

INSTYTUT PRAHISTORII UNIWERSYTETU IM. ADAMA MICKIEWICZA

OŚRODEK OCHRONY DZIEDZICTWA ARCHEOLOGICZNEGO

MUZEUM ARCHEOLOGICZNE W BISKUPINIE

POZNAŃSKIE TOWARZYSTWO PREHISTORYCZNE

Biskupin... i co dalej?

Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii

REDAKCJA

JACEK NOWAKOWSKI

ANDRZEJ PRINKE

WŁODZIMIERZ RĄCZKOWSKI

POZNAŃ 2005

ABSTRACT: Jacek Nowakowski, Andrzej Prinke, Włodzimierz Rączkowski (eds), *Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii* [Biskupin... and what next? Aerial photographs in Polish archaeology]. Instytut Prahistorii UAM, Ośrodek Ochrony Dziedzictwa Archeologicznego, Muzeum Archeologiczne w Biskupinie, Poznańskie Towarzystwo Prehistoryczne, Poznań 2005, pp. 522, fig. & phot. 199, colour plates 142. ISBN 83-916342-2-1. Polish text with English summaries and captions.

These papers present examples of the application of aerial photography in Poland and some other European countries. The authors discuss several issues including the history of Polish aerial archaeology, the conditions of its usefulness in Polish archaeology, certain contemporary technological resources that increase the effectiveness of the information in the photographs, the complex problems of photointerpretation and the closely related question of how to archive them and make them available, the universal uses of photographs in conservation work and in research practice. Aerial photographs also allow to look at archaeology from a different perspective, thus they can be a good basis for re-conceptualisation of many fundamental problems, such as methods of cultural landscape studies.

Recenzenci:

prof. dr hab. Bogusław Gediga
prof. dr hab. Sławomir Kadrow

© Copyright by Jacek Nowakowski, Andrzej Prinke, Włodzimierz Rączkowski 2005
© Copyright by Authors

Publikację wydano przy finansowym wsparciu Wielkopolskiego Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków, Dziekana Wydziału Historycznego UAM, Fundacji UAM, Aerial Archaeology Research Group oraz ze środków projektu *European Landscapes: Past, Present and Future* (Ref. No 2004-1495/001-001 CLT CA22) realizowanego w ramach programu Culture 2000.

Adjustacja streszczeń i tłumaczenie podpisów: Joanna Haracz-Lewandowska
Skład i łamanie: ad rem, Poznań – Jacek Tomczak

Projekt okładki: Jolanta i Konrad Królowie

ISBN 83-916342-2-1

Wydawca:

ad rem

ul. Słowiańska 38A/6

61-664 Poznań

tel./fax +48/61 826 78 44

e-mail: adrem@echostar.pl

Spis treści

Jacek Nowakowski, Andrzej Prinke, Włodzimierz Rączkowski, <i>Latać, latać i... interpretować: problemy i perspektywy polskiej archeologii lotniczej</i>	11
---	----

Część I: Trochę historii – czy tylko Biskupin?

Wojciech Piotrowski, <i>Wykopaliska biskupińskie z lotu ptaka – próba podsumowania</i>	27
Lidia Żuk, <i>Dokąd prowadzisz Biskupinie?</i>	51
Dariusz Krasnodębski, <i>Pamiętkowy album z polskimi zdjęciami lotniczymi z lat 1923-1929</i>	71
Agnieszka Dolatowska, Danuta Prinke, <i>Do trzech razy sztuka: próba interpretacji zdjęć lotniczych z Kotliny Toruńsko-Bydgoskiej</i>	81

Część II: Zdjęcia lotnicze i technologia

Sławomir Królewicz, <i>Charakterystyka wybranych cech współczesnych średnio- i wysokorozdzielczych danych teledetekcyjnych</i>	101
Jerzy Miałdun, <i>Wymiar fraktalny zobrazowań teledetekcyjnych krajobrazu ekologicznego, poddanego antropopresji</i>	109
Jerzy Miałdun, <i>Wstępna koncepcja struktury systemu pozyskiwania danych w trakcie rekonesansu lotniczego i ich transmisji do Internetu w czasie rzeczywistym</i>	117

Część III: Problemy z interpretacją

Lidia Żuk, <i>W poszukiwaniu salomonowego rozwiązania, czyli o tym, kto powinien interpretować zdjęcia lotnicze – słów kilka</i>	125
Andrzej Kijowski, Stefan Żynda, <i>Struktury glacialne i peryglacialne jako tło dla archeologicznej interpretacji zdjęć lotniczych</i>	145
Krzysztof Maciejewski, <i>Wrózenie z fusów? Dylematy fotografującego obiekty archeologiczne</i> ..	157

