



Kierunek studiów: Geoinformacja

Nr albumu: 444861

**Błażej Kościański**

**Zmiany pokrycia terenu dla obszaru Polski:  
1990-2018**

*Analysis of land cover changes in Poland between 1990  
and 2018*

Praca inżynierska napisana  
w Instytucie Geoekologii i Geoinformacji  
pod kierunkiem  
dr. Jakuba Nowosada

Poznań, 2022



---

Poznań, dnia .....

## OŚWIADCZENIE

Ja, niżej podpisany/a student/ka Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oświadczam, że przedkładaną pracę dyplomową napisałem/napisałam samodzielnie. Oznacza to, że przy pisaniu pracy, poza niezbędnymi konsultacjami, nie korzystałem/am z pomocy innych osób, a w szczególności nie zlecałem/am opracowania rozprawy lub jej części innym osobom, ani nie odpisywałem/am tej rozprawy lub jej części od innych osób.

Oświadczam również, że egzemplarz pracy dyplomowej w wersji drukowanej jest całkowicie zgodny z egzemplarzem pracy dyplomowej w wersji elektronicznej.

Jednocześnie przyjmuję do wiadomości, że przypisanie sobie, w pracy dyplomowej, autorstwa istotnego fragmentu lub innych elementów cudzego utworu lub ustalenia naukowego stanowi podstawę stwierdzenia nieważności postępowania administracyjnego w sprawie nadania tytułu zawodowego.

[    ]\* - wyrażam zgodę na udostępnianie mojej pracy w czytelni Archiwum UAM

[    ]\* - wyrażam zgodę na udostępnianie mojej pracy w zakresie koniecznym do ochrony mojego prawa do autorstwa lub praw osób trzecich

\*Należy wpisać TAK w przypadku wyrażenia zgody na udostępnianie pracy w czytelni Archiwum UAM, NIE w przypadku braku zgody. Niewypełnienie pola oznacza brak zgody na udostępnianie pracy.

.....

(czytelny podpis studenta)

---

## Streszczenie

Ocena dynamiki zmian pokrycia terenu ma ważne znaczenie dla skutecznego planowania i zarządzania zasobami. Celem tej pracy było określenie zmian pokrycia terenu na obszarze Polski w latach 1990-2018 dodatkowo rozszerzając istniejące metody analiz przestrzennych o analizy struktur przestrzennych. Do pracy wykorzystane zostały zbiory danych przestrzennych o pokryciu terenu CORINE Land Cover (CLC). Zmiany ilościowe zostały obliczone z użyciem algebry rastrów. Analiza przestrzennego charakteru zmian pokrycia terenu wykonana została w oparciu o metody wykorzystujące obliczenia sygnatur przestrzennych dla mniejszych obszarów wydzielonych z obszaru badań. Wynikiem pracy są informacje o najważniejszych kierunkach zmian pokrycia terenu na obszarze Polski w latach 1990-2018.

Słowa kluczowe: struktura przestrzenna, sygnatury przestrzenne, pokrycie terenu, CORINE Land Cover, CLC

## Abstract

Assessing land cover change dynamics is important for effective planning and resource management. The aim of this study was to determine the changes in land cover in Poland in the years 1990-2018, additionally extending the existing methods of spatial analyzes with analyzes of spatial patterns. The analysis is based on CORINE Land Cover (CLC) spatial data sets. Quantitative changes were calculated using raster algebra. The spatial analysis of land cover changes was performed using methods that utilize calculation of spatial signatures for regions made by dividing the study area into smaller fragments. The result of the work is information on the most important directions of land cover changes in Poland in 1990-2018.

Keywords: spatial patterns, spatial signatures, land cover, CORINE Land Cover, CLC

# Spis treści

Streszczenie . . . . .	4
Abstract . . . . .	4
<b>1 Wprowadzenie</b>	<b>7</b>
<b>2 Przegląd literatury</b>	<b>9</b>
<b>3 Materiały</b>	<b>11</b>
3.1 Obszar badań . . . . .	11
3.2 Dane CORINE Land Cover . . . . .	11
3.3 Dane dodatkowe . . . . .	13
<b>4 Metody</b>	<b>15</b>
4.1 Reklasyfikacja danych CLC . . . . .	15
4.2 Wykorzystane oprogramowanie . . . . .	16
4.3 Przygotowanie danych do analizy . . . . .	19
<b>5 Wyniki</b>	<b>23</b>
5.1 Analiza zmian na poziomie krajowym . . . . .	23
5.2 Analiza zmian struktur przestrzennych dla wyodrębnionych jednostek przestrzennych . . . . .	31
<b>6 Podsumowanie</b>	<b>37</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>39</b>



# Rozdział 1

## Wprowadzenie

Pokrycie terenu stanowi wszelkie obiekty znajdujące się na powierzchni Ziemi związane zarówno ze skutkami sił przyrody, jak i działalności człowieka. Wśród tych obiektów znajduje się rzeźba terenu, zjawiska hydrograficzne, kompleksy roślinne oraz wszelkie formy antropogeniczne (Olędzki i in., 1987). Pokrycie terenu dla dużych obszarów zazwyczaj opisywane jest za pomocą danych o pokryciu terenu.

W ostatnich latach, zmiany wywołane przez człowieka znacząco wpłynęły na otaczające nas środowisko (Radwan i in., 2021; Nowosad i in., 2019; Mucher i in., 2000). Zmiany pokrycia terenu mają bezpośredni wpływ na zmiany klimatu i warunki środowiskowe. Antropogeniczne zmiany pokrycia terenu stanowią szczególne zagrożenie dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów (Verburg i in., 2011). Znaczna ich część może mieć negatywny wpływ zarówno na środowisko (Tai i in., 2014), jak i działalność człowieka (Feddemma i in., 2006). Dlatego też monitorowanie zmian pokrycia terenu, a także ocena dynamiki tych zmian ma pierwszorzędne znaczenie dla skutecznego planowania i zarządzania zasobami.

Jednym z programów, których celem jest monitorowanie pokrycia terenu, jest program CORINE przyjęty w 1985 roku przez Komisję Wspólnot Europejskich. Program ten oparty jest o analizy licznych obrazów satelitarnych, które następnie są interpretowane do uproszczonej postaci danych podzielonych na ustalone kategorie pokrycia terenu. Do wyników programu CORINE należą, między innymi, zbiory danych o pokryciu terenu

CORINE Land Cover (CLC), obejmujące obszarem większość państw europejskich. Dane te są szczególnie popularne w celach analiz zmian pokrycia terenu (Mierzwiak i in., 2019; Ciołkosz i in., 2006).

Zmiany pokrycia terenu można analizować przy użyciu różnych metod. Najbardziej podstawowym sposobem jest prosta analiza zmian ilościowych pokrycia terenu na analizowanym obszarze. Inny sposób, oparty o metody wywodzące się z dziedziny ekologii krajobrazów, polega na podzieleniu obszaru badań na mniejsze jednostki przestrzenne, a następnie wykonanie różnorodnych analiz wewnątrz tych jednostek (Nowosad i in., 2019). Analizy można wykonać dla obszarów regularnych lub nieregularnych. Podstawowa metoda podziału na obszary regularne zakłada podzielenie dużego regionu na mniejsze obszary o kształcie kwadratu. Innym podejściem jest podział na obszary nieregularne, które mogą być wynikiem wcześniejszych badań (np. ekoregiony) lub reprezentować pewne istniejące granice, takie jak podziały administracyjne (Nowosad, 2021a).

Jednym z rodzajów wspomnianych powyżej analiz są analizy oparte o sygnatury przestrzenne. Sygnatury przestrzenne stanowią statystyczny opis pewnych struktur przestrzennych występujących wewnątrz rastra (Nowosad, 2021a; Jasiewicz i in., 2015). Takie podejście do analizy przestrzennej umożliwia między innymi ocenę zmian przestrzennej kompozycji i konfiguracji analizowanych jednostek przestrzennych.

Głównym celem tej pracy jest analiza ogólnego charakteru oraz przestrzennego rozmieszczenia głównych zmian pokrycia terenu na obszarze Polski w latach 1990-2018. Poza ogólnymi zmianami ilościowymi obliczonymi dla całego analizowanego obszaru, w pracy uwzględniono także analizy struktur przestrzennych na podstawie obliczeń sygnatur przestrzennych dla mniejszych obszarów wydzielonych z obszaru badań. Dodatkowym celem było znalezienie i graficzna reprezentacja najbardziej zmienionych obszarów w przeciągu ostatnich 28 lat oraz sporządzenie map pokrycia terenu Polski, opartych o dane CORINE Land Cover dla lat 1990 i 2018 zreklasyfikowane do 7 kategorii pokrycia terenu, umożliwiających ogólną ocenę stanu pokrycia terenu dla tych lat.



## Rozdział 2

# Przegląd literatury

W pracy Nowosad i in. (2019) przedstawione zostały metody analizy globalnych zmian pokrycia terenu z wykorzystaniem technik opartych o analizy struktur przestrzennych, na których bazuje ta praca. Jednakże, ze względu na zastosowanie w powyższej pracy danych o pokryciu terenu pochodzących z programu ESA Climate Change Initiative (ESA CCI) o rozdzielczości przestrzennej 300m, wynikowa mapa globalnych zmian pokrycia terenu w latach 1992-2015 umożliwia określenie trendów zmian przestrzennych w badanym okresie wyłącznie w skali globalnej. W tej pracy, w celu wykonania szczegółowej analizy, bardziej dostosowanej do rozmiaru państw europejskich, wykorzystano dane o pokryciu terenu udostępniane w ramach europejskiego programu CORINE. Dane wynikowe programu CORINE użyte do celów tej pracy zostały bardziej wnikliwie opisane w podrozdziale 3.2.

Analiza w skali europejskiej przedstawiona została w pracy Mucher i in. (2000). W tym artykule opracowana została metoda umożliwiająca uzyskanie ogólnoeuropejskiej bazy danych pokrycia terenu o rozdzielczości przestrzennej 1 km, którą można w łatwy sposób aktualizować za pomocą danych satelitarnych. Jednakże sam autor zwrócił uwagę na ograniczenia w monitorowaniu zmian przestrzennych wynikające z niewielkiej rozdzielczości przestrzennej użytych danych, co było powodem wykorzystania dodatkowych technik wykrywania zmian.

