

**OKREŚLENIE DYNAMIKI ZMIAN W PUSZCZY
NIEPOŁOMICKEJ NA PODSTAWIE ANALIZY ORTOFOTOMAPY
WYGENEROWANEJ Z ARCHIWALNYCH ZDJĘĆ LOTNICZYCH**

**STUDYING THE DYNAMICS OF CHANGES IN NIEPOŁOMICIE PRIMEVAL
FOREST BASED ON ORTHOPHOTOMAP GENERATED FROM ARCHIVAL
AERIAL PHOTOS**

Piotr Wężyk, Wojciech Matyja

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: archiwalne zdjęcia lotnicze, ortofotomapa, Puszcza Niepołomska, analizy czasowo-przestrzenne GIS

STRESZCZENIE: Głównym celem pracy było określenie przydatności panchromatycznych, archiwalnych zdjęć lotniczych w ocenie dynamiki oraz kierunku zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym kompleksów Puszczy Niepołomickiej na obszarze blisko 11 000 ha. Podstawowym materiałem badawczym były czarno-białe zdjęcia lotnicze wykonane w latach: 1949 (skala 1:15 000) oraz 1951 (skala 1:25 000) oraz czarno-białe ortofotografie lotnicze z 2004 roku (Phare 2001). Ortofotomapy z projektu Phare 1996÷97 wykorzystano w procesie orientacji bezwzględnej stereogramów z roku 1949 (94 GCP) oraz 1951 (106 GCP). Numeryczny Model Terenu utworzony dla potrzeb projektu FOREMMS (Wężyk 2004) posłużył w generowaniu ortofotografii. Maksymalne błędy określenia położenia punktu w stereomodelu określone na fotopunktach nie przekroczyły wartości 2.96 metra współrzędnych płaskich (XY) oraz 4.78 metra dla współrzędnej wysokości (Z). Łącznie opracowaniu fotogrametrycznemu poddano 22 stereogramy z roku 1949 oraz 21 z roku 1951, na których na drodze fotointerpretacji skartowano 1132 obiekty przydzielane do 8 klas. Analiza czasowo-przestrzenna GIS klas obiektów pomiędzy rokiem 2004 a 1949÷51 wykazała na zwiększenie się powierzchni takich kategorii jak: „LAS” (+10.61%), „infrastruktura” (+575.65%) oraz „luki w drzewostanie” (+87.03%). Jednocześnie znaczną redukcję wykazała klasa „zręby” (pow., 70%) co świadczy o dużej dynamice pozytywnym kierunku zmian. Dalsze znaczne spadki areału dotyczą obiektów wykorzystywanych rolniczo w obrębie kompleksu samej Puszczy Niepołomickiej (redukcja o 33.9%). Dla największej z halizn o powierzchni 73.63 ha przeprowadzono szczegółowe analizy dynamiki zmian czasowo-przestrzennych wykorzystując w tym celu również zdjęcia lotnicze z lat 1965, 1987 oraz 2003.

1. WSTĘP

Zarządzanie obszarami leśnymi podlegającymi ciągłym zmianom w przestrzeni 2D i 3D, ale także i wymiarze czasu (4-D), wymaga stosowania technologii geoinformatycznych w tym systemów GIS, baz danych, zobrażeń teledetekcyjnych i Globalnych Systemów Nawigacji Satelitarnej (*ang.* GNSS). Pozyskiwanie najbardziej

