

**MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WIELOCZASOWYCH OBRAZÓW
ZNORMALIZOWANEGO INDEKSU WEGETACJI (NDVI)
I ARCHIWALNYCH OROFOTOMAP DO BADANIA ZMIENNOŚCI
WYBRANYCH ELEMENTÓW ŚRODOWISKA**

**A POSSIBILITY OF USING TEMPORAL IMAGES OF NORMALISED
DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) FOR DETECTION OF
ENVIRONMENTAL CHANGES**

Krystyna Michałowska, Beata Hejmanowska

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

SŁOWA KLUCZOWE: Słowiński Park Narodowy (SPN), NDVI, ortofotomapy lotnicze, GIS, zmiany pokrycia terenu.

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono badania mające na celu ocenę możliwości wykorzystania wieloczasowych indeksów wegetacji NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) w badaniu zmienności wybranych elementów środowiska na przykładzie analizy zmian strefy brzegowej jezior SPN oraz przemieszczania się wydm. Jeziora w Słowińskim Parku Narodowym, obok wydm nadmorskich, stanowią jeden z podstawowych elementów krajobrazu i zajmują blisko 30% powierzchni całkowitej Parku. Największe z nich, Łebsko jest trzecim, co do wielkości jeziorem w Polsce. Na przestrzeni lat obserwuje się proces sukcesywnego zmniejszania powierzchni zbiorników jeziornych w wyniku ciągłego wypłycania i zarastania przez roślinność. W badaniach, bazę danych stanowiły obrazy satelitarne oraz znormalizowany indeks wegetacji NDVI z lat 1979 i 2000, wieloczasowe ortofotomapy ze zdjęć lotniczych oraz wektorowa mapa zasobów wodnych. Wygenerowana różnicowa mapa NDVI dała możliwość zlokalizowania obszarów, na których zaszły diametralne zmiany pokrycia terenu i określenia charakteru procesów powodujących te przekształcenia. Ortofotomapy lotnicze odzwierciedlające stan w pięciu kolejnych dekadach od 1964 do 2004 roku, umożliwiły wyznaczenie linii brzegowych jezior, a następnie określenie tempa i stopnia przekształceń powierzchni badanych zbiorników oraz pozwoliły na śledzenie przemieszczania się wydm. Ponadto, ortofotomapy z okresu 1975 i 2004 i uzyskane na ich podstawie mapy wektorowe linii brzegowej jezior, pozwoliły zweryfikować wyniki analizy mapy różnicowej NDVI.

1. WPROWADZENIE

Opracowanie dotyczy terenów Słowińskiego Parku Narodowego, którego jeziora stanowią około 30 % jego powierzchni. Szczególnym elementem krajobrazu Parku jest Mierzeja Łebska z wydmami, oddzielająca od morza wszystkie przybrzeżne jeziora tj. Łebsko, Gardno, Dołgie Wielkie i Dołgie Małe. Największe z nich, Łebsko jest trzecim, co do wielkości jeziorem w Polsce i zajmuje powierzchnię 7142 ha (długość 16,4 km, szerokość 7,6 km a maksymalna głębokość to 6,3 m). Przez Łebsko przepływa rzeka Łeba, natomiast przez Gardno rzeka Łupawa, które uchodzą do Bałtyku. Podobnie jak

jezioro Gardno jest zbiornikiem słonawowodnym. Obydwa jeziora połączone są z Morzem Bałtyckim za pomocą krótkich odcinków ujściowych Łeby i Łupawy. W czasie silnych sztormowych wiatrów wiejących od strony Bałtyku wody morskie mieszają się z wodami jezior. To okresowe zjawisko cofki, czyli wlewów słonawej wody morskiej przez koryta rzek wywołuje podniesienie lustra wody oraz niewielkie, zmienne zasolenie wód jeziornych. Miejscami zasolenie osiąga wartość nawet 10 promili (Matuszewska, 2001), co ma istotny wpływ na zmiany warunków życia organizmów żyjących w tych zbiornikach. Wysoki stopień eutrofizacji jezior wywołany jest dopływem materiału organicznego wnoszonego przez wpływające rzeki, odprowadzeniem rowów melioracyjnych oraz na drodze splywu powierzchniowego. Powierzchnia jezior Łebsko i Gardno ulega stopniowemu zmniejszaniu na skutek rozwoju szuwarów trzcinowych rosnących w przybrzeżnych płycznach i na podmokłych brzegach oraz osadzania się piasku na północnych brzegach Łebska, nawiewanego z przesuwających się w kierunku południowo-wschodnim wydm Mierzei Łebskiej (Piotrowska, 1997). Wydmy „wsypujące się” bezpośrednio do jeziora oraz ekspansja szuwarów przyczyniają się do ograniczania powierzchni lustra wody, od 0,3 do 3 m/rok (Miszalski, 1973). Z danych Schechtla wynika, iż jezioro Łebsko od 1884 do 1920 roku (36 lat) zmniejszyło się wskutek zarastania o 104 ha (Shechtel, 1984), a od roku 1941 o około 382 ha (Matuszewska, 2001). Proces wypłacania zbiornika obserwowany jest stale i na całym jego obszarze.

