

2

METODY BADAWCZE

2.1. Analiza zdjęć satelitarnych

Jak zaznaczono wcześniej, interpretowane zdjęcia satelitarne pochodzą z detektora Landsat ETM+. Protoplasta satelity Landsat – ERTS został umieszczony na orbicie w 1972 r. Od początku celem programu Landsat było dostarczanie wielospektralnych obrazów powierzchni Ziemi w umiarkowanej rozdzielczości przestrzennej (15–120 m) w celu wspomagania szacowania zasobów Ziemi, kartowania pokrycia terenu i badania rocznych zamian środowiska (Global Land Cover Facility, 2006).

Od lipca 1999 r. zdjęcia są wykonywane przez skaner ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), czyli urządzenie do kartowania tematycznego, zainstalowany na satelicie Landsat 7. Wykonuje on zdjęcia o następującej charakterystyce (Ciołkosz, Jakomulska, 2004):

- Rozdzielczość przestrzenna zdjęć w punkcie nadirowym (miara najmniejszej kątowej lub liniowej odległości pomiędzy dwoma obiektami w terenie, które mogą być rozróżnione przez sensor): 30 metrów dla 6 kanałów spektralnych, 60 metrów dla zakresów podczerwieni (kanał 6a i 6b) oraz 15 metrów dla kanału panchromatycznego.
- Rozdzielczość spektralna (liczba zakresów promieniowania elektromagnetycznego rejestrowanych jednocześnie przez dany skaner): 8 kanałów dla zakresów widma:
 - 0,450–0,515 μm – zakres promieniowania niebieskiego,
 - 0,525–0,605 μm – zakres promieniowania zielonego,
 - 0,630–0,690 μm – zakres promieniowania czerwonego,
 - 0,750–0,900 μm – zakres promieniowania bliskiej podczerwieni,
 - 1,550–1,750 μm – zakres promieniowania średniej podczerwieni,
 - 10,400–12,500 μm – długofalowe promieniowanie podczerwone – termalne,

- 2,080–2,350 μm – dalszy zakres średniej podczerwieni,
- 0,520–0,900 (panchromatyczne).
- Rozdzielczość radiometryczna (czułość detektora na różnicowanie wielkości energii docierającej do niego od poszczególnych obiektów terenowych. Oznacza ona liczbę rozróżnialnych poziomów sygnału wyrażanych na czarno-białych zdjęciach tonami szarymi – achromatycznymi): 2^8 (256 tonów szarości między bielą i czernią).
- Rozdzielczość czasowa (częstotliwość, z jaką satelita obrazuje ten sam fragment powierzchni Ziemi): 16 dni.
- Obszar obrazowania (obszar powierzchni Ziemi objęty jednym zdjęciem, tzw. scena): $183 \times 170 \text{ km}$ ($31\,110 \text{ km}^2$) (glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/, 2006).

Na wszystkich zdjęciach ze skanera ETM+ dokonano korekcji geometrycznej i radiometrycznej. Zdjęciami satelitarnymi skanera ETM+ jest pokryta cała powierzchnia Ziemi oprócz obszarów okołobiegunowych. W książce, ze względu na specyfikę badanych obiektów, wybrano do analizy zdjęcia z zakresów widma czerwonego, zielonego i niebieskiego oraz posłużono się metodą RGB 354. Metoda ta jest powszechnie przyjęta za podstawę badania pokrycia terenu. Udostępnione zdjęcia pochodzą z lat 1999–2003, jednak największa ich liczba przedstawia sytuację dla lat 2000 i 2001. Rok 2001, zgodnie z podanym wcześniej uzasadnieniem, został więc przyjęty za bazowy w całej analizie badawczej.

Za pomocą programu Erdas Imagine 8.4 utworzono kompozycje barwne RGB 354, natomiast interpretację mającą na celu określenie terenów zabudowanych (sieci osadniczej) oraz dróg głównych i linii kolejowych (sieci głównych połączeń transportowych) przeprowadzono za pomocą programu ArcGIS 9.0¹. W programie tym, poprzez wizualną interpretację zdjęć satelitarnych, wyznaczono tereny zabudowane, a dzięki analizie map – sieć transportową. Zdjęcia satelitarne umożliwiły zbadanie terenów zabudowanych z dokładnością około 900 m^2 . Dla poszczególnych krajów zidentyfikowano następującą liczbę terenów zabudowanych: Burkina Faso – 175, Malawi – 316, Kenia – 379, Honduras – 552, Wietnam – 3069, Kirgistan – 922 i Paragwaj – 918. To właśnie tereny zabudowane stanowią badane składowe sieci osadniczej. W stosunku do największych terenów zabudowanych stosowane jest również określenie miasta. Jednak określenie granicy i definiowanie, które jednostki (tereny zabudowane) są miastami, a które nie, nie wchodzi w zakres analizy.

