

INTEGRACJA TECHNIK GEOMATYCZNYCH W BADANIACH PRZYRODNICZYCH NA PRZYKŁADZIE KARTOWANIA SZATY ROŚLINNEJ TATR WYSOKICH¹

PLANT COVER MAPPING OF TATRA NATIONAL PARK AS AN EXAMPLE OF INTEGRATION OF GI TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL RESEARCH

Piotr Wężyk, Joanna Wrzodak

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Katedra Ekologii Lasu, Wydział Leśny
Akademia Rolnicza w Krakowie

Słowa kluczowe: barwne spektrostrefowe zdjęcia lotnicze CIR, stereodigitalizacja, analizy przestrzenne GIS, ortofotomapa, Tatrzański Park Narodowy

Keywords: colour infrared aerial photographs, stereo digitalisation, GIS spatial analysis, orthophotomap, Tatra National Park

Wprowadzenie

Narzędzia geoinformatyczne, znajdują coraz powszechniejsze zastosowanie w badaniach środowiska naturalnego. Szczególnie w przypadku projektów interdyscyplinarnych, integracja geodanych pozyskiwanych z różnych źródeł, zróżnicowanymi metodami oraz w różnym okresie czasu, nabiera zupełnie nowego wymiaru i otwiera dodatkowe możliwości w badaniach przyrodniczych.

Barwne spektrostrefowe zdjęcia lotnicze CIR (ang. *Color InfraRed*) choć znane od dziesiątków lat, wciąż stanowią niezmiernie ważne źródło informacji w badaniach przyrodniczych. Zawdzięczają to bardzo wyraźnemu różnicowaniu się roślinności (typu, stanu zdrowotnego, fizjologicznego itd.), wyjątkowo jasnym tonem obrazu, o wiele jaśniejszym niż na zdjęciach panchromatycznych (Ciołkosz i in. 1999; Wężyk 1998). Dzięki stosowaniu odpowiednich kluczy fotointerpretacyjnych możliwe jest bardzo wnikliwe kartowanie szaty roślinnej (Hildebrandt 1991; Hirschmugl 2004) w tym monitorowanie przebiegu dynamiki sukcesji naturalnej na polanach górskich (Wężyk, Pyrkosz 1999), czy aktualizacji leśnych map gospodarczych (Wężyk, Mansberger 1997).

W ostatnich kilku latach zdjęcia lotnicze CIR zyskały konkurencję w postaci wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych (Šumbera, Židek 2003), ale po wprowadzeniu lotniczych kamer cyfrowych oferujących również zakres bliskiej podczerwieni (NIR), nadal „zachowują” przewagę w zakresie rozdzielczości terenowej. Większym „zagrożeniem” dla technologii zdjęć lotniczych CIR w zakresie rozdzielczości radiometrycznej wydają się być lotnicze skanery hiperspektralne (Wężyk, Wertz 2005).

¹Praca została wykonana w ramach projektu KBN nr 6P04 F03021 pt. „Czasowe i przestrzenne skale dynamiki zachodniokarpackich borów górnoeregłowych”.

Ważnym źródłem informacji umożliwiającym modelowanie zjawisk przyrodniczych są analizy przestrzenne GIS (Wężyk, Guzik 2004), wykonywane przy zastosowaniu numerycznego modelu terenu (NMT) lub numerycznego modelu powierzchni terenowej (NMPT), generowanym przy wykorzystaniu techniki skaningu laserowego (Wack, Schardt 2004). Modele te są ponadto niezbędne w procesie ortorektyfikacji zdjęć lotniczych.

Praktyką w badaniach przyrodniczych stało się także stosowanie odbiorników GPS (ang. *Global Positioning System*), w tym do lokalizacji powierzchni wzorcowych, punktów monitoringowych czy też pozyskiwania punktów dostosowania (GCP, ang. *Ground Control Points*) dla potrzeb generowania ortofotomapy (Wężyk 2004). Integracja geodanych pochodzących z powyższych źródeł jest możliwa przy użyciu GIS, który służy pozyskiwaniu, magazynowaniu, przetwarzaniu, analizowaniu i wizualizacji danych przestrzennych o świecie rzeczywistym, tworząc w efekcie szerzej rozumiany system geoinformacyjny.

Cele prezentowanej pracy koncentrowały się na kartowaniu szaty roślinnej rezerwatu Skoruśniak oraz obszaru Doliny Roztoki (Tatry Wysokie) na podstawie stereoskopowej digitalizacji barwnych spektrostrefowych zdjęć lotniczych CIR, a także na wygenerowaniu cyfrowej ortofotomapy obszaru badań.

Obszar badań obejmował Rezerwat Skoruśniak oraz masyw Wołoszyna i Koszyste; (1009÷2190 m n.p.m.) zlokalizowany we wschodniej części Tatrzańskiego Parku Narodowego (TPN), na obszarze Tatr Wysokich, pomiędzy doliną Białej Wody na wschodzie, a doliną Suchej Wody na zachodzie (rys. 1).

