

**OPRACOWANIE TECHNOLOGII PRZETWARZANIA ARCHIWALNYCH
MATERIAŁÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH DO BADAŃ ZMIENNOŚCI
KRAJOBRAZU NA PRZYKŁADZIE SŁOWIŃSKIEGO PARKU NARODOWEGO**

**TECHNOLOGY OF PROCESSING ARCHIVAL AERIAL PHOTOS FOR
CHANGES ANALYSIS OF SŁOWIŃSKI NATIONAL PARK LANDSCAPE**

**Krystyna Michałowska¹ Ewa Głowienka²
Sławomir Mikrut²**

¹ Katedra Geologii Ogólnej, Geoturystyki i Ochrony Środowiska

² Katedra Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: archiwalne zdjęcia lotnicze, aerotriangulacja, Numeryczny Model Terenu, fotogrametria cyfrowa.

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono technologię wykonania aerotriangulacji na bazie archiwalnych zdjęć lotniczych z lat 1951, 1964, 1975 i 1984, wykonanych w różnych skalach dla terenu Słowińskiego Parku Narodowego. Zdjęcia, w postaci diapozytywów, pozyskano z zasobów Zarządu Geografii Wojskowej w Warszawie. Jakość zdjęć w poszczególnych rocznikach była bardzo zróżnicowana. W celu podniesienia jakości opracowań fotogrametrycznych oraz możliwości fotointerpretacyjnych zastosowano metody przetwarzania obrazów cyfrowych. W pierwszym etapie przetwarzania zdjęć wykonano orientację wewnętrzną i wzajemną zdjęć dla wszystkich bloków. Ze względu na specyfikę terenów SPN pomiar punktów wiążących był w znacznym stopniu utrudniony (ponad 60% opracowywanego bloku zdjęć zajmują ruchome wydmy, wody Bałtyku oraz jezior Łebsko, Gardno). Z uwagi na brak możliwości wyrównania bloku aerotriangulacji w systemie DEPHOS, proces ten wykonano w środowisku ImageStation. Konieczne było transformowanie danych z formatu Dephos'a (pikselowe współrzędne punktów wiążących na poszczególnych zdjęciach) do formatu ImageStation. Transformacji współrzędnych dokonano przy pomocy programu TRANSPOL. Jakość zdjęć miała bezpośredni wpływ na dokładność pomiarów zarówno punktów wiążących jak i fotopunktów, a także interpretację szczegółów terenowych w późniejszym procesie generowania Numerycznego Modelu Terenu (NMT), który był podstawą analiz przestrzenno-czasowych krajobrazu Słowińskiego Parku cechującego się wyjątkowo silną dynamiką podłoża i roślinności. Prace były realizowane w ramach projektu KBN Nr N304 077 31/3060 „Modelowanie przestrzenne zmian wybranych elementów środowiska Słowińskiego Parku Narodowego”.

1. WPROWADZENIE

Fotogrametria cyfrowa pozwalająca na szybkie przetwarzanie i opracowywanie danych odgrywa dominującą rolę w procesie tworzenia oraz aktualizacji danych zwłaszcza dla Geograficznych Systemów Informacji (GIS). Zdjęcia lotnicze stanowią bowiem nieocenione źródło informacji umożliwiające prawidłową ocenę zarówno aktualnego stanu

środowiska jak i monitoring zmian zachodzących na przestrzeni lat, w przypadku obserwacji zdjęć archiwalnych (Bologna *et al.* 2004, Kim *et al.* 2006).

W artykule przedstawiono technologię przetwarzania archiwalnych materiałów fotogrametrycznych dla terenu Słowińskiego Parku Narodowego (SPN). Prace wykonano wykorzystując standardowe metody obróbki zdjęć lotniczych jak również rozwiązana fotogrametrii cyfrowej. Opracowane w ramach projektu archiwalne zdjęcia lotnicze z lat: 1951, 1964, 1975 i 1984 były podstawą w procesie tworzenia bazy danych wieloczasowych (Michałowska, Głowienka 2007) oraz w badaniach zmienności krajobrazu Słowińskiego Parku Narodowego znajdującego się w środkowej części polskiego brzegu Bałtyku, między Łebą a Rowami (Rys. 1). Park założony w 1967 roku zajmuje około 33 ha. Dużą część jego powierzchni (około 60%) stanowią wody Bałtyku oraz jezior, z których największe to Łebsko i Gardno. Istotną rolę w krajobrazie SPN odgrywa Mierzeja Łebska zbudowana głównie z wydym oraz zabagniona część Niziny Gardeńsko-Łebskiej (Piotrowska 1997).



