

ZRÓŻNICOWANIE WYMIARU FRAKTALNEGO WYBRANYCH KOMPONENTÓW POKRYCIA TERENU NA TLE GEOMORFOLOGII ZLEWNI STRUGI TORUŃSKIEJ

DIFFERENTIATION OF FRACTAL DIMENSIONS IN SELECTED LAND COVER COMPONENTS ON GEOMORPHOLOGICAL BACKGROUND OF STRUGA TORUŃSKA CATCHMENT

Małgorzata Luc¹, Jacek B. Szmańda², Kamila Lis¹

¹Zakład Teledetekcji i Kartografii, Instytut Geografii UMK w Toruniu

²Zakład Geomorfologii i Paleogeografii Czwartorzędu, Instytut Geografii UMK w Toruniu

Słowa kluczowe: wymiar fraktalny, analiza georóżnorodności, zlewnia reprezentatywna, Struga Toruńska

Key words: fractal dimension, geodiversity analyses, representative catchment, Struga Toruńska

Wstęp

Ocena walorów środowiska przyrodniczego, a w szczególności analiza georóżnorodności stanowi jeden z głównych kierunków badań geografii fizycznej kompleksowej. Prowadzone w tym zakresie prace dotyczą przede wszystkim struktury środowiska geograficznego, a głównie kształtu i rozmieszczenia geokomponentów i geokompleksów. W badaniach georóżnorodności stosowane są metody matematyczno-statystyczne, np. metoda entropii, metoda taksonomii wrocławskiej, jak również różnorodne wskaźniki – kolistości, rozczłonkowania czy zwartości (Richling 1992). Od połowy lat 70. w analizie skomplikowanych figur geometrycznych stosuje się metodę fraktalną. W naukach o Ziemi znalazła ona do tej pory zastosowanie w badaniach przebiegu zjawisk klimatycznych, analizie struktury sieci rzecznej, rozwinięcia linii brzegowej oraz ukształtowania powierzchni terenu (m.in.: Daya Sagar, 1996; De Cola i Lam, 1993; Fac-Beneda, 2003; Magnuszewski, 1993; Mandelbrot, 1983; Outcalt et. al., 1994; Rieu i Sposito, 1991; Selvam, 1990; Thomas et. al., 1999, Veltiri et. al., 1995; Weiss, 2001).

Prowadzone przez autorów badania mają za cel wykazanie przydatności wymiaru fraktalnego do analizy struktury środowiska przyrodniczego oraz określenie związków pomiędzy zróżnicowaniem tego wymiaru a geomorfologią. Wymiar fraktalny charakteryzuje swoistą regularność w nieregularności i w związku z tym założono, że pozwoli on na ocenę struktury

środowiska przyrodniczego w zakresie wybranych geokomponentów. Do analizy wybrano pięć elementów środowiska przyrodniczego: tereny podmokłe, zbiorniki wodne, sieć rzeczna, tereny zadrzewione oraz rzeźbę terenu. Złożoność tych elementów została zbadana metodą fraktalną, ponieważ pozwala ona na analizę obiektów wykazujących zarówno cechy samopodobieństwa jak również obiektów, które tej cechy nie mają lub mają tylko pewne jej własności. Obszarem badań jest zlewnia Strugi Toruńskiej uznawana za reprezentatywną dla młodogłacjalnego krajobrazu Nizy Polskiego.

Charakterystyka obszaru badań

Dorzecze Strugi Toruńskiej leży na Wysoczyźnie Chełmińskiej. Badaniami objęto jego fragment o powierzchni 334,7 km², pomijając ze względu na duży stopień przekształceń antropogenicznych obszar znajdujący się w obrębie granic administracyjnych Torunia, tj. 36,26 km², (9,77% dorzecza – rys. 1).

Obszar ten, ze względu na walory krajobrazowe oraz zróżnicowanie badanych geokomponentów, głównie ukształtowania powierzchni, można podzielić na dwie części: północną i południową.

Część północna ma kształt zbliżony do owalnego (powierzchnia 268,5 km² – 72,4% dorzecza). Obejmuje ona teren od źródeł Strugi Toruńskiej znajdujących się na północ od Jeziora Wieldzadzkiego do przewężenia w okolicach Jeziora Mlewickiego. Obszar ten cechuje duże urozmaicenie rzeźby. W krajobrazie dominują rozległe obszary wysoczyzny morenowej falistej z pagórkami moren czołowych i sąsiadujące z nimi równiny sandrowe. W rejonie największego zbiornika wodnego zlewni, jeziora Wieczno, znajdują się biogeniczne równiny akumulacji jeziornej. W tej części zlewni występują zwarte kompleksy leśne oraz liczne i drobne zadrzewienia.

