

**ANALIZY PRZESTRZENNO-CZASOWE ZMIAN MORFOLOGICZNYCH NA  
TERENIE SŁOWIŃSKIEGO PARKU NARODOWEGO W LATACH 1964-2004**

**SPATIAL AND TEMPORAL ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL CHANGES IN  
THE SLOWINSKI NATIONAL PARK BETWEEN 1964 AND 2004**

**Krystyna Michałowska**

Katedra Geologii Ogólnej, Ochrony Środowiska i Geoturystyki  
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

**SŁOWA KLUCZOWE:** Analizy przestrzenno-czasowe, GIS, wydmy, zmiany morfologiczne, zdjęcia lotnicze, NMT.

**STRESZCZENIE:** Wyjątkowo silna dynamika podłoża oraz trudna dostępność terenów sprawia, iż badania na obszarze Słowińskiego Parku Narodowego (SPN) są w znacznym stopniu ograniczone. Zastosowanie nowoczesnych technik teledetekcji oraz praca w środowisku GIS pozwalają na kompleksowy i permanentny charakter badań opartych o stałe powierzchnie badawcze. Możliwość zbadania i analizy zmian zachodzących na przestrzeni dziesięcioleci dają wieloczasowe zdjęcia lotnicze obszaru SPN, wykonywane w latach 1951÷2004. W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań, prowadzonych w ramach projektu KBN Nr N304 077 31/3060 „Modelowanie przestrzenne zmian wybranych elementów środowiska Słowińskiego Parku Narodowego”, które dotyczyły między innymi współczesnego rozwoju form eolicznych związanych zarówno z deflacyjną jak i akumulacyjną działalnością wiatru. W środowisku GIS utworzone zostały mapy krzywizny terenu, wykorzystane następnie w procesie tworzenia wektorowych map konturów wydym dla wszystkich roczników. Mapy te wykorzystano do wygenerowania różnicowych map powierzchni. Na podstawie Numerycznego Modelu Terenu z każdego okresu utworzono różnicowe mapy wysokości. Uzyskane w wyniku analiz przestrzenno-czasowych mapy pozwoliły prześledzić tempo i charakter zmian wybranej wydmy przez obserwację przesunięcia poziomego, zmian wysokości oraz zajmowanych przez nią powierzchni w kolejnych przedziałach czasowych.

## **1. WPROWADZENIE**

W artykule przedstawiono badania dotyczące zmienności morfologii jednej z ruchomych wydym Słowińskiego Parku Narodowego (SPN), który jako jedyny w Polsce chroni równocześnie nadmorskie ekosystemy wydymowe, jeziorne, torfowiskowe i leśne. Słowiński Park Narodowy utworzony w 1967 roku rozciąga się na długości 32 kilometrów wzdłuż wybrzeża Morza Bałtyckiego, pomiędzy Rowami a Łebą. W 1977 r. Park został wpisany na listę Światowych Rezerwatów Biosfery UNESCO. Jest również objęty międzynarodową konwencją *Ramsar* dotyczącą ochrony siedlisk ptaków wodnych i błotnych.