Rys. 1. Mapa topograficzna obszaru SPN.

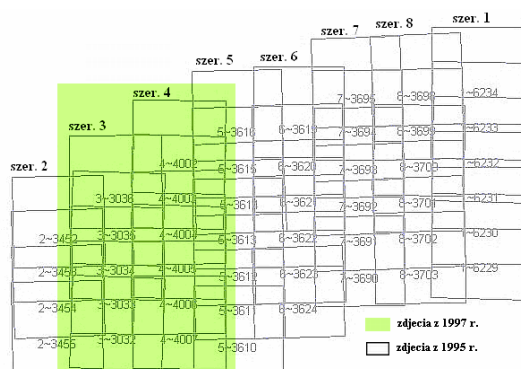
2. DANE ŹRÓDŁOWE

W projekcie zostały wykorzystane archiwalne zdjęcia lotnicze dla obszaru SPN z lat: 1951, 1964, 1975, 1984, które pozyskano w postaci diapozytywów z zasobów Zarządu Geografii Wojskowej w Warszawie. Zdjęcia posiadały różną skalę (Tab 1). Jakość materiałów w poszczególnych rocznikach była bardzo zróżnicowana. Serie z lat: 1951, 1964 do 1975 należy określić jako materiały o bardzo niskiej jakości zarówno radiometrycznej jak i geometrycznej, co wynika głównie z technologii wykonywania zdjęć w danym okresie. Metryki kalibracji kamer, którymi wykonane były zdjęcia z lat 1964, 1975 oraz 1984 pozyskano z Zarządu Geografii Wojskowej w Warszawie. Ponieważ materiał charakteryzował się dość znaczną różnorodnością, dokonano pewnego usystematyzowania danych. W tabeli (Tab 1) zawarto najważniejsze parametry kamer (obiektywów), przy pomocy których wykonane zostały zdjęcia lotnicze interesującego nas rejonu, na przestrzeni ostatnich 50 lat.

Tab 1. Ogólna charakterystyka kamer (obiektywów), którymi pozyskano zdjęcia

| Rocznik | 1951 | 1964 | 1975 | 1984 | 1995-97 | 2004 |
|---------------------------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Typ kamery | RC-5 | RC-8 | RC-5/8 | RC-10 | RC-20 | RC-20 |
| Stożek [mm] | 115.67 116.03 | 152.18 | 152.16 152.34 | 153.04 | 153.17 153.36 | 153.36 |
| Format zdjęć [cm] | 18 x 18 | 23 x 23 | 23 x 23 | 23 x 23 | 23 x 23 | 23 x 23 |
| Skala zdjęć | 1:25000 | 1:23000 | 1:29500 | 1:25000 | 1:26000 | 1:26000 |
| Dystorsja radialna [mm] | ok. 10 | do 10 | do 10 | do 10 | kilka | kilka |
| Średnia zdolność rozdzielcza (AWAR) [lp/mm] | 30 | 30 | 40 | 40 | 60 | 60 |
| Czas ekspozycji [s] | 1/300; 1/150 | 1/300; 1/150 | 1/300; 1/200 | Dowolnie nastawiany | Dowolnie nastawiany | Dowolnie nastawiany |
| Możliwość stosowania filtrów | Brak danych | Tak | Tak | Tak | Tak | Tak |
| System FMC i AMC | Brak | Brak | Brak | Brak | Tak | Tak |
| Wspomaganie GPS | Brak | Brak | Brak | Brak | Tak | Tak |

W projekcie wykorzystano także barwne zdjęcia lotnicze z obszaru SPN wykonane w ramach projektu PHARE w latach 1995/97 oraz aktualne czarne-białe zdjęcia z roku 2004, które zostały zakupione w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie. Zdjęcia z lat 90-tych wykonane były w dwóch różnych okresach: 6 szeregów w 1995 roku i dwa szeregi (szer. 3 i 4) w 1997 roku (Rys. 2). W procesie przetwarzania zdjęć archiwalnych (1951÷1984) korzystano z projektów aerotriangulacji bloków zdjęć z lat 90-tych i 2004. Aerotriangulacja dla rocznika 1995/97 została wykonana przez Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie, natomiast wyrównanie bloku zdjęć z roku 2004 wykonano w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH. Ponadto wykorzystano mapy topograficzne dla obszaru SPN w skali 1:10 000 (układ 1992), opracowane przez OPGK Rzeszów S.A. w roku 2002.



