

**FOTOGRAMETRYCZNE OPRACOWANIE
SKUTKÓW HURAGANU
NA OBSZARZE NADLEŚNICTWA KOSZĘCIN**

**PHOTOGRAMMETRIC ELABORATION
OF FOREST STANDS DESTROYED BY HURRICANE
IN KOSZĘCIN FOREST DISTRICT**

Bartłomiej Boncol, Piotr Wężyk

Katedra Ekologii Lasu, Laboratorium Geomatyki, Wydział Leśny
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Słowa kluczowe: huragan, fotogrametria cyfrowa, fotointerpretacja, DEPHOS
Keywords: hurricane, digital photogrammetry, photointerpretation, DEPHOS

Wprowadzenie

Ekosystemom leśnym – od chwili ich kształtowania się i trwania – zawsze zagrażały różne typy czynników ograniczających i destrukcyjnych, zarówno biotycznych, jak i abiotycznych, a w ostatnich tysiącletniach także antropogenicznych. Do abiotycznych czynników ograniczających rozwój i trwanie lasu zaliczyć można między innymi: temperaturę, wodę, światło, pożary, a także wiatr. Las rozumiany jako złożony ekosystem trwał na obszarach, na których oddziaływały na siebie te różne grupy czynników ograniczających jego dalszą sukcesję, podlegając procesom samoregulacji przejawiającym się w modyfikacji pokroju drzew czy wykształceniu odpowiedniej struktury pionowej i wiekowej drzewostanu. Działalność człowieka polegająca na wprowadzeniu licznych monokultur drzew iglastych niewątpliwie przyczynia się do narażenia lasów na powstanie większych szkód od czynników abiotycznych i biotycznych, choć w sytuacji analizowanej w pracy trąby powietrznej trudno jednoznacznie stwierdzić czy jakkolwiek drzewostan, nawet w pełni naturalny, mógłby huraganowy wiatr powstrzymać. Przez lasy Europy w ostatnich kilkunastu latach przetoczyły się huragany siejące ogromne zniszczenia w gospodarce leśnej, uszkadzając często dziesiątki tysięcy hektarów i powalając miliony metrów sześciennych surowca. Do słynnych wiatrów zaliczyć można: orkan Lothar we Francji, Schwarzwaldzie i Szwajcarii (Zajączkowski, 2005), huragan w Puszczy Piskiej (Wężyk, 2006), huragan Cyryl, huragan w nadleśnictwie Koszęcin (sierpień 2008 r.) czy trąbę powietrzną, która w dniu 14.07.2012 roku

zniszczyła około 550 ha lasów w Borach Tucholskich. W Polsce, huragany występowały najczęściej w okresie letnim przy przechodzeniu frontów atmosferycznych, jednak znane są przypadki ogromnych zniszczeń drzewostanów w Tatrach z okresu zimowego, za które odpowiedzialny jest wiatr halny (Wężyk, Guzik, 2004). Coraz częściej pojawiające się doniesienia o lokalnie występujących trąbach powietrznych muszą niepokoić leśników i inne służby ratownicze, gdyż niezmiernie trudno jest przewidzieć ich powstanie i rozmiary szkód jakie mogą powodować.

W sytuacji nagłego kataklizmu, powodującego wielkoobszarowe uszkodzenia drzewostanów i infrastruktury (linie energetyczne, telekomunikacyjne, drogowe i in.), niezastąpione stają się technologie geomatyczne, które jako pierwsze mogą pomóc w oszacowaniu zniszczeń (Zajączkowski, Wężyk, 2004; Wężyk, 2006). Zaliczyć do nich można przede wszystkim: Globalne Systemy Nawigacji Satelitarnej (ang. GNSS), teledetekcję lotniczą zarówno analogową (Będkowski, 2005; raczej ze zdjęć archiwalnych), jak i cyfrową (w tym bezzałogowe statki powietrzne; ang.: UAV) i satelitarną (szczególnie aktywne systemy wykorzystujące radar w przypadku monitorowania pożarów leśnych), lotnicze skanowanie laserowe (Będkowski, Wężyk, 2010), jak i technologie związane z szeroko rozumianymi systemami informacji przestrzennej (ang. GIS). To głównie dzięki nim, w pierwszych minutach po katastroficznych zdarzeniach, korzystając z aktualnych baz danych geometrycznych (np. Leśna Mapa Numeryczna – LMN) czy opisowych (System Informatyczny Lasów Państwowych – SILP), można przystąpić do wstępnych szacunków uszkodzeń czy ich lokalizacji. Nie bez znaczenia dla sztabów kryzysowych jest elektroniczny dostęp do geodanych np. poprzez usługi WMS portali mapowych (np. geoportal.gov.pl, lokalnych PODGiK lub urzędów marszałkowskich) czy choćby serwisu GoogleEarth. W terenie często jedynie mobilne aplikacje GIS wspierane sygnałem GNSS są w stanie zapewnić dobrą orientację niezbędną w usuwaniu skutków katastrof.

