

**WYKORZYSTANIE WYSOKOROZDZIELCZYCH  
ZOBRAZOWAŃ SATELITARNYCH QUICKBIRD-2  
W AKTUALIZACJI BAZ DANYCH  
LEŚNEJ MAPY NUMERYCZNEJ**

**USAGE OF VHR QUICKBIRD-2 SATELLITE IMAGES  
IN UPDATING DATABASES  
OF THE DIGITAL FOREST MAP**

**Piotr Wężyk, Paweł Ciechanowski**

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

**Słowa kluczowe: Leśna Mapa Numeryczna (LMN), System Informacyjny Lasów Państwowych (SILP), QuickBird**

Keywords: digital forest map (LMN), Information System of Polish State Forest (SILP), QuickBird

### **Wstęp i cel pracy**

Dynamiczne i wielkopowierzchniowe zmiany, jakim nieustannie podlegają obszary leśne, powodują potrzebę ciągłej rewizji baz danych stosowanych w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe (PGL LP). Do głównych baz stosowanych obecnie w PGL LP, rozumianych jako składniki systemu informacji przestrzennej (SIP), zaliczyć należy moduł LAS z Systemu Informacji Lasów Państwowych (SILP) oraz bazę geometryczną rozumianą jako podstawę Leśnej Mapy Numerycznej (LMN). Tę ostatnią zdefiniowano odpowiednim standardem (SLMN) Zarządzeniem Dyrektora Generalnego LP nr 74 z roku 2001 i ostatecznie zmodyfikowano Zarządzeniem nr 43 (IUL 2003) w dniu 18 kwietnia 2003 roku.

Stosowanie LMN w nadleśnictwach umożliwia generowanie kilkudziesięciu predefiniowanych map tematycznych na podstawie relacji pomiędzy obiektami (blisko 8 mln pododdziałów stanowiących encje) z bazy geometrycznej do tabel bazy atrybutowej LAS (SILP). Każdy pododdział w PGL LP posiada unikatowy identyfikator, tzw. adres leśny, czyli zakodowany w postaci ciągu znaków (*string*) kod: regionalnej dyrekcji Lasów Państwowych (RDPL), nadleśnictwa, obrębu leśnego, leśnictwa, oddziału i litery pododdziału (np. 17-13-3-13-64-b-00.) Prace nad wdrażaniem map numerycznych w PGL LP rozpoczęły się licznymi eksperymentami w latach 90. XX wieku. W chwili obecnej 167 nadleśnictw (tj. około 40%) wyposażono już w LMN, a kolejne 104 otrzymają je w niedługim czasie (do końca 2005 r. niemal 63%). Do niedawna aktualizacja map leśnych wykonywana była w ramach planu zarządzania nadleśnictwa, zwykle raz na 10 lat. Ten stosunkowo długi okres był niekiedy przyczyną dużych rozbieżności pomiędzy bazami opisowymi systemu SILP, aktualizowanymi

już od kilku lat w zasadzie na bieżąco, a posiadanymi mapami (analogowymi lub LMN). Kartografia leśna w Polsce w ostatnich kilkudziesięciu latach w głównej mierze opierała się na pomiarach terenowych wykonywanych ciągami busolowymi oraz na dość subiektywnym opisie poszczególnych pododdziałów wykonywanych przez taksatorów leśnych. Tworzenie LMN opiera się zazwyczaj na wektoryzacji zeskanowanych map analogowych tworzonych w wymieniony sposób, co powoduje, iż materiały cyfrowe obarczone są tymi błędami.

Główne zadania stawiane teledetekcji w zakresie leśnictwa to dostarczanie informacji dotyczącej czasowo-przestrzennej charakterystyki (struktury) kompleksów leśnych. Kombinacja geodanych typu 2D (przestrzenna lokalizacja w postaci współrzędnych XY) z wymiarem czasu pozwala na określenie statusu ekosystemu leśnego i zmian, jakim dynamicznie podlega.

Materiały i opracowania fotogrametryczne, w tym szczególnie barwne spektrostrefowe (ang. *Colour InfraRed*), mogą być bardzo cennym źródłem wiarygodnych i aktualnych geodanych dla gospodarstwa leśnego (Wężyk, Przybyłek 2004; Wężyk, Mansberger 1997). Integracja technik i opracowań fotogrametrycznych z innymi technologiami geoinformacyjnymi takimi jak LIDAR (Diedershausen et al. 2003), GPS bądź GIS (Wężyk, Guzik 2004) znajduje zastosowanie nie tylko w pracach badawczych z zakresu leśnictwa, ale także w wielu krajach w praktyce leśnej.

Technologie fotogrametryczne, wspierane w ostatnim dziesięcioleciu cyfrowymi stacjami fotogrametrycznymi oraz od niedawna wielkoformatowymi cyfrowymi kamerami lotniczymi, są jednak coraz częściej zastępowane wysokorozdzielczym obrazowaniem satelitarnym (VHR). Konsorcja Space Imaging oraz DigitalGlobe i inne oferują użytkownikowi coraz lepsze produkty i to zarówno w zakresie rozdzielczości terenowej piksela obrazu (poniżej 1,0 metra) jak i rozdzielczości radiometrycznej (Kurczyński, Wolniewicz 2002; Preuss 2004).

Technologie obrazowania Ziemi (EO ang. *Earth Observation*) wykorzystujące obrazy satelitarne były stosowane już dawno w leśnictwie głównie do określania granic kompleksów, typów drzewostanu (np. las iglasty czy liściasty), czy nawet biomasy (Haapanen et al. 2004; Nilsson et al. 2002; Franco-Lopez et al. 2001; Mäkelä, Pekkarinen 2001). Weryfikacja i aktualizacja map leśnych w oparciu o dane wysokorozdzielcze opierana bywa jednak coraz częściej o metody segmentacji obrazu (Pekkarinen, Tuominen 2003; Wężyk et al. 2004), które umożliwiają pół- lub w pełni automatyczne metody obiektowej klasyfikacji obrazu ekosystemów leśnych. Nowym rozwiązaniem technicznym w niedługim czasie będą hiperspektralne (kilkaset kanałów) zobrazowania z pułapu satelitarnego (np. EnMap), które jednak charakteryzować się będą średniorozdzielczym pikselem terenowym (około 30m x 30m).