W artykule przedstawiono badania strefy brzegowej jezior SPN prowadzone w aspekcie możliwości wykorzystania wieloczasowych obrazów znormalizowanego indeksu wegetacji (NDVI) i archiwalnych ortofotomap lotniczych do określenia stopnia przekształcenia linii brzegowej zbiorników wodnych.

2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW i METOD BADAWCZYCH

2.1. Dane i oprogramowanie

W projekcie wykorzystano materiały wchodzące w skład bazy danych utworzonej w ramach wcześniejszych prac badawczych (Michałowska, Głowienka, 2007):

- ortofotomapy uzyskane na podstawie zdjęć lotniczych z lat 1964, 1975, 1984, 1995/97 i 2004 (średni błąd kwadratowy określenia położenia punktu: poniżej 0,5 m) (Michałowska *et al.* 2007),
- ortofotomapy satelitarne z systemu LANDSAT MSS z roku 1979 oraz LANDSAT +ETM z roku 2000 (Tabela 1),
- obrazy indeksu wegetacji NDVI utworzone na podstawie ortofotomap satelitarnych,
- wektorowa mapa zasobów wodnych (rzeki, kanały, jeziora na terenie Parku) pozyskana z zasobów SPN.

Tabela 1. Charakterystyka sensorów Landsat MSS i ETM+

sensor	Zakres spektralny	Ilość kanałów	Rozdzielczość przestrzenna	Data rejestracji
LANDSAT MSS	0.50 – 1.10	4	79	31.05.1979
LANDSAT ETM+	0.45 – 2.35	6	30	13.06.2000

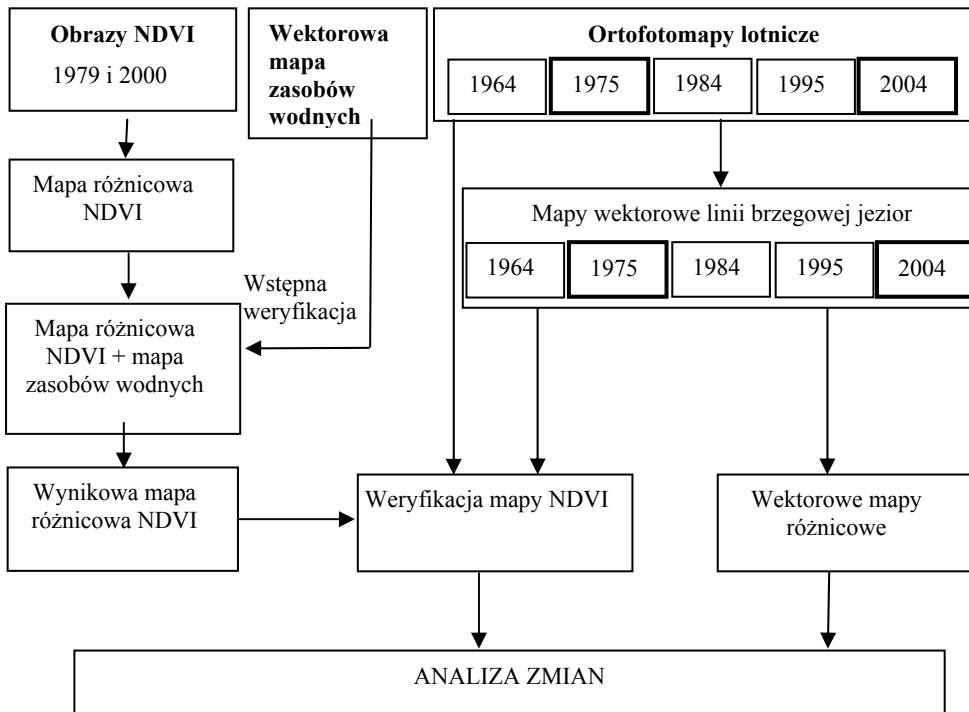
Wszystkie dane zgromadzone zostały w środowisku GIS. Do wektoryzacji nowych obiektów wykorzystywano oprogramowanie firmy INTERGRAPH, GeoMedia v.6.0 (GM). Analizy przestrzenne na danych wektorowych, rastrowych oraz ortofotomapach lotniczych wykonano w GM. Natomiast przetwarzanie obrazów satelitarnych wykonano w programie ENVI v. 4.3 firmy RSİ.