Analiza zmian pokrycia terenu w Polsce w drugiej połowie XX wieku wykonana została w artykule Ciołkosz i in. (2006). Autorzy zwrócili uwagę na widoczny regionalizm zmian pokrycia terenu, czyli występowanie regionów o niewielkiej ilości zmian, jak i obszarów o intensywnych zmianach i znacznym zasięgu, co także zostało zaznaczone w wynikach tej pracy dyplomowej.

W publikacji autorstwa Mierzwiak i in. (2019) została przeprowadzona analiza zmian pokrycia terenu w Polsce dla lat 1990-2012 i także została oparta na danych pochodzących z programu CORINE. W przeciwieństwie do badań Mierzwiak i in. (2019), w tej pracy dyplomowej nie zostały wykorzystane bazy danych zmian pokrycia terenu między produktami programu CORINE. Zamiast tego, użyto produktów tego programu w postaci rastrowych map pokrycia terenu CORINE Land Cover dla lat 1990 i 2018. Statystyki dotyczące zmian pokrycia terenu między analizowanymi rastrami zostały obliczone za pomocą podstawowej algebry rastrów. Co więcej, podejście do analizy zmian przestrzennych zostało rozszerzone o analizę struktur przestrzennych na podstawie metod przedstawionych w pracy Nowosad i in. (2019) oraz Nowosad (2021a).

## Rozdział 3

# Materiały

### 3.1 Obszar badań

Obszar badań obejmuje terytorium Polski, włącznie z morskimi wodami wewnętrznymi i morzem terytorialnym. Oficjalna powierzchnia całego państwa wynosi 322719 km<sup>2</sup> (źródło: Rocznik Statystyczny RP, 2021). Ze względu na wykorzystanie w pracy danych rastrowych, rzeczywista powierzchnia objęta analizą wynosi 322720,74 km<sup>2</sup>. 96,7% tej powierzchni obejmują obszary lądowe, włącznie z wodami śródlądowymi. Pozostałą część powierzchni stanowi obszar morskich wód wewnętrznych oraz morza terytorialnego.

### 3.2 Dane CORINE Land Cover

Do analizy wykorzystane zostały zbiory danych przestrzennych o pokryciu terenu CORINE Land Cover (CLC). Program CORINE (Coordination of Information on Environment) został przyjęty w 1985 roku przez Komisję Wspólnot Europejskich. Jego celem było skoordynowanie przedsięwzięć w zakresie gromadzenia i przetwarzania informacji o stanie środowiska geograficznego w krajach Wspólnoty Europejskiej oraz ich standaryzację w celu umożliwienia wymiany informacji między krajami członkowskimi (Bielecka i in., 2004).

W większości państw CLC jest tworzony poprzez wizualną interpretację obrazów satelitarnych o wysokiej rozdzielczości. W kilku państwach stosuje się różne rozwiązania półautomatyczne, wykorzystujące między innymi przetwarzanie obrazów satelitarnych, GIS i generalizację danych. Minimalna mapowana jednostka dla CLC wynosi 25 hektarów dla obiektów przestrzennych i 100 metrów dla obiektów liniowych. Dodatkowo wraz z każdym kolejnym produktem CLC powstaje także baza danych zmian między nowymi danymi, a ostatnio powstała baza, dla której stosuje się minimalną mapowaną jednostkę wynoszącą 5 hektarów.

Efekty programu CORINE udostępniane są w formacie rastrowym GeoTiff o rozdzielczości przestrzennej 100 metrów (oznacza to, że jeden piksel rastra obejmuje 1 hektar powierzchni) oraz formatach wektorowych ESRI i SQLite geodatabase. Układy współrzędnych, w jakich udostępniane są wyniki projektu CORINE, zależne są od organu je rozpowszechniającego. Przykładowo, dane obejmujące obszar całej Europy, pozyskane z witryny Copernicus Land Monitoring Service (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>) wykorzystują układ współrzędnych ETRS-LAEA (EPSG:3035), natomiast dane udostępniane przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (<https://clc.gios.gov.pl/>), uwzględniające wyłącznie dane dla terytorium Polski, wykorzystują Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992 (EPSG:2180)

Dane inwentaryzacyjne CORINE Land Cover dostępne dla lat 1990, 2000, 2006, 2012 i 2018, zorganizowane są hierarchicznie na trzech poziomach szczegółowości. Na pierwszym poziomie wyszczególniono pięć głównych typów pokrycia terenu: tereny antropogeniczne, tereny rolne, lasy i ekosystemy seminaturalne, obszary podmokłe oraz obszary wodne. Drugi poziom obejmuje 15 form pokrycia terenu, które można przedstawić na mapach w skalach od 1:500 000 do 1:1 000 000. Dla trzeciego poziomu danych CLC wyróżnione zostały 44 kategorie, obejmujące wszystkie formy pokrycia terenu występujące na kontynencie europejskim.

Do celów tej pracy, użyte zostały dane rastrowe dla lat 1990 i 2018, udostępnione do pobrania na witrynie Copernicus Land Monitoring Service (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>).

### **3.3 Dane dodatkowe**

W pracy wykorzystane zostały także dane wektorowe dotyczące oficjalnego podziału terytorialnego Polski pozyskane z Państwowego Rejestru Granic (PRG) udostępnionym na Geoportalu (<https://www.geoportal.gov.pl/dane/panstwowy-rejestr-granic>).



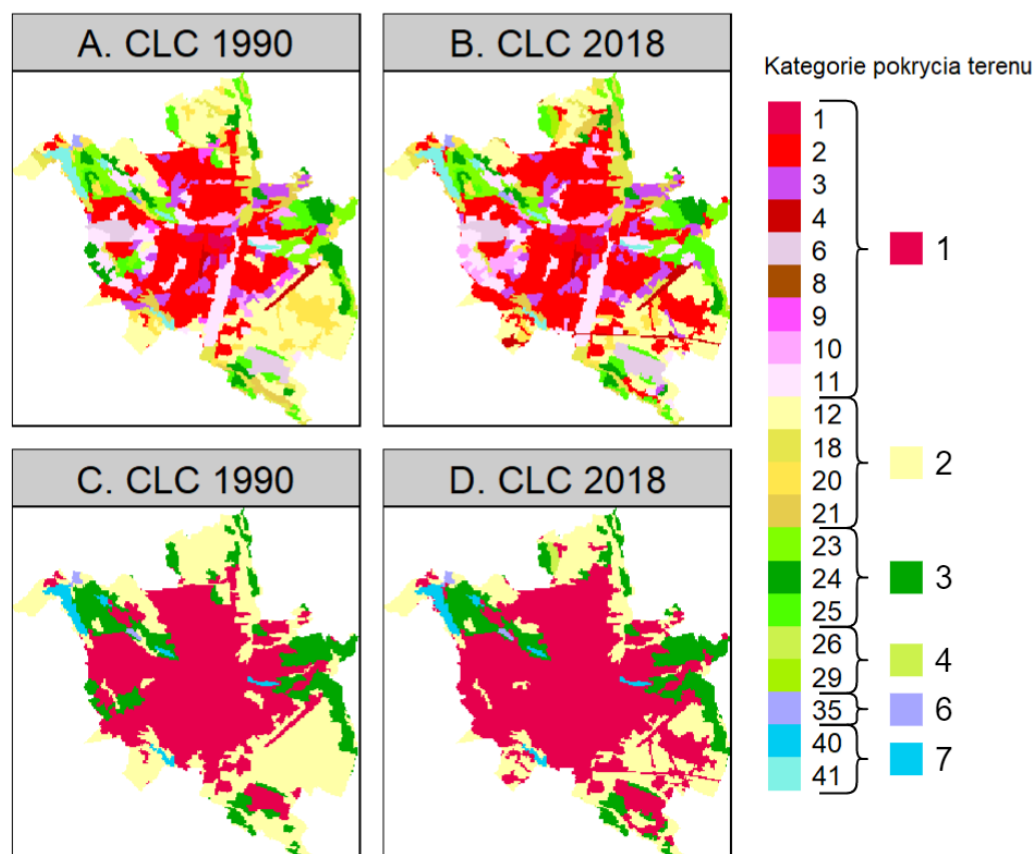
## Rozdział 4

# Metody

### 4.1 Reklasyfikacja danych CLC

W celu ułatwienia interpretacji wyników, klasy CLC zostały poddane reklasyfikacji. Reklasyfikacja to proces ponownego przypisania jednej lub więcej wartości w zestawie danych rastrowych do nowych wartości wyjściowych. Dane o pokryciu terenu w programie CORINE udostępniane są na najniższym, trzecim poziomie podziału kategorii. Wykorzystanie wszystkich klas pokrycia terenu występujących na obszarze Polski doprowadziłoby do nadmiaru informacji i tym samym zwiększenia trudności interpretacji wyników. Rycina 4.1 przedstawia przykład wpływu reklasyfikacji na liczbę kategorii pokrycia terenu występujących na obszarze miasta Poznań. Aby uniknąć powyższej sytuacji, klasy zostały zgrupowane do oryginalnego podziału dla pierwszego poziomu CLC, z wyjątkiem lasów i ekosystemów naturalnych, gdzie zastosowano podział dla poziomu drugiego.

W wyniku reklasyfikacji liczba klas pokrycia terenu została zmniejszona z 33 klas poziomu trzeciego występujących na obszarze Polski do 7. Otrzymano następujące kategorie pokrycia terenu: 1. tereny antropogeniczne, 2. tereny rolne, 3. lasy, 4. tereny krzewiaste, 5. tereny z rzadszą roślinnością, 6. obszary podmokłe, 7. obszary wodne.