¹ Oprogramowanie Erdas Imagine 8.4 i ArcGIS 9.0 zostało udostępnione przez Katedrę Geoinformatyki i Teledetekcji WGiSR UW.

Sieć transportowa, trudna do określenia za pomocą zdjęć, została naniesiona na podstawie zgeometryzowanych w programie Erdas Imagine 8.4 map drogowych, z dokładnością 1000 m. Zastosowano generalizację dróg, rozpatrując jedynie drogi główne (pierwszorzędne) według klasyfikacji przyjętej przez autorów zgeometryzowanych map. Dróg drugorzędnych nie brano pod uwagę ze względu na trudno porównywalne materiały źródłowe. W przypadku krajów afrykańskich pojawiła się kategoria dróg głównych gruntowych, które, ze względu na specyfikę tych krajów, również brano pod uwagę. Wobec trudności w dostępie do współrzędnych granic, także granice opracowano na podstawie map².

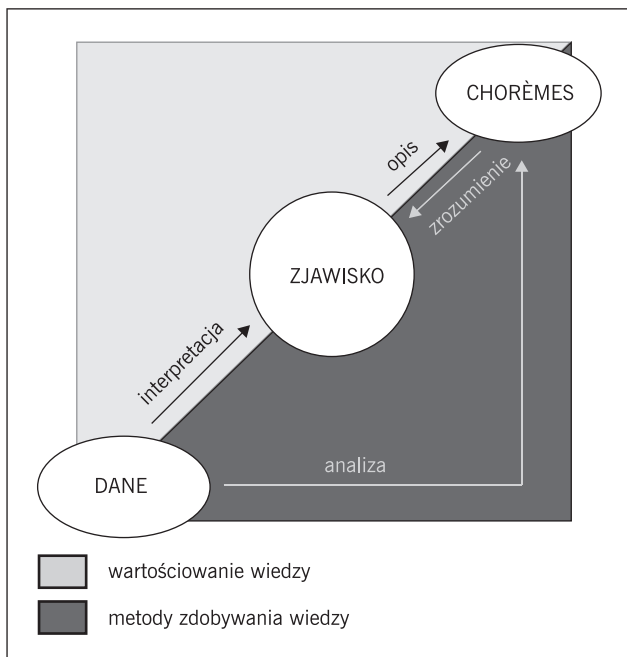
Naniesione elementy zagospodarowania przestrzeni zostały zakodowane. Następnie opracowano dwa rodzaje siatek pól podstawowych: 2500 km² i 10 000 km², które również zakodowano. Po przecięciu warstw poszczególnych elementów zagospodarowania przestrzeni z warstwami poszczególnych siatek pól podstawowych, wyznaczono udziały terenów zabudowanych i sieci transportowej w polach podstawowych. Na podstawie zdjęć satelitarnych wyznaczono również powierzchnie jezior, które były odliczane od powierzchni pól podstawowych, do których odnoszono badanie.

Wykorzystane zdjęcia pochodzą z serwisu Global Land Cover Facility University of Maryland. Dostępne materiały zawierały korekcję geometryczną. Pomimo tego, iż była ona wykonana w sposób automatyczny i powinna zostać poprawiona poprzez ponowną geometryzację, z powodu braku dokładnych materiałów referencyjnych postanowiono pozostać przy podanej geometrii obrazów. Tak więc opracowane mapy mają odwzorowanie UTM (Universal Transverse Mercator), elipsoida WGS84. W związku z tym, że w Kenii na znacznym obszarze występowały dwie strefy odwzorowawcze, analizy zdjęć satelitarnych dokonano oddzielnie dla obszaru położonego na wschód i na zachód od południka 36°E. Dla pozostałych krajów dominujące strefy rozciągano, gdyż druga strefa zajmowała jedynie skrajne części obszarów państw. W tym celu dokonano korekcji geometrycznej zdjęć w programie Erdas Imagine 8.4. Układ UTM, choć również nie jest wiernopowierzchniowy, zachowuje równe odkształcenia, tak więc używane w tekście wartości powierzchni mogą być jedynie porównywane między sobą.

