

**ZESZYTY NAUKOWE NR 6(78)  
AKADEMII MORSKIEJ  
W SZCZECINIE**

---

**INŻYNIERIA RUCHU MORSKIEGO 2005**

---

Wojciech Maleika

**Badanie bezstratnych metod kompresji danych  
opisujących kształt powierzchni dna morskiego**

Słowa kluczowe: *kompresja bezstratna, struktura grid, dno morskie.*

*Przedstawiono badania i rezultaty, jakie otrzymano w wyniku kompresji / rekonstrukcji danych opisujących kształt powierzchni dna morskiego z wykorzystaniem bezstratnych metod kompresji. W celu znalezienia efektywnego rozwiązania dokonywano także przekształceń zbioru danych wejściowych poprzez ich reorganizację oraz zapis różnicowy. W wyniku badań zaproponowano bezstratną metodę kompresji danych opisujących kształt dna morskiego.*

**Investigating the Lossless Compression of Sea-bottom Data**

Keywords: *lossless compression, grid structure, sea-bottom.*

*The author presents the results of experiments on compressing / decompressing the data describing sea-bottom structure by means of lossless compression based on LZ77 and PPM. In order to increase the compression ratio, the input data were transformed (reordered) and stored in a differential form. These data were then compressed in a standard way. The results lead to a proposition of a lossless compression method of sea-bottom data.*

## Wstęp

W dzisiejszych czasach znajomość ukształtowania powierzchni terenu dna morskiego ma ogromne znaczenie i znajduje wiele zastosowań. Przykładem może być wykorzystanie modelu powierzchni dna jako informacji do tworzenia map nawigacyjnych niezbędnych do prawidłowego i bezpiecznego funkcjonowania ruchu morskiego. Informacje te są potrzebne także przy projektowaniu budowlanych prac podwodnych, badaniu i poszukiwaniu obiektów znajdujących się na dnie morza, w hydrografii, ochronie środowiska morskiego czy też przemśle mineralnym.

W wyniku interpolacji zebranych danych pomiarowych otrzymujemy siatkę danych (tablica dwuwymiarowa) opisującą kształt wycinka powierzchni. Liczba danych zapisanych w takiej tablicy może być ogromna. Przykładowo dla obszaru 1 km<sup>2</sup>, przy przyjętym rozmiarze grid = 1 m, liczba danych sięgnie 1 mln punktów. Każdy punkt w reprezentacji komputerowej jest liczbą typu rzeczywistego (zajmuje 4 bajty). Zapisanie takiej tablicy na dysku zajmie ok. 4 MB. Odpowiednio dla obszaru 100 km<sup>2</sup>, będzie to 100 mln punktów zajmujących 381 MB przestrzeni dyskowej. Zarządzanie tak ogromną liczbą danych jest czasochłonne, znacznie obciąża procesor obliczeniowo, a czas transmisji danych z pamięci masowych (dysk twardy, ZIP, CD-ROM) oraz przez sieci komputerowe jest dość znaczny.

W dotychczasowych badaniach dotyczących opracowania adaptacyjnej metody kompresji danych opisujących kształt powierzchni dna morskiego przebadano stratne metody kompresji danych oparte na przekształceniu DCT [4], kompresji falkowej [5] oraz transformacie Karhunen-Loevego (KLT) [6].

Zastosowanie kompresji stratnej daje dużo lepsze rezultaty (wyższy stopień kompresji) w porównaniu z metodami bezstratnymi. W szczególnych przypadkach może jednak zająć potrzeba zapamiętania informacji o ukształtowaniu powierzchni z możliwie największą dokładnością. W takim przypadku należałoby użyć bezstratnej metody kompresji danych.

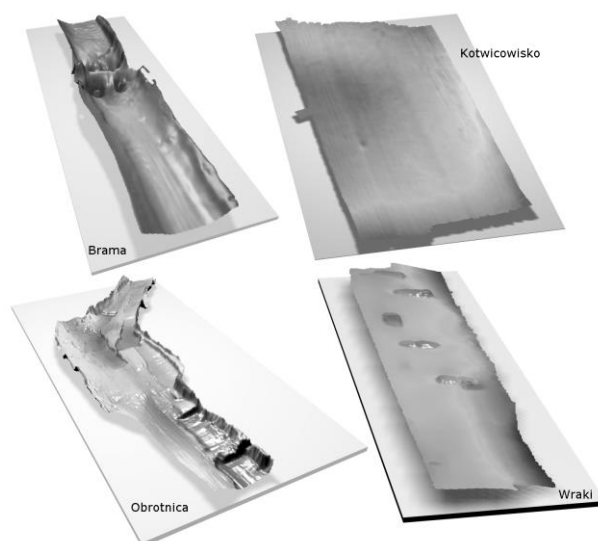
## 1. Charakterystyka danych pomiarowych

