

**INTEGRACJA TECHNOLOGII GEOINFORMATYCZNYCH
W ANALIZIE USZKODZEŃ LASU SPOWODOWANYCH PRZEZ
HURAGAN W PUSZCZY PISKIEJ**

**INTEGRATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES
IN AN ANALYSIS OF HURRICANE DAMAGE
TO THE PISZ PRIMEVAL FOREST**

Piotr Węzyk

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Akademia Rolnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: zdjęcia lotnicze CIR, fotointerpretacja uszkodzeń drzewostanów, GPS, GIS

STRESZCZENIE: W dniu 4 lipca 2002 roku, w północno-wschodniej Polsce huragan zniszczył 330 km² drzewostanów, w tym kompletnie 17 000 ha (straty 3.6 mln m³ drewna). Na zniszczonym fragmencie obszaru w Puszczy Piskiej utworzono Las Ochronny „SZAST” (445 ha). Nalot fotogrametryczny wykonano dnia 14.11.2002 r. z zastosowaniem zdjęć spektrostrefowych w skali 1:15 000. Użycie technologii geoinformatycznych w projekcie polegało na jednoczesnym wykorzystywaniu: odbiorników GPS, cyfrowej stacji fotogrametrycznej, oprogramowania do przetwarzania obrazów oraz narzędzi GIS. Te ostatnie integrowały wyniki pomiarów fotogrametrycznych z bazami danych geometrycznych i atrybutowych. W terenie stworzono klucz interpretacyjny obejmujący 8 klas uszkodzeń drzewostanów. Digitalizacja 10 modeli pozwoliła na wydzielenie 1 576 poligonów na obszarze 1965.60 ha, które na drodze analiz przestrzennych porównano z 726 poligonami pododdziałów z Leśnej Mapy Numerycznej. Analizowano warstwę wynikową 4 973 poligonów o atrybutach przejętych ze stereodigitalizacji oraz z bazy danych SILP\LAS. Największe nasilenie szkód (klasa 4.2) zanotowano na obszarze 533.6 ha poza lasem ochronnym „SZAST” (las administrowany przez PG LP). Na obszarze „SZAST” znalazło się 87.51 ha drzewostanów w tej klasie uszkodzeń, przy czym największe powierzchnie zajęła klasa 4.1 (125.81 ha). NMT obszaru pozwolił na wygenerowanie ortofotografii cyfrowych, które po mozaikowaniu i wyrównaniu tonalnym skompresowano (algorytm ECW) do wielkości 123 MB. Przeprowadzone badania potwierdziły konieczność stosowania technologii geoinformatycznych zapewniających: szybkie pozyskanie, przetworzenie i generowanie obiektywnych i weryfikowalnych geodanych. Wspierają one procesy podejmowania decyzji na obszarach klęsk żywiołowych.

1. WPROWADZENIE

Naturalne występowanie lasu w określonym miejscu jest efektem oddziaływania wielu czynników i złożonych procesów przyrodniczych. W Polsce lesistość po II wojnie światowej wynosiła niewiele ponad 20 % a obecnie wartość ta kształtuje się na poziomie 28.4 %. Na las jako zjawisko przyrodnicze i ważny element krajobrazu oddziałuje szereg czynników ograniczających jego występowanie, które można pogrupować na kategorie: abiotyczne, biotyczne oraz antropogeniczne. Czynniki abiotyczne, do których zaliczamy:

