

**WPLYW TERENOWEJ WIELKOŚCI PIKSELA I SZUMU IMPULSOWEGO
NA WYMIAR FRAKTALNY OBRAZÓW ROŚLINNOŚCI PRZYBRZEŻNEJ
JEZIORA ŁUKNAJNO**

**EFFECT OF GROUND SAMPLE DISTANCE AND IMPULSE NOISE ON
FRACTAL DIMENSION OF LITTORAL VEGETATION OF LAKE ŁUKNAJNO**

Jerzy Miałdun

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, UWM w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: zdjęcia lotnicze, pixel, szum impulsowy, wymiar fraktalny

STRESZCZENIE: Według zaleceń Environmental Protection Agency zmiany krajobrazu ekologicznego można scharakteryzować trzema metrykami (miarami). Są nimi: miara różnorodności, miara dyspersji i wymiar fraktalny. Ta ostatnia jest szczególnie interesująca z punktu widzenia potencjalnych możliwości wykorzystania do klasyfikacji pokrycia powierzchni terenu. W przybliżeniu można przyjąć, że wymiar fraktalny charakteryzuje stopień samopodobieństwa tekstury obrazu. Dobór metod pozyskiwania danych teledetekcyjnych i obliczania wymiaru może mieć duży wpływ na jego wielkość.

W pracy zastosowano do obliczania wymiaru fraktalnego tzw. „metodę graniastosłupów trójkątnych”. Do badań wykorzystano autorskie lotnicze zdjęcia panchromatyczne, barwne w barwach naturalnych i czarno-białe w podczerwieni. Zdjęcia wykonano podczas jednego lotu 17 września 2007 r. Przeanalizowano wpływ wielkości terenowej piksela na wymiar fraktalny. Badania prowadzono na zdjęciach skanowanych z różną rozdzielczością optyczną. Przeanalizowano również wpływ szumu impulsowego (defektów emulsji) na wielkość wymiaru.

Otrzymane wyniki wskazują, że oba czynniki mają wpływ na wielkość wymiaru fraktalnego. Zwiększenie terenowej wielkości piksela skutkuje zwiększeniem wymiaru fraktalnego. Ta tendencja wskazuje, że tekstury obrazów naturalnego pokrycia powierzchni Ziemi nie są „czystymi” fraktalami. Ziarnistość i szum impulsowy powodują, że tekstury prezentowane w przestrzeni 3D są bardzo szorstkie. W zastosowanej metodzie wpływ na wynik ma również dobór wymiarów okien analizujących. W przypadku obliczania lokalnych wielkości na małych powierzchniach wymiar może być obciążony dużym błędem. Wtedy należy stosować filtry usuwające szum lub wygładzające.

Wiarygodne i powtarzalne wyniki można osiągnąć przestrzegając założonego standardu pozyskiwania i przygotowania danych teledetekcyjnych. Dziś standardów takich nie ma. Tworzone są ad hoc do konkretnych zadań.

Badania wykazały, że wymiar fraktalny nie ma wartości absolutnych i należy traktować go relatywnie.

1. WSTĘP

Wykorzystywanie zdjęć lotniczych do określania zmian w środowisku wodnym ma ugruntowane miejsce w metodach badawczych. Wg Environmental Protection Agency (EPA, 1994) dynamikę i kierunki tych zmian z upływem czasu można określić w trójwymiarowej przestrzeni, której osiami są miary (metryki): miara różnorodności, miara dyspersji i wymiar fraktalny (Frohn, 1998).

Geometria fraktalna jest procedurą, która umożliwia opisanie i klasyfikację przestrzeni, a jednym ze sposobów wymiarowania jest wyznaczanie wymiaru fraktalnego struktur obrazowych. Pozwala on wyodrębnić jednorodne obszary i formy, a jednocześnie generalizować je w celach ich kartowania.

Wymiar fraktalny lotniczego lub satelitarnego obrazu powierzchni Ziemi jest obecnie uznawany za istotną cechę rozpoznawczą przestrzeni, w tym krajobrazu ekologicznego (Frohn R., 1998, Olszewski R., 2001).

