

HERONIM OLENDEREK, KRZYSZTOF BĘDKOWSKI,
DARIUSZ KORPETTA, EDWARD PIEKARSKI

Badania nad wykorzystaniem metod geodezji i fotogrametrii w inwentaryzacji lasu

Studies on the Use of the Methods of Geodesy and Photogrammetry
in Forest Inventory

Wstęp

Zarządzanie współczesnym gospodarstwem leśnym wymaga coraz pełniejszej znajomości stanu i zmian środowiska leśnego. Szeroko pojęta inwentaryzacja lasu nie może się obyć bez metod fotogrametrii i teledetekcji oraz informatyki ze szczególnym uwzględnieniem systemów informacji terenowej.

W Zakładzie Geodezji i Fotogrametrii Leśnej SGGW w ramach problemu RPBP I.07. Ministerstwa Edukacji Narodowej "Nowe metody pomiarów geodezyjnych i fotogrametrycznych", w latach 1986–1990 realizowano temat RPBP I.07.V.6 "Opracowanie nowych fotogrametrycznych i geodezyjnych metod inwentaryzacji lasu". Badania prowadzono w trzech zadaniach:

- Zastosowanie dalmierza EOT 2000 do budowy numerycznego modelu terenu w warunkach leśnych (główny wykonawca dr D. Korpetta).
- Wykorzystanie zdjęć lotniczych dla potrzeb stratyfikacji drzewostanów (główny wykonawca dr E. Piekarski).
- Zastosowanie numerycznej analizy zdjęć lotniczych w statystycznej metodzie taksacji lasu (główny wykonawca dr K. Będkowski).

Taka tematyka badawcza jest zgodna z aktualnymi trendami w rozwoju metod oceny stanu i zmian środowiska leśnego. Systemy informacji przestrzennej z numerycznym modelem terenu oraz metody fotogrametryczne z numeryczną analizą zdjęć tworzą jakościowo nowe możliwości, zarówno w pracy badawczej, jak i w zarządzaniu gospodarstwem leśnym.

Zastosowanie dalmierza EOT 2000 do budowy numerycznego modelu terenu w warunkach leśnych

W ramach prowadzonych badań opracowano koncepcję i technologię budowy numerycznego modelu terenu dla lasów o charakterze specjalnym (lasów doświadczalnych) i lasów grupy I w terenach nizinnych, przy zastosowaniu dalmierza elektrooptycznego EOT 2000 i map topograficznych w skali 1:10 000 (Korpetta D., 1989).

Założono, że podstawową jednostką powierzchniową budowanego NMT będzie oddział leśny, którego narożniki, zdefiniowane jako punkty przecięcia się osi linii ostępowych i oddziałowych, otrzymają współrzędne przestrzenne na podstawie pomiarów bezpośrednich, wykonanych tachimetrem EOT 2000. Niezbędne do tworzenia modelu dodatkowe punkty charakterystyczne terenu, leżące wewnątrz oddziałów, będą określone na podstawie mapy topograficznej w skali 1:10 000 i otrzymają współrzędne w wyniku jej digitalizacji oraz transformacji na układ terenowy (Olenderek H., Korpetta D., Kamińska G., 1986; Będkowski K., Korpetta D., Olenderek H., 1988; Olenderek H., Korpetta D., 1990).

Stwierdzono, że dalmierz EOT 2000 jest odpowiednim instrumentem na potrzeby budowy NMT i prac pomiarowych prowadzonych na terenach leśnych.

Praktyczną weryfikację proponowanej koncepcji budowy numerycznego modelu terenu wykonano dla fragmentu terenu uroczyska Zimna Woda i Wilczy Dół LZD w Rogowie. Na podstawie wyników pomiarów kontrolnych oceniono dokładność zbudowanego w dwóch wariantach NMT i otrzymano: średni błąd prawdziwy modelu zbudowanego na podstawie punktów, których rzędne odczytano na mapie topograficznej – $M = \pm 0,58$ m; średni błąd modelu zbudowanego na podstawie punktów, dla których rzędne określono na podstawie wyników pomiarów terenowych (były to skrzyżowania osi podziału powierzchniowego) i mapy topograficznej (dla pozostałych punktów) – $M = \pm 0,54$ m.

W trakcie budowy NMT na podstawie wyników pomiarów bezpośrednich i materiałów kartograficznych należy liczyć się z możliwością wystąpienia błędów systematycznych spowodowanych między innymi różnicami w układach odniesienia rzędnych. W pracy zaproponowano i praktycznie zweryfikowano trzy metody eliminowania tych błędów.