Słowiński Park Narodowy zajmuje obecnie obszar około 33 tys. ha, z czego około 34% zajmują wody: morskie i czterech jezior przybrzeżnych. Największe z nich, Łebsko jest trzecim co do wielkości jeziorem w Polsce. Wokół jezior rozciągają się rozległe tereny bagienne, torfowiska i lasy. Szczególnym elementem krajobrazu Parku jest Mierzeja Łebska (Piotrowska 1997), oddzielająca od morza wszystkie przybrzeżne jeziora. W środkowej części mierzei na powierzchni ponad 500 ha występują wydmy ruchome przemieszczające się z prędkością od 3 do 10 m/rok (Miszański 1973). Plaże i wydmy niezalesione zajmują 833 ha powierzchni chronionych Parku (Denisiuk i in., 1990). Specyficzny charakter Parku, którego większość powierzchni stanowią wydmy, duże jeziora, podmokłe tereny oraz bagna sprawia, że prowadzenie prac badawczych jest utrudnione. Dlatego też mało jest prac obejmujących jednocześnie cały obszar Parku. Do nielicznych należą (Dzięciołowski 1973, Marsz 1975, Kobendzina 1976, Wojterski i in. 1979, Bednorz 1983, Rotnicki 1987, Rabski 1992a, b, Piotrowska 1997). Tematykę oddziaływania procesów eolicznych na zmiany krajobrazu SPN 35 lat temu podjął Miszański (Miszański 1973). Bazując na zdjęciach lotniczych z lat 1951-1968 oraz mapach topograficznych (współczesnych oraz z lat 1877-1896) przeprowadził analizę ilościową wydm i opracował współczesny rozwój form eolicznych. Nowoczesne rozwiązania w dziedzinie fotogrametrii i teledetekcji oraz wykorzystanie technologii GIS stwarzają szerokie możliwości nie tylko kontynuacji prac Miszańskiego, ale także rozszerzenia zakresu badań. Zastosowanie geoinformacji, w szczególności Geograficznego Systemu Informacji (GIS) pozwala na kompleksowe podejście w badaniach środowiska naturalnego i uwzględnienie niemal wszystkich czynników przyczyniających się do ciągłych zmian środowiska i krajobrazu (Bologna et al., 2004, Eyers, Mills, 2004, Raffaella et al., 2004, Ricchetti et al., 2004, Kim et al., 2006). Technologia GIS umożliwiająca łączenie danych przestrzennych i opisowych w kompleksową informację o określonych elementach środowiska, została wykorzystana w tworzeniu bazy danych (Michałowska, Głowienka, 2007), a następnie w analizach zmian przestrzenno-czasowych morfologii Słowińskiego Parku Narodowego, cechującego się wyjątkowo silną dynamiką podłoża. W niniejszym artykule przedstawiono wachlarz możliwości analizy zmian morfologii przy użyciu narzędzi GIS na przykładzie wybranej wydmy Czołpińskiej. Zastosowane rozwiązania z dziedziny fotogrametrii cyfrowej i teledetekcji w połączeniu z systemem GIS umożliwiły wykorzystanie danych z różnych źródeł i okresów.

## **2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW I METOD BADAWCZYCH**

### **2.1. Baza danych i oprogramowanie**

Przykładowe analizy przestrzenno-czasowe zmian morfologicznych przeprowadzone zostały na podstawie bazy GIS z danymi wieloczasowymi, utworzonej i opisanej przez Michałowska, Głowienka, 2007. Do badań wykorzystano zdjęcia lotnicze z pięciu roczników (Tab 1).

Korzystano z następujących wieloczasowych danych wektorowych i rastrowych dla wszystkich roczników zdjęć:

- Numeryczne Modele Terenu – wykonane na podstawie zdjęć lotniczych z dokładnością od 0.9 do 1,2 m przy pomocy *Mapper Stereo DEPHOS*

- mapy form wydmowych - utworzone na podstawie obserwacji stereoskopowych (opis poniżej)
- ortofotomapy w skali 1: 5000.

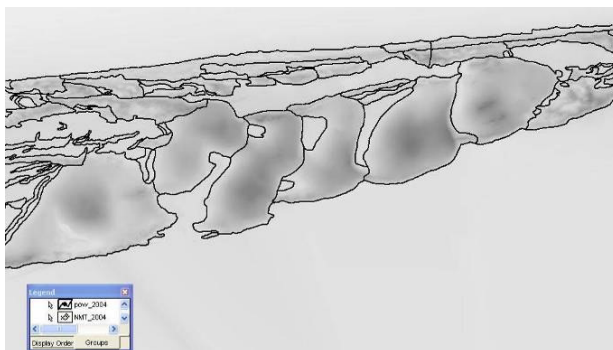
**Tab 1.** Skala zdjęć w poszczególnych rocznikach

Rok	Skala
1964	1:23 000
1975	1:29 500
1984	1:25 000
1995/97	1:26 000
2004	1:26 000

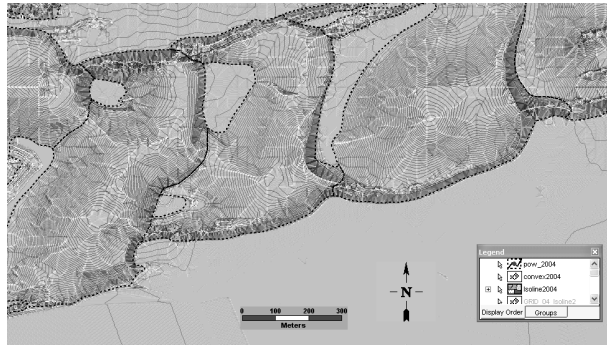
Do analiz przestrzenno-czasowych wykorzystano oprogramowanie firmy *INTERGRAPH GeoMedia v.6.0*. Analizy na mapach wektorowych i ortofotomapach wykonano w module *GeoMedia Professional*, natomiast wszystkie operacje związane z danymi wysokościowymi przeprowadzono w *GeoMedia Grid*.