Część południowa to obszar o powierzchni 66,24 km² (17,85% pow. całej zlewni) obejmuje ciągający się od Jeziora Mlewickiego na południe do granicy administracyjnej Torunia znajdującej się pomiędzy Wysoczyzną Chełmińską i Kotliną Toruńską. Pod względem geomorfologicznym jest ona mało urozmaicona, w dużym stopniu stanowi ją wysoczyzna morenowa płaska i równiny sandrowe. Lesistość jest tu dużo niższa niż w części północnej i charakteryzuje się dużym rozdrobnieniem. Zespoły leśne to głównie zadrzewienia śródpolne, zadrzewienia typu łągów wzdłuż cieków i na obszarach zabagnionych oraz zadrzewienia o charakterze parków przydworskich.

Sieć hydrograficzna w zlewni Strugi Toruńskiej jest silnie przekształcona antropogenicznie, na co wskazuje między innymi duża gęstość sieci rowów melioracyjnych. O dużym stopniu przekształceń związanych z działalnością człowieka świadczy także fakt, że główny ciek zlewni, Struga Toruńska (51,3 km długości), płynie naturalnym korytem jedynie na krótkim odcinku na południe od Gostkowa (Sinkiewicz, 1995). Gęstość sieci rzecznej nie wykazuje wyraźnego zróżnicowania w zlewni, natomiast stwierdzono takie zróżnicowanie dla jeziorności oraz gęstości obszarów zabagnionych. W części północnej wskaźnik jeziorności (rozumiany jako stosunek powierzchni wszystkich zbiorników wodnych na danym obszarze do powierzchni tego obszaru) wynosi 0,024. Znajduje się tu kilkadziesiąt drobnych zbiorników wodnych różnego pochodzenia, np. oczek polodowcowych, sadzawek, dołów poeksploatacyjnych oraz 24 jeziora o powierzchni powyżej 1 ha. Skupiska obszarów zaba-

gnionych o zróźnicowanej wielkości występują wokół jezior lub w niewielkich bezodpływowych obniżeniach terenu. Tworzą także zwarte, rozległe kompleksy mokradel. Jeziorność jest dużo niższa w części południowej niż północnej. Także mokradła są tu zdecydowanie mniej liczne i zajmują mniejszą powierzchnię. Występują one głównie w niewielkich, wysoczyznowych zagłębieniach śródpolnych, stanowiąc pozostałość po jeziorach polodowcowych tzw. oczkach (Luc, 2004).

Metodyka pracy

Realizując wyznaczony cel badań wykonano następujące zadania:

- utworzono graficzną bazę danych wybranych komponentów środowiska przyrodniczego zlewni Strugi Toruńskiej;
- wyznaczono wymiaru fraktalnego metodą pudełkową dla badanych geokomponentów w polach podstawowych (gridach) o powierzchni 4 km²;
- oceniono rozkład przestrzennego wartości wymiaru fraktalnego badanych geokomponentów;
- określono zależności pomiędzy rozkładem wymiaru fraktalnego geokomponentów a rzeźbą terenu.

Baza danych

Do analizy wykorzystano mapy topograficzne w skali 1:25 000 z 1970 r. w układzie odniesienia 1965. Dane pochodzące z tych map zostały zaktualizowane na podstawie wielobarwnych zdjęć lotniczych wykonanych w ramach programu PHARE w 1996 r. oraz badań terenowych. W rezultacie uzyskano bazę danych obejmującą stan środowiska zlewni na rok 2002. Następnie w programie ArcGIS 8.3. utworzono szereg warstw informacyjnych dla poszczególnych komponentów definiując ich atrybuty.

Analiza fraktalna geokomponentów

Fraktal nie ma jednoznacznej definicji. W klasycznym pojęciu B. B. Mandelbrota (1976, 1983) jest on obiektem geometrycznym mającym cechę samopodobieństwa, czyli stanowi część obiektu podobną do całości. J. Kudrelewicz (1996), fraktalem nazywa „każdy niepusty i zwarty podzbiór przestrzeni metrycznej” czyli każdy fragment środowiska przyrodniczego. W związku z tym, wymiar fraktalny jako miara regularności przestrzeni, znajduje zastosowanie w badaniach nieregularności występujących w środowisku geograficznym niezależnie od tego czy ma ono cechę samopodobieństwa, czy nie. Wymiar fraktalny obiektów przyrodniczych nie jest liczbą całkowitą, lecz przyjmuje wartości wymierne. W zależności od wymiaru przestrzeni punkt jest obiektem zerowymiarowym (wymiar fraktalny $D_f = 0$), linia obiektem jednowymiarowym ($D_f = 1$), powierzchnia – dwuwymiarowym ($D_f = 2$), a przestrzeń – trójwymiarowym ($D_f = 3$).

