

Załącznik nr 2

# Autoreferat

dr inż. Michał Brach

Samodzielny Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, Wydział Leśny  
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Warszawa, kwiecień 2019

**1. Imię i nazwisko:** Michał Brach

**2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe**

2.1. Studia leśnictwo (1992-1998); dyplom magister inżynier leśnictwa, Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 1998.

Tytuł pracy: *"Ocena dokładności i aspekty ekonomiczne stosowania techniki Global Positioning System do inwentaryzacji obiektów o charakterze leśnym na przykładzie KPN"*

Promotor: dr inż. Grażyna Kamińska

Recenzent: prof. dr hab. Stanisław Miścicki

2.2. Doktorat: dyplom 2008; doktor nauk leśnych w zakresie leśnictwa, Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 2008.

Tytuł pracy: *"Kombinowana metoda inwentaryzacji terenów zadrzewionych"*

Promotor: prof. dr hab. Heronim Olenderek

Recenzenci: prof. dr hab. Jerzy Mozgawa

prof. dr hab. Ryszard Cymerman

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu:**

3.1. 1998 – 1999. Specjalista w Instytucie Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie

3.2. 1999 – 2008. Asystent w Katedrze Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

3.3. 2008 – 2017. Adiunkt w Katedrze Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

3.4. 2017 – do chwili obecnej. Kierownik Samodzielnego Zakładu Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

4. Wskazanie osiągnięcia\* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789):

a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

**Czynniki wpływające na dokładność pomiaru przestrzeni leśnej z wykorzystaniem nowoczesnych technologii geomatycznych**

b) Publikacje wchodzące w zakres osiągnięcia naukowego:

Oznaczenie	Publikacja	Punktacja
<b>A1</b>	<b>Brach M.</b> 2012. <i>Analiza dokładności wyznaczania współrzędnych wybranymi odbiornikami GNSS w środowisku leśnym</i> . Sylwan 156 (1): 47–56. <b>Udział polegał na</b> samodzielnym zrealizowaniu wszystkich zadań.	MNiSW – 15 IF – 0,263 udział 100%
<b>A2</b>	<b>Brach M., Zasada M.</b> 2014. <i>The Effect of Mounting Height on GNSS Receiver Positioning Accuracy in Forest Conditions</i> . Croatian Journal of Forest Engineering 35 (2): 245–253. <b>Udział polegał na</b> zaplanowaniu i przeprowadzeniu całego badania, opracowaniu wyników, przygotowaniu tekstu publikacji oraz udzielaniem odpowiedzi na recenzje.	MNiSW – 20 IF – 0,536, udział 90%
<b>A3</b>	<b>Brach M., Stańczak L., Szymański P.</b> 2017. <i>Dokładność szybkich metod inwentaryzacji leśnej mapy numerycznej</i> . Sylwan 161 (1): 18–26. <b>Udział polegał na</b> wykreowaniu pomysłu badania, uczestnictwie w zbieraniu i opracowaniu danych, przygotowaniu tekstu publikacji oraz korektach po uwagach recenzentów.	MNiSW – 15 IF – 0.623, udział 85%
<b>A4</b>	<b>Brach M., Stereńczak K., Bolibok L., Kwaśny Ł., Krok G., Laszkowski M.</b> 2019. <i>Impacts of Forest Environments on Variation in the Multipath Phenomenon of Satellite Navigation Signals</i> . Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 2019, Vol. 61 (1): 3-21. <b>Udział polegał na</b> zaproponowaniu metodyki badania, wykonaniu studium literatury przedmiotu, opracowaniu wyników, przygotowaniu zdecydowanej większości tekstu oraz korekt pod kątem oczekiwań recenzentów.	MNiSW – 13 IF – 0.0, udział 70%
	<b>Suma punktów:</b>	MNiSW – 64 IF – 1,431,

## Zakres publikacji

[A1] **Brach M.** 2012. *Analiza dokładności wyznaczania współrzędnych wybranymi odbiornikami GNSS w środowisku leśnym*. Sylwan 156 (1): 47–56.

Jest to autorska publikacja mająca na celu sprawdzenie faktycznych dokładności uzyskiwanych przez pięć nowoczesnych odbiorników nawigacyjnych. Porównano nie tylko rozwiązania technologiczne różnych producentów ale także kodowe i fazowe metody wyznaczania odległości przez odbiorniki. Badania oparto o 36 powierzchni reprezentujących 6 rodzajów typowych drzewostanów gospodarczych, o znanych opisach taksacyjnych oraz dokumentacji fotograficznej w postaci zdjęć hemisferycznych. Uzyskano średni błąd wyznaczania współrzędnych  $\pm 1,84$  metra w poziomie i  $\pm 3,46$  metra w pionie. Skategoryzowano drzewostany pod względem wpływu na dokładność pomiarową, jak również wykazano pozytywny wpływ stosowania różnicowej metody pomiaru. Zarejestrowano prawie trzykrotny wzrost współczynnika opisującego geometrię satelitów w porównaniu do terenów otwartych, korelujący z dostępem do odsłoniętego widnokregu. Odbiornik fazowy, cechujący się z założenia gorszymi parametrami, nie ustępował dokładnością drogi odbiornikom klasy geodezyjnej.

[A2] **Brach M., Zasada M.** 2014. *The Effect of Mounting Height on GNSS Receiver Positioning Accuracy in Forest Conditions*. Croatian Journal of Forest Engineering 35 (2): 245–253.

Wyniki poprzednich badań oraz przeglądu literatury z zakresu stosowania odbiorników GNSS w środowisku leśnym wykazały, że jednym z istotnych czynników zwiększających błędy pozycjonowania jest zjawisko odbicia sygnału satelitarnego oraz ograniczenie dostępu do otwartego nieboskłonu. Zaproponowano zatem zwiększenie wysokości mocowania anteny odbiornika na założonym wcześniej poligonie badawczym składającym się z 36 powierzchni. Zastosowano wysokości 5, 10 i 15 metrów, stosując aluminiowy maszt i odbiornik nawigacyjny klasy geodezyjnej. Pulę danych powiększono poprzez realizację pomiarów w sezonie ulistnionym i bezlistnym. Przeprowadzono ponadto testy wychylenia masztu i udokumentowano stan powierzchni za pomocą zdjęć hemisferycznych. Zwiększenie wysokości mocowania anteny pozwoliło na wzrost liczby rejestracji danych w najdokładniejszym trybie FIXED. Potwierdzono również wzrost dokładności pomiarowej do  $\pm 0,81$  metra dla wartości X, Y oraz  $\pm 1,11$  metra dla wysokości. Najlepsze rezultaty w poziomie ( $\pm 0,54$  metra) zarejestrowano na wysokości 10 metrów od ziemi. Mimo wynoszenia anteny, największe błędy osiągnęto w drzewostanach sosnowych. Wynik badań jasno sugerują, że mocowanie anteny GNSS na teleskopowych tyczkach i stosowanie korekcji różnicowej jest dobrą metodą do uzyskania wiarygodnych dokładnościowo współrzędnych X, Y.

[A3] **Brach M.**, Stańczak L., Szymański P. 2017. *Dokładność szybkich metod inwentaryzacji leśnej mapy numerycznej*. Sylwan 161 (1): 18–26.

Praktyczna aktualizacja leśnej mapy numerycznej (LMN) za pomocą odbiorników nawigacyjnych nie opiera się o wyniki badań naukowych. Przyczynia się to do braku świadomości uzyskiwanych błędów oraz niestosowania podstawowych zasad rejestracji sygnałów satelitarnych. W niniejszym badaniu przeprowadzono kompleksowy test większości praktycznie stosowanych odbiorników nawigacyjnych, wraz z urządzeniami peryferyjnymi takimi jak dalmierz laserowy oraz zewnętrzna antena GNSS. Materiał referencyjny składał się ze 137 punktów pomierzonych klasycznymi metodami geodezyjnymi, na 2,5 hektarowym obszarze, zajmowanym przez pięć gniazd odnowieniowych. Oprócz 6 różnych typów konfiguracji urządzeń pomiarowych, badaniem objęto wyniki uzyskane z nalotu fotogrametrycznego zrealizowanego za pomocą bezzałogowej platformy powietrznej. Analiza dokładności stosowanych rozwiązań dała średni błąd pozycjonowania horyzontalnego 2,22 metra. Ten dobry wynik jest zasługą istotnego zwiększenia dostępu do odsłoniętego niebosktonu na gniazdach. Prawie dwukrotnie lepsze wyniki uzyskano stosując metodę korekcji różnicowej. Pozyskanie materiałów fotogrametrycznych było znacznie mniej pracochłonne. Średni błąd pozycjonowania był równy  $\pm 1,69$  a błąd względny określania powierzchni 1,3 %.

[A4] **Brach M.**, Stereńczak K., Bolibok L., Kwaśny Ł., Krok G., Laszkowski M. 2019. *Impacts of Forest Environments on Variation in the Multipath Phenomenon of Satellite Navigation Signals*. Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 2019, Vol. 61 (1).