Wszystkie badania przeprowadzono i przeanalizowano z wykorzystaniem danych opisujących 4 rzeczywiste powierzchnie dna morskiego (rys. 1), utworzone na podstawie rzeczywistych danych pomiarowych zebranych przez jednostki Urzędu Morskiego w Szczecinie. Tabela 1 prezentuje objętość plików binarnych przechowujących powierzchnie testowe (wykorzystując dane typu float).

Tabela 1

Objętość plików binarnych zawierających powierzchnie testowe

Lp.	Nazwa	Rozmiar grid [m]	Rozmiar tablicy [punkty]	Objętość pliku z danymi [bajty]
1.	Brama	1 × 1	811 × 951	3 085 044
2.	Kotwiczowisko	2 × 2	850 × 1508	5 127 200
3.	Obrotnica	1.5 × 1.5	876 × 1232	4 316 928
4.	Wraki	0.05 × 0.05	516 × 1411	2 912 304



Rys. 1. Powierzchnie testowe

## 2. Bezstratne metody kompresji – badania

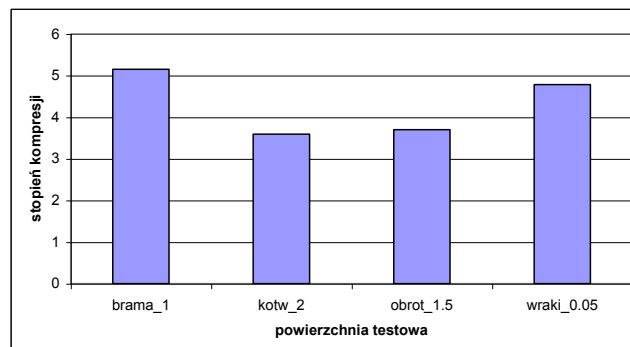
Spośród wielu znanych metod kompresji bezstratnej można wydzielić następujące grupy [2]: kodowanie długości serii, kodowanie entropijne, kodowanie arytmetyczne, kodowanie słownikowe, kodowanie predykcyjne.

### 2.1. Metody słownikowe

Metody słownikowe bazują na zjawisku częstego powtarzania się wzorców (wartości) w danych poddawanych kompresji. Klasycznym przykładem są dane tekstowe, w których pewne znaki lub wzorce nieustannie się powtarzają. Odpowiednim sposobem kodowania tego typu danych jest przechowywanie listy (zwanej słownikiem) często występujących wzorców. Wystąpienia wzorców w przetwarzanym ciągu kodowane są za pomocą odpowiednich odwołań do

słownika. Słowniki natomiast dzielą się na statyczne (tworzone przed procesem kompresji i nie dopasowujące się do kompresowanych danych) oraz dynamiczne (tworzone i modyfikowane w trakcie procesu kodowania, dopasowujące się do charakteru kompresowanych danych). Większość używanych dzisiaj dynamicznych metod słownikowych opiera się na analizach teoretycznych przeprowadzonych przez Jacoba Ziva i Abrahama Lempela, którzy opracowali algorytm LZ77 [9]. Metody słownikowe analizują i kompresują kolejne próbki (liczby) w zależności od ich wystąpień (częstość wystąpień pojedynczych lub kilku sąsiednich liczb). Nie są analizowane jakiegokolwiek zależności pomiędzy nimi. W wielu przypadkach sąsiedztwo fizyczne oznacza również podobieństwo wartości próbek. W przypadku danych opisujących kształt powierzchni dna morza sąsiednie próbki nie różnią się zbyt od siebie. Te właściwości można wykorzystać przy kodowaniu próbek.

Każda z powierzchni testowych została zapisana w pliku binarnym. Każdy z tych plików został następnie poddany kompresji z wykorzystaniem algorytmu LZ77. Rysunek 2 prezentuje wyniki, jakie uzyskano w badaniach eksperymentalnych polegających na kompresji powierzchni testowych z użyciem algorytmu LZ77.