**Rysunek 4.1:** Porównanie danych CLC dla obszaru miasta Poznań przed (górne panele) i po reklasyfikacji (dolne panele)

## 4.2 Wykorzystane oprogramowanie

Wszystkie obliczenia i ryciny zostały przygotowane za pomocą języka *R* (R Core Team, 2020). Najważniejszym pakietem tego języka, który pozwolił na przeprowadzenie analizy zmian struktur przestrzennych, był pakiet *motif* (Nowosad, 2021b). Pakiet ten umożliwia przekształcenie kategoryzowanych danych rastrowych, niosących wyłącznie informacje o pojedynczych komórkach, w sygnatury przestrzenne, będące statystycznym opisem pewnych struktur przestrzennych występujących wewnątrz rastra. Jedną z najbardziej podstawowych sygnatur przestrzennych jest kompozycja. Stanowi ona podsumowanie liczby komórek danej kategorii występujących na analizowanym obszarze. Obok kompozycji wyróżnia się także konfigurację, która stanowi opis liczby komórek danych kategorii występujących w sąsiedztwie komórek innych kategorii.



Wyróżnia się także metody opisu struktur przestrzennych będące połączeniem wcześniej wspomnianych sygnatur (Nowosad, 2021a). Jedną z nich jest, między innymi, macierz współwystępowania, którą tworzy się poprzez zliczenie wszystkich par sąsiadujących ze sobą komórek. W wyniku otrzymywana jest macierz o wymiarach  $k$  na  $k$ , gdzie  $k$  jest równe liczbie klas występujących w rastrze kategoryzowanym (Jasiewicz i in., 2015). Wewnątrz macierzy współwystępowania, wartości przekątne związane są z kompozycją rastra, natomiast wartości pionowe i poziome - z jego konfiguracją. Sygnaturą wykorzystaną do obliczeń w tej pracy był histogram współwystępowania, będący przekształceniem macierzy współwystępowania do postaci jednowymiarowej.

Wizualizacje danych przestrzennych stworzone zostały z wykorzystaniem pakietu *tmap* (Tennekes, 2021), natomiast do wizualizacji danych ilościowych wykorzystany został pakiet *ggplot2* (Wickham i in., 2021).

#### **4.2.1 Pakiet Motif**

Pakiet motif jest narzędziem o otwartym kodzie źródłowym, umożliwiającym analizy struktur przestrzennych dla dowolnych kategorycznych danych rastrowych za pomocą sygnatur przestrzennych (Nowosad, 2021a). Sygnatury można obliczyć zarówno dla obszarów regularnych, takich jak siatka jednakowych kwadratów, jak i obszarów nieregularnych, jak np. jednostki podziału administracyjnego. Funkcje wewnątrz pakietu pozwalają na obliczenie siedmiu różnych sygnatur przestrzennych, takich jak:

- kompozycja,
- macierz współwystępowania,
- histogram współwystępowania,
- ważona macierz współwystępowania,
- ważony histogram współwystępowania,
- zintegrowana macierz współwystępowania,
- zintegrowany histogram współwystępowania.



W wyniku obliczeń otrzymany został obiekt klasy *lsp* zawierający trzy kolumny:

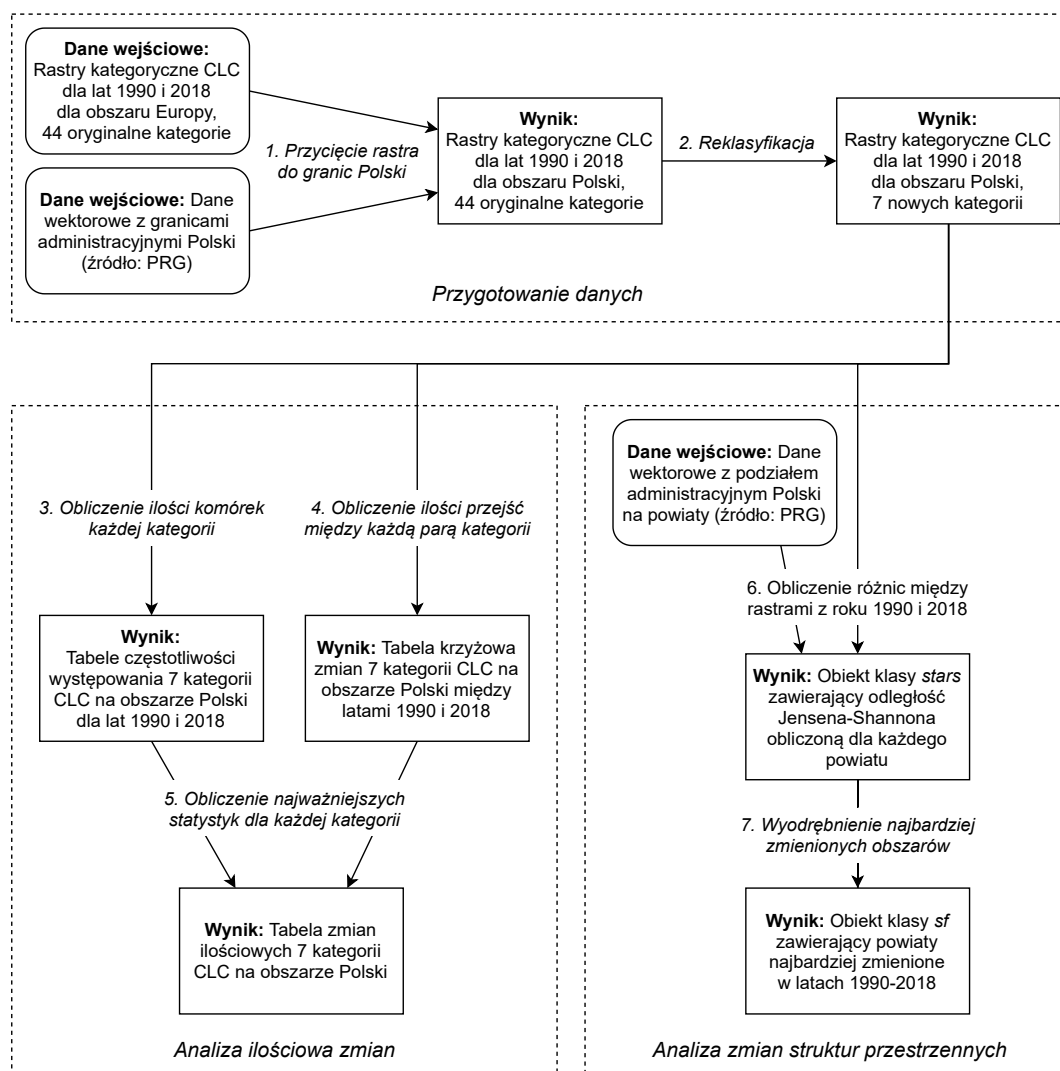
- *id* - unikatowy identyfikator każdego obszaru,
- *na\_prop* - udział komórek *NA* w danym obszarze, czyli komórek oznaczających brakujące wartości,
- *signature* - sygnatura obliczona dla danego obszaru.

Sygnatura przestrzenna to opis struktur przestrzennych analizowanego obszaru, zapisany w sposób numeryczny (Jasiewicz i in., 2015). Taki sposób zapisu danych o pokryciu terenu umożliwia ilościowe porównania struktur przestrzennych dowolnych obszarów. W pakiecie *motif*, sygnatury można obejrzeć poprzez wydzielenie ich z kolumny *signature*:

```
coma$signature[[24]]  
#>   1    2    3 4    5 6    7  
#> 1 28   26    0 0    0 0    0  
#> 2 26 3814   270 0    0 0    0  
#> 3  0   270 10368 0 211 3    2  
#> 4  0    0    0 0    0 0    0  
#> 5  0    0   211 0 528 0   125  
#> 6  0    0    3 0    0 0    0  
#> 7  0    0    2 0 125 0 23588
```

### 4.3 Przygotowanie danych do analizy

Poszczególne kroki wykonane w celu pozyskania wyników umożliwiających dalszą analizę struktur przestrzennych na wyodrębnionych obszarach zostały przedstawione na rycinie 4.2. Podany przykład jest wyłącznie uproszczeniem czynności wykonanych w rzeczywistości, ponieważ w sekcji “Analiza zmian pokrycia terenu” zawarty został wyłącznie proces pozyskania danych wyjściowych do analizy struktur przestrzennych na poziomie powiatów.



**Rysunek 4.2:** Schemat procesu przygotowania danych do analizy

Wszystkie dane wykorzystane do przygotowania analizy zostały szczegółowo omówione w rozdziale 3. Ze względu na to, że pobrane dane rastrowe CLC obejmują obszar większy niż obszar analizowany w tej pracy, pierwszym krokiem przygotowania danych było przycięcie danych rastrowych do granic Polski.

Następnie, otrzymane rastry zostały poddane reklasyfikacji. Proces ten został dokładniej opisany w sekcji 4.1. Dane CLC oryginalnie udostępniane są na trzecim poziomie podziału kategorii pokrycia terenu. Oznacza to, że dane CLC dla wybranego regionu w Europie mogą zawierać aż 44 różne kategorie pokrycia terenu. W celu uniknięcia nadmiaru informacji powstałej przy próbie porównania zmian między taką liczbą kategorii

dane zostały zreklasyfikowane do 7 kategorii. Przykład wpływu reklasyfikacji na ilość zawartych informacji na przykładzie obszaru miasta Poznań ilustruje rycina 4.1.

W wyniku przygotowania danych, otrzymane zostały rastry kategoriyczne CLC dla lat 1990 i 2018 zawierające informacje o 7 głównych kategoriach pokrycia terenu, przycięte do obszaru Polski.

Kolejny etap polegał na wykonaniu ilościowej analizy zmian pokrycia terenu dla całego analizowanego obszaru. W pierwszej kolejności (krok 3 na diagramie) obliczona została tabela częstotliwości występowania zreklasyfikowanych kategorii CLC w poszczególnych latach. Tabela ta zawiera informacje o liczbie komórek danej kategorii występujących na rastrze dla danego roku. Następnie, obliczona została tabela krzyżowa zmian zreklasyfikowanych kategorii między analizowanymi latami (Tabela 5.2). Otrzymana tabela krzyżowa zawiera dane o wszystkich zmianach pokrycia terenu pomiędzy każdą możliwą parą kategorii pokrycia terenu. Na podstawie wykonanej tabeli krzyżowej stworzona została tabela 5.1 zawierająca podstawowe statystyki podsumowujące zmiany ilościowe na obszarze Polski w podziale na zreklasyfikowane kategorie pokrycia terenu.