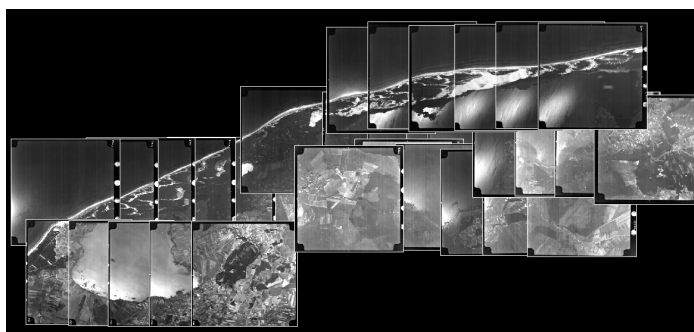
Rys. 2. Fotoszkiec dla zdjęć lotniczych z lat 90-tych.

3. PRZYJĘTA TECHNOLOGIA

3.1. Skanowanie zdjęć lotniczych oraz poprawa jakości radiometrycznej

Diapozytywy archiwalnych zdjęć lotniczych Słowińskiego Parku Narodowego (SPN) z lat 1951÷1984 (łącznie 160 szt.) zostały zeskanowane precyzyjnym skanerem fotogrametrycznym PHOTOSCAN TD firmy Intergraph/Zeiss z rozdzielczością piksela 14 μm w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH.

Z uwagi na fakt, iż wspomniane dane źródłowe z lat 1951 i 1964 charakteryzowały się stosunkowo niską jakością radiometryczną, konieczne były zabiegi poprawiające ich jakość. Obrazy poddano filtracji wzmacniającej krawędzie (użyto filtru „Usharp mask”) w programie Adobe Photoshop oraz wykorzystano filtry wygładzające, usuwające szumy (głównie skutki zadrapań i zarysowań emulsji na zdjęciach). W tym celu przefiltrowano obrazy przy pomocy maski „Gaussian Blur”, przy dobranym parametrze „Radius” równym 1.2 piksela (wielkość parametru ustalono na podstawie eksperymentów). Następnie celem dalszych analiz i projektowania fotopunktów wykonano cyfrowe fotoszkiece dla wszystkich roczników. Przykładowy fotoszkiec dla rocznika 1964 przedstawiono na rysunku (Rys. 3).



Rys. 3. Przykładowy fotoszkiec dla rocznika 1964.

3.2. Wyznaczenie elementów orientacji wewnętrznej

Kolejnym problemem napotkanym na etapie opracowywania danych było odtworzenie elementów orientacji wewnętrznej zdjęć. Zdjęcia z rocznika 1951 nie posiadały metryki kamery. Część danych udało się odzyskać dzięki bogatym zasobom archiwalnych metryk kamer dostępnych w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej, w którym kiedyś wykonywano kalibrację kamer. Brakujące dane (współrzędne znaczków tłowych) zostały wyznaczone poprzez uśrednienie współrzędnych pikselowych i przyjęcie punktu głównego jako środka najlepszej symetrii. Następnie współrzędne pikselowe zostały przeliczone na tłowe, poprzez pomnożenie współrzędnych pikselowych przez wielkość piksela (w milimetrach) odczytaną z programu ISRU (ImageStation Raster Utilities). Średni błąd transformacji (RMS_{xy}) uzyskany przy wpasowywaniu współrzędnych znaczków tłowych wahał się w przedziale [0,3 – 1.0] wielkości piksela, co biorąc pod uwagę jakość materiałów archiwalnych było zadowalające.

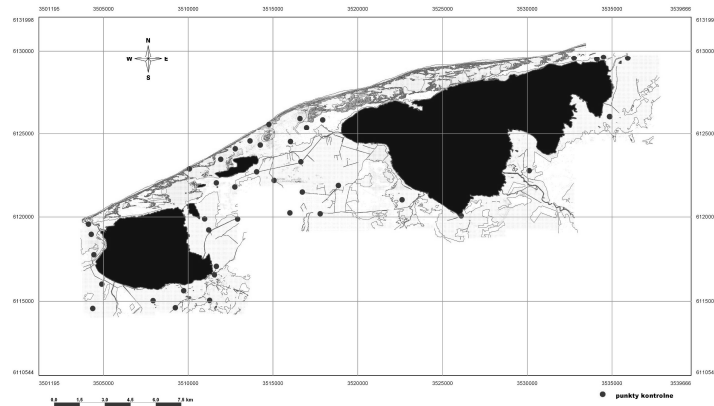
Informacje o współrzędnych znaczków tłowych dla zdjęć z lat 1964 i 1975 w metrykach kamer zapisane były jako odległości pomiędzy znaczkami. Przyjmując za punkt stały jeden ze znaczków, szukane współrzędne obliczono wyrównując sieć liniową przy użyciu programu VSD. Otrzymane wartości zostały zredukowane o wektor, którego współrzędne powstały z przecięcia przekątnych czworokąta. Wyznaczono także współrzędne punktów najlepszej symetrii i autokolimacji, podane w metryce jako odległości od przecięcia łącznic znaczków tłowych.

