

## **POMIARY GNSS W PRZESTRZENI LEŚNEJ PRZY WYKORZYSTANIU RÓŻNEJ KLASY ODBIORNIKÓW ORAZ WYBRANYCH TRYBÓW POMIARU**

### **GNSS MEASUREMENTS IN FOREST ENVIRONMENT USING VARIOUS RECEIVERS AND MEASUREMENT MODES**

**Marta Szostak, Piotr Wężyk**

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

SŁOWA KLUCZOWE: GPS, ASG-EUPOS, dGPS, RTK, TLS

**STRESZCZENIE:** Głównym przedmiotem badań było określenie możliwości stosowania technologii GNSS w leśnictwie, w zakresie realizacji pomiarów obiektów przestrzeni leśnej o charakterze: punktowym (np. pnie drzew, graniczniki, pomniki przyrody), liniowym (np. drogi, ścieżki, wizury) oraz powierzchniowym (np. wydzielenia, oddziały, zbiorowiska roślinne, obszary pożarów). Lokalizację przestrzenną wyznaczano przy wykorzystaniu różnej klasy odbiorników GNSS, pracujących w różnych trybach pomiaru. Wykorzystano odbiorniki klasy: turystycznej, kartograficzne oraz nowoczesne wieloczęstotliwościowe, wielokanałowe (NAVSTAR-GPS + GLONASS) odbiorniki, współpracujące z siecią stacji referencyjnych ASG-EUPOS w trybie RTK oraz post-processingu.

Ocenie pod kątem możliwości wyznaczania pozycji podlegały sesje pomiarowe złożone z: 100, 300, 600 epok a nawet prowadzone ponad godzinę. Testy wykonano losowo w różnych porach dnia, miesiąca, w różnych warunkach atmosferycznych, w przestrzeni otwartej (drogi leśne, zręby, luki) jak i pod okapem drzewostanu oraz w różnych fazach fenologicznych drzewostanu (okres bez liści – spoczynku oraz z liśćmi – w pełni sezonu wegetacji). Wyznaczone metodami GNSS pozycje obiektów, zostały odniesione do wyników referencyjnych, uzyskanych na podstawie pomiarów RTK (wielogodzinne obserwacje w terenie otwartym) oraz pomiarów tachimetrycznych, a także przetworzonych chmur punktów, pochodzących z naziemnego skanowania laserowego (precyzyjnie wyznaczone pozycje pni drzew oraz przebieg rowu melioracyjnego).

## **1. WPROWADZENIE**

Zarządzanie środowiskiem naturalnym coraz częściej dotyczy aspektu pozyskiwania, gromadzenia, analizowania, przetwarzania i raportowania danych o charakterze informacji przestrzennej. Technologie geoinformatyczne stały się narzędziami codziennej pracy przyrodników, leśników czy też personelu parków narodowych i innych instytucji odpowiedzialnych za monitorowanie i zarządzanie zasobami przyrodniczymi. Realizacja niektórych dyrektyw i konwencji UE (np. Dyrektywa INSPIRE) dotyczących zagwarantowania obywatelowi dostępu do informacji o środowisku, wiąże się

z udostępnianiem informacji o lokalizacji wybranych elementów przestrzeni leśnej np. drzew pomnikowych, stanowisk roślin chronionych, infrastruktury turystycznej czy drogowej. Coraz częściej informacja podąży za leśnikiem, turystą czy badaczem poprzez telefony komórkowe, w których na szeroką skalę zostają implementowane moduły odbiorników GPS (ang. *Global Positioning System*). Dziś społeczeństwo oczekuje publikowania informacji przez serwisy mapowe (ang. *Web Map Service; WMS*) o lokalizacji obiektów, w tym w przestrzeni leśnej. Termin precyzyjne leśnictwo, wykorzystujące technologie GPS przenosi się bezpośrednio na określenie - precyzyjne środowisko przyrodnicze (Antosiewicz, Wężyk 2005).