Obliczone statystyki to między innymi: suma powierzchni dla lat 1990 i 2018, bilans zmian między latami, ubytki i przyrosty powierzchni w analizowanym czasie oraz procentowa zmiana stanu danej kategorii. Podział na bilans zmian, ubytki oraz przyrosty wywodzi się z tego, że bilans zmian stanowi wyłącznie różnicę względną między stanem z roku 1990 a tym z roku 2018. Oznacza to, że gdy w teoretycznej sytuacji dwie komórki rastra, o różnych kategoriach, zmieniają swoje kategorie na kategorię drugiej komórki - bilans zmian pozostaje zerowy. Statystyka ta nie ukazuje zmian, które zaszły w komórkach, ze względu na to, że liczba komórek tych kategorii pozostała bez zmian. Aby uwzględnić takie zmiany, obliczono także różnicę względną między stanami z analizowanych lat w postaci ilości ubytków i przyrostów każdej kategorii. Ubytki danej kategorii stanowią liczbę komórek, które w roku 1990 należały do tej kategorii, natomiast w roku 2018 zmieniły swoją kategorię na dowolną inną. Przyrosty danej kategorii oznaczają liczbę komórek, które w roku 1990 należały do pozostałych kategorii, a w roku 2018 zmieniły swoją kategorię na tą jedną. Zmiana między latami

została obliczona jako stosunek stanu powierzchni z roku 2018 do stanu z roku 1990. Zmiana +50% oznacza, że powierzchnia z roku 2018 stanowi 150% powierzchni z roku 1990. Analogicznie zmiana -50% oznacza, że powierzchnia z roku 2018 stanowi 50% powierzchni z roku 1990.

Do ilościowej oceny wielkości zmian struktur przestrzennych wykorzystuje się miary niepodobieństwa (Cha, 2007). W tej pracy, do określenia stopnia tych zmian wykorzystano odległość Jensena-Shannona obliczoną dla regularnych obszarów o wymiarach 100 na 100 pikseli (10 na 10 km) oraz na poziomie powiatowym. Dane zostały przeanalizowane na dwóch poziomach, w celu trafnego stwierdzenia prawidłowości dotyczących zmian struktury przestrzennej. Odległość Jensena-Shannona przyjmuje wartości od 0 do 1. Wartość 0 oznacza, że na danym obszarze między badanymi okresami nie zaszły żadne zmiany, natomiast wartość 1 oznacza brak podobieństw między analizowanymi obszarami, czyli całkowitą zmianę pokrycia terenu.

Ostatnim krokiem etapu oceny zmian struktur przestrzennych było znalezienie obszarów, które w latach 1990-2018 zmieniły się najbardziej. Aby poprawnie przeanalizować trendy zmian pokrycia terenu wśród tych obszarów, wyodrębniono po 6 najbardziej zmienionych obszarów z każdego rodzaju wykorzystanych jednostek przestrzennych (kwadraty 10 na 10 km, powiaty).

## Rozdział 5

# Wyniki

### 5.1 Analiza zmian na poziomie krajowym

Jednym z celów tej pracy było sporządzenie map pokrycia terenu Polski, opartych o dane CORINE Land Cover dla lat 1990 i 2018 zreklasyfikowane do 7 kategorii pokrycia terenu, aby umożliwić ogólną ocenę stanu pokrycia terenu dla tych lat. Mapy te zostały przedstawione poniżej (rycina 5.1). Udział poszczególnych kategorii pokrycia terenu w całkowitej powierzchni Polski przedstawiony został na rycinie 5.2. Na podstawie tej ryciny można sformułować pierwsze spostrzeżenia odnośnie trendów zmian pokrycia terenu w skali całego kraju. W latach 1990-2018 nastąpił znaczny spadek udziału terenów rolnych w całkowitej powierzchni kraju. Wzrost udziału nastąpił natomiast wśród obszarów leśnych, terenów antropogenicznych oraz terenów krzewiastych. W celu dalszej oceny zmian w skali krajowej, wykonana została analiza ilościowa zmian pokrycia terenu, oparta o podejście statystyczne.

#### 5.1.1 Analiza ilościowa zmian pokrycia terenu

Zmiany pokrycia terenu w latach 1990-2018 w Polsce objęły powierzchnię 2556965 ha, co stanowi 7,9% całkowitej powierzchni kraju (Tabela 5.1). Największe zmiany pokrycia terenu w tym czasie dotyczyły wzrostu ilości terenów antropogenicznych. Tereny

**Tablica 5.1:** *Zmiany pokrycia terenu w latach 1990-2018 na podstawie danych CLC*

Kategoria pokrycia terenu	Powierzchnia w 1990r. [ha]	Powierzchnia w 2018r. [ha]	Bilans zmian [ha]	Ubytki [ha]	Przyrosty [ha]	Zmiana między latami [%]
<b>tereny antropogeniczne</b>	1026488	1929292	902804	75105	977909	87.95
<b>tereny rolne</b>	20114641	18355663	-1758978	1909254	150276	-8.74
<b>las</b>	9225875	9704992	479117	344266	823383	5.19
<b>tereny krzewiaste</b>	232503	602275	369772	164761	534533	159.04
<b>tereny z rzadszą roślinnością</b>	35801	14644	-21157	23704	2547	-59.10
<b>obszary podmokłe</b>	117688	111307	-6381	29771	23390	-5.42
<b>obszary wodne</b>	1519078	1553901	34823	10104	44927	2.29

te zyskały 902804 ha powierzchni, co oznacza wzrost o 87,9%. Najdynamiczniej rozwinęły się tereny krzewiaste, które zwiększyły swoją powierzchnię o 159% względem początku analizowanego okresu. Największe straty odnotowano na terenach rolnych, ich powierzchnia w roku 2018 zmniejszyła się o 1758978 ha. Pomimo największych strat spośród wszystkich analizowanych kategorii, powierzchnia terenów rolnych zmniejszyła się jedynie o 8,7%. Ilość terenów z rzadszą roślinnością zwiększyła się w najmniejszym stopniu i jednocześnie tereny te odnotowały najbardziej dynamiczną stratę powierzchni w analizowanym okresie. Tereny z rzadszą roślinnością odnotowały najmniejszy przyrost oraz łączną utratę 59,1% powierzchni, co stanowi najbardziej dynamiczną stratę powierzchni w stosunku do stanu z 1990 roku spośród analizowanych kategorii pokrycia terenu. Kategorią, która zmieniła się w najmniejszym stopniu były obszary wodne. Całkowita powierzchnia tych terenów wzrosła wyłącznie o 2,3%. Niewielkie powiększenie powierzchni lasów (5.19%) spowodowane było wysokimi ubytkami powierzchni w stosunku do ich przyrostów. Ponad 3% powierzchni obszarów leśnych, w roku 2018 zmieniło kategorię pokrycia terenu.

Tabela 5.2 przedstawia wynikową tabelę krzyżową, wykonaną w celu oszacowania ilościowych zmian między zreklasyfikowanymi kategoriami pokrycia terenu dla danych rastrowych dla lat 1990 i 2018. Kategorie z roku 1990 ułożone są w wierszach tabeli, natomiast w kolumny stanowią kategorie z roku 2018. Oznacza to, że np. kolumna tabeli oznaczona kategorią "1" informuje nas o liczbie komórek z roku 1990, w których komórki zmieniły się na kolejne kategorie. Przecięcia wierszy i kolumn oznaczonych tymi samymi kategoriami informują o liczbie komórek rastra, które w analizowanych latach się nie



**Tablica 5.2:** *Macierz zmian pokrycia terenu w latach 1990-2018 [ha]*

		2018						
		1	2	3	4	5	6	7
1990	1	951383	48471	14822	7967	62	193	3590
	2	941672	18205387	641052	283396	187	14293	28654
	3	29804	77492	8881609	223619	472	6224	6655
	4	2884	9841	148885	67742	1618	1181	352
	5	1272	422	6513	14526	12097	103	868
	6	630	10477	9125	4731	0	87917	4808
	7	1647	3573	2986	294	208	1396	1508974

zmieniły. Numeracja kategorii w tabeli odpowiada kolejności kategorii przedstawionej w podrozdziale 4.1.

Na podstawie tabeli 5.2 opracowana została rycina 5.3, przedstawiająca najważniejsze trendy zmian pokrycia terenu w sposób graficzny. Kategorie pokrycia terenu zostały podzielone na osobne wykresy, reprezentujące przyrosty kategorii w 2018 roku. Kolory wewnątrz wykresów informują o tym, jaką część przyrostów powierzchni danej kategorii stanowią komórki, które w roku 1990 należały do pozostałych kategorii. Analizując rycinę 5.3 można zauważyć pewne tendencje wśród zmian pokrycia terenu. Najważniejsze trendy zmian pokrycia terenu, stanowiące największe straty pokrycia terenu w kategorii pierwotnej:

- tereny antropogeniczne -> tereny rolne,
- tereny rolne -> tereny antropogeniczne i obszary leśne,
- obszary leśne -> tereny krzewiaste,
- tereny krzewiaste -> obszary leśne,
- tereny z rzadszą roślinnością -> tereny krzewiaste,
- obszary podmokłe -> tereny rolne i obszary leśne,
- obszary wodne -> tereny rolne i obszary leśne.

### 5.1.2 Lokalizacje największych zmian w skali krajowej

Lokalizacje komórek rastra, które w okresie 1990-2018 zmieniły kategorie pokrycia terenu, przedstawia rycina 5.4. Analizując rycinę, zauważyć można występowanie zmian zarówno o charakterze rozproszonym, jak i skoncentrowanym. Największe zmiany o charakterze rozproszonym zauważyć można w południowej części kraju na obszarze całego województwa śląskiego oraz zachodniej części województwa małopolskiego. Dużą ilością rozproszonych zmian pokrycia terenu cechują się także województwo mazowieckie, województwo świętokrzyskie, centralna część województwa podkarpackiego oraz zachodnia część województwa dolnośląskiego. Znaczna większość zmian na tych obszarach stanowi zmianę z terenów rolnych w tereny antropogeniczne.