2.2. Metodyka

Celem badań była ocena możliwości wykorzystania wieloczasowych indeksów wegetacji NDVI w badaniu zmian linii brzegowej zbiorników wodnych. Na podstawie wstępnie przetworzonych i ujednoliconych danych satelitarnych (Michałowska, Głowienka, 2007) wygenerowano różnicową mapę znormalizowanego indeksu wegetacji poprzez odjęcie od wartości NDVI z 2000 roku wartości NDVI z roku 1979. W następnej kolejności wartości różnic grupowano w celu określenia obszarów charakteryzujących się wzrostem wegetacji, jej zanikiem lub pozostających bez zmian. Przedziały wartości różnic ustalano weryfikując wynik przyjętej kategoryzacji z danymi zawartymi na wektorowej mapie zasobów wodnych SPN.

W dalszym etapie, na podstawie ortofotomap lotniczych, zwektoryzowano linię brzegową wszystkich czterech jezior znajdujących się na terenie SPN. Ze względu na charakter badań, mających na celu analizę stopnia i tempa zmian powierzchni wody jezior, zwektoryzowano linie na styku wody i brzegu lub wody i roślinności sukcesywnie zarastającej zbiornik. Nowe obiekty odzwierciedlały więc aktualną (dla każdego z pięciu roczników) powierzchnię lustra wody badanych jezior. Wykorzystując funkcje GM utworzono cztery wektorowe mapy różnicowe (Michałowska, 2007) przedstawiające wielkość przesunięcia linii brzegowej w poszczególnych dekadach. Tego rodzaju mapy mogą być podstawą do określania tempa zmian strefy brzegowej poprzez pomiar przesunięcia konturów poszczególnych odcinków brzegowych.

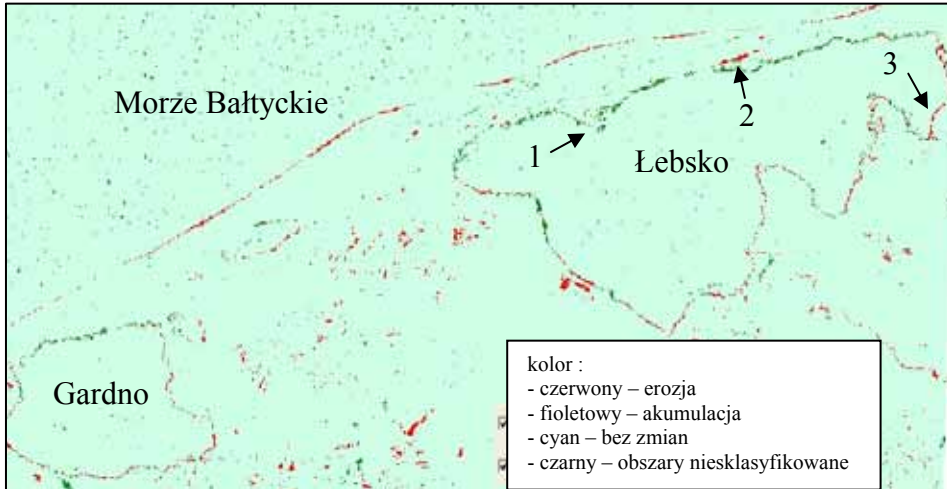
Weryfikację rastrowej mapy różnicowej NDVI przeprowadzono metodą wizualną porównując uzyskane kategorie z wektorową mapą różnicową i z ortofotomapą lotniczą. Mapa różnicowa NDVI posłużyła również do określania tempa zmian strefy brzegowej jezior.