temperaturę, opady, wiatr, będące w dużej mierze efektem lokalizacji w przestrzeni geograficznej: szerokość i długość oraz wysokość n.p.m., wyznaczają bardzo często naturalne granice występowania lasu jako zjawiska przyrodniczego. Grupa czynników biotycznych, utożsamiane są zwykle z występowaniem grzybów chorobotwórczych czy też gradacji owadów szkodliwych. Mogą one nękać drzewostany obniżając ich kondycję zdrowotną przyczyniając się do powstawania całych łańcuchów chorobotwórczych, do których dołączają się czynniki abiotyczne (Loch *et al.*, 2001). W przeszłości ekosystem leśny trwał w obszarach, na których oddziaływały na siebie te grupy czynników, podlegając jednocześnie procesom samoregulacji przejawiającymi się przemianami struktury wiekowej bądź gatunkowej. Występowanie lasu było, więc jedynie efektem oddziaływania i interakcji tych czynników, do momentu, kiedy nie pojawił się człowiek. Początkowo lokalne oddziaływanie polegało na wylesianiu obszarów pod użytkowanie rolnicze, a las pozostał jedynie w miejscach mało atrakcyjnych dla gospodarki rolnej (grunty o niskiej bonitacji) lub trudno dostępnych ja w górach (Węzyk, Guzik, 2002). Oddziaływanie globalne pojawiło się wraz z rozwojem przemysłu i emisjami przemysłowymi, powodującymi zmiany warunków środowiska przyrodniczego (efekt cieplarniany) i doprowadzającymi do osłabienia bądź wprost unicestwienia drzewostanów. Człowiek wprowadzał w przeszłości na dużych obszarach monokultury, zbudowane z gatunków drzew szybkorosnących, których jedynym zadaniem było przynoszenie zysku ekonomicznego. Ich trwałość i odporność na działanie czynników przyrody ożywionej (biotyczne) i nieożywionej (abiotyczne) okazywała się po wielu latach krytycznie niska, czego przykładem mogą być katastrofy ekologiczne obserwowane w Europie np. w Górach Izerskich (Polska, Czechy) czy Kruszcowych (Niemcy). Zjawiska katastrofalnych zniszczeń lasów występowały zawsze w historii i niekiedy były one jedyną drogą do odnawiania się lasów. W ostatnich latach w Europie odnotowano nasilające się wielkopowierzchniowe zniszczenia ekosystemów leśnych powstałe na drodze pożarów (Hiszpania, Portugalia, Grecja) oraz wiatrów huraganowych (Niemcy, Francja – huragan Lothar; Słowacja - Tatry).

W sytuacji wielkopowierzchniowych klęsk w drzewostanach potrzeba szybkiej aktualizacja materiałów kartograficznych oraz ocena szkód nabiera szczególnego znaczenia w aspekcie wykorzystywania różnych technologii geoinformatycznych. Dostęp do danych o charakterze przestrzennym (geodanych) oraz infrastruktura do ich przekazywania i udostępniania zmienia się bardzo szybko. Instrukcja Urządzenia Lasu (PGLLP, 2003) przewiduje w takich sytuacjach wykorzystywanie odbiorników GPS i zdjęć lotniczych czy satelitarnych do aktualizacji LMN (Leśna Mapa Numeryczna). W takich przypadkach jak Puszcza Piska o aktualizacji nie można było jednak mówić, a w zasadzie o zupełnie nowym planie urządzania gospodarstwa leśnego, opartym na fotointerpretacji zdjęć lotniczych i wspartym wynikami tradycyjnych prac terenowych.

2. TEREN BADAŃ

Badaniami objęto fragment Puszczy Piskiej zniszczonej huraganem z dnia 04.07.2002 r. Siłę wiatru określono na około 12 stopni w skali Beaufort'a a czas trwania nawałnicy na zaledwie 8 minut. Powierzchnia objęta oddziaływaniem huraganu wyniosła 330 km². Był to pas o około 130 km długości oraz szerokości 3÷15 km obejmujący rejon

Puszczy Piskiej, Kurpiowskiej i Boreckiej a także Augustowskiej i Romnickiej. Uszkodzeniu uległo niemal 33 000 ha lasu, w tym 17 000 ha zostało doszczętnie zniszczonych (wiatrowały i wiatrołomy). Straty, jakie powstały w lasach zostały oszacowane na około 3.6 mln m³ drewna. W Nadleśnictwie Pisz obszar oddziaływania huraganu wyniósł 120 km². Ze względu na skład gatunkowy uszkodzonych drzewostanów zdominowany przez sosnę, podjęto bardzo szybko działania mające na celu zmniejszenie ryzyka zaistnienia pożaru i pojawienia się ognisk gradacyjnych owadów szkodliwych niszczących drewno. Zniszczeniu uległy liczne w tym terenie rezerwy przyrody, drzewostany nasienne oraz prawem chronione strefy gniazd ptaków drapieżnych. O rozmiarze szkód mówią także raporty informujące, iż do uprzątnięcia skutków huraganu zatrudniono 3 649 osób (w tym 1 988 pilarzy), ponad 900 ciągników rolniczych, 12 rębaków oraz sprzęt specjalistyczny. Zorganizowano także dodatkowe leśne bazy lotnicze gdzie stacjonowały samoloty i śmigłowiec przystosowane do walki z ewentualnym pożarem. Występujące w rejonie Puszczy Piskiej silne wiatry notowały kroniki historyczne już w latach: 1720, 1833, 1839 i 1867. W dniach 24-26 listopada 1888 r., huragan spowodował szkody sięgające 250 000 m³ drewna. Inne silne wiatry wystąpiły w także w latach: 1972, 1981-83 roku, powodując liczne złomy i wywroty. Wiatry w 1999 roku zniszczyły w Nadleśnictwie Pisz 15 000 m³ drewna (RDLP Olsztyn, 2006). Niemal jednocześnie z uprzątnięciem szkód podjęto decyzję na szczeblu Ministerstwa Środowiska o utworzeniu specjalnego obszaru pod nazwą Las Ochronny „SZAST”, na którym grupy naukowców i praktyków mają obserwować naturalne procesy odtwarzania się ekosystemu leśnego.

