procesie integracji danych, a procedura standaryzacji nie niosła za sobą redukcji liczby wyróżnionych klas.

Na podstawie obliczonych wskaźników dla wszystkich serii map można przystąpić do wyboru najlepszego okresu odniesienia dla integracji danych (rys. 6). Zapewni to najlepszą analizę ze względu na bogactwo treści map źródłowych.



Rys. 6. Schemat integracji danych

## Agregacja danych

Podczas analizy danych zaobserwowano, że struktura przestrzenna przedstawiona na mapie leśnej jest podziałem czysto gospodarczym, a wykorzystanie tej treści w porównywaniu poszczególnych stanów z mapami topograficznymi może odbywać się jedynie po procesie agregacji wybranej treści mapy. W systemie informacji geograficznej, powstałym w oparciu o mapy przeglądowe drzewostanów, za podstawowy element przestrzenny przyjmuje się pododdział leśny. Wychodząc od tego pojęcia na kolejnym poziomie agregacji wprowadzono terminy: **leśna jednostka krajobrazowa** oraz **leśna jednostka wiekowa**.

**Leśna jednostka krajobrazowa** jest definiowana jako część obszaru leśnego obejmującego sąsiadujące pododdziały leśne, charakteryzujące się podobnym typem użytkowania terenu. Głównym kryterium dla wyznaczania krajobrazowych jednostek leśnych jest sposób użytkowania zaprezentowany na mapie przeglądowej nadleśnictw i zweryfikowany w operacie urządzania lasu.

**Leśna jednostka wiekowa** jest definiowana jako część obszaru leśnego obejmującego sąsiadujące pododdziały leśne, charakteryzujące się podobnym wiekiem drzewostanów. Głównym kryterium dla wyznaczania leśnej jednostki wiekowej jest klasa wieku, określona na podstawie prac taksacyjnych i zapisana w operacie urządzania lasu.

Krajobrazową jednostkę leśną można porównać do wydzielonego na podstawie map topograficznych płata krajobrazowego (ang. *patch*).

## **Modelowanie z wykorzystaniem niejednorodnych łańcuchów Markowa**

Tradycyjnie stosowane modele matematyczne, tzw. niejednorodne łańcuchy Markowa określają prawdopodobieństwo przejście układu z jednego studium do następnego. W prowadzonych badaniach wykorzystano te modele do określenia prawdopodobieństwa zastąpienia danej kategorii pokrycia/użytkowania terenu (równoważne jego udziałowi powierzchniowemu) przez inną kategorię w kolejnym okresie. Określono więc macierze przejść dla wszystkich stanów pokrycia/użytkowania terenu otrzymanych na podstawie interpretacji map topograficznych oraz map przeglądowych drzewostanów. Mapy wektorowe przekonwertowano do postaci rastrowej z wymiarem piksela 30 m. Zastosowany wymiar piksela (dwukrotność dokładności graficznej materiałów źródłowych) pozwala na wyeliminowanie wszystkich błędów graficznych, w tym powstałych w procesie rektyfikacji map. Otrzymane przy tym założeniu wyniki pokazują rzeczywiste zmiany, jakie zaszły w analizowanym horyzoncie czasowym na badanym obszarze.

W procesie tym zauważono jednak, że analiza, dzięki występowaniu przejść „niemożliwych” (np. przejście woda-las w krótkim przedziale czasowym) świadczy o lokalnym braku dokładności procesu rektyfikacji map lub o błędzie interpretacyjnym bądź kartograficznym.

## **Podsumowanie**

Opracowany algorytm postępowania pozwala na pełną integrację zgromadzonych danych pochodzących z różnych źródeł oraz na wykorzystywanie wszystkich posiadanych sekwencji czasowych map do analiz retrospektywnych zmian pokrycia/użytkowania terenu. Zaproponowanie obliczania potencjalnej, rzeczywistej i wykorzystanej liczby kategorii (PLK, WLK, RLK) oraz wprowadzenie wskaźnika ubytku informacji ( $U_i$ ) i potencjału informacyjnego ( $P_i$ ) wydaje się nieodzownym działaniem dla analiz porównawczych, obejmujących mapy wykonywane w różnych okresach, przy wykorzystaniu niespójnych instrukcji kartograficznych. Stwierdzono, że oba wskaźniki są dobrą miarą stopnia wykorzystania zastosowanego zbioru danych kartograficznych do opisu zmian użytkowania terenu i struktury badanego krajobrazu.