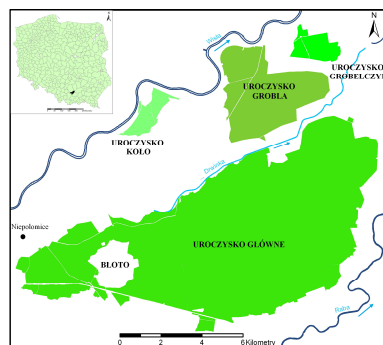
aktualnych informacji o zmianach zachodzących w drzewostanach przeszło ewolucje od całego drzewostanu do pojedynczych obiektów, czyli drzew. Dla obszaru Puszczy Niepołomickiej w ostatnich dziesięcioleciach zebrano bardzo wiele materiałów zarówno kartograficznych (mapy archiwalne), teledetekcyjnych (zdjęcia lotnicze, satelitarne, zobrazowania hiperspektralne, lotniczy skaning laserowy) jak i opisowych (projekty naukowe, raporty etc). Tego typu informacje mogą być częściowo weryfikowane jedynie w oparciu o archiwalne zdjęcia lotnicze lub satelitarne jak np. KH – Corona (Rigina 2003). Innym źródłem danych o dość niepewnej geometrii mogą być mapy topograficzne oraz inne archiwalne opracowania, które dla analiz regionalnych mogą być jednak z powodzeniem wykorzystywane (Kozak 2003; Wężyk, Guzik 2004).

2. CEL PRACY

Przedmiotem pracy było określenie zmian struktury przestrzennej obszaru Puszczy Niepołomickiej na podstawie fotogrametrycznego opracowania archiwalnych, panchromatycznych zdjęć lotniczych z lat 1949 oraz 1951 z wykorzystaniem do tego celu analiz przestrzennych GIS. Poziom szczegółowości uzyskany podczas kartowania obiektów na zdjęciach miał stanowić odpowiedź na pytanie o możliwości wykorzystania tego typu materiałów jako materiałów badawczych dla określenia tempa dynamiki zmian zachodzących w środowisku leśnym.

3. TEREN BADAŃ

Badania prowadzono na obszarze Puszczy Niepołomickiej leżącej około 30 km na wschód od Krakowa (Nadleśnictwo Niepołomice, RDLP Kraków) (Rys. 1). Całkowita powierzchnia Nadleśnictwa Niepołomice wynosi 10.866 ha (powierzchnia leśna 10.507 ha). Łącznie opracowaniu poddany został obszar 10 897.89 ha. Północne Uroczyska Puszczy Niepołomickiej znacznie różnią się od Uroczyska Głównego, pod względem siedliskowym i drzewostanowym, tzn. są zdominowane przez żyzne siedliska lasowe w odróżnieniu od borowego charakteru Uroczyska Głównego.

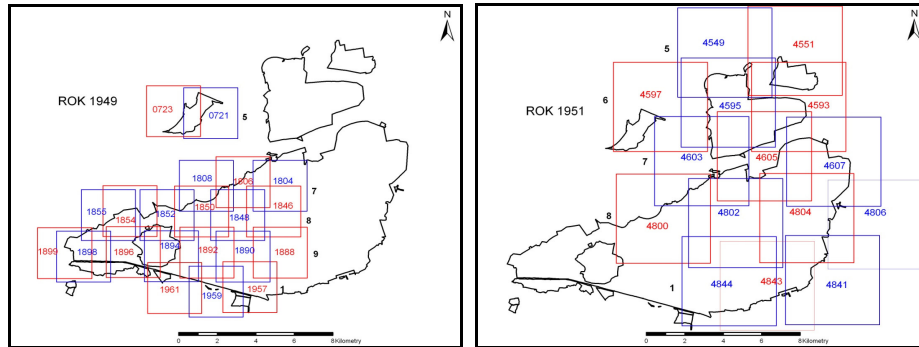


Rys. 1 Lokalizacja Puszczy Niepołomickiej oraz jej głównych kompleksów.

4. MATERIAŁ I METODA

Najstarsze archiwalne materiały fotolotnicze dla Puszczy Niepołomickiej, dostępne obecnie w Polsce, wykonano w roku 1949 (część W) oraz 1951 (część E; Rys. 2).