Celem zaprezentowanej pracy było porównanie wyników kartowania rozmiaru zniszczeń spowodowanych huraganem w drzewostanach Nadleśnictwa Koszęcin, realizowanych przez personel PGL Lasy Państwowe, z wykorzystaniem fotointerpretacji ortofotografii lotniczych 2-D oraz na podstawie stereodigitalizacji 3-D na cyfrowej stacji fotogrametrycznej DEPHOS, zrealizowanej przez autorów artykułu.

Teren badań

Przedstawionymi w artykule badaniami objęto fragmenty Nadleśnictwa Koszęcin (RDLP Katowice; rys. 1) zniszczone w wyniku przejścia huraganowego wiatru w dniu 15 sierpnia 2008 roku, którego prędkość przekraczała 250 km/h. Huragan (trąba powietrzna) nadciągnął od południowego zachodu ocierając się o leśnictwa Piłka oraz Trójca (niszcząc około 22 ha lasu), uderzając w kompleks Gudlina i niszcząc go doszczętnie (ok. 50 ha). Przesuwając się na północ huragan zniszczył drzewostany w leśnictwach: Cieszowa (ok. 400 ha), Boronów (ok. 55 ha), Kalina (240 ha). Pierwszy bilans szkód oszacowano w pierwszych dniach po katastrofie na około 150 tys. m³ drewna oraz ponad 700 ha zniszczonych drzewostanów (PUL, 2010).

Metodyka badań

Realizacja celu pracy wymagała wykorzystania różnego typu danych przestrzennych i formatów, a także zastosowania wielu technik geomatycznych. Wstępne prace kameralne polegały na pozyskaniu materiałów źródłowych w postaci: zeskanowanych zdjęć lotniczych, projektu nalotu fotogrametrycznego, ortofotografii lotniczych oraz przeprowadzeniu pomiarów dGPS i fotointerpretacji zobrazowania satelitarnego RapidEye.

Materiały i sprzęt wykorzystane w badaniach

W badaniach wykorzystano zdjęcia lotnicze wykonane przez firmę MGGP Aero. Podstawowym narzędziem wykorzystywanym w fotointerpretacji uszkodzeń była cyfrowa stacja fotogrametryczna DEPHOS (formaty wektorowe DET, DGN, DXF). Do procesu eksportu plików wektorowych do stacji DEPHOS użyto oprogramowania Microstation (Bentley). Ze zdjęciami MGGP Aero dostarczyła kompletny projekt fotogrametryczny, który wykorzystano w środowisku pracy DEPHOS. W projekcie zaimplementowano 16 zdjęć lotniczych z jednego szeregu pokrywającego całą szerokość liniowo uszkodzonego drzewostanu. Projekt fotogrametryczny poza parametrami orientacji wewnętrznej zdjęć, orientacji wzajemnej modeli oraz bezwzględnej stereogramów, zawierał m.in. informacje o: wysokości lotu (ok. 2500 m n.p.m.), średniej wysokości terenu (200 m n.p.m.), pokryciu podłużnym zdjęć (61%), przybliżonej skali zdjęć lotniczych (1:15 000), rozmiarze piksela w terenie (GSD: 24 cm).

Przy pomiarach wybranych obiektów referencyjnych wykorzystano odbiornik kartograficzny dGPS Trimble Pathfinder ProXRS wraz z oprogramowaniem GPS Pathfinder Office w wersji 2.51 oraz 4.10 (Trimble). W terenie dokonano pomiaru wybranych obiektów referencyjnych, tj. głównie brzegu zachowanego drzewostanu. Posłużyły one do określenia przebiegu granic oraz powierzchni powstałych zrębów wykonanych w drzewostanach uszkodzonych przez huragan. W celu poprawy wyników pomiarów GPS zastosowano poprawkę różnicową w trybie post-processingu (stacje referencyjne ASG). Pozostałe dane rastrowe oraz wektorowe przetwarzano w oprogramowaniu ArcMap 9.3 (Esri). Kompresję obrazów rastrowych do plików ECW realizowano w programie ER Mapper ver. 7.0.

Klucz fotointerpretacyjny uszkodzeń drzewostanu

Dla potrzeb badań stworzono odpowiedni klucz fotointerpretacyjny, którego zadaniem było zdefiniowanie różnych stopni uszkodzeń drzewostanów przez huragan. Łącznie dla samych obszarów leśnych wyodrębniono 4 klasy obiektów (tab. 1).

Podstawowym sposobem kartowania, a jednocześnie najbardziej czasochłonnym, była stereodigitalizacja modeli zdjęć lotniczych nazwana dla potrzeb pracy kartowaniem typu „3D”. Realizowano ten proces na cyfrowej stacji fotogrametrycznej DEPHOS na materiałach w postaci fotogrametrycznych zdjęć lotniczych (stan na 20.08.2008 r.). Dzięki zastosowaniu tej metody możliwe było prawidłowe zlokalizowanie w przestrzeni wektora granicy uszkodzonych powierzchni. Przyczyniło się to do znaczącego poprawienia jakości fotointerpretacji, a także umożliwiło podział poligonów zgodnie z założonym kluczem fotointerpretacyjnym.