Numeryczny zapis rzeźby terenu dla lasów specjalnych i lasów grupy I może być w przyszłości wykorzystywany przy automatyzacji opracowań kartograficznych, w pracach badawczych z zakresu gleboznawstwa, siedliskoznawstwa, fitosocjologii, hodowli lasu, okresowej inwentaryzacji lasu (Korpetta D., 1991). Możliwość szybkiego uzyskania informacji o pionowym ukształtowaniu terenu oraz wykonywania analizy porównawczej różnych jego fragmentów (na podstawie liczbowych współczynników urzeźbienia, rozczłonkowania i rozwinięcia powierzchni), ułatwi między innymi prawidłowe projektowanie stałych, wieloletnich powierzchni badawczych. Istniejące liczbowe charakterystyki rzeźby terenu pozwolą na właściwą ocenę zmian zachodzących na terenach objętych intensywnymi procesami denudacyjnymi i erozyjnymi, co umożliwi prognozowanie kierunku tych zmian i podejmowanie właściwych decyzji gospodarczych (Bąkowski Z., 1982; Olenderek H., 1989). Numeryczny model terenu leśnego pozwoli również na automatyzację i szybkie wariantowanie prac projektowych z zakresu inżynierskiego

zagospodarowania lasu (projektowanie dróg, rowów melioracyjnych, szlaków zrywkowych).

Utworzony na terenie lasów specjalnych zespół punktów geodezyjnych stanowić będzie podstawę zakładania i szczegółowej inwentaryzacji leśnych powierzchni badawczych oraz pojedynczych drzew w jednym układzie odniesienia, metodami klasycznymi i fotogrametrycznymi. Wykorzystanie dalmierza elektrooptycznego i kalkulatora programowanego pozwoli na zakładanie i późniejsze odtwarzanie stałych powierzchni badawczych. Powrót do tak założonych powierzchni będzie zawsze możliwy, na podstawie punktów skrzyżowań osi linii podziału powierzchniowego, przy wykorzystaniu metody ciągów doprowadzających (Korpetta D., 1980).

Numeryczny model terenu leśnego można traktować jako podstawę budowy systemu informacji przestrzennej, który uzupełniany, zebrany w jednolitym układzie odniesienia, informacjami o cechach geometrycznych i semantycznych obiektów, może być wykorzystywany dla potrzeb badania środowiska leśnego i zarządzania lasami w różnej skali – od nadleśnictwa, aż do całego kraju. Jest to szczególnie ważne obecnie, gdy dominującego znaczenia w zagospodarowaniu przestrzennym kraju nabiera środowiskotwórcza rola lasów, wyrażająca się w wielorakich funkcjach ochronnych i socjalnych, przy jednoczesnej maksymalizacji ich znaczenia produkcyjnego (Olenderek H., 1990).

Wykorzystanie zdjęć lotniczych dla potrzeb stratyfikacji drzewostanów

Jedną z metod stosowanych w praktyce urządzania lasu jest statystyczna metoda taksacji. Podstawowymi jednostkami inwentaryzacyjnymi w tym przypadku nie są drzewostany a grupy drzewostanów, tworzone według kryteriów zapewniających możliwie największą jednorodność pod względem tych elementów taksacyjnych, które mają decydujący wpływ na zapas. Zdjęcia lotnicze pozwalają uzyskać informacje niezbędne do wyznaczania konturów drzewostanów i oceny niektórych elementów taksacyjnych. Założono, że po wykonaniu konturowego odczytania treści zdjęć lotniczych i wykreśleniu na nie granic wyłączeń drzewostanowych, dla każdego wyłączenia, w możliwie prosty sposób mogą być wyznaczone te elementy taksacyjne, które mają zasadniczy wpływ na kształtowanie się zapasu, a więc utworzenie grup stratyfikacyjnych. Przyjęto, że elementami tymi są: liczba drzew na jednostce powierzchni, skład gatunkowy, wysokość, zwarcie i struktura pionowa drzewostanu. Dodatkowym elementem taksacyjnym do stratyfikacji drzewostanów byłby wiek odczytany ze starego operatu urządzania lasu.

Opracowane zasady wykorzystania zdjęć lotniczych dla potrzeb stratyfikacji drzewostanów (Piekarski E., 1991) zweryfikowano na terenie uroczyska Głuchów, wchodzącego w skład Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Rogowie.

