

CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE POTRZEBY INWENTARYZACYJNE LASÓW PAŃSTWOWYCH

FACTORS DEFINING INVENTORY NEEDS IN STATE FORESTS

Jerzy Mozgawa¹, Krzysztof Będkowski¹, Paweł Strzeliński²

¹Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Wydział Leśny
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

²Katedra Urządzania Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Słowa kluczowe: teledetekcja, radar, georadar, skaning naziemny, leśnictwo
Keywords: remote sensing, radar, georadar, terrestrial laser scanning, forestry

Wprowadzenie

Geomatyka pomaga w rozwiązywaniu dwojakiego rodzaju problemów przestrzennych w leśnictwie. Grupa pierwsza to problemy poznawcze, ukierunkowane na zrozumienie funkcjonowania określonych systemów, którymi są zainteresowane nauki leśne. Dla tej grupy problemów znana technologia geomatyki zwiększa skuteczność badań naukowych nad poznaniem funkcjonowania określonego systemu przyrodniczego, ekonomicznego lub technicznego.

Druga grupa problemów to zagadnienia zarządzania, w których dokładnie i tanio przeprowadzona inwentaryzacja, z wykorzystaniem współczesnych narzędzi geomatycznych, jest podstawowym kryterium sprawnego działania. Zakładamy, że przedmiotem zarządzania będą układy przestrzenne poznane wcześniej w leśnych i środowiskowych badaniach naukowych. Grupa ta ma aspekt praktyczny i jest przedmiotem zainteresowania różnych instytucji odpowiedzialnych za efektywne kształtowanie przestrzeni przyrodniczej kraju. Lasy Państwowe należą do takich instytucji.

Lasy Państwowe (LP) są zainteresowane geomatyką jako narzędziem wspomagającym rozwiązanie zarówno problemów poznawczych, jak i problemów zarządzania. Zwracają się od szeregu lat do środowiska naukowego z propozycją rozpoznania przydatności inwentaryzacyjnych pojawiających się nowych rozwiązań sprzętowych i programowych w technologiach geomatyki. Formalnie odbywa się to przez publiczne zgłoszenie ramowych propozycji badań naukowych. Ramowe problemy są uszczegóławiane przez zespoły badawcze z uczelni, instytutów naukowych i firm geomatycznych zajmujących się tymi zagadnieniami. Uszczegółowione propozycje są przekazywane do Lasów Państwowych w celu podjęcia decyzji o ich finansowaniu.

Środowisko obszarów leśnych posiada specyficzne warunki, ograniczające wykorzystanie potencjalnych możliwości inwentaryzacyjnych nowych technologii geomatyki. Z tego względu ważna jest umiejętność wyselekcjonowania najlepszego zestawu środków do inwentaryzacji i przetwarzania danych, które w pełni uwzględnią specyfikę tego środowiska. Wskazanie racjonalnego wyboru środków technicznych przy inwentaryzacji stanu lasu technikami teledetekcji i fotogrametrii najlepiej może zagwarantować wiedza ekspercka osób rozumiejących zarówno problematykę leśną w zakresie potrzeb inwentaryzacyjnych, jak i specyfikę integracji danych teledetekcyjnych z innymi typami danych przestrzennych.

Porównanie potrzeb inwentaryzacyjnych trwale zrównoważonej, wielofunkcyjnej gospodarki leśnej z potencjalnymi możliwościami teledetekcji wskazuje, że optymalny wybór ścieżki postępowania podczas pozyskania i przetwarzania geoinformacji wymagałby udziału ekspertów z trzech działów merytorycznych:

- leśnictwa (hodowla, użytkowanie, ochrona, zarządzanie lasu), zgłaszającego potrzeby inwentaryzacyjne lasu wielofunkcyjnego,
- zainteresowanych rozwiązaniami technicznymi i informacjami teledetekcji,
- znających specyfikę środowiska obszarów leśnych, utrudniającą optymalne wykorzystanie technicznych i informacyjnych aspektów teledetekcji.

Ocenę przydatności dla potrzeb nauk leśnych i zarządzania w sferze leśnictwa pojawiających się nowych rozwiązań w teledetekcji i fotogrametrii najlepiej zrealizują interdyscyplinarne zespoły naukowe składające się z przedstawicieli ww. wymienionych trzech działów merytorycznych.