² Warstwa wektorowa obrazująca przebieg granic nie może być opracowana na podstawie zdjęć satelitarnych, gdyż taka informacja nie jest na nich zamieszczona. Warstwa ta była konieczna do obliczenia m.in. udziału terenów zabudowanych.

2.2. Model przestrzenny *chorèmes*

Termin *un chorème* – neologizm geograficzny – po raz pierwszy został użyty przez francuskiego geografa, Rogera Bruneta w 1980 r. Pochodzi od greckiego wyrazu *chôra*, czyli miejsce, region, przestrzeń, oraz końcówki *ème* oznaczającej część całości. Metoda modeli przestrzennych *chorèmes* umożliwia przedstawianie zjawisk i procesów przestrzennych za pomocą prostych form geometrycznych. Za jej pomocą ukazywane są hierarchie, zasięgi wpływów, intensywność, wzajemne oddziaływania, konkurencja, komplementarność zjawisk i procesów. Formy geometryczne dzielą się na elementy przedstawiające podstawowe zagospodarowanie przestrzeni oraz te umożliwiające analizę zależności (Piveteau, Lardon, 2002). Modele mogą być wykorzystywane dla różnej skali przestrzennej – globalnej, krajowej, regionalnej i lokalnej oraz dla poszczególnych miast. *Chorèmes* są więc narzędziem teoretycznym geografii społeczno-gospodarczej, pozwalającym na dokonanie generalizacji zjawisk w pewnej przestrzeni oraz wartościowania zdobytej wiedzy i przedstawiania jej genezy (Cheylan i in., 1990). Ze względu na ich dużą komunikatywność mogą również pełnić ważną rolę edukacyjną. Model postępowania badawczego w metodzie *chorèmes* przedstawia rycina 1.



Rycina 1. Postępowanie badawcze w metodzie *chorèmes*

Źródło: Cheylan i in., 1990

Cztery proste konfiguracje (punkt, linia, powierzchnia, sieć) są przecięte siedmioma elementami organizacji (ogniskowanie, przecinanie siecią, przyciąganie, kontakt, tropizm, dynamika przestrzenna i hierarchia) i tworzą zestawienie dwudziestu ośmiu form geometrycznych, umożliwiających analizę i prezentację wszystkich przestrzeni (ryc. 2)³.

Wśród zalet metody wymieniana jest możliwość przedstawienia zjawisk i procesów niemożliwych do unaocznienia za pomocą innej metody kartograficznej. Pozwala ona na przedstawienie indywidualnych cech danej przestrzeni, tak więc jest stosowana przede wszystkim w analizie studium przypadku. *Chorèmes* wypełniają zatem lukę wśród różnych metod geograficznych (Les chorèmes..., 2009). Porównywane są nieraz do metod stosowanych w innych dziedzinach nauki: opracowanych przez J. Lacana *mathèmes* stosowanych w psychoanalizie lub zaproponowanych przez C. Lévi-Straussa *mythèmes* w etnologii. Krytyka tej metody dotyczy przede wszystkim jej schematyczności i pozbawienia precyzyjnej lokalizacji zjawisk i obiektów. Zdaniem niektórych badaczy przestrzeń nie da się zredukować do prostych form ją prezentujących oraz nie istnieją prawa nią rządzące (Les chorèmes..., 2009).

Wykonując modele przestrzenne w niniejszym badaniu, za punkt odniesienia przyjęto opracowania dokonane dla krajów słabo rozwiniętych i opublikowane w czasopiśmie „Mappemonde”. Spośród około dwudziestu zebranych artykułów, szczególnie istotne były odnoszące się do całych krajów: *Le Tchad entre unité et éclatement: la dynamique des organisations spatiales* (Clanet, 1998), *Le Mozambique á reconstruire* (Guébourg, Brunet, 1997), *Structures et dynamique de l'espace Gabonais* (Leroy, 1995), *Bénin et Togo, „espaces-couloirs” africains* (Antheaume, Arréghini, 1995) oraz *Chili, un modèle au carré* (Sepúlveda i in., 2002). Pomocne były też następujące artykuły, odnoszące się do regionów: *Provence-Alpes-Côtes d'Azur: structures, dynamiques, prospective* (Helle, Leroy, 1996), *La région Centre en modèles* (Leroy, 2000) oraz *La Pampa Argentine: structures et évolution de l'espace rural* (Sili,

