

**MOŻLIWOŚĆ MONITOROWANIA ZMIAN ŚRODOWISKA Z UŻYCIEM
NARZĘDZI GIS NA PRZYKŁADZIE SŁOWIŃSKIEGO PARKU NARODOWEGO**

**THE POSSIBILITY OF ENVIRONMENTAL CHANGES MONITORING
USING GIS TOOLS FOR SLOWINSKI NATIONAL PARK**

Ewa Głowienka¹, Krystyna Michałowska²

¹ Katedra Geologii Ogólnej, Ochrony Środowiska i Geoturystyki

² Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: dane wielozasowe, zdjęcia satelitarne, ortofotomapy, bazy danych, GIS, monitoring środowiska

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono metodykę przetwarzania i zastosowania wielozasowych danych satelitarnych do monitorowania zmian wybranych elementów środowiska Słowińskiego Parku Narodowego (SPN). W pierwszym etapie prac obraz Landsata z lat 1979 i 2000 poddano korekcji atmosferycznej, a następnie procesowi resamplingu piksela z 30 m na 60 i na odwrót. Obrazy LANDSATA (układ UTM) wykorzystano do wygenerowania obrazów: indeksu wegetacji NDVI. Na podstawie wygenerowanych kompozycji barwnych w barwach naturalnych i umownych, wyników klasyfikacji nienadzorowanej, wyników NDVI oraz analizy ortofotomap uzyskanych ze zdjęć lotniczych zdefiniowano siedem klas pokrycia terenu. Następnie w programie *ENVI* przeprowadzono klasyfikację nadzorowaną, której wyniki wykorzystano do analizy zmian pokrycia obszaru Parku. Uwzględniając zarówno rocznik jak i wielkość piksela na mapach pokrycia terenu przeanalizowano udział procentowy powierzchni poszczególnych klas. Bazując na obserwacjach wyników NDVI stwierdzono, że dynamika zmian w okresie analizowanego okresu dwudziestu jeden lat jest wyraźnie widoczna w przypadku najbardziej aktywnych elementów środowiska SPN jakimi są ruchome wydmy. Analiza map pokrycia terenu z lat 1979 i 2000 wykazała, iż zauważalne zmiany nastąpiły w przypadku lasów, których udział procentowy po 21 latach wzrósł o 4÷6%.

1. WPROWADZENIE

Opracowanie obejmuje obszar Słowińskiego Parku Narodowego znajdującego się w środkowej części wybrzeża morza Bałtyckiego między Łebą a Rowami. Park znany jest z unikalnego krajobrazu oraz ruchomych wydm przemieszczających się z prędkością 3÷10 m na rok. Prowadzenie badań terenowych na obszarze Parku jest znacznie utrudnione nie tylko ze względu na ruchome wydmy, ale także na występowanie terenów podmokłych, bagien oraz rezerwatów ściśle chronionych. Dlatego też wykorzystanie fotogrametrii cyfrowej, teledetekcji oraz narzędzi GIS do pozyskiwania danych o poszczególnych elementach środowiska SPN jest w pełni uzasadnione. W ramach projektu KBN Nr N304

077 31/3060 „Modelowanie przestrzenne zmian wybranych elementów środowiska Słowińskiego Parku Narodowego” zgromadzono dane dotyczące terenów Parku pochodzące z różnych źródeł oraz okresów, które następnie zostały przetworzone i opracowane w środowisku programu *Geomedia*.

W literaturze można znaleźć szereg przykładów stosowania zdjęć satelitarnych oraz narzędzi Geograficznych Systemów Informacji do monitorowania i badania zmian środowiska na świecie (Sanjeevi S., et al., 2000, Bologna R., 2004, Mitasova, H. et al., 2004, Mitasova H. et al., 2005, Ricchetti E. et al., 2004, Kim M., et al., 2006). Natomiast w Polsce techniki teledetekcyjne wykorzystano między innymi w pracach (Mieszalski, 1973, Mularz, et al., 2002, Mularz, et al., 2006, Michałowska K., Głowienka E., 2006.).