Celem pracy było zaprezentowanie możliwości integracji różnych technologii geoinformatycznych na przykładzie projektu, jakim kierował Instytut Badawczy Leśnictwa w Warszawie (dr inż. G. Zajączkowski) na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych (DG LP Warszawa).

3. MATERIAŁ I METODA

Kartowanie uszkodzonych drzewostanów polegało na fotogrametrycznym opracowaniu zdjęć lotniczych CIR wykonanych dla obszaru Puszczy Piskiej i interpretacji zniszczeń. Tworzone mapy tematyczne posłużyły do przeprowadzenia analiz przestrzennych GIS w celu określenia rozmiaru i struktury uszkodzeń w poszczególnych pododdziałach leśnych w obszarze użytkowanym jako lasy gospodarcze PGLP oraz wydzielonym Lesie Ochronnym „SZAST”.

3.1. Kartowanie uszkodzeń drzewostanów

W pracy przyjęto klasyfikację uszkodzeń drzewostanów opracowaną w Instytucie Badawczym Leśnictwa w Warszawie (dr inż. J. Głaz - tabela 1). Na podstawie kluczy fotointerpretacyjnych oraz dokumentacji w postaci zdjęć cyfrowych i pomiarów DGPS wykonywanych w terenie, wyróżniano klasy uszkodzeń drzewostanów. Dodatkowo wprowadzono klasy: cień, woda, dogi, obszary sukcesji leśnej oraz obszary użytkowane rolniczo.

Tabela 1. Klasyfikacja stopni uszkodzeń drzewostanów (dr inż. J. Głaz)

Klasa	Podklasa	Charakterystyka
0.		drzewostany bez widocznych uszkodzeń
1.		niewielkie uszkodzenia drzewostanu, do 10 % liczby drzew
2.		średnie uszkodzenia: 11÷50 % liczby drzew
	2.1.	obszary z nieusuniętymi zniszczonymi drzewami
	2.2.	drzewostany z uprzątniętymi zniszczonymi drzewami
3.		silne uszkodzenia 51÷90 % liczby drzew
	3.1.	obszary z nieusuniętymi zniszczonymi drzewami
	3.2.	drzewostany z uprzątniętymi zniszczonymi drzewami
4.		całkowicie zniszczone drzewostany powyżej 90 % liczby drzew
	4.1.	obszary z nieusuniętymi zniszczonymi drzewami
	4.2.	drzewostany z uprzątniętymi zniszczonymi drzewami

3.2. Globalny System Pozycjonowania (NAVSTAR-GPS)

W pracach terenowych wykorzystywano odbiorniki Pathfinder ProXRS z rejestratorem TSC1 (*Trimble*) wyposażone w możliwość odbioru poprawki różnicowej z satelity komercyjnego OmniStar. Odbiorniki wykorzystywano przy nawigacji do miejsc wytypowanych jako nadających się do lokalizacji fotopunktów naturalnych GCP (Ground Control Points). Do rejestratora TSC1 wgrano również przygotowaną Leśną Mapę Numeryczną (LMN). Pomiar DGPS dokonywany był przy wartościach PDOP < 4 i trwał, co najmniej 600 epok (tryb 1 sek.). Odbiorniki GPS poza pomiarem GCP wykorzystywane były do tworzenia klucza interpretacyjnego uszkodzeń drzewostanów. W określonych obszarach uszkodzeń typowano homogeniczne powierzchnie określając ich przebieg w trybie pomiaru kinematycznego (interwał 1 sek.). Pozwoliło to na dodatkowy trening fotointerpretatorów podczas prac kameralnych oraz weryfikację opracowania (nawigacja do obszarów testowych).