3.3. Pozyskanie fotopunktów

W trakcie wyrównania aerotriangulacji wykorzystano około 70 fotopunktów, których rozmieszczenie przedstawiono na rysunku (Rys. 4). Źródła pozyskania fotopunktów były różne. Część (30 szt) z bezpośredniego pomiaru terenowego GPS, wykonanego dla bloku aerotriangulacji dla roczników 1997 i 2004. Część odczytana została z projektu aerotriangulacji jako punkty 3D modelu stereoskopowego z roczników 1997 oraz 2004, które przyjęto jako bazowe. Pozostałe odczytano z map topograficznych w skali 1:10000. Przyjęto kryterium pozyskiwania takich fotopunktów, których położenie dało się jednoznacznie określić na jak największej liczbie roczników. Modele stereoskopowe powstałe po wyrównaniu aerotriangulacji miały wówczas większe prawdopodobieństwo spójności.

3.4. Aerotriangulacja

Do przeprowadzenia aerotriangulacji poszczególnych bloków zdjęć wykorzystano stację fotogrametryczną ImageStation firmy INTERGRAPH oraz oprogramowanie Dephos (dające możliwość pracy kilku użytkownikom w tym samym czasie). W środowisku Dephos wykonano orientację wewnętrzną i wzajemną dla czterech bloków zdjęć (1951, 1964, 1975, 1984). Ze względu na trudności techniczne kontynuowano proces aerotriangulacji w środowisku ImageStation.



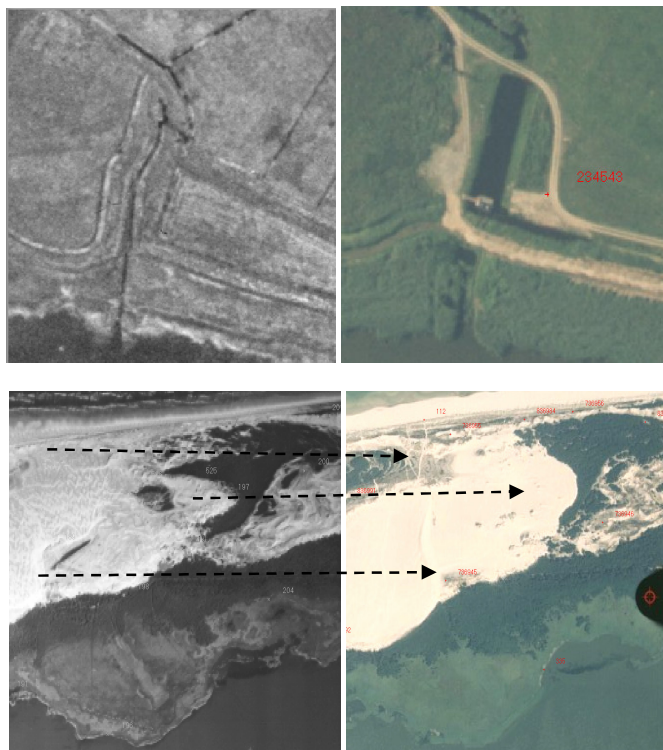
Rys. 4. Mapa z lokalizacją fotopunktów wykorzystanych w projekcie.

Konieczne było transformowanie danych z formatu stacji Dephos (pikselowe współrzędne punktów wiążących na poszczególnych zdjęciach) do formatu ImageStation (współrzędne tło punktów wiążących). Transformacji współrzędnych dokonano przy pomocy programu TransPol. Aerotriangulacje dla roczników 1951, 1964, 1975 i 1984 wykonano na ImageStation w programie ISAT (Image Station Automatic Triangulation) w wersji 5.1. Wyniki wyrównania dla wybranych parametrów zaprezentowano w tabeli (Tab 2).