W niniejszym artykule przedstawione zostały przykładowe wyniki wykorzystania wieloczasowych zdjęć satelitarnych do monitorowania pokrycia terenu.

2. DANE

W projekcie wykorzystano satelitarne ortofotomapy z systemu LANDSAT TM z roku 1979 oraz LANDSAT +ETM z roku 2000, udostępniane przez GLCF (*Global Land Cover Facility*) - serwer *University of Maryland* (Tab 1).

Tab 1. Charakterystyka sensorów ASTER i LANDSAT

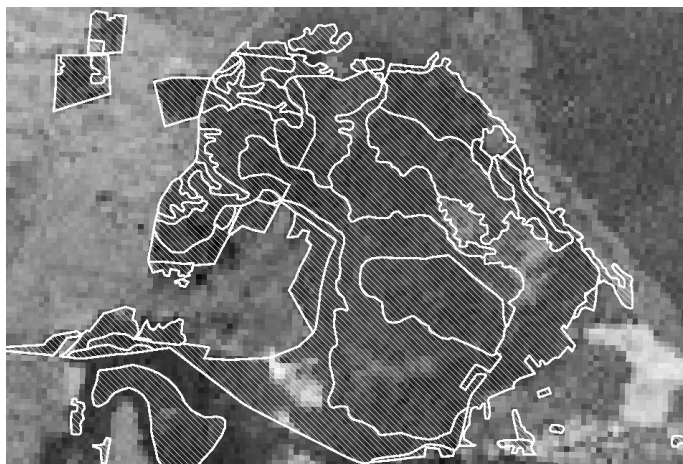
sensor	Zakres spektralny	Ilość kanałów	Rozdzielczość przestrzenna	Data rejestracji
LANDSAT MSS	0.50 – 1.10	4	60	31.05.1979
LANDSAT ETM+	0.45 – 2.35	6	30	13.06.2000

Spośród czterech obrazów LANDSATA dostępnych dla obszaru parku (1976, 1979, 1990, 2000) do porównań wybrane zostały dwa roczniki 1979 i 2000 ponieważ sceny te zostały zarejestrowane w tym samym okresie wegetacyjnym (przełom maja i czerwca).

W analizach zmian pokrycia terenu korzystano z wieloczasowych ortofotomap utworzonych na bazie archiwalnych i aktualnych zdjęć lotniczych obszaru SPN z lat 1964, 1975, 1984, 1995/97, 2004. Ponadto użyte zostały wektorowe mapy tematyczne wraz z bazą opisową, pozyskane z zasobów SPN (Rys. 1). Wykorzystano także wektorowe mapy form wydmych dla rocznika 2004 (Michałowska 2007).

3. PRZETWARZANIE OBRAZÓW SATELITARNYCH

Ortofotomapy LANDSATA z roku 1979 i 2000 przetworzone zostały w programie *ENVI* (*Environment for Visualizing Images*), *IDRISI* i *PCI Geomatica*. W celu minimalizacji wpływu atmosfery na wartości odbicia zarejestrowanego na obrazach poddano korekcji atmosferycznej, wykorzystując moduł *ATCOR 2* programu *PCI Geomatica* (Richter, 1996).



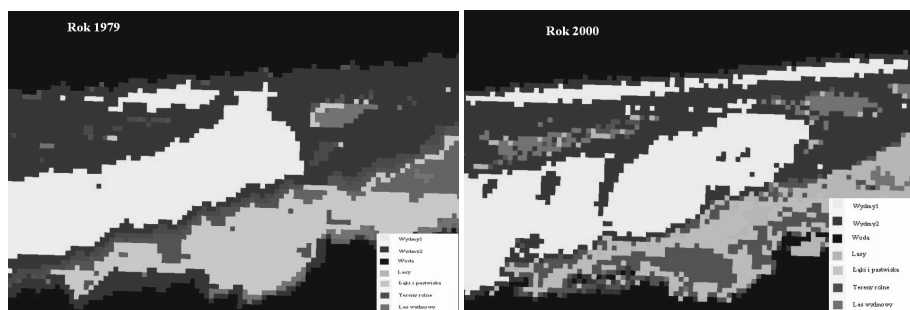
Rys. 1. Fragment wektorowej warstwy tematycznej zbiorowiska leśne.