Wieloczasowe zdjęcia lotnicze mogą dostarczyć wielu cennych danych o zmianach pokrycia roślinnością stref przybrzeżnych jezior. Zmiany ilościowe i jakościowe roślinności wodnej i przybrzeżnej mają odzwierciedlenie na zdjęciach w postaci zmian wielkości i kształtów łat oraz ich tekstury. Śledzenie tych zmian może opierać się m.in. na rejestracji zmian wymiaru fraktalnego.

Strefa brzegowa rozdziela obszary łąd od obszarów wodnych. Składa się z wielu gradientowo usytuowanych podstref ułożonych równolegle do siebie: pasa wybrzeża (pasa łąd przyległego do zbiornika), pobrzeża (strefy przejściowej) oraz litoralu. Na poziomie teledetekcyjnym rozpoznawalne spektralnie i teksturalnie są zarówno zbiorowiska roślin wynurzonych, jak i tworzących podwodne łąki. W układzie poziomym tworzą one nie tylko ciągle czy poprzerywane strefy pasowe wzdłuż brzegów, ale występują też w postaci struktur o bardziej zróżnicowanych formach. Na podstawie wielkości wymiaru fraktalnego można mapować z jednej strony zasięg stref roślin wynurzonych i podwodnych, z drugiej określać skład gatunkowy i dominanty zbiorowisk.

W literaturze nie można znaleźć przykładów kompleksowych badań i wniosków dotyczących metodyki postępowania w teledetekcyjnych badaniach stref przybrzeżnych jezior z wykorzystaniem wymiaru fraktalnego. Zagadnienie to jest bardzo skomplikowane, ponieważ wymiar fraktalny tekstur obrazów lotniczych roślinności zależy od wielu czynników zakłócających naturalny ich wygląd. W pracy podjęta jest próba określenia wpływu, tylko dwóch czynników: szumu impulsowego i terenowego wymiaru piksela, na wielkość wymiaru fraktalnego na przykładzie zdjęć lotniczych północno-wschodniej części jeziora Łuknajno. Dalsze badania będą dotyczyły czynników, takich jak m.in.: typ materiału fotograficznego (ziarnistość, kontrastowość), spadek jasności na brzegach zdjęcia, pora fotografowania (pora dnia i roku, indykatory obiektów terenowych).

Pojęcie wymiaru fraktalnego wprowadził Mandelbrot (Mandelbrot, 1967) opierając się na pracy Hausdorffa (Hausdorff, 1918). Wymiar jest jedną z najczęściej wymienianych liczbowych charakterystyk fraktali. Nie jest on jednak pojęciem prostym do zrozumienia, a dodatkowym utrudnieniem jest fakt, że matematycy podają kilka różnych definicji wymiaru:

- wymiar topologiczny;
- wymiar Hausdorffa;
- wymiar fraktalny;
- wymiar samopodobieństwa;
- wymiar pudełkowy;
- wymiar pojemnościowy;
- wymiar Lyapunowa;
- wymiar euklidesowy;
- wymiar cyrkłowy;
- ... i wiele innych.

Głównymi przyczynami tych rozbieżności są:

- istnienie wielu różnych typów samopodobieństwa;
- istnienie fraktali, których nie można opisać zależnością rekurencyjną;
- brak precyzyjnego określenia „nieregularności” fraktali.