## 2.2. Sporządzenie różnicowych map powierzchni wydm.

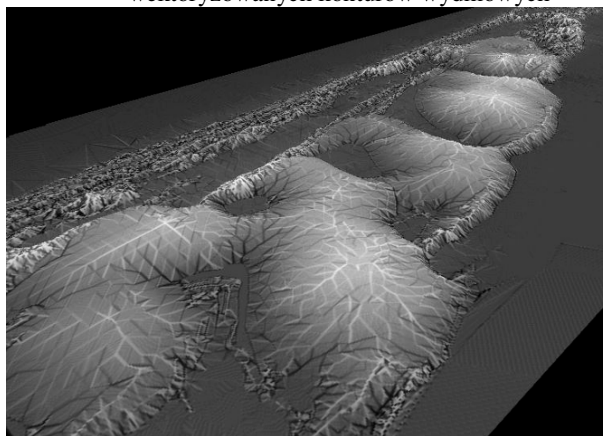
Na podstawie obserwacji stereoskopowych zdjęć lotniczych dla wszystkich roczników utworzone zostały mapy konturów wydm występujących na terenie SPN (Rys. 1). Kontury poszczególnych form wydmowych powstały przez digitalizację linii szkieletowych wydm. Do sprawdzenia poprawności wektoryzowanych form wydmowych sporządzono mapy krzywizny terenu oraz mapy wysokościowe o cięciu warstwicowym 0.5 m. Warstwy przedstawiające linie grzbietowe i ciekowe wygenerowano bazując na NMT przy pomocy funkcji programu *Geomedia Grid*, wyznaczającej krzywiznę w danym punkcie wzdłuż kierunku nachylenia stoku (Rys. 3).



Rys. 1. Wektorowa mapa wydm nałożona na NMT (rok 2004).



Rys. 2. Warstwicze nałożone na mapę krzywizny terenu wykorzystane w kontroli wektoryzowanych konturów wydmych



Rys. 3. Mapy krzywizny terenu utworzone w Geomedia Grid wykorzystane w kontroli wektoryzowanych konturów wydmych

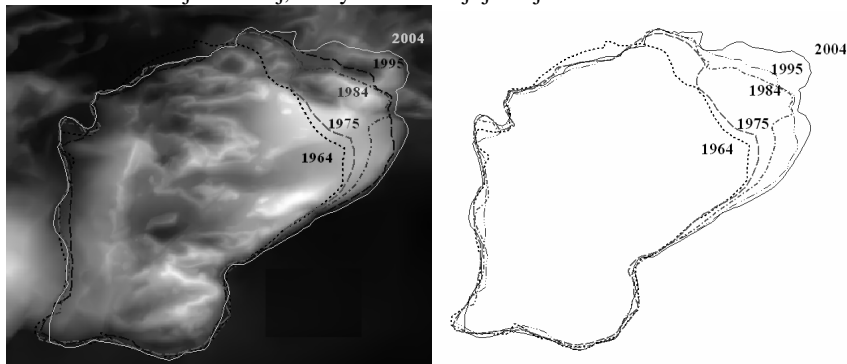
### 2.3. Analizy przestrzenno-czasowe w środowisku GIS

Przykładowe analizy przeprowadzono dla wydmy Czołpińskiej widocznej na rysunku (Rys. 4). Wektorowe kontury wybranej wydmy dla wszystkich roczników nałożono na Numeryczny Model Terenu (z roku 2004) i uzyskano obraz przedstawiający kolejne etapy zmian wydmy Czołpińskiej począwszy od 1964 do 2004 roku (Rys. 4).