Jedną z głównych przyczyn błędów wyznaczania współrzędnych za pomocą odbiorników nawigacyjnych w środowisku leśnym jest zjawisko wielotorowości. Polega ono na odbijaniu się sygnału satelitarnego od przeszkód i w końcowym efekcie jego multiplikacji. Obliczenie końcowych współrzędnych jest zatem realizowane tylko częściowo z sygnałów niezakłóconych. Przeprowadzony przegląd literatury wykazał, że badań z zakresu wpływu drzewostanów na kształtowanie się zjawiska wielotorowości jest niewiele. Prace wykonano bazując na ponad 2700 powierzchniach, zlokalizowanych w drzewostanach należących do 6 nadleśnictw usytuowanych w różnych częściach Polski. Stworzono unikatowy zestaw skryptów pozwalających na wyodrębnienie wartości wielotorowości z surowych danych obserwacyjnych pozyskanych przez odbiorniki nawigacyjne klasy geodezyjnej. Na każdej powierzchni zebrano ponad 20 minutowy zestaw danych oraz opisano drzewostan za pomocą 25 cech. Zastosowanie statystycznego algorytmu Boruta pozwoliło na wskazanie średniej wysokości pierwszego piętra oraz miąższości drzewostanów, jako cech mogących wpływać na wzrost zjawiska wielotorowości. Zaobserwowano także istotny wpływ modelu odbiornika oraz wysokości mocowania anteny na uzyskane wyniki.

- c) Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

## **Wprowadzenie**

Zmiany technologiczne, jakie zaszły w zakresie metod dokumentacji przestrzeni geograficznej musiały odcisnąć swoje piętno na funkcjonowaniu zarządzania gospodarstwem leśnym. Przyczyniła się do tego przede wszystkim działalność jednostek naukowych zainicjowanych przez Instytut Badawczy Leśnictwa, Instytut Geodezji i Kartografii, zespół profesora Wojciecha Wilkowskiego z Politechniki Warszawskiej, czy wreszcie Katedrę Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Wydziału Leśnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (Okła 2010), gdzie w 1995 roku dzięki funkcjonowaniu zgranego zespołu powstała pierwsza mapa numeryczna dla Nadleśnictwa Brzeziny. Otworzyło to drogę do całkowitej modyfikacji spojrzenia na dokumentację stanu posiadania prawie 30 % powierzchni Polski. Równoległe bardzo dynamicznie rozwijał się system nawigacji satelitarnej, który w 1996 roku został udostępniony do celów cywilnych przez agencję amerykańską NASTAR GPS (Hoffmann i in. 2016). Testy tej technologii udokumentowane licznymi pracami badawczymi (Deckert i Bolstad 1996; Naesset 1999; Sigrist i in. 1999) w sposób wyraźny wskazywały, że może ona być z powodzeniem stosowana do wyznaczania współrzędnych w środowisku leśnym. Autorzy stosowali jednak urządzenia trudno dostępne na krajowym rynku, bardzo kosztowne a wiarygodne efekty można było uzyskać stosując jedynie różnicową metodę pomiaru. Zmiany w tym zakresie przyniósł rok 2000, kiedy decyzją prezydenta USA zniesiono celowe zakłócenia sygnału satelitarnego co otworzyło możliwości stosowania odbiorników w trybie autonomicznym (Lamparski i Świątek 2007). Odbiorniki do nawigacji satelitarnej zaczęły się upowszechniać, co znakomicie wypełniło zapotrzebowanie na skuteczne narzędzie, mogące służyć do aktualizacji leśnej mapy numerycznej. Fakt ten został potwierdzony poprzez zarządzenie numer 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 23 sierpnia 2001 roku, wskazującego możliwość praktycznego stosowania odbiorników nawigacyjnych (Antosiewicz i Wężyk 2005). Tymczasem rzeczywistość okazała się bardziej skomplikowana, ponieważ materiały źródłowe służące do tworzenia leśnych map numerycznych obarczone były dużymi błędami (Kamińska i Karaszewicz 1994), co szybko dostrzeżono zestawiając dane wektorowe z aktualnymi materiałami fotogrametrycznymi. Wieloletnie przerysowywanie map w dziesięcioletnich cyklach urządzania lasu, stopniowa deprecjacja osnów geodezyjnych na terenach leśnych czy wreszcie brak utrzymywania rygoru dokładnościowego dotychczas w stosowanych pomiarach przestrzeni leśnej, doprowadzało do konieczności poszukiwania nowych wiarygodnych źródeł informacji przestrzennej. Zadanie to częściowo wypełniały metody fotogrametryczne, pozwalające na korektę podziału powierzchniowego

oraz wyznaczanie niektórych cech taksacyjnych drzewostanów (Będkowski 2008). Dostęp do aktualnych danych w tym przypadku również był dość ograniczony, bowiem naloty wykonywano przy okazji kolejnych rewizji urządzania lasu, zaś rozdzielczość ogólnodostępnych zobrazowań satelitarnych nie była wystarczająca. Konieczność stopniowego korygowania błędów na leśnej mapie numerycznej oraz zapotrzebowanie na aktualną informację na temat zmian w geometrii obiektów podstawowych, przyczyniło się do upowszechnienia stosowania odbiorników nawigacyjnych. Leśnicy dość szybko zaakceptowali tę technologię, ponieważ posiadała dwie niekwestionowane zalety: prostotę obsługi oraz cyfrowy format danych. Mimo to, dość szybko dostrzeżono, że pomiar w trybie autonomicznym w środowisku leśnym jest obciążony istotnymi błędami. Odpowiedzi na pytania dotyczące dokładności stosowanych odbiorników nawigacyjnych poszukiwano na poligonie doświadczalnym Lasów Państwowych w Margoninie, gdzie założono 15 punktów referencyjnych w różnych warunkach drzewostanowych. Wyniki nie pozostawiały złudzeń, że dobór modelu odbiornika, jak również technika pomiaru mają kluczowe znaczenie dla dokładności pomiarowej. Stale zmieniające się rozwiązania technologiczne, zwiększająca się oferta urządzeń pomiarowych oraz wprowadzenie na rynek w 2006 roku urządzeń obsługujących równoległe systemy GPS i GLONASS (Wanninger 2012) stanęły u podstaw badań nad dokładnością nawigacji satelitarnej w środowisku leśnym [A1, A2, A3, A4]. Doświadczenia przeprowadzono w różnych obiektach leśnych w oparciu o sieć punktów referencyjnych mierzonych niezależnie za pomocą klasycznych metod geodezyjnych [A1, A2, A3]. Zestawiano odbiorniki nawigacyjne klasy geodezyjnej z odbiornikami klasy GIS [A1], reprezentujące dwie różne metody (fazowa i kodowa) wyznaczania odległości między satelitą a odbiornikiem. Oszacowano możliwości zwiększenia dokładności pomiaru oraz liczby rejestracji typu FIXED w zależności od wysokości mocowania anteny [A2]. Badania były w całości finansowane z grantu uzyskanego w Komitecie Badań Naukowych nr. N N309 114137. Opierały się na zastosowaniu masztu o wysokości 15 metrów. Przeanalizowano dokładność stosowanych obecnie w Lasach Państwowych technologii pomiaru przestrzeni leśnej, ze szczególnym uwzględnieniem bezzałogowych platform powietrznych, bazujących w praktyce na nawigacji satelitarnej [A3]. W ramach projektu badawczego Biostrateg nr BIOSTRATEG1/267755/4/NCBR/2015 przeprowadzono obszerne badania w zakresie kształtowania się zjawiska wielotorowości sygnału satelitarnego na ponad 2700 powierzchniach badawczych [A4]. Podjęto próbę oceny wpływu wybranych elementów środowiska leśnego na kształtowanie się wartości wielotorowości. Zrejestrowane cechy drzewostanów są dość proste do określenia bezpośrednio w terenie i na podstawie danych zawartych w opisach taksacyjnych. Na tej podstawie możliwe jest oszacowanie warunków obserwacji sygnałów satelitarnych w konkretnym obiekcie leśnym. Elementami różnicującymi warunki doświadczeń był sezon wegetacyjny [A1, A2, A4] oraz stosowanie różnicowej metody pomiaru [A1, A2, A3]. Na przestrzeni kilku lat zebrano obszerny materiał badawczy pozwalający na wyciągnięcie wielu cennych wniosków dla praktyki leśnej. Część zaproponowanych

rozwiązań jest stosowana w praktyce przez leśników, szczególnie dzięki publikacjom popularno-naukowym. Niektóre z wniosków są obecnie wdrażane jako stały element nowej instrukcji zarządzania lasu. Wszystkie prace były prezentowane na konferencjach naukowych i spotkały się z dużym zainteresowaniem środowiska geomatycznego Lasów Państwowych.

### **Cele naukowe podjętych badań:**

1. Analiza dokładności odbiorników nawigacyjnych klasy GIS oraz klasy geodezyjnej pod kątem możliwości ich praktycznego stosowania do aktualizacji leśnej mapy numerycznej.
2. Porównanie zdolności rejestracji sygnałów satelitarnych metodą fazową z metodą kodową w warunkach leśnych.
3. Klasyfikacja typów drzewostanów pod kątem możliwości rejestracji sygnałów satelitarnych w zależności cech taksacyjnych i sezonu wegetacyjnego.
4. Analiza dokładności pomiaru współrzędnych w środowisku leśnym z wykorzystaniem odbiornika GNSS przy zmiennej wysokości anteny.
5. Ocena szybkich metod aktualizacji podziału powierzchniowego na podstawie błędu średniego wyznaczania współrzędnych oraz przeciętnego błędu określania powierzchni.
6. Przydatność kartometryczna opracowań fotogrametrycznych pozyskanych z bezzałogowego statku powietrznego.
7. Badanie zmienności zjawiska wielotorowości sygnału satelitarnego w zależności od cech taksacyjnych drzewostanów oraz sezonu wegetacyjnego.
8. Opracowanie kompleksowej metodyki wyznaczania współrzędnych za pomocą odbiornika GNSS na potrzeby określania środków powierzchni próbnych.