W roku 2007 podstawą formalną do zgłoszenia uszczegółowionej tematyki badawczej w zakresie zastosowań teledetekcji w rozwiązywaniu zadań LP była decyzja nr 90 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z 19 września 2007 r. w sprawie ustalenia trybu wyboru wykonawców prac naukowo-badawczych w roku 2008 oraz załącznik nr 1 do tej decyzji.

Uwzględniając potrzebę działania w zespołach interdyscyplinarnych, utworzone zostały zespoły badawcze składające się z osób aktualnie zajmujących się badaniami nad zastosowaniami teledetekcji i fotogrametrii w leśnictwie, składające się z pracowników naukowych Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu i Uniwersytetu Nauk Stosowanych w Eberswalde. W zespołach badawczych przewidywano również udział Biura Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddział Białystok oraz wybranych firm geomatycznych, zajmujących się teledetekcją.

Opracowanie przedstawia uszczegółowione propozycje badań dotyczące teledetekcji i fotogrametrii w trwale zrównoważonej, wielofunkcyjnej gospodarce leśnej, zgłoszone do LP w 2007 r. Zaproponowano podjęcie badań w zakresie zastosowań teledetekcji i fotogrametrii w leśnictwie nad:

- zasadnością wykorzystania dla celów leśnych satelitarnych i lotniczych zdjęć radarowych,
- sposobami pozyskania i przetwarzania danych dla numerycznych modeli powierzchni w przestrzeni przyrodniczej drzewostanu,
- zastosowaniem naziemnego skaningu laserowego w wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu i szacunkach brakarskich,
- oceną możliwości wykorzystania technik georadarowych w leśnictwie,
- kierunkami wykorzystania urządzeń termowizyjnych, noktowizyjnych i sonarów do inwentaryzacji zwierząt.

Powyższe propozycje zostały opracowane na podstawie zidentyfikowanych najważniejszych kierunków badawczych współczesnej teledetekcji lasu, koncentrujących aktualnie uwagę na tzw. przestrzeni przyrodniczej drzewostanu oraz zastosowaniu technik teledetekcji do inwentaryzacji zwierząt zamieszkujących ekosystemy leśne.

Jednym z wyraźnych trendów badawczych w zakresie teledetekcyjnej inwentaryzacji stanu i zmian pojedynczych drzewostanów jest inwentaryzacja obiektów w przestrzeni ograniczonej dwoma powierzchniami, umieszczonymi w strefie odsłonecznej koron drzew i na powierzchni terenu. Teledetekcja i fotogrametria koncentrują uwagę zarówno na możliwie wiernym odtworzeniu ukształtowania powierzchni zamykających przestrzeń drzewostanu, jak i na próbach dotarcia do detali budowy wnętrza drzewostanu. Uwaga zespołów badawczych skierowana jest na techniki skanowania laserowego lotniczego i naziemnego, metody interferometrii radarowej oraz możliwości pozyskania informacji o wnętrzu drzewostanów w spolaryzowanym promieniowaniu radarowym.

W przestrzeni przyrodniczej drzewostanu fragmentem najtrudniejszym do badania teledetekcyjnego była przestrzeń zajmowana przez systemy korzeniowe drzew, krzewów i roślinności zielnej. Rozwiązania w technice georadarowej sugerowały rozpoznanie przydatności tego narzędzia teledetekcyjnego do analizy leśnego środowiska glebowego.

W artykule przedstawiono przesłanki merytoryczne proponowanych tematów badawczych i wybrane elementy ramowej metodyki badań.

Badanie możliwości i określenie zasadności wykorzystania zdjęć radarowych w różnych działach leśnictwa

Problematyka oceny przydatności w leśnictwie krajowym obrazów teledetekcyjnych, rejestrowanych w paśmie mikrofalowym została uznana za priorytetowe zadanie naukowe teledetekcji lasu. Niezależność obrazowania od warunków oświetleniowych i pogodowych jest atrakcyjnym czynnikiem, który każe poświęcić tej technice szczególną uwagę z punktu widzenia potrzeb inwentaryzacyjnych leśnictwa krajowego, w których określony termin lub rytm czasowy rejestracji są najważniejszymi czynnikami decydującymi o praktycznej przydatności techniki.

Wykorzystanie obrazów radarowych do inwentaryzacji lasu jest przedmiotem zainteresowania zagranicznych, interdyscyplinarnych zespołów badawczych co najmniej od kilkunastu lat, jednak dotychczas prowadzone badania wykorzystywały obrazy radarowe o relatywnie niskiej rozdzielczości terenowej.