Istnieją różne rodzaje wymiaru fraktalnego stosowane w badaniach środowiska, m.in. wymiar samopodobieństwa, wymiar pudełkowy, wymiar cyrkłowy, wymiar Hausdorffa, czy wymiar Hortona – Strachlera (Peitgen, Jürgens, Saupe, 1996). W pracy zastosowano wymiar pudełkowy, który daje większe możliwości analizy niż miara samopodobieństwa.

Służy on przede wszystkim do badania struktur niesamopodobnych (Mandelbrot, 1976). W związku z tym umożliwia on pomiar, który można zastosować dla dowolnej struktury na płaszczyźnie i łatwo zaadaptować go do mierzenia struktur występujących w przestrzeni trójwymiarowej.

Algorytm obliczania wymiaru pudełkowego (Mandelbrot, 1976) obejmuje:

- nałożenie na nieregularną strukturę obiektu regularnej siatki o wielkości oczek $s = s_1$;
- zliczenie oczek siatki, które pokrywają badaną strukturę – $N(s_1)$;
- powtórne nałożenie na strukturę regularnej siatki oczek, ale o pomniejszonej ich wielkości do $1/2 s_1 = s_2$;
- ponowne zliczenie oczek – $N(s_2)$;
- wykonanie wykresu zależności zlogarytmowanych wyników $N(s_1)$ i $N(s_2)$, odpowiednio dla osi $X \rightarrow \log(I/s)$, dla osi $Y \rightarrow \log N(s)$.

Do analizy ukształtowania terenu (o wymiarze przestrzennym $D_f = 3$) również zastosowano metodę pudełkową. W tym przypadku jednak, pod uwagę wzięto dodatkowe zmienne, które wymagały przeprowadzenia jej modyfikacji. Założono, że badany obszar ma ustaloną wielkość pola podstawowego, na które nakłada się pudełka o wysokości określonej względem poziomu morza.

Algorytm obliczania wymiaru pudełkowego dla przestrzeni $D_f = 3$ obejmuje:

- nałożenie pudełek o wymiarach $M \times M \times G$ na rysunek rzeźby terenu, gdzie G jest postępującym ciągiem wartości charakteryzujących wysokość. Wartości te odczytano z rysunku poziomicowego mapy topograficznej. Każde pudełko opisano w układzie współrzędnych (x, y, z) , przy czym pierwsza i druga zmienna określa pozycję pola w dwuwymiarowej płaszczyźnie obrazu, natomiast trzecia – przyjmuje wartości graniczne minimalnej (H_{\min}) i maksymalnej (H_{\max}) wysokości bezwzględnej w analizowanym pudełku. W praktyce pudełko obejmuje jedno pole podstawowe, a współrzędna G oznacza wysokość względną w tym polu.
- powtórne nałożenie pudełek o zredukowanej wielkości do wymiarów $S \times S$ ($1 < S \leq M/2$, $S \in \mathbb{Z}$) przy zastosowaniu współczynnika proporcjonalności r ($r = S/M$) w dwuwymiarowej płaszczyźnie, jak również w trzecim wymiarze w zakresie wysokości. W efekcie wartość każdego z pudełek wynosi $S \times S \times S'$, gdzie S' jest nowym ciągiem postępującym określającym wartości wysokości względnej w każdym pudełku od jego podstawy. Odpowiada mu następująca formuła:

$$\left[\frac{G}{S'} = \frac{M}{S} \right]$$

gdzie:

$[G/S']$ – minimalna całkowita liczba większa od G/S ,

$[M/S]$ – minimalna liczba całkowita większa od M/S .

Zatem, przestrzeń $M \times M \times G$ tworzy kompozycję serii pudełek o wielkości $S \times S \times S'$.

- obliczanie średniego wypełnienia przestrzeni strukturą (rzeźbą terenu) dla każdego pudełka ($S \times S \times S'$) zawartego w przestrzeni $M \times M \times G$. Zakładając, że dla każdego pudełka $S \times S \times S'$ $H_{\min} = K$ i $H_{\max} = L$, wielkość wypełnienia każdego z pudełek zawartych w polu podstawowym jest określona wzorem:

$$n_r(s, s) = L - K + 1$$

Liczbę pudełek potrzebną do pokrycia całego pola podstawowego otrzymano po zastosowaniu wzoru:

$$N_r = \sum_{i,j}^M n_r(s, s)$$

- obliczanie wymiaru fraktalnego – pudełkowego na podstawie następującej formuły:

$$D_r = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log N_r}{\log \left(\frac{1}{r} \right)}$$

Wartości, jakie w rezultacie uzyskano, mieszczą się w przedziale $D_f \in [2,3]$, w zależności od tego, jak dana forma wypełnia przestrzeń 3D i jak bardzo złożona jest struktura tej formy.