### **Materiały i metody**

Jednym z bardziej pracochłonnych elementów prac badawczych, w przypadku badań nad dokładnością odbiorników nawigacyjnych, jest przygotowanie zestawu danych referencyjnych. Zadanie to wymaga optymalnego zaplanowania przebiegu ciągów poligonowych przez możliwie najbardziej reprezentatywne partie drzewostanów. Ze względu na znaczne zniszczenia osnów geodezyjnych na terenach leśnych oraz brak aktualnej dokumentacji, konieczne jest zakładanie własnych punktów nawigacyjnych zlokalizowanych w terenie otwartym. Metoda ta została szczegółowo opisana we wcześniejszych pracach badawczych (Brach 2009) i praktycznie wdrożona w przypadku większości badań stanowiących przedmiot niniejszej rozprawy habilitacyjnej [A1, A2, A3].



badania nad kształtowaniem się efektu wielotorowości sygnału satelitarnego [A4] nie posiadały uprzednio pomierzonych współrzędnych referencyjnych ze względu na znaczną liczbę powierzchni (ponad 2700) oraz rozlokowanie obiektów badawczych na terenie całego kraju. W tym jednak przypadku, elementem nadrzędnym było pozyskanie surowych danych obserwacyjnych i dokładnych cech taksacyjnych drzewostanów, nie zaś analizowanie dokładności wyznaczania pozycji.

Prace nad kompleksową oceną najnowocześniejszych odbiorników nawigacyjnych zrealizowano na ponad 900 hektarowym leśnictwie Głuchów, należącym do Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW [A1, A2]. Dwie osnowy pomiarowe, usytuowane w układzie wschód-zachód oraz północ-południe o łącznej długości ponad 8 kilometrów, zostały pomierzone na podstawie, zlokalizowanych poza otoczeniem drzewostanów, czterech boków nawiazania o współrzędnych wyznaczonych z błędem poniżej 0.02 metra. Kampania pomiarowa, opierająca się na klasycznych pomiarach ciągów poligonowych oraz niwelacyjnych, pozwoliła na założenie i trwale zastabilizowanie blisko 36 punktów referencyjnych, w sześciu różnych typach drzewostanów. Lokalizacja powierzchni badawczych została przygotowana w taki sposób, aby ich pomiar następował bezpośrednio z punktu ciągów poligonowych. Pozwoliło to na uniknięcie dodatkowych błędów pomiarowych i uzyskanie średniego położenia punktu, po wyrównaniu, równego  $\pm 0,06$  metra w układzie horyzontalnym i nie więcej niż  $\pm 0,08$  metrów dla wysokości. Wszystkie współrzędne obliczone były w państwowym układzie współrzędnych geodezyjnych 2000, strefa 7.

Dobór powierzchni badawczych podyktowany był przede wszystkim zachowaniem możliwie takiej samej struktury drzewostanów. Na przestrzeni czasowej obu badań, związanych z oceną dokładności wybranych odbiorników nawigacyjnych [A1] oraz wpływu wysokości mocowania anteny [A2], nie nastąpiły żadne cięcia pielęgnacyjne, zarówno w warstwie pierwszego jak i drugie piętra oraz w podszycie. Czynnikiem dodatkowym było wyselekcjonowanie możliwie najbardziej typowych drzewostanów, uwzględniając gatunek panujący, wysokość, zwarcie oraz wiek. W każdej grupie zakładano minimum dwie powierzchnie celem wyeliminowania przypadkowości uzyskanych wyników. Biorąc pod uwagę cechy taksacyjne badanych powierzchni, można przyjąć, iż stanowią one jedne z trudniejszych obiektów do pracy odbiorników nawigacyjnych, a te są powszechnie stosowane w urządzaniu lasu.

Testowane odbiorniki, rejestrujące sygnały globalnych systemów nawigacyjnych (GNSS) takich jak amerykański NAVSTAR GPS oraz rosyjski GLONASS, należą do jednych z najlepszych na rynku. Wykorzystano urządzenia klasy geodezyjnej takie jak: Topcon GRS-1, GRS-3 i HiperPro, oraz Trimble 5800. Fazowa metoda pomiaru zrealizowana została za pomocą odbiornika klasy GIS Trimble Pathfinder ProXH [A1]. Stan technologiczny, w zakresie dostępności do sygnałów nawigacyjnych, mimo

upływu blisko 6 lat od prowadzonych badań jest nadal podobny. Chociaż zapowiedzi o potencjalnym uruchomieniu nowych systemów nawigacyjnych (Galileo, BeiDou-2) pojawią się regularnie, nadal pełnią one jedynie rolę wspomagającą, bowiem nie osiągnęły jeszcze zdolności operacyjnej. W tej sytuacji producenci urządzeń nie przestawiają masowo produkcji na nowe systemy nawigacyjne. Przyjęto założenie [A1, A2, A3], że w każdym przypadku odbiorniki będą pracować w czasie rzeczywistym, w technice korekcji różnicowej. Rejestracja danych bez korekcji, w trybie autonomicznym, jest bowiem zaprzeczeniem sensu stosowania tak wyrafinowanych odbiorników. Ich stosowanie bez korekcji pozwala bowiem na uzyskanie dokładności pozycjonowania na poziomie odbiorników klasy turystycznej (Bettinger i Fei 2010). W tym celu wykorzystano dostęp do sieci stacji referencyjnych ASG-EUPOS. Dane rejestrowano w czasie rekomendowanych w badaniach 60 sekund (Wężyk 2004) na wysokości 2 metrów od ziemi. Uwzględniając okres ulistniony i bezlistny zarejestrowano ponad 21000 epok obserwacyjnych. W przypadku zmiennych wysokości anteny zastosowano teleskopowy masz stalowy i odbiornik Topcon HiperPro. Badane wysokości to 5, 10 i 15 metrów [A2]. Potencjalne wychylenia masztu sprawdzono doświadczalnie w terenie otwartym i nie odnotowano ich istotnego wpływu na wyniki pozycjonowania. Jednym z kluczowych czynników wpływających na propagację sygnału jest sezon wegetacyjny (Valbuena i in. 2012) co było szczególnie istotne w przypadku leśnictwa Głuchów, w którym gatunki liściaste zajmują prawie połowę z ogólnej liczby powierzchni badawczych. Łącznie pozyskano 10080 epok obserwacyjnych.

Szybkie metody pomiaru dla potrzeb aktualizacji leśnej mapy numerycznej przetestowano na typowo gospodarczym obiekcie zlokalizowanym w leśnictwie Pokrzywnica [A3]. Plan urządzania lasu zakładał tam realizację rębni III b, polegającej na wycięciu około 2,5 hektara powierzchni rozłożonej na pięć nieregularnych gniazd. Drzewostan olszowy, w wieku 77 lat, oraz trudne warunki terenowe ze względu na dużą wilgotność terenu i częściowe zabagnienia był znakomitym miejscem do znalezienia najbardziej wydajnego i uzasadnionego dokładnościowo rozwiązania pomiarowego. Założenie 137 punktów, z wykorzystaniem klasycznych metod geodezyjnych, pozwoliło na uzyskanie wiarygodnych danych referencyjnych (odchyłka liniowa  $\pm 0,11$  metra). Oprócz powszechnie stosowanych przez pracowników Lasów Państwowych rozwiązań pomiarowych wykonano nalot fotogrametryczny za pomocą taniej platformy bezzałogowej celem sprawdzenia możliwości pozycjonowania punktów naziemnych i określania powierzchni obiektów.

Analiza efektu wielotorowości sygnału satelitarnego została zrealizowana na 2704 powierzchniach badawczych znajdujących się w Nadleśnictwach Milicz, Pieńsk, Supraśl, Dojlidy, Herby oraz Gorlice [A4]. Zaproponowana metodyka rejestracji sygnałów satelitarnych uwzględniała 25 minutowy czas rejestracji danych zgodny z założeniami przyjmowanymi dla statycznych pomiarów geodezyjnych (Hofmann-Wellenhof i in. 2008). Antena mocowana była na wysokości około 5 metrów,

co było uzasadnione pozytywnymi wynikami uzyskanymi w uprzednio projekcie badawczym [A2]. Ze względu na fakt, iż dane zbierane były w ramach wielkoobszarowej inwentaryzacji lasu, przez trzy niezależne zespoły pomiarowe, termin rejestracji danych był zróżnicowany co zostało uwzględnione w analizach. Zestaw surowych danych obserwacyjnych w formacie RINEX (Receiver Independent Exchange System) był punktem wyjścia do przygotowania zestawu skryptów pozwalających na dalsze opracowania statystyczne wartości opisujących wielotorowość sygnału satelitarne. To unikatowe rozwiązanie programistyczne zostało skutecznie wykorzystane dla potrzeb szybkiego opracowania ponad 30 tysięcy plików tekstowych o łącznej objętości przekraczającej 5GB.

Dodatkowymi elementami dokumentującymi stan obiektu w trakcie pomiaru były zdjęcia hemisferyczne [A1, A2], standardowa dokumentacja fotograficzna stanu lasu [A4] lub też dane fotogrametryczne z bezzałogowej platformy powietrznej. Pozwoliło to na weryfikację sytuacji terenowej w kontekście uzyskanych danych, jak również obliczenie procentu widoczności nieboskłonu z wykorzystaniem oprogramowania Gap Light Analyzer [A1, A2].