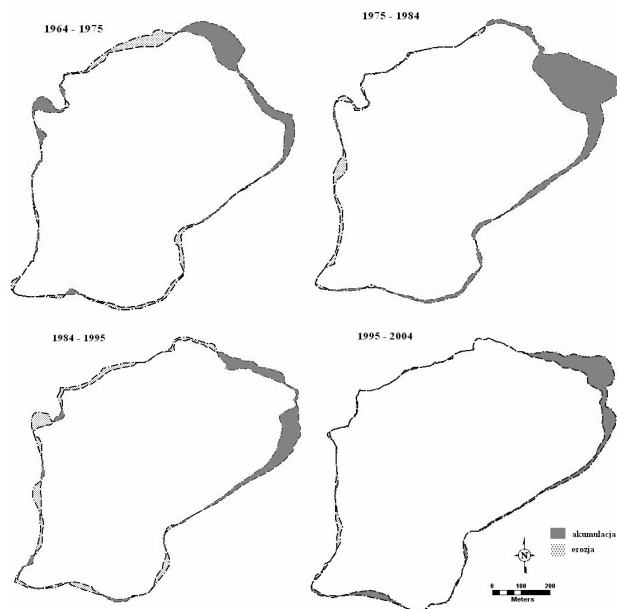
Funkcja programu Geomedia Professional umożliwiła wygenerowanie różnicowych map powierzchni dla form wydmych wykorzystując zależności przestrzenne obiektów powierzchniowych z dwóch warstw tematycznych, w tym przypadku - nakładanie się powierzchni wydmych z dwóch różnych roczników. Mapy uzyskano przez odjęcie od obiektów powierzchniowych jednego rocznika, odpowiadających im obiektów z poprzedzającego rocznika (np. formy wydmy z roku 2004 – formy wydmy z roku 1995). W taki sposób powstały 4 mapy różnicowe dla następujących przedziałów czasowych:

- 2004 ÷ 1995
- 1995 ÷ 1984
- 1984 ÷ 1975
- 1975 ÷ 1964

Zaprezentowano je na rysunku (Rys. 5), na którym powiększający się zasięg wydmy przedstawiono w tonacji ciemnej, a ubytki w tonacji jasnej.

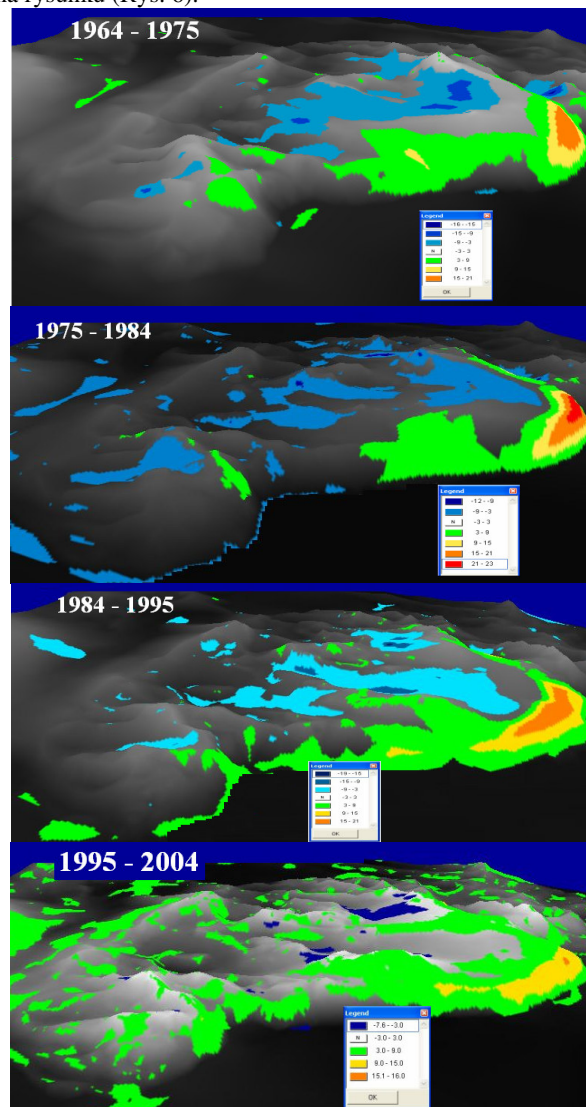


Rys. 4. Wektorowe kontury wydmy Czotpińskiej nałożone na NMT z roku 2004 - kolejne etapy zmian w poszczególnych latach.



Rys. 5. Mapy różnicowe powierzchni dla wydmy Czotpińskiej.