Specyfika tego działu teledetekcji lasu wynika zarówno z faktu wykorzystania promieniowania elektromagnetycznego z zakresu mikrofalowego, jak i ze względu na szczególne własności obiektów zdalnego badania – wyjątkowo zmiennych strukturalnie ekosystemów leśnych. Dodatkowym impulsem do zbadania możliwości i określenia zasadności wykorzystania zdjęć radarowych w różnych działach leśnictwa było umieszczenie 15 czerwca 2007 r. na orbicie wysokorozdzielczego satelity radarowego TerraSAR-X, pracującego w krótkofalowym zakresie X (<http://www.dlr.de>). Wysoka jakość obrazów wzbudziła zainteresowanie środowisk zainteresowanych geoinformatyką. Zgodna jest opinia, że uruchomienie sys-

temu ma wyjątkowe znaczenie dla rozwoju teledetekcji środowiska, w tym teledetekcji obszarów leśnych. Mając powyższe na uwadze i dodatkowo uwzględniając fakt, że system ma pracować dla programu GMES, badania w zakresie wykorzystania zdjęć radarowych pozyskanych tym systemem w różnych działach leśnictwa znalazły się jako priorytetowe w pakiecie propozycji badawczych dla potrzeb LP.

Metodyka badań zakłada, że poszukiwanie sposobów optymalnego wykorzystania do celów leśnictwa obrazowania radarowego za punkt wyjścia przyjmuje fizyczne własności promieniowania mikrofalowego i geometryczne zasady rejestracji obrazów radarowych.

Dobrym przykładem wykorzystania danych radarowych w leśnictwie jest inwentaryzacja wysokości drzewostanu, która jest realizowana w teledetekcji mikrofalowej aż trzema różnymi metodami (Izzawati et al., 2006; Garestier et al., 2008).

- Pierwsza metoda polega na wykorzystaniu empiryczno-teoretycznych modeli służących do symulowania wstecznego rozpraszania przez roślinność fali elektromagnetycznej (kanału radarowego interferometru o określonej polaryzacji). Umieszczenie w modelu określonej cechy biofizycznej lasu umożliwia wyznaczenie tej cechy poprzez inwersję modelu. Umożliwia to wyznaczenie wysokości drzewostanu poprzez modele, wiążące dane interferometryczne i polarymetryczno-interferometryczne z grubością rozpraszacza objętościowego, utożsamianego z poszukiwaną wysokością lasu.
- Druga metoda polega na tworzeniu numerycznych modeli warstwy koron i terenu na podstawie interferometrycznych danych radarowych. Zjawisko słabej penetracji promieniowania krótkofalowego kanału X jest wykorzystywane do tworzenia modelu numerycznego zbliżonego do odsłonecznej warstwy koron. Silnie penetrujący roślinność kanał L jest źródłem informacji do budowy numerycznego modelu, zbliżonego do powierzchni terenu. Z numerycznego modelu różnicowego wyznaczana jest wysokość fragmentów drzewostanu, zwykle poprawiana empirycznymi modelami regresji, tworzonymi na podstawie referencyjnych danych terenowych.
- W trzeciej metodzie wyznaczania wysokości drzewostanu przyjmuje się założenie, że model numeryczny terenu niekoniecznie musi być wyznaczany teledetekcją radarową. Alternatywą dla interferometrii radarowej jest na przykład technika lotniczego skaningu laserowego. Dla wielu obszarów utworzone już zostały modele numeryczne terenu. W tej sytuacji dane radarowe są wykorzystywane tylko do tworzenia numerycznych modeli koron. Wysokość drzewostanu jest wyznaczana z modelu różnicowego, uzyskanego na podstawie numerycznego modelu warstwy koron (tworzonego z danych interferometrycznych kanału X) i terenu (wykorzystywany jest istniejący model numeryczny terenu, wyznaczony technikami nie należącymi do teledetekcji mikrofalowej).

Dodatkową przesłanką wskazującą na celowość zbadania możliwości i określenie zasadności wykorzystania zdjęć radarowych w leśnictwie był fakt, że teledetekcja lasów w paśmie mikrofalowym umożliwia uzyskanie wyjątkowo licznej „wymiarowości” obserwacji i licznych produktów przetworzeń.

Transformacje różnie przetworzonych danych radarowych do formy najczęściej używanych w leśnictwie numerycznych map tematycznych mogą się zatem odbywać w technikach tworzenia kompozycji barwnych i ich interpretacji osobowej oraz w technikach komputerowej klasyfikacji obrazów.