Część IV: Archiwizacja i udostępnianie zdjęć lotniczych w archeologii

Wiesław Stępień, <i>„Karta obserwacji terenu z góry”</i>	165
Katarzyna Bronk-Zaborowska, Andrzej Prinke, Lidia Żuk, <i>A_{Ph}_Max – baza danych o zdjęciach lotniczych dla potrzeb archeologii</i>	171
Andrzej Prinke, <i>Zaplecze informacyjne w zastosowaniach metody archeologicznego rekonesansu lotniczego</i>	183
Jerzy Miałdun, Izabela Mirkowska, Włodzimierz Rączkowski, <i>Wczesnośredniowieczne założenia obronne w Polsce północno-wschodniej: projekt systemu informacji archeologicznej</i>	193

Część V: Zdjęcia lotnicze w praktyce konserwatorskiej

Zbigniew Kobyliński, Krzysztof Misiewicz, Dariusz Wach, <i>„Archeologia niedestrukcyjna” w północno-wschodniej Polsce</i>	205
Piotr Górny, Małgorzata Przybyszewska, Jacek Wysocki, <i>Weryfikacja terenowa zdjęć lotniczych</i>	237
Wojciech Sosnowski, <i>Dokumentacja fotolotnicza w archeologii ziemi chełmińskiej. Pierwsze doświadczenia, możliwości, perspektywy</i>	241
Andrzej Prinke, Włodzimierz Rączkowski, Bogdan Walkiewicz, <i>Archeologiczny zwiad lotniczy wzdłuż trasy planowanej autostrady A2 w granicach dawnego woj. poznańskiego</i>	247

Jacek Nowakowski, <i>Znaczenie zdjęć lotniczych w konserwatorstwie archeologicznym na przykładzie stanowiska archeologicznego w Osiecznej (stan. 4)</i>	257
Tomasz Burda, <i>Archeologiczna apokalipsa. Wykorzystanie fotografii lotniczej w ocenie zniszczeń na stanowiskach archeologicznych w Iraku</i>	263

Część VI: Od zdjęć lotniczych do wieloaspektowych i zintegrowanych badań: dorobek i perspektywy

Andrzej M. Wyrwa, <i>Zdjęcia lotnicze w tekneńskim kompleksie osadniczym oraz ich weryfikacja archeologiczno-architektoniczna i osadnicza</i>	271
Krzysztof Maciejewski, Włodzimierz Rączkowski, <i>Jamy, jamy... lecz nie tylko: wyniki archeologicznego rozpoznania lotniczego w Wielkopolsce w latach 2001-2002</i>	283
Barbara Stolpiak, Włodzimierz Rączkowski, <i>Opactwo pocysterskie w Bierzwniku, woj. zachodniopomorskie a zdjęcia lotnicze – oczekiwania i możliwości</i>	297
Kazimierz Grażawski, <i>Zdjęcia lotnicze w archeologicznej praktyce badawczej Muzeum w Brodnicy</i>	311
Dariusz Krasnodębski, <i>Lotnicza prospekcja archeologiczna w dorzeczu Odry, przeprowadzona w 1999 roku</i>	317
Krzysztof Wieczorek, <i>Widać, nie widać – czy pilot może zostać archeologiem?</i>	321
Marcin Dziewanowski, Lidia Żuk, <i>Zaległości „nie do odrobienia”? Przyczynek do przydatności zdjęć lotniczych w badaniach terenowych na przykładzie stan. 5 w Mierzynie, woj. zachodniopomorskie</i>	327
Rafał Gradowski, <i>Fotografia lotnicza w archeologii a problem wczesnośredniowiecznego osadnictwa obronnego na terenie miasta Człuchowa</i>	337
Miłosz Giersz, Maciej Słomczyński, Mariusz Ziółkowski, <i>Archeologia lotnicza w polskich badaniach archeologicznych w Andach</i>	341
Violetta Julkowska, Włodzimierz Rączkowski, <i>Zobaczmy przeszłość! Zdjęcia lotnicze w dydaktyce historii</i>	353

Część VII: Zdjęcia lotnicze i krajobraz kulturowy

Wiesław Stępień, <i>Fotografia lotnicza w ochronie krajobrazu kulturowego</i>	373
Paul M. Barford, <i>Tworzenie krajobrazu: archeologia osadnicza z lotu ptaka?</i>	379
Grzegorz Kiarszys, <i>Osadnictwo czy krajobraz kulturowy: konsekwencje poznawcze korelacji wyników badań powierzchniowych i rozpoznania lotniczego</i>	389

Część VIII: Jak się to robi w Europie?

Robert Bewley, <i>Archeologia lotnicza – kilka myśli na przyszłość</i>	399
Rog Palmer, <i>Dlaczego niezbędna jest interpretacja zdjęć lotniczych i wykonywanie map?</i>	407
Ralf Schwarz, Günter Wetzel, <i>Archeologia lotnicza w Niemczech – z historii badań</i>	413
Michael Doneus, <i>Archeologia lotnicza w Austrii</i>	439
Martin Gojda, <i>Archeologia lotnicza w Czechach w końcu XX wieku: integracja studiów nad krajobrazem kulturowym a archeologia nieinwazyjna</i>	449
Ivan Kuzma, <i>Archeologia lotnicza na Słowacji</i>	457
Lis Helles Olesen, <i>Archeologia lotnicza w Danii</i>	479
Romas Jarockis, <i>Fotografia lotnicza, archeologia i dziedzictwo kulturowe na Litwie</i>	489
Juris Urtāns, <i>Fotografia lotnicza w archeologii na Łotwie</i>	495
Indeks nazw osobowych	499
Indeks nazw geograficznych	507
Lista adresowa autorów	517