Metodyka badań

Ze względu na charakter prac badawczych, niezbędne było użycie technologii GPS, fotogrametrii cyfrowej, systemów informacji geograficznej (GIS), systemów do przetwarzania obrazu (IP) oraz tradycyjnych metod kartowania roślinności (wiedza przyrodnicza).

Fotogrametryczna osnowa polowa

Fotogrametryczną osnowę polową stanowiły fotopunkty sygnalizowane (czerwonych krzyże i szachownice), których lokalizację określono z zastosowaniem pomiaru różnicowego GPS (stacja bazowa TPN: 49°17'05.83"N; 19°58'19.44"E; HAE: 955,5 m). W toku późniejszych prac konieczne okazało się niestety zagęszczenie osnowy sygnalizowanej dodatkowymi fotopunktami naturalnymi. Były to m.in.: narożniki ogrodzeń, skrzyżowania ścieżek, pojedyncze drzewa, płaty kosodrzewiny, słupy, ławki, kamienie, głazy.

Klucz fotointerpretacyjny

Powierzchnie do klucza interpretacyjnego wybierano i opisywano tuż przed planowanym nalotem fotogrametrycznym, w momencie kiedy we wszystkich piętrach roślinnych wegetacja osiągnęła odpowiednią fazę fenologiczną. Na powierzchniach wzorcowych (treningowych) dokonywano opisu wybranych cech taksacyjnych drzewostanu, bądź uproszczonego opisu florystycznego (łąki, polany). W trakcie kartowania terenowego opisywano i dokonywano pomiaru obiektów poligonowych takich jak: gniazda kornikowe, martwe drzewa, wiatrowały, grupy drzew liściastych itp. Wykorzystano w tym celu dwa odbiorniki GPS Pathfinder

ProXRS (Trimble) z rejestratorem polowym TSC1. Lokalizację obiektów określano odbiornikiem GPS (eksport do GIS w postaci plików SHAPE) wraz z bazą atrybutową (tworzoną przez wypełnianie pól przygotowanych słowników danych) do oprogramowania ArcInfo ver.8.x i ArcView 3.2.a (ESRI). Zgromadzono również bogatą dokumentacją zdjęć cyfrowych.

Obiekty poligonowe podzielono na 3 typy obiektów, tj.: LAS, NIE-LAS oraz NIEKLASYFIKOWANY. Ten ostatni etap obejmował obszary, których interpretację uniemożliwił cień lub śnieg. Drzewostany świerkowe oraz mieszane, zaklasyfikowane do typu LAS, podzielono na stadia rozwojowe: *dorastania*, *optymalne* oraz *terminalne* (Jaworski, Poznański 2001). Dodatkowo wyróżniono: pas *boru luźnego* charakterystyczny dla lasów tatrzańskich (Korpel 1989). Martwe i zamierające świerki zaklasyfikowano do obiektów wewnątrz typów drzewostanów świerkowych, a obszary wiatrołomów i wiatrowałów stratyfikowano ze względu na stopień zaawansowania występującej sukcesji leśnej. Typ obiektów NIE_LAS objął głównie: piętro kosodrzewiny, roślinność polan oraz inne obiekty o charakterze poligonów (stawy, piargi oraz infrastrukturę).

Nalot fotogrametryczny i przetwarzanie zdjęć

Dla obszaru badań wykonano dwa naloty fotogrametryczne: 4 sierpnia 2002 r., który dostarczył zdjęć, ze zbyt dużym zachmurzeniem oraz dopiero 30 września 2002, kilka dni po opadach śniegu, uniemożliwiającego fotointerpretację powyżej piętra kosodrzewiny. Dla obszaru badań wykonano 30 zdjęć spektrostrefowych w pięciu szeregach, posługując się kamerą fotogrametryczną Leica 1015 o ogniskowej (c_k) 152 mm. Projektowana średnia skala zdjęć wynosiła 1:10 000.

Diapozytywy skanowano na urządzeniu PhotoScan TD1 (INTERGRAPH/ZEISS) z rozdzielczością 14 μm i dokładnością geometryczną poniżej 2 μm (wielkość plików 16818 x 17007 pikseli). Aerotriangulację bloku zdjęć przeprowadzono w oparciu o fotopunkty pomierzone przez OPGiK w Krakowie.

Stereodigitalizacja

Stereodigitalizacja polegała na fotointerpretacji i kartowaniu na modelu stereoskopowym jednorodnych obiektów, według przygotowanego wcześniej klucza. Tworzone w ten sposób poligony były następnie kodowane, przez wstawienie etykiet o numerach odpowiadających kodom obiektów, tworząc tym samym warstwę wektorową, która została doprowadzona do poprawności topologicznej oprogramowaniem ArcInfo 7.0.

Analizy statystyczne oraz analizy przestrzenne GIS

Analizy dla warstw wektorowych takie jak: obliczenie statystyk obiektów powierzchniowych oraz analizy przestrzenne GIS dla obiektów typu LAS (z zastosowaniem NMT i wygenerowanych na jego podstawie warstw pochodnych, tj.: mapy ekspozycji i spadków terenu), przeprowadzono za pomocą oprogramowania ArcView 3.2. (ESRI) oraz rozszerzeń (m.in. 3D Analyst, Spatial Analysis).