Metody analizy statystycznej

W celu dokonania interpretacji wyników analizy przeprowadzonej metodą fraktalną, zastosowano wybrane formuły statystyczne: średnią arytmetyczną, średnie odchylenie standardowe, wartości ekstremalne wskaźników fraktalnych oraz współczynnik korelacji Pearson'a. Korelacja określa związek pomiędzy wartościami wymiaru fraktalnego oraz udziałem procentowym badanych typów rzeźby w 105. polach podstawowych. Dla uproszczenia procedury badawczej zasięg i typ form rzeźby terenu ograniczono do jednostek o charakterze powierzchniowym wzorując się na wydzieleniach z Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polski w skali 1: 500 000, arkusz Gdańsk. W poszczególnych polach oznaczono udział procentowy powierzchni zajmowanej przez wysoczyznę morenową falistą, wysoczyznę morenową płaską, równiny sandrowe i równiny akumulacji jeziornej.

Wyniki analizy fraktalnej badanych komponentów środowiska geograficznego

Na podstawie przeprowadzonej analizy fraktalnej można stwierdzić, że zarówno rozkład przestrzenny wymiaru fraktalnego wszystkich badanych geokomponentów zlewni Strugi Toruńskiej w zakresie wartości charakterystycznych (tab. 1) jak i liczebności tych wskaźników dla elementów zero- (0), jedno- (1) oraz dwuwymiarowych (2) wykazują większe zróżnicowanie w części północnej niż południowej zlewni (rys. 2). Pod względem wartości wymiaru fraktalnego najsilniejsze zróżnicowanie stwierdzono dla obszarów zalesionych i cieków. Duże zróżnicowanie wymiaru fraktalnego obszarów zalesionych widoczne jest na rys. 2D, co podkreśla najwyższy spośród badanych komponentów wskaźnik odchylenia standardowego $\sigma = 0,55$. Jednocześnie dla tego elementu trudno wyznaczyć dominujący pod względem liczebności przedział wymiaru fraktalnego (rys. 2D). Duże zróżnicowanie wskaźników fraktalnych cieków wyraża się przede wszystkim w zakresie wartości skrajnych $D_f - 0-1,69$; przy czym odchylenie standardowe jest tu podobne jak w przypadku zbiorników wodnych i terenów zabagnionych ($\sigma = 0,4$). Dominującym pod względem liczebności przedziałem wymiaru fraktalnego cieków jest $D_f - [1,01;1,2]$, zbiorników wodnych $D_f - [0,21;0,6]$, a terenów zabagnionych $D_f - [0,61;0,99]$ (rys 2A, B, C). Najmniej zróżnicowana pod względem wartości wymiaru fraktalnego jest rzeźba terenu (rys 2E), dla

Tabela 1. Wartości charakterystyczne wymiaru fraktalnego wybranych elementów środowiska geograficznego zlewni Strugi Toruńskiej

Część zlewni	Wartości	Wymiar fraktalny (Df)				
		cieki	jeziora	bagna	las	rzeźba terenu
Całość	min.	0,00	0,00	0,00	0,00	2,01
	max.	1,69	1,58	1,43	1,46	2,65
	średnia	0,92	0,46	0,64	0,61	2,36
	od. std.	0,41	0,40	0,40	0,55	0,15
Część północna	min.	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11
	max.	1,69	1,58	1,43	1,45	2,65
	średnia	0,97	0,51	0,71	0,67	2,41
	od. std.	0,38	0,40	0,39	0,54	0,12
Część południowa	min.	0,00	0,00	0,00	0,00	2,01
	max.	1,42	1,32	1,00	1,46	2,37
	średnia	0,80	0,29	0,45	0,45	0,20
	od. std.	0,46	0,37	0,38	0,53	0,12

której odchylenie standardowe wynosi zaledwie $\sigma = 0,15$, a najczęstsze wartości wymiaru fraktalnego występują w przedziale Df – [2,3;2,50].