Wymiar fraktalny zobrazowań teledetekcyjnych krajobrazu ekologicznego, poddanego antropopresji

1. Wstęp

Nie wdając się w rozważania nad rodowodem terminu krajobraz ekologiczny, przyjmijmy za Formanem i Gordonem (1986), że najważniejsze w jego badaniu są trzy charakterystyki:

- struktura, czyli przestrzenne relacje pomiędzy jednostkami krajobrazowymi (rozmięszczenie gatunków roślin i zwierząt oraz dystrybucja materii i energii w odniesieniu do rozmiarów, kształtu, liczby, rodzaju i wzajemnego układu ekosystemów);
- funkcjonowanie, czyli interakcja pomiędzy przestrzennymi jednostkami krajobrazu (przepływ energii i materii oraz migracje żywych organizmów pomiędzy ekosystemami);
- zmienność, czyli przekształcenia struktury i funkcji mozaiki jednostek ekologicznych w czasie.

Krajobraz ekologiczny należy do wyjątkowo skomplikowanej grupy obiektów heterogennych w przestrzeni i zmiennych w czasie. Sprawna ocena elementów krajobrazu leży u podstaw efektywnego prowadzenia badań ekologicznych.

Dane teledetekcyjne przedstawiają obraz powierzchni Ziemi jako zbiór plam, linii i punktów. W procesie przetwarzania danych, przestrzennemu układowi tych elementów może być nadane znaczenie przyrodnicze poprzez przyporządkowanie ich do określonego systemu ekologicznego w krajobrazie, w oparciu o kryterium spełnianej funkcji. Przetworzone i usystematyzowane dane teledetekcyjne umożliwiają zarówno generalizujące spojrzenie na obszar, jak i analizę detali.

Wyjaśnienie związków procesów ekologicznych ekosystemu z kształtem i wielkością zajmowanej przez niego powierzchni oraz usytuowaniem w mozaice krajobrazowej jest jednym z ważniejszych kierunków badawczych nad krajobrazem ekologicznym. Wielkość, kształt, złożoność granic i sąsiedztwo elementów mozaiki istotnie wpływają na funkcjonowanie krajobrazu. I tu pojawia się problem – jak sparametryzować formy tych związków. Analiza fraktalna merytorycznie spełnia warunki stawiane narzędziu badawczemu tych zagadnień, umożliwiając statystyczny opis relacji kształtu i powierzchni plam oraz stopnia komplikacji granic.

2. Wymiar fraktalny

Pojęcie wymiaru fraktalnego jest trudne do jednoznacznego zdefiniowania (Peitgen, Jürgens, Saupe 1997). Na przełomie XIX i XX wieku jednym z głównych problemów matematyki było stwierdzenie, co to jest wymiar i jakie ma własności. Od tamtej pory sytuacja pogorszyła się jeszcze, gdyż matematycy podali przynajmniej dziesięć różnych definicji wymiaru: wymiar topologiczny, wymiar Hausdorffa, wymiar fraktalny, wymiar samopodobieństwa, wymiar pudełkowy, wymiar euklidesowy i wiele innych. Wszystkie one są ze sobą powiązane. Niektóre z nich mają sens w pew-

nych warunkach, podczas gdy w innych przydatne są definicje alternatywne. Czasami wszystkie mają sens i pokrywają się. W innych przypadkach, mimo że kilka z nich ma sens, mogą prowadzić do różnych wartości. Dziś w praktyce można spotkać się najczęściej z:

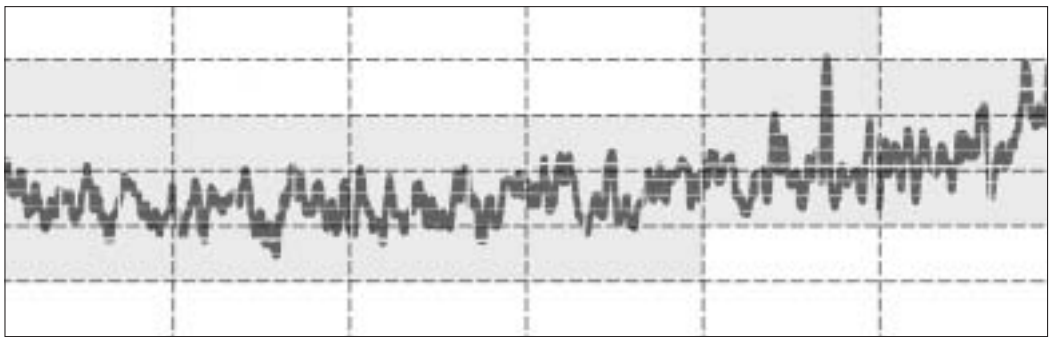
- wymiarem cyrklowym, czasem nazywanym metodą izorytmiczną,
- wymiarem obwodowo-powierzchniowym,
- wymiarem pudełkowym.