3.3. Fotogrametria cyfrowa

Dnia 14 listopada 2002 r., czyli ponad 4 miesiące po przejściu huraganu doszło do wykonania zdjęć lotniczych. Opóźnienie spowodowane było względami procedur przetargowych i kłopotami technicznymi a także warunkami atmosferycznymi. Zdecydowano się na wybór materiału filmowego w postaci barwnego filmu spektrostrefowego (Kodak Aerochrome InfraRed 1443). Stała kamery $c_K = 153.172$ mm przy wysokości lotu około 2 400 m n.p.m. zapewniała uzyskanie zdjęć w skali około 1:15 000. Do opracowania fotogrametrycznego wybrano łącznie 10 zdjęć lotniczych wykonanych w dwóch szeregach, obejmujące swym zasięgiem obszar kompleksu leśnego „Wilcze Bagno” w Nadleśnictwie Pisz, tj. około 1 500 ha lasu gospodarczego oraz około 470 ha lasu Ochronnego „SZAST”. Opracowanie fotogrametryczne jak i generowanie poszczególnych ortofotografii przeprowadzano na stacji cyfrowej DEPHOS.

3.4. Systemy Informacji Geograficznej (GIS/SIP)

W pracy wykorzystywano oprogramowanie firmy ESRI, takie jak: ArcInfo ver. 8.1.2. oraz ArcView 3.2a. Pozwoliło ono na import danych ze stacji DEPHOS, edycję błędów i doprowadzenie warstw do poprawności topologicznej (poligonowej i liniowej) oraz wykonanie analiz przestrzennych GIS oraz przygotowanie kompozycji mapowych. Analizy GIS przeprowadzono w oparciu o relacje (klucz: adres leśny) utworzone pomiędzy bazą geometryczną LMN oraz bazą atrybutową SILP/LAS. Standard LMN ustalił jako obowiązujący Polski Układ Współrzędnych Geodezyjnych (PUWG) 1992/19, co wymagało zastosowania programów do transformacji TRAKO (Taxus SI) ze względu na korzystanie z map topograficznych czy pomiarów GPS w innych układach i odwzorowaniach.

3.5. Numeryczny Model Terenu (NMT)

NMT powstał w wyniku ekranowej wektoryzacji arkuszy map topograficznych w skali 1:10 000. Linie warstwicowe (*soft-lines*) wektoryzowano na ekranie uzupełniając je dodatkowo o pikiety wysokościowe (ang. mass points) oraz linie nieciągłości terenu i linie strukturalne a także obszary wyłączeń, np. brzeg rzeki Pisy czy innych zbiorników wodnych. Do budowy NMT zastosowano procedurę generowania sieci nieregularnych trójkątów TIN (Triangulated Irregular Network) uwzględniający wszystkie pozyskane elementy. Model TIN poddano następnie konwersji do modelu rastrowego GRID (siatka o oczku 10×10 m) w celu zastosowania go w procesie ortorektyfikacji zdjęć lotniczych.