W zakresie liczebności wskaźnika fraktalnego zero- i jednowymiarowego stwierdzono różnice ich rozkładu pomiędzy badanymi geokomponentami. Wartości zerowymiarowe przeważają nad jednowymiarowymi dla zbiorników wodnych, w przypadku cieków przeważają zdecydowanie wartości jednowymiarowe nad zerowymiarowymi, a dla terenów zabagnionych i obszarów zadrzewionych liczebności te są zbliżone.

Badając związek wybranych elementów środowiska geograficznego oraz rzeźby terenu w zlewni Strugi Toruńskiej stwierdzono, że zależność pomiędzy wymiarem fraktalnym tych elementów a udziałem procentowym podstawowych typów rzeźby (jednostek geomorfologicznych) w 105. polach podstawowych jest zwykle nikła (bliska zero) lub słaba (tab. 2). Najsilniejszy związek dodatni stwierdzono pomiędzy udziałem procentowym wysoczyzny morenowej falistej i wymiarem fraktalnym rzeźby terenu (zależność przeciętna). Jako liczącą się, ale słabą, należy uznać zależność pomiędzy udziałem procentowym wysoczyzny morenowej falistej i wymiarem fraktalnym obszarów zabagnionych, a także pomiędzy udziałem procentowym równin sandrowych i wymiarem fraktalnym obszarów zalesionych.

Najsilniejszy związek ujemny stwierdzono pomiędzy udziałem procentowym wysoczyzny morenowej płaskiej i wymiarem fraktalnym rzeźby terenu (zależność wysoka). Należy zwrócić uwagę, że na słabym poziomie ($r \approx 0,3$) występuje ujemna zależność pomiędzy tym typem rzeźby terenu, a wymiarem fraktalnym pozostałych czterech elementów środowiska przyrodniczego (tab. 2).

Najwyższe przeciętne wartości wymiaru fraktalnego rzeźby terenu i obszarów zabagnionych występują w polach odpowiadających wysoczyźnie morenowej falistej, najwyższe dla zbiorników wodnych w polach odpowiadających równinom akumulacji jeziornej, a lasów –

równinom sandrowym. Najniższe przeciętne wartości wymiaru fraktalnego stwierdzano zwykle w polach z wysoczyzną morenową płaską, za wyjątkiem wymiaru fraktalnego terenów zabagnionych, który stwierdzono w polach odpowiadających równinom sandrowym (tab.3).

Tabela 2. Wartości współczynnika r korelacji Pearson'a pomiędzy udziałem procentowym wybranych typów rzeźby terenu i wymiarem fraktalnym badanych elementów środowiska geograficznego w 105. polach podstawowych na obszarze zlewni Strugi Toruńskiej

Udział procentowy	Wymiar fraktalny				
	cieki	jeziora	bagna	lasy	rzeźba terenu
Wysoczyzna morenowa falista	0,09	0,12	0,27	0,13	0,40
Wysoczyzna morenowa płaska	-0,27	-0,33	-0,22	-0,28	-0,62
Równina akumulacji jeziornej	0,14	0,00	0,01	0,02	0,10
Równina sandrowa	-0,06	0,04	-0,18	0,24	-0,28

Tabela 3. Statystyczne wartości charakterystyczne wymiaru fraktalnego dla wybranych typów rzeźby terenu zlewni Strugi Toruńskiej

Typ rzeźby	Element środowiska	Minimum	Maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe
Wysoczyzna morenowa falista	cieki	0	1,69	0,98	0,39
	jeziora	0	1,4	0,46	0,36
	bagna	0	1,29	0,75	0,36
	lasy	0	1,43	0,64	0,55
	rzeźba terenu	2,11	2,65	2,42	0,12
Wysoczyzna morenowa płaska	cieki	0	1,42	0,70	0,50
	jeziora	0	1,0	0,24	0,33
	bagna	0	1,21	0,47	0,41
	lasy	0	1,46	0,37	0,51
	rzeźba terenu	2,01	2,35	2,21	0,12
Równina akumulacji jeziornej	cieki	0	1,58	1	0,35
	jeziora	0	1,32	0,56	0,42
	bagna	0	1,29	0,65	0,46
	lasy	0	1,46	0,65	0,59
	rzeźba terenu	2,18	2,65	2,38	0,14
Równina sandrowa	cieki	0	1,42	0,41	0,42
	jeziora	0	1,58	0,48	0,48
	bagna	0	1,43	0,43	0,43
	lasy	0	1,46	0,79	0,51
	rzeźba terenu	2,02	2,49	2,29	0,12

Pod względem liczebności wymiaru fraktalnego określonego w dwóch klasach jednostek zero- i jednowymiarowych stwierdzono, że na obszarach wysoczyzny morenowej falistej przeważają 1-wymiarowe wartości wymiaru fraktalnego nad 0-wymiarowymi, a na wysoczyźnie płaskiej – odwrotnie.