Najczęściej używane produkty technik radarowych, potencjalnie możliwe do wykorzystania w inwentaryzacjach obszarów leśnych, to przede wszystkim (Rowland i Balzter, 2007; Garestier et al., 2008):

- 1) modele wysokościowe terenu i ortofotomapy obrazów radarowych,
- 2) mapy zniekształcenia powierzchni terenu (osiadania, osuwiska),
- 3) mapy klęsk żywiołowych (powodzie, huragany, pożary),
- 4) mapy wybranych cech struktury powierzchniowej lasu, w tym na przykład:
 - tworzone z danych interferometrycznych mapy wysokości fragmentów drzewostanów,
 - kompozycje barwne RGB tworzone ze składowych, różnicujących fragmenty lasu pod względem cech interferometrycznych (stopnia koherencji) i własności polaryzacyjnych obiektów środowiska leśnego.

Kierunki rozwoju wysokorozdzielczych systemów radarowych i ich wykorzystania dla celów inwentaryzacji w leśnictwie obejmują wszystkie wyróżniane aktualnie poziomy obrazowania, a więc:

- 1) poziom lotniczy, który wyraźnie zmierza w kierunku wykorzystania idei interferometrii radarowej z jednego przelotu radarowymi urządzeniami wieloczęstotliwościowymi i wielopolaryzacyjnymi. Obrazowanie z bezałogowych statków powietrznych operujących w stratosferze (projekt PEGASUS – www.pegasus4europe.com, wpisujący się w potrzeby GMES i inicjatywę INSPIRE, przewiduje uruchomienie od 2009 r. na bezałogowym obiekcie latającym HALE-UAV radarowego systemu SAR w kanale X, obrazującego 4,5 km pas terenu z rozdzielczością terenową 2,5 m).
- 2) poziom satelitarny:
 - do pracującego już systemu TerraSAR-X projektuje się dołączenie bliźniaczego satelity TanDEM-X, co umożliwi utworzenie z takiej pary satelitów interferometru (www.dlr.de),
 - uruchomienie systemu 4 satelitów SAR-X Cosmo-Skymed (pierwszy satelita już został umieszczony na orbicie w czerwcu 2007) (www.isprs.org),
 - utworzenie systemu Interferometric CartWheel, tworzonego z jednego aktywnego satelity SAR (TerraSAR-L), współdziałającego z 3 pasywnymi mikrosatelitami, stwarzającego w technice interferometrii możliwość generowania wysokościowych modeli numerycznych powierzchni o wysokiej dokładności (<http://smc.cnes.fr>),
 - uruchomienie systemu Radarsat-2, o rozdzielczości 3 m (www.radarsat2.info).

Teledetekcja lasów w zakresie mikrofalowym perspektywnie i po niezbędnych badaniach empirycznych mogłaby być wykorzystywana w krajowym leśnictwie zarówno jako autonomiczna metoda inwentaryzacyjna rozmiaru klęsk żywiołowych jak również, po zintegrowaniu z danymi obrazowymi zakresu optycznego dane radarowe mogłyby być wykorzystane dla celów zarządzania lasu. Zwraca szczególną uwagę prostota i duże możliwości aplikacyjne kompozycji barwnych, tworzonych z różnych produktów przetworzeń radarowych poziomu lotniczego i satelitarnego oraz ich wykorzystania do inwentaryzacji stanu i zmian lasów. Ten sposób praktycznego wykorzystania wysoko rozdzielczych obrazów mikrofalowych poziomu satelitarnego (TerraSAR-X, ALOS) dla celów inwentaryzacyjnych został zaproponowany do badania w pierwszej kolejności.

W zakresie radarów satelitarnych zaproponowano również przeprowadzenie badań empirycznych nad przydatnością w leśnictwie wysokorozdzielczych satelitarnych zdjęć radarowych pozyskanych w różnych terminach oraz badanie różnych sposobów przetwarzania

danych w integracji z danymi terenowymi Systemu Informatycznego Lasów Państwowych i Leśnej Mapy Numerycznej. Dane interferometryczne, pochodzące z satelity TerraSAR-X i planowanego do uruchomienia satelity TanDEM-X, hipotetycznie mogłyby być przydatne do tworzenia numerycznych modeli warstwy koron.