Obraz Landsata z roku 2000 został poddany procesowi resamplingu metodą najbliższego sąsiada (*Nearest Neighbour*). Z piksela o rozmiarze 30 metrów uzyskano piksel 60 metrowy odpowiadający rozmiarowi piksela obrazu z 1979. Proces resamplingu przeprowadzono w przypadku obrazu Landsata z roku 1979 z tą różnicą, że z piksela 60-cio metrowego uzyskano piksel 30- sto metrowy.

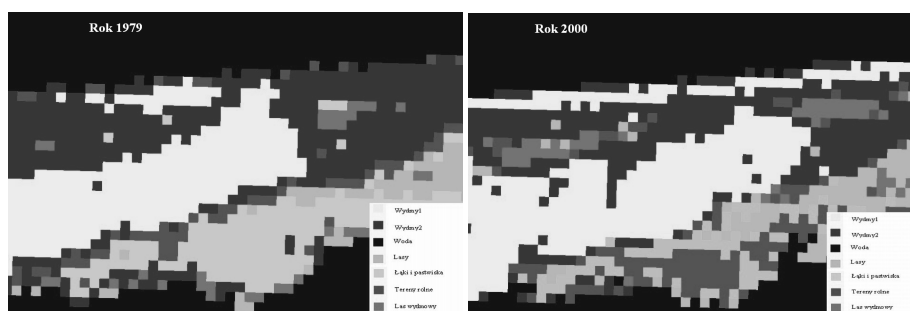
W wyniku opisanych operacji uzyskano dwa zestawy obrazów o rozdzielczości piksela 30 m (rocznik 1979 i 2000) i 60 m (rocznik 1979 i 2000), dla których wygenerowane zostały kompozycje barwne w barwach naturalnych i umownych (kanały: 1-2-3, 4-3-2). W programie *ENVI* przeprowadzono klasyfikację nienadzorowaną metodą *K-Means*. Na podstawie kompozycji barwnych wstępnie przygotowano lokalizacje pól treningowych dla następujących klas:

- Wydmy 1 (wydmy ruchome, odkryty piasek)
- Wydmy 2 (pola wydmowe częściowo pokryte roślinnością)
- Woda
- Lasy (inne niż wydmowe)
- Łąki i pastwiska
- Tereny rolne
- Las wydmowy (lasy mieszane i bory na wydmach nadmorskich)

Następnie korzystając z wyników klasyfikacji nienadzorowanej, wektorowych warstw tematycznych (zbiorowiska leśne i nieleśne) oraz ortofotomap (ze zdjęć lotniczych z lat 1975 i 2004) zweryfikowano i ostatecznie zdefiniowano właściwe pola treningowe. Na ich podstawie wykonano klasyfikację nadzorowaną metodą *Maximum Likelihood*, uzyskując cztery mapy pokrycia terenu o rozdzielczości piksela 30 m i 60 m dla każdego rocznika. Wybrane fragmenty przedstawiono na rysunkach (Rys. 2 i Rys. 3).

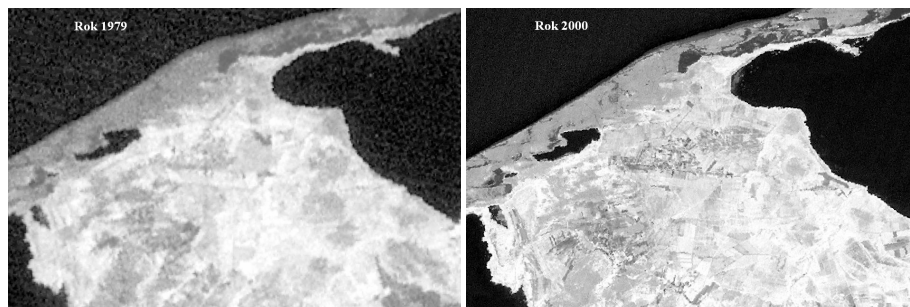


Rys. 2. Pas wydm ruchomych -wyniki klasyfikacji nadzorowanej dla scen z roku 1979 i 2000 (rozdzielczość piksela 30 m).