### **Tryby pracy odbiorników nawigacyjnych**

Zrozumienie istoty działania odbiorników nawigacyjnych ściśle wiąże się trybami ich pracy, które w praktyce determinują uzyskiwaną dokładność pomiarową. Są one ponadto związane z techniczną specyfikacją samego urządzenia, wyrażoną przez zdolność do typu interpretacji sygnałów przesyłanych przez satelity. W przypadku odbiorników turystycznych oraz klasy GIS mamy do czynienia z rejestracją kodu C/A, który jest modulowany na fali nośnej L1 a długość całego cyklu wynosi 293 metry, stąd potencjalne błędy kształtują się w granicach od 0,3 do 30 metrów. Odbiorniki fazowe zaś wykorzystują czyste fale nośne L1 i L2 o długości około 20 centymetrów, co redukuje potencjalne błędy pozycjonowania do kilku centymetrów. Ta technika jest stosowana w odbiornikach geodezyjnych (Braasch i van Dierendonck 1999). Tryby pracy odbiorników mogą być następujące:

1. **Tryb AUTO** – tryb autonomiczny. Jest to tryb pomiarowy polegający na wyznaczeniu pozycji punktu tylko na podstawie obserwacji kodowych. Ze względu na błędy systemowe (błędna pozycja satelity na orbicie, błędy zegarów satelity i odbiornika), atmosferyczne (błędy powodowane przez przejście sygnału przez jonosferę i troposferę) i środowiskowe (efekt wielodrożności sygnału, zmiany położenia centrum fazowego) wyznaczenie bezwzględnej pozycji odbiornika w układzie geocentrycznym jest utrudnione.
2. **Tryb FLOAT** – jest to tryb pomiarowy, w którym rejestrowana jest liczba pełnych odłożeń fali nośnej definiowanej pojęciem nieoznaczoności. W przypadku tryby FLOAT jest ona określona jako liczba rzeczywista, nie zaś jako liczba całkowita. W procedurze wyznaczenia

nieoznaczoności z powodu zakłóconych obserwacji (np. ze względu na zakłócenia środowiskowe jak zasłonięcie horyzontu obserwacyjnego) lub zbyt długiego wektora pomiędzy odbiornikiem ruchomym a stacją referencyjną, względem której wyznaczana jest pozycja, możliwe jest znalezienie najbardziej prawdopodobnej wartości odłóżek cykli fali nośnej jako liczby niecałkowitej, a jedynie rzeczywistej. Jest to jedynie przybliżona wartość, nie odpowiadająca rzeczywistej, co skutkuje w dokładności wyznaczenia pozycji punktu pomiarowego na poziomie ok. 0,5 metra (Teunissen i Kleusberg 2012).

3. **Tryb FIX lub FIXED** – tryb pomiarowy, w którym w procesie poszukiwania nieoznaczoności fazy fali nośnej została ona znaleziona jako wartość całkowita. Rozwiązanie takie jest najbardziej wiarygodne i najbardziej dokładne. W zależności od rodzaju poprawek otrzymywanych przez odbiornik możliwe jest osiągnięcie dokładności pozycji poziomej rzędu 0,03 m, deklarowaną przykładowo przez system stacji referencyjnych ASG-EUPOS (Bosy i in. 2007).

## Metody obliczeniowe

Zgromadzenie obszernego zbioru danych referencyjnych pozwoliło na obliczenie faktycznych błędów pozycjonowania uzyskiwanych przez różne odbiorniki nawigacyjne rejestrujące sygnały satelitarne w zmiennych konfiguracjach [A1, A2, A3]. Podstawowymi jednostkami oceny dokładności odbiorników były:

1. **Dokładność** rozumiana jako odległość pomiędzy wartością średnią uzyskaną z epok obserwacyjnych w stosunku do współrzędnych prawdziwych (Yoshimura i Hasegawa 2003)

$$\sigma_{H\_accuracy} = \sqrt{\left(\bar{x} - x_{true}\right)^2 + \left(\bar{y} - y_{true}\right)^2}$$

gdzie

$x_{true}, y_{true}$  – współrzędne referencyjne,

$\bar{x}, \bar{y}$  – współrzędne z pomiaru terenowego.

2. **Precyzja** tłumacząca rozrzut epok obserwacyjnych wokół średniej (Sigrist i in. 1999)

$$\sigma_{H\_precision} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

Przy czym wartości  $\sigma_x$  oraz  $\sigma_y$  obliczono według wzorów:

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1} \quad \sigma_y^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1}$$

gdzie:

$x_k, y_k$  – współrzędna pomierzona dla punktu badawczego

$\bar{x}, \bar{y}$  – średnia współrzędna dla wszystkich pomiarów zebranych na punkcie badawczym,

$n$  – liczba obserwacji.

Analogicznie postępowano w przypadku obliczeń współrzędnych wysokościowych. Zastosowana metodyka jest zbieżna ze stosowaną na świecie w zakresie tego rodzaju badań [A1, A2]. Jednym z kluczowych czynników doboru sprzętu pomiarowego, na potrzeby aktualizacji mapy numerycznej, jest ich zdolność do prawidłowego wyznaczania powierzchni obiektów. W przypadku badań nad poszukiwaniem optymalnych metod pomiaru przestrzeni leśnej zastosowano zatem wzory pozwalające na sprawdzenie dostępnych rozwiązań pomiarowych pod tym kątem. Wykorzystano błąd procentowy (1) i przeciętny (2) opisany wzorami:

$$U = \pm \frac{\Delta P}{P_{GEO}} * 100\% \quad (1)$$

$$\Delta P_p = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta P_{gn}|}{n} \quad (2)$$

gdzie:

$P_{GEO}$  – referencyjna suma pola powierzchni,

$\Delta P$  – różnica pola powierzchni pomierzonej badanym urządzeniem a powierzchnią referencyjną,

$\Delta P_{gn}$  – błąd pomiaru pojedynczego obiektu,

$n$  – liczba obiektów.

Analizy statystyczne oparto na dwuczynnikowej analizie wariancji, z potęgową transformacją zmiennych zależnych, przeprowadzoną w celu spełnienia formalnych założeń ANOVA [A2].

Odbicie sygnału satelitarnego pozyskano za pomocą programu TEQC (Estey i Meertens 1999), pozwalającego na zaawansowane przetworzenie plików RINEX. Statystykę wielotorowości przeprowadzono w dwóch grupach:

1. wszystkich sygnałów satelitarnych zarejestrowanych na powierzchni badawczej z podziałem na system GPS i GLONASS (22 statystyki opisujące),
2. sygnałów satelitarnych pochodzących z jednego satelity charakteryzującego się najdłuższym czasem nieprzerwanej rejestracji (10 statystyk opisujących),

Dla każdego z punktów badawczych dokonano inwentaryzacji drzewostanu w promieniu 12,62 metra, co obejmowało w każdym przypadku obszar równy 500 metrom kwadratowym. Inwentaryzacja obejmowała między innymi określenie gatunku, wieku, wysokości, pierśnicy, położenia pnia względem środka powierzchni oraz środka koron drzew o pochyleniu większym niż 10 stopni. Łącznie analizowano 25 statystyk opisujących drzewostan i 17 statystyk nawigacyjnych opisujących parametry rejestracji danych satelitarnych. W celu porównania wpływu różnych parametrów środowiska leśnego na kształtowanie się wartości liczbowej, opisującej zjawisko wielotorowości sygnału GNSS, wykorzystano algorytm Boruta (Kursa i Rudnicki 2010, 2015). Algorytm ten, bazując na modelu lasów losowych (Breiman i in. 1999) tworzy ranking analizowanych zmiennych niezależnych, uszeregowany pod względem ich zdolności do objaśniania wskazanej zmiennej zależnej. Elementem dodatkowym była ocena procentu zmienności wartości liczbowej opisującej zjawisko wielotorowości, jaki jest możliwy do wytłumaczenia za pomocą informacji zgromadzonej w badanych zmiennych niezależnych. Pozwoliło to na wybór tych statystyk, które najlepiej opisują zjawisko wielotorowości w opisywanych powyżej dwóch grupach.

## **Wyniki**

Stwierdzono, że drzewostany sosnowe w klasie wieku od VI wzwyż, w sposób zdecydowanie największy, wpływają na pogorszenie warunków rejestracji sygnałów satelitarnych [A1]. Zanotowano tam największy przyrost współczynnika opisującego geometrię satelitów (PDOP Position of Dilution of Precision) wynoszący 6,63, jak również zdecydowanie najniższy procent widoczności nieba (13 %). Powierzchnie w drzewostanach sosnowych cechują się również największym, bo blisko trzykrotnym przyrostem zwiększania PDOP w stosunku do terenu otwartego i wartościami maksymalnymi, które w sposób zdecydowanie niekorzystny wpływają na możliwości wyznaczania współrzędnych. Dokładność uzyskana przez odbiorniki klasy geodezyjnej kształtowała się w granicach  $\pm 1,76$  metra wysokość określana była z dwukrotnie większym błędem wynoszącym  $\pm 3,23$  metra. Ciekawe wyniki uzyskano z odbiornika kodowego, którego błąd horyzontalny wynosił w metrach  $\pm 1,32$  a dla wysokości  $\pm 3,92$ . Warto jednak zaznaczyć, że wyniki te możliwe były do osiągnięcia dopiero po przeprowadzeniu korekcji różnicowej, której stosowanie w warunkach leśnych jest jednym z kluczowych postulatów wszystkich prowadzonych badań. Ponownie potwierdził się negatywny wpływ drzewostanów sosnowych, przyczyniający się do powstawania błędów wyznaczania pozycji na poziomie  $\pm 1,93$  metra w poziomie i  $\pm 3,38$  metra w pionie. Ogólnie jednak, na wszystkich powierzchniach badawczych uzyskano średnie błędy dokładności horyzontalnej wynoszące  $\pm 1,84$  metra. W badaniu potwierdzono pozytywne strony stosowania korekcji różnicowej, bowiem końcowe wyniki są wyraźnie lepsze od dokładności uzyskiwanych przez odbiorniki rejestrujące sygnały w trybie autonomicznym (Bettinger i Fei 2010).