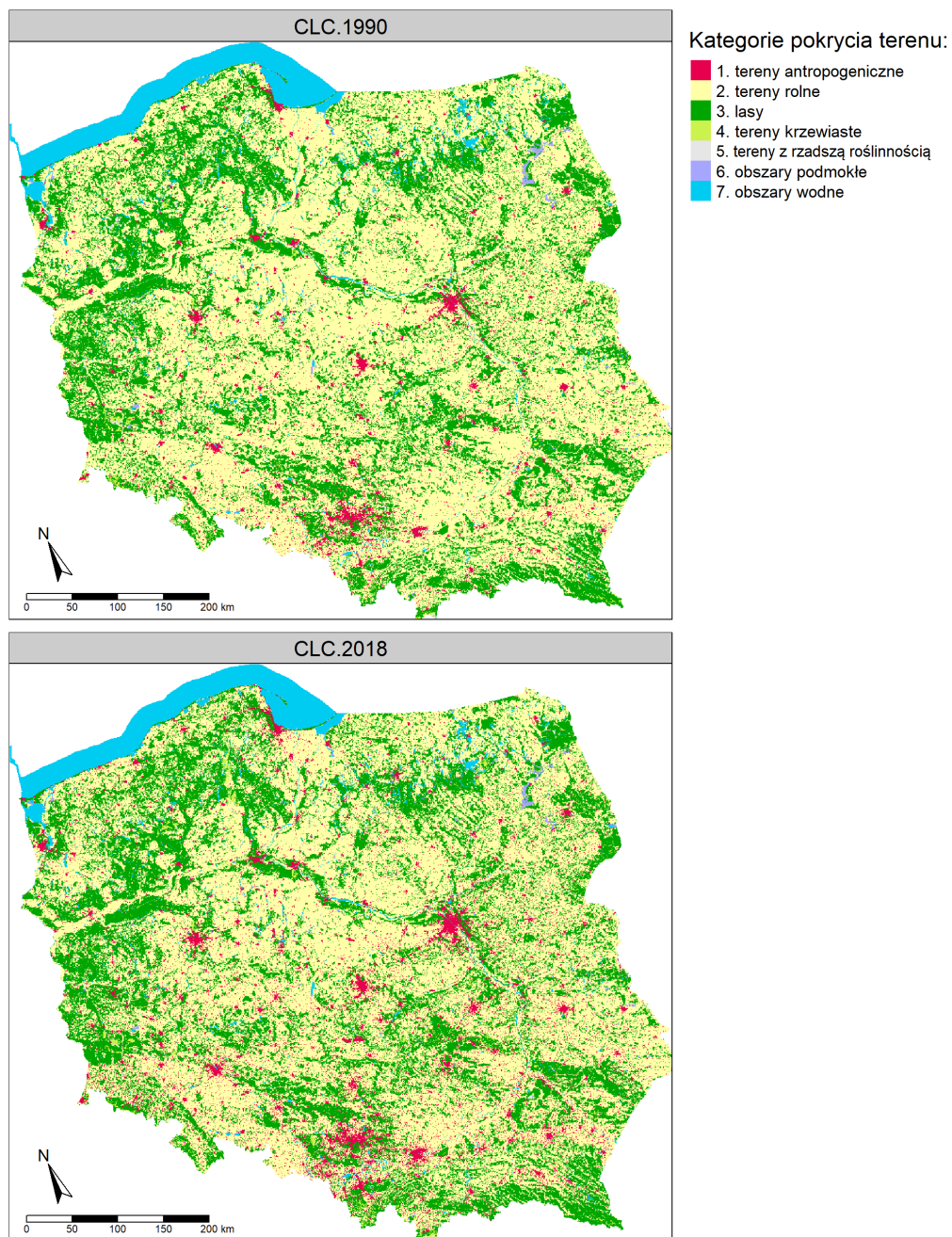
Obszary, na których zaszły znaczne zmiany pokrycia terenu o charakterze skoncentrowanym wymienione zostały poniżej, wraz z wyjaśnieniem, w jakim miejscu znajdują się te obszary, i z jakimi zmianami kategorii są związane. Duże obszary zmienione w wyniku działalności człowieka:

1. Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów i zwałowisko zewnętrzne Góra Kamieńska, będąca jego skutkiem: lasy i tereny rolne zostały przekształcone w tereny antropogeniczne.
2. Rezerwat przyrody Jeziorsko: obszary wodne powstałe z terenów podmokłych.
3. Kopalnia Węgla Brunatnego Adamów: tereny leśne i rolne przekształcone w tereny antropogeniczne, powstanie sztucznego zbiornika wodnego.
4. Kopalnia Węgla Brunatnego Konin: tereny rolne przekształcone w tereny antropogeniczne, powstanie sztucznego zbiornika wodnego.
5. Ośrodek Szkolenia Poligonowego Wojsk Lądowych Żagań: różne przejścia między kategoriami, głównie zmiana terenów z rzadszą roślinnością w tereny krzewiaste oraz terenów krzewiastych w tereny zalesione.
6. Kopalnia Węgla Brunatnego Turów: tereny rolne przekształcone głównie w tereny antropogeniczne.

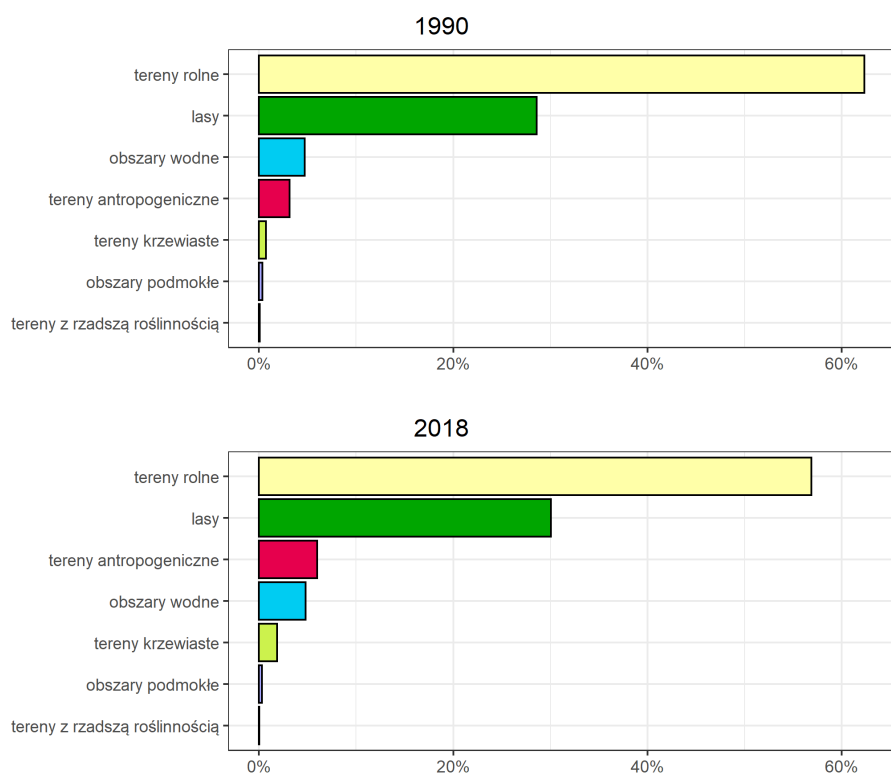
7. Zalew Siemianówka: zmiana terenów podmokłych w obszary wodne oraz zmiana terenów rolnych w tereny podmokłe, skutek spiętrzenia wód w zbiorniku zaporowym.

Duże obszary zmienione w wyniku zjawisk naturalnych:

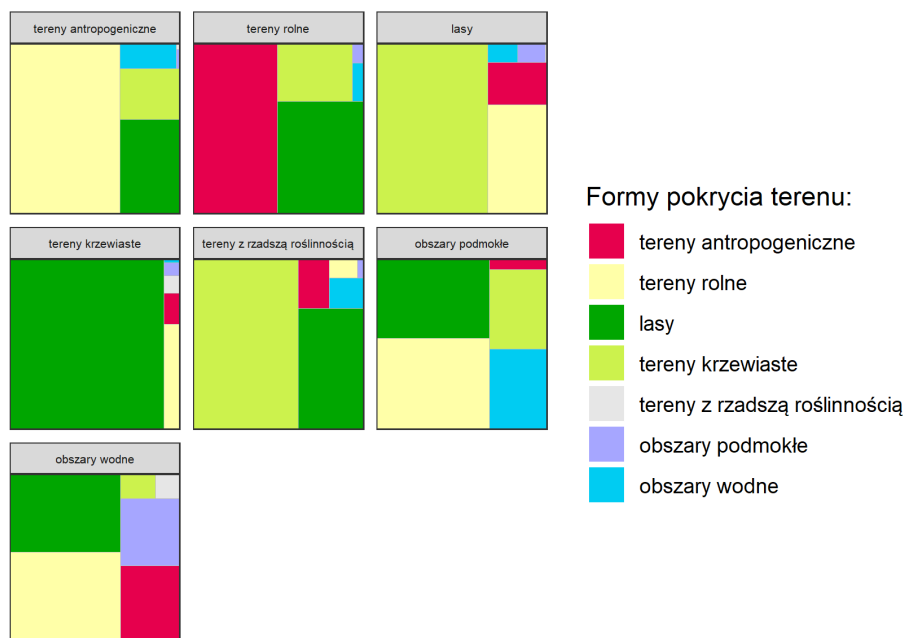
8. Bory Tucholskie: zmiana ogromnych połaci terenów leśnych w tereny krzewiaste, konsekwencje wichury i nawałnicy z 2017 roku.
9. Mazury, nadleśnictwo Pisz: przemiana terenów krzewiastych w tereny leśne, skutki trąb powietrznych z 2002 roku oraz działań zapobiegających dalszego zniszczenia lasów poprzez wykonanie licznych pasów przeciwpożarowych.
10. Kotlina Raciborska, nadleśnictwo Rudy Raciborskie: pożar lasu w nadleśnictwie Rudy Raciborskie z 1992 roku, który strawił 9062 ha lasów, następnie w roku 2017 zniszczenia lasów spowodowane trąbą powietrzną.