Celem prezentowanej pracy było określenie możliwości wykorzystania wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych QuickBird w procesie weryfikacji i aktualizacji bazy geometrycznej (LMN) tj. obiektów takich jak: granice pododdziałów oraz gniazd (zrębów) i luk występujących w drzewostanie.

## Teren badań

Obszarem badań był fragment obrębu Kurozwęki należącego do Nadleśnictwa Staszów w Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Radomiu (RDLP Radom; rys. 1), który wybrano głównie ze względu na fakt, iż prace urządzeniowe, wynikiem których było przekazanie Nadleśnictwu Staszów Leśnej Mapy Numerycznej, zakończono w tym obiekcie w 2003 roku.

## Materiały i metoda

Informacje o aktualnym przebiegu granic analizowanych w niniejszej pracy obiektów pozyskano w oparciu o cztery źródła geodanych, tj.: Leśną Mapę Numeryczną (2003), terenowe pomiary różnicowe GPS (DGPS ang. *Differential Global Positioning System*) wykonane w latach 2003 i 2004, zobrażenie satelitarne QuickBird (IX.2003) oraz ortofotomapę cyfrową wykonaną ze zdjęć lotniczych w skali 1: 13 000 (Phare 2001).

Weryfikacja przebiegu granic pododdziałów, położenia gniazd i luk w drzewostanie odbywała się na drodze pomiarów DGPS oraz wektoryzacji ekranowej obrazu QuickBird. Pomiar DGPS (Szczygielski 2003) polegał na pomiarze punktów granicy pododdziałów, które zostały następnie wygenerowane jako poligony przy wykorzystaniu rozszerzenia *Point to Polygon* programu ArcView 3.2 (ESRI).

W procesie ekranowej wektoryzacji granic pododdziałów oraz gniazd i luk na obrazie satelitarnym QuickBird posługiwano się wzmocnionym w programie ER Mapper 6.4 (ERM) obrazem, tzw. *pan – sharpened*. Wszystkie uzyskane na tej drodze wektory (pomiaru terenowe DGPS i ekranowa interpretacja) porównano z zapisem w bazie geometrycznej LMN.

Obraz QuickBird skalibrowany w oparciu o punkty dostosowania (GCP ang. *Ground Control Points*) uzyskane z pomiaru DGPS, map topograficznych i ewidencyjnych charakteryzował się średnim błędem kwadratowym współrzędnych płaskich  $RMS_{XY}$  (ang. *Root Mean Square Error*) rzędu 1,07 m.

Wszystkie dane oraz warstwy informacyjne sprowadzono przy pomocy oprogramowania *Trako-Transformacja i Konwersja* (Taxus) do jednolitego układu odniesienia, zgodnego ze Standardem LMN, tj. do Państwowego Układu Współrzędnych Geodezyjnych 1992/19 (PUWG 1992/19) i porównano pod kątem przebiegu granic oraz powierzchni analizowanych obiektów.

## Wyniki i dyskusja

Praca koncentrowała się na testowaniu przydatności wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych QuickBird w leśnictwie. Aby uzyskane wyniki można było uznać za obiektywne należało przetestować również inne technologie takie jak: pomiar DGPS czy ortofotomapy lotnicze w celu określenia jakości danych referencyjnych. W pierwszym etapie prac skoncentrowano się na ocenie jakości LMN w stosunku do pomiarów DGPS oraz informacji zawartych w ewidencji (powierzchni pododdziałów).

W celu weryfikacji przebiegu granic pododdziałów zapisanych w tabelach bazy geometrycznej, wykonano pomiary DGPS w 6 oddziałach, o numerach: 198, 199, 200, 202, 203 i 204 zawierających łącznie 38 pododdziałów. Analizie poddano tylko 34 pododdziały, ponieważ nie można było określić w terenie przebiegu granicy czterech pozostałych. Jako dane referencyjne przyjęto powierzchnię ewidencyjną z bazy SILP. Pomiary zostały ze sobą porównane pod kątem zgodności powierzchni oraz przebiegu granicy pododdziałów (tab. 1).

Sumaryczna powierzchnia sześciu badanych oddziałów wpisana do ewidencji gruntów (EG) wynosiła 150,78 ha. Okazała się ona mniejsza aż o 8,27 ha (5,48%) od otrzymanej na podstawie zapisu LMN oraz o 6,39 ha (4,24%) w stosunku do pomiaru DGPS.

**Tabela 1. Zestawienie różnic łącznej powierzchni 34 analizowanych pododdziałów (w 6 kolejnych oddziałach) na podstawie danych z EG, LMN oraz pomiaru DGPS**

		Numer oddziału leśnego						
		198	199	200	202	203	204	Suma
Powierzchnia z EG	[ha]	22,31	22,51	36,10	22,42	22,17	25,27	150,78
Powierzchnia z LMN	[ha]	23,77	23,64	37,34	23,83	23,79	26,68	159,05
Powierzchnia z DGPS	[ha]	23,72	23,52	36,32	23,70	23,55	26,35	157,16
Różnica powierzchni EG – LMN	[ha]	-1,46	-1,13	-1,24	-1,41	-1,62	-1,41	-8,27
	[%]	6,50	5,00	3,40	6,30	7,30	5,60	–
Różnica powierzchni EG – DGPS	[ha]	-1,41	-1,01	-0,22	-1,28	-1,38	-1,08	-6,38
	[%]	6,30	4,50	0,60	5,70	6,20	4,30	–
Różnica powierzchni LMN – DGPS	[ha]	0,05	0,12	1,02	0,13	0,24	0,33	1,89
	[%]	0,20	0,50	2,80	0,50	1,10	1,30	–

Wartości różnic powierzchni wydzielonych obiektów (pomiędzy zapisaną w ewidencji gruntów a pomierzoną w terenie) posiadały zarówno znak ujemny jak i dodatni, co świadczyć może o tym, iż powierzchnia ewidencyjna jest w rzeczywistości niezgodna z pomierzoną w terenie odbiornikiem kartograficznym GPS (Pathfinder ProXRS Trimble).