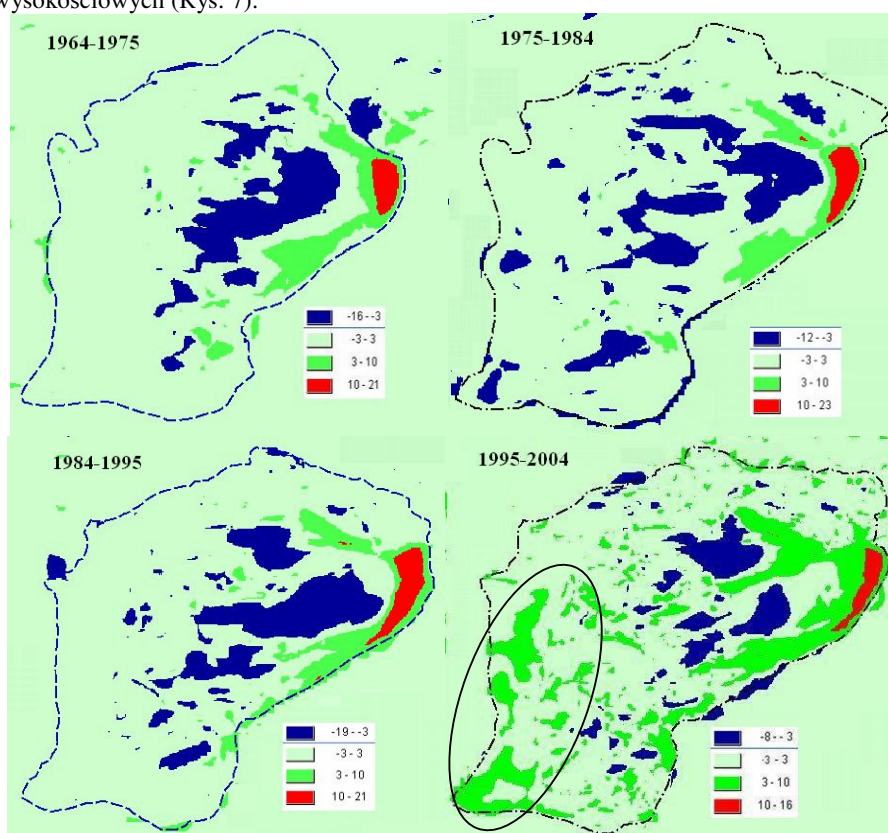
Dane wysokościowe (NMT) wykorzystano do wyznaczenia zmian wysokości wydmy w kolejnych dekadach. Podobnie jak w przypadku map różnicowych powierzchni wydmy od NMT danego roku odjęto NMT z rocznika poprzedzającego, uzyskując różnicowe mapy wysokości dla czterech kolejnych okresów. Wielkość tych zmian naniesiono w odcieniach szarości na NMT późniejszego rocznika analizowanego przedziału czasowego, a wyniki przedstawiono na rysunku (Rys. 6).



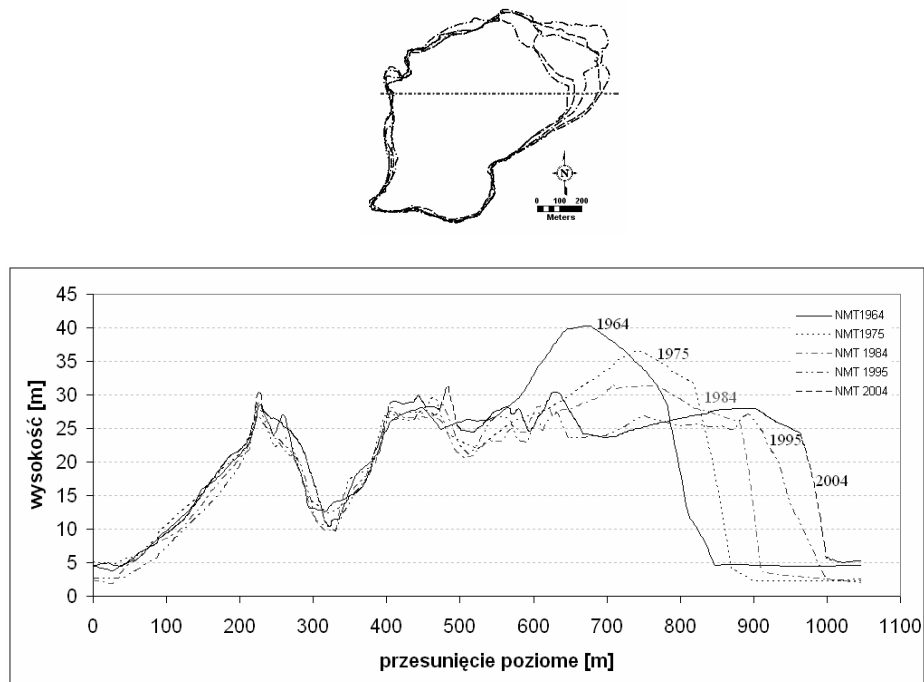
Rys. 6. Różnice wysokości w kolejnych dekadach 1964÷2004.