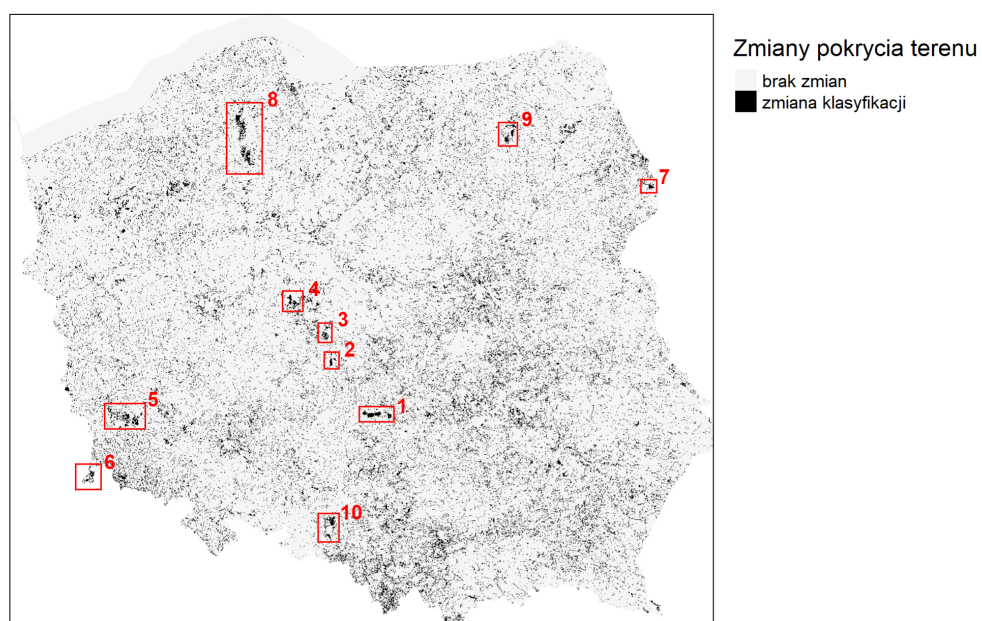
**Rysunek 5.1:** *Corine Land Cover 1990 i 2018 po reklasyfikacji*



**Rysunek 5.2:** Procentowy udział form pokrycia terenu dla lat 1990 i 2018



**Rysunek 5.3:** Udział poszczególnych kategorii w zmianie pokrycia terenu



**Rysunek 5.4:** *Binarna mapa zmian klasyfikacji dla lat 1990-2018*

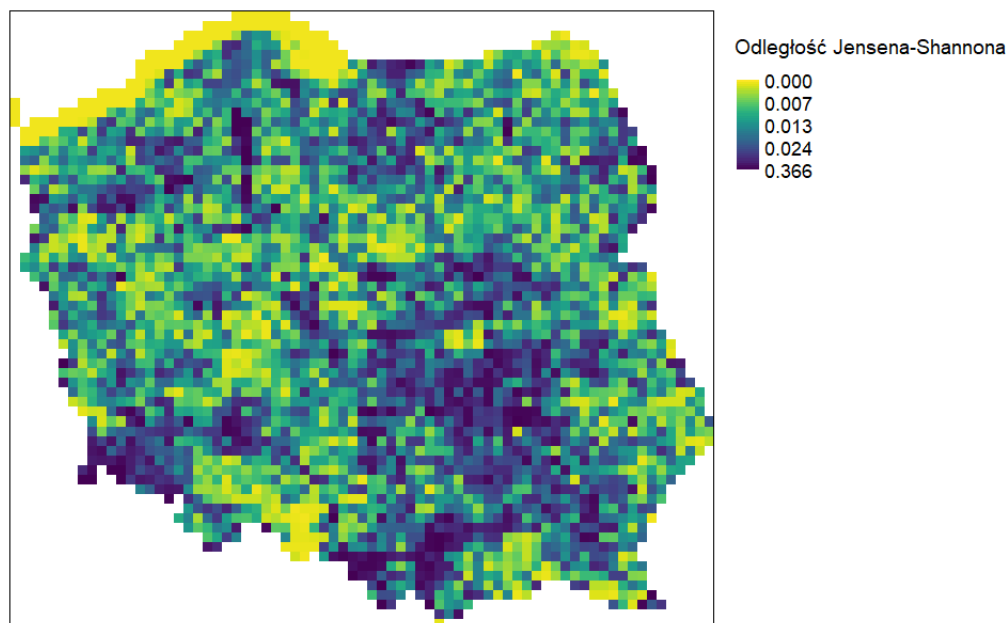
## **5.2 Analiza zmian struktur przestrzennych dla wyodrębnionych jednostek przestrzennych**

Ocena zmian struktur przestrzennych wykonana została za pomocą metod opartych o obliczenia miar niepodobieństwa dla sygnatur przestrzennych. Miara wykorzystana w tej pracy była odległość Jensena-Shannona. Parametr ten został obliczony dla regularnych obszarów o wymiarach 100 na 100 pikseli (10 na 10 km) oraz na poziomie powiatowym. Odległość Jensena-Shannona przyjmuje wartości od 0 do 1. Wartość 0 oznacza brak zmian w strukturze przestrzennej, natomiast wartość 1 wskazuje na ich całkowitą zmianę. Na podstawie obliczonych wartości tego parametru, wyodrębnione zostało 6 najbardziej zmienionych obszarów, dla każdego rodzaju wykorzystanych jednostek przestrzennych, w celu przeanalizowania zmian, które zaszły na tych obszarach.

### **5.2.1 Analiza zmian regularnych obszarów 10 na 10 km**

Wartości obliczonych odległości Jensena-Shannona dla kwadratów 10 na 10 km przedstawione zostały na rycinie 5.5. Podobnie jak na rycinie 5.4, duże ilości zmian struktury przestrzennej widoczne są głównie w południowej części kraju. Największe zmiany widoczne są na obszarze województw: świętokrzyskiego, małopolskiego, śląskiego oraz dolnośląskiego. Najmniejsze zmiany zauważyć można na obszarze morza terytorialnego oraz na południu Polski na terenie Płaskowyżu Głubczyckiego.

Rycina 5.6 przedstawia sześć regularnych obszarów 10 na 10 km o największych zmianach pokrycia terenu w latach 1990-2018. Wśród zmian na tych obszarach, najbardziej zauważalnym trendem jest zmiana obszarów leśnych na tereny krzewiaste. Kolejnym widocznym trendem jest przede wszystkim postępująca antropopresja w postaci rozrostu terenów o charakterze antropogenicznym. Proces ten jest szczególnie widoczny na obszarze oznaczonym literą E, który przedstawia centralną część Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. Literą A oznaczony został obszar, na którym zaszły największe zmiany między analizowanymi latami. Obszar ten swoim zasięgiem obejmuje głównie zachodnią część gminy Czersk, znajdującej się w południowej części województwa pomorskiego. Analizując mapę tego obszaru, łatwo zauważyć, że latach 1990-2018

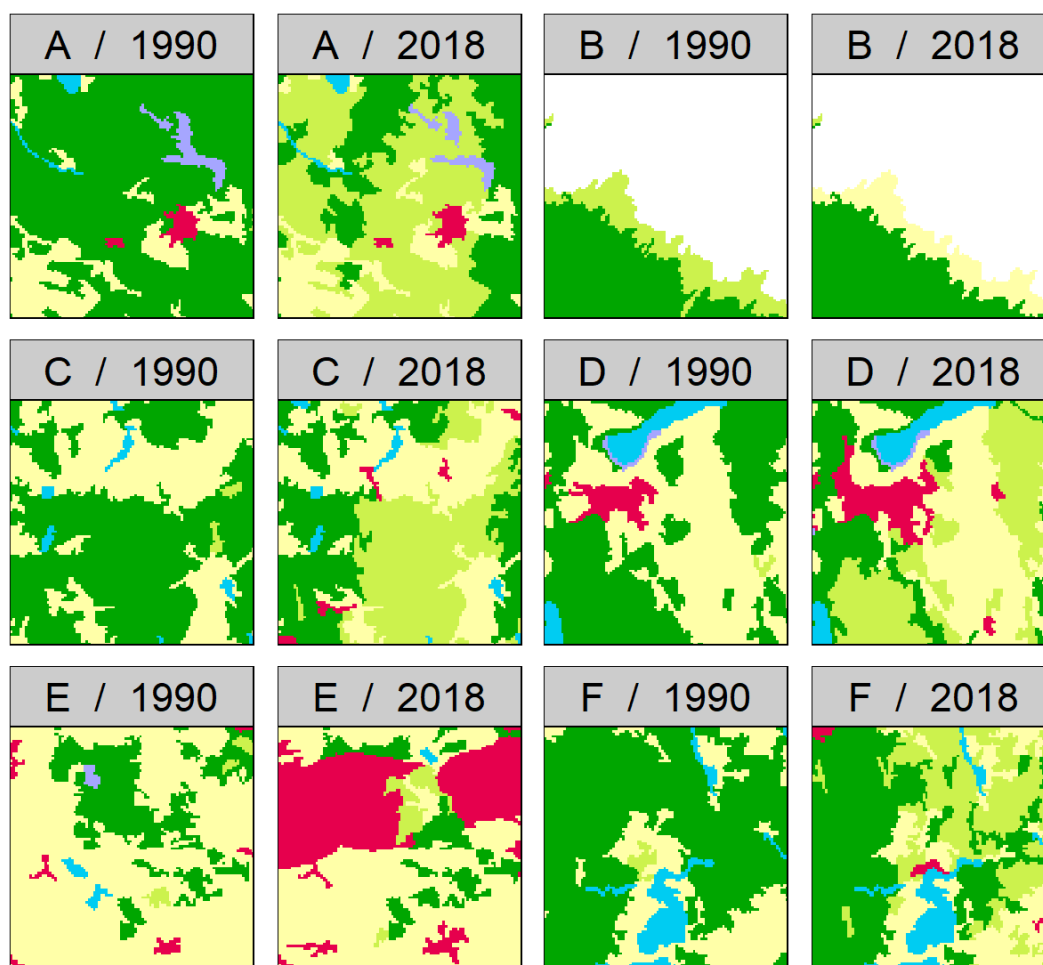


**Rysunek 5.5:** *Odległość Jensena-Shannona obliczona dla oczek siatki o wymiarach 10x10km*

ogromna ilość lasów na tym obszarze została zastąpiona przez tereny krzewiaste. Prawdopodobnie są to skutki nawałnicy, która w 2017 roku spustoszyła lasy w tym regionie. W północno-wschodniej części tego obszaru widoczna jest zmiana części obszarów podmokłych, także na rzecz obszarów krzewiastych. Interesującym przykładem jest obszar B, obejmujący granicę Polski z Ukrainą we wschodniej części gminy Lutowiska. Na tym obszarze nastąpiła prawie całkowita przemiana terenów krzewiastych w tereny rolne, co jest pewnym przełamaniem głównego trendu widocznego na pozostałych pięciu obszarach.