Podstawowy aspekt badań prowadzonych w przestrzeni leśnej to brak możliwości precyzyjnego odtworzenia lokalizacji miejsca pomiaru, bądź odniesienia się do pomiarów dokonanych w sekwencji czasowej. Z pomocą przychodzi integracja różnego typu informacji geograficznej, możliwa dzięki zaawansowanym narzędziom zaimplementowanym w Systemach Informacji Geograficznej. Wchodzące w ich skład technologie geomatyczne takie jak: fotogrametria cyfrowa, Globalne Systemy Pozycjonowania Satelitarnego (ang. *Global Navigation Satellite System; GNSS*), teledetekcja lotnicza i satelitarna czy skaning laserowy - LiDAR (ang. *Light Detection and Ranging*) stanowią dziś odrębnie rozwijające się działy systemów geoinformacyjnych.

Wykorzystanie odbiorników GPS/GNSS w badaniach przyrodniczych (Antosiewicz, Wężyk 2005; Grala, Brach 2009; Wężyk 2004) wiąże się przede wszystkim z możliwością określania (z różną, wymaganą instrukcjami technicznymi dokładnością) pozycji obiektów, czy zjawisk o charakterze:

- punktowym np. lokalizacji pojedynczych drzew w drzewostanie (w tym drzew pomnikowych), środków powierzchni kołowych, słupków granicznych, skrzyżowań dróg, ścieżek, stanowisk roślin chronionych, punktów GCP (ang. *Ground Control Points*) itp.;
- linowym np. dróg leśnych, szlaków zrywkowych, ścieżek, tropów zwierząt, przebiegu szlaków turystycznych, itp.;
- poligonowym np. granic pododdziałów i oddziałów leśnych, gniazd, zrębów, terenów gradacji owadów, pożarów, występowania zbiorowisk roślinnych, obszarów nielegalnej wycinki drzew, terenów zdegradowanych przez przemysł, uszkodzeń gleby i szaty roślinnej.

Stosowanie odbiorników GPS/GNSS stało się już praktyką w projektach geoinformatycznych, czy w pracy leśnika. Zastosowania technologii pomiarów GPS/GNSS w leśnictwie i ochrony przyrody to przede wszystkim możliwość zasilania aktualnymi danymi baz danych geometrycznych i opisowych, a także nawigacja. W pracach prowadzonych w przestrzeni leśnej można wydzielić główne obszary jako:

- podlegające administracji Lasów Państwowych;
- parki narodowe, parki krajobrazowe, czy też w rezerwaty, parki i zieleń miejską;
- podlegające rekultywacji (np. tereny poprzemysłowe).

Ważnym tematem z zakresu możliwości wykorzystania technologii GPS/GNSS w aspekcie zarządzania przestrzenią leśną jest proces zasilania oraz weryfikacji geometrycznych i atrybutowych baz danych GIS, w tym weryfikacji i aktualizacji obiektów Leśnej Mapy Numerycznej (LMN). Należy w tym miejscu nadmienić sprawę

kartometryczności map leśnych, zgodności ich treści z danymi ewidencyjnymi i wynikającej z tego, wymaganej dokładności określenia pozycji obiektów przestrzeni leśnej. Zgodnie ze Standardem Leśnej Mapy Numerycznej (SLMN 2001) podkład geodezyjny LMN może być wykonany z wykorzystaniem ewidencyjnej mapy numerycznej nadleśnictwa lub pierworysów map gospodarczych i maksymalnej liczby punktów załamania granicy ewidencyjnej (pozyskanych z zasobów jednostek samorządowych). W przypadku braku współrzędnych punktów granicznych dopuszcza się możliwość orientowania pierworysów map gospodarczych na mapy zasadnicze w skali 1:5000 lub mapy topograficzne, o skali nie mniejszej niż 1:10000. Weryfikacja (aktualizacja) lokalizacji obiektów LMN powinna być oparta na wynikach: geodezyjnych pomiarów terenowych, pomiarów GPS/GNSS, opracowania ortofotomap lotniczych bądź satelitarnych lub wykorzystaniu technologii skaningu laserowego (Wężyk *et al.* 2010a, b).