Ponadto sporządzono również mapy różnicowe wysokości wydmy Czołpińskiej, które przedstawiono na rysunku (Rys. 7) w cztero-przedziałowej skali zmian. Pierwszy przedział dotyczy wartości ujemnych (deflacja). Drugi odnosi się do obszarów bez zmian lub względnie małych różnic wysokości. Dwa ostatnie przedziały wskazują miejsca akumulacji, przy czym trzeci oznacza umiarkowane przyrosty wysokości (od 3 do 10 m). Ostatni, czwarty przedział wskazuje na bardzo intensywny proces akumulacyjny (duże różnice wysokości, powyżej 10 m).

Na podstawie danych wysokościowych w środowisku Geomedia Grid wykonano profile wydmy Czołpińskiej dla każdego rocznika (Rys. 8). Linia każdego profilu została poprowadzona wzdłuż największych zmian zaobserwowanych na różnicowych mapach wysokościowych (Rys. 7).



Rys. 7. Mapy przedstawiające różnice wysokości w kolejnych dekadach od 1964 do 2004.



Rys. 8. Profile wydmy Czołpińskiej w kolejnych dekadach 1964÷2004.

### 3. ANALIZA WYNIKÓW

Przygotowane różnicowe mapy powierzchniowe i wysokościowe pozwoliły przeprowadzić jakościową i ilościową analizę przesunięcia poziomego, obserwację zmian wysokości oraz powierzchni zajmowanych przez wybraną wydmy w kolejnych przedziałach czasowych. Działające jednocześnie procesy deflacyjne i akumulacyjne skutkowały zmianami wydmy głównie w części czołowej-wschodniej (Rys. 6 i Rys. 7) powodując zajmowanie przez nią nowych obszarów „niewydmych” (lasy, łąki). Zmiany zasięgu wydmy w części północno-wschodniej były skutkiem łączenia się wydmy z sąsiadującymi od północy formami wydmy. Opisana poniżej analiza dotyczy głównie zmian strefy czołowej wydmy Czołpińskiej.

Analizując mapy różnicowe można zaobserwować bardzo istotne zmiany wysokości wydmy w latach 1964÷1975 (Rys. 5 i Rys. 7). W tym okresie widoczny jest bardzo duży spadek wysokości w centralnej części wydmy (od -16 m do -9 m) oraz wyraźna akumulacja w części czołowej, do 21 m. Dodatkowo z analizy różnicowych map powierzchniowych (Rys. 5) wynika, że w tym okresie przesunięcie poziome części czołowej wydmy wynosiło 15-30 m (średnio 3 m/rok). W kolejnym okresie 1975-1984, wartości przemieszczenia były znacznie większe i wynosiły 50-55 m miejscami 60 m (około 6 m /rok). Intensywny proces akumulacji w strefie czołowej spowodował przyrost wysokości nawet o 23 m. Ponadto procesy deflacyjne występujące na dużo większej powierzchni w stosunku do poprzedniego



okresu, były znacznie słabsze (-12 do -3m). W następnych latach 1984-1995 obserwujemy spadek wysokości, przede wszystkim w centralnej części wydmy (od -19 do -3) oraz spłaszczanie formy na skutek wywiewania materiału piaszczystego. Czoło wydmy przesunęło się w ciągu 11 lat od 50 m do 65 m (średnio 5-6 m/rok). Ostatni przedział czasowy 1995-2004 cechuje mniejsza dynamika zmian wysokości jak i wielkości przesunięcia. We wschodniej części formy widać umiarkowane przyrosty wysokości od 7 do 10 m. Dla tego okresu wielkości akumulacji w części czołowej są stosunkowo mniejsze, jednakże widać tendencję akumulacji na całej formie. Należy zauważyć, iż zaznaczone na rysunku (Rys. 7) fragmenty w zachodniej i południowo-zachodniej części wydmy, oznaczone kolorem wskazującym na obszary umiarkowanej akumulacji charakteryzują się wartościami zbliżonymi do górnej granicy przedziału oznaczającego minimalne zmiany lub ich brak (są to wartości nieco ponad 3 m).