Analizując wyniki prac (tab. 1) można zauważyć, iż dla całych oddziałów leśnych (trakowanych jako działka w ewidencji gruntów) zakres procentowych różnic pomiarów DGPS odnoszonych do danych ewidencyjnych wahał się od 0.6 do 7.3%. Wykryte rozbieżności mogą wynikać z błędów przy wytyczaniu (interpretacji), sygnalizowaniu w terenie i pomiarze granic wyłączonych podczas tradycyjnych prac urządzeniowych oraz przy późniejszym nanoszeniu tych linii na mapy leśne. Analizując różnice przebiegu granicy pododdziałów z pomiarów DGPS i tych z LMN (rys. 2), nasuwa się wniosek, iż niedawno przekazana („zaktualizowana”) LMN wymaga kolejnej korekty. W części analizowanych oddziałów, w ogóle nie zidentyfikowano pewnych pododdziałów (np. w przypadku pododdział 202a, który został włączony do 202b). W niektórych przypadkach zdecydowano się na stworzenie nowego pododdziału (np. w oddziale 203 pododdział 203f).

W przypadku powierzchni generowanych z bazy geometrycznej LMN, zakres badanych różnic w stosunku do pomiaru DGPS, wahał się od 0.2 do 2.8%. Zaistniałe różnice mogą świadczyć o błędach LMN powstałych podczas przenoszenia informacji z prac terenowych, czy z map analogowych obciążonych błędami wkreślenia granic ze szkiców sytuacyjnych, sporządzanych na podstawie pomiarów busolowych w drzewostanach. Należy jednocześnie stwierdzić, iż ogólny kształt i zarys wyłączeń są zgodne z rzeczywistością.

Niewątpliwie na poziom uzyskanych rozbieżności mógł mieć wpływ stopień dokładności wygenerowania LMN, a zwłaszcza liczba graniczników wykorzystanych do transformacji map. Możliwa do uzyskania dokładność podczas pozyskiwania przebiegu linii jest ograniczona możliwościami interpretacyjnymi oka ludzkiego, określanymi na 0,2 mm w skali mapy (Przybyłek 2003). W badaniach innych autorów nad dokładnością leśnej mapy gospodarczej uzyskano średni błąd transformacji  $RMS_{XY}$  równy 3,0 m (Kamińska, Karaszewicz 1994).

Należy zdawać sobie sprawę, że przesunięcie granicy o 1,0 m dla pododdziału w kształcie kwadratu o powierzchni jednego hektara (o boku 100 m) powoduje różnicę 201 m<sup>2</sup> (tj. 2,01%).

Przyczyn zaistniałych rozbieżności nie należy jedynie upatrywać w błędach ewidencji czy technologiach tworzenia LMN, ale często w samym pomiarze DGPS. Badania prowadzone przez Szczypińskiego (2003) dowiodły, iż maksymalne błędy pomiaru DGPS w drzewostanach obserwowane były właśnie we wrześniu i wynosiły odpowiednio: 2,57 m dla drzewostanów iglastych, 1,56 m dla liściastych oraz 3,09 m dla mieszanych. Przytoczone wyniki badań mają na celu uzmysłowienie, iż pomiar DGPS jest również obciążony pewnym błędem i nie należy go traktować bezkrytycznie. Jedynym sprawdzeniem może być pomiar DGPS na powierzchniach otwartych, zrębów, gniazd itp.

Kolejnym etapem prac było porównanie przebiegu granic pododdziałów pochodzących z pomiarów DGPS z wektorem wyznaczonym w procesie ekranowej digitalizacji zobrażenia QuickBird. Metoda manualnej wektoryzacji została wybrana w sposób świadomy. Choć wyniki klasyfikacji nadzorowanej czy przeprowadzona klasyfikacja obiektowa (eCognition ver.4) dawały bardzo zadawalające rezultaty, zdecydowano się na metodę jaka może być powszechniej wykorzystywana. Pracownicy Biur Urządzenia Lasu czy administracji PGL LP nie nabyli jeszcze odpowiednich umiejętności w zakresie klasyfikacji obrazów VHR, ale za to doskonale łączą wiedzę leśną z interpretacją zobrażeń satelitarnych. Choć metoda wzrokowej interpretacji i wektoryzacji ekranowej wydaje się być niezmiernie pracochłonna, to jednak efekt prac może czasami przewyższać metody klasyfikacji nadzorowanej. Należy podkreślić, iż przebieg granic pododdziałów na zobrażeniu QuickBird rozpatrywano w odniesieniu do modelu powierzchni koron (DSM ang. *Digital Surface Model*), które są elementem rejestrowanym przez system satelitarny. Wykorzystanie faktu odmiennej perspektywy obserwacji obszarów leśnych, umożliwiło dostrzeżenie na zobrażeniu pewnych elementów i cech drzewostanu, które mogły zostać pominięte podczas prac urzędniowych. Z drugiej strony pewne cechy drzewostanów, które obserwuje taksator w terenie np. budowę piętrową, nie są możliwe do zarejestrowania na obrazie satelitarnym. Wyniki interpretacji przebiegu granic pododdziałów na obrazie QuickBird przedstawiono na rysunku 3 a dla całych oddziałów zestawiono w tabeli 2.