Ortofotomapa CIR dla terenu badań

Pojedyncze ortofotografie generowano w module OrthoRECT stacji fotogrametrycznej Dephos. Mozaikowania ortofotografii (Ziobro, Ewiak 1999) przeprowadzono w środowisku ER Mapper (ERM). W celu zminimalizowania wpływu zniekształceń i efektu winietowania, do mozaikowania wybierano wyłącznie środkowe fragmenty pojedynczych ortofotografii, tworząc tzw. „clip-regiony”, granice których poprowadzono wykorzystując możliwe do zaobserwowania na zdjęciach wyraźne linie grani, granic zbiorowisk lub obszary cienia. Wyrównanie tonalne zespołu ortofotografii oraz mozaikowanie wykonano za pomocą asystenta *Image Balancing Wizard* dostępnego w pakiecie ER Mapper (ver. 6.4).

Wyniki i dyskusja

W wyniku przeprowadzonych prac terenowych zarówno z zakresu leśnego (botanicznego) jak i związanych z pomiarami DGPS fotopunktów (GCP) oraz wyznaczaniem powierzchni testowych, możliwe było przystąpienie do opracowania aktualnej mapy roślinności na podstawie zdjęć lotniczych CIR i przeprowadzenia analiz przestrzennych GIS.

Fotogrametryczna osnowa polowa, aerotriangulacja oraz sterodigitalizacja

W lipcu 2002 r. na terenie badań rozmieszczono 34 fotopunkty sygnalizowane (GCP), których współrzędne określano pomiarem DGPS trwającym średnio 640 epok. Maksymalna wartość współczynnika PDOP wynosiła 8,0 (średnia 5,4). Błąd średni kwadratowy (ang. *RMS*) współrzędnych płaskich XY, określony oprogramowaniem Pathfinder Office 2.51 (Trimble) wyniósł 0,90 m, a współrzędnej Z = 0,89 m. Wartości te przyjęto za zadowalające dla tego rodzaju opracowania. Dodatkowo po nalocie, w grudniu 2002 r. oraz w czerwcu i lipcu 2003 r., określono współrzędne 14 fotopunktów naturalnych (pomiar DGPS; ~300 epok; PDOP < 6,7; RMS: 0,75 m dla XY oraz 0,99 m dla Z).

Specyficzne warunki terenowe obszaru badań w znacznym stopniu utrudniały rozmieszczenie i pomiar zarówno fotopunktów naturalnych, jak i fotopunktów sygnalizowanych. Zwarte obszary górnoreglowych borów świerkowych nie dawały dużych szans na równomierne rozmieszczenie punktów osnowy fotogrametrycznej (sygnalizowanych czy naturalnych). Miejsca, gdzie możliwe było rozmieszczenie fotopunktów znajdowały się często w strefie szczytowej, czy wręcz na graniach, lub w miejscach gdzie dokonanie pomiaru DGPS oraz późniejsza identyfikacja GCP byłaby utrudniona lub niemożliwa. Ze względu na ponad 80-dniowe opóźnienie nalotu, cień przesłaniający znaczną część terenu badań, nie tylko uniemożliwił identyfikację większości sygnalizowanych GCP, ale również ograniczył wybór i pomiar naturalnych GCP. W rezultacie wykorzystano tylko 2 sygnalizowane GCP (nr 31 – Polana Waksmundzka oraz nr 32 – Polana Pańszczyca) oraz 9 naturalnych GCP.

Pierwsza aerotriangulacja wykonana przy użyciu ww. GCP sygnalizowanych i naturalnych okazała się być obciążona znacznymi błędami w związku z tym konieczne okazało się kolejne zagęszczenie osnowy fotogrametrycznej oraz wykonanie powtórnej aerotriangulacji.

Na ortofotomapach Tatr z roku 1996 (zasób WODGiK; Phare 1997; dokładność sytuacyjna < 1,0 m) zidentyfikowano współrzędne 8 dodatkowych fotopunktów naturalnych, co podyktowane było porą roku (zima) i niemożliwością dokonania kolejnych pomiarów GPS.

Aerotriangulację przeprowadzono dla bloku składającego się z 28 zdjęć lotniczych CIR, z wykorzystaniem 22 spośród pomierzonych 56 fotopunktów (GCP) oraz wygenerowanych 169 punktów wiążących (ang. *tie points*). Błąd średni współrzędnych tłowych (x, y) wyniósł 4,6 μ m, natomiast średni błąd kwadratowy (RMS) współrzędnych fotopunktu był równy 0,61 m dla współrzędnych płaskich (X Y) oraz 0,79 m dla współrzędnej wysokościowej (Z).

Mapa wektorowa tworzona była na podstawie wektorów 3-D pozyskiwanych z poszczególnych stereogramów w odpowiednio zakodowanych warstwach odpowiadających przyjętej hierarchii klas (rys. 2).