Tab 2. Wyniki aerotriangulacji dla poszczególnych roczników dla wybranych parametrów

| Rocznik | 1951 | 1964 | 1975 | 1984 |
|-------------------------------------|------|------|------|------|
| liczba zdjęć | 52 | 36 | 24 | 39 |
| liczba fotopunktów (Control Points) | 45 | 59 | 61 | 69 |
| Sigma [μm] | 8,3 | 7,8 | 6,7 | 4,8 |
| RMS X [m] | 0,36 | 0,45 | 0,36 | 0,41 |
| RMS Y [m] | 0,46 | 0,44 | 0,31 | 0,42 |
| RMS Z [m] | 0,46 | 0,45 | 0,43 | 0,36 |

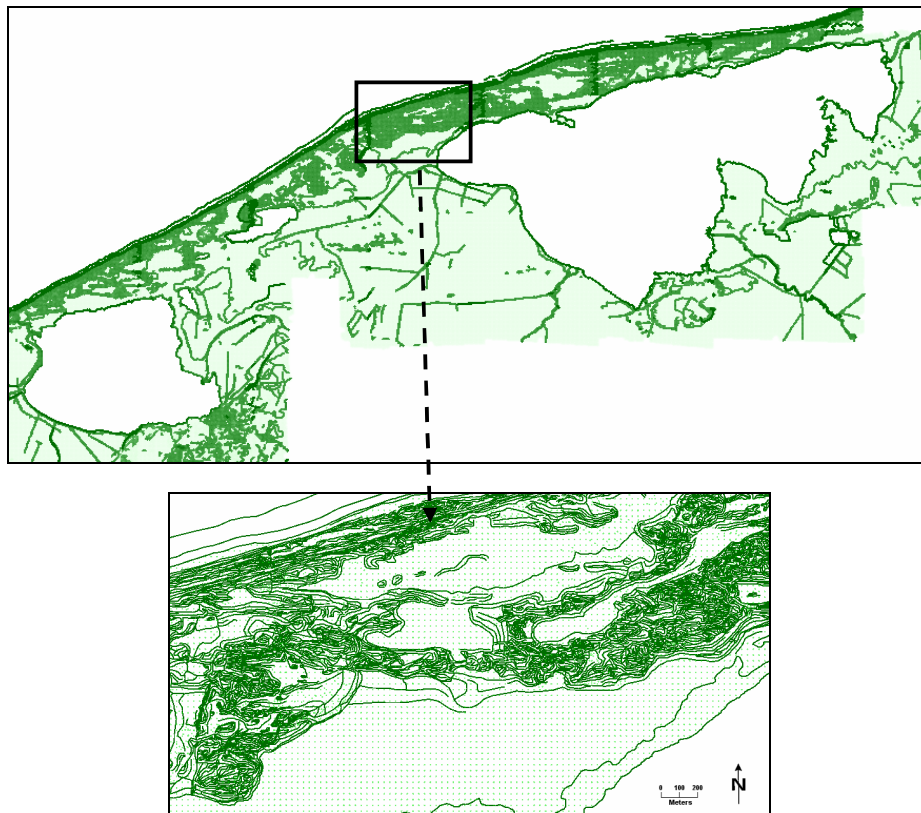
Jak widać z powyższych wyników RMS dla poszczególnych współrzędnych nie przekraczał przyjętej wcześniej wartości 0,5m, co biorąc pod uwagę fakt, że część fotopunktów była pozyskiwana z modelu stereoskopowego oraz mapy topograficznej wydaje się być zadowalające.



Rys. 5. Porównanie szczegółów terenowych na najstarszych zdjęciach z roku 1951 i pharowskich z roku 1995.

3.5. Numeryczny Model Terenu oraz generowanie ortofotomapy SPN.

Numeryczny Model Terenu wykonany został na bazie projektów aerotriangulacji niezależnie dla poszczególnych roczników. Jakość zdjęć miała bezpośredni wpływ na interpretację szczegółów terenowych oraz na dokładność pomiarów w procesie generowania pojedynczych modeli. Słaba widoczność szczegółów na brzegach zdjęć zwłaszcza z lat 50-tych w znacznym stopniu utrudniała stereoskopowy pomiar i była przyczyną błędów NMT.



Rys. 6. Linie strukturalne z regularną siatką punktów jako reprezentacja Numerycznego Modelu Terenu dla przykładowego rocznika (1964).