*Określenie dynamiki zmian w Puszczy Niepołomickiej
na podstawie analizy ortofotomapy wygenerowanej z archiwalnych zdjęć lotniczych*



Rys. 2 Pokrycie obszaru Puszczy Niepołomickiej zdjęciami lotniczymi wykonanymi podczas nalotów w roku 1949 i 1951.

Materiały fotogrametryczne udostępnione przez WOGiT (Tab 1) zostały przetworzone na postać cyfrową z rozdzielczością 14 mikronów. Zdjęcia archiwalne z lat 1949÷51 cechowały się bardzo złą jakością tzn. posiadały liczne rysy, nakłucia, smugi ciemnych pikseli. Pierwsze z nich wg informacji przekazanych przez WOGiT, były utrwalone na płytkach szklanych. Znaczne utrudnienie w fotogrametrycznym opracowaniu zdjęć stanowił brak raportów kalibracji kamer użytych podczas nalotów 1949÷51.

Tab 1. Charakterystyka archiwalnych zdjęć lotniczych dla obszaru Puszczy Niepołomickiej zakupionych z WOGiT.

Rok	Skala	Ilość [szt.]	Wysokość lotu [m n.p.m.]	c_K [mm]	Godło	Kierunek nalotu	Liczba szeregów
1949	1:15 000	32	2 000	116.03	M-34-65	E-W	5
1951	1:25 000	29	3 000	114.00	M-34-65/77	E-W	5
1965	1:18 000	37	2 300	114.59	M-34-65/77	E-W	5
1965	1:18 000	21	2 300	115.17	M-34-65/77	E-W	2
1987	1:25 000	30	4 000	153.04	M-34-65/77	N-S	5
1987	1:25 000	2	4 000	153.04	M-34-65/77	N-S	1

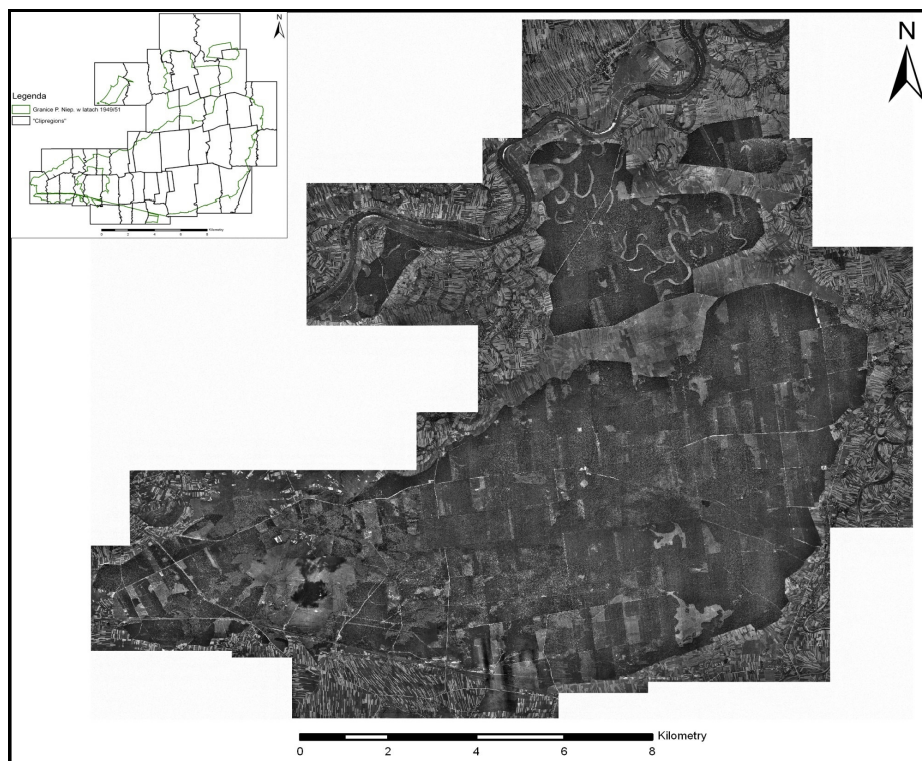
Do opracowania zdjęć lotniczych 1949÷51 wykorzystano także: barwną ortofotografię (piksel 0.75×0.75 M) wygenerowaną ze zdjęć lotniczych (skala 1:26.000) Wykonanych w ramach programu Phare 1996÷97 oraz panchromatyczne ortofotografie Phare 2001 (piksel 0.25×0.25 m) ze zdjęć lotniczych w skali 1:13 000. W celu określenia typów pokrycia terenu na obszarze niejawnym wykorzystano zobrazowania satelitarne QuickBird udostępnione przez Google Earth. Jako materiał pomocniczy do analiz dynamiki zachodzących zjawisk w przyrodzie wykorzystano również czarno-białe zdjęcia lotnicze z lat 1965 oraz 1987. Oprócz materiałów fotolotniczych w toku prac wykorzystano Numeryczny Model Terenu stworzony w ramach projektu FOREMMS IST 5FP w Katedrze Ekologii Lasu Wydziału Leśnego AR w Krakowie (Szczygielski, 2003; Wężyk 2004), mapy topograficzne w skalach 1:10 000 i 1: 25 000 oraz Leśną Mapę Numeryczną (2001) Nadleśnictwa Niepołomice.