Rys. 1. Etapy przetwarzania danych

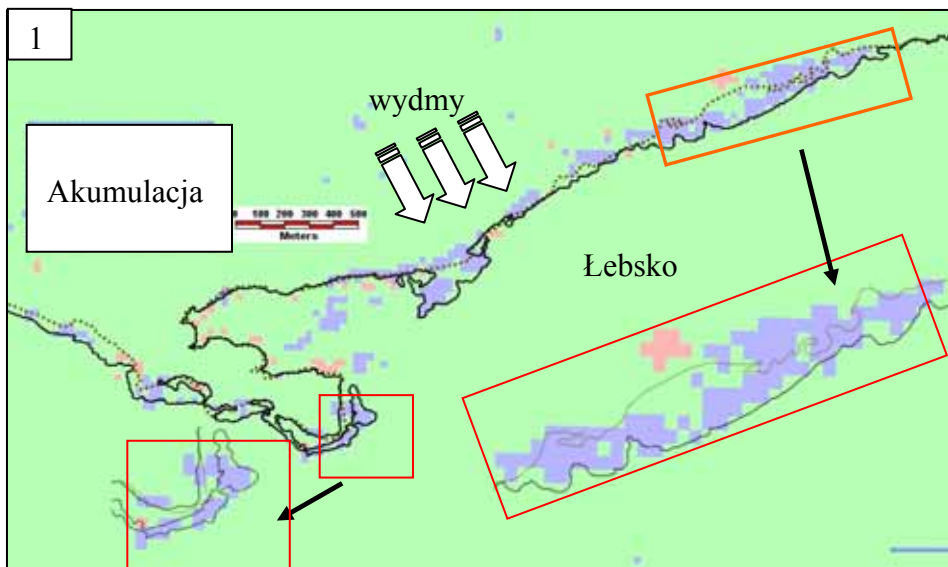
3. WYNIKI

Wynikową mapę różnicową NDVI wyświetlono w czterostopniowej skali barwnej (Rys. 2). Przyjęto, iż przedział wartości NDVI od -0,41 do 0,41 oznacza brak intensywnych zmian wegetacji na danym terenie (kolor cyan). Dwa przedziały (-0,81 do -0,41) oraz (0,41 do 1,0) odnoszą się do obszarów, na których zaszły diametralne zmiany pokrycia terenu. Pierwszy z nich wskazuje miejsca, gdzie nastąpił całkowity zanik wegetacji (kolor czerwony). Drugi przedział, z wartościami dodatnimi (kolor fioletowy), dotyczy obszarów o bardzo intensywnym wzroście wegetacji. Wartości NDVI poniżej -0,81 odnoszą do obszarów niesklasyfikowanych (kolor czarny). W celu weryfikacji przyjętej kategoryzacji zmian, wynikową mapę różnicową wyświetlono w połączeniu z wektorową mapą zasobów wodnych SPN, co pozwoliło na wstępne sprawdzenie zgodności pokrycia się konturów brzegowych jezior z konturami widocznymi na użytym obrazie. Odpowiednio zdefiniowane przedziały wartości pozwoliły na uzyskanie mapy najbardziej intensywnych zmian pokrycia terenu na badanym obszarze.

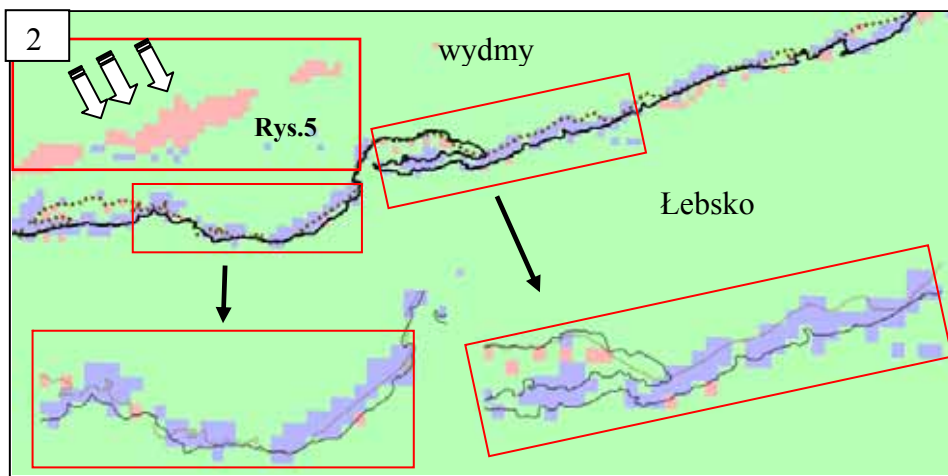


Rys. 2. Różnicowa mapa znormalizowanego indeksu wegetacji (NDVI z roku 2000 NDVI z roku 1979) przedstawiająca najbardziej radykalne zmiany wegetacji w badanym okresie; cyframi: 1, 2 i 3 oznaczono obszary przedstawione w powiększeniu na rysunkach: Rys. 3, Rys. 4, Rys. 5 i Rys. 6