Tabela 1. Klucz fotointerpretacyjny do oceny skutków huraganu w Nadleśnictwie Koszęcin

Identyfikator klasy	Charakterystyka klasy obiektu
0	drzewostany bez wyraźnych oznak uszkodzenia, maksymalnie do 10% powierzchni z powalonymi drzewami
1	drzewostany uszkodzone; od 11% do 60% pochylonych i powalonych drzew (zachowane pojedyncze stojące drzewa)
2a	drzewa połamane na obszarze powyżej 61%
2b	drzewa pochylone na obszarze powyżej 61%

W celu dokonania porównania z wynikami uzyskanymi przez PGL LP, przeprowadzono także fotointerpretację (roboczo „2D”) na cyfrowej ortofotomapie lotniczej (stan na 20.08.2008 r.) oraz dodatkowo na zobrazowaniu satelitarnym RapidEye (stan na 14.06.2009 r.), w środowisku oprogramowania ArcMap 9.3 (Esri). W przypadku kartowania materiału 2D, wektoryzacja dotyczyła granicy uszkodzonych powierzchni drzewostanów bez podziału na klasy zniszczeń, ze względu na ograniczone możliwości interpretacji fotogrametrycznej (brak pełnej możliwości określenia stopnia pochylecia drzew ze względu na efekt rzutu środkowego zdjęcia lotniczego; brak dostarczonych linii mozaikowania, obrazy po wyrównaniu tonalnym; materiał źródłowy analogowy podlegał skanowaniu). Wynikiem kartowania 3D był plik shapefile (Esri) typu poligonowego z atrybutami klas dla poszczególnych digitalizowanych przestrzennie obiektów.

Wyniki i dyskusja

Kompozycję mapową przedstawiającą uzyskane wyniki kartowania metodą stereodigitalizacji stereopar zdjęć lotniczych przedstawiono na rysunku 2.

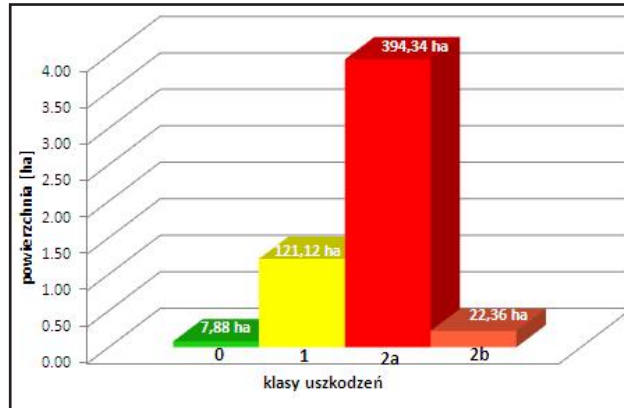
W wyniku przeprowadzonego kartowania uszkodzeń spowodowanych huraganem, na drodze fotointerpretacji ortofotografii 2D i stereodigitalizacji 3D, otrzymano dane wektorowe, które zostały poddane licznym analizom przestrzennym GIS, w celu zaprezentowania wyników porównania tych dwóch metod. W tabeli 2 przedstawiono dane z kartowania ortobrazów lotniczych i satelitarnych (wykonane po około 10 miesiącach od kataklizmu), takie jak: powierzchnia drzewostanów uszkodzonych przez huragan, liczba wydzielonych obiektów oraz szacunkowy zapas drzewostanów uszkodzonych.

Tabela 2. Porównanie wyników kartowania 2D

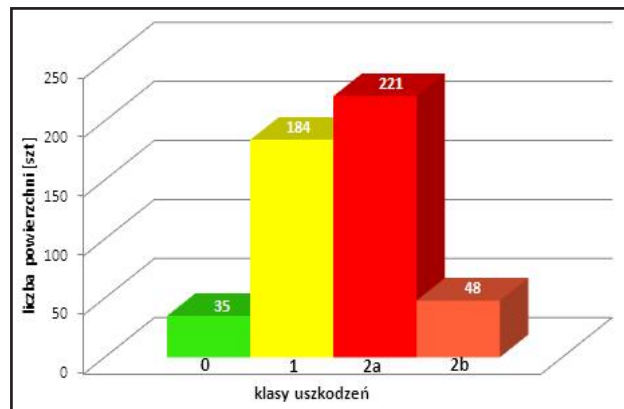
Źródło opracowania	Powierzchnia uszkodzonych drzewostanów [ha]	Liczba wydzielonych obiektów (uszkodzonych drzewostanów) [szt.]	Zapas uszkodzonych drzewostanów [m ³]
Ortofotografia lotnicza (20.08.2008 r.)	482,37	327	101 016,00
Ortofotografia satelitarna RapidEye (14.06.2009 r.)	557,83	411	117 304,00