Umieszczenie anteny odbiornika na wysokościach wyższych od standardowych 2 metrów przyczyniło się do poprawy warunków rejestracji sygnałów satelitarnych [A2]. Zaobserwowano wyraźny spadek współczynnika PDOP w zależności od zwiększania wysokości położenia anteny wynoszący 4,65 dla 5 metrów, 3,63 dla 10 metrów i 2,95 dla 15 metrów w sezonie ulistnionym. Przy braku obecności liści, wartość PDOP kształtowała się na średnim poziomie 3,31 dla wszystkich wysokości mocowania anteny. Wyższe mocowanie anteny nieznacznie przekłada się na wzrost udziału pomiarów w trybie FIXED. Dominuje tryb FLOAT, w relacji około 80 % udziału wszystkich wyników dla każdej wysokości mocowania anteny, w pełni sezonu wegetacyjnego, w którym w praktyce wykonywana jest większość pomiarów. Precyzja pomiarowa odbiornika klasy geodezyjnej w trybie FLOAT kształtuje się od 0,7 do 0,38 metra wraz ze wzrostem wysokości mocowania anteny. Ważnym rezultatem jest znacząca poprawa błędów pozycjonowania w stosunku do poprzedniego badania [A1]. Dokładność współrzędnych X i Y, w pełni ulistnienia, spadła do wartości 1,09 metra dla wysokości 5 metrów i 0,78 metra dla wysokości 15 metrów. Analogiczną poprawę zaobserwowano dla rzędnych wysokościowych, notując błędy na poziomie 1,78 metra, dla anteny zamocowanej na wysokości 5 metrów i 0,78 metra dla anteny na wysokości 15 metrów. Odnaleziono również częściowe wytłumaczenie dla złych wyników pozycjonowania uzyskiwanych w drzewostanach sosnowych poprzez analizę zdjęć hemisferycznych. Wartość dostępności do otwartego nieba jest na stałym, niskim poziomie, około 55 %, niezależnie od zmiany wysokości mocowania anteny. W tym przypadku bardziej reprezentatywne są wyniki z sezonu bezlistnego, ponieważ dokumentują faktyczny wpływ sosny pospolitej bez interakcji drugiego piętra drzewostanu.

Weryfikacja faktycznie stosowanych metod pomiarowych przez pracowników Lasów Państwowych [A3] wyraźnie pokazuje, że dokładność horyzontalna kształtuje się wokół wartości  $\pm 2,5$  metra, przy czym warto zaznaczyć, że badanie realizowano na gniazdach, które w znacznej mierze pozwalały na dostęp do odsłoniętego widnokągu. Odbiorniki podobnej klasy, wewnątrz zwanego drzewostanu, wykazują błędy pozycjonowania na poziomie kilkunastu metrów, co było przedmiotem obszernych badań (Tomaščík i in. 2016). W praktyce aktualizacji leśnej mapy numerycznej, zmiany geometrii obiektów podstawowych dotyczą głównie obszarów powstałych w wyniku prowadzenia cięć. Tym samym rekompensuje to potencjalne możliwości pogorszenia dokładności pomiarowej spowodowanej ograniczoną dostępnością otwartego nieboskłonu. Bardzo dobre wyniki osiągnięto stosując korekcję różnicową, która nie tylko dała niski błąd pozycjonowania (0,6 metra) ale także najniższy błąd procentowy określania powierzchni wynoszący 1,2 %. W badaniach przetestowano również możliwości zastosowania bezzałogowej platformy powietrznej do aktualizacji powierzchni nie stanowiących wydzieleni. Metoda ta w praktyce opiera się, w głównej mierze, na odbiorniku nawigacyjnym który zapisuje współrzędne środka zdjęcia, co w końcowej postaci pozwala na złożenie

wszystkich obrazów w jedną spójną ortomozaikę. Zastosowany odbiornik nawigacyjny nie jest wysokiej klasy i pracuje w trybie autonomicznym, jednak brak przeszkód, mogących zakłócić dostęp do sygnału satelitarnego wpływa korzystnie na uzyskane wyniki. Punkty referencyjne zlokalizowano na zdjęciu ze średnim błędem 1,69 metra a powierzchnię obiektów obliczono z błędem procentowym wynoszącym 1,3.

W ramach badań nad wielotorowością sygnału satelitarnego [A4] powstał zbiór skryptów w języku programistycznym R pozwalającym na szybkie pozyskanie wartości wielotorowości z surowych danych obserwacyjnych. Jest to unikatowe rozwiązanie na skalę światową i może być łatwo implementowane w innych badaniach ze względu na otwartą formę zastosowanego oprogramowania. Stwierdzono, że zmienność zjawiska wielotorowości jest bardzo duża. Z wstępnie przyjętych do analiz 32 statystyk, opisujących efekt odbicia sygnału, jedynie 15 wykazało silniejsze zależności z cechami drzewostanu. Funkcja statystyczna Boruta pozwoliła ponadto na wybranie dla okresu bezlistnego łącznie 12 cech drzewostanowych i 12 nawigacyjnych, a dla okresu ulistnionego, odpowiednio 16 i 14. Do najważniejszych wyników zaliczyć należy silny wpływ miąższości drzewostanów, wysokości górnej, wysokości mocowania anteny oraz modelu odbiornika nawigacyjnego na kształtowanie się odbicia sygnału satelitarnego. W stosunku do poprzednich badań [A1, A2, A3] uwzględniono nowe drzewostany, w których gatunkami panującymi był buk, brzoza oraz jodła. Biorąc pod uwagę najważniejsze dla pozycjonowania sygnału GPS, można zauważyć, że wartości odchylenia standardowego wielotorowości są najwyższe dla drzewostanów brzozowych (7,32) oraz sosnowych (3,07) co jest zbieżne z dokładnościami pozycjonowania i precyzji pomiarowej [A1, A2]. Na uwagę zasługuje zróżnicowanie wyników wielotorowości dla zastosowanego modelu odbiornika, mimo iż wszystkie reprezentowane były przez najwyższą klasę geodezyjną. I tak, odbiornik Leica uzyskał średnią z odchylenia standardowego dla systemu GPS, w pełni sezonu wegetacyjnego, na poziomie 1,9, Stonex 3,57 a Trimble 2,13. Różnice te niwelują się dla okresu bezlistnego, utrzymując się w okolicach wartości 2. Nie potwierdziły się przypuszczenia, że silne zróżnicowanie ukształtowania terenu wpływa na zjawisko odbicia. W nadleśnictwie Gorlice odnotowano bowiem ogólnie najmniejsze wartości odchylenia standardowego wielotorowości, zarówno dla wszystkich jak i pojedynczego satelity.

### **Najważniejsze nowatorskie osiągnięcia przedstawione w pracy, stanowiące istotny wkład w rozwój nauki:**

1. Opracowanie metodyki wyznaczania środków powierzchni badawczych na potrzeby prac urzędzeniowych [A1, A2, A4]. Zaproponowane rozwiązania są obecnie przedmiotem wdrożenia realizowanego przez Biura Urządzania Lasu i Geodezji (BULiGL), dotyczące



realizacji projektu badawczego pt. „Analiza możliwości zwiększenia dokładności określania cech taksacyjnych drzewostanów w pracach urządzeniowych z wykorzystaniem nowoczesnych technik geomatycznych” – zgodnie z umową zawartą w dniu 7 sierpnia 2015 r. w Warszawie pomiędzy PGL LP i BULiGL.

2. Kategoryzacja drzewostanów pod kątem potencjalnych problemów z dostępem do satelitarnych sygnałów nawigacyjnych ze szczególnym uwzględnieniem sezonu wegetacyjnego i wysokości mocowania anteny odbiornika [A1, A2, A4].
3. Uzasadnienie celowości stosowania tyczek teleskopowych przy wyznaczaniu współrzędnych za pomocą odbiorników nawigacyjnych. Sugeruje się stosowania tyczek o minimalnej długości 5 metrów, dostępnych w ofercie wielu producentów [A2, A4].
4. Poparta wynikami wszystkich prac badawczych [A1, A2, A3, A4] konieczność stosowania korekcji różnicowej, zarówno w przypadku odbiorników klasy GIS jak i odbiorników klasy geodezyjnej.
5. Wykazano, że dobór odbiornika nawigacyjnego powinien być podyktowany nie tylko deklarowanymi przez producenta parametrami i ceną, ale przede wszystkim wynikami przeprowadzonych testów na stałych punktach referencyjnych zlokalizowanych w środowisku leśnym [A1, A3, A4]. Testy muszą uwzględniać faktyczną dokładność i precyzję uzyskiwaną, ale także ocenę zmienności wielotorowości sygnału satelitarnego.
6. Wskazanie możliwości alternatywnego pozyskiwania danych przestrzennych w oparciu o tanie bezałogowe platformy powietrzne wyposażane w odbiorniki nawigacyjne rejestrujące dane w trybie autonomicznym [A3].

#### **Literatura wykorzystana do omówienia osiągnięcia naukowego:**

- Antosiewicz, M. i Wężyk, P. 2005. GPS w zarządzaniu informacją o środowisku. *Roczniki Geomatyki-Annals of Geomatics* 3 (3): 125–133.
- Będkowski, K. 2008. Fotogrametryczny pomiar wysokości drzew na obrazach z kamery cyfrowej DMC. *Roczniki Geomatyki-Annals of Geomatics* 6 (8): 41–48.
- Bettinger, P. i Fei, S. 2010. One Year's Experience with a Recreation-Grade GPS Receiver. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS)* 2 (2): 153-160 ( 8).
- Bosy, J., Graszka, W. i Leończyk, M. 2007. ASG-EUPOS-a multifunctional precise satellite positioning system in Poland. *European Journal of Navigation* 5 (4): 2–6.