Pierwszy z nich jest trudny do zastosowania w omawianym przykładzie (Emerson, Siu-Ngan Lam, Quattrochi 1999). Drugi wymaga posiadania większej kolekcji jednorodnego materiału badawczego (Frohn 1997; Cullinan, Thomas 1992), co w tym przypadku wyklucza jego zastosowanie. Pozostaje więc wymiar pudełkowy. Metodycznie i technicznie jest on, w przypadku badania zobrażeń teledetekcyjnych, najbardziej obiecujący.

3. Metodyka obliczania wymiaru pudełkowego

Wymiar pudełkowy pojęciowo związany jest z wymiarem samopodobieństwa. W pewnych sytuacjach daje on takie same wartości liczbowe, jak wymiar samopodobieństwa, a w innych odmiennie. Wymiar pudełkowy umożliwia systematyczny pomiar, który można zastosować do dowolnych struktur występujących w przestrzeni dwu- i trójwymiarowej.

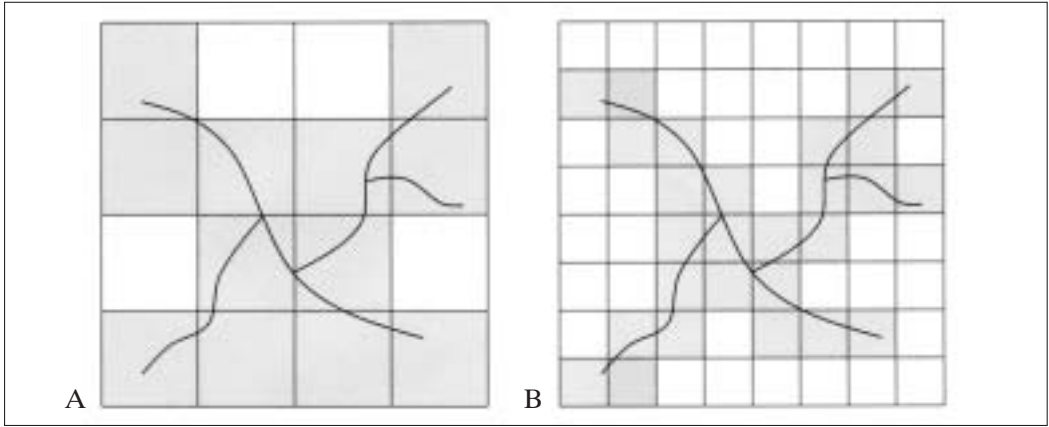
Pomiar polega na umieszczeniu badanej struktury w regularnej siatce o wielkości oczek s i liczeniu „pudełek” siatki (skojarzenie z „pudełkiem” bierze się z pomiarów obiektów trójwymiarowych – Peitgen, Jürgens, Saupe 1997), które zawierają fragmenty tej struktury (ryc. 1). Otrzymamy w ten sposób liczbę N . W oczywisty sposób liczba ta zależy od tego, jak dobraliśmy wielkość s . Dlatego zależność tę zapisujemy jako $N(s)$ (ryc. 2). Następnie zmniejszamy stopniowo s i znajdujemy odpowiadające im liczby $N(s)$. Logarytmy wyników nanosimy na wykres i wyznaczamy współczynnik kierunkowy prostej, który jest równy wymiarowi pudełkowemu D_b (ryc. 3).



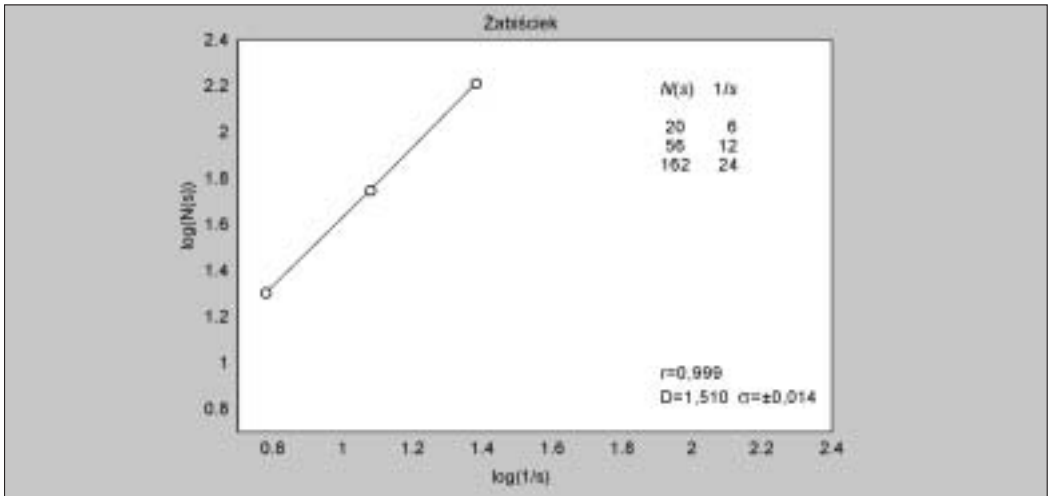
Ryc. 1. Schemat podziału rysunku mikrodensytogramu (fraktala) na pudełka i zliczania pudełek.