Analizując uzyskane wyniki stwierdzono wyraźne różnice w zasięgu poszczególnych pododdziałów (rys. 3). Odległości pomiędzy odpowiadającymi sobie liniami oddziałowymi (z LMN i QuickBird) nie przekraczają w zasadzie 4,0 metrów. Istotne różnice zaznaczają się natomiast w przypadku przebiegu granic pododdziałów (największe zaobserwowano w oddziale 198). W procesie interpretacji i wektoryzacji obrazu QuickBird zdecydowano się jednak na utworzenie dodatkowych wydzieleń (np. 198c' oraz 198c''), a decyzję

**Tabela 2. Zestawienie łącznej powierzchni 34 analizowanych pododdziałów (w 6 oddziałach) na podstawie danych pochodzących z interpretacji obrazu QuickBird oraz pomiarów DGPS**

Nr oddziału	Powierzchnia wg QuickBird	Powierzchnia wg DGPS	Różnica powierzchni QuickBird – DGPS	
	[ha]	[ha]	[ha]	[%]
198	23,51	23,72	-0,21	0,9
199	23,29	23,52	-0,23	1,0
200	38,00	36,32	1,68	4,4
202	23,72	23,70	0,02	0,1
203	23,75	23,79	-0,04	0,2
204	26,77	26,35	0,42	1,6
Suma	159,04	157,40	1,64	1,0



podjęto na podstawie wyraźnych różnic w odbiciu spektralnym, wskazującym na odmienny skład gatunkowy.

Nowy przebieg granic zaproponowano również w wyłączeniu 199a (na podstawie różnic zwarcia koron), dla pododdziałów 203b, 203g, 200f, 200h oraz 200i (rys. 3). Pozostałe granice powstałe w wyniku interpretacji zobrazowania QuickBird, choć różnią się w swoim przebiegu od tych wyznaczonych pomiarami DGPS, to w kształcie generalnie są do siebie zbliżone.

Zaistniałe błędy miały zarówno znak dodatni jak i ujemny, przy czym łączna powierzchnia wyłączeń wygenerowanych dwoma różnymi sposobami (DGPS i wizualna interpretacja) różniła się tylko o 1,64 ha, co można ewentualnie wytłumaczyć błędem samego pomiaru DGPS. Analiza obrazu QuickBird, przede wszystkim w kanale podczerwonym (NIR), w którym wyraźnie uwidoczniła się zróżnicowanie gatunkowe roślinności, dała podstawy nie tylko do korekty przebiegu linii granicznych podziału powierzchniowego, ale także do wyznaczenia całkiem nowych pododdziałów.

Kolejnym powodem występowania różnic w powierzchni pododdziałów może być utrudniona interpretacja przebiegu ich granic w przypadku, gdy linie podziału powierzchniowego bieżą między drzewostanami o zbliżonym wieku i charakterystykach taksacyjnych. Korony drzew starszych klas wieku zasłaniają często przebieg granic. Wektoryzacja w miejscach o zwartym pułapie koron prowadzona była po ich zewnętrznej krawędzi, przez co położenie niektórych granic mogło zostać przesunięte. W badaniach nad wykorzystaniem zdjęć lotniczych do taksacji leśnej wykazano, że 66% granic widocznych jest na zdjęciach wyraźnie, 32% jest niedostatecznie wyraźnych, natomiast tylko 3% stanowią granice umowne (Piekarski 1998). W cytowanych badaniach wykazano, że liczba wyłączeń taksacyjnych niezbędnych do weryfikacji w drzewostanie nie przekracza 8%.

Wykorzystując obraz satelitarny QuickBird-2, na obszarze badań zinventaryzowano gniazda (rodzaj rębni) i luki w 19 wybranych pododdziałach, tj.: 130f, 131a, 131b, 133c, 133d, 145a, 145f, 146a, 178d, 179d, 179i, 180b, 189f, 200a, 200b, 200d, 205a, 206d oraz 206f (rys. 4). Pozyskane w ten sposób dane utworzyły odrębną warstwę tematyczną, która może stać się źródłem informacji o wykonywanych na tym terenie zabiegach hodowlanych (np. przebudowie drzewostanów), czy negatywnych zjawiskach takich jak wiatrołomy czy gradacje owadów.

Analizę porównawczą wykonano również przy wykorzystaniu ortofotomapy cyfrowej Nadleśnictwa Staszów wykonanej z czarno-białych zdjęć lotniczych w skali 1:13 000 z roku 2003 (piksel 25 cm; Sztremer 2004). Produkt ten charakteryzował się średnim błędem kwadratowym wpasowania ( $RMS_{XY}$ ) równym 0,56 m.

Przykład wyników porównania lokalizacji i powierzchni gniazd i luk w pododdziale 145a i 146a zestawiono w tabeli 3 i zaprezentowano na rysunku 4. Wybrane charakterystyki (wartości bezwzględne) wyników aktualizacji granic gniazd i luk w analizowanych drzewostanach zestawiono w tabeli 4.

Otrzymane wyniki świadczą o tym, iż LMN cechuje się znacznym stopniem niedokładności oraz niskim poziomem aktualności. Wynika to z faktu zarówno źle wniesionych poligonów gniazd, jak i braku niektórych obiektów (gniazd), choć Instrukcja Urządzenia Lasu mówi wyraźnie o tym, iż są one jedną z warstw LMN (pomimo, iż nie są one encją w rozumieniu GIS).

Fotointerpretacja danych obrazowych pozwoliła na wyodrębnienie: 189 poligonów na obrazie satelitarnym QuickBird i 179 na ortofotomapie lotniczej, podczas gdy warstwa poligonowa gniazd i luk LMN zawierała tylko 174 obiekty.

