

**ROLA KLASYFIKACJI NADZOROWANEJ
WYSOKOROZDZIELCZYCH OBRAZÓW
SATELITARNYCH QUICKBIRD W NOWEJ KONCEPCJI
WYZNACZANIA PRZEMYSŁOWYCH STREF
USZKODZEŃ DRZEWOSTANÓW NA PRZYKŁADZIE
MIASTECZKA ŚLĄSKIEGO**

THE ROLE OF SUPERVISED CLASSIFICATION
OF THE VHR QUICKBIRD SATELLITE IMAGES
IN A NEW CONCEPT OF FOREST INDUSTRIAL
DAMAGE ZONES DELINEATION BASED
ON THE EXAMPLE OF MIASTECZKO ŚLĄSKIE

Krystian Koziol, Piotr Wężyk

Laboratorium GIS i Teledetekcji
Katedra Ekologii Lasu, Wydział Leśny Akademii Rolniczej w Krakowie

Słowa kluczowe: teledetekcja, klasyfikacja nadzorowana, QuickBird, LMN, SILP, strefy uszkodzeń lasu

Key words: Remote Sensing, supervised classification, QuickBird, Digital Forest Map, SILP, forest damage zones

Wstęp

Obserwowana w ostatnich dziesięcioleciach dynamika negatywnych procesów zachodzących w środowisku naturalnym, wywołana najczęściej oddziaływaniem czynników o charakterze antropogenicznym, powoduje konieczność ciągłego monitoringu i oceny stanu ekosystemów. Jedną z kluczowych ról w poprawnym funkcjonowaniu środowiska odgrywają ekosystemy leśne. Na cykliczne ich monitorowanie ponoszony jest duży wysiłek organizacyjny i finansowy (EC-UN/ECE 2000; Seidling i in. 2001; Wawrzoniak i in. 2002). W Europie, która jest bardzo zróżnicowaną mieszanką wielu standardów, tradycji i technologii, budowane są liczne systemy monitoringu i podejmowane próby spójnej oceny zasobów leśnych kontynentu, w tym i stanu zdrowotnego drzew (de Vries i in. 2000; Forest ICP 1994; Solberg, Wężyk 2000).

Podstawowym źródłem informacji o zasobach leśnych są w głównej mierze bezpośrednie obserwacje terenowe, a ich jakość uzależniona jest w znacznym stopniu od zastosowanej metody, w tym subiektywizmu taksatora. Ze względu na cechę wielkoobszarowości ekosystemów leśnych informację pozyskuje się zwykle w oparciu o metody statystyczno-matematyczne, tj. siatki powierzchni próbnych obejmujących duże kompleksy leśne (Wężyk i in. 2000) bądź też całą powierzchnię kraju (wielkopowierzchniowa inwentaryzacja). Sieci powierzchni obserwacyjnych czy monitoringowych mają swe ogromne zalety, szczególnie w aspekcie wsparcia tych prac technikami z zakresu GPS, fotogrametrii cyfrowej, technologii skaningu laserowego czy wreszcie wykorzystania wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych (VHR) i integracji pozyskanych tą drogą geodanych do systemu GIS (Wężyk 2004).

Okresowa ocena stanu lasów i zasobów leśnych, a także prognozowanie zmian w ekosystemach leśnych określa w Polsce bardzo precyzyjnie tzw. Ustawa o Lasach (1991). Na barkach Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe (PGL LP) spoczywają również obowiązki sporządzania okresowych wielkoobszarowych inwentaryzacji stanu lasów oraz aktualizacji stanu zasobów leśnych, a także prowadzenia baz danych. Instrukcje techniczne wydane przez PGL LP określają dalej sposób wykonywania zadań określonych w ww. ustawie. Biorąc pod uwagę ocenę drzewostanów i jego zdrowotność, Instrukcja Urządzenia Lasu (IUL 2003) stwierdza w §1, iż (...) *do głównych celów i zadań urządzania lasu należą: (...) 11) ustalenie stref uszkodzenia lasu (po wprowadzeniu obowiązku ustalania takich stref; patrz § 10, ust. 6 niniejszej instrukcji) oraz ustalenie stopni uszkodzenia drzewostanów; (...)*. Niestety w chwili obecnej nie istnieje obowiązek ustalania nowych stref uszkodzenia lasów, ponieważ nie wydano odpowiedniego zarządzenia w tej sprawie. W przypadku przekazywania Nadleśnictwom nowych Planów Urządzenia Lasu i związanej bezpośrednio z nimi Leśnej Mapy Numerycznej, zwyczajowo przejmuje się strefy wyznaczone w przeszłości, w poprzednich cyklach urzędzeniowych, np. 10 lub nawet 20 lat temu. Jest to jedyna istniejąca i niestety nie aktualizowana informacja. Szczególnie w przypadku bardzo wyraźnych zmian charakteru i wielkości emisji z zakładów przemysłowych w ostatnich 15-tu latach, tego typu informacje stają się niemal bezwartościowe.