Pomimo, iż piksel terenowy obrazów satelitarnych RapidEye ma rozmiar 5,0 m, to jednak nie było to jedyną przyczyną różnicy w powierzchni (75,4 ha, 13,5%) i liczbie kartowanych uszkodzeń. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż ortofotografia satelitarna wykonana została w maju 2009 roku po 9 miesiącach, a liczba wydzielonych obiektów była o 84 większa, co przy co najmniej 10-krotnie lepszej rozdzielczości ortofotomapy lotniczej powinno raczej dziwić. Ortofotoobraz satelitarny dokumentuje te drzewostany jakiego zdecydowano się usunąć, a nie zostały może prawidłowo rozpoznane na materiale fotolotniczym wykonanym zaledwie 5 dni po huraganie. Na celowość stosowania obrazów satelitarnych systemu RapidEye ma wpływ pozyskiwanie ich w 5 kanałach spektralnych, z czego w 2 kanałach w zakresie bliskiej podczerwieni (red-edge oraz NIR), co nawet przy pracach wzrokowej fotointerpretacji okazuje się dużą pomocą (odpowiednie barwne kompozycje; detekcja usuniętej biomasy; możliwość wygenerowania obrazów pochodnych, np.: NDVI, PCA itp.).

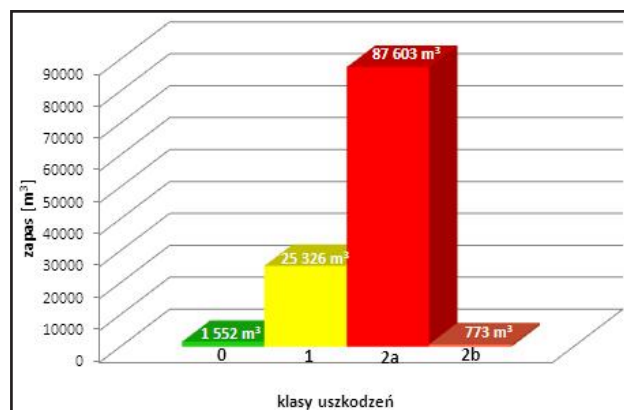
Wyniki uzyskane na drodze stereodigitalizacji 3D kolejnych par zdjęć lotniczych zawierały szczegółowe informacje o: powierzchni poszczególnych wydzielanych klas kartowanych obiektów (rys. 3), liczbie uszkodzonych drzewostanów w poszczególnych klasach uszkodzeń (rys. 4), szacunkowym zapasie drzewostanów (na podstawie SILP) w poszczególnych klasach uszkodzeń (rys. 5), udzia-



Rys. 3. Zestawienie powierzchni [ha] poszczególnych wydzielonych podczas kartowania 3D klas obiektów



Rys. 4. Liczba uszkodzonych drzewostanów wydzielonych podczas kartowania 3D klas obiektów



Rys. 5. Szacunkowy zapas drzewostanów w poszczególnych klasach uszkodzeń

le powierzchniowym głównych gatunków w poszczególnych klasach uszkodzeń oraz udziały powierzchni uszkodzonych w poszczególnych klasach wieku drzewostanów.

Porównanie wyników kartowania metodą 2D z metodą 3D oraz danymi szacunkowymi Nadleśnictwa Koszęcin

W celu zaprezentowania przewagi jakości opracowań fotogrametrycznych wykonywanych metodami stereofotointerpretacji i stereodigitalizacji, w stosunku do szeroko rozpowszechnionych w leśnictwie metod stosowania ortofotografii (ortofotomap) lotniczych jako danych referencyjnych, porównano wyniki prac do danych otrzymanych z Nadleśnictwa Koszęcin (tab. 3).

Jako dane referencyjne w dalszej dyskusji przyjęto te pochodzące z opracowania fotogrametrycznego na drodze stereodigitalizacji par zdjęć lotniczych 3D, gdyż w sposób przestrzenny umożliwiło ono precyzyjne wektoryzowanie fragmentów uszkodzonych w różnym stopniu drzewostanów. Okazuje się, że w przypadku zastosowania do kartowania przez tego samego fotointerpretatora, dostarczonej ortofotografii lotniczej (wygenerowanej z tych samych zdjęć lotniczych) uzyskał on wynik gorszy o 63,33 ha (około 11,6% mniej obszarów uszkodzonych niż metodą 3D). Przyczyna tych różnic może tkwić przede wszystkim w samej teorii fotogrametrii, a szczególnie w efekcie rzutu środkowego wysokich obiektów (np. drzew). Im bardziej oddalone od punktu głównego zdjęcia, tym wyraźniejszy jest efekt pozornego pochylania się drzew ku krawędziom zdjęcia. Sytuacja pochylania się drzew na ortofotografii wynika dodatkowo z zastosowania numerycznego modelu terenu (NMT), do generowania ortoobrazów. Zastosowany do przetworzenia różniczkowego model NMT, określa położenie współrzędnej „Z” na gruncie, a nie w koronach drzew (Wężyk, Mansberger, 1997). Konsekwencji wykorzystywania całych zdjęć lotniczych do generowania ortofotografii, a nie jedynie fragmentów centralnych, może być wiele. Jedną z nich jest przesunięcie (wydłużenie lub skrócenie) o kilka metrów wierzchołków drzew, w stosunku do podstawy drzewa na ortofotografii lotniczej. W sytuacji wektoryzacji takich obrazów, właściwe granice wydzieleń mogą być zasłonięte całkowicie przez „pochylone drzewa”. Omyłkowo mogą one być też interpretowane jako uszkodzone przez wiatr. Kolejnym elementem utrudniającym interpretację uszkodzeń jest