Określenie udziału obszarów o określonym stopniu zmian pokrycia terenu umożliwia sporządzony histogram widoczny na rycinie 5.7. Prawoskośny rozkład histogramu, z dominantą będącą wartością 0 odległości Jensena-Shannona oznacza, że w znacznej większości regularnych obszarów 10 na 10 km nie zaszły żadne zmiany, lub były one bardzo niewielkie. Obszary o największych zmianach przedstawione na rycinie 5.6 stanowią na tym histogramie wartości ekstremalne.

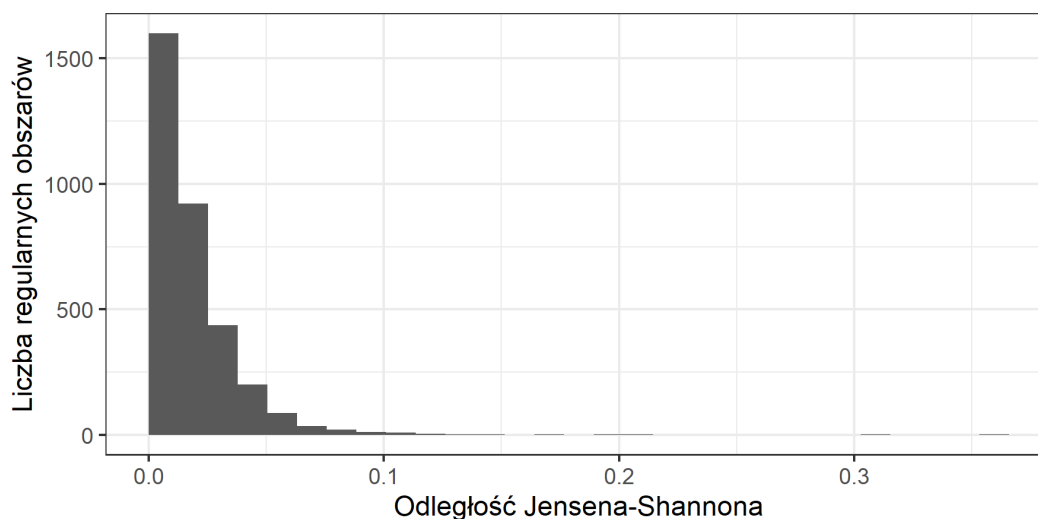




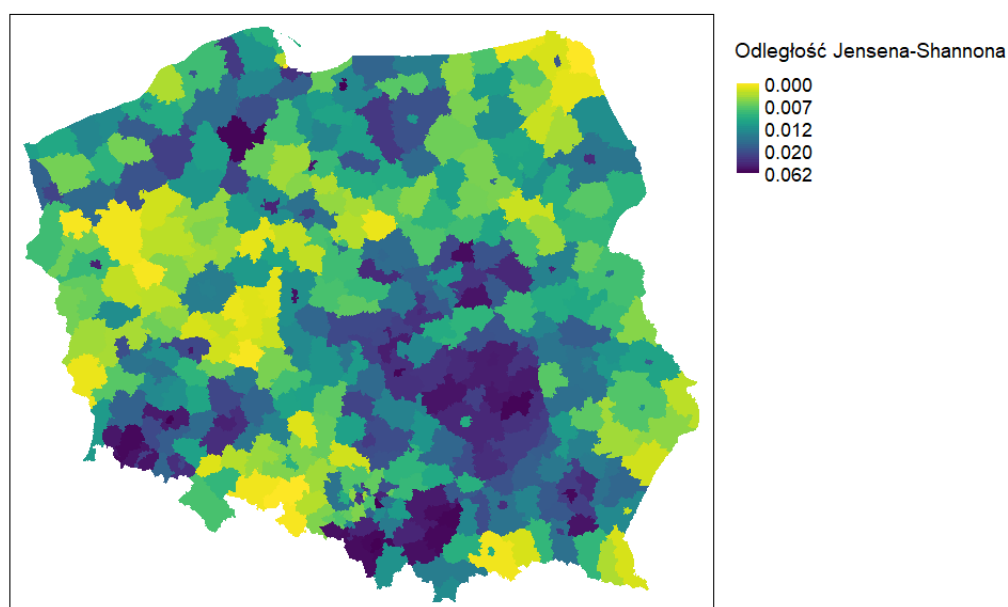
**Rysunek 5.6:** 6 obszarów z największymi zmianami w siatce 10x10km. A - Zachodnia część gminy Czersk, B - Wschodnia część gminy Lutowiska, granica Polski z Ukrainą, C - Mezoregion Bory Tucholskie, D - Północna część gminy Pisz, E - Centralna część Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów, F - Mezoregion Bory Tucholskie, obszar przylegający północną krawędzią do obszaru C

### 5.2.2 Analiza zmian na poziomie powiatów

Wśród powiatów (Rycina 5.8), najwyższe wartości odległości Jensena-Shannona zauważalne są w tych samych lokalizacjach, co dla regularnych obszarów 10 na 10 km. Poza tymi obszarami wysokie wartości parametru osiągnęła także duża część miast na prawach powiatu. Należy jednak zauważyć, że najwyższe wartości odległości Jensena-Shannona wśród powiatów są znacznie niższe w porównaniu z najwyższymi wartościami wśród regularnych obszarów 10 na 10 km. Spowodowane jest to mniejszym udziałem ekstremalnych zmian pokrycia terenu w całkowitej powierzchni powiatów.

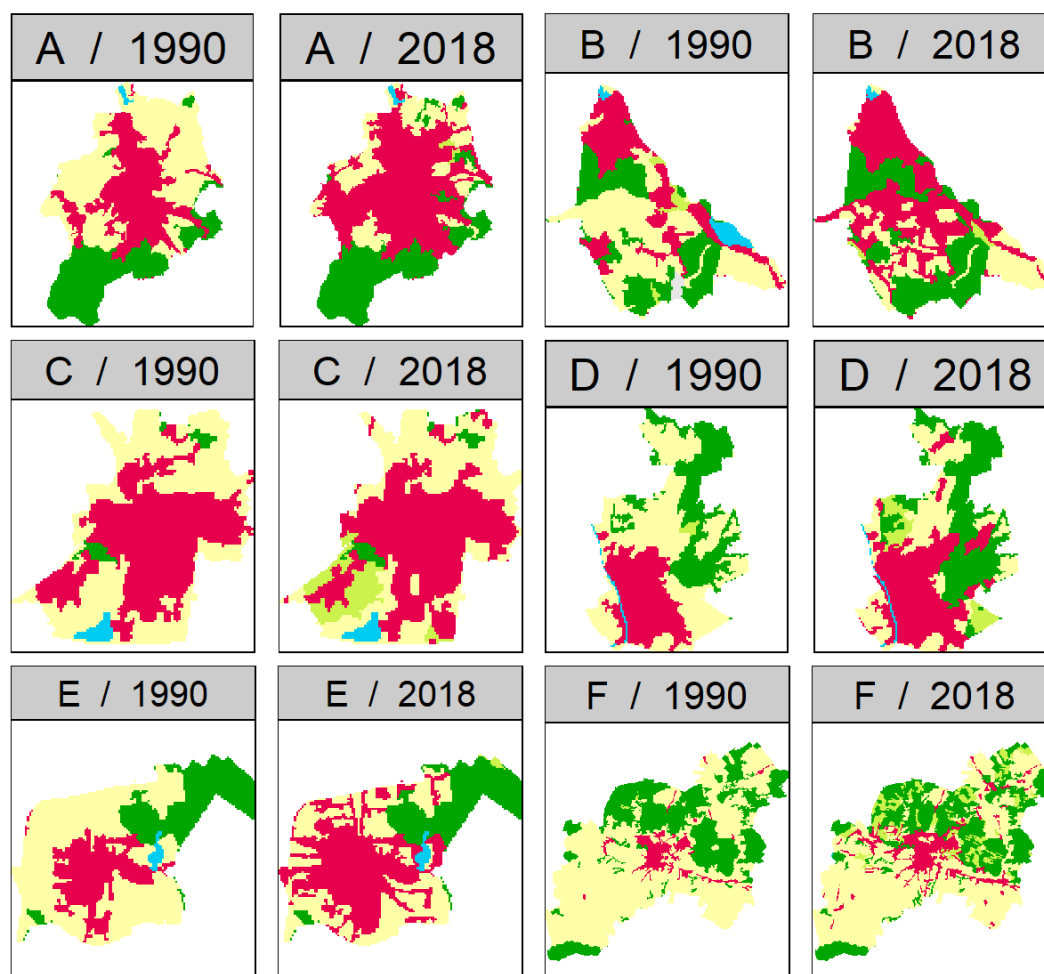


**Rysunek 5.7:** *Histogram dla regularnych obszarów 10 na 10 km*



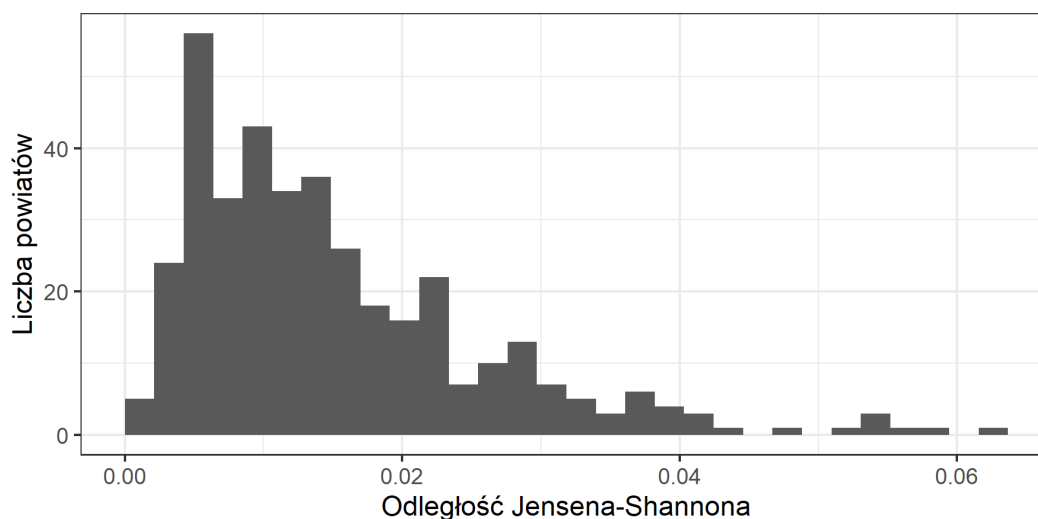
**Rysunek 5.8:** *Odległość Jensena-Shannona obliczona dla powiatów*

Sześć powiatów, na których zaszły największe zmiany pokrycia terenu, przedstawione zostało na rycinie 5.9. Aż 5 z nich stanowią miasta na prawach powiatu. Największe zmiany pokrycia terenu spośród wszystkich powiatów zaszły w powiecie Bielsko-Biała oznaczonym jako obszar A. Największą zmianą na tym obszarze, podobnie jak i wśród pięciu pozostałych, było przekształcenie terenów rolnych w tereny antropogeniczne.