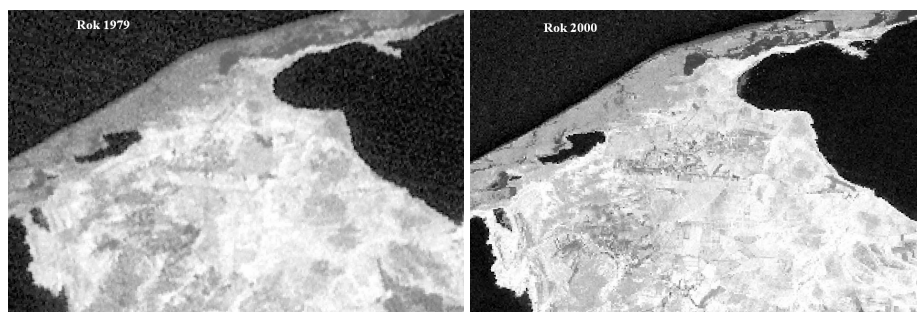


Rys. 3. Pas wydm ruchomych -wyniki klasyfikacji nadzorowanej dla scen z roku 1979 i 2000 (rozdzielczość piksela 60 m)

Dla scen z obydwu roczników wygenerowano również obrazy indeksów wegetacji (NDVI) z kanałów MSS 2 ($0.60\div 0.70\ \mu\text{m}$) i 4 ($0.80\div 1.10\ \mu\text{m}$) oraz ETM+ kanał 3 ($0.63\div 0.69\ \mu\text{m}$) i kanał 4 ($0.76\div 0.90\ \mu\text{m}$). Wszystkie mapy zostały zapisane w formacie *geotiff* i dołączone do bazy danych utworzonej i opisanej przez (Michałowska, Głowienka, 2007), a ich wybrane fragmenty zaprezentowano na rysunkach (Rys. 4 i Rys. 5).

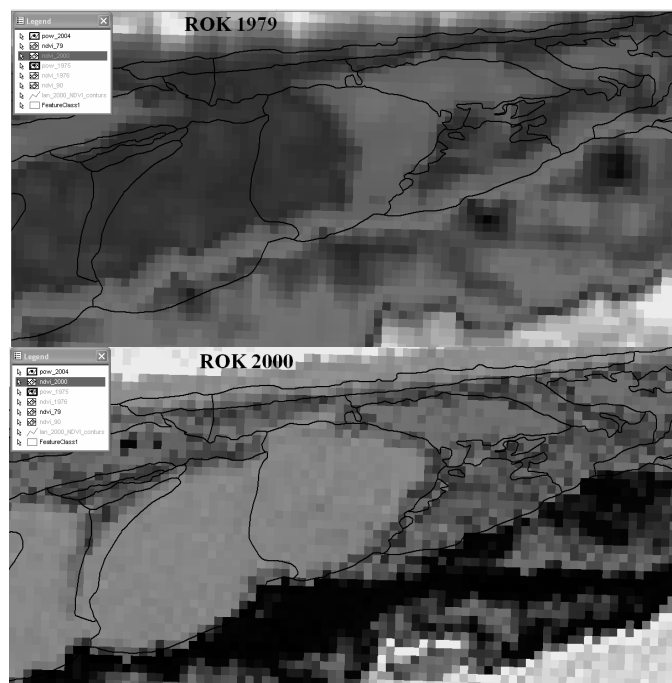


Rys. 4. Indeks wegetacji NDVI z lat 1979 i 2000 (piksel 30 m).



Rys. 5. Indeks wegetacji NDVI z lat 1979 i 2000 (piksel 60 m).

Wyniki współczynnika wegetacji wykorzystano do przeprowadzenia analizy zmian środowiska dla lat 1979 i 2000. Na obrazy indeksów wegetacji nałożona została wektorowa mapa form wydmych, co znacznie ułatwiło identyfikację zmian, głównie położenia wydym.