## 2. TEREN BADAŃ I MATERIAŁY

Badania realizowano w obszarze kompleksu głównego Puszczy Niepołomickiej na terenie Nadleśnictwa Niepołomice (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Krakowie; N: 50°02'16.72"; E: 20°24'2.1"; rys.1). Prace prowadzono wzdłuż Drogi Królewskiej oraz w pododdziale 113d (powierzchnia badawcza TR2), charakteryzującym się drzewostanem mieszanym dębowo-sosnowym (*Pino-Quercetum*). Wybór obszaru podyktowany był możliwością wykorzystania geodanych referencyjnych (mapy ewidencyjne, ortofotomapy lotnicze oraz chmury punktów ze skaningu laserowego naziemnego i lotniczego), pozyskanych w ramach projektów prowadzonych w ubiegłych latach przez zespół Laboratorium Geomatyki Katedry Ekologii Lasu Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.



Rys. 1. Teren badań

Jako dane referencyjne wykorzystano precyzyjne lokalizacje pni drzew, pozyskane w ramach testów naziemnych skanerów laserowych (Terrestrial Laser Scanning; TLS) na powierzchni TR2 (Wężyk 2012; Wężyk et al. 2012), dane pochodzące z lotniczego skaningu laserowego (ang. *Airborne Laser Scanning; ALS*) oraz wyniki wykonanych pomiarów tachymetrycznych szczegółów sytuacyjnych (elementów punktowych, liniowych i powierzchniowych) w nawiązaniu do osnowy geodezyjnej (ciąg poligonowy). Dane tachymetryczne oraz dane ze skanowania laserowego stanowiły dane referencyjne pomiarów GPS/GNSS prowadzonych na powierzchni badawczej, w tym głównie dla obiektów mierzonych pod okapem drzewostanu.

### 3. METODYKA

Celem projektu było określenie możliwości wyznaczenia lokalizacji przestrzennej obiektów przestrzeni leśnej (punktowych, liniowych i powierzchniowych) metodami GPS/GNSS przy wykorzystaniu różnych trybów pomiaru. W zależności od charakteru samych obiektów pomiarowych, wyróżniono następujące tryby pomiaru:

- statyczny (np. dla pomiaru współrzędnych drzew, fotopunktów naturalnych bądź sygnalizowanych);
- dynamiczny (kinematyczny) odbiornika ruchomego (np. przy określaniu przebiegu granic gniazd zrębowych, przyrodniczych dróg leśnych, linii oddziaływowych).

Dokładność wyznaczenia pozycji zależy od wielu czynników, ale głównie od jakości samego odbiornika GPS/GNSS (turystyczny, kartograficzny, geodezyjny), anteny (zewnętrznej, wewnętrznej) oraz warunków samego pomiaru (dostępność horyzontu, brak czynników wpływających na obniżenie jakości odbioru sygnału). Ważne jest także pozyskiwanie atrybutów (cech mierzonych obiektów) wg zaprojektowanych formularzy czyli tzw. słowników. Niezmiernie istotne w prowadzeniu pomiarów w trudnych warunkach środowiska leśnego (np. pod koronami drzew) jest odpowiednie planowanie misji pomiarowej przy użyciu aktualnego pliku „almanach” i znajomości przysłonięcia horyzontu miejsca pomiarów (w pionie i poziomie). Pozwala to uniknąć wielu niepowodzeń i tym samym zapewnia dużą oszczędność czasu.