Wynikowy obraz różnicowego NDVI odczytano w programie GM równocześnie z wektorowymi mapami powierzchni jezior utworzonymi na podstawie ortofotomap lotniczych. Przy czym, weryfikacji konturów na obrazie różnicowego indeksu wegetacji dokonano na podstawie map wektorowych z lat 1975 i 2004. Mapy z tych właśnie roczników wybrano ze względu na porównywalny interwał czasowy różnicowej mapy NDVI (1979 i 2000). Na rysunkach (Rys. 2, Rys. 3) przedstawiono fragmenty mapy NDVI z nałożoną warstwą wektorową powierzchni jeziora Łebsko z lat 1975 (linia przerywana) i 2004 (linia ciągła), gdzie widać, iż wektorowe kontury linii brzegowej pokrywają się z konturami rastrowymi NDVI (kolor fioletowy). Wyraźne przesunięcie linii brzegowej od 1975 do 2004 roku w głąb jeziora świadczy o akumulacyjnym charakterze zmian, co potwierdzają także dodatnie wartości NDVI (kolor fioletowy) na danym odcinku brzegu.



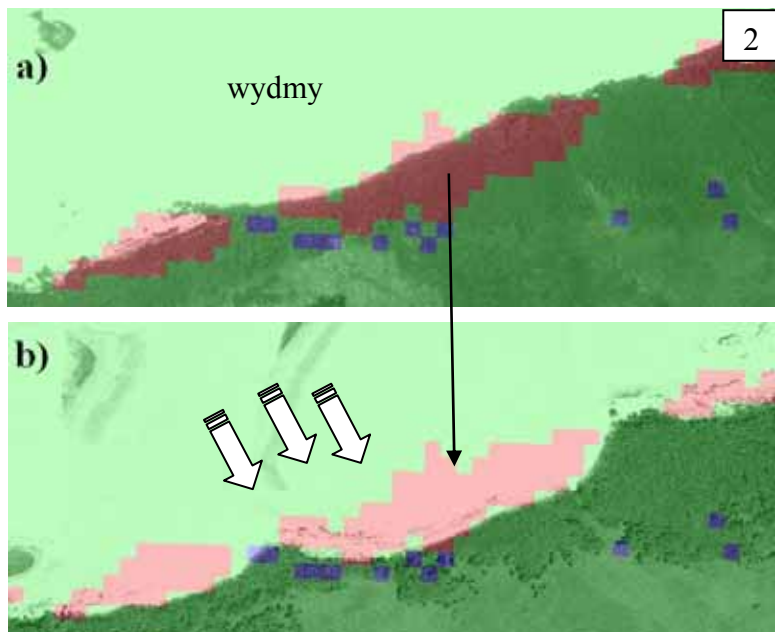
Rys. 3. Mapa różnicowa NDVI z nałożoną warstwą wektorową linii brzegowej z roku 1975 (linia przerywana) i 2004 (linia ciągła) jeziora Łebsko (dodatknie wartości wskazujące na wzrost wegetacji oznaczono kolorem fioletowym – akumulacja)



Rys. 4. Mapa różnicowa NDVI z nałożoną warstwą wektorową odcinka linii brzegowej jeziora Łebsko z roku 1975 (linia przerywana) i 2004 (linia ciągła), (dodatknie wartości wskazujące na wzrost wegetacji oznaczone kolorem fioletowym – akumulacja, zanik wegetacji – kolor czerwony, powiększenie na 0)

Kolejnym krokiem było nałożenie różnicowej mapy NDVI na ortofotomapy z lat 1975 i 2004, co umożliwiło dodatkową kontrolę poprawnej interpretacji obszarów o intensywnym wroście lub zaniku wegetacji. Przedstawiony na rysunku (Rys. 5a) obszar, początkowo porośnięty lasem, został następnie zasypany przez ruchomą wydmy, co jest wyraźnie widoczne na ortofotomapie z 2004 roku (Rys. 5b). O intensywnych

zmianach pokrycia terenu w tym miejscu świadczą również ujemne wartości na mapie NDVI (czerwony kolor).