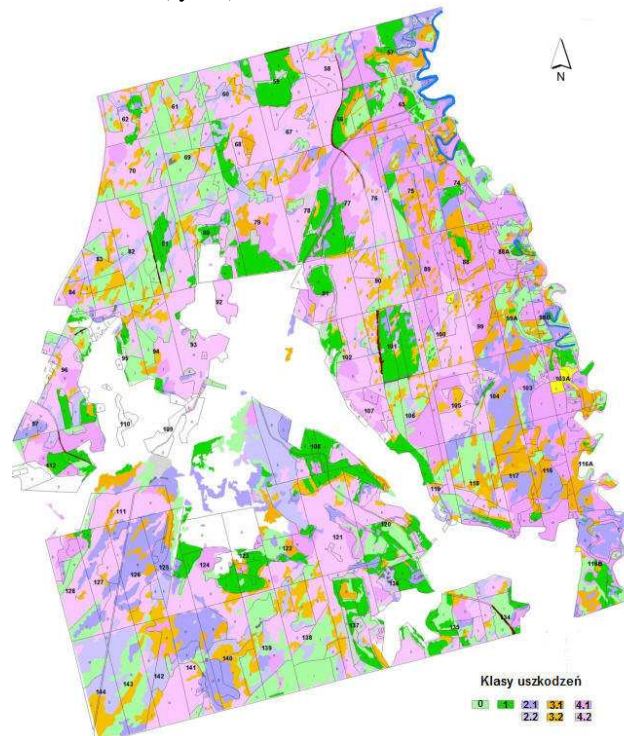
3.6. Przetwarzanie obrazu

Do przetwarzania zespołu ortofotografii cyfrowych wykorzystano program ER Mapper (ERM v. 6.3). Pozwolił on na precyzyjne mozaikowanie na drodze manualnego wyznaczania linii łączy poszczególnych ortoobrazów. Wyrównanie tonalne przeprowadzono przy wykorzystaniu asystenta ER Mapper uzyskując bardzo zadawalające rezultaty przy jednoczesnym wzmocnieniu obrazów, które ze względu na późną porę fotografowania (listopad) nie były najlepszej jakości. Dodatkowo wykorzystano algorytm kompresji falkowej obrazu (ECW) w celu użycia w innych aplikacjach biurowych (np. w edytorach tekstu) jednocześnie znacznie zmniejszając jego rozmiary.

4. WYNIKI I DYSKUSJA

Nawigacja GPS do fotopunktów naturalnych okazała się niezmiernie pomocna. Czas, jaki upłynął od momentu wykonania zdjęć lotniczych do wkroczenia w teren z badaniami wynosił niemal 23 miesiące. W tym okresie usunięto bardzo dużo zniszczonych drzewostanów (głównie poza „SZAST”) i ustanowiono nowy podział powierzchniowy (przestrzenny) dla odnawianych drzewostanów. Na większości obszaru założono nowe uprawy leśne. Te zabiegi przyczyniły się do zupełnej zmiany krajobrazu oraz dezaktualizacji treści map topograficznych. Odbiorniki GPS nie miały w zasadzie najmniejszych problemów z odbiorem sygnału NAVSTAR oraz OmniStar w obszarach pozbawionych wysokich drzew czy w drzewostanach o znacznie przerzedzonym zwarciu

koron. Łącznie w terenie badań dokonano pomiaru 22 GCP metodą DGPS. Nie istniała jednak możliwość określenia dokładności samego pomiaru gdyż w obszarze badań nie występowały punkty osnowy wysokościowej, a kamienie graniczne w dużej części zostały zniszczone przez ciężki sprzęt podczas usuwania połamanych drzew. Na podstawie wcześniejszych i późniejszych projektów (Węzyk, 2004; Węzyk, Bednarczyk, 2005) oraz wyników opracowania fotogrametrycznego oszacowano, iż określono dokładność pomiaru DGPS na poziomie lepszym niż 0.50 m dla współrzędnych płaskich (X, Y). Średni błąd kwadratowy orientacji bezwzględnej (RMS_{XY}) 10 stereomodeli kształtował się w granicach 0.75 m, a dla współrzędnych przestrzennych (RMS_{XYZ}) 1.05 m. Wynik orientacji był w pełni satysfakcjonujący do założeń postawionych w projekcie i podobny do uzyskiwanych w innych opracowaniach związanych z kartowaniem uszkodzonych drzewostanów w Gorczańskim PN (Węzyk, Mansberger 1998) czy struktury górnoreglowych borów świerkowych w Babiogórskim PN (Węzyk, Sztremer, 2005). W wyniku opracowania fotointerpretacji i stereodigitalizacji 10 modeli zdjęć lotniczych CIR na obszarze 1965.60 ha wydzielono 1 576 poligonów reprezentujących różne klasy uszkodzenia drzewostanów (rys. 1).



Rys.1. Wynik opracowania fotogrametrycznego uszkodzeń drzewostanów „Wilcze Bagno” w 8 klasach (źródło: ProGea Consulting)