Tabela 3. Zestawienie wyników prac fotointerpretacyjnych (wszystkie metody i materiały) oraz danych z szacunków terenowych (PGL LP; Nadleśnictwo Koszęcin)

Źródło opracowania	Powierzchnia uszkodzonych drzewostanów [ha]	Liczba uszkodzonych drzewostanów [szt.]	Liczba pododdziałów z uszkodzeniami [szt.]	Zapas uszkodzonych drzewostanów [m ³]
Ortofotografia lotnicza RGB – metoda "2D"	482,37	327	279	101 016
Ortofotografia satelitarna RapidEye (CIR)	557,83	411	318	117 304
Stereodigitalizacja zdjęć lotniczych metodą "3D" DEPHOS	545,70	488	304	115 254
Szacunek przeprowadzony metodą tradycyjną w terenie (PGL LP)	694,50	b.d.	263	139 845

efekt „martwego pola” powstały w wyniku generowania ortofotomap z użyciem NMT. Zjawisko to uniemożliwia dokładną ocenę granic wysokich obiektów (Boroń i in., 2004).

Wykorzystanie obrazów satelitarnych RapidEye do kartowania uszkodzeń dotyczyło, oczywiście, okresu już po dokonaniu większości cięć uprzętających. Wynik jednak był nadspodziewanie dobry, gdyż różnił się jedynie o około 12,13 ha (2,2% większa powierzchnia) od danych przyjętych za referencyjne. Najgorzej, jak można się było spodziewać, wypadły szacunki wykonywane w terenie, być może wspomagane pomiarami wykonywanymi odbiornikami GPS (prawdopodobnie klasy turystycznej) i wydrukami LMN. Obszar oszacowany przez administrację PGL LP był większy od danych referencyjnych o około 148,8 ha (27,3%). Przyczyna tego błędu (być może różnicy) może tkwić w problemach z nawigacją i lokalizacją oraz utratą punktów odniesienia (np. granicy lasu, kęp, luk, gniazd zrębowych) pomocnych w nawiązywaniu się do LMN, której aktualność nie została określona na tym etapie badań. Mogła też mieć miejsce sytuacja, iż w terenowych szacunkach uwzględniono drzewostany, które z jakichś przyczyn nie były identyfikowane na stereoparach zdjęć lotniczych. Hipotezę tą jednak podważa interpretacja obrazów RapidEye wykonanych po 10 miesiącach od huraganu. Błąd powierzchniowy przeszacowania przenosi się jednocześnie na ustalenie masy surowca. W tym przypadku, porównując do opracowania 3D, szacunek terenowy pracowników Nadleśnictwa był wyższy aż o 139 845 m³ (21,34%; tab. 3), co oczywiście przenosi się na konkretny wymiar finansowy. W przypadku analizowanej liczby pododdziałów dotkniętych huraganem, szacunek nadleśnictwa wykazał wartość najniższą, bo jedynie 263 wydzielania. Może to wynikać z faktu, iż wzięto pod uwagę jedynie pododdziały z silnymi uszkodzeniami, pomijając te w których uszkodzenia były relatywnie małe, na tle ogromnych zniszczeń w całym nadleśnictwie. Podsumowując interpretację wyników należy podkreślić, że zdaniem autorów, wykonano większe zręby niż te, których należałoby się spodziewać na podstawie opracowania 3D. Przyczyn tej sytuacji może być wiele, a jedną z nich mogła być konieczność wprowadzenia nowego planu urządzania, a tym samym zaprojektowania nowej geometrii wydzieleń. Granice pododdziałów „poszarpane” przez huragan należało wyrównać, tyle że w przekonaniu autorów, nie wszędzie zachodziły jedynie takie przesłanki. Inna, nieznana autorom opracowania, przyczyna przeszacowania uszkodzeń przez PGL LP mogła wynikać z faktu występowania mikrouszkodzeń strzał drzew, które są możliwe to stwierdzenia jedynie w terenie.

Wnioski

Coraz częstsze doniesienia o występowaniu zjawisk wiatrów huraganowych w polskich lasach i powodowanych przez nie strat w drzewostanach powodują, że należy zwrócić szczególną uwagę na praktyczne wdrożenie w PGL LP procedur stosowania odpowiednich rozwiązań geomatycznych, które w sposób obiektywny, szybki i precyzyjny umożliwiają monitorowanie i zarządzanie zasobami leśnymi. Jednym z dostępnych obecnie rozwiązań są nowe sensory satelitarne takie jak systemy GeoEye-1 czy WorldView-2 charakteryzujące się pikselem terenowym około 0,5 m (kanał PAN). W przypadku innych nowych systemów optycznych, jak Pleiades czy RapidEye, za każdym razem występuje problem ograniczeń w pozyskiwaniu zdjęć powodowany przez chmury. Tu częściowym rozwiązaniem, dla niewielkich powierzchniowo uszkodzeń lasów, może być stosowanie bezzałogowych platform lotniczych (tzw. *drone*), które mogą wykonywać nalot pod pułapem chmur oferując roz-