³ Przetłumaczone na język polski przez autorkę terminy są jedynie propozycją, dlatego podano też ich oryginalne nazwy: *maillage* – ogniskowanie, *quadrillage* – przecinanie siecią, *attraction* – przyciąganie, *contact* – kontakt, *tropisme* – tropizm, *dynamique territoriale* – dynamika przestrzenna, *hierarchie* – hierarchia oraz w tabeli kolejno rzędami: *chef-lieu*; *limite administrative*; *etat*, *region...*; *centres*, *limites et polygones*; *tête de réseau*, *carrefour*; *voies de communications*; *aires de desserte*, *irrigation*, *drainage*; *réseau*; *points attirés satellites*; *lignes d'isotropie*, *orbites*; *aire d'attraction*; *liaisons préférentielles*; *point de passage*; *rupture*, *interface*; *aires en contact*; *base*, *tête de pont*; *flux directionnel*; *ligne de partage*; *surfaces de tendance*; *dissymétries*; *évolution ponctuelles*; *axes de propagation*; *aires d'extension*; *tissu du changement*; *semis urbain*; *relation de dépendance*, *limites administratives*; *sous-ensemble*; *réseau maillé*.

	PUNKT	LINIA	POWIERZCHNIA	SIEĆ
ogniskowanie				
	główne miasto	granica administracyjna	kraj, region...	ośrodki, granice wieloboki
przecinanie siecią				
	początek sieci, skrzyżowanie	drogi komunikacji	obszar zagospodarowany, irygacji...	sieć
przyciąganie				
	przyciąganie punktów satelitarnych	linie izotropii orbity	powierzchnia przyciągania	preferowane połączenia
kontakt				
	punkt przejścia	przerwanie	kontakt powierzchni	baza początek połączenia
tropizm				
	przepływ ukierunkowany	linia podziału	ukierunkowane powierzchnie	asymetria
dynamika przestrzenna				
	ewolucja punktów	osie upowszechniania	powierzchnie rozszerzania	tkanka zmian
hierarchia				
	sieć miejska	granice administracyjne	podzbiór	sieć z ogniwami

Rycina 2. Tablica symboli *chorèmes*

Źródło: Brunet, 1986

1999). Na ich podstawie opracowano strukturę modeli i zaczerpnięto formy *chorèmes*. Dla analizowanych krajów i ich zagospodarowania przestrzeni znaleziono jeden artykuł, odnoszący się do Paragwaju – *Nouveaux espaces en Amérique de Sud: la frontière paraguay-brésilienne* (Souchaud, 2001). Dwa artykuły traktowały o całym regionie Afryki Zachodniej – jeden o sieci osadniczej, a drugi transportowej: *La densification du semis de petites Villas en Afrique de l'Ouest* (Giraut, Moriconi-Ebrard, 1991) i *Mondialisation des réseaux de circulation en Afrique de l'Ouest* (Debie i in., 2003). Wykorzystanie w tych artykułach możliwości metody było jednak niewielkie. Drugim źródłem opracowań modeli był atlas narodowy Wietnamu wydawnictwa Reclus (*Atlas du Viêt-nam*, 1994). Umożliwił on porównanie modelu wykonanego w pracy z modelem opracowanym przez naukowców z Maison de la Géographie w Montpellier. Na podstawie dostępnych źródeł można stwierdzić, że w Polsce metoda ta nie była dotychczas stosowana.

Analiza modeli składa się zawsze z przedstawiania struktury, a później dynamiki przestrzennej. Są to składowe logiki przestrzennej – pojęcia wykorzystywanego w interpretacji modeli *chorèmes*, do badań nad zagospodarowaniem (organizacją) przestrzeni. Według Słownika Języka Polskiego (2003) logika to prawo, mechanizm rządzący czymś, konstrukcja czegoś. Popularnie stosowanymi wyrażeniami są logika faktów i logika wydarzeń. Sensowne jest więc zastosowanie tego terminu do analizy mechanizmów rządzących zagospodarowaniem przestrzeni, do interpretacji prawidłowości zachodzących w przestrzeni. Badanie logiki przestrzennej zostało przeprowadzone na podstawie danych pozyskanych ze zdjęć satelitarnych, studiów literatury oraz danych statystycznych dla poszczególnych krajów. Następnie były one interpretowane, a najistotniejsze zjawiska selekcjonowane i symbole je prezentujące nakładane na siebie, tworząc model.