Wykorzystanie odbiorników GPS przez administrację PG LP wiąże się często z niezbyt wysoką dokładnością pomiaru, wynikającą ze stosowanych urządzeń. Uwaga ta dotyczy stosunkowo mało zaawansowanych i niedrogich odbiorników GPS, zwanych popularnie turystycznymi. W sytuacjach wymagających większej precyzji pomiarów stosuje się metodę pomiaru dGPS (ang. *differential GPS*) z wykorzystaniem poprawek różnicowych do danych z satelitów GPS. Wykonywanie pomiarów w trybie tzw. post-processingu wymaga użycia pliku korekcyjnego rejestrowanego przez stacje bazowe GNSS (stacje referencyjne; ang. *base station*) w tym samym czasie, co obserwacje dokonywane w terenie przez odbiornik ruchomy (ang. *rover station*). Wpływa to w znaczący sposób na podniesienie dokładności oraz pewności określenia pozycji obserwowanego punktu w terenie. Specyfika niektórych pomiarów GNSS wymaga stosowania trybu dGPS w czasie rzeczywistym, (ang. *Real Time Kinematic; RTK*).

Testowe pomiary GPS/GNSS wykonano odbiornikami:

- a) geodezyjnymi – wieloczęstotliwościowymi, wielokanałowymi (NAVSTAR-GPS + GLONASS), odbiornikami, zaprojektowanymi do współpracy z siecią stacji referencyjnych (np. ASG-EUPOS):
  - Trimble Geoexplorer 6000 GeoXR (Geotronics Polska),
  - CHC X900 (GPS.PL),
- b) kartograficznymi – klasa GIS:
  - CHC X20 (udostępniony przez Fundację im. Anny Pasek),
  - Topcon GRS-1 RTK (TPI),
  - MobileMapper 120 TotalGIS (SmallGIS),
  - MobileMapper 10 (SmallGIS),
  - SXBlue II (SmallGIS),
  - Trimble Pathfinder ProXRS,
- c) klasy turystycznej:
  - Garmin (eTrex, eMap, OREGON),
  - Pentagram,
  - Nautiz (udostępniony przez Fundację im. Anny Pasek),
  - i-GotU oraz Holux (trackery).

W ramach pomiarów dGPS obiektów przestrzeni leśnej ocenie podlegała wymagana ilość sesji pomiarowych. Analizowane były wyniki osiągnięte podczas sesji pomiarowych trwających: 100, 300, 600 sekund a nawet ponad godzinę. Testy prowadzono w różnych dniach, miesiącach, w różnych warunkach atmosferycznych oraz w różnych okresach (fazach) fenologicznych (drzewostan z liśćmi i bez liści). Występowanie aparatu asymilacyjnego ma bowiem wpływ na uzyskiwane dokładności określenia pozycji, ze względu na ograniczenie przez aparat asymilacyjny docierania sygnału GPS w głąb drzewostanu. Podstawowym aspektem badań było opracowanie zaleceń dla prowadzenia prac w warunkach leśnych tzn. wyznaczenia możliwości pomiaru i uzyskania wymaganych dokładności w pracach w przestrzeni otwartej jak i pod okapem drzewostanu. Zostały przeprowadzone testy jakości odbioru sygnału i dokładności wyznaczenia pozycji z wykorzystaniem technologii pomiaru dGPS w procesie wyznaczania obiektów: punktowych, liniowych i powierzchniowych w bardzo zmiennych warunkach odbioru sygnału GPS.