Rys. 2. Stopień kompresji uzyskany w wyniku kompresji powierzchni testowych z wykorzystaniem algorytmu LZ77

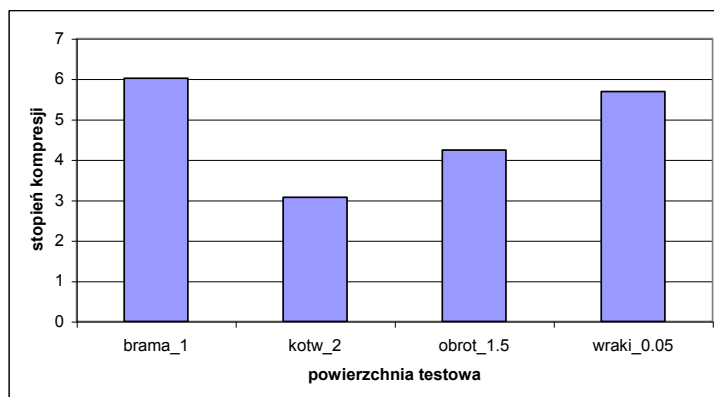
Otrzymany stopień kompresji zawiera się w przedziale od 3:1 do 5:1. Na uzyskany stopień kompresji znaczny wpływ miała liczba pustych (zerowych) węzłów w siatce grid. Powierzchnią najbardziej „podatną” na kompresję jest ‘brama’ (występuje tu wiele zerowych węzłów), najmniej ‘kotwiczowisko’ (nie-wielka liczba zerowych węzłów).

## 2.2. Metody predykcyjne

W kodowaniu predykcyjnym dokonywana jest predykcja wartości danej próbki, a następnie zamiast kodowania samych próbek, kodowane są różnice między ich wartością a wartością przewidywaną. Podczas rekonstrukcji różnica

ta używana jest do odtworzenia oryginalnej próbki. Istnieje wiele metod kodowania predykcyjnego, które różnią się liczbą próbek używanych przy dokonywaniu predykcji i sposobem dobierania parametrów predykcji (metody statyczne i dynamiczne) [8]. Opracowano wiele algorytmów bazujących na kodowaniu predykcyjnym, m.in.: modulacja delta, DPCM, CCITT, CALIC, PPM, JPEG-LS [1]. Najbardziej rozpowszechnionym algorytmem wykorzystującym predykcję opartą na kontekście (analizie prawdopodobieństwa wystąpienia danego symbolu w zależności od symboli poprzedzających) jest algorytm PPM, przedstawiony w 1984 roku przez Cleary'ego i Wittena [CLE84]. Algorytm PPM, zamiast wyznaczać prawdopodobieństwa wystąpień symboli przed rozpoczęciem kodowania, zmniejsza ilość pracy (szybkość kompresji) i pamięci (zajętość pamięci przez dane) poprzez wyznaczanie kontekstu w trakcie procesu kodowania. Wyznaczane i przechowywane są informacje tylko o tych kontekstach, które wystąpiły w trakcie kodowania. Ograniczony zostaje w ten sposób zbiór przechowywanych kontekstów oraz łagodzony jest problem zajętości pamięci. Popularnym standardem kompresji danych wykorzystującym algorytm PPM jest kompresor RAR.

Pliki binarne, w których zostały zapisane powierzchnie testowe, poddano kompresji z wykorzystaniem algorytmu PPM. Rysunek 3 prezentuje wyniki, jakie uzyskano w badaniach eksperymentalnych polegających na kompresji powierzchni testowych z użyciem algorytmu PPM.



Rys. 3. Stopień kompresji uzyskany w wyniku kompresji powierzchni testowych z wykorzystaniem algorytmu PPM

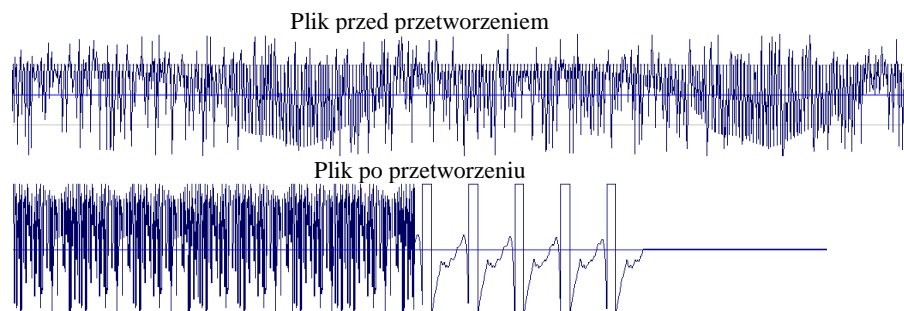
Kodowanie z wykorzystaniem metod predykcyjnych (PPM) daje nieco lepsze rezultaty (wyższy stopień kompresji) od kodowania słownikowego (LZ77). Uzyskany stopień kompresji zawiera się w przedziale od 3:1 do 6:1. Na uzyskany stopień kompresji także znaczny wpływ miała liczba pustych (zerowych) węzłów w siatce grid. Powierzchnią najbardziej „podatną” na kompresję jest ‘brama’, najmniej ‘kotwiczowisko’.