W zastosowanym do grupowania (stratyfikacji) drzewostanów toku postępowania wyróżniono dwa etapy. Pierwszy etap polegał na wyróżnieniu grup na podstawie trzech cech taksacyjnych: gatunku głównego, zmieszania i struktury pionowej drzewostanu. W efekcie uzyskano grupy, w których te cechy taksacyjne każdego z tworzących je drzewostanów były jednakowe.

Drugi etap stratyfikacji wykorzystywał cztery wyrażone numerycznie cechy taksacyjne: wiek, przeciętną wysokość, liczbę drzew na jednostkę powierzchni oraz zwarcie. Do grupowania zastosowano znany w literaturze algorytm BHKS_m (Kucharczyk, 1982).

W zależności od wielkości zastosowanego promienia sfery koncentracji:

- utworzono odpowiednio 58, 35 lub 19 grup drzewostanów,
- wyeliminowano 84, 74 lub 50% zmienności miąższości drzewostanów.

Liczba grup w pierwszym wariancie jest zbliżona do liczby grup jaką utworzono w trakcie klasycznej stratyfikacji (bez wykorzystania zdjęć lotniczych), przeprowadzonej na tym samym obiekcie w ramach prac urzędniowych w 1988 r. (utworzono 57 grup).

Reasumując, stwierdzić należy, że za pomocą danych pochodzących z poprzednich operatów urządzania lasu oraz aktualnych zdjęć lotniczych, można dokonać stratyfikacji drzewostanów odpowiadającej wymaganiom inwentaryzacji zapasu.

Zastosowanie numerycznej analizy zdjęć lotniczych w statystycznej metodzie taksacji lasu

Postawiono tezę, że stratyfikacja drzewostanów może być również wykonana przy zastosowaniu numerycznej analizy zdjęć lotniczych (Będkowski K., 1989).

Badaniami objęto drzewostany sosnowe Nadl. Ostrów Mazowiecka (Obręb Brok). Wykorzystano czarno-białe, panchromatyczne zdjęcia lotnicze w skali ok. 1:5000. Ocenę metod grupowania przeprowadzono na podstawie wyników stratyfikacji 50 próbnich powierzchni densytometrycznych założonych na zdjęciach lotniczych. Każda powierzchnia składała się z 400 pikseli, dla których określono za pomocą mikrodensytometru MD 100 wartości gęstości optycznej obrazu. Powierzchnie te charakteryzuje 12 numerycznych parametrów: średnia, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności i rozpiętość wartości gęstości optycznej, liczba wartości ekstremalnych (minima i maksima), wartość przeciętna gęstości optycznej w minimach i maksimach, przeciętny gradient gęstości optycznej oraz jego odchylenie standardowe, a także współczynnik koncentracji sumy wartości gęstości optycznej, entropia i maksimum widma amplitudowego.

Do grupowania (stratyfikowania) drzewostanów wykorzystano cztery metody, które w różny sposób modyfikowane utworzyły ogółem 10 wariantów. Szczegóły dotyczące zastosowanych metod grupowania oraz ich oceny znajdzie Czytelnik w pracach K. Będkowskiego (1989a, 1989b, 1990).

Stwierdzono że:

- numeryczna analiza cech obrazów umożliwia uzyskanie takiego podziału drzewostanów, przy którym częściowo zredukowana jest zmienność cech taksacyjnych,
- dla końcowego wyniku stratyfikacji istotny jest sposób wstępnego przygotowania (standaryzacji) danych,
- zaproponowane numeryczne metody stratyfikacji drzewostanów mogą pełnić rolę pomocniczą w inwentaryzacji stanu lasu.

Podsumowanie

- W ramach prowadzonych badań opracowano koncepcję i technologię budowy numerycznego modelu terenu dla lasów o charakterze specjalnym (lasów doświadczalnych) i lasów grupy I, w terenach nizinnych, przy zastosowaniu dalmierza elektrooptycznego EOT 2000 i map topograficznych w skali 1:10 000.
- Opracowano metody stratyfikacji drzewostanów na podstawie zdjęć lotniczych i istniejących operatów urządzania lasu (z poprzedniego okresu) dla potrzeb inwentaryzacji stanu lasu.
- Zaproponowano sposoby wykorzystania numerycznej analizy cech obrazów (zdjęć lotniczych w skali 1:5000) do grupowania drzewostanów na potrzeby inwentaryzacji drzewostanów.
- Zaproponowane rozwiązania powinny znaleźć miejsce w praktyce urzędniowo leśnej. Szczególnie pilną potrzebą jest wprowadzenie w leśnictwie systemów informacji terenowej, w których ważnym elementem charakteryzującym rzeźbę terenu może być jej numeryczny model, a źródłem zasilania systemów w informacje o drzewostanach powinny być zdjęcia lotnicze. Przeprowadzane w innym programie badawczym (CPBP 04.10) doświadczenia wykazały, że w warunkach polskich nie powinno się ustalać granic wyłączeń bez wykorzystania zdjęć lotniczych (Olenderek H., 1991).