Dyskusja

Wyniki badań wybranych elementów środowiska przyrodniczego zlewni Strugi Toruńskiej wykazały, że wymiar fraktalny jako miara złożoności przestrzeni wielowymiarowej jest wskaźnikiem opisującym zarówno złożoność kształtu zbiorników wodnych, zasięgu obszarów zabagnionych, linii cieków jak i ukształtowania powierzchni przedstawionej metodą poziomicową. Wymiar ten może służyć także jako wskaźnik gęstości.

Stwierdzona dominująca liczebność wartości wymiaru fraktalnego cieków w przedziale $D_f - [1,01;1,2)$ wskazuje na niską złożoność linii cieków, jak również na stosunkowo niedużą ich gęstość. Oddaje to w pełni charakter sieci hydrograficznej badanej zlewni, ponieważ linie cieków mają najczęściej kształt zbliżony do linii prostych, co wynika ze zdecydowanej przewagi kanałów melioracyjnych w stosunku do cieków naturalnych.

Zerowymiarowe wartości wymiaru fraktalnego zbiorników wodnych, obszarów podmokłych i terenów zalesionych wskazują na duże rozdrobnienie tych geokomponentów w badanej zlewni. Dane te potwierdzają wcześniejsze badania M. Luc (2004) wykonywane klasycznymi metodami geograficznymi. Stwierdzona w tych badaniach większa złożoność środowiska geograficznego części północnej niż południowej w zakresie wszystkich badanych komponentów znajduje także potwierdzenie w różnicach wynikających z wartości wymiaru fraktalnego, o czym wspomniano już wcześniej. Z tego względu należy uznać, że wymiar fraktalny może być stosowany w ocenie georóżnorodności.

Pomimo słabej zależności pomiędzy badanymi elementami pokrycia terenu a rzeźbą terenu, wyrażonych w wartościach współczynnika korelacji Pearson'a, należy stwierdzić, że szczególnie odzwierciedlają one wpływ obniżania walorów środowiska geograficznego w obrębie wysoczyzny morenowej płaskiej. Związek tego typu rzeźby terenu z wymiarem fraktalnym widoczny jest nie tylko w zakresie ujemnych współczynników korelacji, ale także wartości statystycznych miar charakterystycznych. Należy dodać, że jednym z czynników decydującym o fakcie obniżenia atrakcyjności krajobrazowej wysoczyzny morenowej płaskiej i georóżnorodności tego typu rzeźby może być nasilona antropopresja (Luc, 2004).

Literatura

- Daya Sagar B.S., 1996: Fractal relation of morphological Skelton, *Chaos Soliton & Fractals* 7, 11, ss. 1871-1879.
- De Cola L., Lam, N., 1993: *Fractals in geography*, Prentice-Hall.
- Fac-Beneda J., 2003: Wymiar fraktalny sieci rzecznej uporządkowanej metodą Hortona-Strahlera i metodą Drwala, [W:] Gołębiowski, R. (Red.): *Ewolucja pojezierzy i Pobrzeży Południowoobałtyckich*, Katedra Geomorfologii i Geologii Czwartorzędu UG, Gdańsk, ss. 27-36.
- Kudrewicz J., 1996: *Fraktale i chaos*, Warszawa, WNT.
- Luc M., 2004: Przemiany wybranych elementów środowiska przyrodniczego zlewni Strugi Toruńskiej od końca VIII w. do początku XXI w. [W:] Kejna, M., Uscka, J. (Red.): *Funkcjonowanie i monitoring geosystemów w warunkach narastającej antropopresji Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Turpress, Toruń, ss. 401-418.