Dla celów praktycznych wygodniej jest rozpatrywać ciąg siatek, których wielkość oczek zmniejsza się dwukrotnie przy przejściu od jednej siatki do następnej. Przy takim podejściu każde pudełko siatki dzieli się na cztery mniejsze pudełka. W przypadku większej liczby siatek wielkość wymiaru pudełkowego równy jest współczynnikowi kierunkowemu linii regresji. Ryc. 2 jest ilustracją procedury wyznaczania wymiaru fraktalnego dla poligonów otwartych, a ryc. 1 ilustruje procedurę dla trzech pomiarów mikrodensytogramu.

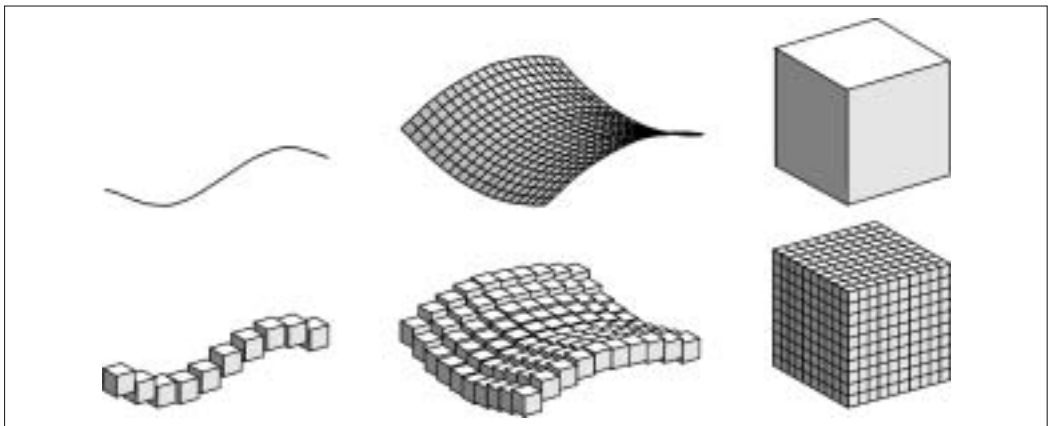
Zobrazowanie teledetekcyjne jest w postaci dyskretnej i skwantowanej. Obiekty, takie jak krzywa czy powierzchnia można przedstawić w przestrzeni trójwymiarowej w postaci graniastosłupów postawionych na pikselu (ryc. 4, 5). Obiekty te można zamknąć w graniastosłupie o podstawie składającej się z pikseli o wysokości równej liczbie poziomów kwantowania.



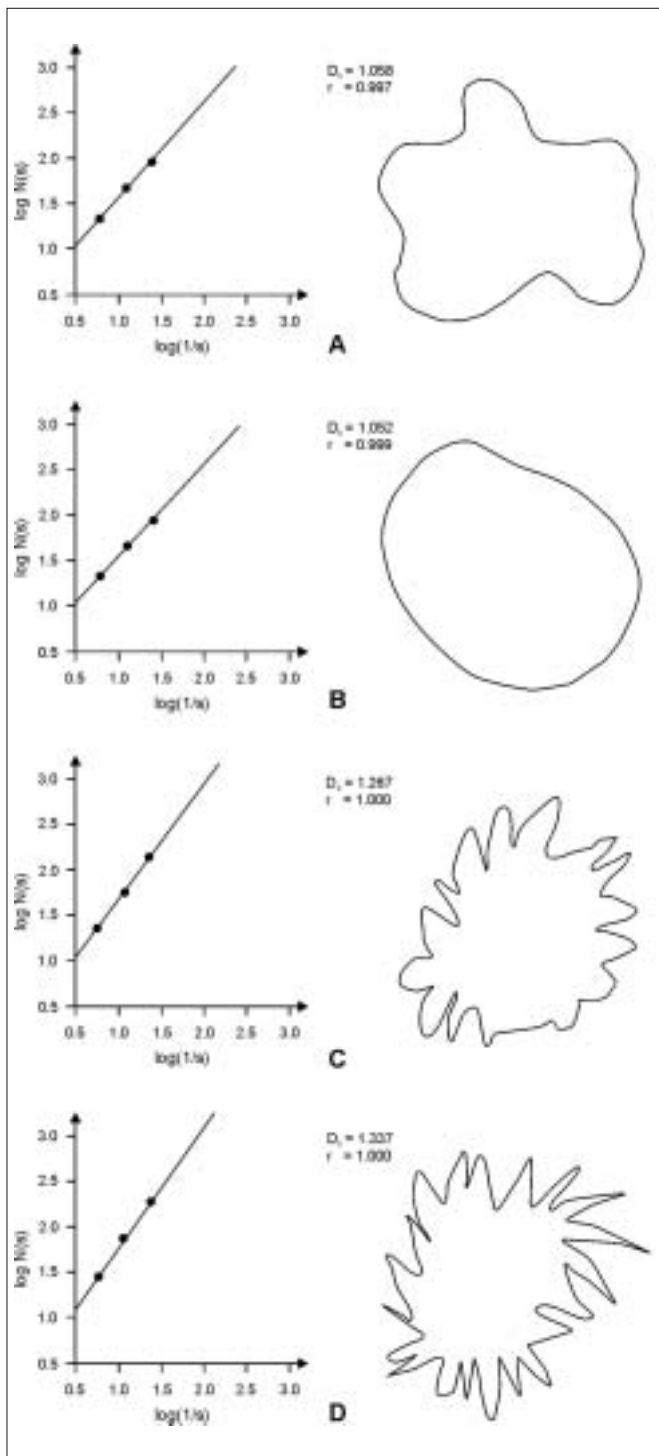
Ryc. 2. Siatki o różnej wielkości pól, pokrywające fraktal – A: $s = 1/4$, $N(s)_1 = 12$; B: $s = 1/8$, $N(s)_1 = 27$.