Dane potrzebne do założenia projektu fotogrametrycznego takie jak wysokość lotu oraz stała kamery (c_k) zostały tylko częściowo odczytane z fragmentów ramek tłowych zdjęć, a pozostałe uzupełnione przez WOGiT. Formaty zastosowanych w 1949 i 1951 roku filmów analogowych zostały określone na podstawie liczby pikseli w rzędach i kolumnach obrazu rastrowego. Współrzędne pikselowe znaczków tłowych zdjęć wyznaczono przy założeniu, iż są one jednakowo oddalone od punktu głównego zdjęcia. Opracowanie fotogrametryczne tj.: orientacje zdjęć, stereodigitalizację i ortorektyfikację prowadzono na cyfrowej stacji fotogrametrycznej Dephos (wersja 4.09). W trakcie kartowania obiektów kodowano je, przydzielając do odpowiednich klas i kategorii. Takie postępowanie pozwalało na stworzenie odpowiedniej hierarchii klas oraz późniejsze selekcjonowanie obiektów dla potrzeb analiz. Wektoryzację ekranową współczesnej ortofotomapy (Phare 2001) dokonywano w środowisku ArcGIS 9.x (ESRI), w którym także budowano topologię oraz przeprowadzono analizy czasoprzestrzenne GIS. Mozaikowanie i wyrównanie tonalne ortofotografii generowanych ze zdjęć archiwalnych przeprowadzono metodą kontrolowaną z wykorzystaniem tzw. „clipregions”, czyli regionów określających fragmenty obrazów o najlepszej czytelności, poprawności geometrycznej i najlepiej nadających się do wizualizacji. Ich granice wyznaczano tak aby przebiegały wzdłuż obiektów liniowych takich jak: drogi, rzeki itp. (Wężyk, Sztremer 2005). Do mozaikowania i wyrównania tonalnego użyto oprogramowania ER Mapper Professional 7.1.