Wykorzystanie zdjęć lotniczych, w tym przede wszystkim barwnych spektrostrefowych zdjęć lotniczych (CIR) w monitoringu stanu zdrowotnego lasów, znane jest od wielu dziesięcioleci lat z terenu Niemiec, Austrii czy Szwajcarii. W Polsce podejmowano w przeszłości próby wdrożenia fotogrametrii do oceny stref uszkodzeń lasów na obszarze Gór Izerskich i Puszczy Kozienickiej z wykorzystaniem filmu SN-10 (Zawiła-Niedźwiecki i in. 2001). Dotychczasowe doświadczenia z praktycznym wykorzystaniem geodanych teledetekcyjnych nie dały jak dotąd decydom wystarczających argumentów do opracowania i wprowadzenia metod inwentaryzacji opierających się na tych technologiach (Zawiła-Niedźwiecki 1994; Zajączkowski, Wężyk 2004).

Coraz szerszy dostęp do wysokiej jakości cyfrowych obrazów lotniczych i satelitarnych, a także istotny postęp w technologiach przetwarzania obrazu (Kayitakire 2002; Sasakawa, Tsuyuki 2003), pozwalają przypuszczać, iż w niedługiej przyszłości wykorzystanie tych informacji stanie się nie tylko pożądane, ale wręcz konieczne (Wężyk i in. 2004). Wynikać to będzie przede wszystkim z ich aktualności, wysokiej jakości geometrycznej, malejących kosztów pozyskania i przetworzenia informacji oraz możliwości integracji z innymi geodanymi w systemach GIS czy wspomagania decyzji (DSS).

Celem prezentowanej pracy wykonywanej w ramach projektu zleconego przez Instytut Badawczy Leśnictwa było określenie przydatności wysokorozdzielczych obrazów Quick-Bird dla nowo opracowywanej metody określania stref przemysłowego uszkodzenia lasów.

Teren badań

Do badań wybrano lasy Nadleśnictwa Świerklaniec (RDLP Katowice) bezpośrednio otaczające hutę cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim. Obszar ten, to bardzo drastyczny i szeroko znany przykład negatywnego wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na ekosystem leśny, przejawiający się wyraźnymi jego uszkodzeniami. Reprezentowane są strefy uszkodzeń drzewostanów od II do IV, a także murawy przemysłowe strefa V i pustynia przemysłowa strefa VI. Uszkodzenia te wywołane zostały pyłami metali ciężkich (m.in.: Zn, Cd i Pb) oraz toksycznym stężeniem gazów (SO_x), a także zaburzeniem poziomu wód gruntowych lub ich zanieczyszczeniem.

Metodyka

W czerwcu 2004 roku na obszarze Nadleśnictwa Świerklaniec dokonano wstępnego wyboru obszaru zobrazowania QuickBird, opartego o wizję terenową oraz analizy kartograficzne. Zobrazowanie planowano wykonać w pierwszej połowie lipca 2004, bezpośrednio po ukończeniu, bądź jeszcze w czasie trwania kampanii pomiarowej. Z powodów technicznych (głównie zbyt duże zachmurzenie) wykonane one zostało dopiero dnia 04 września 2004 roku (09:47:03 UTC).

W pracach kameralnych wykorzystywano materiały kartograficzne, takie jak:

- Leśna Mapa Numeryczna (LMN; format SHAPE – układ PUWG 1992/19; stan aktualności 2003; zgodna ze Standardem LMN);
- 4 arkusze map topograficznych w skali 1:25.000 (PUWG 1965);
- 3 arkusze map topograficznych w skali 1:10.000 (PUWG 1992) oraz
- scenę satelitarną LANDSAT 7 ETM+ (189/025; 02.09.2000).

Transformacje geodezyjne przeprowadzono w oparciu o oprogramowanie GeoTrans (GeoSystem) oraz Trako (Taxus SI/GDLP). Odbiorniki Pathfinder ProXRS (Trimble) z rejestratorem polowym TSC1 służyły do nawigacji i pomiarów wykonywanych na obszarze badawczym. Korekcji dokonywano przez bezpośredni odbiór sygnału OmniStar lub w trybie post-processing ze stacji Katowice albo Tarnowskie Góry (sieć ASG-PL). W trakcie pomiarów GPS korzystano również z testowego sygnału poprawki różnicowej RTK poprzez modem telefonu komórkowego (GPRS; WODGiK Katowice).

Prace terenowe realizowane w drzewostanach wokół Miasteczka Śląskiego koncentrowały się na:

- wyznaczeniu 86 pól treningowych (ang. *Area of interest; ROI*) oraz 56 obszarów testowych (ang. *Test areas; TA*);
- dokonaniu uproszczonego opisu taksacyjnego szaty roślinnej i zebraniu informacji atrybutowej. Na każdym ROI oraz TA dokonano pomiaru wybranych cech taksacyjnych lub dokonywano opisu powierzchni (np. w przypadku muraw przemysłowych). Jako ROI wybierano duże homogeniczne obszary uszkodzonego lasu w określonych instrukcją (IUL 2003) strefach uszkodzeń. Dodatkowo zebrano dokumentację w postaci zdjęć cyfrowych i komentarzy do poszczególnych ujęć. Dane z formularzy terenowych zostały wprowadzone do bazy danych Access (MS), dzięki czemu możliwe

było ich późniejsze wykorzystanie do tworzenia relacji pomiędzy bazą geometryczną ROI, a tabelą opisową w oprogramowaniu GIS (ESRI). Przebieg granic ROI oraz TA wykonywano w technologii pomiaru DGPS oraz

- na pomiarze punktów dostosowania (GCP) do kontroli procesu kalibracji obrazu QuickBird.