- Braasch, M.S. i van Dierendonck, A.J. 1999. GPS receiver architectures and measurements. *Proceedings of the IEEE* 87 (1): 48–64.
- Brach, M. 2009. Pomiar położenia środka drzewa z wykorzystaniem tachimetru elektronicznego. *Sylwan* 153 (4): 231–239.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C.J. i Olshen, R.A. 1999. *Classification and Regression Trees*. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, .
- Deckert, C. i Bolstad, P.V. 1996. Forest canopy, terrain, and distance effects on global positioning system point accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62 (3): 317–321.
- Estey, L.H. i Meertens, C.M. 1999. TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data. *GPS solutions* 3 (1): 42–49.
- Hoffmann, H., Nieto, H., Jensen, R., Guzinski, R., Zarco-Tejada, P. i Friborg, T. 2016. Estimating evaporation with thermal UAV data and two-source energy balance models. *Hydrology and Earth System Sciences* 20 (2): 697–713.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. i Wasle, E. 2008. *GNSS--global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer, Wien ; New York, .
- Kamińska, G. i Karaszkiwicz, W. 1994. Badanie i ocena dokładności lesnej mapy gospodarczej. *Sylwan* 138 (05): 19–28.
- Kursa, M.B. i Rudnicki, W.R. 2010. Feature Selection with the Boruta Package. *Journal of Statistical Software* 36 (11).
- Kursa, M.B. i Rudnicki, W.R. 2015. Package 'Boruta'. .
- Lamparski, J. i Świątek, K. 2007. *GPS w praktyce geodezyjnej*. Wydawnictwo Gall, .
- Naesset, E. 1999. Point accuracy of combined pseudorange and carrier phase differential GPS under forest canopy. *Canadian Journal of Forest Research* 29 (5): 547–553.
- Okła, K. 2010. *Geomatyka w lasach państwowych*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, .
- Sigrist, P., Coppin, P. i Hermy, M. 1999. Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. *International Journal of Remote Sensing* 20 (18): 3595–3610.
- Teunissen, P.J. i Kleusberg, A. 2012. *GPS for Geodesy*. Springer Science & Business Media, .
- Tomaščík, J., Tomaščík, J., Saloň, Š. i Piroh, R. 2016. Horizontal accuracy and applicability of smartphone GNSS positioning in forests. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 90 (2): 187–198.
- Valbuena, R., Mauro, F., Rodríguez-Solano, R. i Manzanera, J.A. 2012. Partial Least Squares for Discriminating Variance Components in Global Navigation Satellite Systems Accuracy Obtained Under Scots Pine Canopies. *Forest Science* 58 (2): 139–153.

- Wanninger, L. 2012. Carrier-phase inter-frequency biases of GLONASS receivers. *Journal of Geodesy* 86 (2): 139–148.
- Wężyk, P. 2004. Mity i fakty dotyczące stosowania GPS w leśnictwie. *Roczniki Geomatyki-Annals of Geomatics* II (4): 14.
- Yoshimura, T. i Hasegawa, H. 2003. Comparing the precision and accuracy of GPS positioning in forested areas. *Journal of Forest Research* 8 (3): 147–152.

## **Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych**

### **1. Wstęp**

Zainteresowania naukowe są wypadkową tematów podejmowanych już na etapie pracy magisterskiej, gdzie przeprowadzono jedno z pierwszych w Polsce badań nad dokładnością i praktyczną możliwością zastosowania odbiorników nawigacyjnych do dokumentowania zmian w przestrzeni leśnej. Kontynuacja tych zagadnień została zaproponowana w rozprawie doktorskiej, w której zaproponowano konkretną metodykę w zakresie inwentaryzacji terenów zadrzewionych. Po uzyskaniu stopnia doktora główne kierunki badań związane były z technologicznymi i praktycznymi możliwościami stosowania nowoczesnych metod pomiarowych dla potrzeb leśnictwa oraz wykorzystania technologii GIS (Geographic Information System) do poprawy zarządzania i gospodarowania przestrzenią leśną. Efekty prac zostały udokumentowane w postaci 30 prac naukowych opublikowanych w czasopismach z listy A i B (347 punktów MNiSW; 7,122 punktów IF) oraz 21 wydawnictwach popularno-naukowych i monografiach. Wyniki prac badawczych prezentowano ponadto na 8 konferencjach krajowych, szkoleniu realizowanym na zlecenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych i w dwóch edycjach Studium Podyplomowego o tytule „Zastosowanie systemów informacji przestrzennej w leśnictwie i ochronie przyrody”. Jednym z ważniejszych elementów pracy naukowej był czynny udział w 19 projektach badawczych w tym uzyskany grant z Komitetu Badań Naukowych KBN N N309 114137 w którym podjęto tematykę „Analizy dokładności pomiaru współrzędnych w środowisku leśnym z wykorzystaniem odbiornika GNSS”, stanowiącą podstawę do dalszego rozwoju badań z zakresu optymalizacji stosowania nawigacji satelitarnej na obszarach leśnych. Najbardziej złożone opracowanie z tej tematyki powstało w ramach udziału w konsorcjum projektu BIOSTRATEG współfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (BIOSTRATEG1/267755/4/NCBR/2015). Obszerny materiał badawczy i referencyjny umożliwił wykonanie unikatowych analiz z zakresu wpływu drzewostanów na kształtowanie się efektu wielotorowości sygnału satelitarne. Opracowane rozwiązania programistyczne oraz zbiór surowych danych obserwacyjnych z odbiorników GNSS będzie stanowił cenny materiał do dalszych analiz i badań

mogących wpłynąć na metodykę wykonywania pomiarów z wykorzystaniem odbiorników nawigacyjnych w środowisku leśnym.

## 2. Technologiczne i praktyczne możliwości stosowania nowoczesnych metod pomiarowych na potrzeby leśnictwa

Zagadnienia związane z aktualizacją leśnej mapy numerycznej oraz pojawiające się nowe rozwiązania technologiczne w zakresie inwentaryzacji przestrzeni w sposób naturalny ukierunkowały działalność naukową. Dotyczą one nie tylko odbiorników nawigacyjnych [1,2,4,5,10] ale także zastosowania ręcznych dalmierzy laserowych [1] oraz nowoczesnych instrumentów busolowych [7] pozwalających na uzyskanie wysokich dokładności pomiarowych, mogących stanowić cenną alternatywę do klasycznych pomiarów geodezyjnych w środowisku leśnym. Doświadczenie praktyczne i wiedza z zakresu nawigacji satelitarnej zaowocowała rozdziałem w monografii naukowej dotyczącej funkcjonowania geomatyki w leśnictwie [9], będącej źródłem odniesienia do modyfikacji i usprawniania systemów informacji przestrzennej w Lasach Państwowych. Mimo poszukiwania szybkich metod pomiaru, prowadzono również badania nad możliwościami bardzo dokładnej inwentaryzacji elementów przestrzeni leśnej co zostało zrealizowane w ramach pracy doktorskiej i udokumentowane publikacją naukową [3]. W pracy opisano metodykę pozwalającą na dokładne określanie środka drzewa z wykorzystaniem tachimetru elektronicznego. Wielokrotnie podkreślano, dokumentując to wynikami badań, bezsprzeczne zalety stosowania korekcji różnicowej w pomiarach bazujących na odbiornikach nawigacyjnych [2,3,4,5,6,9]. Do praktycznych metod ułatwiających sposób zarządzania przestrzenią leśną mogących znacznie ułatwić pomiar przestrzeni należą także zaproponowane zmiany w ewidencji gruntów. Polegają one na nowej definicji obiektu podstawowego, na który składać by się miał „ciągły pod względem przestrzennym i prawnym fragment gruntu nadleśnictwa będący w jego zarządzie” [8]. Koncepcja została opracowana przez zespół osób nie tylko związanych z jednostkami naukowymi ale też praktykami z Lasów Państwowych i miała na celu zmniejszenie liczby działek oraz uproszczenie procesu porządkowania ewidencji gruntów będących w władaniu nadleśnictwa. Kwestia dokumentacji przestrzeni leśnej będzie stale badana i rozwijana ze względu na dynamiczny rozwój metod pozyskiwania danych (obrazy wysokorozdzielcze, skaning laserowy czy zdjęcia z bezzałogowych platform powietrznych). Nie zmienia to faktu, że wiedza z zakresu dokładnych technik pomiarów naziemnych jest nadal bardzo istotna bowiem, większość zdalnych metod szacowania cech taksacyjnych drzewostanów wymaga weryfikacji o powierzchni próbne.