Rys. 6. Indeks wegetacji NDVI dla scen z roku 1979 i 2000 (30-metrowy) z nałożoną warstwą wektorową form wydmych.

Mapy pokrycia terenu (1979 i 2000) poddano analizie w środowisku IDRISI i otrzymano wartości liczbowe powierzchni zajmowanych przez zdefiniowane klasy

pokrycia terenu w danym roczniku. Analizę przeprowadzono dla obrazów z pikselem 30 i 60 m. Na ich podstawie określono udział procentowy każdej klasy w poszczególnych latach (Tab.2).

Tab 2. Udział powierzchniowy klas w [ha] i [%] na mapach pokrycia terenu z pikselem 30 m.

klasa	rok 1979 [ha]	%	rok 2000 [ha]	%
wydmy 1	289.2	0.9	273.6	0.8
wydmy 2	1809.0	5.6	1574.4	4.9
woda	19479.6	60.3	20138.5	62.3
lasy	4976.2	15.4	4661.7	14.4
Łąki, pastwiska i tereny rolne	3757.1	11.6	3537.2	10.9
las wydmowy	2008.2	6.2	2133.8	6.6

Tab 3. Udział powierzchniowy klas w [ha] i [%] na mapach pokrycia terenu z pikselem 60 m.

klasa	rok 1979 [ha]	%	rok 2000 [ha]	%
wydmy 1	329.0	1.0	287.5	0.9
wydmy 2	1728.7	5.4	1410.1	4.4
woda	19372.8	60.1	20214.5	62.7
lasy	5290.7	16.4	4861.8	15.1
Łąki, pastwiska i tereny rolne	3603.1	11.2	3454.6	10.7
las wydmowy	1912.9	5.9	2008.7	6.2

Tab 4. Zmiany powierzchni w stosunku do 1979 r.

klasa	piksel 30 m		piksel 60 m	
	2000-1979 [ha]	zmiany [%]	2000-1979 [ha]	zmiany [%]
wydmy 1	-15.6	-5.4	-41.5	-12.6
wydmy 2	-234.6	-13.0	-318.6	-18.4
woda	658.9	3.4	841.7	4.3
lasy	-314.5	-6.3	-428.9	-8.1
Łąki, pastwiska i tereny rolne	-219.9	-5.9	-148.5	-4.1
las wydmowy	125.6	6.3	95.8	5.0

4. ANALIZA I DYSKUSJA WYNIKÓW

Na rysunku (Rys. 6) zaobserwować można aktywność wydm ruchomych (przedstawione w ciemnych odcieniach szarości), które wkraczają na tereny pokryte roślinnością (jasne odcienie szarości). Na podstawie analizy współczynnika wegetacji można stwierdzić, iż najbardziej widoczne zmiany nastąpiły w strefie wydm ruchomych. Z porównania obrazów NDVI wynika, iż okres 21 lat jest zbyt krótki aby można było zaobserwować istotne zmiany poszczególnych form pokrycia terenu występujących na terenie Parku. Tylko dla najbardziej aktywnych elementów środowiska SPN jakimi niewątpliwie są ruchome wydmy dynamika zmian jest wyraźnie widoczna.

Ujednolicone pod względem wielkości piksela wyniki klasyfikacji nadzorowanej zostały poddane analizie. Procentowe różnice zajmowanej powierzchni przez poszczególne klasy w danym roczniku po resamplingu piksela z mniejszego na większy (30m na 60m) mieszczą się w granicach od -0.50 % do 0.66 % (Tab 2 i Tab 3). Odwrotna operacja czyli zmniejszenie piksela skutkowało nieco większym przedziałem od -0.56 % do 1.01 %..

Uwzględniając zarówno rocznik jak i wielkość piksela na mapach pokrycia terenu przeanalizowano udział procentowy powierzchni poszczególnych klas. W 1979 roku powierzchnia zajmowana przez aktywne wydmy, pola odkrytego piasku oraz plażę, a także wydmy częściowo pokryte roślinnością wynosiła łącznie 6,49% (na obrazie z pikselem 30 m, Tab 2) i 6,38% (na 60 metrowym obrazie klasyfikacji, Tab 3). Klasa wody zajmowała odpowiednio 60,27% i 60,09 % obszaru Parku. Natomiast lasy iglaste, liściaste oraz wydmy pokrywały 15,40% i 16,41% analizowanego terenu. Udział procentowy łąk, pastwisk i terenów rolnych wynosił 11,62% i 11, 18%.