W pracach kameralnych posługiwano się oprogramowaniem ER Mapper 6.4 (ERM). Obraz QuickBird (Digital Globe; produkt: Standard Imagery) dostarczony został w postaci plików GeoTIFF wstępnie zorientowanych (WGS84; odwzorowanie UTM-34U). Obraz wielospektralny (MS; piksel 2,4 x 2,4 m) składał się z czterech kanałów: R,G,B oraz NIR. Obraz panchromatyczny PAN o rozdzielczości terenowej 0,62 x 0,62 m. W celu przeprowadzenia korekcji geometrycznej wykorzystano transformację wielomianową drugiego stopnia w oparciu o wektor LMN udostępniony przez Nadleśnictwo Świerklaniec. Opierając się na doświadczeniach z klasyfikacją drzewostanów na obrazach QuickBird zdobytych podczas wcześniejszych projektów (Zajączkowski, Wężyk 2004), jako algorytm uzyskujący najlepsze wyniki dla tego typu obiektów, wybrano metodę największego prawdopodobieństwa (*Maximum Likelihood*), dostępną w programie ER Mapper (ERM).

Leśna Mapa Numeryczna (LMN) w relacji z rekordami z bazy danych LAS/SILP (wyeksportowane do formatu *.mdb), zawierała m.in. informacje na temat przebiegu stref uszkodzenia lasu, wyznaczanych co najmniej w 1993 roku (w poprzednim cyklu urządzania lasu). Analizy przestrzenne GIS przeprowadzono używając oprogramowanie ArcView oraz ArcInfo ArcGIS 9 (ESRI).

Wyniki

Wyniki przeprowadzonej kalibracji były satysfakcjonujące dla większości analizowanego obszaru badawczego, w aspekcie porównywania geometrii obrazu do mapy referencyjnej za jaką przyjęto LMN (2003) Nadleśnictwa Świerklaniec (błędy przesunięcia względem punktów kontrolnych DGPS nie przekraczały 1,5 metra XY). W niektórych przypadkach podważono jednak poprawność geometryczną LMN, szczególnie w obszarach oddalonych od granicy rolno-leśnej, która z reguły posiada wysoką poprawność geometryczną (duża ilość graniczników). W takich przypadkach pomiar DGPS musiał być traktowany jako referencyjny choć dokładność określania pozycji w drzewostanie tą metodą nie zawsze pozbawiona jest błędów (Wężyk 2004; Kuliesis, Bajorunas 1999).

W wyniku przeprowadzonych prac terenowych powiązanych z tworzeniem ROI, zdecydowano się na wyodrębnienie 12 klas obiektów. Szczegółowa analiza sygnatur klas obiektów i ich elips w poszczególnych kanałach spektralnych, a także dane opisujące skład gatunkowy pododdziałów (z baz danych LAS/SILP; stan na 2003), wykazała konieczność modyfikacji wartości maksymalnego prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnej klasy, przydzielanego przez operatora w trakcie procesu klasyfikacji (tab.1).

Na wyznaczonych w terenie obszarach testowych (TA) określano poprawność klasyfikacji poprzez porównanie obrazu klasyfikacji do rastrowej postaci (GRID; ESRI) pomiarów terenowych. Zgodność ta w przypadku klasy LAS wyniosła 92,6%, a w przypadku klasy NIE_LAS aż 95,3%.

Dla klasy *las iglasty* poprawność klasyfikacji była nieznacznie niższa (93,1%), natomiast w przypadku klasy *las liściasty* wynik klasyfikacji (87,8%) zdecydowanie się pogorszył, co

Tabela 1. Zestawienie klas obiektów typu LAS i wartości prawdopodobieństwa ich wystąpień

Parametr	Klasy obiektów					
	TYP: LAS					NIE_LAS
	sosna (So)	świerk (Sw)	brzoza (Brz)	dąb (Db)	olsza (Ol cz)	cień
Wartość maksymalnego prawdopodobieństwa	0,2200	0,0500	0,0600	0,0400	0,0354	0,0500
Parametr	TYP: NIE_LAS					
	poła uprawne	trawa	piasek	odkryta gleba	pożarzysko	woda
Wartość maksymalnego prawdopodobieństwa	0,2000	0,0998	0,1000	0,0998	0,0050	0,0400

wynikać może z licznego na tym terenie występowania lasu mieszanego (gatunki: So i Brz). W przypadku klasyfikacji gatunków drzew, odnotowano spadek poprawności i wyniosły one odpowiednio: 82,2% dla sosny zwyczajnej (So), 55,7% dla olszy czarnej (Olcz), 50% dla brzozy (Brz), 47,8 % dla dębu (Db) i zaledwie 38,5% dla świerka (Św). Niskie wartości zgodności dla poszczególnych gatunków mogły wynikać ze stanu zdrowotnego drzewostanów (przerzedzone z powodu defoliacji lub przebarwione korony) lub też z fazy fenologicznej (data wykonania zobrazowania).