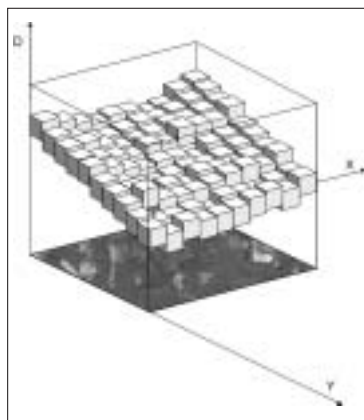
Ryc. 3. Wykres linii regresji zależności $\log(N(s))$ od $\log(1/s)$. Wymiar pudełkowy D_b jest równy współczynnikowi kierunkowemu tej linii.



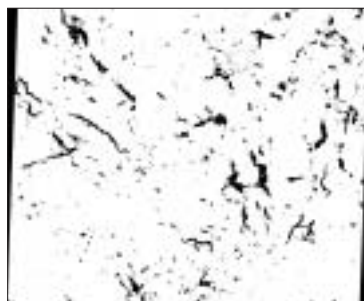
Ryc. 4. Przekształcenie krzywej, powierzchni i wypełnienie bryły sześcianu przez sześciany.



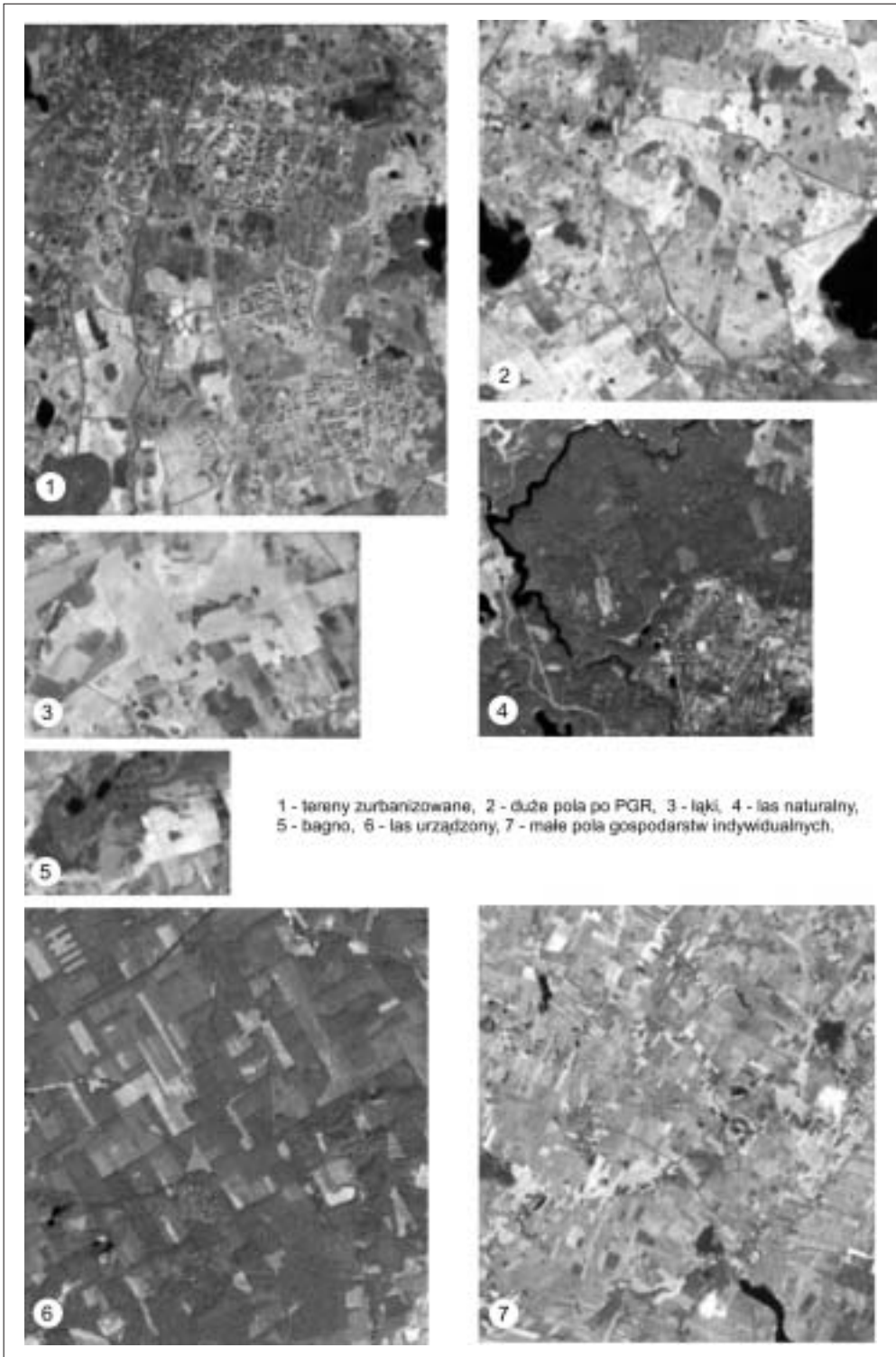
Ryc. 6. Wyniki analizy fraktalnej rysunków wykonanych w celu przetestowania algorytmu i programu do obliczania wymiaru fraktalnego figur na płaszczyźnie.