**Tabela 3. Zestawienia powierzchni gniazd i luk pozyskanych na podstawie LMN, interpretacji zobrażenia QuickBird oraz ortofotomapy ze zdjęć lotniczych w skali 1:13 000**

Oddz/ Pododdz.	Nr gniazda/ luki	Powierzchnia gniazda na podstawie			Różnica powierzchni LMN – QuickBird		Różnica powierzchni LMN – ortofotomapa	
		LMN	Quick- Bird	ortofotomapy lotniczej	[ha]	[%]	[ha]	[%]
145a	76	0,15	0,14	0,16	0,01	7,30	-0,01	-3,95
	77	0,06	0,04	0,05	0,02	28,74	0,01	18,55
	78	0,09	0,08	0,08	0,01	9,02	0,01	13,20
	79	0,08	0,09	0,08	-0,01	-10,40	0,00	4,42
	80	0,06	0,09	0,07	-0,03	-45,15	0,00	-5,29
	81	0,06	0,07	0,07	-0,01	-17,45	-0,01	-21,16
	82	brak	0,11	0,11	–	–	–	–
	83	0,10	0,10	0,10	0,00	-0,45	0,00	-2,78
	84	brak	0,13	0,12	–	–	–	–
	85	0,12	0,10	0,11	0,02	16,92	0,01	8,12
	86	0,05	0,08	0,08	-0,03	-53,29	-0,03	-53,69
	87	0,07	0,09	0,09	-0,02	-27,56	-0,02	-27,68
	88	0,08	0,10	0,10	-0,02	-28,65	-0,02	-29,50
89	0,12	0,09	0,09	0,03	23,00	0,03	28,20	
146a	95	brak	0,11	0,11	–	–	–	–
	96	0,25	0,18	0,14	0,07	28,01	0,11	43,59

**Tabela 4. Wybrane charakterystyki powierzchni gniazd i luk w drzewostanie na podstawie: LMN oraz wektoryzacji ekranowej obrazu QuickBird i ortofotomapy ze zdjęć lotniczych w skali 1:13 000**

Źródło danych / różnice powierzchni	Ilość gniazd / luk	Minimum	Maximum	Wartość średnia powierzchni gniazda lub luki	Suma powierzchni
	[szt]	[ha]	[ha]	[ha]	[ha]
	1	2	3	4	5
LMN	174	0,04	0,42	0,14	23,95
QuickBird	189	0,04	0,40	0,14	26,01
Ortofotomapa	179	0,05	0,32	0,14	25,54

Gniazda i luki wydzielone na obrazie satelitarnym QuickBird na powierzchni 19 pododdziałów (łącznie ok. 90,5 ha) zajmowały powierzchnię 26,01 ha (tab. 4).

Dla tych samych analizowanych pododdziałów, LMN wykazywała obecność gniazd i luk o łącznej powierzchni o 2,06 ha mniejszej. Mimo, iż suma powierzchni dla analizowanych

obiektów z LMN była niższa od uzyskanej na podstawie zobrazowania QuickBird, to jednak wartość średnia, minimalna i maksymalna były bardzo zbliżone. Ponadto zauważono, iż dla gniazd z LMN, znajdujących wewnątrz drzewostanu błędy ich położenia były większe niż dla obiektów zlokalizowanych blisko linii oddziałowych, do których możliwe było w miarę precyzyjne dowiązanie się podczas tradycyjnych prac urządzeniowych (ciągi busolowe). Wektoryzacja ekranowa kompozycji QuickBird pozwoliła na określenie nie tylko powierzchni gniazd i luk, ale przede wszystkim na ich precyzyjną lokalizację.

Zbliżone wyniki w stosunku do zobrazowania satelitarnego QuickBird zanotowano dla ortofotomap cyfrowych opracowanych ze zdjęć lotniczych 1:13.000, które pomimo swej większej precyzji (Standard I, 25 cm piksel) charakteryzują się jednak o wiele uboższą informacją radiometryczną. Rozwiązaniem problemu okresowej aktualizacji bazy geometrycznej LMN na podstawie wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych może być tzw. metoda kombinowana. Proponowana przez autorów metoda opierałaby się na wektoryzacji, kompozycji barwnej (kanały: 432 QuickBird wzmocnionych kanałem PAN) na ekranie monitora z równoczesnym wykorzystaniem informacji zapisanych w LMN i bazie SILP m.in. o wieku i pochodzeniu drzewostanów. Ponadto, jeśli zaproponowane źródła informacji o lesie nie byłyby wystarczające, istnieje możliwość wykonania uzupełniających terenowych pomiarów DGPS.

## Wnioski

Podstawą sprawnego funkcjonowania systemów zarządzania i wspomagania decyzji, do jakich zaliczyć można SIP (GIS), sprowadza się w dużej mierze do poprawności i aktualności geodanych Leśnej Mapy Numerycznej. Wspomaganie geometrycznych baz danych LMN wysokorozdzielczymi obrazami satelitarnymi może i powinno mieć swoje miejsce, szczególnie w zakresie weryfikacji i aktualizacji granic pododdziałów oraz innych obiektów (np. gniazd i luk, wizur, polan, pożarzysk, itd.). Poprawnie skalibrowany i ortorektyfikowany, wielospektralny obraz satelitarny QuickBird (wzmocniony dodatkowo kanałem PAN; 0,6 m x 0,6 m), stanowi niezmiernie cenną warstwę referencyjną w procesie weryfikacji poprawności LMN. Praca dowiodła, iż przebieg granic pododdziałów oraz określenie lokalizacji położenia luk i gniazd w drzewostanach jest możliwe na podstawie wektoryzacji ekranowej obrazu QuickBird. W ocenie autorów pracy, najbardziej wiarygodną mapę podziału powierzchniowego lasu można uzyskać stosując metodą kombinowaną, bazującą na kilku źródłach informacji jednocześnie, tj.: LMN, wysokorozdzielczych zobrazowaniach satelitarnych (lub ortofotomapach lotniczych) oraz uzupełniających pomiarach DGPS.

Współcześnie tworzone Leśne Mapy Numeryczne choć spełniają Standard LMN, to nie są w zasadzie poddawane żadnej obiektywnej weryfikacji z wykorzystaniem wiarygodnych materiałów, jakimi są ortofotomapy lotnicze bądź satelitarne. Powoduje to dalsze przenoszenie błędów, które nawarstwiały się często w ciągu kilkudziesięciu lat, z map analogowych do LMN i pogłębia dalsze problemy w aspekcie relacji z bazą opisową LAS w Systemie Informacyjnym Lasów Państwowych. W związku z tym należy jak najszybciej wprowadzić uzupełnienia do obowiązującej Instrukcji Urządzania Lasu w zakresie obowiązku weryfikacji LMN, na podstawie materiałów teledetekcyjnych przejmowanych do zasobów geodezyjnych (np. w ramach projektów Phare 2001 oraz IACS/LPIS), w tym ortofotomap wykonywanych wysokorozdzielczymi skanerami satelitarnymi.