Na podstawie zapytania przestrzennego wyselekcjonowano z LMN (stworzonej na podstawie materiałów archiwalnych) pododdziały występujące w terenie badań przed uderzeniem huraganu w roku 2002. Ich liczba wynosiła 726. W wyniku zastosowanej

analizy przestrzennej (*intersect*) pomiędzy w/w warstwami otrzymano 4 973 poligonów wynikowych, które przejęły atrybuty z obu baz danych (klasa uszkodzenia drzewostanu oraz baza SILP-LAS). Na tej podstawie przystąpiono do szczegółowych analiz występowania klas uszkodzeń w poszczególnych grupach stratyfikacyjnych drzewostanów tworzonych w oparciu o kryteria: gatunku drzewa dominującego w pododdziale oraz wieku w grupie drzewostanów użytkowanych gospodarczo oraz podlegających obserwacji na terenie Lasu Ochronnego „SZAST”. Poniżej przedstawiono zaledwie jedno zestawienie (tabela 2) obrazujące liczbę powierzchni w poszczególnych klasach uszkodzeń drzewostanów oraz ich powierzchnię dla analizowanego terenu badań. Największe nasilenie szkód w klasie 4.2, czyli w drzewostanach całkowicie zniszczonych przez huragan poza lasem ochronnym „SZAST” zanotowano na obszarze 533.6 ha na terenie lasu gospodarczego. Na obszarze „SZAST” znalazło się 87.51 ha drzewostanów w tej klasie uszkodzeń przy czym największe powierzchnie zajęła klasa 4.1 – 125.81 ha (tabela 2). Analizując uszkodzenia w obrębie gatunków lasotwórczych wykazano w lasach gospodarczych największe uszkodzenia w klasie 4.2, dla sosny – 455.84 ha oraz świerka – 44.66 ha. Ta dysproporcja wynikała ze składu gatunkowego zdominowanego przez sosnę przed wystąpieniem huraganu. Analizy GIS w obrębie klas wieku określanych w LP w przedziałach 20-letnich wykazały, iż blisko 50 % młodych drzewostanów (1-20 lat) zostało całkowicie zniszczonych (klasa 4.2). Najstarsze drzewostany powyżej 80 lat zostały usunięte w wyniku zniszczeń całkowitych na powierzchni około 33 % ich występowania (klasa 4.2).

Tabela 2. Zestawienie liczby poligonów w poszczególnych stopniach uszkodzeń drzewostanów (wg. klasyfikacji IBL - dr inż. J.Głaz) oraz ich powierzchnie (raport IBL opracowanie ProGea Consulting - mgr inż. M. Sztremer)

Stopień uszkodzenia (wg. IBL)	Liczba poligonów [szt.]			Powierzchnia [ha]		
	Las gospodarczy PGLP	Las Ochronny „SZAST”	SUMA	Las gospodarczy PGLP	Las Ochronny „SZAST”	SUMA
0	190	45	235	179.47	20.11	199.58
1	203	88	291	236.35	56.60	292.95
2.1	112	91	203	112.11	78.64	190.75
2.2	176	9	185	139.64	6.46	146.10
3.1	68	82	150	44.71	56.81	101.52
3.2	202	26	228	113.36	38.43	151.79
4.1	88	22	110	135.93	125.81	261.74
4.2	133	41	174	533.66	87.51	621.17
SUMA	1172	404	1576	1495.23	470.37	1965.60

Wykorzystywanie technologii geoinformatycznych (GI-T) w PGLP ograniczało się najczęściej do tej pory jedynie do przypadków posługiwania się Leśną Mapą Numeryczną (LMN) oraz zarządzaniem bazami danych atrybutowych SILP/LAS. Obecnie około 80 % Nadleśnictw w Polsce wyposażono już LMN, co nie oznacza jednak szerokiego jej wykorzystywania (Śniegocki, 2006). Nieliczne jak dotąd przypadki wskazują na rosnące zainteresowanie wykorzystaniem informacji zawartych na zdjęciach lotniczych czy wysokorozdzielczych obrazach satelitarnych w PGLP i parkach narodowych (Wężyk, Mansberger, 1998; Wężyk, Przybyłek, 2004; Wężyk, Sztremer, 2005; Zajączkowski,

Wężyk, 2004). W praktyce oznacza to wykorzystywanie ortofotomap lotniczych, jakie powstały w projektach Phare (1996-97) czy LPIS (2003-04), a w nielicznych przypadkach VHRS Ikonos bądź QuickBird do aktualizacji LMN (Wężyk, Bednarczyk, 2005; Wężyk, Ciechanowski, 2005). Coraz częściej w pracach leśnych stosowane są odbiorniki GPS w licznych aplikacjach, począwszy od ochrony lasu (sterowanie opryskami) do zagadnień związanych z funkcjami pozaprodukcyjnymi, np. w ruchu turystycznym (Wężyk, 2004). Analizy przestrzenne GIS nie były do tej pory szeroko wykorzystywane w PGLP poza projektami pilotażowymi, choć powstało już kilka opracowań na ten temat skupiających się na wsparciu administracji leśnej w sytuacji podejmowania decyzji (DSS – Decision Support Systems) (Mozgawa, 2004).