Analizując profil przedstawiony na rysunku (Rys. 8) można zauważyć, że największa aktywność wydmy Czołpińskiej przypada właśnie na okres pomiędzy rokiem 1964 i 1975. Ponadto można zaobserwować trzy strefy intensywności zmian tej dużej formy wydmowej. Jak widać na wykresie największa dynamika zmian zaznacza się w czołowej części wydmy, gdzie równocześnie ze spadkiem wysokości nastąpiło przesunięcie wierzchołka wydmy w kierunku wschodnim. Na lewym skraju wydmy widoczne są znacznie mniejsze przemieszczenia i zmiany wysokości sięgające zaledwie paru metrów. Najbardziej aktywne czoło wydmy uległo spłaszczeniu z 40m w 1964 r. do 27 m 2004 roku, a jednocześnie przesunęło się o ok. 160 m. Wynika z tego, iż średnia prędkość przemieszczenia wydmy wynosi 4m/rok, co pokrywa się przedziałem średnich prędkości przesuwania się wydm ruchomych (3-10 m/rok), określonym przez Miszalskiego (Miszalski 1973).

#### **4. WNIOSKI**

Zastosowane metody analizy wieloczasowych danych rastrowych i wektorowych umożliwiły prześledzenie dynamiki i charakteru zmian wybranej formy wydmowej. Rozwiązania z dziedziny fotogrametrii cyfrowej w połączeniu z Geograficznym Systemem Informacyjnym dały możliwość wykorzystania do analiz informacji pochodzących z różnych źródeł i okresów.

Na podstawie obserwacji różnicowych map powierzchni ustalono, iż największe zmiany wydmy Czołpińskiej nastąpiły w okresie 1975 -1984, głównie części wschodniej (czołowej) i północno-wschodniej (NE). W tym okresie zaszły największe i najbardziej istotne zmiany powierzchni wydmy. Czoło wydmy przesunęło się o około 50-55 m miejscami nawet 60 m (6m/rok). Znaczna zmiana powierzchni w części NE była efektem połączenia się z sąsiadującymi formami eolicznymi. Tempo przesunięcia poziomego w latach 1984 – 1995 było podobne tj. 5-6 m/rok. W ciągu tego okresu czoło wydmy przesunęło się o 60-65 m. W ostatniej dekadzie wartości przesunięcia były mniejsze i nie przekraczały 50 m.

Różnicowe mapy wysokościowe pozwoliły określić stopień zmian wysokości w poszczególnych okresach. W latach 1964-75 i 1984-95 można zaobserwować intensywne działanie procesów deflacyjnych w centralnej części wydmy i spadki wysokości od -19 do -16 m czego efektem było spłaszczanie formy. Widać także wyraźną akumulację w części czołowej sięgającą 21 m. W okresie 1975-84 deflacyjna działalność wiatru w porównaniu do pozostałych lat była znacznie słabsza i występowała na większych powierzchniach.

W ostatnim okresie dynamika zmian była zdecydowanie mniejsza. Przyrosty wysokości mieściły się w granicach 7-10 m, największe różnice w części czołowej nie przekraczały 16 m.

Zasób zgromadzonych w ramach projektu danych nie został w pełni wykorzystany, a przykłady badania wybranych elementów środowiska przy pomocy narzędzi GIS, zamieszczone w artykule, stanowią jedynie próbkę planowanych analiz. W dalszym etapie prac przewiduje się kontynuowanie badań z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych oraz opisowej bazy danych zintegrowanej z tematycznymi warstwami wektorowymi.

„Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy Nr N304 077 31/3060

## 5. LITERATURA

- Bednorz J., Awifauna Słowińskiego Parku Narodowego z uwzględnieniem stosunków ilościowych. *Poznańskie Tow. Przyj. Nauk. Prace Komisji Bilologicznej*, 65: 1-101.
- Bologna R., Minchilli M., Scognamiglio A., 2004. Risk Assessment For Environmental Applications: Integrated Analysis Of Spatial Data Using Multi-Temporal Digital Orthophotos And Remote-Sensing Satellite Images. XXth ISPRS Congress, comm. 7, Istambul 2004.
- Denisiuk Z., Celiński F., Bednorz J., 1990. Rezerwy Biosfery w Polsce. Słowiński Park Narodowy. Ossolineum, Wrocław - Warszawa - Kraków.
- Dzięciołowski W., 1973. Gleby leśne Słowińskiego Parku Narodowego. Msc., Poznań.
- Eyers R., Mills J., 2004. Subsidence detection using integrated multi temporal airborne imagery. Report on the Joint ISPRS Commission VII, WG VII/5.
- Kim M., Ednie A., Daigle J., 2006. Detecting Vegetation Change Using Multi-Temporal Aerial Photographs At Cadillac Mountain In Acadia National Park, Maine. Proceedings of the 2006 Northeastern Recreation Research Symposium. The Sagamore, Bolton Landing, NY.
- Marsz A., 1975. Charakterystyka geomorfologiczna Mierzei Łebskiej i Niziny Ardeńsko-Łebskiej. Materiały z Konferencji Terenowej: Gleby Słowińskiego Parku Narodowego, PTGleb., Poznań, 7-25.
- Michałowska K., Głowienka E., 2007. Integracja i przetwarzanie danych wieloczasowych w środowisku GIS. IV Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacyjne „Geoinformatyka – badania, zastosowania i kształcenie”, Dobczyce k. Krakowa, 2007.
- Miszalski J., 1973. Współczesne procesy wydmotwórcze na Pobrzeżu Słowińskim - studium fotointerpretacyjne. *Dok. Geogr. IG PAN*.
- Kobenzina J., 1976. Z geografii historycznej Łeby i okolicy. *Przegląd Geograficzny* 48, nr 4, 689-701.
- Piotrowska H., 1997. *Przyroda Słowińskiego Parku Narodowego*. Red. H. Piotrowska. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Rabski K., 1992. Mezklimatyczne tło obszaru Słowińskiego Parku Narodowego. *Parki Narodowe i Rezerwy Przyrody* 11.1, 37-54.
- Ricchetti E., Ricchetti G., Sani R., 2004. Environmental-Geological Study of Coastal Areas of Salento Peninsula (Southern Italy) using Multitemporal Aerial Photography and Satellite Imagery. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Vol 6, pages 3642-3645.
- Rotnicki K., 1987. Paleografia i morfologia obszaru Słowińskiego Parku Narodowego – stan badań i ich perspektywy. *Mater. na Konf. XX-lecia Słowińskiego Parku Narodowego*, Smołdzino, 18-25.
- Wojterski T., Piaszyk M., Zielińska M., 1979. Mapa zbiorowisk roślinnych Słowińskiego Parku Narodowego. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, B 31, Supplement.

**SPATIAL AND TEMPORAL ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL CHANGES IN  
THE SŁOWINSKI NATIONAL PARK BETWEEN 1964 AND 2004**

KEY WORDS: spatial and temporal analysis, GIS, dunes, coastal zone, environmental changes, aerial photography

SUMMARY: Exceptionally strong dynamics of substrate and non-accessibility of closely protected areas cause that research in the Słowiński National Park is, to a large extent, limited. The use of modern teledetection techniques, and work in GIS environment allow for a comprehensive and permanent character of research, which is based on stable research areas. Multitemporal aerial photos of the Park area, made between 1951-2004, offer an opportunity for investigating and analysing changes which occurred in the course of decades. The paper presents preliminary results of research, conducted under the research project No. N304 077 31/3060 [financed by the State Committee for Scientific Research and] titled "Spatial Modelling of Changes in Selected Elements of the Słowiński National Park," which concerned, among other things, the contemporary development of eolian forms, connected both with the deflation, and accumulation activities of the wind. Using vectorial dune contours, the analysis of differential maps of eolian form surfaces for particular periods was conducted. Also performed, was the analysis of dune volume changes, depending on the dune surface area, altitude and distance from the coastline of the Baltic Sea. Profiles generated on the basis of DTMs, inclination maps, were used to investigate the changeability of the morphology of selected, migrating dunes in consecutive decades. In the next stage of research work, a series of profiles was established on selected sections of the coastal zone. Based on differential maps of dunes surfaces, an attempt was made at determining the accumulation and erosion zones of the Baltic Sea coastline in the area under investigation. Further research stages provide for the continuation of analyses, with the use of satellite images and the descriptive database integrated with thematic vectorial layers.

Mgr inż. Krystyna Michałowska  
kmichalo@poczta.fm  
telefon: 696044460  
fax: (12) 3975748