Zgodnie z założeniami metody *chorèmes*, logikę struktury przestrzennej przedstawia w niniejszej książce następujące elementy:

- środowisko naturalne, mogące w znacznym stopniu wpływać na analizowane sieci: strefy klimatyczne, rzeki i jeziora, ukształtowanie powierzchni (obszary góryste i wyżynne, bagna), szata roślinna (lasy podrównikowe, półpustynie), parki narodowe;
- sieć osadnicza uformowana historycznie (miasta przedkolonialne i kolonialne) – dla tej kategorii dostęp do informacji był znacznie ograniczony;
- istotne dla gospodarki zasoby naturalne (surowce mineralne i potencjał hydroenergetyczny) i uprawy plantacyjne. Dla tego elementu wyselekcjonowano jedynie zasoby i uprawy stanowiące znaczny udział w strukturze eksportu;
- sieć transportowa, wyznaczająca oś integracji kraju oraz główne korytarze transportowe. Oś rozwoju została wyznaczona pomiędzy najwięk-

szymi miastami kraju (obszarami rdzeniowymi). Na tym odcinku najczęściej sieć drogowa jest wspomagana połączeniem kolejowym. Wyznaczenia osi integracji dokonano na podstawie analizy map drogowych poszczególnych krajów oraz literatury. Główne korytarze transportowe zostały wyznaczone na podstawie analizy przebiegu dróg głównych, które zostały zgeneralizowane. W związku z tym, że kierunek podboju często pokrywał się z osią integracji kraju, nie był on zaznaczany na modelach.

Logikę dynamiki przestrzennej zanalizowano poprzez:

- atrakcyjność obszarów rdzeniowych, która świadczy o dominującej przyciągającej sile ośrodków głównych, które skupiają zarówno inwestycje, jak i migracje ludności; obszary rdzeniowe są zatem najszybciej rozwijającymi się miastami w kraju i mają zasięg ogólnokrajowy i międzynarodowy;
- migracje wieś–miasto, czyli exodus ludności z peryferyjnych obszarów o niskim potencjale gospodarczym do obszarów rdzeniowych o wysokim potencjale;
- bieguny wzrostu, czyli duże ośrodki miejskie o znaczeniu ponadregionalnym, potencjale rozwojowym i kontaktach międzynarodowych – często są nimi miasta portowe (handlowe bramy morskie);
- ośrodki regionalne, czyli miasta średniej wielkości o znacznie mniejszym zasięgu wpływów, które często pełnią rolę stolic jednostek administracyjnych pierwszego rzędu oraz ośrodki lokalne – stolice jednostek administracyjnych drugiego rzędu; gdy liczba stolic administracyjnych pierwszego i drugiego rzędu przekraczała 50, nie były one zaznaczane indywidualnie, lecz za pomocą trzeciego pierścienia strefy wzrostu;
- strefy wzrostu, składające się z czterech pierścieni: pierwszy – wokół obszarów rdzeniowych i biegunów wzrostu, symbolizuje potencjał dyfuzyjny tych obszarów; drugi – wokół pierścieni pierwszego rzędu oraz wokół ośrodków regionalnych i lokalnych, których zasięgi wpływu są znacznie bardziej ograniczone; trzeci obejmuje tereny najsilniej zagospodarowane, na których działalność jest istotna dla gospodarki kraju, gdzie liczba stolic pierwszego lub drugiego rzędu jest znaczna i otacza pierścienie drugiego rzędu, oraz czwarty pierścień – obszary peryferyjne o najmniejszym potencjale i zagospodarowaniu, charakteryzujące się stagnacją;
- migracje zarobkowe zagraniczne i wewnętrzne (masowe);
- dominujące kierunki handlu, wyznaczone na podstawie danych statystycznych;
- konflikty międzynarodowe, konflikty wewnętrzne krajów sąsiednich, niestabilność polityczna regionu, spory graniczne, podział kraju w przeszłości lub obecna odmienność kulturowa – zjawiska i procesy uniemożliwiające rozwój zagospodarowania przestrzeni w pewnych kierunkach;

- siły destabilizujące układ przestrzenny, np. AIDS, konflikty na tle etnicznym, polityczna destabilizacja wewnętrzna (m.in. uchodźcy).