Ocena wyznaczenia pozycji dGPS poszczególnych obiektów testowych została przeprowadzona w odniesieniu do wyników uzyskanych z pomiarów GNSS oraz tachimetrycznych. W tym celu trwale zastabilizowano dwa punkty na Drodze Królewskiej w Puszczy Niepołomickiej (szerokość pasa drogi wraz z rowami odwadniającymi to około 25 m) w miejscach o znacznie odkrytym horyzoncie. Pierwszy z nich, stanowiący początek i koniec ciągu poligonowego, umiejscowiono w bezpośrednim sąsiedztwie przepustu. Drugi, stanowiący nawiązanie ciągu poligonowego zlokalizowano na skrzyżowaniu dróg (w odległości 192.36 m oraz azymucie 245.43; od południa wykonany zrąb i założona uprawa, dobra widoczność horyzontu). Punkty te precyzyjnie pomierzono (dokładność 0.01m) odbiornikami firmy Leica stosując modele: GX1230GG oraz GS15 VIVA (obydwa urządzenia dzięki uprzejmości firmy GEOSAT, Kraków). Obserwacje statyczne obliczono i wyrównano w oprogramowaniu Leica Geo Office (ver. 7.0) w dowiązaniu do najbliższych

stacji referencyjnych: KRAW (Kraków: odległość od terenu badań około 33 km) oraz PROSZ (Proszowice: odległość około 17 km) systemu ASG-EUPOS.

Za pomocą pomiaru tachimetrycznego wyznaczono pozycję skanera na stanowisku S\_1 (pozycja centralna skanera; powierzchnia badawcza TR2) oraz kilka pni drzew, co pozwoliło na dokonanie transformacji z lokalnego układu współrzędnych do PUWG 2000, całej chmury punktów TLS pozyskanej w listopadzie 2011 roku (FARO FOCUS 3D; dzięki uprzejmości firmy TPI). Chmura TLS stała się referencyjnym zestawem danych do określania pozycji wybranych obiektów na powierzchni testowej TR2. Przetwarzania chmur punktów ze skanowania laserowego dokonano w oprogramowaniu FUSION (USDA Forest Service) oraz Terrasolid (Terrasolid Ltd.) natomiast analizy przestrzenne w ArcGIS 10 firmy ESRI.

#### 4. WYNIKI

W okresie kwiecień – wrzesień 2012 roku dokonano wybranych pomiarów elementów przestrzeni leśnej odbiornikami:

- geodezyjnymi - pomiar GNSS w trybie RTK, z wykorzystaniem dostępu do poprawek sieci stacji referencyjnych ASG-EUPOS;
- kartograficznymi – tryb pomiaru GPS oraz dGPS z zastosowaniem poprawek z sieci ASG-EUPOS oraz własnej stacji bazowej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie (WGS84: 50°04.59,07405. N; 19° 57.02,39439. E; 255,47 m. n.p.m.);
- turystycznymi.

Testy różnych odbiorników i trybów pomiaru przeprowadzono na powierzchni badawczej w drzewostanie (TR2) oraz w terenie otwartym (rejon Drogi Królewskiej). Wyniki pomiarów punktu pod okapem drzewostanu (tabela 1) odniesiono do pozycji referencyjnej z pomiarów tachimetrycznych (współrzędne punktu referencyjnego S\_1 PUWG 2000: X=7455950.82, Y= 5545152.39, Z= 196.67, Kronsztad 86).

Większość producentów odbiorników podaje w specyfikacjach sprzętowych dokładność lokalizacji przestrzennej w terenie otwartym. Oceniając wyniki zamieszczone w tabeli 1 można stwierdzić, iż dla pomiarów pod okapem drzewostanu (w okresie drzewostanu ulistnionego) dokładność ta uległa pogorszeniu, ale zachowana została precyzja pomiaru wynikająca z właściwości technicznych samych odbiorników: geodezyjnych, kartograficznych i turystycznych (dokładność wyznaczenia pozycji od centymetrów, poprzez decymetry, aż do metrów). Dla wszystkich testowanych na powierzchni badawczej odbiorników RTK potwierdzono możliwość wykonania pomiarów w trybie rzeczywistym.