5. WYNIKI

Łączna powierzchnia opracowania fotogrametrycznego wyniosła 10 897 ha, z czego około 3 232 ha wykonano na podstawie materiałów z 1949 roku, a 7 663 ha ze zdjęć z 1951 roku. Orientacja bezwzględna określona jako błąd RMS na punktach GCP nie przekroczyła błędów 2.96 m dla współrzędnych płaskich (XY) oraz 4.78 m dla rzędnej wysokości (Z). Uzyskaną dokładność opracowania uznano za wystarczającą dla przeprowadzenia zamierzonych badań na materiale archiwalnym. Na podstawie przeprowadzonych prób ortorektyfikacji określono, iż najlepszą czytelnością cechują się ortofotografie o rozmiarze piksela terenowego 0.5×0.5 m przy zagęszczeniu punktów siatki NMT 100×100 m (niemal identyczne wyniki otrzymywano stosując siatkę punktów o 1×1 m ze względu na niewielkie deniwelacje terenu). Ostatecznie wykorzystano 21 fotografii z roku 1949 oraz 23 z roku 1951 (Rys. 4) zapisując je w formatach: GeoTIFF (1.22 GB) oraz ECW (259 MB). Mozaikę ortofotomap Phare 2001 z lat 2003-04 zapisano formacie ECW (693 MB). Przeprowadzone analizy czasoprzestrzenne GIS wykazały, iż od momentu wykonania zdjęć 1949(51) do roku 2004 zasięg Uroczysk Puszczy Niepołomickiej zwiększył się o ponad 130 ha. Jednocześnie suma obwodów granic zewnętrznych tych uroczysk zmniejszyła się ze względu na „wyrównanie” się wewnętrznej granicy leśnej pomiędzy Uroczyskiem Głównym, a położonym w jego wnętrzu bezleśnym obszarem torfowiska „Błoto”, na który zaczął wkraczać las zarówno na drodze nasadzeń jak i sukcesji naturalnej. W okresie 1949(51) ÷ 2004 swój udział zwiększyła (Tab 2) kategoria „LAS” (ID = 1000) oraz takie obiekty jak: „Infrastruktura” (ID 2210) oraz „Luki i gniazda” (ID 2120) (Rys. 5). Jednocześnie zaobserwowano zmniejszenie udziału pozostałych klas, przy czym najbardziej znaczący spadek (aż o 70%) dotyczył klasy „Zręby” (ID 2110), co niewątpliwie świadczy o pozytywnym kierunku zmian zachodzących na terenie Puszczy Niepołomickiej.

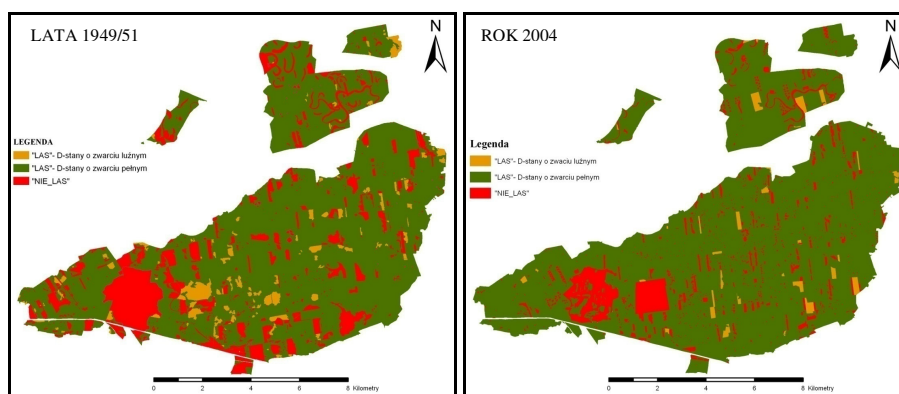
*Określenie dynamiki zmian w Puszczy Niepołomickiej
na podstawie analizy ortofotomapy wygenerowanej z archiwalnych zdjęć lotniczych*



Rys. 4 Mozaika ortofotografii z lat 1949 i 1951 wygenerowana metodą z wykorzystaniem „clipregions” (lewy górny róg).

Tab 2. Zmiany powierzchni poszczególnych klas obiektów w okresie 1949(51) ÷ 2004.