Rys. 5. Całkowity zanik wegetacji widoczny na fragmencie różnicowej mapy NDVI nałożonej na ortofotomapy z podobnego okresu - tereny porośnięte przez las (a), zasypane następnie przez wydmy (b)

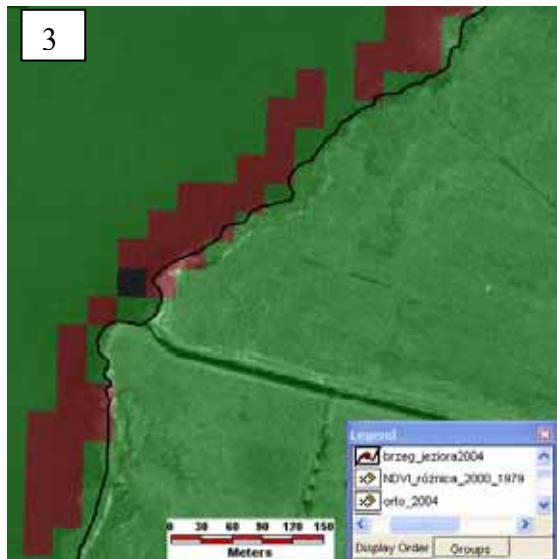
4. ANALIZA ZMIAN I Dyskusja Wyników

Ilościową analizę zmian położenia linii brzegowej jeziora Łebsko przeprowadzono dwoma metodami wykorzystując rastrową mapę różnicową NDVI uzyskaną z ortofotomap satelitarnych i wektorową mapę różnicową z ortofotomap lotniczych.

4.1. Rastrowa mapa różnicowa NDVI

Jak wynika z analizy różnicowej mapy NDVI (Rys. 2) wzdłuż pasa brzegowego jezior oraz brzegu morskiego (nie analizowanego tak szczegółowo, jak jezior, w niniejszej publikacji) zaszły intensywne zmiany pokrycia terenu. Wielkość tych przekształceń oraz ich charakter (erozyjny bądź akumulacyjny) był różny w zależności od miejsca występowania. Wysokie dodatnie wartości NDVI na północnych brzegach jezior SPN wskazują na dynamiczny wzrost wegetacji, który może być spowodowany procesem osadzania się piasku przesypanych z wydm i intensywnego rozwoju szuwarów trzcinowych na przybrzeżnych płycznach oraz podmokłych brzegach. Pomierzone wielkości przesunięć linii brzegowej wskazują na cofanie się lustra wody w tempie od 1÷3 m/rok. Analizując różnicowy NDVI, można zaobserwować wyraźną tendencję akumulacji wzdłuż północnych brzegów jezior SPN. Obszary południowej strefy brzegowej jezior charakteryzują się w większości ujemnymi wartościami

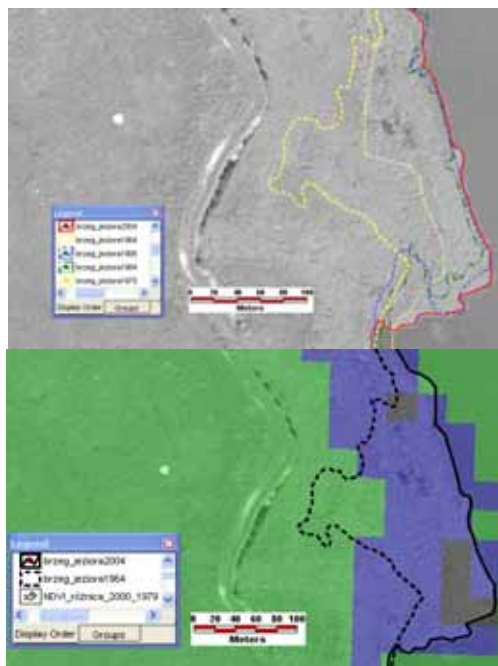
różnicowego NDVI (0). Kierując się wartościami różnicowego NDVI można łatwo określić obszary, gdzie nastąpiły istotne zmiany pokrycia terenu. Zgodność konturów brzegowych na mapie NDVI z danymi wektorowymi pozyskanymi na podstawie ortofotomap lotniczych, o większej rozdzielczości przestrzennej niż obrazy satelitarne LANDSAT, z których pochodzą mapy różnicowe NDVI wskazuje, iż zastosowana metoda obliczenia różnicy wieloczasowego indeksu wegetacji jest poprawna.