Przedstawianie sytuacji zewnętrznej (poza PGL LP) na LMN i w systemach SIP może być z powodzeniem realizowane przez użycie aktualnych zobrażeń wysokorozdzielczych, których szczegółowość przekracza niekiedy wymogi stawiane mapom topograficznym.

Wspomaganie prac z zakresu urządzania lasu metodami zdalnego pozyskiwania informacji, w tym nowoczesnymi technikami teledetekcyjnymi, nabiera dużego znaczenia w aspekcie zwiększającej się dostępności aktualnych materiałów teledetekcyjnych (np. Phare 2001) oraz otwarcia w Komorowie Satelitarnego Centrum Operacji Regionalnych wyposażonego w stację odbioru obrazów satelitarnych, w tym z satelity IKONOS.

### Literatura

- Diedershagen O., Koch B., Weinacker H., Schutt C., 2003: Combining Lidar- and GIS data for the extraction of forest inventory parameters. [In:] ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests. Umeå, Sweden. ral Sciences, Department of Forest Resource Management and Geomatics. Working paper 112. p. 273.
- Franco-Lopez H., Ek A.R., Bauer M.E., 2001: Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbour method. *Remote Sensing of Environment* 77: 251-274.
- GDPL, 2001: Zarządzenie nr 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 23 sierpnia 2001 roku, w sprawie zdefiniowania standardu leśnej mapy numerycznej dla poziomu nadleśnictwa oraz wdrażania systemu informacji przestrzennej w nadleśnictwach. Warszawa.
- Haapanen R., Ek A.R., Bauer M.E., Finley A.O., 2004: Delineation of forest/nonforest land use classes using nearest neighbor methods. *Remote Sensing of Environment* 89: 265-271.
- Instrukcja Urządzania Lasu, 2003: Ministerstwo Środowiska. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych. Warszawa.
- Kamińska G., Karaszkievicz W., 1994: Badanie i ocena dokładności leśnej mapy gospodarczej. *Sylvan*, 5, s. 190-28. Warszawa.
- Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2002: Co oznacza piksel poniżej metra? [W:] *Magazyn Geoinformacyjny Geodeta* 8 (87).
- Mäkelä H., Pekkarinen A., 2001: Estimation of timber volume at the sample plot level by means of image segmentation and Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment* 77(1): 66-75.
- Nilsson M., Rosengren M., Aalto P., Kennedy P., 2002: Simultaneous use of Landsat TM and IRS-1C WiFS data in estimating large area tree stem volume and aboveground biomass. *Remote Sensing of Environment* 82: 156-171.
- Pekkarinen A., Tuominen S., 2003: Stratification of a forest area for multi-source forest inventory by means of aerial photographs and image segmentation. In: *Advances in Forest Inventory for Sustainable Forest Management and Biodiversity Monitoring. Forestry Sciences* vol. 76: 111-124. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Piekarski E., 1998: Wykorzystanie zdjęć lotniczych w taksacji leśnej. *Sylvan* 6, s. 81-83.
- Preuss R., 2004: Dwóch na jedną. [W:] *Magazyn Geoinformacyjny Geodeta*. 4 (107).
- Przybyłek Ł., 2003: Zastosowanie zdjęć lotniczych oraz produktów ich przetwarzania w procesie aktualizacji leśnej mapy numerycznej. Praca magisterska wykonana w Katedrze Ekologii Lasu Wydziału Leśnego AR w Krakowie.
- Szczygielski K., 2003: Pomiary metodą DGPS w zmieniających się warunkach drzewostanowych. Praca magisterska wykonana w Katedrze Ekologii Lasu Wydziału Leśnego AR w Krakowie.
- Sztremer M., 2004. Wykonanie opracowania fotogrametrycznego oraz ortofotomapy cyfrowej ze zdjęć lotniczych 1:13000 obszaru Nadleśnictwa Staszów. Opracowanie analityczne wykonane dla IBL Warszawa. ProGea Consulting. Kraków (maszynopis).
- 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, pp. 31-46.

- Wężyk P., Mansberger R., 1997: Przykład wykorzystania ortofotografii cyfrowej i systemu GIS w leśnictwie. [W:] Nowoczesna ortofotografia i GIS dla potrzeb gospodarki terenami. *Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji*, vol. 6, s. 133-150. Kraków.
- Wężyk P., Przybyłek Ł., 2004: Zastosowanie zdjęć lotniczych oraz ortofotomap cyfrowych w procesie weryfikacji i aktualizacji leśnej mapy numerycznej. *Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji*, vol. 14.
- Wężyk P., de Kok R., Zajączkowski G., 2004: The role of statistical and structural texture analysis in VHR image analysis for forest applications. A case study on QuickBird data in the Niepolomice Forest. [In:] *Angewandte Geoinformatik 2004*. Herbert Wichmann Verlag. Heidelberg, s. 770-775.

### Podziękowania

Autorzy wyrażają podziękowanie Instytutowi Badawczemu Leśnictwa z Warszawy, Nadleśnictwu Staszów oraz Generalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Warszawie za udostępnienie danych i materiałów niezbędnych do realizacji pracy przedstawionej w artykule.