### 2.3. Reorganizacja pliku binarnego

Plik binarny, w którym zapisana jest powierzchnia to zbiór liczb określających kolejne głębokości w węzłach siatki, gdzie jedna próbka zapisana jest z użyciem 4 bajtów (liczba 32-bitowa). Jeżeli plik binarny rozpatrzmy jako zbiór czteroelementowych liczb, to można zauważyć pewne zależności pomiędzy liczbami leżącymi na tej samej pozycji w kolejnych czwórkach:

- liczby znajdujące się na pozycji 4 są zazwyczaj takie same ( $40_{\text{HEX}}$ );
- różnice pomiędzy kolejnymi liczbami znajdującymi się na pozycji 3 są niewielkie (zazwyczaj różnica wynosi  $1 - 4$ ), często występują wielokrotne powtórzenia tych samych wartości;
- różnice pomiędzy kolejnymi liczbami znajdującymi się na pozycji 2 oraz 1 są znaczne i trudno określić jakiegokolwiek zależności pomiędzy nimi.

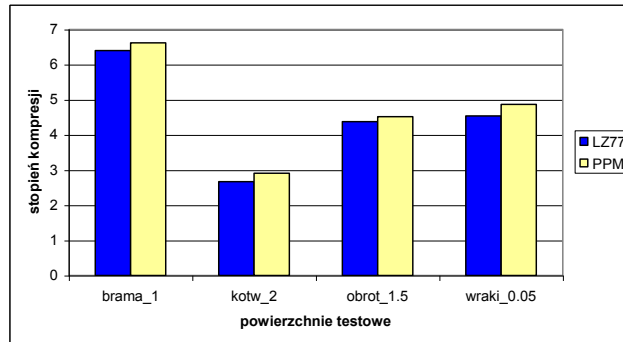
Na podstawie przedstawionych zależności postawiono tezę, że istnieje możliwość zwiększenia efektywności kompresji bezstratnej poprzez odpowiednią reorganizację pliku binarnego. Polega ona na zapisaniu w pliku binarnym co czwartej liczby, zaczynając od pozycji 1, następnie co czwartej liczby, zaczynając od pozycji 2, od pozycji 3 i kończąc na co czwartej liczbie począwszy od pozycji 4. Wykres pliku binarnego przed reorganizacją i po reorganizacji prezentuje rys. 4.



Rys. 4. Wykres pliku binarnego przed i po reorganizacji ('brama\_1')

Pliki binarne, w których zostały zapisane powierzchnie testowe, poddano reorganizacji danych a następnie dokonano kompresji z wykorzystaniem algorytmu LZ77 oraz PPM. Rysunek 5 prezentuje wyniki, jakie uzyskano w badaniach eksperymentalnych polegających na kompresji powierzchni testowych z użyciem reorganizacji danych.

Zastosowanie reorganizacji danych dla powierzchni 'brama' oraz 'obrotnica' umożliwiło zwiększenie stopnia kompresji o ok. 10 – 20%, ale dla powierzchni 'kotwiczowisko' oraz 'wraki' nastąpił spadek stopnia kompresji o ok. 5 – 20%. Nieprawdziwa zatem staje się teza, że zastosowanie reorganizacji danych umożliwia zwiększenie stopnia kompresji danych.