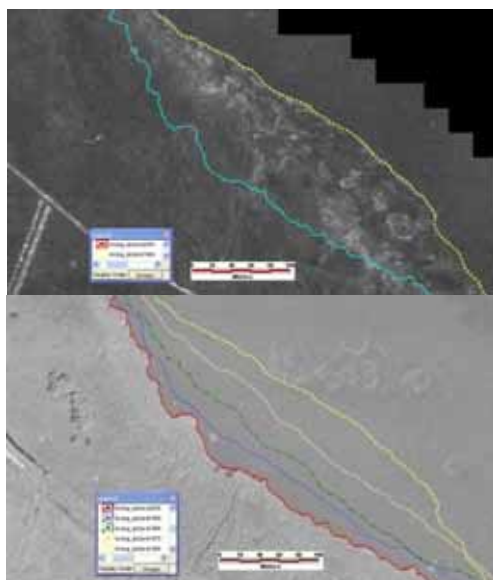
Rys. 6. Ujemne wartości NDVI na mapie różnicowej nałożonej na ortofotomapę z 2004 roku wskazujące na proces erozji wybranego odcinka brzegowego jeziora Łebsko

4.2. Ortofotomapy lotnicze i utworzone na ich podstawie mapy wektorowe

Z punktu widzenia możliwości interpretacji wizualnej, ortofotomapy lotnicze stanowią materiał jakościowo lepszy niż mapy NDVI. Linie brzegową jezior i granice wydm można z łatwością zinterpretować i z dużą dokładnością przestrzenną zwektoryzować. W związku z tym wektorowe mapy powierzchni jeziora Łebsko posłużyły do analizy zmian jego linii brzegowej, głównie w aspekcie zmniejszenia się powierzchni lustra wody na przestrzeni 40 lat od roku 1964 do 2004. Z analizy wynika, iż wzdłuż północnego brzegu zbiornika przeważa proces akumulacyjny (Rys. 7). Pomierzone średnie wielkości przesunięć linii brzegowej wskazują na tempo zmniejszania się lustra wody o 0,9 -1 m/rok, a miejscami nawet 2÷3,8 m/rok. Proces wypłykania i zarastania zbiornika na brzegu południowym jest mniej dynamiczny i wynosi 0,3÷0,8 m/rok, choć zdarzają się odcinki gdzie lustro wody cofa się aż o 2,5 m/rok. Erozja w południowej części jeziora średnio wynosi 0,8 m/rok, a miejscami sięga nawet 2÷2,5 m. (Rys. 8).



Rys. 7. Akumulacja brzegowa widoczna na ortofotomapach z lat a) 1964 (kolor żółty – linia brzegowa a roku 1964, kolor czerwony – z roku 2004) i b) 2004 (linia przerywana – 1964, linia ciągła – 2004)



Rys. 8. Erozja brzegowa widoczna na ortofotomapach z lat: a) ortofotomapa z 1964 roku (kolor żółty linii brzegowej – 1964, kolor niebieski - 2004) i b) na ortofotomapie z roku 2004 (kolor żółty linii brzegowej – 1964, kolor czerwony – 2004)

5. PODSUMOWANIE

W podsumowaniu można przedstawić dwa aspekty prac badawczych. Jeden dotyczy analizy zmian wybranych elementów środowiska, w tym przypadku linii brzegowej jeziora Łebsko oraz wydm na północ od jeziora. Drugi jest związany z technologią, którą możemy wykorzystać w monitoringu zmian pokrycia terenu.

Jeśli chodzi o monitoring zmian to, w przypadku dość jednak prostych elementów jak: woda, piasek, roślinność, wykorzystanie zdjęć lotniczych wydaje się oczywiste. W wyniku przeprowadzonych badań tak też się okazało, tzn. archiwalne zdjęcia lotnicze stanowiły nieocenione źródło danych w tym przypadku. Można nawet uznać tego rodzaju informacje jako wzorcowe.