Ryc. 5. Zobrazowanie satelitarne można przekształcić na powierzchnię złożoną z graniastosłupów, umieszczoną w trójwymiarowej przestrzeni XYD (D = gęstość optyczna).



Ryc. 7. Obraz po klasyfikacji i filtrowaniu przedstawia położenie zbiorników wodnych i sieć rzeczna.



Ryc. 8. Fragmenty zobrazowania satelitarnego, reprezentujące różne kategorie krajobrazu.

Tak wygenerowana powierzchnia składa się z kostek rozrzuconych w przestrzeni. Przestrzeń tę można podzielić na mniejsze graniastolupy (pudełka) w sposób podany wyżej przy omawianiu ryc. 1 i 2. Obliczona wartość wymiaru pudełkowego w wersji objętościowej przybiera wartości w przedziale od 2 do 3. Zakładając, że wymiar fraktalny zobrazowania satelitarnego krajobrazu naturalnego z wielką różnorodnością skomplikowanych form dąży do wartości wysokich można przyjąć, że działania człowieka porządkujące krajobraz skutkują jej obniżaniem się.

W celu opracowania metodyki obliczania wymiaru pudełkowego objętościowego wybrano fragmenty zobrazowania SPOT zarejestrowanego przez skaner HRV 1 w kanale 3 (podczerwień 790 nm – 890 nm). Fragmenty te dobrano tak, aby reprezentowały typowe krajobrazy Polski północno-wschodniej. W pierwszej kolejności przetestowano program na rysunkach wykonanych

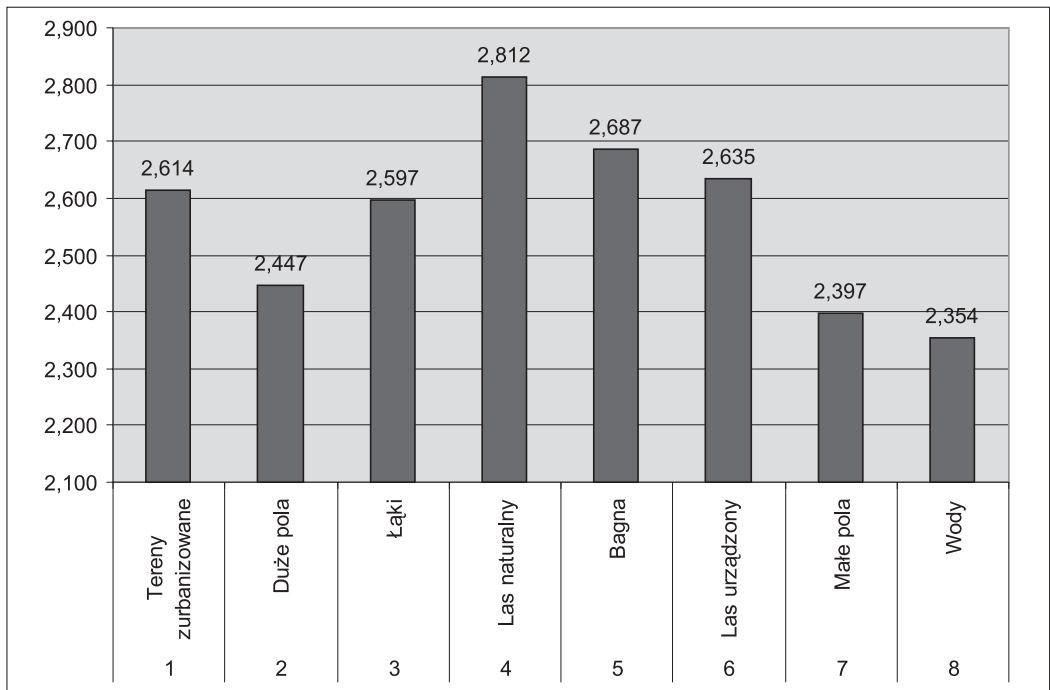
rycznie na białym papierze. Po zeskanowaniu ich przeprowadzono obliczenia. Wyniki były zgodne z oczekiwaniami (ryc. 6). Dla okręgu otrzymano wartość $D_b = 1,060$, a dla kwadratu $D_b = 1,050$. Teoretycznie wartości D_b w obu przypadkach powinny być równe 1. Odchylenie to wynika z postrzępienia linii rysowanej rapidografem i techniki skanowania.