Podstawowe statystyki obiektów

W wyniku stereodigitalizacji wyróżniono 306 obiektów poligonowych, których podstawowe statystyki przedstawiono w tabeli. Zdecydowanie największą sumaryczną powierzchnią charakteryzowały się obiekty typu LAS. Zajęły one powierzchnię 1626,05 ha, co stanowi 57,97% całej powierzchni opracowania i aż 72,57% w grupie interpretowanych obszarów. Powierzchnię najmniejszą, jednak znaczącą w stosunku do całkowitego obszaru zobrazowania zajął typ NIEKLASYFIKOWANE, bo aż 564,16 ha (20,11% powierzchni). Poligony należące do typu NIE_LAS charakteryzowały się natomiast znacznym rozproszeniem. Ich liczba była bowiem niemal równa liczbie poligonów typu LAS podczas, gdy powierzchnia przez nie zajmowana ponad dwukrotnie mniejsza (614,77 ha; tabela).

Szczegółowe analizy wykazały, iż największą łączną powierzchnią charakteryzowały się poligony zaklasyfikowane do klasy: *bór świerkowy*, obiekt: *stadium optymalne* – zajmując aż 937,93 ha, tj. 33,4% obszaru badań. Należy także podkreślić, iż przy tak dużej powierzchni, liczba wyodrębnionych poligonów była stosunkowo niewielka, gdyż wynosiła zaledwie 21. Średnia powierzchnia tego obiektu kształtowała się na poziomie 44,66 ha, co jest wartością największą spośród wszystkich interpretowanych obiektów. Świadczyć to może o pochodzeniu tego typu zbiorowisk, czyli o potwierdzeniu teorii wielkopowierzchniowych zdarzeń (wiatrłomy, gradacje owadów) w przeszłości, wywołujących odnowienie lasu na dużej powierzchni w stosunkowo krótkim czasie.

Najsilniejsze rozdrobnienie poligonów wykazały obiekty zaliczane do *boru świerkowego* w *stadium terminalnym* gdyż wyodrębniono aż 38 takich poligonów o łącznej powierzchni 290,6 ha (10,4% obszaru badań).

Analizy przestrzenne GIS z wykorzystaniem numerycznego modelu terenu

W pracy zaprezentowano tylko analizy przestrzenne GIS przeprowadzone dla obiektów typu LAS i ograniczono się do badania ich występowania w zależności od zmiennych typu: wysokość n.p.m., spadek oraz ekspozycja stoku. Stwierdzono, iż poszczególne poligony zaliczane do klasy *boru świerkowego* (stadium: dorastania, optymalne i terminalne) zajmują w terenie badań strefę rozciągającą się od 1009,0±1064,2 m. n.p.m. (dolna granica) do 1547,5±1584,4 m n.p.m. (górną granicę). Lite bory świerkowe są zbiorowiskiem charakterystycznym dla regla górnego, który w Tatrach zajmuje pas od 1200 do 1550 m. n.p.m. (Piękoś-Mirkowa, Mirek 1996). W związku z tym dolną granicę pasa drzewostanów świerkowych na obszarze badań należy uznać za silnie obniżoną (aż o 150 m). Zwraca uwagę

Tabela. Podstawowe statystyki obiektów otrzymanych ze stereodigitalizacji zdjęć CIR

Typ	Klasa	Obiekt	Kod	Liczba poligonów	Suma pow. obiektów [ha]	Udział [%]	Średnia pow. obiektu [ha]	Minimalna pow. obiektu [ha]	Maksymalna pow. obiektu [ha]
LAS	1. bór świerkowy	stadium dorastania	11	33	87,49	3,1	2,65	0,11	30,54
		stadium optymalne	13	21	937,93	33,4	44,66	0,01	278,12
		stadium terminalne	15	38	290,58	10,4	7,65	0,04	65,04
		pas boru luźnego	17	14	224,59	8,0	16,04	0,83	71,86
	2. drzewostany mieszane	stadium optymalne	23	2	2,84	0,1	1,42	0,48	2,36
	3. obiekty wewnątrz drzewostanów świerkowych	grupy martwych świerków	31	8	1,67	0,1	0,21	0,01	0,65
		grupy zamierających świerków	32	2	1,17	0,0	0,58	0,16	1,01
		sukcesja świerka na polanach	88	4	6,90	0,2	1,73	0,18	2,86
	4. wiatrołomy i wiatrowały	bez wyraźnej sukcesji zbiorowisk o charakterze roślinności leśnej	41	7	7,95	0,3	1,14	0,33	2,28
		z zapoczątkowaną sukcesją zbiorowisk o charakterze roślinności leśnej	42	9	52,47	1,9	5,83	0,21	40,70
		z zaawansowaną sukcesją zbiorowisk o charakterze roślinności leśnej	43	3	7,05	0,3	2,35	0,29	3,39
	5. kępy innych gatunków w świerczynach	liściaste	51	4	3,13	0,1	0,78	0,06	2,02
		kosodrzewina	53	4	2,29	0,1	0,57	0,03	1,24
NIE_LAS				150	614,77	21,92	4,10	0,01	327,45
NIEKLASYFIKOWANE				7	564,16	20,11	80,59	0,26	437,41
RAZEM				306	2804,98	100	31,87	0,01	437,41

także fakt, niemal całkowitego braku drzewostanów liściastych, które powinny tworzyć piętro regla dolnego do wysokości około 1200 m. n.p.m. Potwierdza to silne przekształcenia drzewostanów tatrzańskich wywołane w przeszłości gospodarką człowieka (pasterstwo, górnictwo, hutnictwo). Określony w procesie fotointerpretacji górny zasięg występowania zwartych drzewostanów świerkowych odpowiada naturalnemu zasięgowi pionowemu górnej granicy regla górnego.