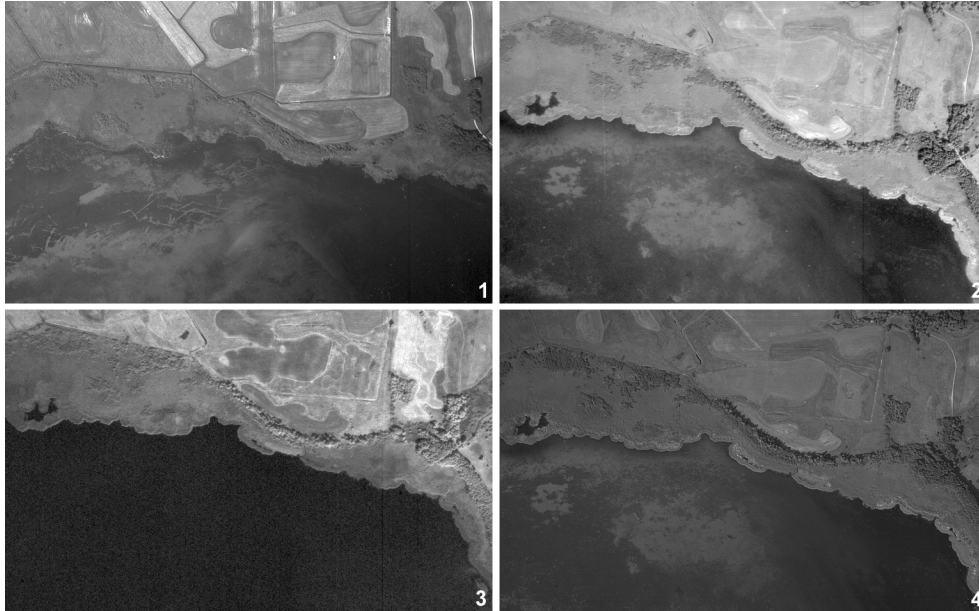
Wszystkie one są ze sobą powiązane stwierdzeniem mówiącym, że są miarami samopodobieństwa, a równocześnie miarami skomplikowania (lub w tym przykładzie – miarami chropowatości powierzchni). Jednakże niektóre z tych definicji charakteryzują wyłącznie geometryczne właściwości obiektu (np. definicja Hausdorffa), inne zaś opisują również gęstość rozkładu punktów na tym obiekcie (np. wymiar Lyapunowa), a więc pośrednio algorytm, za pomocą którego tworzy się dany obiekt. Z tego też powodu sensowność danej definicji ściśle zależy od warunków, w jakich się ją stosuje.

W praktyce często wykorzystywany jest wymiar cyrkłowy i pudełkowy (Miałdun, 2002, 2005; Peitgen et al., 1996). Są to szczególne przypadki wymiaru fraktalnego Mandelbrota. Praktycznym rozwinięciem obliczania wymiaru fraktalnego w oparciu o wymiar cyrkłowy jest metoda graniastosłupów trójkątnych (Clarke, 1986; De Jong et al., 1995; Qiu et al., 1999; Sun et al., 2005; Sun, 2006). Ta metoda została wykorzystana w pracy, a obliczenia przeprowadzono w środowisku programu Matlab (Malina et al., 2005; Wróbel et al., 2004).

2. ZDJĘCIA LOTNICZE

Do badań wybrano pionowe zdjęcia pobrzeża jez. Łuknajno wykonane przez autora w 1983 i 2006 r. (rys. 1). Pochodzą one z dużej kolekcji zdjęć lotniczych wykonywanych dla tego akwenu od 1978 r. Przeznaczone były do badania dynamiki zmian szaty roślinnej. Jez. Łuknajno reprezentuje akwen mało narażony skutki działalności człowieka. Od 1937 r. jest rezerwatem, a w 1977 r. włączono je do międzynarodowej sieci rezerwatów biosfery pod egidą UNESCO.

Zdjęcie panchromatyczne wykonano 9 czerwca 1983 r. kamerą UMK 10/1318 z żółtym filtrem na materiale Agfa Aviphot PAN 30. Pozostałe zdjęcia wykonano 17 września 2006 r. Zdjęcie panchromatyczne i czarno-białe w podczerwieni wykonano kamerą UMK 10/1318 z filtrem żółtym na materiale Agfa Aviphot PAN 200. Zdjęcia pionowe w podczerwieni wykonano tą samą kamerą na materiale Kodak Infrared Aerographic Film 2424 z filtrem ciemnoczerwonym 680 nm. Filmy wywołano ręcznie w wywoływaczce rotacyjnej. Taka technika wywoływania powoduje nierównomierny dostęp wywoływacza do powierzchni wywoływanej. Ponadto naraża emulsję i podłoże na zadrapania. Zdjęcie barwne w barwach naturalnych wykonano na materiale Fuji Velvia 50 kamerą niemetryczną Hasselblad 553ELX z obiektywem o ogniskowej 80 mm przez filtr Hoya Skylight 1B i formatem użytkowym 56 × 56 mm. Filmy wywołano w autoryzowanym laboratorium w procesie E-6. Podczas przechowywania i użytkowania zdjęć na ich powierzchni pojawiły się ślady przypominające szum impulsowy. Jak niżej będzie to pokazane, ma on silny wpływ na wielkość wymiaru fraktalnego. Mimo niedoskonałości obrazu treść zdjęć ma duże walory poznawcze. Zdjęcia skanowano skanerem EPSON PERFECTION V750 PRO.