Przedstawiano jedynie te elementy struktury i dynamiki przestrzennej danego państwa, które były w nim istotne, tak więc opisy poszczególnych modeli różnią się od siebie. Tekst stanowi integralną część z modelami – frazy w nim wyłuszczone stanowią jednocześnie opisy symboli w legendzie. Kształt badanych krajów przedstawiono za pomocą zgeneralizowanych granic, a nie figur geometrycznych. W przypadku modeli przestrzennych są stosowane oba podejścia. Modele opracowano w programie Adobe Illustrator CS2.

2.3. Współczynnik zmienności

Na podstawie obliczonych wartości udziałów terenów zabudowanych i infrastruktury transportowej w polach podstawowych o powierzchni 10 000 km² i 2500 km² obliczono współczynniki zmienności, odnoszące się do poszczególnych krajów, według wzoru (Łomnicki, 2000):

$$V = \frac{s}{\bar{X}}$$

gdzie: s – odchylenie standardowe; $\bar{X}$ – średnia arytmetyczna zbioru danych.

Wartości współczynnika bliższe 0 wskazują na niską zmienność danych w zbiorze, wartości wyższe – na wyższą zmienność danych, czyli większe zróżnicowanie sieci osadniczej i transportowej. Jest to metoda popularna w badaniach trendu przestrzennego zróżnicowania wskaźników społeczno-gospodarczych.

Współczynniki zmienności dla pól podstawowych 10 000 i 2500 km² są analizowane łącznie, w celu przedstawienia pełniejszego obrazu zróżnicowania sieci. Jest to związane z niewielkim udziałem całkowitych pól w powierzchni kraju; dla pól podstawowych 10 000 km² wynosił on od 37% dla Paragwaju do 0% dla Malawi, a dla pól 2500 km² – od 60% dla Paragwaju do 23% dla Malawi. Do wyników tej analizy należy więc podchodzić z ostrożnością, gdyż ma ona charakter ogólny.

2.4. Reguła kolejności i wielkości G.K. Zipfa

Hipotezy G.K. Zipfa odnoszą się do zależności między liczbą ludności dwóch miast, a reguła polegająca na szeregowaniu miast dotyczy zależności między wielkością a kolejnym miejscem miasta w szeregu i przyjmuje

kształt równobocznej hiperboli lub linii prostej na skali logarytmicznej (Zipf, 1949). Regułę tę można przedstawić w postaci równania:

$$r \times P = n$$

gdzie: r – liczba porządkowa w szeregu miast przybierająca wartości od 1 do n ; P – wielkość miasta wyrażona liczbą ludności; n – liczba miast.

Reguła ta opiera się na założeniu minimalizacji kosztów transportu surowców i produktów gotowych oraz stałej wielkości zaludnienia w całym kraju, na podstawie których G.K. Zipf wysuwa dwie możliwe tendencje. Pierwsza tendencja – produkcji w pobliżu źródeł surowca – prowadzi do powstawania dużej liczby miast o małym zaludnieniu, czyli do rozproszonej sieci osadniczej (jeżeli rozmieszczenie surowców jest równomierne). Jest to siła rozpraszająca (różnicująca), gdyż prowadzi do powstawania miast o różnorodnym zaludnieniu. Druga tendencja – lokalizacji produkcji w pobliżu miejsca konsumpcji – prowadzi do scentralizowanej lokalizacji ludności, czyli do scentralizowanej sieci osadniczej. Jest to siła skupiająca (unifikująca), ponieważ redukuje zróżnicowanie liczby miast (Zipf, 1949; Chojnicki, 1999).

W pracy zgodność z regułą Zipfa sprawdzono na podstawie wzoru (Kurkus, 1989):

$$P_j = \frac{P_1}{j^a}$$

gdzie: P_1 – liczba ludności największego miasta w danym zbiorze, P_j – liczba ludności miasta j , j – kolejność miasta po uporządkowaniu według malejącej wielkości, a – wykładnik kontrastu.

Wykładnik kontrastu obliczono według wzoru (Kurkus, 1989):

$$a = \frac{\log P_1 - \log P_j}{\log j}$$

Wartość średnia wykładników kontrastu równa 1 świadczy o stanie idealnym sieci osadniczej, czyli takim, w którym reguła Zipfa opisuje tę sieć. Wartości powyżej 1 charakteryzują sieć, w której dominuje siła skupiająca, a wartości poniżej 1 – rozpraszająca. Dodatkowo zestawiono wielkości największych terenów zabudowanych poszczególnych krajów, gdyż przyjmuje się, że wielkość miasta pierwszej rangi świadczy o rozwoju całej sieci osadniczej (Das, Dutt, 1993).