KATEGORIE I KLASY									
LATA 1949-51					ROK 2004				
LAS (1000)	Role (2220)	Infra- struktura (2210)	Zręby (2110)	Luki (2120)	LAS (1000)	Role (2220)	Infra- struktura (2210)	Zręby (2110)	Luki i gniazda (2120)
8899.93	651.50	29.85	1320.50	50.10	9844.44	430.14	201.68	393.91	93.70
					+10.61%	-33.97%	+575.65%	-70.17%	+87.03%

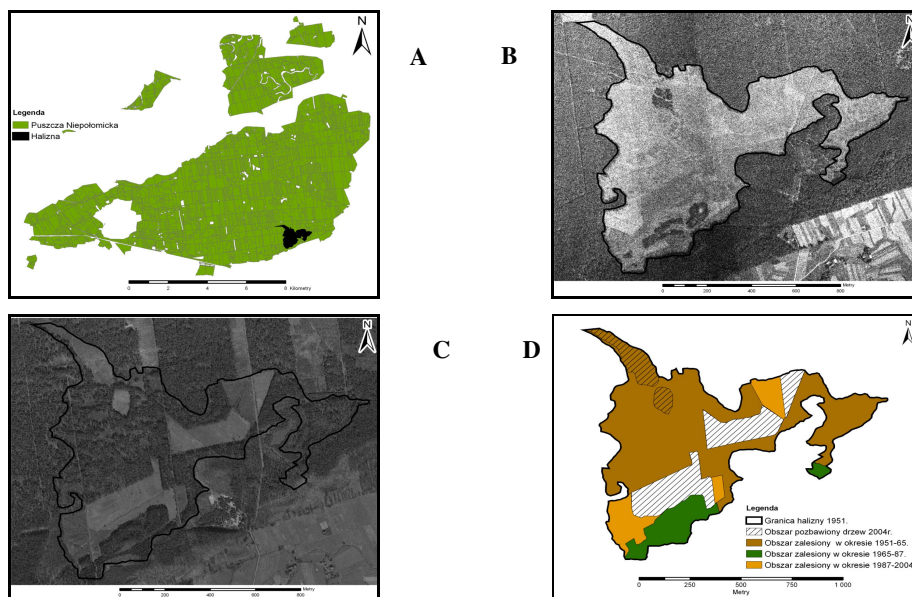


Rys. 5 Obiekty: „LAS” – drzewostany o zwarcu pełnym oraz luźnym a także „NIE_LAS” wewnątrz kompleksów Puszczy Niepołomickiej.

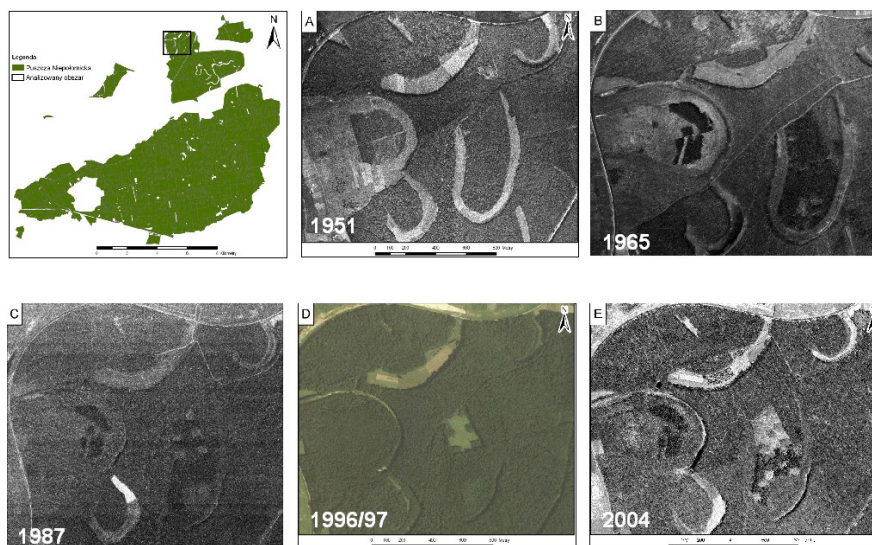
Szczegółowej analizie poddano zręby i halizny, które w 2004 roku wciąż pozostawały obiektami o charakterze nieleśnym, tzn. nie zostały odnowione lub ich odnowienie nie powiodło się. Łącznie analizie poddano 66.39 ha wylesień (zręby, halizny, obszary o niezidentyfikowanej funkcji) w obrębie kompleksu Puszczy Niepołomickiej. Na przestrzeni lat 1949 (51) ÷ 2004 dokonana się transformacja tych obiektów z głównym przekształceniem na obiekty typu „role i łąki” (51%). Duża część pozostała jednak niezmienną do dziś dnia stanowiąc powierzchnię niezalesioną (35.17%). Dla największej z halizn o powierzchni 73.63 ha (w roku 1951) przeprowadzono szczegółowe analizy dynamiki zmian czasowo-przestrzennych wykorzystując w tym celu dodatkowo zdjęcia lotnicze z lat 1965, 1987 oraz 2004 (Rys. 6).