Wyniki przeprowadzonej klasyfikacji nadzorowanej przy użyciu algorytmu największego prawdopodobieństwa (rysunek) porównano z rekordami atrybutowej bazy danych LAS/SILP. Zestawienia statystyczne ograniczono analizami przestrzennymi GIS tylko do pododziałów leśnych, całkowicie zawierających się wewnątrz obszaru pokrytego zobrazowaniem QuickBird. W dalszych etapach wykorzystano również informacje na temat zasięgu stref uszkodzeń lasu wyznaczonych w poprzednim cyklu urządzaniu (tab. 2).

W tabeli 2 zauważalna jest tendencja zmniejszania się udziału pokrywy o charakterze drzewiastym (LAS) wraz ze wzrostem intensywności uszkodzenia (strefy). Nie jest to jednak aż tak oczywiste w przypadku stref: II oraz III, gdyż wartości procentowe są w nich niemal identyczne (około 90,4%). Sytuacja taka może po prostu wynikać z faktu, iż strefy dla jakich analiza została wykonana, są co najmniej nieaktualne i w pierwszej kolejności należałoby na podstawie ustalonych kryteriów zweryfikować ich zasięgi. Wyrównanie się sumarycznej liczby pikseli reprezentujących korony drzew (klasa LAS) w strefach II i III może równocześnie wskazywać na proces rewitalizacji drzewostanów w III strefie. Wartość 90,4%

Tabela 2. Zestawienie wyników klasyfikacji dla stref uszkodzeń w klasach LAS oraz NIE_LAS z uwzględnieniem podziału klasy LAS na las iglasty (IGŁY) i liściasty (LIŚĆ)

Strefa uszkodzeń	Pow. typu LAS [ha]	Udział typu IGŁY [%]	Udział typu LIŚĆ [%]	Udział typu LAS [%]	Pow. typu NIE_LAS [ha]	Udział typu NIE_LAS [%]	Pow. całkowita [ha]
II	4799,25	64,35	26,02	90,37	511,38	9,63	5 310,63
III	968,07	57,78	32,65	90,43	102,44	9,57	1 070,51
IV	272,18	52,87	19,06	71,93	106,24	28,07	378,42

oznaczać może, iż tyle procent pikseli analizowanego obszaru przypisano podczas klasyfikacji do poszczególnych koron drzew. Wartość 9,6% (NIE_LAS) tj. traw, odkrytej gleby itp., widocznych w lukach pomiędzy koronami, oznacza wciąż bardzo wysoki stopień zwarcia koron drzew. W przypadku tych stref uszkodzeń, ma to duże znaczenie ze względu na fakt, iż korony sosny zwyczajnej posiadają najczęściej tylko 2 roczniki igieł (wyraźna defoliacja) i podobnie jak korony brzozy brodawkowatej są niezmiernie ażurowe. Ta sytuacja powoduje, iż informacja spektralna może pochodzić nie tylko od koron drzew, ale dodatkowo może zostać „zmieszana” z pochodzącą od runa leśnego bądź gleby. Istnienie pokrywy koron drzew w strefie III, w tak dużym zwarciu, jest z drugiej strony stosunkowo pozytywną informacją, stawiającą jednak pod znakiem zapytania poprawność wyznaczenia zasięgu tej strefy.

Pewnych cech taksacyjnych drzewostanów nie sposób określić na zobrazowaniu wysokorozdzielczym QuickBird, ale zwarcie i skład gatunkowy, a przede wszystkim informacja geometryczna o rozmieszczeniu drzew daje nowe spojrzenie na metodykę wyznaczania stref uszkodzeń przemysłowych. W przeszłości, dla uproszczenia, granice stref wyznaczano wzdłuż linii oddziaływowych bądź pododdziałów. Informacja pochodząca z klasyfikacji obrazu QuickBird może pozwolić na weryfikację i aktualizację LMN (wraz z informacjami opisowymi z SILP) poprzez podział lub łączenie wydzieleni o dużym podobieństwie cech zdalnie określanych (np. skład gatunkowy drzewostanu, wielkość koron, tekstura obrazu, stopień zmieszania gatunków, itp.). Utrzymywanie sztucznego podziału przestrzennego nie ma sensu w obszarach o bardzo silnej dynamice przemian drzewostanów (zamieranie, wypadanie wrażliwych gatunków, osłabienie przyrostu, konkurencja innych gatunków krzewiastych, itp.). Granice przebiegu wyłączeń drzewostanowych należy dostosować do zaistniałej sytuacji i możliwości regeneracyjnych ekosystemu leśnego, objawiającego się wtórną sukcesją na obszarach zdegradowanych bądź też rewitalizacją poszczególnych drzew.