Wprowadzone leśne jednostki krajobrazowe ułatwiły odniesienie treści mapy przeglądowej drzewostanów do informacji zawartej na mapach topograficznych. Dzięki sprecyzowaniu tej relacji możliwe było określenie kolejnych stanów pokrycia/użytkowania terenu dla obszarów leśnych. Z kolei wprowadzenie leśnych jednostek wiekowych ujawniło większe zróżnicowanie przestrzenne na pozornie homogenicznych, dużych obszarach pokrytych kategorią lasy. Problematyka wprowadzenia leśnych jednostek wiekowych nie została w pełni wyczerpana. Stosowanie ich na dużą skalę w kartografii leśnej wymaga jeszcze dalszych badań szczegółowych.

Materiały fotolotnicze, od dawna wykorzystywane w badaniu środowiska przyrodniczego i jego komponentów, stanowią cenne i nieraz jedyne uzupełnienie istniejących materiałów źródłowych. Wykorzystując je w badaniach przyrodniczych służących interpretacji pokrycia/użytkowania terenu należy zawsze sporządzić optymalny klucz fotointerpretacyjny.

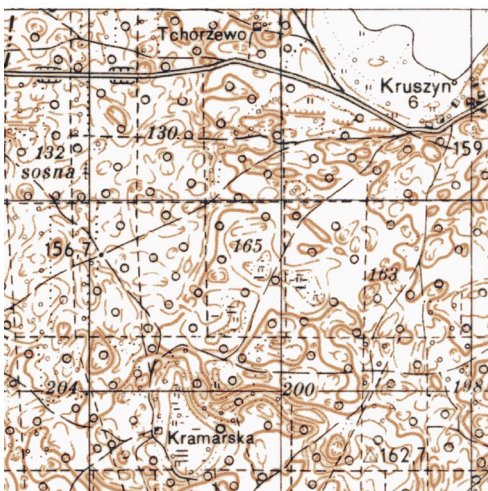
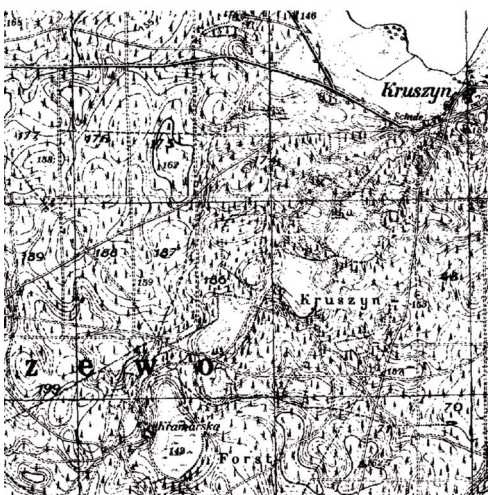


W najbliższym czasie należy spodziewać się szerszego wykorzystania wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych, których parametry techniczne powoli zbliżają się do zdjęć lotniczych, a możliwość informacyjna będzie wkrótce zbliżona do map topograficznych. Zaproponowane procedury integracji wieloźródłowych danych dotyczących pokrycia/użytkowania terenu będą wtedy także aktualne.

#### **Summary**

*This paper presents the algorithm of the procedures for analysis landuse/landcover structure on the basis of primary multisources data (topographic maps, thematic maps and aerial photographs). The procedure of full data integration was elaborated with the application of Geographical Information System (GIS) technology. The process of standardization multitemporal data was discussed in detail. The worked out procedures allow for the analysis of landuse/landcover in any period of time.*

dr Mieczysław Kunz  
met@uni.torun.pl  
tel. (056) 611 46 98



**Rys. 1.** Fragment wykorzystanych map topograficznych: mapa Schröttera-Engelhardta (LG), Messstischblätter (PG), mapa WIG (LŚ), mapa topograficzna w układzie 1942 (PŚ), mapa topograficzna w układzie 1965 (LD); oznaczenia: L – lewy, P – prawy, G – góra, Ś – środek, D – dół.



**Rys. 2.** Zdjęcia lotnicze okolic jeziora Kruszyńskiego wykonane w 1951 (LG), 1964 (PG), 1975 (LD) i 1997 roku (PD); oznaczenia L – lewy, P – prawy, G – góra, D – dół.