dzielczość nawet kilku centymetrów. Innym wyjściem w przypadku długo zachmurzonego nieba jest stosowanie zobrazowań radarowych. Ostatnio rozwijaną technologią jest lotnicze skanowanie laserowe (Będkowski i in., 2011; Hollaus i in., 2007), które ze względu na wysoki koszt nie jest zwykle stosowane. Alternatywą pozostaje zatem tzw. *stereomatching* (Baltsavias i in. 2008), bazujący na tworzeniu modeli powierzchni obiektów przez autokorelacje pikseli na zdjęciach tworzących stereoparę. Prowadzi to w efekcie do powstania podobnej do skanowania lotniczego chmury punktów, tyle że ograniczonej do powierzchni obiektów koron drzew. Nadaje się ona na przykład do wygenerowania numerycznego modelu powierzchni terenu (NMPT) i dalej generowania tzw. prawdziwej ortofotografii (ang. *true ortho*), pozbawionej wad opisanych w rozdziale „Wyniki” (przesunięć części wierzchołkowych drzewa).

Zjawiska kłęskowe o wielkopowierzchniowym charakterze wymuszają potrzebę weryfikacji planów urządzenia lasu, jak i rocznych wniosków gospodarczych. Dlatego stosowanie właściwych rozwiązań, przybliżających do rzeczywistego stanu uszkodzeń, musi stać się praktyką w gospodarce leśnej. Na podstawie uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski:

1. Dzięki wykorzystaniu nowoczesnych technologii geoinformacyjnych (zdjęcia lotnicze, zobrazowania satelitarne) możliwe jest uzyskanie w bardzo krótkim czasie, przy stosunkowo niskich kosztach, obiektywnych materiałów teledetekcyjnych umożliwiających kartowanie obszarów pohuraganowych.
2. Wykorzystując metodę stereodigitalizacji (kartowania 3D na cyfrowej stacji fotogrametrycznej DEPHOS) można precyzyjnie określić przebieg granic uszkodzonych drzewostanów (wyróżnienie klas drzew połamanych, leżących, wiszących i nieuszkodzonych).
3. Kartowanie typu 3D daje najmniejsze błędy określania wielkości uszkodzonych powierzchni dzięki eliminacji efektu „martwego pola” oraz zjawiska pochylania się drzew.
4. Ortofotografie i ortofotomapy lotnicze, generowane w tradycyjny sposób z wykorzystaniem NMT, w przypadku drzewostanów oddalonych od punktu głównego zawsze będą powodowały przesunięcie radialne wierzchołków drzew.
5. Praktyczne wdrożenie zaprezentowanych w pracy metod kartowania oraz ich integracja z systemami GIS i GNSS ograniczy subiektywne, czaso- i kosztochłonne metody inwentaryzacji terenowej oraz „ukryte” błędy referencyjne.
6. System satelitarny RapidEye umożliwił bardzo szybkie pozyskanie (rozdzielczość czasowa – 1 dzień) materiałów o wystarczających parametrach rozdzielczości terenowej przyczyniając się do szybkiej i rzetelnej oceny szkód w drzewostanach.

Literatura

- Baltsavias E., Gruen A., Eisenbeiss H., Zhang L., Waser L. T., 2008: High-quality image matching and automated generation of 3D tree models. *International Journal of Remote Sensing* vol. 29 (5): 1243-1259.
- Będkowski K., 2005: Fotogrametryczna metoda oceny stanu i zmian wysokościowej struktury warstwy koron w drzewostanach. Wydawnictwo SGGW. Warszawa.
- Będkowski K., Wężyk P., 2010: Lotniczy skaning laserowy. [W:] Okła K. (red.) Geomatyka w Lasach Państwowych. Część I. Podstawy, rozdz. 14.5.1. Teledetekcja i fotogrametria obszarów leśnych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa: 326-343.
- Będkowski K., Wężyk P., Strzeliński P., Szostak M., Stereńczak K., Tompański P., Bałazy R., Ksepko M., Zajączkowski G., Myszkowski M. 2011: A review of laser scanning technology applications in Polish State Forest and National Parks. 1st Forestry Workshop: Operational Remote Sensing in Forest Management. Book: 18-20.