**Rysunek 5.9:** 6 obszarów z największymi zmianami wśród powiatów. A - powiat Bielsko-Biała, B - powiat Mysłowice, C - powiat Legnica, D - powiat Elbląg, E - powiat Piotrków Trybunalski, F - powiat ostrowiecki

Należy zauważyć, że większość z tych terenów położone było w pobliżu wcześniej istniejących terenów antropogenicznych, co wskazuje na dynamicznie zachodzący proces suburbanizacji. W południowej części powiatu Mysłowice (obszar B) zauważyć można niewielką zmianę terenów krzewiastych i terenów o rzadszej roślinności w obszary leśne oraz przekształcenie obszaru wodnego znacznej wielkości w tereny antropogeniczne i tereny rolne. W powiatach Legnica i Elbląg (obszary C i D) zauważyć można transformację części terenów rolnych w tereny krzewiaste, natomiast w powiecie ostrowieckim (obszar F) - przemianę lasów w tereny krzewiaste.



**Rysunek 5.10:** *Histogram dla powiatów*

Histogram rozkładu odległości Jensena Shannona na poziomie powiatowym (Rycina 5.10 znacznie różni się od histogramu dla regularnych obszarów 10 na 10 km. Najważniejszą różnicą, jest przede wszystkim, zauważalnie mniejsze przesunięcie histogramu w stronę wartości 0. Spowodowane jest to najpewniej różnicą w szerokości przedziałów. Rozkład histogramu nadal ma charakter prawoskośny, jednakże dominanta w okolicach wartości 0,005 odległości Jensena Shannona wskazuje na to, że na obszarze większości powiatów zaszły niewielkie zmiany pokrycia terenu.

### 5.2.3 Porównanie z wynikami innych badań

Podobnie jak w publikacjach Ciołkosz i in. (2006), Mierzwiak i in. (2019) i Nowosad i in. (2019), analizując wyniki tej pracy dyplomowej można zauważyć skutki postępującej antropopresji, która powoduje przede wszystkim przekształcenia terenów rolnych i obszarów leśnych na rzecz dynamicznie powiększających się terenów antropogenicznych. Najważniejszym elementem odróżniającym tą pracę od wcześniej wspomnianych artykułów jest rozszerzenie przestrzennej analizy zmian pokrycia terenu o ilościową ocenę wielkości zmian struktur przestrzennych. Zastosowanie wyżej wspomnianych metod pozwoliło na wykonanie analizy trendów zmian obszarów najbardziej przekształconych w latach 1990-2018.

## Rozdział 6

# Podsumowanie

Celem niniejszej pracy dyplomowej było wykonanie analizy zmian pokrycia terenu w Polsce w latach 1990-2018. W tym celu wykorzystane zostały dane przestrzenne o pokryciu terenu CORINE Land Cover dla analizowanych lat. Zmiany ilościowe pokrycia terenu na poziomie całego kraju zostały obliczone w oparciu o algebrę rastrów. Z obliczeń wynika, że w latach 1990-2018 zmiany objęły aż 7,9% całkowitej powierzchni terytorium Polski, jednakże ze względu na ograniczenia programu CORINE związane z aktualizacją zmian o określonej wielkości, rzeczywiste zmiany pokrycia terenu były prawdopodobnie większe. Ogólne trendy wynikające z danych CLC dla analizowanego okresu to przede wszystkim dynamiczny przyrost powierzchni terenów antropogenicznych, głównie powstających na obszarach sklasyfikowanych wcześniej jako tereny rolne, obustronne przekształcenia lasów i terenów krzewiastych, bardzo duży wzrost powierzchni terenów krzewiastych oraz znaczne ubytki powierzchni terenów z rzadszą roślinnością.

Dodatkowym celem było znalezienie i graficzna reprezentacja najbardziej zmienionych obszarów w przeciągu ostatnich 28 lat. Cel ten udało się osiągnąć poprzez rozszerzenie analizy o metody wywodzące się z dziedziny ekologii krajobrazów. Wykorzystana metoda polegała na analizie struktur przestrzennych na podstawie obliczeń sygnatur przestrzennych dla mniejszych obszarów wydzielonych z obszaru badań. Pozwoliło to na przeprowadzenie ilościowej oceny zmian pokrycia terenu dla dwóch rodzajów jednostek przestrzennych.

Pierwszy etap obejmował analizę zmian wewnątrz regularnych obszarów 10 na 10 km. W wyniku stwierdzono, że na większości obszarów pokrycie terenu w latach 1990-2018 zmieniło się w bardzo niewielkim stopniu. Jednakże zwrócono uwagę także na obecność obszarów, gdzie zmiany pokrycia terenu w tych latach można określić jako ekstremalne. Największe zmiany na tych obszarach związane były ze skutkami ekstremalnych zjawisk naturalnych, a kierunki zmian na tych obszarach stanowiły głównie przemiany obszarów leśnych w tereny krzewiaste oraz rozwój terenów antropogenicznych.

Następnie przeanalizowane zostały zmiany na poziomie powiatowym. Wskazano duże podobieństwo między wynikami dla regularnych obszarów i powiatów. Jednakże podział na powiaty uwypatnia wielkość zmian, które zaszły na terenie miast na prawach powiatu, na znacznej części, których zaszły duże zmiany pokrycia terenu. Najbardziej zmienione powiaty w latach 1990-2018 to kolejno: powiat Bielsko-Biała, powiat Mysłowice, powiat Legnica, powiat Elbląg, powiat Piotrków Trybunalski oraz powiat ostrowiecki. Najważniejszym kierunkiem zmian pokrycia terenu wśród tych obszarów, były przekształcenia terenów rolnych w tereny antropogeniczne. Zauważono także, że większość z terenów objętych zmianą położone było w pobliżu terenów antropogenicznych istniejących już wcześniej, co może wskazywać na zachodzący proces suburbanizacji.

# Bibliografia

- Bielecka, E i A Ciołkosz (2004). Mapa pokrycia terenu w Polsce w skali 1:1 000 000 jako wynik wizualizacji bazy danych CLC-2000. *Polski Przegląd Kartograficzny* **T. 36, nr 4**, 274–287.
- Cha, SH (2007). Comprehensive Survey on Distance/Similarity Measures Between Probability Density Functions. *Int. J. Math. Model. Meth. Appl. Sci.* **1**.
- Ciołkosz, A i Z Polawski (2006). Zmiany użytkowania ziemi w Polsce w drugiej połowie XX wieku. *Przegląd Geograficzny. Polska Akademia Nauk* **78(2)**, 173–190.
- Feddema, J, K Oleson, G Bonan, L Mearns, L Buja, G Meehl i W Washington (2006). The Importance of Land-Cover Change in Simulating Future Climates. *Science (New York, N.Y.)* **310**, 1674–8.
- Jasiewicz, J, P Netzel i TF Stepinski (2015). GeoPAT: A toolbox for pattern-based information retrieval from large geospatial databases. *Comput. Geosci.* **80**, 62–73.
- Mierzwiak, M i B Całka (2019). Zmiany pokrycia terenu w Polsce w latach 1990-2012 na podstawie danych CORINE Land Cover. *Roczniki Geomatyki* **T. 17, z. 2(85)**, 127–140.
- Mucher, CA, KT Steinnocher, FP Kressler i C Heunks (2000). Land cover characterization and change detection for environmental monitoring of pan-Europe. *International Journal of Remote Sensing* **21(6-7)**, 1159–1181.
- Nowosad, J (2021a). Motif: an open-source R tool for pattern-based spatial analysis. *Landscape Ecology* **36**, 29–43.
- Nowosad, J (2021b). *motif: Local Pattern Analysis*. R package version 0.5.0. <https://nowosad.github.io/motif/>.

- Nowosad, J, TF Stepinski i P Netzel (2019). Global assessment and mapping of changes in mesoscale landscapes: 1992–2015. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **78**, 332–340.
- Olędzki, JR i E Bielecka (1987). *Słownik podstawowych terminów używanych w teledetekcji*. Warszawa: Uniwersytet Warszawski, Polskie Towarzystwo Geograficzne.
- R Core Team (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Radwan, T, G Blackburn, D Whyatt i P Atkinson (2021). Global land cover trajectories and transitions. *Scientific Reports* **11**.
- Tai, A, M Val Martin i C Heald (2014). Threat to future global food security from climate change and ozone air pollution. *Nature Climate Change* **4**, 817–821.
- Tennekes, M (2021). *tmap: Thematic Maps*. R package version 3.3-2. <https://github.com/mtennekes/tmap>.
- Verburg, P, K Neumann i L Nol (2011). Challenges in using land use and land cover data for global change studies. English. *Global Change Biology* **17**(2), 974–989.
- Wickham, H, W Chang, L Henry, TL Pedersen, K Takahashi, C Wilke, K Woo, H Yutani i D Dunnington (2021). *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics*. R package version 3.3.5. <https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2>.