Rys. 1. Zdjęcia jez. Łuknajno wybrane do badań. 1 – panchromatyczne z 1983 r. w skali 1:18600, 2 – panchromatyczne z 2006 r. w skali 1:20000, 3 – w podczerwieni z 2006 r. w skali 1:20000, 4 – barwne z 2006 r. w skali 1:25000

Przyjęto, że wybrane zdjęcia mają fraktalną teksturę obrazu, która charakteryzuje się takimi cechami jak:

- nietrywialna struktura w każdej skali;
- struktura nie dająca się opisać w języku geometrii euklidesowej;
- samopodobieństwo w sensie stochastycznym;
- naturalny wygląd.

Do zbadania wpływu szumu impulsowego na wymiar fraktalny wybrano zdjęcie panchromatyczne z 1983 r. zeskanowane z rozdzielczością 3000 DPI i przygotowane tak aby szum własny był jak najmniejszy. Z obrazu w procesie obróbki cyfrowej usunięto ręcznie większe ślady rys i kurzu a drobne zanieczyszczenia punktowe filtrem medianowym z oknem 3×3 piksele.

3. WPLYW SZUMU IMPULSOWEGO NA WYMIAR FRAKTALNY

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch rodzajów materiałów. Oprócz źródłowego zdjęcia panchromatycznego wygenerowano obraz testowy szary z wartością wszystkich pikseli równą 128. Sztuczny obraz ma wymiar fraktalny równy 1. Do obu obrazów: źródłowego i wygenerowanego dodawano szum o różnej gęstości. Szum generowano w programie Matlab (Malina et al., 2005., Tadeusiewicz et al., 1997, Wróbel et al., 2004) poleceniem „imnoise (nazwa pliku, 'salt & pepper', gęstość szumu)”. Parametr 'salt & pepper' uruchamia generator czarnych i białych pikseli pseudolosowo rozrzuconych na powierzchni obrazu. Gęstość szumu wyrażona jest ułamkiem dziesiętnym i określa ile pikseli czarnych

i białych dodano do obrazu. Np. gęstość o wartości 0.3 oznacza, że do obrazu dodano 15% pikseli czarnych i tyle samo białych.

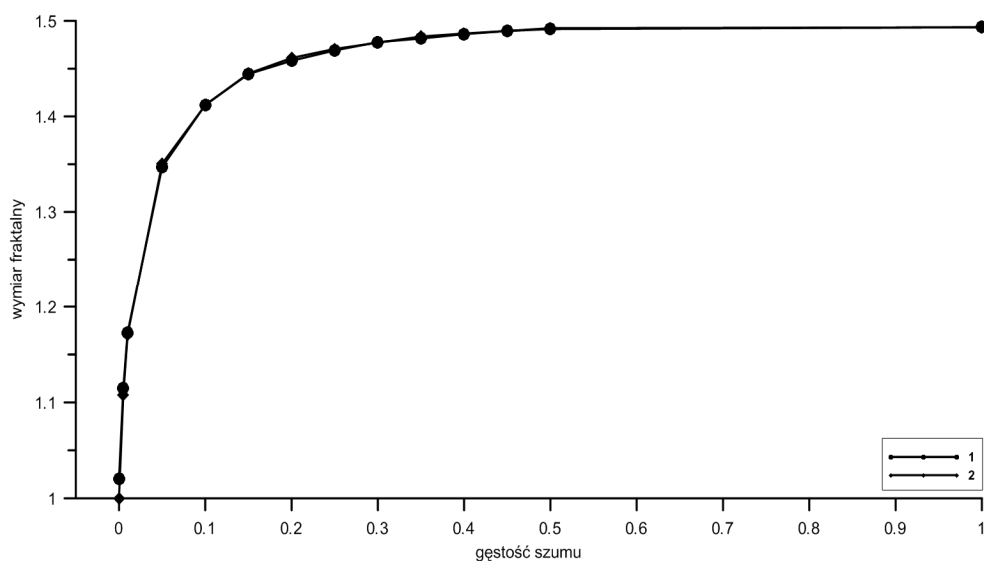
Dla każdego obrazu pięciokrotnie generowano szum o zadanej wartości. Obliczone wartości wymiaru fraktalnego uśredniano metodą ogólnej średniej arytmetycznej. Wagami obliczonego wymiaru w kolejnych losowaniach były odwrotności kwadratu jego błędu standardowego. Wyniki obliczeń przedstawione w tabelach 1 i 2 oraz na rysunku 2 są wyznaczone z wartości średnich z 5 losowań dla każdej gęstości szumu.