- [1] Stereńczak K., **Brach M. 2006.** Wykorzystanie GPS i dalmierza laserowego w praktyce leśnej. Roczniki Geomatyki, Tom VI, zeszyt 4: 67-74.
- [2] **Brach M. 2008.** Współczesne możliwości pomiaru szczegółów sytuacyjnych w przestrzeni leśnej. Roczniki Geomatyki, Tom VI, zeszyt 8: 61-70.
- [3] **Brach M. 2009.** Pomiar położenia środka drzewa z wykorzystaniem tachimetru elektronicznego. Sylwan 153 (4): 231-239.
- [4] **Brach M. 2009.** Technologia nawigacyjna w ochronie środowiska. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie. R. 11. Zeszyt 2: 124-134.
- [5] Grala. N., **Brach M. 2009.** Analysis of GNSS receiver In the forest environment. Roczniki Geomatyki Tom VII, zeszyt 2(32): 41-45.
- [6] **Brach M. 2010.** Zastosowanie sieci ASG-EUPOS w leśnictwie. Roczniki Geomatyki Tom VIII, zeszyt 7(43): 21-29.
- [7] **Brach M.,** Bielak K., Drozdowski S. **2013.** Dokładność pomiaru wybranymi dalmierzami laserowymi w środowisku leśnym. Sylwan 157 (9): 671–677.
- [8] **Brach M.,** Karaszkievicz W., Olenderek H., Ostrowski M. **2015.** Nowa koncepcja określania działki ewidencyjnej dla gruntów w zarządzie PGL Lasy Państwowe. Sylwan 159 (11): 883–892.
- [9] **Brach M. 2010.** Autorstwo rozdziału w monografii w języku polskim. Globalne systemy nawigacji satelitarnej w Geomatyka w Lasach Państwowych. Cz. 1. Podstawy / [red. prowadzący Krzysztof Okła]. - [Warszawa], [2010]: 437-459.
- [10] Ducka S., Kowalska O., **Brach M. 2015.** Aktualizacja sieci szlaków turystycznych z wykorzystaniem GPS i narzędzi GIS. Planuj twórz zarządzaj - GIS w gospodarce przestrzennej. Wydawnictwo SGGW: 80-87.

### 3. Wykorzystanie technologii GIS do poprawy możliwości zarządzania i gospodarowania przestrzenią leśną

Powstanie leśnej mapy numerycznej otworzyło nowe możliwości w zakresie analiz przestrzennych należących do jednej z podstawnych funkcji GIS. Wektorowy format danych będący standardem leśnej mapy numerycznej (LMN) pozwolił przede wszystkim na upowszechnienie informacji o lasach dla społeczeństwa [2]. Rozwiązania te w chwili obecnej stały się standardem, czego przykładem są rozwiązania stosowane przez Bank Danych o Lasach udostępniające informacje w formie geoportalu i poprzez aplikacje mobilne. Ułatwia to zbieranie danych w terenie, co w połączeniu ze znacznym uproszczeniem metod tworzenia aplikacji mapowych pozwoliło na prezentowanie danych wrażliwych. Przykładem takiego rozwiązania jest

publikacja danych o dzikich wysypiskach śmieci, która przy zastosowaniu funkcji gęstości wskazuje obszary o największym natężeniu tego negatywnego zjawiska [5]. Model wektorowy to także znaczne uproszczenie realizacji analiz sieciowych. Z pomocą otwartego oprogramowania i przy wykorzystaniu udostępnionych przez nadleśnictwo danych, stworzono gotową aplikację pozwalającą na planowanie tras turystycznych uwzględniających walory przyrodnicze obszaru, kategorie używanego środka transportu czy trudność techniczną trasy [8]. Pierwsze doświadczenia związane z wykorzystaniem danych ze skanowania laserowego (LiDAR - Light Detection and Ranging) zostały szybko zaimplementowane pod kątem ich zastosowania do szacowania cech taksacyjnych drzewostanów [3,4]. Duża gęstość chmury punktów otworzyła niespotykane dotąd możliwości odtworzenia numerycznego modelu terenu [1,7]. Zrealizowane badania stały się podstawą do stosowanych obecnie automatycznych algorytmów obliczania miąższości drzewostanów opracowanych w ramach projektu BIOSTRATEG1/267755/4/NCBR/2015. Wypadkową danych LiDAR, LMN oraz obrazów w podczerwieni jest użyteczne opracowanie dotyczące modelowania pożaru lasu [9]. Złożony proces analiz przestrzennych pozwolił na wyodrębnienie 13 cech, które po przypisaniu do siatki heksagonalnej i zastosowaniu modelu HSI (Habitat Suitability Index) pozwoliły na wytypowanie obszarów o najwyższych wartościach indeksu palności. Nowe możliwości tworzenia numerycznego modelu terenu i numerycznego modelu pokrycia terenu zostały praktycznie wdrożone w modelowaniu warunków świetlnych na dnie lasu [6,10,11]. Przeprowadzono szereg badań i symulacji związanych z oszacowaniem warunków radiacyjnych na gniazdach. Uzyskane wyniki mogą być z powodzeniem stosowane w praktyce hodowlanej szczególnie, że udział rębni gniazdowych w metodach odnawiania lasu jest w chwili obecnej bardzo wysoki. W pracy zadbano o to aby zaproponowane rozwiązanie bazowało na ogólnodostępnych rozwiązaniach programistycznych bez konieczności zlecenia podobnego modelowania podmiotom zewnętrznym. Mając na względzie upowszechnianie się numerycznych modeli pokrycia terenu z bezzałogowych platform powietrznych oraz wdrażaniu technologii LiDAR w praktyce urzędniczej można mieć nadzieję, że opisane techniki modelowania warunków świetlnych na gniazdach znajdą praktyczne zastosowanie.

- [1] Będkowski K., **Brach M.**, Stereńczak K., **2008**. Numeryczny model terenu obszaru zalesionego utworzony na podstawie skanowania laserowego i jego dokładność. Roczniki Geomatyki, Tom VI, zeszyt 8: 49-53.
- [2] Plewka P., **Brach M.** **2010**. Udostępnienie leśnej mapy numerycznej w Internecie na przykładzie Nadleśnictwa Kozienice. Roczniki Geomatyki, Tom VIII, zeszyt 7(43): 57-62.zeszyt 7(43): 21-29.

- [3] Będkowski K., **Brach M.**, Banaszczyk P. **2011**. Sezonowa zmienność rozkładu chmury punktów skanowania laserowego w drzewostanach iglastych i jej związek z cechami taksacyjnymi drzewostanu. *Sylvan* 155 (11): 736-748.
- [4] Zasada M., Stereńczak K., **Brach M.** **2011**. Zależność między cechami koron uzyskanymi z lotniczego skanowania laserowego a pierśnicami drzew. *Sylvan*, 155 (11): 725–735.
- [5] **Brach M.**, Wiśniewski M. **2012**. Przestrzenne aspekty dzikich wysypisk odpadów komunalnych w lasach na terenie Leśnictwa Stankowizna. *Roczniki Geomatyki Tom X, zeszyt 5(55)*: 37-45.
- [6] Bolibok L., **Brach M.**, Drozdowski S., Orzechowski M. **2013**. Modelowanie warunków świetlnych na dnie lasu. *Leśne Prace Badawcze* 74 (4): 345–355.
- [7] Stereńczak K., Zasada M., **Brach M.** **2013**. The Accuracy Assessment of DTM Generated from LiDAR Data for Forest Area – a Case Study for Scots Pine Stands in Poland. *Baltic Forestry* 19 (2): 252-262.
- [8] **Brach M.**, Górski D. **2014**. Application of network analysis for development and promotion of sustainable tourism in public forests. *Folia Forestalia Polonica* 56 (2): 105–112.
- [9] **Brach M.**, Kaczmarowski J. **2014**. Ocena możliwości wykorzystania modelu HSI do analizy rozprzestrzeniania się pożaru lasu. *Sylvan* 158 (10): 769–778.
- [10] Bolibok L., **Brach M.**, Szeligowski H., Orzechowski M. **2015**. Wpływ wysokości otaczającego drzewostanu, wystawy i pochylenia terenu na mikroklimat radiacyjny na gnieździe - wyniki modelowania. *Sylvan* 159 (10): 813–823.
- [11] Bolibok L., **Brach M.**, Drozdowski S., Szeligowski H. **2016**. Południkowa zmienność warunków w obrębie gniazd na terenie Polski - wyniki modelowania (eng.). *Leśne Prace Badawcze* 77 (1): 5–13.

#### 4. Modelowanie trójwymiarowe na potrzeby badania morfodynamiki koryta rzeki

Zadania związane z tworzeniem trójwymiarowej rekonstrukcji fragmentu koryta Wisły powstały dzięki czynnemu udziałowi w grantie NCN (012/05/B/ST10/00931) dotyczącym badań nad morfodynamiką równi zalewowej. Prowadzone badania w tym zakresie odbiegają od moich głównych zainteresowań, jednak zdobyta wiedza okazała się przydatna we współpracy z pracownikami Katedry Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Uniwersytetu Warszawskiego oraz Katedry Geoinżynierii SGGW. Pierwsze praktyczne efekty uzyskano dzięki integracji pomiarów batymetrycznych, zdjęć satelitarnych, numerycznego modelu terenu z danych LiDAR oraz z naziemnych pomiarów z wykorzystaniem odbiornika nawigacyjnego GNSS klasy geodezyjnej. Utworzono model pozwalający na kompleksowe opracowanie zebranych danych i odtworzenie koryta rzeki w formie trójwymiarowej

siatki trójkątów [2]. Był to punkt wyjścia do przeprowadzenia analiz morfodynamicznych pozwalających między innymi na wskazanie obszarów zagrożonych powodziami oraz erozją, co może istotnie wpływać na trwałość wszelkich konstrukcji inżynierskich, zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki [3]. Opracowane numeryczne modele terenów zalewowych stały się również cennym materiałem do badań sedimentologicznych i geochemicznych [1].