### Summary

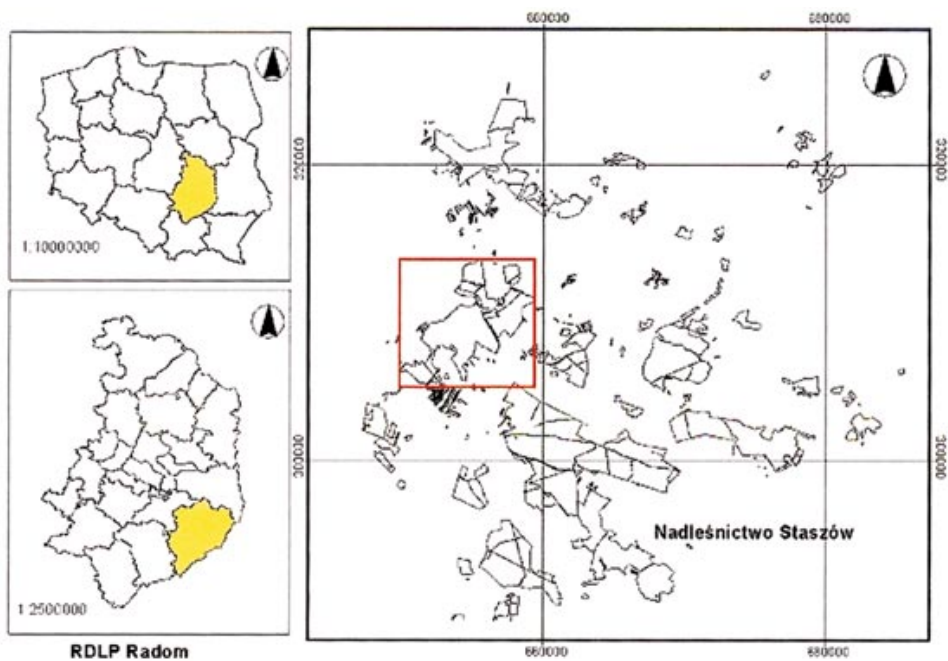
*Development of geomatic techniques calls for use of the VHR satellite imagery (e.g. IKONOS-2, QuickBird-2) in forest inventory practices. The experiences of Scandinavians, USA and Canada prove, that such practices can be used, although Polish forests differ with regard to tree species and stand structure from coniferous boreal forests in North America and Canada.*

*Polish forest inventory practices are based on old and traditional (time and money consuming) methods of field measurements. The new Polish Instruction of Forest Inventory (2003) allows the use of satellite imagery (VHR; pixel size; 6,0 m) to locate and delineate forest stands and gaps. This paper is a part of research project executed by the Forest Management and Monitoring Unit (Forest Research Institute in Warsaw) in cooperation with the Lab of GIS & Remote Sensing of the Forest Ecology Department (Forestry Faculty; Agricultural University of Krakow). The usefulness of QuickBird technology was demonstrated on the example of the Staszów Forests District (Regional Directorate of the Polish State Forests in Radom) and was supported by the General Directorate of Polish State Forest Holding. In the study, the VHR QuickBird-2 satellite imagery and DGPS measurements were applied and tested for the forest inventory purposes. The selected forest stands were delineated again by interpretation based on QuickBird-2 composition (432 "pan-sharpened") and then compared with DGPS measurements and digital forest map (LMN) with regard to location (XY), shape and area. The results show the need for immediate revision and updating of the "newest" digital forest map. The technology of LMN is based mainly on the vectorization of scanned old maps without any serious verification. The reference geodata such like VHR QuickBird-2 images may promptly change the quality of the process of creating maps by supporting the delineation of forest stands and gaps. The authors concluded that the so called "combined methods", based on visual interpretation and vectorisation of the VHR QuickBird composition, DGPS survey and existing forest digital map (LMN) with related database from the latest forest inventory is the best practice in the Polish Forest Inventory.*

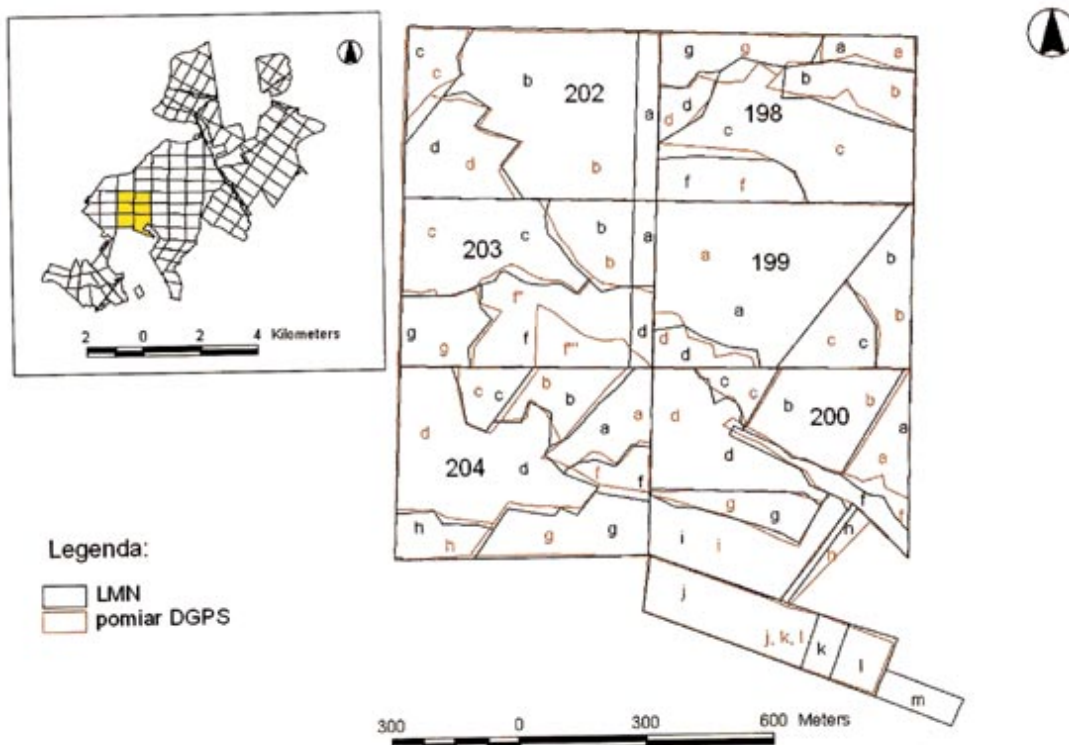
dr inż. Piotr Wężyk  
rlwezyk@argis.les.ar.krakow.pl