Tab. 1. Wpływ gęstości szumu impulsowego na wymiar fraktalny sztucznego obrazu testowego

gęstość szumu	wariancja	średnia arytmetyczna	współczynnik korelacji	wymiar fraktalny	błąd standardowy wymiaru fraktalnego
0	0.0	128.00	1.0000	1.0000	0.0000
0.005	81.96	128,00	0.9604	1.1076	0.0182
0.01	163.74	127.99	0.9709	1.1707	0.0242
0.05	819.53	127.99	0.9937	1.3506	0.0228
0.1	1639.0	127.99	0.9977	1.4119	0.0169
0.15	2456.2	128.02	0.9992	1.4449	0.0106
0.2	3277.5	128.00	0.9996	1.4612	0.0080
0.25	4098.4	128.00	0.9997	1.4707	0.0063
0.3	4914.5	127.98	0.9998	1.4772	0.0056
0.35	5734.9	128,00	0.9999	1.4837	0.0040
0.4	6549.4	127.54	0.9999	1.4868	0.0033
0.45	7372.3	128.01	0.9999	1.4895	0.0031
0.5	8189.6	128.02	1.0000	1.4924	0.0021
1	16256.0	127.99	1.0000	1.4933	0.0016

Tab. 2. Wpływ gęstości szumu impulsowego na wymiar fraktalny zdjęcia panchromatycznego

gęstość szumu	wariancja	średnia arytmetyczna	współczynnik korelacji	wymiar fraktalny	błąd standardowy wymiaru fraktalnego
0	173.0	77.61	0.9953	1.0199	0.0011
0.005	265.9	77.86	0.9734	1.1147	0.0157
0.01	358.59	78.11	0.9769	1.1730	0.0218
0.05	1095.5	80.10	0.9938	1.3469	0.0224
0.1	2004.6	82.59	0.9980	1.4121	0.0152
0.15	2902.2	85.08	0.9991	1.4444	0.0107
0.2	3787.7	87.58	0.9995	1.4583	0.0083
0.25	4659.7	90.06	0.9997	1.4691	0.0070
0.3	5518.2	92.55	0.9998	1.4778	0.0053
0.35	6365.3	95.03	0.9999	1.4816	0.0042
0.4	7202,0	97.56	0.9999	1.4862	0.0033
0.45	8023.9	100.03	0.9999	1.4895	0.0029
0.5	8837.5	102.53	1.0000	1.4915	0.0025
1	16256.0	127.51	1.0000	1.4934	0.0013



Rys. 2. Zależność wymiaru fraktalnego od gęstości szumu.
1 – zdjęcie panchromatyczne, 2 – sztuczny obraz testowy

Wykresy zależności wymiaru fraktalnego od gęstości szumu pokrywają się. Gdy poziom szumu osiąga wartość 0.2 różnice wymiaru fraktalnego pomiędzy obrazem testowym i fotograficznym zmniejszają się i są porównywalne z błędami obliczenia wymiaru (tabela 1 i 2). Oba badane obrazy w miarę zwiększania poziomu szumu, do wartości około 0.3, bardzo silnie reagują zmianami wymiaru fraktalnego. W przypadku obrazu testowego jest to wpływ wyłącznie szumu. W przypadku obrazu fotograficznego intuicyjnie można było oczekiwać, że krzywa będzie przesunięta o różnicę wymiarów obrazów dla zerowego poziomu szumów. W rzeczywistości ze wzrostem szumu maleją różnice wymiaru, a po przekroczeniu wartości 0.3 poziomu szumu stają się nieistotne. Szum staje się dominującym czynnikiem decydującym o wielkości wymiaru fraktalnego.