Analiza stopnia zwarcia koron czy zagęszczenia drzew na jednostce powierzchni (na 1ha; w pododdziale) umożliwiać może ustalenie nowych kryteriów w modyfikowanej obecnie instrukcji dotyczącej stref uszkodzenia lasu. O ile nie sposób ocenić stopnia defoliacji korony sosny zwyczajnej (nawet w przypadku obrazu QuickBird „432 pan-sharpened” jego jakość wciąż ustępuje szczegółowości zdjęć lotniczych CIR wykonanych w skali 1:10.000), to jednak określenie średniego współczynnika wypełnienia koronami pododdziału jest możliwe. Pozwala to w konsekwencji na podjęcie konkretnych decyzji o zabiegach gospodarczych, np. o ponownym założeniu uprawy o dużej nieudatności (duża liczba wypadów czyli obecność klasy typu NIE_LAS wewnątrz pododdziału leśnego; tab. 3). W bazach danych LAS/SILP zapisywanych jest bardzo wiele informacji pochodzących z urządzania lasu, które niestety odnoszą się do całego pododdziału (poligon), traktując go jako encję. Nawet w przypadku obiektów nie stanowiących pododdziału, jak: kępy, luki czy miejsca pożaru, nie ma możliwości precyzyjnego określenia ich lokalizacji na podstawie współcześnie tworzonych LMN czy baz danych LAS/SILP.

Szczegółową analizę wyników klasyfikacji przeprowadzono także w odniesieniu do podstawowej jednostki podziału powierzchniowego jakim jest pododdział (tab. 3). Na jej podstawie dla typów LAS i NIE_LAS można wskazać pododdziały, w których zwarcie drzewostanu (powierzchnia koron drzew) zmienia się w zakresie od 7,9 do 94,9%. Ten procentowy wskaźnik nie jest jednak równoznaczny ze współczynnikiem zadrzewienia czy ze zwarciem, choć wg nowej Instrukcji Urządzania Lasu (IUL 2003), skład gatunkowy można już określać udziałem powierzchni zajmowanych przez poszczególne korony drzew. Ponadto klasyfikacja obrazu pozwala na wyraźne wyznaczenia obszarów o różnym pokryciu drzewami.

Tabela 3. Wyniki określania współczynnika zwarcia koron drzew w oddziale 113 (IV strefa uszkodzeń)

Oznaczenie pododdziału	Pow. typu LAS [ha]	Udział typu LAS [%]	Pow. typu NIE_LAS [ha]	Udział typu NIE_LAS [%]	Pow. całkowita [ha]
a	2,71	86,9	0,41	13,1	3,12
b	2,61	84,1	0,49	15,8	3,11
c	2,80	94,5	0,16	5,4	2,96
d	2,19	94,9	0,12	5,2	2,31
f	1,48	89,9	0,17	10,4	1,64
g	0,57	77,8	0,16	21,6	0,74
h	1,51	45,0	1,84	54,9	3,35
i	2,09	85,7	0,35	14,3	2,44
j	2,08	57,0	1,57	43,0	3,65
k	1,40	61,5	0,87	38,3	2,27
l	0,13	7,9	1,56	92,3	1,69
m	0,50	29,8	1,18	70,7	1,67

Uzyskane na drodze klasyfikacji obrazu QuickBird informacje o: składzie gatunkowym, wypełnieniu przestrzeni 2D przez korony drzew oraz o występowaniu innych klas (np. traw, odkrytej gleby, miejsca pożaru) posiadające przede wszystkim lokalizację w przestrzeni geograficznej, pozwalają na wsparcie wyznaczania stref uszkodzeń lasów. Klasyfikacja nadzorowana, nawet pomimo dużej liczby ROI i osiąganych wysokich poprawności, musi zostać

Tabela 4. Szczegółowa analiza wyników klasyfikacji dla oddziału 113 (IV strefa uszkodzeń)

Pod-oddział	Klasy obiektów LAS oraz NIE_LAS [%]										
	So	Sw	Brz	Db	Ol cz	Cień	Pola	Trawa	Piasek	Odkryta gleba	Pożar
a	66,5	0,8	17,7	1,9	b.w.	0,6	2,9	9,0	b.w.	0,5	0,1
b	69,1	8,1	6,7	0,1	0,1	10,3	1,0	4,2	b.w.	0,1	0,5
c	81,1	9,9	2,5	0,7	0,2	5,0	b.w.	0,5	b.w.	b.w.	b.w.
d	61,8	14,3	9,2	8,6	0,9	4,6	b.w.	0,4	b.w.	b.w.	b.w.
f	64,0	13,9	7,8	3,8	0,4	8,4	0,3	0,6	0,1	b.w.	0,7
g	32,3	4,5	32,1	5,6	3,3	3,1	3,1	15,6	b.w.	0,2	0,2
h	13,0	0,3	29,0	2,5	0,2	1,1	18,5	34,2	0,8	0,2	0,3
i	48,6	3,9	22,8	8,8	1,6	0,9	0,9	12,4	b.w.	b.w.	b.w.
j	25,1	0,5	30,8	0,6	b.w.	0,7	6,7	35,2	b.w.	0,3	0,2
k	26,0	0,5	32,5	2,3	0,2	0,5	3,1	34,7	b.w.	b.w.	0,2
l	0,2	b.w.	7,7	b.w.	b.w.	0,4	70,7	17,1	0,1	1,1	2,7
m	14,6	0,2	14,5	0,6	b.w.	1,8	11,9	20,4	0,1	0,7	35,2