Bór luźny, uważany za Sokołowski (1928) za występujący prawie wszędzie na terenie Tatr i odróżniający się wybitnie od drzewostanu zwartego, na terenie badań nie tworzył niestety wyraźnego pasa, oddzielającego zwarty bór świerkowy (regiel górny) od pasma kosodrzewiny. Wytworzył się on tylko płatami i zajmował położenia o około 100 metrów wyższe (1165,0÷1623,9 m n.p.m., średnio 1302,2 m n.p.m.) od poszczególnych stadiów rozwojowych boru zwartego.

Niewielką rozpiętością strefy występowania odznaczały się obiekty grup zamierających drzewostanów świerkowych, skupiając się w przedziale wysokościowym pomiędzy 1298,5 a 1374,7 m n.p.m.

Analiza występowania klas obiektów w zależności od ekspozycji terenu wykazała, iż poligony stadium dorastania klasy boru świerkowego, zajmują głównie ekspozycje północno-zachodnie (NW – 26,4%), wschodnie (E – 25,8%) oraz północne (N – 13,9%). W przypadku stadium optymalnego, szereg ten był podobny, z nieznaczną przewagą ekspozycji E (21,6%) nad NW (18,0%) i N (16,4%). Obiekty stadium terminalnego występowały najczęściej na stokach o wystawie N (33,4%).

Obiekty *grupy martwych świerków* oraz *grupy zamierających świerków*, należące do klasy 3 (*obiekty wewnątrz drzewostanów świerkowych*) oraz klasy 4 (*wiatrolomy i wiatrowały*) najczęściej stwierdzone były na stokach o ekspozycji wschodniej i południowo-wschodniej.

W badaniach nad preferencjami szaty roślinnej co do zajmowania stoków o określonej ekspozycji, Sokołowski (1928) wskazywał wystawy SE, NE i E, jako najgorsze dla świerczyn tatrzańskich. Na badanym terenie należy jednak podkreślić zaznaczający się związek pomiędzy rozkładem udziału procentowego obiektów na poszczególnych ekspozycjach, a ogólnym rozkładem udziału procentowego klas ekspozycji na terenie badań.

Kępy gatunków liściastych w świerczynach zlokalizowane były najczęściej na stokach o wystawie E (59,4%), natomiast *kępy kosodrzewiny* występujące pomiędzy drzewostanami świerkowymi, zajmowały najczęściej ekspozycje N (26,1%) oraz NW (30,1%).

Zakres wartości spadków terenu zajmowanego przez poszczególne obiekty był bardzo szeroki, wahał się bowiem od 36,4° w przypadku obiektu *sukcesja świerka na polanach* do 73,5° dla obiektu *bór luźny*. Poligony zaliczone do tego ostatniego obiektu zajmowały także stoki o maksymalnych spadkach (do 73,5°). Na stokach o największym nachyleniu występowały także obiekty: *kępy gatunków liściastych w świerczynach* (33,8°) oraz *grupy zamierających świerków* (30°). Spośród obiektów z klasy *borów świerkowych* najbardziej strome stoki porastał bór luźny (średnia 26,3°, wartość maksymalna 73,5°).

Ortofotomapa cyfrowa terenu badań

Ze względu na interdyscyplinarny charakter projektu, innym zespołom badawczym należało przygotować dane referencyjne o charakterze kartometrycznym, umożliwiającym prace w środowisku GIS (2D). Cyfrową ortofotomapę generowano na podstawie 28 ortofotografii o rozmiarze piksela terenowego 0,25 metra. Wielkość pliku pojedynczej ortofotografii w

formacie .TIFF wahała się od 190,54 MB do 307,25 MB. Łączna przestrzeń dyskowa zajmowana przez ortofotografie wyniosła 6,55 GB. Pliki ortofotografii poddano kompresji w programie ER Mapper (ERM) do formatu .ECW (ang. *Enhanced Compression Walvet*) co pozwoliło na uzyskanie wielokrotnie mniejszych rozmiarów plików przy jednoczesnym zachowaniu dobrej jakości obrazu (Wężyk, Świąder 2003). Ponadto, dostępne tzw. wtyczki (ang. *plug-in*) umożliwiały pracę z obrazami w formacie .ecw przy wykorzystaniu ArcView (ESRI), czy też w aplikacjach pakietu MS Office. Podczas kompresji ECW ustalono współczynnik kompresji na 20:1. Zespół ortofotografii został następnie poddany mozaikowaniu (z wykorzystaniem zdefiniowanych *clip-region*) oraz wyrównaniu tonalnemu. Ortofotomapą pokryto obszar 3769,85 ha (17,81% TPN). Zapisana w formacie .TIFF zajmuje 2,96 GB, natomiast po kompresji do formatu ECW (przy współczynniku kompresji 1:25) tylko 114,8 MB.