Badania nad sposobami pozyskania i przetwarzania danych dla numerycznych modeli powierzchni w przestrzeni przyrodniczej drzewostanu

Numeryczny model terenu (NMT) oraz numeryczny model pokrycia terenu (NMPT) są współczesnymi produktami geomatycznymi, które już znajdują zastosowanie w leśnictwie. Przykładowe obszary potencjalnych zastosowań dotyczą różnorodnych aspektów gospodarki leśnej:

- urządzenie lasu (taksacja lasu i inwentaryzacja zapasu – wysokość drzew i drzewostanów, skład gatunkowy, zagęszczenie, segmentacja koron, utrzymanie ładu czasowego i przestrzennego – planowanie ostępów, cięć itp.),
- hodowla lasu (mikrozmrozowiska, zmrozowiska, aspekty fenologiczne na obszarach górskich),
- ochrona lasu, w tym ochrona przeciwpożarowa (lokalizacja wież przeciwpożarowych, dostrzegalni),
- użytkowanie lasu (dostępność terenu dla różnorodnych technologii pozyskania drewna, projektowanie szlaków zrywkowych),
- inżynieria leśna (optymalizacja sieci dróg leśnych, mała retencja, zabudowa przeciwerozyjna, lokalizacja i stabilizacja osuwisk, ochrona przed lawinami itp),
- zagospodarowanie turystyczne (zastosowanie NMT i NMPT w promocji obiektów leśnych i planowaniu zagospodarowania turystycznego).

Przedstawione powyżej pola potencjalnych zastosowań NMT i NMPT były podstawą do zaproponowanej ramowej metodyki badań.

1. Zakres badań dotyczy szeroko rozumianych zastosowań numerycznego modelu terenu (NMT) oraz numerycznego modelu pokrycia koron (tożsamego z NMPT) w LP, ze szczególnym uwzględnieniem inwentaryzacji zapasu drzewnego.

2. Niezbędne jest uwzględnienie doświadczeń wynikających z realizacji zakończonych projektów badawczych¹, w których analizowano m.in. możliwość zastosowania w leśnictwie lotniczego i naziemnego skanowania laserowego.

3. W badaniach uwzględnione będą wyniki prac terenowych oraz lotniczego skanowania laserowego i obrazy lotnicze znajdujące się w posiadaniu LP.

¹ Wydział Leśny SGGW realizował projekt 2 P06L 02229 *Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w analizie struktury przestrzennej i funkcjonowania lasów w krajobrazie*, finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (kier. dr hab. Krzysztof Będkowski). Uczestniczyli w nim pracownicy Wydziału Leśnego SGGW, AGH w Krakowie i Politechniki Warszawskiej (Będkowski i in., 2008). Projekt *Opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na integracji danych pozyskiwanych różnymi technikami geomatycznymi* finansowała Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych (kier. prof. dr hab. Tomasz Zawila-Niedźwiecki). Projekt był koordynowany przez Wydział Leśny SGGW, a uczestniczyli w nim: Wydział Leśny Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Wydział Leśny Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu oraz Instytut Badawczy Leśnictwa w Warszawie (Zawila-Niedźwiecki et al., 2008).

4. Przewidziano możliwość prowadzenia badań na stosunkowo dużym obszarze, zróżnicowanym pod względem warunków przyrodniczych (skład gatunkowy drzewostanów) i ukształtowania terenu.

5. Oprócz skanowania laserowego zaproponowano uwzględnienie w procesie budowy NMT i NMPK innych znanych technik służących do automatycznego generowania tych modeli.

Uwzględniając fakt istnienia wielu technologii budowy NMT oraz NMPT, ocena ich przydatności dla potrzeb leśnictwa powinna dotyczyć zarówno znanych i powszechnie stosowanych technologii, jak też aktualnie znajdujących się w stadium prac badawczych.

Zaproponowano ocenę przydatności następujących technologii:

- przetwarzanie materiałów kartograficznych,
- LIDAR,
- korelacja obrazów,
- obrazowanie radarowe.

Naziemny skaner laserowy w specjalnych zadaniach inwentaryzacji stanu lasu

Zaproponowano realizację dwóch zadań.

1. Ocena możliwości zastosowania naziemnego skanera laserowego do wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu

Metodyka przewidywała zbadanie przydatności naziemnego skanera laserowego do prac pomiarowych i szacunkowych, obowiązujących w instrukcji wykonywania wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu, z podziałem na:

- drzewa i krzewy o wysokości mniejszej od 50 cm,
- drzewa i krzewy o wysokości 50 cm i większej,
- drzewa o pierśnicy powyżej 7 cm,
- pniaki i martwe drzewa,
- opis roślinności runa,
- ogólną charakterystykę powierzchni.

Dodatkowo skaner byłby wykorzystany do precyzyjnego odwzorowania mikrorzeźby terenu i jego pokrycia.