Pierwszą próbę obliczenia wymiaru pudełkowego objętościowego przeprowadzono na przefiltrowanym obrazie sieci rzecznej i zbiorników wodnych (ryc. 7), a następnie dla pozostałych fragmentów.

Dla poszczególnych kategorii krajobrazu (ryc. 8) otrzymano następujące wartości wymiaru fraktalnego (Tabela 1; ryc. 9).

Tabela 1. Analiza fraktalna ośmiu kategorii pokrycia terenu.

Nr fragmentu zobrazowania	Typ pokrycia terenu	Wymiar fraktalny
1	Tereny zurbanizowane	2,614
2	Duże pola	2,447
3	Łąki	2,597
4	Las naturalny	2,812
5	Bagna	2,687
6	Las urządzony	2,635
7	Małe pola	2,397
8	Wody	2,354



Ryc. 9. Wartości wymiaru fraktalnego ośmiu kategorii pokrycia terenu.

4. Podsumowanie

Dysponując tak małym materiałem badawczym, nie można wyciągać wniosków co do zależności wymiaru fraktalnego od kategorii krajobrazu. Część też znanych z literatury potwierdziło się. Zaskakująca jest jednak wysoka wartość wymiaru fraktalnego terenów zurbanizowanych oraz niska wód. Przygotowanie danych do analizy fraktalnej kategorii „wody” poprzedzone było klasyfikacją i filtrowaniem obrazu. Te zabiegi spowodowały, że w tej kategorii znalazły się obszary położone w głębokich cieniach (cienie budynków i chmur).

Należy też pamiętać, że przedstawione fragmenty zobrazowań krajobrazu są strukturami będącymi „mieszaniną” różnych fraktali, każdego o innym wymiarze pudełkowym. W takim wypadku wymiar całości będzie równy wymiarowi składnika (składników) o największym wymiarze. Oznacza to, że otrzymana liczba nie charakteryzuje całej struktury. Pożądanym jest uzyskanie danych o spektrum liczbowym, które zawiera informację o rozkładzie wymiaru fraktalnego dla danej struktury. Zadanie znalezienia odpowiedniej charakterystyki zostało podjęte i jest kontynuowane jako badanie multifraktali.

Bibliografia

- Cullinan V. I., Thomas J. M. 1992. A comparison of quantitative methods for examining landscape pattern and scale, *Landscape Ecology* 7 (3): 211-227.
- Emerson C. W., Siu-Ngan Lam N., Quattrochi D. A. 1999. Multi-Scale Fractal Analysis of Image Texture and Pattern, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 65 (1): 51-61.
- Forman, R. T. T., Godron, M. 1986. *Landscape Ecology*. New York: Wiley and Sons.
- Frohn C. R. 1997. *Remote Sensing for Landscape Ecology*. Boston: Lewis Publishers.
- Peitgen H. O., Jürgens H., Saupe D. 1997. *Granice chaosu: fraktale*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

Jerzy Miałdun

A fractal dimension of remote sensing images of the ecological landscape under human pressure

Summary

To understand the evolution of the ecological landscape an analysis of shapes and outlines of land-use might be informative. Based on intuition and observation, one may assume that irregular shapes of land-use areas behave like natural ones. The higher fractal dimension values usually have the same characteristics as natural land-use. The aim of the paper is to propose a methodology how to estimate fractal dimension of a variety of forms of cultural and ecological landscape using satellite remote sensing data.

Captions:

Table 1. Fractal analysis of eight categories of surface coverage.

Fig. 1. A graph of a microdensitogram (fractal) drawing of a box and a box count.

Fig. 2. Net with a different size field covering a fractal: $A - s = 1/4$, $N(s)_1 = 12$; $B - s = 1/8$, $N(s)_1 = 27$.

Fig. 3 Graph of line regression of $\log(N(s))$ from $\log(1/s)$. Box counting D_b is equal to directional coefficient of the line.

Fig. 4. Alteration of a curve, surface and a cube filled with cubes.

Fig. 5. A satellite image can be transformed onto a surface of prisms in 3D space XYD ($D =$ optical thickness).

Fig. 6. Results of a fractal analysis of drawings made to test an algorithm and the program which calculates the dimensions of fractal figures on a flat plane.

Fig. 7. Image after classification and filtering showing the layout of reservoirs and the river basin.

Fig. 8. Satellite image fragments representing various landscape categories.

Fig. 9. Values of fractal dimensions of eight categories of surface coverage.