Wnioski

Współczesne narzędzia geoinformatyczne jakie wykorzystuje: GIS, DGPS czy fotogrametria cyfrowa, doskonale sprawdziły się na terenie Tatr Wysokich, w procesie pozyskiwania geodanych, ich przetwarzania, analizowania i prezentacji.

Określenie przebiegu granic pomiędzy poszczególnymi obiektami wewnątrz typu LAS, na podstawie fotointerpretacji i stereodigitalizacji zdjęć lotniczych CIR, jest zdecydowanie łatwiejsze i bardziej precyzyjne niż podczas prac taksacyjnych w terenie. Praca ta jest jednak w dalszym ciągu uzależniona od wiedzy operatora, a tym samym wynik prac pozostaje w znacznym stopniu subiektywny. Jednocześnie jednak materiał archiwalny w postaci zdjęć CIR pozostaje i może być opracowywany ponownie z zastosowaniem innych, rozwijających się dynamicznie, zautomatyzowanych technologii np. klasyfikacji obiektowej.

Cyklicznie wykonywane zdjęcia lotnicze CIR (bądź przynajmniej obrazy satelitarne VHR) powinny znaleźć zastosowanie przy monitorowaniu zmian zachodzących w drzewostanach TPN, m.in. przy: określaniu dynamiki zasięgu gniazd kornikowych, stanu zdrowotnego drzewostanów, obserwacji przebiegu sukcesji na terenie wylesień, wiatrołomów, wiatrowałów, lawinisk czy w końcu górnej granicy lasu.

Znaczny stopień zniekształcenia składu gatunkowego drzewostanów TPN potwierdził brak drzewostanów liściastych i mieszanych z udziałem buka w obszarze opracowania.

Dzięki uproszczeniu obsługi stacji fotogrametrycznych, opracowania zdjęć lotniczych stają się dostępne dla przyrodników, którzy z kolei posiadają niezbędną wiedzę przyrodniczą konieczną do tego typu opracowań. W aspekcie poprawiającego się dostępu do zdjęć lotniczych i wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych, technologie fotogrametryczne i teledetekcyjne powinny stać się podstawowym narzędziem monitorowania i prognozowania zmian zachodzących w środowisku.

Podziękowania

Autorzy wyrażają podziękowania Instytutowi Botaniki PAN w Krakowie oraz Tatrzańskiemu Parkowi Narodowemu za udostępnienie danych i materiałów.

Literatura

- Ciołkosz A., Misztalski J., Olędzki J., 1999: Interpretacja zdjęć lotniczych. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- Hildebrandt G. (red), 1991: Remote Sensing applications for forest health assessment. Walphot S.A. Belgium.
- Hirschmugl M., Almacher K., Schardt M., 2004: Methodik zur automatisierten Baumartidentifizierung basierend auf CIR-Ortophotos. [In:] Angewandte Geoinformatik 2004. Beitrage zum 16. AGIT Symposium. Salzburg. s. 227-236.
- Jaworski A., Poznański R., 2000: Nowoczesne metody gospodarowania w lasach górskich. Centrum Informacji Lasów Państwowych. Warszawa.
- Korpeš S., 1989: Pralesy Slovenska. Veda. Bratislava.
- Piękoś-Mirkowa H., Mirek Z., 1996: Zbiorowiska roślinne. [W:] Mirek Z. Red. Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego. Tatry i Podtatrze 3. Wyd. Tatrzański Park Narodowy. Zakopane – Kraków.
- Sokołowski M., 1928: O górnej granicy lasu w Tatrach. Wydawnictwo Fundacji „Zakłady Kórnickie”. Kraków.
- Šumbera S., Židek V., 2003: Digital classification of tree species and spatial structure of forest stands from remotely sensed data. [W:] Benes T. (red), 2003: Geoinformation for European-wide Integration. Millpress, Rotterdam.
- Wack R., Schardt M., 2004: Ableitung von Gelände- und Forstparametern mit Laserscannerdaten für die Modellierung von Lawinenabgängen. Angewandte Geoinformatik 2004. Beiträge zum 16. AGIT-Symposium. Salzburg; s. 754-759, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Wężyk P., 1998: Leśnictwo i ochrona przyrody. [W:] Kompleksowe wykorzystanie informacji ze zdjęć lotniczych. Phare Część III. Szczegółowe aplikacje zdjęć lotniczych w różnych dziedzinach gospodarki narodowej. Kraków – Sieradz.
- Wężyk P., 2004: GPS w leśnictwie i ochronie przyrody. Mity i Fakty. *Roczniki Geomatyki*. Tom II, Zeszyt 4, s.19-32.
- Wężyk P., Guzik M., 2004: The use of „Photogrammetry-GIS” (P-GIS) for the analysis of changes in the Tatra Mountains’ natural environment. In: A message from the Tatra. Geographical Information Systems and Remote Sensing in Mountain Environmental Research. Kraków, Poland, Riverside, California, USA, p. 31-46.
- Wężyk P., Mansberger R., 1997: Przykład wykorzystania ortofotografii cyfrowej i systemu GIS w leśnictwie. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol.6. str.133-155;
- Wężyk P., Pyrkosz R., 1999: Użytkowanie polan w Gorcach na przestrzeni lat 1954–1997 na podstawie fotogrametrycznego opracowania zdjęć lotniczych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 9. Olsztyn 1999.
- Wężyk P., Świąder A., 2003: Image Web Server – platforma udostępniania ortofotomap cyfrowych przez Internet. Fotogrametria bliskiego i dalekiego zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 13B, Wrocław.
- Wężyk P., Wertz B., Waloszek A., 2003: Skaner hiperspektralny AISA jako narzędzie pozyskiwania informacji o ekosystemie leśnym. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol.13 B. Fotogrametria bliskiego i dalekiego zasięgu. Wrocław.
- Ziobro J., Ewiak I., 1999: Mozaikowanie ortofotografii. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 9. Olsztyn.