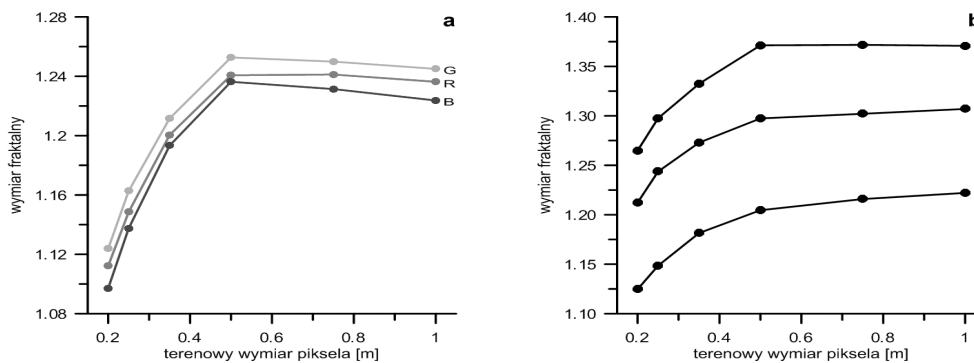
Z badań przeprowadzonych na 6 powierzchniach testowych zdjęć spektrostrefowych strefy przybrzeżnej jez. Łuknajno wynika, że wartość wymiaru fraktalnego leży w przedziale $1.233 \div 1.347$ (Miałdun et al., 2010). Są to wartości położone w strefie dużego wpływu szumu impulsowego (rys. 2).

4. WPLYW TERENOWEJ WIELKOSCI PIKSELA NA WYMIAR FRAKTALNY

Zdjęcia lotnicze wybrane do badania zależności wymiaru fraktalnego od terenowej wielkości piksela skanowano z różną rozdzielczością, zależnie od ich skali. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3 i 4 oraz na rysunku 3.

Tab. 3. Wpływ terenowej wielkości piksela na wymiar fraktalny czarno-białych zdjęć lotniczych

Zdjęcia czarno-białe					
terenowa wielkość piksela	wariancja	średnia arytmetyczna	współczynnik korelacji	wymiar fraktalny	błąd standardowy wymiaru fraktalnego
panchromatyczne z 1983 r.					
0.20	1507.1	102.85	0.9939	1.1247	0.0080
0.25	1517.1	103.47	0.9927	1.1485	0.0104
0.35	1520.2	102.57	0.9901	1.1815	0.0148
0.50	1496.3	103.59	0.9869	1.2046	0.0193
0.75	1511.1	104.24	0.9858	1.2159	0.0212
1.00	1475.6	104.46	0.9877	1.2221	0.0206
panchromatyczne z 2006 r.					
0.20	2677.5	121.94	0.9936	1.2123	0.0139
0.25	2690.7	121.06	0.9948	1.2437	0.0144
0.35	2657.8	117.80	0.9959	1.2729	0.0143
0.50	2657.9	117.82	0.9964	1.2974	0.0145
0.75	2748.8	122.74	0.9960	1.3021	0.0157
1.00	2738.4	123.16	0.9964	1.3070	0.0145
w podczerwieni z 2006 r.					
0.20	3271.7	85.97	0.9899	1.2649	0.0219
0.25	3299.3	86.77	0.9944	1.2976	0.0182
0.35	3237.6	86.79	0.9977	1.3324	0.0132
0.50	3405.2	85.94	0.9981	1.3713	0.0133
0.75	3214.0	87.88	0.9969	1.3718	0.0169
1.00	3154.6	88.03	0.9964	1.3708	0.0181



Rys. 3. Zależność wymiaru fraktalnego zdjęć lotniczych od terenowego wymiaru piksela. a – zdjęcia barwne, b – zdjęcia czarno-białe: 1 – w podczerwieni, 2 – panchromatyczne z 2006 r., 3 – panchromatyczne z 1983 r.