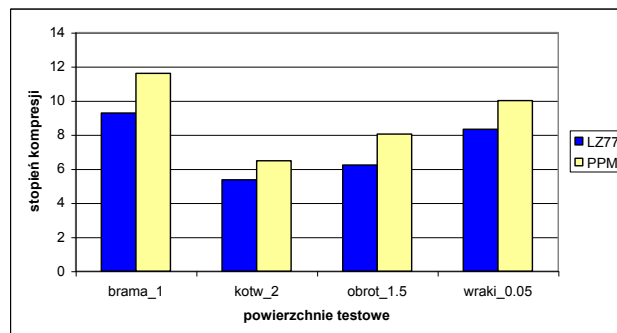


Rys. 5. Stopień kompresji uzyskany w wyniku kompresji powierzchni testowych po reorganizacji danych z wykorzystaniem algorytmu LZ77 oraz PPM

## 2.4. Różnicowy zapis danych

Różnice głębokości pomiędzy sąsiednimi próbkami w strukturze grid wynoszą zazwyczaj poniżej jednego centymetra, rzadziej kilka centymetrów. W trakcie badań postanowiono sprawdzić czy zapisywanie owych różnic zamiast rzeczywistych wartości głębokości umożliwi zmniejszenie informacji, którą należy przechować, a co za tym idzie spowoduje zwiększenie stopnia kompresji. Przyjęto następujący sposób zapisu danych: pierwsza głębokość w każdym wierszu jest zapisywana w sposób bezpośredni, a następnie są zapisywane różnice pomiędzy kolejnymi głębokościami. Na tym etapie nie występuje zmniejszenie ilości danych (zapisujemy zawsze liczby 4-bajtowe). W dalszej kolejności wykonujemy kompresję plików z wykorzystaniem algorytmu LZ77 i PPM. Rysunek 6 prezentuje wyniki, jakie uzyskano po kompresji powierzchni testowych z wykorzystaniem zapisu różnicowego.

Zastosowanie zapisu różnicowego danych umożliwiło zwiększenie stopnia kompresji o ok. 50 – 100% w stosunku do poprzednich metod. Uzyskany stopień kompresji zawiera się w przedziale od 5:1 do 12:1.



Rys. 6. Stopień kompresji uzyskany w wyniku kompresji powierzchni testowych z użyciem algorytmu LZ77 oraz PPM z wykorzystaniem zapisu różnicowego

## 2.5. Zmodyfikowany różnicowy zapis danych

Pomiary głębokości wykonywane z użyciem sondy wielowiązkowej charakteryzują się dokładnością powyżej 1 cm. Na podstawie tych pomiarów w wyniku interpolacji tworzona jest struktura grid. Możemy przyjąć, iż struktura ta przechowuje dane o kolejnych głębokościach z dokładnością do 1 mm. Ponieważ różnica pomiędzy kolejnymi wartościami jest niewielka, możliwe jest ich zapisanie za pomocą liczby 1- lub 2-bajtowej. Przyjęto następujący sposób zapisu danych: punkty, w których nie określona jest głębokość (wartość wynosi 0) zapisujemy jako liczbę 1-bajtową. Pierwszą określoną wartość głębokości w każdym wierszu zapisujemy bez zmian (4 bajty). Dla kolejnych punktów wyliczamy różnicę pomiędzy analizowanym punktem a jego poprzednikiem z dokładnością do 1 mm, przekształcając ją następnie w liczbę całkowitą (stosując zmianę skali). Uzyskany wynik zapisujemy z użyciem 1 bajta (gdy wartość mniejsza jest od 255) lub dwóch bajtów (w pozostałych przypadkach). Poniżej przedstawiono uproszczony algorytm zapisu danych:

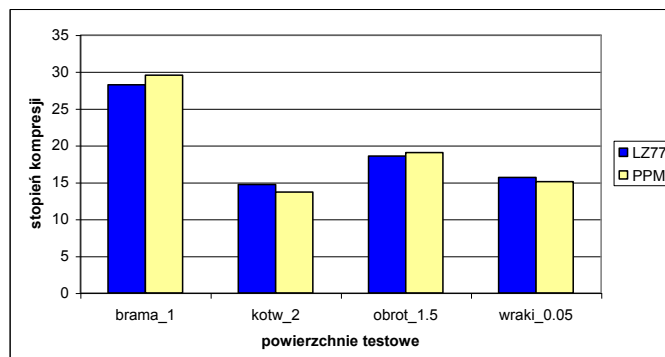
- dana jest struktura grid o rozmiarze  $M \times N$  punktów (*data*),
- ustaw *znacznik* = 0,
- dla każdego wiersza (*x*):
  - dla kolejnych wartości w wierszu (*y*),
  - jeżeli  $data(x,y) = 0$ , to zapisz 0 (1 bajt); ustaw *znacznik* = 0,
  - jeżeli  $data(x,y) \neq 0$ , to:
    - \* jeżeli *znacznik* < 0, to  $róznica = (bajt)(data(x,y) - data(x,y-1) * 1000)$ ;
      - jeżeli  $róznica < 256$ , to zapisz *róznica* (1 bajt),
      - jeżeli  $róznica > 255$ , to zapisz *róznica* (2 bajty);
    - \* jeżeli *znacznik* = 0, to zapisz  $data(x,y)$  (4 bajty); ustaw *znacznik* = 1;
  - ustaw *znacznik* = 0.