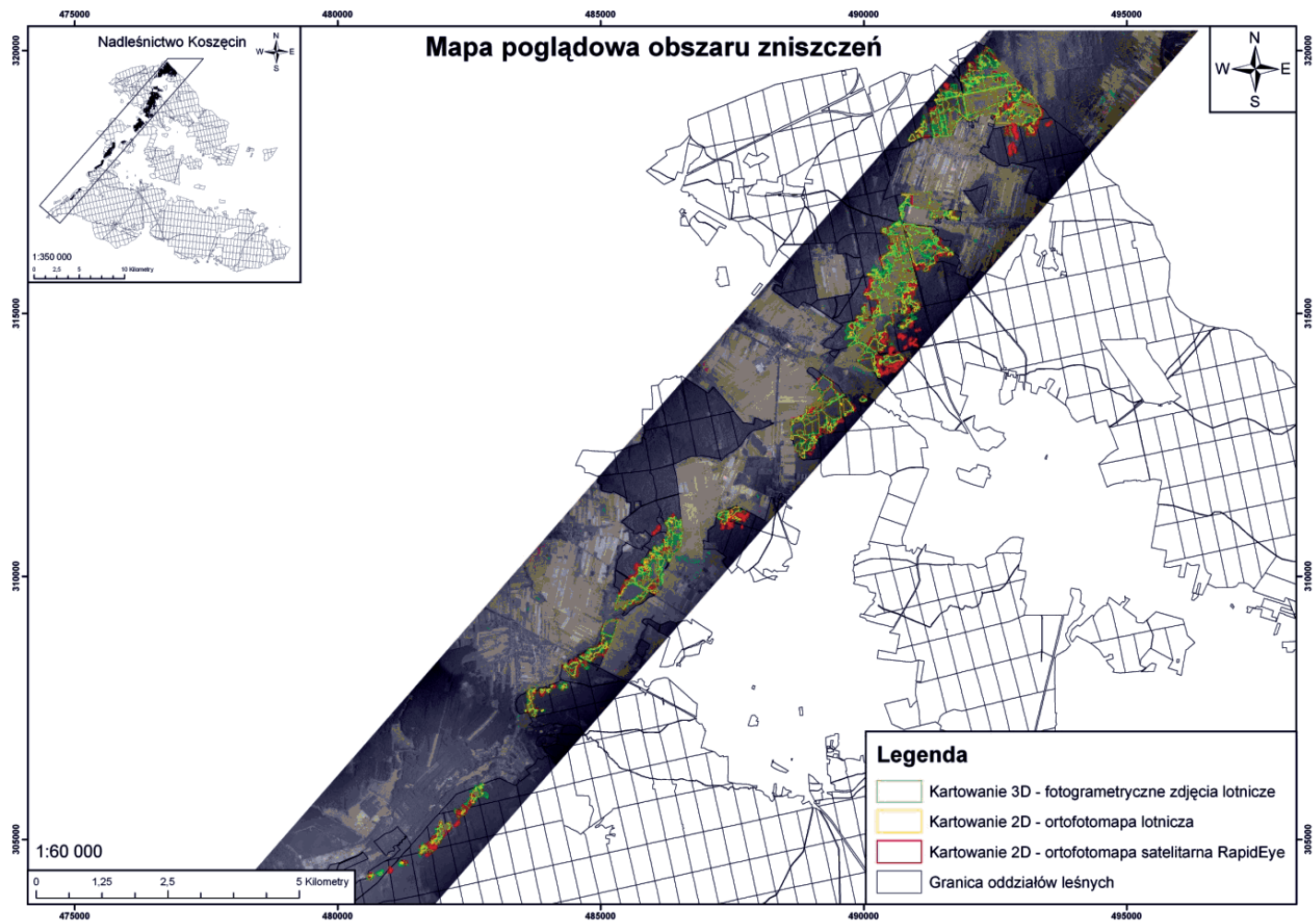
- Boroń A., Borowiec M., Wróbel A., 2004: Uwagi o wykonywaniu cyfrowych ortofotomap terenów zalesionych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 14: 111-120.
- Hollaus M., Wagner W., Maier B., Schadauer K., 2007: Airborne laser scanning of forest stem volume in a mountainous environment. *Sensors* vol: 7 (8): 1559-1577.
- PUL, 2010: Plan Urządzenia Nadleśnictwa Koszęcin na okres gospodarczy od 01.01.2010 do 31.12.2019.
- Wężyk P., Mansberger R., 1997: Przykład wykorzystania ortofotografii cyfrowej i systemu GIS w leśnictwie. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 6: 133-150.
- Wężyk P., 2006: Integracja technologii geoinformatycznych w analizie uszkodzeń lasu spowodowanych przez huragan w Puszczy Piskiej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 16: 547-556.
- Wężyk P., Guzik M., 2004: The use of "Photogrammetry-GIS" (P-GIS) for the Analysis of the changes in Tatra mountains natural environment. [In:] A message from the Tatra. Geographical Information Systems and Remote Sensing in Mountain Environment Research. Krakow, Poland; Riverside, California, USA. Jagiellonian University Press: 31-46.
- Zajączkowski J., 2005: Leśnicy kontra wiatr. *Las Polski* 23/2005. <http://www.laspolski.net.pl>. Dostęp: 12.01.2011r.
- Zajączkowski G., Wężyk P., 2004: Techniki teledetekcyjne w inwentaryzacji urządzeniowej lasu. *Roczniki Geomatyki* t. 2, z. 4: 41-50, PTIP, Warszawa.