Określenie wielkości powierzchni zajętej przez starorzecza Wisły w kompleksach Puszczy Niepołomickiej w analizowanym okresie świadczy o zmianach stosunków wodnych. Niedostępne dla drzew obszary o wysokim poziomie wody gruntowej, były wykorzystywane jako łąki, pastwiska lub zakładano na ich obszarze pola uprawne. Po przeprowadzeniu melioracji na obszarze Puszczy Niepołomickiej poziom wód gruntowych obniżył się, co stworzyło warunki dla drzew do wkroczenia na dotąd nieosiągalne tereny starorzeczy. Na początku lat 50-tych starorzecza zajmowały powierzchnię 157.72 ha i wszystkie były użytkowane jako łąki lub pola uprawne, po 56 latach ich powierzchnia zmniejszyła się o 51.25% tj. do 76.88 ha. Część terenów zajętych przez starorzecza Wisły nadal charakteryzuje się wysokim poziomem wody gruntowej o czym może świadczyć założenie zbiornika wodnego w oddziale 427d na obszarze dawnego starorzecza oraz wypadu drzewostanów w pododdziale 450b (na powierzchni 0.89 ha). W roku 1951 inwentaryzowano ten teren jako drzewostan a obecnie sklasyfikowano jako starorzecza (brak pokrywy drzew). Świadczy to o występowaniu gleb o charakterze hydrogenicznym i dużych wahaniami wód gruntowych na tym obszarze (Rys. 7).

*Określenie dynamiki zmian w Puszczy Niepołomickiej
na podstawie analizy ortofotomapy wygenerowanej z archiwalnych zdjęć lotniczych*



Rys. 6 Obszar analizowanej halizny: A – lokalizacja; B – 1951r., C – 2004r., D- wizualizacja zmian występowania drzew.



Rys. 7 Fragment Uroczyska Grobla na ortobrazach z lat: A- 1951; D - 1996/97; E - 2004 oraz zdjęciach lotniczych z lat: B - 1965 i C - 1987.

6. WNIOSKI

Przeprowadzone badania dowodzą, iż archiwalne materiały fotolotnicze mogą stanowić niezwykle cenne i obiektywne źródło informacji. Jakość zdjęć oraz kompletność metadanych warunkuje dokładność opracowania oraz możliwości integracji z danymi pozyskiwanymi współcześnie i istniejącymi już systemami GIS. Sama jakości materiałów fotolotniczych warunkuje poziom szczegółowości jaki można osiągnąć w toku badań (obiekt jako drzewostan czy pojedyncze drzewo). Archiwalne zdjęcia lotnicze Puszczy Niepołomickiej mogą być wykorzystywane do weryfikacji hipotez i informacji zawartych w archiwalnych operatach gospodarstwa leśnego oraz współcześnie istniejących w atrybutowych bazach danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP) oraz geometrycznych Leśnej Mapy Numerycznej (LMN).