b.w. – brak wystąpienia

uzupełniona o szczegółowe obserwacje terenowe określające inne istotne parametry zdrowotne. Obraz wysokorozdzielczy QuickBird nie może dostarczyć wprost jednoznacznej informacji: do jakiej strefy uszkodzeń przypisać należy dany drzewostan, ale w zdecydowany sposób wspierać może podejmowanie decyzji w tym względzie.

Porównując wyniki klasyfikacji z opisem taksacyjnym drzewostanów na polach treningowych oraz z informacją z bazy SILP, pojawił się problem różnic statystycznych dla pikseli reprezentujących drzewostany liściaste różnogatunkowe (tab. 4). W przypadku Nadleśnictwa Świerklaniec, głównymi gatunkami liściastymi były: dąb, brzoza oraz olsza czarna. W przypadku brzozy, która występuje głównie w zmieszaniu z sosną, uzyskiwana zgodność klasyfikacji wahała się w zakresie od 80% do 90%, natomiast w przypadku dębów i olszy zgodność ta oscylowała tylko w zakresie 50%. Wynika to z faktu, iż powyższe dwa gatunki w okresie wykonania zobrazowania charakteryzowały się zbliżoną odpowiedzią spektralną (nakładanie się sygnatur spektralnych na siebie). Częściowym rozwiązaniem tych niedogodności i problemów związanych z klasyfikacją obrazu QuickBird i innych wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych pod względem rozróżniania gatunków byłoby zarejestrowanie 2-3 scen w tym samym roku: na początku, w środku i na końcu okresu wegetacji.

Wnioski

Rozdzielczość terenowa (obrazu „pan-sharpened”) oraz spektralna obrazu QuickBird pozwala na analizę stanu szaty roślinnej na poziomie pojedynczych koron lub biogrup drzew, charakteryzujących się odpowiednim zwarcie, zapewniającym odbicie promieniowania elektromagnetycznego. Osiągnięte wyniki potwierdziły możliwość określania wybranych cech taksacyjnych drzewostanów (np. składu gatunkowego), jak również wykrywania i określania udziału powierzchni innych klas obiektów (roślinności trawiastej, krzewów, miejsc pozabawionej wegetacji, itp.) wewnątrz pododdziałów opisywanych bazami LMN i LS/SILP.

Proponowanym rozwiązaniem dla nowej metody określania stref uszkodzenia lasów jest wsparcie prac terenowych wynikami klasyfikacji nadzorowanej (lub obiektowej) oraz zastosowanie innych technologii geoinformatycznych, w tym MobileGIS (odbiornik GPS + PDA + aplikacja GIS wykorzystująca LMN i LAS/SILP).

Autorzy widzą celowość dalszych badań w zakresie szczegółowej analizy drzewostanów starszych klas wieku (tzw. rębnych), tj. ich struktury przestrzennej oraz zmieszania gatunkowego przy uwzględnieniu danych o charakterze archiwalnym (wcześniejsze opisy taksacyjne wydzieleni, zdjęcia lotnicze, obrazy satelitarne). Taka kombinowana analiza „wieloczasowa” może dać wprost informację o „uszkodzeniu” drzewostanów, rozumianym jako odstępstwo od typowej dla tych klas wieku: struktury i zmieszania (np. dla litego drzewostanu sosnowego w wieku 95 lat). Przerwane zwarcie koron oraz obecność innych gatunków drzew szczególnie lekkonasiennych i szybkoorosnących wskazywać może na osłabienie i uszkodzenie tego drzewostanu.

Wciąż trudność stwarza klasyfikacja nadzorowana drzewostanów liściastych, których dalsza stratyfikacja wg gatunku panującego jest niezmiernie utrudniona (nakładanie się sygnatur spektralnych). Brak informacji na obrazie QuickBird na temat wysokości obiektów (ważne w korelowaniu tej cechy z wiekiem i wielkością koron) rekompensowane może być z baz danych LMN (SILP) bądź z przetworzonych odpowiednio modeli ITED (SRTM).

Wykorzystanie kanału PAN do klasyfikacji nadzorowanej obrazu (poza wzmocnieniem informacji geometrycznej) nie daje oczekiwanych efektów, ponieważ jego zakres spektralny pokrywa się w zasadzie z pozostałymi kanałami MS (R, G, B oraz NIR).