- Magnuszewski A., 1993: Wymiar fraktalny współczesnych sieci rzecznych, *Przegląd Geofizyczny* 38, 2, ss. 121-130.
- Mandelbrot B.B., 1976: How long is the coastline of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension, *Science* 156, ss. 636-638.
- Mandelbrot B.B., 1983: The fractal geometry of nature, New York, W.F. Freeman and Co.
- Niewiarowski, W., 1996: Budowa geologiczna i rzeźba terenu [W:] Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego – stacja bazowa w Koniczynie, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, ss. 41-59.
- Outcalt S.I., Hinkel K.M., Nelson, F.E., 1994: Fractal physiography, *Geomorphology* 11, ss. 91-106.
- Pietrucień, Cz., 1993: Zmiany hydrologiczne i przestrzenne obszarów podmokłych [W:] Dynowska, I. (Red.) Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych, Kraków.
- Richling A., 1992: Kompleksowa geografia fizyczna, PWN, Warszawa.
- Rieu M., Sposito G., 1991: Fractal fragmentation, soil porosity, and water properties: I. Theory, *Soil Science Society of America Journal* 55, ss. 1231-1238.
- Selvam A.M., 1990: Deterministic chaos, fractals and quantumlike mechanics in atmospheric flows, *Canadian Journal of Physics* 68, ss. 831-841.
- Sinkiewicz M., 1995: Przeobrażenia rzeźby terenu i gleb w okolicy Biskupina wskutek denudacji antropogenicznej, [W:] Niewiarowski, W. (Red.): Zarys zmian środowiska geograficznego okolic Biskupina pod wpływem czynników naturalnych i antropogenicznych w późnym glacie i holocenie, Turpress, Toruń, ss. 247-279.
- Thomas T.R., Rosen, B.G., Amini, N., 1999: Fractal characterization of the anisotropy of rough surfaces, *Wear* 232, ss. 41-50.
- Veltri M., Veltri P., Maiolo, M., 1995: On the fractal description of natural channel networks, *Journal of Hydrology* 187, ss. 137-144.
- Weiss J., 2001: Fracture and fragmentation of ice: a fractal analysis of scale invariance, *Engineering Fracture Mechanics* 68, ss. 1975-2012.

Summary

Environment is a complex and dynamic system with multiplicity of connections and feedback. For that reason it seems important in environmental studies to establish regularity in the course of phenomena as well as to analyse geodiversity of that system. Varied methods have been suggested to investigate dependencies and diversity between components. Since the 70s the fractal dimension has found recognition in many scientific disciplines. Also in the Earth sciences some authors used it mainly to analyse river network, coast line development, relief and climatic phenomena. The aim of the authors' research was to assess potential use of the fractal dimension rate in the analysis of dependencies between the spatial distribution, the shape of selected elements in Struga Toruńska catchment and its morphology.

The scope of research was divided into the following stages:

- 1. Building of digital models of selected components in the basin: water reservoirs, wooded areas, rivers, streams and irrigation channels, marshes and relief;*
- 2. Assigning of the fractal dimension for all components;*
- 3. Overlay of 4 sq. km grids and calculating their fractal dimensions to assess the complexity and density of spatial distribution of geocomponents;*
- 4. Assessment of the geocomponents' fractal values;*
- 5. Establishing dependencies between the fractals' distribution for the range and shape of the components and the relief.*

One of the possible methods to define the fractal dimension is the Mandelbrot box method (1976). The analysed object, in our case the catchment's border, is overlaid by grids of two different sizes. Further on, the number of boxes is counted and put on a graph where an X axis has value $\log(1/s)$, axis $Y \rightarrow \log(N(s))$, and the line allows to assign the box dimension of the object according to the formula:

$$D_b = \frac{\log N_2(s_2) - \log N_1(s_1)}{\log\left(\frac{1}{s_2}\right) - \log\left(\frac{1}{s_1}\right)}$$

The dimension of natural elements is not an integral number but depends on the space dimension – a point in the object of zero-dimensional size (fractal dimension $D_f = 0$), a line is the object of one-dimensional size ($D_f = 1$), an area – two-dimensional size ($D_f = 2$) etc.

The research area is the Struga Toruńska basin of the size of 334,74 km². It is located on Chełmińskie Lakeland. Its relief is represented by young glacial morphology. The basin is divided into the northern and southern part, depending on geomorphological factors. In the northern part the relief mainly consists of an undulating and hummocky moraine plateau, biogenic accumulation planes and out-wash planes. In the southern part, the topography is represented by a flat moraine plateau and vast out-wash planes. The differentiation between them is very well reflected by fractal rates of the examined components. It shows that in the northern part is more diversified in all components than the southern part of the Struga Toruńska Basin.

One-dimensional fractal dimension parameters are typical to watercourses and their highest number is represented within the range [1.01; 1.2]. It shows that main watercourses are similar to straight-line canals. The highest number of lakes, marshes and forests is included in zero-dimensional fractal rate parameters. It testifies high fragmentation of these components in the Struga Toruńska Basin.

The analysis of dependence between the types of relief (geomorphological units) and the fractal dimension in grids assigned show that the undulating moraine plateau is correlated with the highest mean values of the relief. The fractal dimensions of the biogenic accumulation plane is correlated with the highest mean values of watercourses and lakes fractal dimension, the out-wash plane is correlated with the highest mean values of forests fractal rate. The lowest Pearson's correlation parameters are distributed between flat the moraine plateau and all examined components. It shows that the plateau lowers the landscape value.