Summary

The main goal of the presented work was to prepare an up-to-date digital map of plant cover of the Skoruśniak Reserve and the Roztoka Valley in Polish High Tatras, using photogrammetry, GPS survey and GIS analysis of data gathered from CIR (Color InfraRed) aerial photos (scale 1:10.000). The generation of digital orthophotomap based on the CIR aerial photos and DTM for other working groups in the project, was additional aim of this study.

Before the photogrammetrical flight was undertaken, the 34 GCPs were placed in the area of research. Their precise location was measured using Differential GPS methods (the TPN base station in Zako-

pane). Further work showed the need of measuring additional 14 GCPs, first pre-selected on the enlarged aerial photos and then measured during the field campaign (DGPS).

The CIR aerial images with stereo overlay were taken during a photogrammetric flight on September 30th 2002 over the Tatra National Park. The aerotriangulation process made by OPGK Krakow, resulted in 23 stereomodels, which were next used for the 3D mapping of plant cover, using digital photogrammetry station DEPHOS.

Types of the plant cover were distinguished with the use of prepared photointerpretation key and the ground truth survey. Generally, three types of polygon features were distinguished: FOREST, NON_FOREST and UNCLASSIFIED. The types were divided next into 11 classes and 38 objects. The total area of 149 objects which belong to the FOREST type was 1.626 hectares (58% of the research area). The 150 objects from the NON_FOREST type, covered an area of 615 hectares (22% of research area). Objects put into UNCLASSIFIED type (snow, shadow areas) covered as much as 20% of the research area.

Polygon objects were next encoded (numbers) and the corrected topology of the thematic cover was created (ArcInfo ESRI). The obtained polygon layer was used for GIS spatial analysis with the use of DTM.

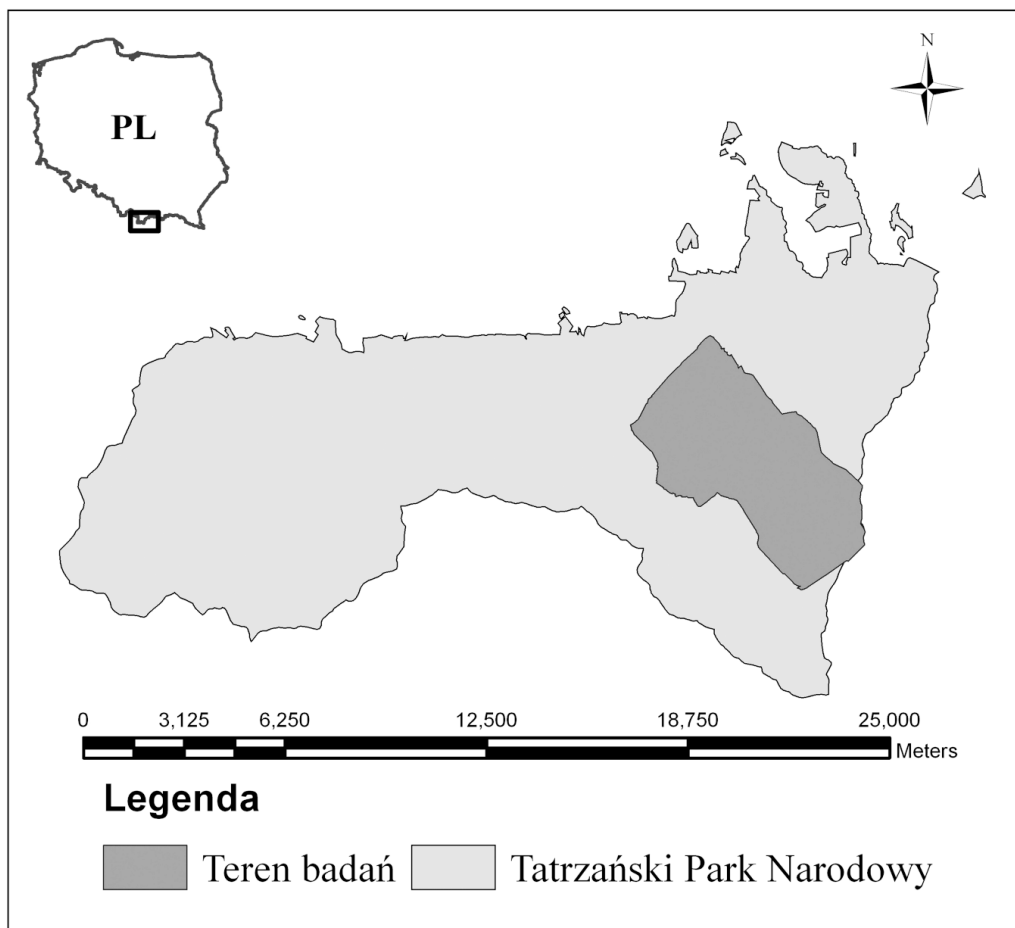
The final product of the aerial photos processing was an orthophotomap (2.96 GB TIFF), compressed with Enhanced Compressed Wavelet (ECW) algorithm using ER Mapper (ERM), with almost no loss of information, but with the output file with the size of 114.8 MB only.