Lasy Państwowe oraz inne instytucje odpowiedzialne za monitoring środowiska naturalnego stoją obecnie przed wielkim wyzwaniem jakim jest wykorzystanie obrazów teledetekcyjnych w powiązaniu z ogromnymi zasobami zgromadzonych informacji w bazach opisowych (SILP) oraz geometrycznych (LMN). Zapowiadane przez liczne konsorcja, zwiększenie rozdzielczości terenowej i spektralnej zobrażeń satelitarnych oraz nowe, dostępne już, technologie, jak np. skaning laserowy (LiDAR), mogą w znaczący sposób przyczynić się do podejmowania uzasadnionych decyzji na temat wyznaczania stref uszkodzeń lasów.

Literatura

- de Vries W. (ed.) 2000: Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe. FIMCI Technical Report 2000. Forest Intensive Monitoring Coordinating Institute. Brussels, Geneva.
- EC-UN/ECE 2000: Forest condition in Europe, Result of the 1999 Survey, 2000 Report. EC-UN/ECE, Brussels, Geneva.
- Forest ICP, 1994. Manual on Methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests, Programme Coordinating Centres, Hamburg and Prague.
- IUL 2003: Instrukcja Urządzenia Lasu. Załącznik do Zarządzenia nr 43 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 18 kwietnia 2003 r.
- Kayitakire F., Farcy C., Defourny P., Culvenor D.C., 2002: IKONOS-2 imagery potential for forest stands mapping. <http://www.enge.ucl.ac.be/staff/curr/kayitaki/forestsat.pdf>, ss. 11.
- Kuliesis A., Bajorunas A., Study on GPS technology application in Lithuanian forest survey. In: Conference Proceedings: Remote Sensing and Forest Monitoring. IUFRO. Rogów 1-3 1999. p. 154-166, 1999.
- Sasakawa H., Tsuyuki S. 2003: Development of forest type classification technique for the mixed forest with coniferous and broad-leaved species using the high resolution satellite data; <http://definiens-imaging.com/documents/reference2003.htm>
- Seidling W., Fischer R., De Vries W., Lorenz M., Wójcik J. 2001: Organisation, Methods, and Results of the European Programme on Forest Condition under UN/ECE and EC. W: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczeń powietrza. IOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Solberg R., Wężyk P., 2000. Forest Environmental Monitoring and Management System FOREMMS – contribution to the development of sustainable use of natural resources. [In:] Application of Remote Sensing in Forestry, 12-14 09 2000 Zvolen, Slovakia.
- Ustawa z dnia 28 września 1991 r. o lasach (tekst jednolity, Dz. U. 91.101.444).
- Wawrzoniak J., (red.), 2003: Forest condition in Poland in 2002. IOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Wężyk P., 2004: Integracja technologii geoinformatycznych w systemie monitoringu i zarządzania ekosystemami leśnym Europy, na przykładzie projektu FOREMMS (5 PR UE). *Teledetekcja Środowiska*. Nr 33. s.75-81.
- Wężyk P., de Kok R., Zajackowski 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:] Strobl et al. Hrsg. *Angewandte Geoinformatik 2004*; ss. 770-775. Wichman. Heidelberg.
- Wężyk P., Małek S., Kozioł K., Guzik M., Zieliński B., 2000. Monitoring of forest litter contamination in the Ojców National Park (South Poland) using GIS tools. Application of remote sensing in forestry. Zvolen, Slovakia.
- Zajackowski G., Wężyk P., 2004: Techniki teledetekcyjne w inwentaryzacji urządzeniowej lasu. *Roczniki Geomatyki*, Tom II, Z. 4, ss. 41-50.
- Zawiła-Niedźwiedzki T., 1994. Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i systemu informacji przestrzennej. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, Tom XLI, Z. 90.
- Zawiła-Niedźwiedzki T., Wiśniewska E., Iracka M., 2001: Zdjęcia lotnicze i satelitarne w leśnictwie. Mat. XI Konf. PTIP Systemy Inf. Przestrz., Warszawa, ss. 317-327.

Summary

During the last decades the influence of industry left its trace on Polish forests worsening significantly their health condition, expressed e.g. by the defoliation degree. Direct negative influence of industrial contamination was in certain forests so high that they have been considered the zones of ecological disaster.

The new Instruction of Forest Management issued in 2003 does not describe precisely the method of zone delineation – leaving a serious gap – due to which the zones determined 10 or 20 years ago are taken over by new forest management. The purpose of this paper is to point out the usefulness of application of the VHR QuickBird satellite images (04.09.2004; region of 89 km²), which is the so-called supervised classification in assisting the new method of the forest damage zones delineation. Forests of the Świerklaniec Forest Inspectorate (RDLP Katowice) surrounding the zinc and lead metallurgical plant in Miasteczko Śląskie was the region of interest. Distinct damages of stands, including even the so-called industrial turfs caused by heavy metals dust emission and toxic concentrations of gases are still visible in this region.

The calibration of image was based on vector data from the Digital Forest Map and GCP (RMS_{xy} < 1.50 m) control measurements.