mgr inż. Paweł Ciechanowski

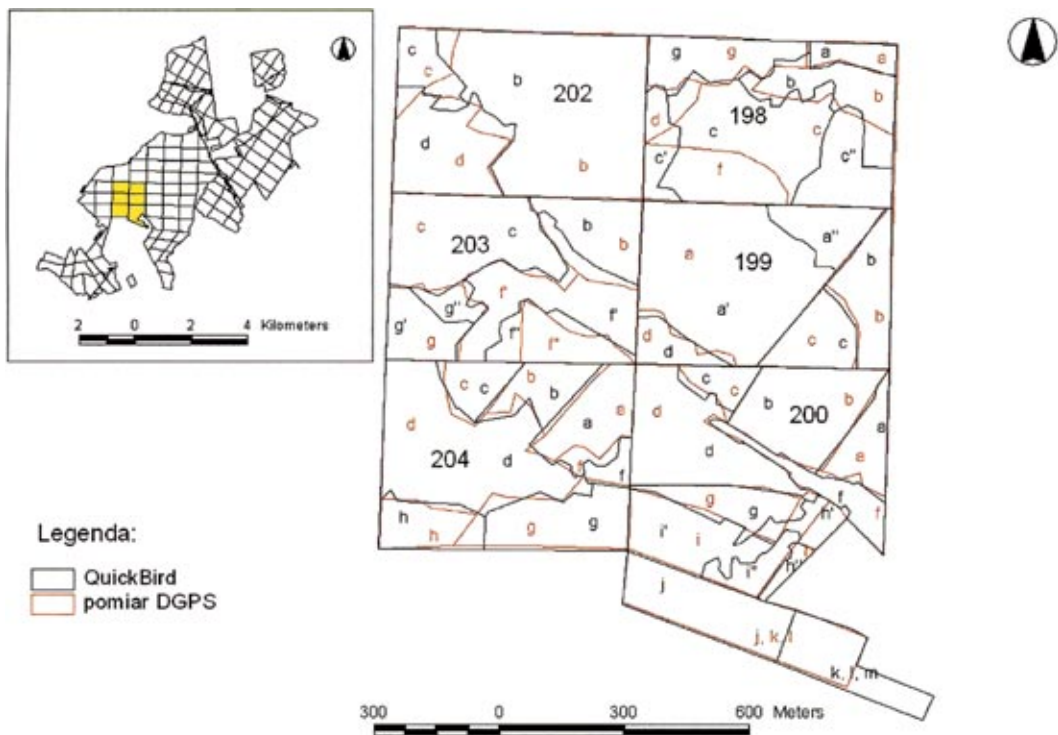
<http://argis.Les.ar.krakow.pl>  
tel./fax (012) 662 50 82



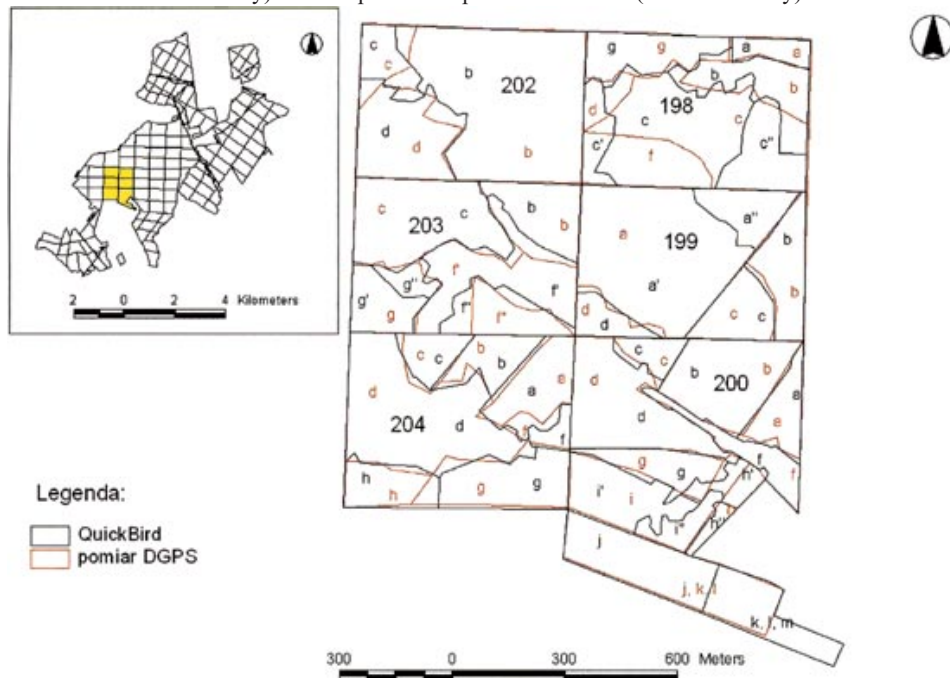
Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań (Nadleśnictwo Staszów; RDLP Radom; PUWG 1992/19)



Rys. 2. Porównanie przebiegu granic wydziałów wyznaczonych na podstawie LMN (kolor czarny) oraz pochodzących z pomiarów DGPS (kolor czerwony)



Rys. 3. Porównanie przebiegu granic wydzielen wyznaczonych na zdjęciu satelitarzym QuickBird (kolor czarny) oraz na podstawie pomiarów DGPS (kolor czerwony)



Rys. 4. Porównanie przebiegu granic gniazd i luk powstałych w drodze wektoryzacji ekranowej na obrazie QuickBird (kolor czerwony) oraz pochodzących z LMN (kolor niebieski) z nałożonym wektorem oddziałów (LMN) w pododdziałach 145a i 146f na terenie Nadleśnictwa Staszów.