Opracowana ortofotomapa z archiwalnych zdjęć lotniczych jest przykładem wizualizacji geodanych o charakterze historycznym, ale wciąż o dużym potencjale informacyjnym. Obraz dowodzi, iż na terenie Puszczy Niepołomickiej, która przez wieki poddana była gospodarce rabunkowo-plantacyjnej, w ostatnim pięćdziesięcioleciu przywrócono ład przestrzenny i zaprowadzono racjonalną gospodarkę leśną. Powierzchnia zrębów została 3-krotnie zmniejszona, zalesiono halizny oraz prowadzi się przebudowę monokultur sosnowych na drzewostany mieszane i liściaste zgodne z siedliskiem.

7. LITERATURA

Kozak J., 2003. Forest Cover Change in the Western Carpathians in the Past 180 Years. *Mountain Research and Development*: Vol. 23, No. 4, s. 369–375.

Rigina O., 2003. Detection of boreal forest decline with high-resolution panchromatic satellite imagery. *International journal of remote sensing*, Vol. 24 (9), s. 1895-1912.

Szczygielski K., 2003. Pomiary metoda DGPS w zmieniających się warunkach drzewostanowych. Praca magisterska wykonana w Katedrze Ekologii Lasu Wydziału Leśnego AR w Krakowie.

Wężyk P., 2004. Integracja technologii geoinformatycznych w systemie monitoring i zarządzania ekosystemami leśnym Europy, na przykładzie projektu FOREMMS (5 PR UE). *Teledetekcja Środowiska* 33, s. 75-81.

Wężyk P., Guzik M., 2004. The use of "Photogrammetry-GIS" (P-GIS) for the Analysis of the changes in Tatra mountains natural environment. A message from the Tatra. *Geographical Information Systems and Remote Sensing in Mountain Environment Research*. Krakow, Poland; Riverside, California, USA. Jagiellonian University Press, s. 31-46.

Wężyk P., Sztremer M., 2005. Wykorzystanie fotogrametrii cyfrowej, GPS i GIS w procesie kartowania szaty roślinnej Babiogórskiego Parku Narodowego. *Roczniki Geomatyki*. Tom III, Zeszyt 2. s. 173-180.

**STUDYING THE DYNAMICS OF CHANGES IN NIEPOŁOMICIE PRIMEVAL
FOREST BASED ON ORTHOPHOTOMAP GENERATED FROM ARCHIVAL
AERIAL PHOTOS**

KEY WORDS: archival aerial photos, orthophotomap, Niepołomice Primeval Forest, spatial-temporal GIS analysis

SUMMARY: The main goal of the research in question was to study the suitability of panchromatic, archival aerial photos for the estimation of the dynamics and directions of changes in environment, based on the example of Puszcza Niepołomicka Primeval Forest which is situated about 30 km to the East from Krakow city centre. The research area is nearly 11000 hectares. The basic research material were B&W aerial photos taken in 1949 (scaled 1:15 000) and 1951 (scaled 1:25 000). The reference material were B&W orthophotos (pixel size 0.25 m) which were generated based on aerial photos made by PHARE 2001, scaled 1:13000. Additionally, the archival photos of 1965 and 1987 were used. The studies connected with external orientation of images and stereo digitalizing and orthorectification were made using soft copy station Dephos. Vectorisation of 2D orthoimages of 2004 and spatial analyses were made in ArcGIS 9.x (ESRI). The accuracy of geoposition (less than 3.0m for XY coordinates and less than 5 m for elevation Z) was good enough to make a premeditated analysis. Based on the studies, it can be stated that the archival aerial photos are a valuable source of information for the research into nature, due to the fact that they are available in an objective, visual form which gives each other the possibilities to focus on the past reality.

dr inż. Piotr Wężyk
e-mail: rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
telefon: 12-6625082
fax: 12-6625082

mgr inż. Wojciech Matyja
e-mail: matyjaw@poczta.fm