Jako powierzchnie badawcze planowano wykorzystać punkty sieci Wielkoobszarowej Inwentaryzacji Lasu (WISL), zarówno w warunkach nizinnych jak i górskich w drzewostanach o różnej strukturze:

- gatunkowej (lite – głównie So, Św, Bk i Db oraz mieszane z przewagą ww.),
- wiekowej (uprawy, młodniki, drzewostany w trakcie trzebieży wczesnych, późnych oraz rębne),
- przestrzennej (drzewostany jednopiętrowe bez podszytu i nalotu, drzewostany jednopiętrowe z podszytem i nalotem, drzewostany dwupiętrowe, klasa odnowienia – KO i klasy do odnowienia – KDO).

2. Ocena możliwości zastosowania naziemnego skanera laserowego w szacunkach brakarskich

Celem proponowanego zadania była ocena dokładności i wydajności prowadzenia szacunków brakarskich przeprowadzanych z zastosowaniem naziemnego skanera laserowego

w odniesieniu do szacunków prowadzonych metodami tradycyjnymi. Przewidywano wykonanie szacunku brakarskiego metodą tradycyjną, wykonanie odpowiednich zobrazowań laserowych badanych powierzchni, zebranie danych dotyczących sortymentacji po wykonaniu pozyskania drewna, a następnie wielokierunkową analizę tak zebranych informacji.

Metodyka przewidywała eksperymentalne zbadanie powierzchni reprezentujących różne warianty struktury drzewostanów: rębnych drzewostanów sosnowych oraz drzewostanów z udziałem buka i dębu. Powierzchnie próbne planowano założyć w drzewostanach o różnym stopniu dostępności dla skanera. Metodyka badań przewidywała ocenę możliwości pomiaru pni z uwzględnieniem widocznych wad drewna, ocenę dokładności pomiarów po zebraniu danych dotyczących sortymentacji pozyskanego drewna, ze szczególnym uwzględnieniem potencjalnych możliwości identyfikacji w technice skaningu laserowego wad pni.

Obydwie propozycje wynikają m.in. z doświadczenia, jakie zostało zdobyte w ramach projektów badawczych wykorzystujących technologię naziemnego skaningu laserowego². Wykonane dotychczas pomiary z wykorzystaniem skanera FARO LS 880 oraz ich porównanie do wyników pomiarów tradycyjnie stosowanych w ramach np. urzędniowej inwentaryzacji lasu jednoznacznie wskazują na duży potencjał tej technologii (Chirrek i in. 2007a; Chirrek i in., 2007b; Strzeński, 2008).

Ocena możliwości wykorzystania technik georadarowych w leśnictwie

Rozwój teledetekcji georadarowej istotnie poszerzył możliwości inwentaryzacji lasu prowadzonych technikami teledetekcyjnymi z poziomu terenu. Obrazy georadarowe dostarczają informacji umożliwiających interpretację struktur zlokalizowanych w środowisku glebowym. Rozszerzają w ten sposób możliwości inwentaryzacyjne teledetekcji dodatkowo na środowisko glebowe, stanowiące integralną część przestrzeni przyrodniczej drzewostanu. Środowisko glebowe jest również miejscem, gdzie lokalizowane są ważne elementy infrastruktury technicznej. Z danych literaturowych wynika, że techniki georadarowe są testowane, obok technik bazujących na pomiarach oporności elektrycznej i technik akustycznych również do bezinwazyjnego analizowania wewnętrznych struktur pni drzew.

Metodyka proponowanego zadania badawczego ukierunkowana była na rozpoznanie potencjalnych możliwości inwentaryzacyjnych tej techniki teledetekcji. Obejmowała wybór, zakup i testowanie wyselekcjonowanego systemu georadarowego pod kątem jego przydatności dla:

- inżynierii drogowej i budownictwa (określenie parametrów podłoża i nawierzchni dróg, wykrywanie i lokalizacja podziemnych elementów infrastruktury technicznej oraz archeologii),

² Wydział Leśny Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu realizuje projekt *Bilans węgla w biomasie drzew głównych gatunków lasotwórczych Polski*, finansowany przez Dyрекcję Generalną LP (kier. dr inż. Paweł Strzeński). Uczestniczą w nim pracownicy Wydziału Leśnego SGGW, Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Nauk Stosowanych w Eberswalde. Katedra Urządzania Lasu UP w Poznaniu uczestniczy także w innym projekcie finansowanym przez DGLP – *Oszacowanie strumieni netto dwutlenku węgla wymienianymi pomiędzy ekosystemem leśnym a atmosferą* (koordynowany przez Katedrę Agromelioracji z UP w Poznaniu, kier. prof. dr hab. Janusz Olejnik).