The results of the presented research proved that geomatic technologies integration have an important place in environment studies. The geodata gathered in the project may be used in further GIS spatial-temporal analysis of the plant cover of the Tatra National Park.

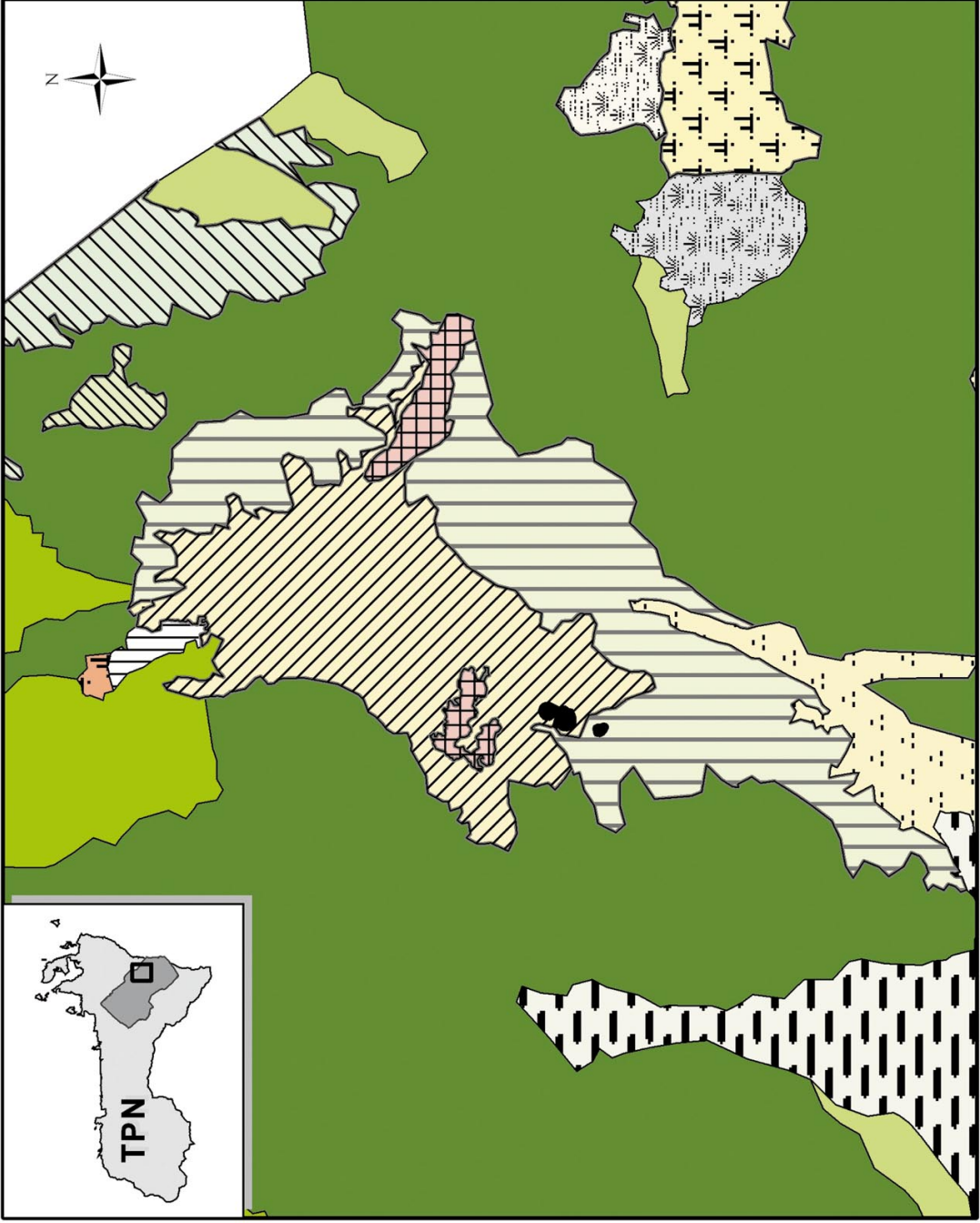
The presented paper was a part of a scientific research project: "Time and spectral scales of Western Carpathians Norway spruce forest dynamics" granted by KBN 6 P04 F03021.

dr inż. Piotr Wężyk
rlwezyk@cyf-kr.edu.pl

mgr inż. Joanna Wrzodak
<http://argis.les.ar.krakow.pl>



Rys. 1



Rys. 2