W wyniku przetworzenia różniczkowego zdjęć lotniczych otrzymano pojedyncze ortofotografie cyfrowe o rozdzielczości terenowej 20 cm. Zapisane do formatu GeoTIFF zajmowały około 700 MB każda, co znacznie utrudniało ich praktyczne wykorzystanie przez pozostałych uczestników projektu. W wyniku manualnego mozaikowania prowadzonego liniami podziału powierzchniowego, wzdłuż obszarów cienia rzucanego przez ocalone fragmenty drzewostanów, rowami melioracyjnymi, drogami czy ciekami wodnymi, otrzymano ortofotoobraz o wielkości 3.15 GB. W oprogramowaniu ER Mapper poddano go wyrównaniu tonalnemu i działaniu algorytmu kompresji falkowej ze współczynnikiem 1:26. Otrzymany obraz EWC możliwy był do wykorzystania nawet w aplikacji MS Word i miał wielkość zaledwie 123 MB bez zauważalnych strat na jakości. Podobne doświadczenia z upowszechnianiem generowanych ortofotomap cyfrowych wśród innych wykonawców, uzyskano w projektach realizowanych w obszarach górskich podczas kartowania struktury drzewostanów na zdjęciach lotniczych CIR (Wężyk, Sztremer, 2005; Zajączkowski, Wężyk, 2004).

5. WNIOSKI

Integracja technologii geoinformatycznych obejmująca: fotogrametryczne opracowanie zdjęć lotniczych CIR, pomiary fotopunktów oraz nawigację metodą DGPS oraz modelowanie (NMT) oraz przetwarzanie geodanych (transformacje geodezyjne, relacyjne bazy danych) a także analizy przestrzenne GIS - okazała się niezwykle sprawnym zestawem narzędzi do wsparcia inwentaryzacji lasu a w zasadzie nowych prac urzędzeniowych, na obszarach pokleśkowych.

Osiągnięte wyniki pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków dotyczących zalet stosowania wybranych technologii geoinformatycznych, przejawiających się np.:

- podniesieniem dokładności opracowań i możliwości ich weryfikacji;
- większą obiektywnością kartowania uszkodzonych drzewostanów przez przeszkolonego interpretatora zamiast szeregu osób zbierających w różny sposób informacje w terenie w oparciu o nieaktualne mapy tradycyjnymi metodami;
- zwiększonym bezpieczeństwem pracy poprzez ograniczenia operowania w strefach zagrożenia życia, np. wiszące złamane drzewa, obszary zrębowe, obszarach zagrożenia pożarowego etc.);
- zwiększeniem tempa pozyskania geodanych;

- możliwością wymiany danych pomiędzy uczestnikami projektu dzięki stosowaniu standardów (LMN) czy rozwiązań ułatwiających przetwarzanie i przesyłanie obrazu (kompresja ECW).

W przypadku wystąpienia w przyszłości takich zjawisk jak wiatrołomy i wiatrowały na obszarach leśnych, z pomocą w inwentaryzacji uszkodzeń przyjąć mogą najnowsze rozwiązania technologiczne takie, jak skanowanie laserowe (ALS – Airborne Laser Scanning) czy obrazowanie wiązką radarową (zapowiadany start satelity Terra-SAR X o rozdzielczości terenowej 1.0 m). Szczególnie w sytuacji trudnych warunków atmosferycznych takich jak opady deszczu, silne zachmurzenie czy dym z pożaru lasu, aktywne systemy zdalnego obrazowania wykorzystujące technologie radarowe mogą okazać się rozwiązaniem w aspekcie ich integracji z innymi technologiami geoinformatycznymi.

6. LITERATURA

Loch J., Chwistek K., Wężyk K., Małek S., Pająk M. 2001. Natural regeneration versus tree planting in the subalpine spruce forest *Plagiothecio-Piceetum tatricum* of the Gorce National Park (Southern Poland). *Nature Conservation*, 58, s. 5-15.

Mozgawa J., 2004. Scenariusze analiz przestrzennych dla zarządzania w Lasach Państwowych. *Roczniki Geomatyki*, Tom II. Zeszyt 4. Warszawa, s. 11-18.