Kompresje danych uzyskujemy w dwóch etapach: w trakcie zapisu danych wszelkie wartości zerowe zapisywane są z użyciem jednego bajta (poprzednio wszystkie dane były 4-bajtowe), wartość różnicy pomiędzy kolejnymi punktami zapisywane są z użyciem zazwyczaj 1, czasem 2 bajtów; uzyskujemy dzięki temu niemal 4-krotne zmniejszenie objętości pliku danych; zapisane dane w wyniku kompresji ulegają dalszej kompresji ok. 6-krotnie.

Rysunek 7 prezentuje wyniki, jakie uzyskano w kompresji powierzchni stowych z wykorzystaniem zmodyfikowanego zapisu różnicowego.

Zastosowanie zmodyfikowanego zapisu różnicowego danych umożliwiło znaczne zwiększenie stopnia kompresji – uzyskany stopień kompresji zawiera się w przedziale od 14:1 do 30:1. Na uzyskany stopień kompresji pewien wpływ ma liczba pustych (zerowych) węzłów w siatce grid. Powierzchnią najbardziej „podatną” na kompresję jest ‘brama’ (występuje tu wiele zerowych węzłów), najmniej ‘kotwicowisko’ (niewielka liczba zerowych węzłów).





Rys. 7. Stopień kompresji uzyskany w wyniku kompresji powierzchni testowych z użyciem algorytmu LZ77 oraz PPM z wykorzystaniem zmodyfikowanego zapisu różnicowego

## Podsumowanie

Objętość plików binarnych zawierających dane opisujące kształt powierzchni dna morza może być znaczna. Zastosowanie metody kompresji bezstratnej umożliwia zmniejszenie objętości danych, przy zachowaniu pełnej informacji o ukształtowaniu. Wykorzystanie powszechnie stosowanych algorytmów kompresji (LZ77 oraz PPM) umożliwia ok. 4-krotne zmniejszenie rozmiaru plików. Wykorzystując sposób organizacji danych zapisanych w strukturze grid oraz właściwości liczb opisujących kolejne pomiary opracowano zmodyfikowaną metodę zapisu różnicowego danych, co przy dodatkowym wykorzystaniu algorytmów kompresji (LZ77, PPM) umożliwia uzyskanie stopnia kompresji na poziomie 20:1.

Dzięki opracowanej metodzie możliwe jest znaczne zmniejszenie liczby danych niezbędnych do opisanego ukształtowania powierzchni dna morskiego większych obszarów, przy zachowaniu pełnej informacji.

## Literatura

1. Drozdek A., *Wprowadzenie do kompresji danych*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
2. Heim K., *Metody kompresji danych*. Wydawnictwo MIKOM, Warszawa 2000.
3. Khalid S., *Kompresja danych – wprowadzenie*. Wydawnictwo RM, Wydanie I, Warszawa 2002.
4. Maleika W., *Adaptive Compression of Real Data Describing Sea Bottom using DCT*. Advanced Computer Systems, Szczecin 2001.
5. Maleika W., Forczmański P., *Wavelets in adaptive compression of data describing sea-bottom*. Advanced Computer Systems, Mielno 2002.

6. Maleika W., *Kompresja danych opisujących kształt powierzchni dna morza z wykorzystaniem algorytmu analizy składowych głównych – KLT*. X Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna ‘Inżynieria Ruchu Morskiego’. Szczecin 2003.
7. Nelson M.R., *LZW data compression*. Dr. Dobb’s Journal, October 1989.
8. Skarbek W., *Multimedia – algorytmy i standardy kompresji*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998.
9. Ziv J., Lempel A., *A Universal Algorithm for Data Compression*. IEEE Transactions on Information Theory, 1977.

#### **Recenzenci**

dr hab. inż. Cezary Szpecht, prof. AMW  
prof. dr hab. inż. Andrzej Stateczny

#### **Adres Autora**

dr inż. Wojciech Maleika

Politechnika Szczecińska  
Wydział Informatyki  
ul. Żołnierska 49  
71-210 Szczecin

wmaleika@wi.ps.pl