W pierwszej kolejności na każdym pojedynczym modelu pomierzona została siatka punktów o wymiarach 15m*15m (punkty z kompletem współrzędnych – x,y,z), a następnie charakterystyczne szczegóły terenowe takie jak wzniesienia, skarpy, ciekły, zbiorniki wodne, obniżenia terenu, tereny wyłączone i inne. Pomiaru dokonano w środowisku Dephos. Po zakończeniu prac na wszystkich zdjęciach, połączono niezależne modele i wyeksportowano do środowiska MicroStation, gdzie utworzoną bazę danych źródłowych dla terenu Parku w postaci NMT zapisano w formacie *.dgn (Rys. 6).

Przy pomocy modułu *OrthoEngine* programu *PCI Geomatica* przystąpiono do tworzenia ortofotomap dla wszystkich roczników. W tym celu wykorzystano wygenerowany wcześniej NMT, a następnie przeprowadzono proces mozaikowania. W efekcie otrzymano ortofotomapy w skali 1:5000 (piksel terenowy 0,5 m).

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawiona metodyka wykonania opracowań fotogrametrycznych w oparciu o materiały archiwalne bazuje na przyjętej technologii. Została ona przetestowana na kilku rocznikach, gdzie rozpiętość czasowa oraz jakościowa materiałów była dość znacząca. Obejmuje ona okres około 50 lat (najstarsze zdjęcia są z roku 1951, najmłodsze z 2004). Materiał charakteryzował się dużą różnorodnością zarówno pod względem geometrycznym (negatywy zdjęć, wtórniki, diapozytywy) jak i radiometrycznym (różne skale zdjęć, różne okresy pór roku, oświetlenie). Wyznaczenie analityczne parametrów brakujących danych (elementów orientacji wewnętrznej) oraz metody poprawy jakości radiometrycznej obrazów były głównym wątkiem nowatorskim w zaproponowanej technologii.

Wykazano, że opracowania powstałe tą technologią mogą mieć spore znaczenie praktyczne i wykorzystywane do podobnych celów, tj. badania zmienności krajobrazu na bazie opracowań wieloczasowych.

Materiały archiwalne w postaci zdjęć lotniczych oraz produktów pochodnych (numeryczny model terenu, ortofotomapa, fotoszkice) mogą z powodzeniem zasilać bazy danych systemów GIS i być cennym materiałem zwłaszcza do dalszych analiz wieloczasowych.

5. 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.*

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.

TECHNOLOGY OF PROCESSING ARCHIVAL PHOTOGRAMMETRIC MATERIALS FOR THE INVESTIGATION OF LANDSCAPE CHANGES ON THE EXAMPLE OF THE SŁOWIŃSKI NATIONAL PARK

KEY WORDS: archival aerial photography, aerotriangulation, DTM, digital photogrammetry.

SUMMARY: The paper presents technology of aerotriangulation on the basis of multitemporal (1951, 1964, 1975, and 1984), aerial photos of the Słowiński National Park in various scale. Those photos, as negatives, were obtained from the resources of military geographic authorities Military Geography Management in Warsaw. The quality of photos in particular year was highly diversified. Therefore, methods of digital image processing, such as filtration, "image reinforcement", or preliminary tonal balancing were applied to improve the quality of those photogrammetric materials, and to improve the

possibilities of their photointerpretation. The DEPHOS photogrammetric station was used to perform measurements, necessary for adjustment of the aerotriangulation block. In the first stage, internal and relative orientations were performed for all photo blocks. Due to the specificity of the Park area, the measurement of binding points was substantially hindered (more than 70% of the photo block being processed are occupied by migrating dunes, the Baltic Sea, and the Łebsko and the Gardno lakes). In view of the lack of the possibility to balance the aerotriangulation block under the DEPHOS system, the process was performed in ImageStation environment. It was necessary to transform data from the Dephos format (pixel coordinates of binding points on particular photos) to the ImageStation format. The quality of photos directly affected the accuracy of measurements, both in relation to binding points, and to photopoints, as well as the interpretation of terrain details in the later process of DTM generation. The said research works were 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. " DTM was the basis for spatial and time analyses of the Słowiński National Park landscape, which is marked by its exceptionally strong dynamics of substrate and vegetation.

mgr inż. Krystyna Michałowska
e-mail: kmichalo@poczta.fm
telefon: 696044460
fax: (12) 3975748

mgr inż. Ewa Głowienka
e-mail: eglo@interia.pl
telefon: (012) 617 22 88
fax: (012) 617 39 93

dr inż. Sławomir Mikrut
e-mail: smikrut@agh.edu.pl
telefon: (012) 617 23 02
fax: (012) 617 39 93