PGLLP, 2003, Instrukcja Urządzania Lasu. Część 1. Instrukcja sporządzania planu urządzania lasu dla nadleśnictwa. Załącznik do Zarządzenia nr 43 DGLP z dn. 18.04.2003

RDLP Olsztyn, 2006: http://lp.olsztyn.rdlp.gov.pl/rdlp/aktualnosci/2004/LKP/a2004-10-25_b.htm.

Śniegocki R., 2006. Las w przestrzeni zawieszony. *Głos Lasu*, Nr 10, s. 7-10.

Wężyk P., 2004. GPS w leśnictwie i ochronie przyrody. Mity i fakty. *Roczniki Geomatyki*, Tom II. Zeszyt 4. Warszawa, s. 19-32.

Wężyk P., Bednarczyk P., 2005. Testowanie metod i algorytmów klasyfikacji wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych Puszczy Niepołomickiej. *Roczniki Geomatyki*, Tom III. Zeszyt 2, s. 163-172.

Wężyk P., Ciechanowski P., 2005. Wykorzystanie wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych QuickBird-2 w aktualizacji baz danych leśnej mapy numerycznej. *Roczniki Geomatyki*, Tom III. Zeszyt 4, Warszawa; s. 199-208.

Wężyk P., Guzik M., 2002. The use of "Photogrammetry-GIS" (P-GIS) for the Analysis of the changes in Tatra mountains natural environment. *EnviroMount Conference on GIS and RS in Mountain Environment Research*, Zakopane, Poland, 19-23. Sept. 2002.

Wężyk P., Mansberger R., 1998. Techniki fotogrametrii cyfrowej i GIS w ocenie degradacji drzewostanów świerkowych w masywie Kudłonia w Gorcach. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 8 s. 21/1-21/10.

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.

Zajączkowski G., Wężyk P., 2004. Techniki teledetekcyjne w inwentaryzacji urzędzeniowej lasu. *Roczniki Geomatyki*, Tom II. Zeszyt 4, s. 41-50.

Składam podziękowania Generalnej Dyrekcji Lasów Państwowych oraz Instytutowi Badawczemu Leśnictwa (dr inż. G. Zajączkowski) a także firmie ProGea Consulting (mgr inż. Mateusz Sztremer) za współpracę oraz udostępnienie materiałów.

INTEGRATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN AN ANALYSIS OF HURRICANE DAMAGE TO THE PISZ PRIMEVAL FOREST

KEY WORDS: aerial photos CIR, photointerpretation of damaged forest stands, GPS, GIS analysis

Summary

July 4th 2002 saw the biggest storm disaster in Polish State Forest (PG LP) history, located in northeastern Poland. It caused huge losses in forest areas in the Puszcza Piska Primeval Forest, across an area of 330 km² (130 km long and several km wide). The area of completely destroyed forest area was about 170 km². An initial estimation of the stand volume damage was ca. 3.6 mln m³.

The PG LP administration immediately decided to make a forest inventory supported by CIR aerial images (Kodak Aerochrom Infrared 1443; scale 1:15 000, date: Nov. 14, 2002). At the same time, for scientific purposes, a decision was made to establish an observation area ("SZAST") of the natural forest regeneration process in the totally destroyed parts of the forests. The precision inventory of the "SZAST" area and surrounding buffer zone was based on geoinformation technologies.

The CIR aerial images were elaborated on the "DEPHOS" digital photogrammetric station. The GCP points for the aerotriangulation process were collected using DGPS receivers. Following the standards of the IBL (specially prepared by Dr. Glaz) classification, the 3D digitizing was done covering four main Levels 0-4 with 6 sub-levels (detailed description). 1 576 polygons collected, covering an area of 1 965.60 ha. The training areas for the photointerpretation team were collected using DGPS and GIS based on the Digital Forest Map (with a SILP/LAS description database). The digital orthophotomap mosaic (color balanced 3.15 GB GeoTIFF) was generated based on the CIR aerial photos and the DSM (Digital Surface Model). After the wavelet compression (ratio 1:26) to ECW format (123.05 MB) the CIR-orthophotomap can be used, not only in Desktop- or Mobile-GIS, but also in every office (like MS Word, Power Point) application.

The study confirmed the necessity of using of GI-T for: quick retrieval, processing and generating objective geodata which can be verified and support decision processes in areas of natural disasters.

Dr inż. Piotr Wężyk
e-mail: rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
tel. +12 6625082