Z Katedry Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej SGGW w Warszawie

Literatura

1. **Bąkowski Z.** 1982: O pewnej charakterystyce mikrorzeźby terenu. *Przegląd Geodezyjny* 11–12.
2. **Będkowski K.**, 1989a. Komputerowa analiza treści lotniczych i satelitarnych zdjęć terenów leśnych. *Las Polski*, nr 2.
3. **Będkowski K.** 1989b. Zastosowanie numerycznej analizy zdjęć lotniczych w statystycznej metodzie taksacji lasu. Rozprawa doktorska. Wydział Leśny SGGW-AR w Warszawie.
4. **Będkowski K.**, 1990. Hierarchiczne metody taksonomiczne w numerycznej analizie obrazów w zastosowaniu do stratyfikacji drzewostanów. *Materiały I Krajowej Konferencji "Grafika komputerowa i przetwarzanie obrazów, GKPO'90"*, s. 261–265, Kazimierz Dolny, 21–24 maja 1990 r.
5. **Będkowski K., Korpetta D., Olenderek H.**, 1988. Możliwości określania powierzchni oddziałów w schematycznym podziale powierzchniowym. *Sylwan* 6.
6. **Korpetta D.**, 1980. Opracowanie technologii tyczenia lokalizacyjnego za pomocą ciągów doprowadzających. *Referaty Szkoleniowe z Geodezji Inżyniersko-Budowlanej*. Geoprojekt, Warszawa.

7. **Korpetta D.**, 1989. Zastosowanie dalmierza EOT 2000 do budowy numerycznego modelu terenu w warunkach leśnych. Rozprawa doktorska, Wydział Leśny SGGW-AR Warszawa.
8. **Korpetta D.**, 1991. Numeryczny model terenu w badaniach stanu i zmian lasu. W: Metody oceny stanu i zasobów leśnych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
9. **Kucharczyk J.**, 1982. Algorytmy analizy skupień w języku ALGOL 60. PWN Warszawa.
10. **Olenderek H., Korpetta D., Kamińska G.**, 1986. Numeryczne opracowanie wyników pomiarów busolowych. Przegląd Geodezyjny 4.
11. **Olenderek H.**, 1989. Geodezyjne i fotogrametryczne metody określania zmian powierzchni terenów leśnych dla celów ustalenia stopnia intensywności zjawisk kłęskowych oraz likwidacji szkód i skutków kłęski ekologicznej w Sudetach. Materiały Konferencji Naukowej PTL. Erozja i gospodarka wodna na terenach leśnych w Sudetach Zachodniach, czerwiec, Szklarska Poręba.
12. **Olenderek H.**, 1990. Systemy informacji terenowej potrzeby i możliwości zastosowania w leśnictwie. Referat na seminarium naukowym Wydziału Leśnego SGGW.
13. **Olenderek H.**, 1991. Ocena zmian granic wydzieleni drzewostanowych w Nadleśnictwie Rogów w okresie 1978–1988. In: Metody oceny stanu i zmian zasobów leśnych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
14. **Olenderek H., Korpetta D.**, 1991. Geodezyjne aspekty podziału powierzchniowego w lasach. Przegląd Geodezyjny 8.
15. **Piekarski E.**, 1991. Wykorzystanie zdjęć lotniczych dla potrzeb stratyfikacji drzewostanów. Materiały Sympozjum "60-lecie Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego. Warszawa.

Summary

Within conducted studies, the authors elaborated a concept and technology of construction of a numerical model of the ground for forests of special (experimental) character and forests of group I in lowland territories, applying an electrooptical telemeter and topographical maps in the scale of 1:10 000.

One elaborated methods of stand stratification on the basis of aerial pictures and existing plans of forest management (from preceding period).

One proposed ways of using the numerical analysis of the characters of aerial pictures in the scale of 1:5000 for grouping stands for the needs of the inventory of stands.

The presented methods can be used for the needs of enriching the systems of spatical information on forest territories.