*The supervised classification (Maximum Likelihood) was performed by means of DGPS measurements in ROI. The results of classification of the QuickBird image were compared with the determined Test Areas and information in the database of the LAS/SILP system prepared during the last forest management review (2003). The obtained classification likelihood for the „FOREST” class was 92.6%, while for the „NON FOREST” class: 95.3%. The likelihood of the classification for individual tree species was from 82% for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) to 38% for Black alder (*Alnus glutinosa* L.).*

For industrial damage zones (II, III and IV) determined more than 10 years ago, the supervised classification allowed to establish the approximate parameter of the crown density as being: 90.37% (zone II), 90.43% (zone III) and 71.93% (zone IV – the so-called „death zone”).

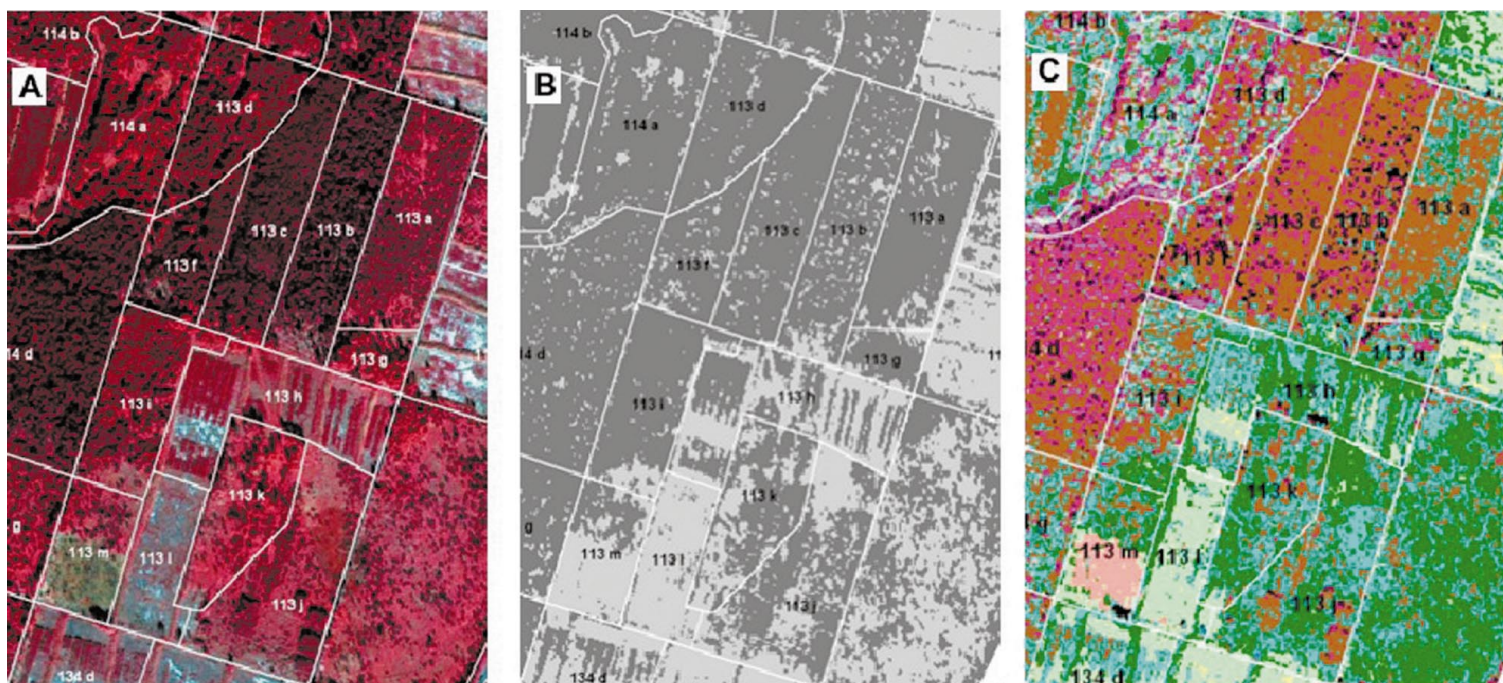
Detailed analyses of the selected evaluating features proved the possibility of utilizing the QuickBird image for the determination of such parameters as the crown density or the number of trees in a unit area. The value of the crown canopy oscillated from 94.9% to approximately 7.9% in the damage zone IV.

The investigations have shown, beyond any doubt, that the VHR QuickBird satellite images can assist works on site and decision-making processes in delineation of new damage zones. High resolution in the region of interest and variety of radiometric information cause that the QuickBird images are valuable cartometric material, which due to the integration with other geoinformatic technologies (GPS, GIS) can be used for the verification and updating of LMN and SILP databases, including information on already existing forest damage zones.

dr inż. Krystian Koziół
rlkoziol@cyf-kr.edu.pl

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

<http://argis.les.ar.krakow.pl>
tel./fax 12 662-50-82



Rys. 1: A – podział powierzchniowy w oddziale 113 oraz 114 na tle obrazu QuickBird (kombinacja 432_PAN); B – wynik klasyfikacji LAS (szary kolor)/NIE_LAS (jasne tło); C – wyniki klasyfikacji gatunków: So (brązowy), Św (fiolet), Brz (błękit), roślinność zielna i trawy (odcienie zielonego), piasek i odkryta gleba (żółty), pożarzysko (różowy)