W przypadku roku 2000 na obrazach 30 i 60 metrowych, klasy: wydmy 1 oraz wydmy 2 zajmowały razem 5.72 % i 5.27 % powierzchni Parku. Woda stanowiła odpowiednio 62,31% i 62,71% powierzchni obszarów chronionych. Lasy zajmowały łącznie 21,02% oraz 21,31 %. Natomiast łąki, pastwiska oraz tereny rolne pokrywały 10,94% i 10,72% powierzchni całkowitej Parku.

Udział procentowy powierzchni zajmowanych przez poszczególne klasy w granicach obszaru Parku uległ niewielkim zmianom tj. od -1.84 do 2.04 % dla obrazów z pikselem 30 metrowym (Tab 2) oraz od -1.62 do 2.62 % dla obrazów 60 metrowych (Tab 3). Można zatem stwierdzić, iż udział powierzchniowy klas w analizowanym okresie jest względnie stały. Ponadto porównując udział procentowy powierzchni poszczególnych klas można zauważyć, iż proces resamplingu z mniejszego piksela na większy i na odwrót nie miał istotnego wpływu na wyniki klasyfikacji.

Zmiany jakie można rozpatrywać, to zmiany powierzchni danej klasy w stosunku do powierzchni zajmowanej przez tą klasę w roku 1979 (Dontree 2003). Po obliczeniu różnicy powierzchni (w ha) pomiędzy analizowanymi rocznikami wyliczono % zmian w stosunku do roku 1979 (Tab 4). Na podstawie obliczonych różnic można stwierdzić, że powierzchnia zajmowana przez klasę wydmy 1 pomniejszyła się o 16 ha, co stanowi zaledwie 5,4% zmiany powierzchni w stosunku do roku 1979. W przypadku wydm 2 powierzchnia zmniejszyła się z 1809 ha do 1574 ha (tj. 13%). Natomiast dla klasy lasy (inne niż wydmy) oraz łąki i pastwiska zaobserwowano ubytek powierzchni rzędu 315 ha i 220 ha, co stanowi w obu przypadkach około 6%. Powierzchnia lasu wydmy zwiększyła się o 126 ha (6%).

5. PODSUMOWANIE

Analiza stopnia pokrycia badanego obszaru przez zdefiniowane klasy na mapach pokrycia terenu z lat 1979 i 2000 (o rozdzielczości 30m i 60 m) wykazała, że w roku 2000 wydmy aktywne, częściowo porośnięte roślinnością oraz plaże zajmowały 5-6% powierzchni Parku (Tab 2 i Tab 3). Lasy (w tym iglaste, liściaste i wydymowe) zajmowały łącznie około 21% badanego obszaru. Łąki, pastwiska i tereny rolne pokrywały 10,5 % powierzchni całkowitej Parku. Woda stanowiła blisko 63% powierzchni obszarów chronionych. Z porównania z rokiem 1979 wynika, iż zauważalne zmiany nastąpiły w przypadku lasów, których udział procentowy po 21 latach wzrósł o 4÷6% .

Amplituda zmian udziału procentowego powierzchni zajmowanej przez poszczególne klasy w granicach obszaru Parku mieści się w przedziale od -1.84 do 2.62 % (Tab 2). Wynika z tego, iż powierzchnie danych klas są względnie stałe, zmienia się natomiast ich położenie. Ponadto porównując udział procentowy powierzchni danych klas można zauważyć, iż proces resamplingu z mniejszego piksela na większy i na odwrót nie miał istotnego wpływu na wyniki klasyfikacji.