The study of dependences between the type of relief and selected environmental components conducted with the use of fractal geometry proved the usefulness of the suggested methodology in the analysis of geodiversity.

dr Małgorzata Luc
mluc@uni.torun.pl
tel: 056 611 47 88

dr Jacek Szymańda
szmanda@geo.uni.torun.pl
tel: 056 611 31 49

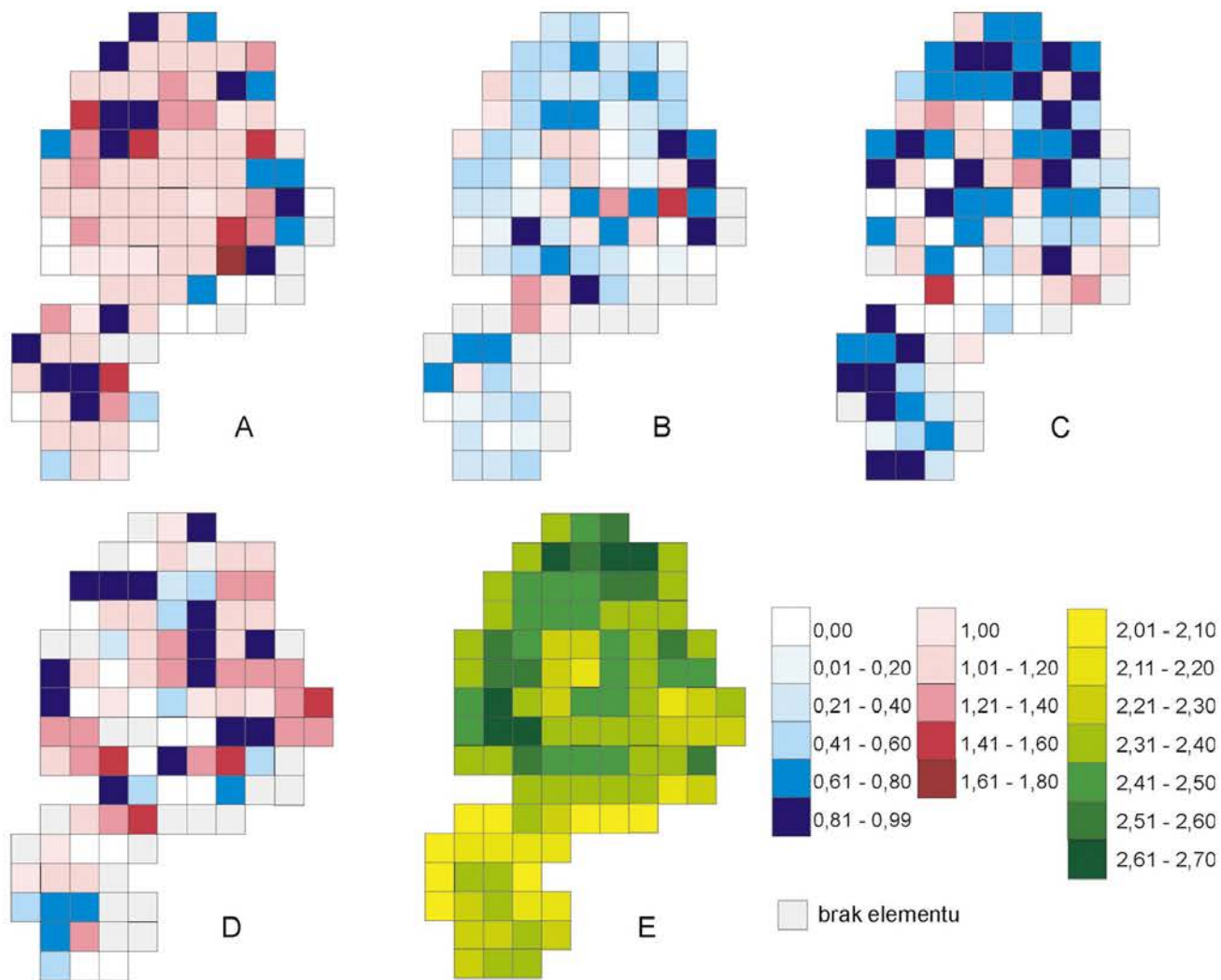
Kamila Lis
quantique@wp.pl



Rys. 1. Obszar badań na tle całkowitej powierzchni zlewni Strugi Toruńskiej (za Luc 2004)



0 10 20 30 km



Rys. 2. Kartogramy wartości wymiaru fraktalnego dla geokomponentów zlewni Strugi Toruńskiej: A – ciki, B – zbiorniki wodne,