Tab. 4. Wpływ terenowej wielkości piksela na wymiar fraktalny barwnych zdjęć lotniczych

		Zdjęcia barwne				
	terenowa wielkość piksela	wariancja	średnia arytmetyczna	współczynnik korelacji	wymiar fraktalny	błąd standardowy wymiaru fraktalnego
R	0.20	522.03	50.31	0.9949	1.1122	0.0066
	0.25	534.21	50.25	0.9947	1.1485	0.0088
	0.35	536.19	50.67	0.9939	1.2004	0.0128
	0.50	574.12	50.12	0.9935	1.2407	0.0159
	0.75	557.92	50.39	0.9936	1.2412	0.0159
	1.00	560.22	49.52	0.9930	1.2363	0.0162
G	0.20	486.99	67.08	0.9941	1.1238	0.0078
	0.25	501.10	66.94	0.9940	1.1627	0.0103
	0.35	502.14	67.49	0.9935	1.2116	0.0139
	0.50	547.81	66.63	0.9931	1.2527	0.0173
	0.75	527.54	66.89	0.9925	1.2499	0.0178
	1.00	526.55	65.96	0.9918	1.2450	0.0182
B	0.20	168.75	79.50	0.9898	1.0971	0.0081
	0.25	176.09	79.54	0.9887	1.1375	0.0120
	0.35	190.61	79.69	0.9877	1.1933	0.0177
	0.50	209.27	79.50	0.9876	1.2363	0.0217
	0.75	202.14	79.48	0.9861	1.2314	0.0225
	1.00	194.56	78.97	0.9840	1.2237	0.0234

5. WNIOSKI

Wyniki badań wykazały, że szum impulsowy i terenowa wielkość piksela na zdjęciach lotniczych z różnorodnymi postaciami pól obrazowych pod względem szorstkości i tekstury charakterystycznych dla środowiska pobrzeża zarastającego jeziora, mają wpływ na wymiar fraktalny obrazu fotograficznego. Sztucznie wygenerowany szum o różnej gęstości jednakowo wpływa na wielkość wymiaru fraktalnego zarówno źródłowego obrazu fotograficznego, jak i wygenerowanego obrazu testowego. W przedziale gęstości szumu $0 \div 0.3$ wzrost wielkości wymiaru jest największy. Typowa gęstość szumu dla archiwalnych materiałów fotolotniczych mieści się w przedziale $0 \div 0.1$. Wykorzystanie ich do badań z zastosowaniem analizy fraktalnej wymaga opracowania standardów określających poziom szumu i sposób jego filtracji.

Zwiększenie terenowego wymiaru piksela powoduje wzrost wymiaru fraktalnego obrazu fotograficznego. Wynika to z faktu, że odwzorowana na zdjęciu lotniczym struktura powierzchni Ziemi nie jest „czystym” fraktalem. Jego tekstura nie posiada wszystkich cech wymienionych w rozdziale 2. Wpływ wielkości terenowej piksela jest podobny dla wszystkich badanych typów materiału fotograficznego.

Planując badania zmian wymiaru fraktalnego obrazów fotolotniczych roślinności wodnej należy pamiętać o standaryzacji danych źródłowych. Wymiar fraktalny może być rozpatrywany tylko relatywnie wśród zdjęć wykonanych w tych samych warunkach.

Określenie i usunięcie wpływu szumu na wymiar fraktalny jest celem dalszych badań.