- gleboznawstwa i geologii (rozkład warstw gleby w poziomie i pionie, określenie głębokości zalegania skały macierzystej, określenie stopnia wilgotności gleby, lokalizacja warstw wodonośnych, mineralizacja gruntów i wód),
- hodowli i uprawy roślin (ocena przydatności obszarów zdegradowanych do rekultywacji, potrzeby wilgotnościowe roślin w warunkach kontrolowanych upraw i szkółek, określenie struktury przestrzennej systemów korzeniowych roślin, określenie jakości drewna na podstawie niewidocznych uszkodzeń pni).

Kierunki wykorzystania urządzeń termowizyjnych, noktowizyjnych i sonarów do inwentaryzacji zwierząt

Zadanie badawcze, w zakresie stosowania zdjęć termowizyjnych i noktowizyjnych w inwentaryzacji zwierzyny, miało być wykonane na podstawie:

- analizy aktualnych metod inwentaryzacji zwierzyny, ze szczególnym uwzględnieniem klasy metod bezpowierzchniowych, tzw. metod próbkowania odległości (*distance sampling*) i dotychczasowego wykorzystania w tych metodach elementów geomatycznych,
- rozpoznania pełnej oferty sprzętowo-cenowej liczących się na rynku firm komercyjnych (FLIR, ATN, CEAD, CENZIN, Cenrex i inne) w zakresie urządzeń termowizyjnych i noktowizyjnych generacji 1–4,
- rezultatów badań empirycznych, w warunkach środowiska leśnego, nad rozpoznaniem zwierzyny technikami termowizyjnymi i noktowizyjnymi poziomu naziemnego,
- prognozy dokładności metody inwentaryzacji zwierzyny wykorzystującej określone parametry techniczne sprzętu termowizyjnego, noktowizyjnego i uzupełniającego sprzętu geomatycznego,
- analizy literatury i prognozy możliwości wykorzystania termowizji i noktowizji poziomu lotniczego do inwentaryzacji zwierzyny,
- ustalenia aspektów prawnych wykorzystania w leśnictwie tzw. technologii podwójnego zastosowania, dotyczących rozwiązań technicznych urządzeń termowizyjnych i noktowizyjnych, stosowanych dla celów militarnych i cywilnych.

Zbadanie możliwości wykorzystania detektorów ultrasonicznych w monitoringu nietoperzy w lasach było propozycją badawczą związaną z coraz powszechniejszym wykorzystywaniem w teledetekcji własności informacyjnych fal akustycznych.

Z danych literaturowych wynika, że detektory ultrasoniczne pozwalają określać gatunki nietoperzy żerujące w koronach drzew i ich zagęszczenie w sposób bezinwazyjny, czyli bez potrzeby ich chwytania i płoszenia. Stwarza to możliwość zastosowania teledetekcyjnych metod ultrasonicznych w specjalnych inwentaryzacjach przyrodniczych monitoringu oraz przy zarządzaniu obszarami Natura 2000.

Metodyka zadania przewidywała zbadanie możliwości:

1. Zastosowania w lasach systemu zdalnego rejestrowania aktywności nietoperzy, polegającego na zamontowaniu w pobliżu znanych miejsc licznego przebywania nietoperzy urządzeń rejestrujących ultradźwięki i porównanie uzyskanych wyników z jednocześnie prowadzonymi obserwacjami bezpośrednimi,

2. Oznaczania gatunków nietoperzy przy pomocy detektorów ultrasonicznych poprzez analizę różnic i podobieństw pomiędzy sonarami wybranych gatunków nietoperzy rejestrowanych w różnych warunkach środowiskowych, wykorzystanie funkcji odtwarzania zarejestrowanego dźwięku w 10-krotnie zwolnionym tempie i analizę zarejestrowanych sygnałów poprzez porównanie ze wzorcem dla gatunku.

Podsumowanie

Nadażanie za postępowaniem technicznym i wykorzystanie osiągnięć tego postępu jest powszechnie przyjętym sposobem doskonalenia zarządzania, szczególnie w sytuacji zarządzania tak skomplikowanym tworem przyrodniczym jakim są ekosystemy leśne.