W niniejszym badaniu zmodyfikowano powyższą regułę, określając wielkość terenów zabudowanych i ich miejsce w szeregu na podstawie ich powierzchni. Regułę tę można więc przedstawić w postaci równania:

$$r \times A = n$$

gdzie: r – liczba porządkowa w szeregu terenów zabudowanych przybierająca wartości od 1 do n ; A – wielkość terenów zabudowanych wyrażona powierzchnią; n – liczba terenów zabudowanych.

Taka modyfikacja wydaje się uzasadniona jedynie w przypadku krajów słabo rozwiniętych, w których nie występują w większej liczbie miasta „sypialnie”, parki biznesowe i przemysłowe na przedmieściach miast i inne miejscowości wyspecjalizowane, czyli tam, gdzie powierzchnia terenów zabudowanych odpowiada liczbie ludności i funkcjom miast, a tym samym modyfikacja ta spełnia założenie minimalizacji kosztów transportu surowców i produktów gotowych, na którym oparta jest reguła.

Spełnienie reguły Zipfa dla terenów zabudowanych sprawdzono dla 50 jednostek, chociaż dysponowano danymi dla ponad 100 obszarów dla każdego państwa. Dane statystyczne dotyczące liczby ludności miast są jednak dostępne tylko dla 20–60 największych miast w analizowanych krajach. Aby porównać zastosowaną w pracy modyfikację metody z tradycyjnie używaną, wprowadzono takie ograniczenie.

Podobną modyfikację, wykorzystującą wartość powierzchni terenów zabudowanych, udało się znaleźć w jednym artykule: *Estimation of Megacity Growth*, F. Schweitzera i J. Steinbrinka (1998). Autorzy ci wykorzystali powierzchnie pikseli odczytane z map Berlina i jego miast satelitarnych, z lat 1910–1945 do opracowania metody ekstrapolacji wzrostu terenów zabudowanych, przy użyciu reguły Zipfa i współczynnika Pareto. Następnie metodą tą oszacowali wzrost megamiasta Taegu (Korea Południowa) do 2010 r.

2.5. Wskaźnik najbliższego sąsiedztwa

Wskaźnik najbliższego sąsiedztwa jest jedną z miar rozproszenia przestrzennego. Wskaźnik został opracowany w 1954 r. przez Clarka i Evansa na potrzeby badań terenowych w botanice (Lembo, 2008). Jest on określony jako stosunek średniej odległości między najbliższymi punktami w danym zbiorze danych przestrzennych a ich oczekiwaną losową odległością.

Średnia odległość do najbliższego sąsiada jest wyrażona wzorem:

$$d(\text{NN}) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\min(d_{ij})}{N} \right]$$

gdzie: d_{ij} – odległość między każdym punktem a jego najbliższym sąsiadem; N – liczba punktów w zbiorze.

Miarę spodziewanej średniej odległości, bazującą na losowym rozmieszczeniu punktów w zbiorze, przedstawia wzór:

$$d(\text{ran}) = 0,5 \sqrt{\frac{A}{N}}$$

gdzie: A – powierzchnia badanego obszaru. Wskaźnik najbliższego sąsiedztwa jest więc wyrażony wzorem:

$$\text{NNI} = \frac{d(\text{NN})}{d(\text{ran})}$$

Wartość wskaźnika równa 1 wskazuje więc na losowe rozmieszczenie punktów na danym obszarze. Jeśli obserwowane odległości są mniejsze od przewidywanych, wskaźnik przyjmuje wartości poniżej 1, a punkty są rozmieszczone w grupach. Jeśli natomiast obserwowane wartości są większe od przewidywanych, wartość wskaźnika jest większa od 1, co wskazuje na równomierne (regularne) ich rozmieszczenie. Wartość NNI równa 2,1491 oznaczałaby idealnie regularne rozmieszczenie punktów, będących wierzchołkami siatki zbudowanej z trójkątów równobocznych.

Ze względu na dużą próbę – liczba terenów zabudowanych od 175 dla Burkina Faso do 3069 dla Wietnamu – wszystkie wyniki są istotne statystycznie. Analiza została dokonana w programie MapInfo 8,5, w którym odległości były liczone do środków ciężkości terenów zabudowanych.