6. LITERATURA

- Clarke K.C., 1986. Computation of the fractal dimension of topographic surfaces using the prism surface area method, *Computers and Geosciences*, 12 (5), s. 713–722.
- De Cola L., 1989. Fractal Analysis of a Classified Landsat Scene, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, Nr 5, s. 601–610.
- De Jong S.M., Burrough P.A., 1995. A fractal approach to the classification of Mediterranean vegetation types in remotely sensed images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 61, Nr 8, s.1041–1053.
- 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*, Vol. 65, Nr 1, s. 51–61.
- Environmental Protection Agency., 1994. Landscape Monitoring and Assessment Research Plan, EPA 620/R-94/009, Office of Research and Development, Washington, D.C.
- Frohn R.C., 1998. Remote sensing for landscape ecology, Lewis Publishers.
- Hausdorff F., 1919. Dimension und äußeres Maß, *Mathematische Annalen*. 79 (1-2), s. 157–179.
- Lam N.S-N., 1990. Description and Measurement of Landsat TM Image Using Fractals, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr 2, s. 187–195.
- Malina W., Smiatacz M., 2005. Metody cyfrowego przetwarzania obrazów, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.
- Mandelbrot, B., 1967. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. *Science*, 156, 636–638.
- Miałdun J., 2002. Nowe spojrzenie na stare mikrodensytogramy, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 12 b.
- Miałdun J., 2005. Wymiar fraktalny zobrazowań teledetekcyjnych krajobrazu ekologicznego poddanego antropopresji, Biskupin... i co dalej? *Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii*, s. 109–116, Poznań.
- Miałdun J., Ostrowski M., 2010. Wymiar fraktalny fragmentów zdjęć lotniczych strefy przybrzeżnej Jeziora Mikołajskiego, Śniardw i Łuknajno, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* (w druku).
- Olszewski R., 2001. Zastosowanie analizy fraktalnej w kartograficznej metodzie badań wybranych komponentów środowiska przyrodniczego. Politechnika Warszawska – praca doktorska.
- Peitgen H. -O., Jürgens H., Saupe D., 1996, *Granice chaosu fraktale*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Qiu, H.L., N.S.N. Lam, D.A. Quattrochi, and J.A. Gamon, 1999. Fractal characterization of hyperspectral imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 65, Nr 1, s. 63–71.
- Quattrochi D.A., Emerson W., Lam N.S-N., Qiu H.L., 2001. Fractal characterization of Multitemporal Remote Sensing Data, *Modelling scale in geographical information science / Ed. by Nicholas J. Tate and Peter M. Atkinson*, Chichester : John Wiley & Sons, cop., s. 13–34.
- Sun W., Kolappal A.Z., Gong P., 2005. Two Computation Methods for Detecting Anisotropy in Image Texture, *Geographic Information Sciences*, Vol. 11, Nr 2, s. 87–96.
- Sun W., 2006. Three New Implementations of the Triangular Prism Method for Computing the Fractal Dimension of Remote Sensing Image. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 72. Nr 4, s. 373–382.

- Tadeusiewicz R., Korohoda P., 1997. Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, Wydawnictwo Postępu Telekomunikacji, Kraków.
- Taud H., Parrot J-F., 2005. Measurement of DEM roughness using the local fractal dimension, *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 4, s. 327–338.
- Wróbel Z., Koprowski R., 2004. Praktyka przetwarzania obrazów w programie Matlab, Akademska Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.
- Weng Q. 2003. Fractal Analysis of Satellite-Detected Urban Heat Island Effect, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 69, Nr 5, s. 555–566.

**EFFECT OF GROUND SAMPLE DISTANCE AND IMPULSE NOISE ON
FRACTAL DIMENSION OF LITTORAL VEGETATION OF LAKE ŁUKNAJNO**

KEY WORDS: aerial photographs, pixel, impulse noise, fractal dimension

SUMMARY: According to the recommendations of the Environmental Protection Agency, changes in the ecological landscape may be characterised by three metrics (measures). These are: the measure of diversity, the measure of dispersion and fractal dimensions. The latter is especially interesting with respect to potential use to classify land cover. It can be roughly assumed that the fractal dimension describes the extent of self-similarity of image texture. Proper selection of methods of teledetection data acquisition and dimension calculation may greatly affect its value.

The authors have applied what is known as the method of triangular prisms to calculate fractal dimension. They used aerial panchromatic photographs – coloured in natural colours and black and white in IR radiation. The photographs were taken during one flight on 17 September 2007. Moreover, panchromatic photographs taken in 1980 were used to analyse changes of vegetation in the littoral zone of the lake. The effect of ground sample distance on fractal dimension was analysed. The analyses were performed on photographs scanned at various levels of optical resolution. The effect of emulsion graininess and impulse noise (emulsion defects) on the dimension size was also examined. The results suggest that both factors affect the size of fractal dimension. Increasing the ground sample distance results in increasing the fractal dimension. The tendency shows that the texture of images of the natural Earth surface covers are not “pure” fractals.

Due to graininess and impulse noise, textures presented in 3D space are very rough. The results of the analysis are also affected by the choice of the analysing window’s dimensions. If local sizes are calculated on small surfaces, the measure may bear a large error. In such cases, noise-reducing or smoothing filters should be used.

Credible and repeatable results can be achieved by observing the adopted standard of acquisition and preparing remote sensing data. There are no such standards nowadays and are prepared ad hoc for specific tasks.

According to the study, the fractal dimension does not have absolute values and it should be regarded relatively.

dr inż. Jerzy Miałdun
e-mail: jerzy.mialdun@uwm.edu.pl
www.morska.com/mialdun