Na podstawie porównania obrazów indeksu wegetacji oraz map pokrycia terenu stwierdzono, iż analizowany okres dwudziestu jeden lat jest zbyt krótki aby można było zaobserwować istotne zmiany poszczególnych form pokrycia terenu występujących na terenie Parku. Tylko dla najbardziej aktywnych elementów środowiska SPN takich jak ruchome wydmy zmiany są wyraźnie widoczne i możliwe do zmierzenia.

6. LITERATURA

- 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, Istambuł 2004.
- Dontree, S. (2003). Land use dynamics from multi temporal remotely-sensed data: a case study Northern Thailand, *proceedings of the First RS and GIS Conference*, Kuwait.
- Głowienka E., Michałowska K., 2003. Zastosowanie Systemów Informacji Przestrzennej w kształtowaniu i ochronie środowiska na przykładzie powiatu stalowowolskiego. *Inżynieria Środowiska* 2003 t. 8 z. 1 s. 73–85
- 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.
- Michałowska K., Głowienka E., 2006. Geograficzny System Informacji (GIS) w zarządzaniu, monitorowaniu i ochronie środowiska *Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych*, Kraków, 2006.
- Michałowska K., 2007. Analizy przestrzenno-czasowe zmian środowiska na terenie Słowińskiego Parku Narodowego w latach 1951-2004. *IV Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacyjne „Geoinformatyka – badania, zastosowania i kształcenie”*, Dobczyce k. Krakowa, 2007.
- Michałowska K., Głowienka E., Mikrut S., 2007. Opracowanie technologii przetwarzania archiwalnych materiałów fotogrametrycznych do badań zmienności krajobrazu na przykładzie Słowińskiego Parku Narodowego. *IV Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacyjne „Geoinformatyka – badania, zastosowania i kształcenie”*, Dobczyce k. Krakowa, 2007.
- Mitasova, H., Drake, T., Harmon, R., Bernstein, D., 2004. Quantifying rapid changes in coastal topography using modern mapping techniques and GIS. *Environmental and Engineering Geoscience* 10, s. 1–11.

- Mitasova H., Overton M., Harmon R., 2005. Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina. *Geomorphology* 72, s. 204–221
- 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. *IEEE International Volume 6, Issue*, 20-24 Sept. 2004, s. 3642 - 3645.
- Sanjeevi S., 2000. Integrated GIS and Airborne Remote Sensing - A Tool for Coastal Conservation and Management in South Wales, UK, *Map India 2000 Proceedings*, April 2000, New Delhi, India.
- Zanutta A., Baldi P., Bitelli G., Cardinali M., Carrara A., 2006. Qualitative and quantitative photogrammetric techniques for multi-temporal landslide analysis. *Annals Of Geophysics, VOL. 49, N. 4/5*, August/October 2006.

THE POSSIBILITY OF ENVIRONMENTAL CHANGES MONITORING USING GIS TOOLS FOR SLOWINSKI NATIONAL PARK

KEY WORDS: multitemporal data, aerial photography, DTM, orthophotomaps, database, GIS

SUMMARY: The article presents methodology of processing and application of multitemporal satellite data for the monitoring of changes in selected environment elements in the Słowiński National Park. In the first stage of work, Landsat images from 1979 and 2000 were subjected to atmospheric correction, and then to the process of pixel resampling from 30 m to 60 m, and vice versa. LANDSAT images (UTM arrangement) were utilized for generating images: NDVI vegetation index. Based on the generated colour compositions in natural and pre-arranged colours, results of non-supervised classification, NDVI results, and analysis of orthophotomaps obtained from air images, there were seven classes of area coverage defined. Next, using the ENVI programme, supervised classification was conducted, and its results were used for the analysis of changes in the Park area coverage. Taking into account both the year, in which images were made and the size of pixels on area coverage maps, the percentage share of areas of particular classes was analysed. Based on the review of NDVI results, it was found that the dynamics of changes in the analysed period of twenty-one years is clearly visible in the case of the most active elements of the Park environment, that is migrating dunes. The analysis of area coverage maps from 1979 and 2000 revealed that noticeable changes took place as regards forests, whose percentage share was increased by 4-6% after 21 years.

Mgr inż. Ewa Głowienka
eglo@agh.edu.pl
telefon: +48126172288
fax: +48126173993

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