Dysponowanie świadomością o potencjalnych możliwościach inwentaryzacyjnych nowych technologii jest szczególnie ważne w sytuacji, w której dokładnie i tanio przeprowadzona inwentaryzacja lasu jest podstawą do sprawnego zarządzania.

Niekwestionowana i aktualna jest koncepcja wykorzystania Systemów Wspomagania Decyzji (SWD) w zarządzaniu leśnictwem. SWD łączą w skomplikowanych sytuacjach decyzyjnych elastyczność intelektualną i wyobraźnię człowieka z szybkością, dokładnością i wydajnością komputerów. Trendy rozwojowe w teledetekcji i fotogrametrii oraz wprowadzone w państwach UE rozwiązania organizacyjno-prawne w udostępnianiu informacji teledetekcyjnych stwarzają jakościowo zupełnie nową sytuację dla zarządzania w leśnictwie z wykorzystaniem SWD.

Krajowe nauki leśne podtrzymują w stosunku do LP ofertę badań nad doskonaleniem metod inwentaryzacji i zarządzania w leśnictwie poprzez wykorzystanie światowych osiągnięć w zakresie teledetekcji i fotogrametrii leśnej.

Literatura

- Będkowski K., Adamczyk J., Brach M., Gzowski P., Karaszkiewicz W., Krawczyk A., Marmol U., Mikrut S., Miścicki S., Morańda M., Olenderek H., Stereńczak K., Stępniewski P., Walo J., Zawadka R., 2008: Raport końcowy projektu badawczego 2 P06L 02229 Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w analizie struktury przestrzennej i funkcjonowania lasów w krajobrazie. Katedra Urządzenia Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie.
- Chirrek M., Strzeliński P., Wencel A., Zawila-Niedźwiecki T., Zasada M., Jagodziński M., 2007a: Wybrane zdalne metody szacowania biomasy roślinnej w ekosystemach leśnych jako podstawa systemu raportowania bilansu węgla. *Roczniki Geomatyki*, t. V, z. 4, PTIP, Warszawa. s. 7-16,
- Chirrek M., Wencel A., Strzeliński P., Zasada M., Zawila-Niedźwiecki T., 2007b: Wykorzystanie technologii naziemnego skaningu laserowego w inwentaryzacji lasu. *Roczniki Geomatyki*, t. V, z. 5, PTIP, Warszawa. s. 19-24.
- Garestier F., Dubois-Fernandez P.C., Papathanassiou K.P., 2008: Pine Forest Height Inversion Using Single-Pass X-Band PolInSAR Data. *GeoRS* (46), 1, pp. 59-68.
- Izzawati, Wallington E.D., Woodhouse I.H., 2006: Forest Height Retrieval From Commercial X-Band SAR Products. *GeoRS* (44), 4, pp. 863-870.
- Rowland, C.S., Balzter, H., 2007: Data Fusion for Reconstruction of a DTM, Under a Woodland Canopy, From Airborne L-band InSAR. *GeoRS* (45), 5, pp. 1154-1163.
- Strzeliński P., 2008: Naziemny skaningu laserowy w pomiarach lasu. *Las Polski* 17, s. 30-31.
- Zawila-Niedźwiecki T., Stereńczak K., Bałazy R., Wencel A., Strzeliński P., Zasada M., 2008: The use of terrestrial and airborne lidar technology in forest inventory. *Ambiencja* vol. 4, pp. 57-68.

Źródła internetowe

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Niemcy. <http://www.dlr.de>
International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, USA. www.isprs.org
Centre National d'Etudes Spatiales, Francja. <http://smc.cnes.fr>
MDA's Geospatial Services, Kanada. www.radarsat2.info
Flemish Institute for Technological Research, Belgia. www.pegasus4europe.com

Abstract

The aim of this paper is to presents research proposals, prepared for State Forests. Proposals has been focused on selected solutions in remote sensing and photogrammetry as a tool for forest stand and forest animals inventory. Research proposals contains assessment for special forestry purposes:

- *high resolution satellite radar images,*
- *ground penetrating radar (georadar),*
- *3D digital stand canopy and terrain models,*
- *terrestrial laser scanning,*
- *thermovision, noctovision and sonar techniques.*

prof. dr hab. inż. Jerzy Mozgawa
Jerzy.Mozgawa@wl.sggw.pl
tel. +48 22 593 82 21

dr hab. inż. Krzysztof Będkowski
Krzysztof.Bedkowski@wl.sggw.pl
tel. +48 22 593 82 22

dr inż. Paweł Strzeliński
strzelin@up.poznan.pl
tel. +48 22 848 76 67