Abstract

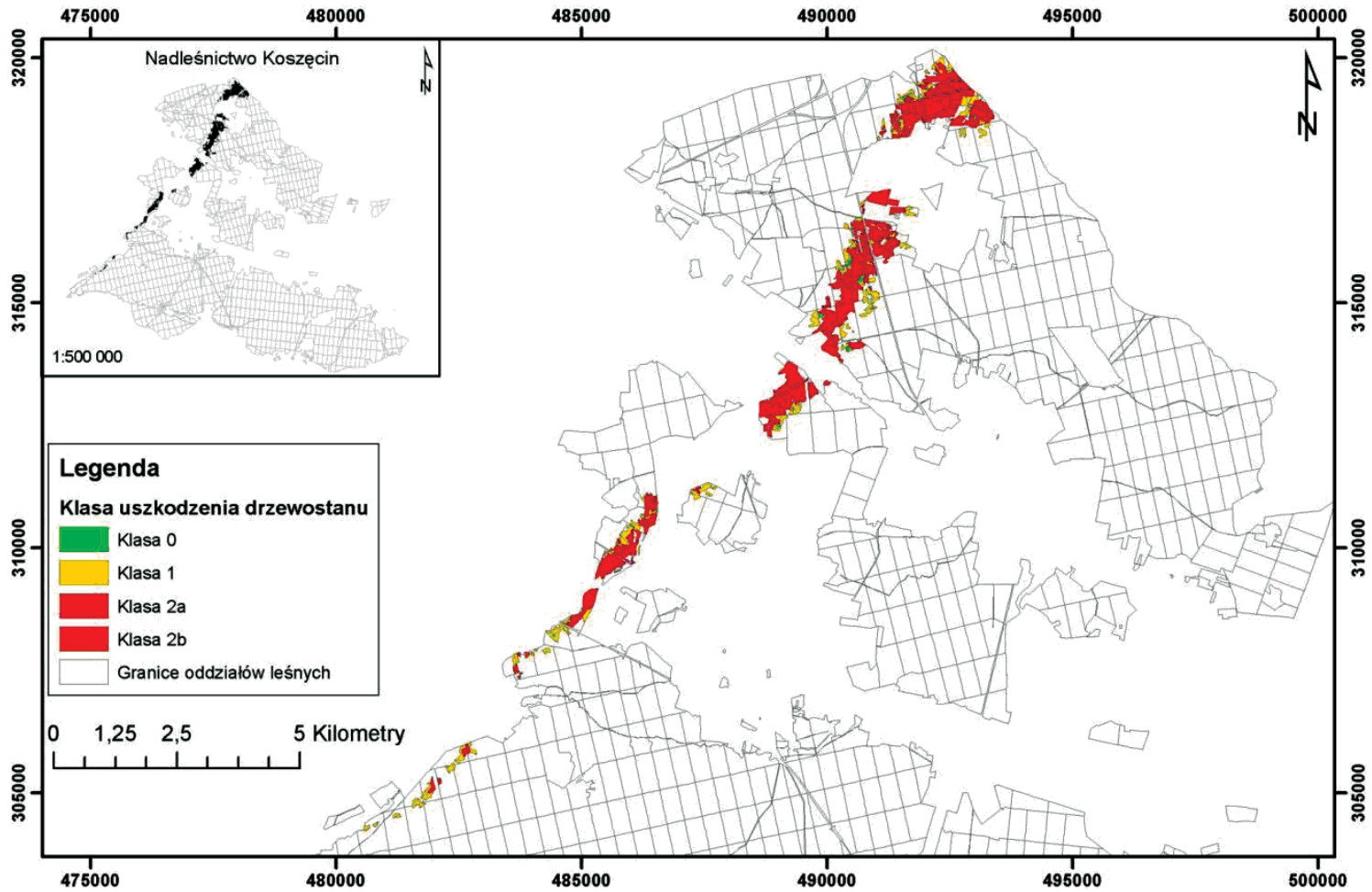
The aim of this elaboration was the photogrammetric assessment of the negative hurricane effects on the forest stand in the Koszęcin Forest District (Regional Directorate of Polish State Forest in Katowice). The hurricane, which happened on August 15th 2008, damaged aprox. 545 hectares of forest stands. This value was estimated based on the stereodigitizing of aerial photographs using 3D mapping techniques (SoftCopy station - DEPHOS). Other techniques led to less accurate results: vectorized aerial orthophotomap (so called "2D" method) about 63 ha less of damaged forest stands (-11.6%), photointerpretation of VHRS RapidEye orthophotomap (2D method) about 12 ha more (+2.2%) and traditional estimating methods - about 148 hectares more (+27.27%). The results of the 3D photogrammetric mapping method were considered as a reference to assess spatial distribution of damaged forest stands. The study was a successful demonstration of the capabilities of modern 3D-photogrammetric methods, and their superiority over the "standard" products used in forestry, such as aerial orthophotography, possible to use in case of a disaster (hurricane).

inż. Bartłomiej Boncol
boncolb@wp.pl

dr inż. Piotr Wężyk
rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
geo.ur.krakow.pl
tel. 22 662 50 82



Rys. 1. Mapa pogładowa obszaru zniszczeń w Nadleśnictwie Koszęcin spowodowanych huraganem w sierpniu 2008 roku



Rys. 2. Wyniki kartowania metodą stereodigitalizacji 3D