Z badawczego punktu widzenia interesujące wydaje się wykorzystanie mapy różnicowej NDVI, ze względu na potencjalną możliwość wykorzystania obrazów satelitarnych w analizie zmian przedmiotowych typów pokrycia terenu. Należy zatem zwrócić uwagę na bardzo dobrą zgodność pomiędzy wynikami uzyskanymi w oparciu o obrazy satelitarne i lotnicze. Zgodność konturów brzegowych na mapie NDVI z danymi wektorowymi pozyskanymi na podstawie ortofotomap lotniczych wskazuje, iż zastosowana metoda obliczenia różnicy wieloczasowego indeksu wegetacji jest poprawna i może być wykorzystywana do określenia stopnia przekształcenia linii brzegowej zbiorników wodnych, a także zmian na obszarach wydmy. Porównując wizualnie obie mapy różnicowe można zauważyć zgodność poszczególnych kategorii na mapie NDVI z rzeczywistymi zmianami linii brzegowej jeziora Łebsko i zmianami granicy wydmy na północy od jeziora (określonymi w oparciu o ortofotomapy lotnicze). Analiza ilościowa (po mimo niewielkiej rozdzielczości przestrzennej NDVI) również wykazała zgodność pomiędzy położeniem linii brzegowej wyznaczonej w oparciu o oba rodzaje danych jak wyżej.

Można zatem sformułować wniosek ogólny, że kierując się wartościami różnicowego NDVI można łatwo określić obszary, gdzie nastąpiły istotne zmiany pokrycia terenu.

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

6. LITERATURA

Matuszewska D., 2002. Słowiński Park Narodowy - *Spotkania z przyrodą, przewodnik kieszonkowy*. MULTICO, Warszawa.

Michałowska K. 2007. Analizy przestrzenno-czasowe zmian morfologicznych na terenie Słowińskiego Parku Narodowego latach 1964-2004. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 17*.

Michałowska K., Głowienka E., 2007. Integracja i przetwarzanie danych wieloczasowych w środowisku GIS. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 17*.

Michałowska K., Glowienka E., Mikrut S., 2007. Opracowanie technologii przetwarzania archiwalnych materiałów fotogrametrycznych do badań zmienności krajobrazu na przykładzie Słowińskiego Parku Narodowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 17.*

Miszalski J., 1973. Współczesne procesy wydymotwórcze na Pobrzeżu Słowińskim - studium fotointerpretacyjne. Dok. Geogr. IG PAN.

Piotrowska H., 1997. *Przyroda Słowińskiego Parku Narodowego*. Red. H. Piotrowska. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

Schechtel A., 1984. Plan Urządzenia Gospodarstwa Leśnego na okres 1.1.1983 do 31.12.1992. Słowiński Park Narodowy. I: część ogólna planu. Mscr., BULiGL, oddz. w Szczecinku.

A POSSIBILITY OF USING TEMPORAL IMAGES OF NORMALISED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) FOR DETECTION OF ENVIRONMENTAL CHANGES

Summary

The paper describes research aimed at assessing possibilities of utilising multi-temporal vegetation indices (NDVI) for investigating variability of certain selected environmental factors. Changes in coastal zones of lakes in the Slowinski National Park (Poland) were used to test the approach. In addition to the shore dunes, the lakes are the basic landscape components of the Park and occupy ca. 30% of the Park's total area. The largest of those lakes, the Łebsko, is the third largest lake in Poland. Over the years, the surface areas of the lakes has been changing distinctly and gradually reduced as a result of continuous shallowing and overgrowing by vegetation. The study database included satellite images and Normalized Difference Vegetation Index from 1979 and 2000 as well as multi-temporal orthophotomaps derived from aerial images and a vector map of water resources. The differential NDVI map which was generated provided an opportunity for identifying those areas subjected to drastic changes in land coverage, and for determining the nature of the causative processes. The orthophotomaps which reflect the state of the water bodies in five consecutive decades (1964-2004) made it possible to mark out shorelines of the lakes and then to determine the rate and extent of surface transformations of the lakes. In addition, the 1975 and 2004 orthophotomaps as well as the vector maps of the lake shorelines developed from them allowed to verify the results of analysing the NDVI differential map.

mgr inż. Krystyna Michałowska
e-mail: kmichalo@poczta.fm
tel. 696044460

dr hab. inż. Beata Hejmanowska
e-mail: galia@agh.edu.pl
tel. (012) 6172272
fax: (012) 633 17 91