- [1] Falkowska E., Falkowski T., **Brach M. 2016.** Wykorzystanie numerycznego modelu terenu (NMT) w analizie zróżnicowania facjalnego osadów wezbraniowych Wisły między Basonią a Solcem nad Wisłą oraz jego znaczenia dla koncentracji metali ciężkich. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 25 (3): 311-322.
- [2] **Brach M.**, Falkowski T., Ostrowski P., Przywózki M. **2015.** Structure and utilisation possibilities of channel digital model in example of Vistula river in Warsaw. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation* 47 (4): 289–303.
- [3] Falkowski, T., Ostrowski, P., Siwicki, P., **Brach, M. 2017.** Channel morphology changes and their relationship to valley bottom geology and human interventions; a case study from the Vistula Valley in Warsaw, Poland. *Geomorphology* 297: 100–111.

## 5. Działalność popularyzatorska

Nie ulega wątpliwości, że przełożenie trudnych naukowych publikacji na teksty umieszczane w czasopismach popularno-naukowych dało wymierny efekt w postaci nawiązania szerokiej współpracy z pracownikami terenowymi Lasów Państwowych. Teksty wydane na łamach takich czasopism jak „Las Polski” czy „Głos Lasu” miały również duży oddźwięk praktyczny i stanowiły cenny materiał dydaktyczny. Poruszano tematykę związaną z aktualizacją LMN [1] i możliwościami prezentacji danych w formie trójwymiarowej [2] bazując na danych z leśnej mapy numerycznej. Z racji pełnienia przez Lasy Państwowe ważnej funkcji społecznej istniała pilna potrzeba udostępniania możliwie dużej ilości informacji przestrzennych w sieci Internet. Zadanie to było szeroko opisywane na łamach „Lasu Polskiego” w formie licznych przykładów gotowych rozwiązań i metod tworzenia własnych geoportali [3,9]. Zainteresowanie geodezją leśną od czasów pracy magisterskiej również zostało przeniesione na ramy popularno-naukowe. Stagnacja związana z wykorzystaniem tachimetrów elektronicznych na potrzeby aktualizacji LMN została częściowo rozwiana za pomocą publikacji opisującej proste i skuteczne metody stosowania geodezji leśnej [7]. Wiele zagadnień prezentowanych na odbywającej się regularnie w cyklach dwuletnich konferencji „Geomatyka w Lasach Państwowych” zostało przeniesione do popularnych czasopism leśnych ze względu na wyraźnie artykułowane potrzeby pracowników terenowych. Jednym z palących problemów była kwestia wyjaśnienia metody



pozwalającej na prawidłowe określenie azymutu w dalmierzach laserowych. Technologia ta jest po dziś dzień stosowana w aktualizacji LMN [6]. Podobnie stało się w przypadku dokładności i technicznych możliwości stosowania nawigacji satelitarnej na terenach leśnych [5,8]. Spora część wyników uzyskanych w ramach projektów badawczych i grantów, znalazła swoją drobną reprezentację w postaci artykułów popularno-naukowych jak na przykład zdjęcia powstałe podczas prac nad grantem „*Analiza dokładności pomiaru współrzędnych w środowisku leśnym z wykorzystaniem odbiornika GNSS*” [4]. Odpowiedzią na zapotrzebowanie związane z wykorzystaniem bezzałogowych platform powietrznych jest cykl artykułów poruszających tematykę aspektów prawnych wykonywania lotów [11], możliwości technicznych sprzętu [10] i wreszcie uzyskiwanych dokładności do aktualizacji LMN [12].

- [1] **Brach M. 2008.** Jak aktualizować leśną mapę numeryczną? *Las Polski* 17/2008: 22-23.
- [2] Tracz W., **Brach M. 2008.** Las w trzecim wymiarze. *Las Polski* 17/2008: 28-29.
- [3] Plewka P., **Brach M. 2009.** Pomyślmy o turystach. *Las Polski* 6/2009: 10-11.
- [4] **Brach M. 2009.** Sięgaj gdzie wzrok nie sięga. *Las Polski* 8/2009: 18-19.
- [5] **Brach M. 2010.** ASG-EUPOS w lesie? *Głos Lasu* 9/2010: 10-11.
- [6] **Brach M. 2011.** Azymut – prawdę Ci powie? *Las Polski* 2/2011: 22-23.
- [7] **Brach M. 2011.** Tachimetr w lesie. *Las Polski* 7/2011: 20-21.
- [8] **Brach M. 2012.** Test geodezyjnych odbiorników nawigacyjnych. *Las Polski* 5/2012: 18-20.
- [9] **Brach M., Grzeszczak A. 2013.** Geoportale przyrodnicze. *Las Polski* 5/2013: 26-27.
- [10] **Brach M., Szymański P. 2016.** Lecimy w las. *Głos Lasu* 12/2016: 26-27.
- [11] Szymański P., **Brach M. 2017.** (Nie) każdy leśnik latać może. *Głos Lasu* 1/2017: 22-23.
- [12] **Brach M., Szymański P., Stańczak L. 2017.** Dokładność w aktualizacji LMN. *Las Polski* 7/2017: 20-22.

## 6. Działalność dydaktyczna

Na przełomie lat 2009 i 2011 odbyłem praktykę na Uniwersytecie Przyrodniczym w Eberswalde w Niemczech (Eberswalde University for Sustainable Development) gdzie prowadziłem zajęcia z zakresy analiz sieciowych i GIS. Prowadzone zajęcia opierały się na autorskich rozwiązaniach i doświadczeniu zdobytym w trakcie badań na Wydziale Leśnym SGGW.

Zgodnie ze sprawozdaniami z działalności dydaktycznej od roku 2001 do 2018 przeprowadziłem 9823 godzin zajęć co daje rocznie obciążenie na poziomie przekraczającym średnio 570 godzin. Dotyczy to między innymi zajęć prowadzonych w języku polskim z zakresu: Geodezja, Geodezja i kartografia, Budowa i wykorzystanie SIP w gospodarce przestrzennej, Ekologia krajobrazu,

Wykorzystane SIP w nadleśnictwie, Geoinformatyka, Techniki cyfrowe w projektowaniu, Modelowanie komputerowe w gospodarce przestrzennej, Geomatyka w leśnictwie, Techniki geodezyjne w środowisku leśnym, Grafika inżynierska, Geoinformatyka w turystyce, Techniki geoinformacyjne w leśnictwie, Techniki inwentaryzacji, Metody zbierania i udostępniania danych, Analizy przestrzenne, Geomatyka w gospodarce przestrzennej. Dotyczy to kierunków studiów: leśnictwo, gospodarka przestrzenna, architektura krajobrazu i ochrona środowiska. Ponadto jestem autorem i współautorem programów zajęć prowadzonych w języku angielskim z zakresu: GPS and digital processing of remotely sensed data, Unmanned Aerial Vehicle in practice, Map Editing, Geographic Information Systems, Spatial Analyses, Forest Photogrammetry. Zajęcia te prowadzone są na drugim stopniu i specjalności Forest Information Technology oraz dla studentów ERASMUS. Byłem promotorem 16 prac magisterskich oraz 26 prac inżynierskich realizowanych zarówno w języku polskim jak i angielskim. Powstały one nie tylko na bazie projektów badawczych ale także licznych obozów naukowych organizowanych przez Studenckie Koło Naukowe Gospodarki Przestrzennej i Sekcję Geomatyki na Wydziale Leśnym. Część prac została opublikowana pod moim kierunkiem lub też zaprezentowana na konferencjach i przeglądach kół naukowych. Byłem również promotorem pomocniczym pracy doktorskiej Addo Koratenga o tytule: "Assessment of forest cover and land use change in Ghana as a part of monitoring system in REDD mechanism" obronionej w 2015 roku. W 2011 roku otrzymałem indywidualną nagrodę Rektora SGGW II stopnia za osiągnięcia dydaktyczne. Recenzowałem artykuły dla czasopisma Forests MDPI, Roczników Geomatyki oraz International Journal of Forest Research.

## 7. Charakterystyka dorobku w zakresie działalności organizacyjnej

W 1999 roku byłem zaangażowany jako członek komitetu organizacyjnego międzynarodowej konferencji IUFRO „Remote sensing and forest monitoring” odbywającej się w dniach 1-3 czerwca w Rogowie. W roku 2012 otrzymałem indywidualną nagrodę Rektora SGGW III stopnia za działalność organizacyjną na rzecz międzynarodowych studiów Forest Information Technology realizowanych na Wydziale Leśnym we współpracy z Eberswalde University for Sustainable Development w Niemczech. Od 2012 roku po dzień dzisiejszy jestem pełnomocnikiem Dziekana w zakresie pomocy studentom tegoż kierunku. W latach 2010-2012 byłem czynnie zaangażowany w pomoc merytoryczną dla Studenckiego Koła Naukowego Gospodarki Przestrzennej. Prowadziłem warsztaty na Wydziale Leśnym w języku angielskim w ramach ISPRS Summer School (13-19 Lipca 2009, oraz IUFRO TF EFS (05-15 sierpnia 2012). Prowadzę stronę internetową Samodzielnego Zakładu Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej w języku polskim i angielskim. Jestem administratorem licencji oprogramowanie ArcGIS na terenie SGGW oraz Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Rogowie. Odpowiadam za konserwację i

serwisowanie odbiorników nawigacji satelitarnej, tachimetrów, bezzałogowej platformy powietrznej i powiązanego z tym sprzętem oprogramowania. W 2016 i 2018 roku byłem członkiem komitetu organizującego ogólnopolskiej konferencji „Geomatyka w Lasach Państwowych” odpowiadając za naukową ocenę zgłoszonych referatów. W 2018 roku otrzymałem nagrodę jubileuszową z okazji 20 lat pracy zawodowej. Od grudnia 2016 roku po dzień dzisiejszy pełnię funkcję Kierownika Samodzielnego Zakładu Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej.

*Abumama 3.04.2019*

*Michał Bock*