Dla porównania dokładności pomiaru pod okapem drzewostanu oraz w przestrzeni otwartej (rejon Drogi Królewskiej) dokonano zestawienia (tabela 2) wyników pomiarów wykonanych wybranymi precyzyjnymi odbiornikami geodezyjnymi oraz kartograficznymi. Jako odbiornik porównawczy wybrano Trimble 6000 GeoXR (uzyskano nim najmniejszy błąd RMS XY pomiaru stanowiska S\_1). Wyniki zamieszczone w tabeli 2 wskazują na dwukrotne i większe pogorszenie wyznaczenia pozycji pod okapem drzewostanu w porównaniu z obiektami mierzonymi w obszarze odsłoniętego horyzontu.

Tabela 1. Zestawienie błędów pomiaru punktu S\_1 na powierzchni badawczej TR2 pod okapem drzewostanu (pomiar różnymi odbiornikami, faza fenologiczna – drzewostan ulistniony, referencja – pomiar tachimetryczny)

Odbiornik	Tryb pomiaru	Błąd X [m]	Błąd Y [m]	Błąd Z [m]	RMS XY [m]	RMS XYZ [m]
Trimble 6000 GeoXR	RTK	-0.04	-0.01	-0.28	0.04	0.28
CHC - X900	RTK	-0.03	-0.08	0.05	0.09	0.10
CHCX20	dGPS, pomiar statyczny	0.03	0.27	-0.42	0.27	0.50
CHCX20	dGPS, szybki pomiar	0.53	0.89	-0.50	1.03	1.15
TOPCON GRS-1	RTK	1.21	0.63	-1.37	1.36	1.94
MM120	RTK	-0.80	0.64	nie wyznaczano	1.02	nie wyznaczano
SXBlue II	dGNSS	0.63	-1.19	nie wyznaczano	1.35	nie wyznaczano
MM 10	dGPS	-1.93	-1.01	nie wyznaczano	2.18	nie wyznaczano
Trimble Pathfinder ProXRS	dGPS	-0.53	-0.06	1.60	0.53	1.69
Garmin eMap	GPS	3.0	3.8	0.3	4.8	4.9
Garmin OREGON 550	GPS	1.0	-2.2	1.3	2.4	2.7
Garmin eTrex	GPS	4.0	0.8	1.3	4.0	4.3

Tabela 2. Zestawienie błędów pomiarowych punktu referencyjnego na powierzchni badawczej w drzewostanie oraz w terenie otwartym - rejon Drogi Królewskiej (w odniesieniu do pozycji punktów wyznaczonej rejestratorem Trimble 6000 GeoXR)

Odbiornik	Droga Królewska		Powierzchnia testowa TR2 pod okapem drzewostanu (punkt S_1)	
	RMS XY [m]	RMS XYZ [m]	RMS XY [m]	RMS XYZ [m]
CHC - X900	0.04	0.05	0.04	0.18
CHC - X20	0.06	0.11	0.23	0.22
Trimble Pathfinder ProXRS	0.11	0.77	0.49	1.41

Dla porównania dokładności pomiaru pod okapem drzewostanu oraz w przestrzeni otwartej (rejon Drogi Królewskiej) dokonano zestawienia (tabela 2) wyników pomiarów wykonanych wybranymi precyzyjnymi odbiornikami geodezyjnymi oraz kartograficznymi. Jako odbiornik porównawczy wybrano Trimble 6000 GeoXR (uzyskano nim najmniejszy błąd RMS XY pomiaru stanowiska S\_1). Wyniki zamieszczone w tabeli 2 wskazują na

dwukrotne i większe pogorszenie wyznaczenia pozycji pod okapem drzewostanu w porównaniu z obiektami mierzonymi w obszarze odsłoniętego horyzontu.

Dla pomiarów dokonanych odbiornikami kartograficznymi w trybie dGPS wykonano porównanie (tabela 3) wyznaczenia lokalizacji punktu w drzewostanie jak i w terenie otwartym (rejon Drogi Królewskiej), w zależności od długości trwania pomiaru oraz od fazy fenologicznej drzewostanu (pomiaru dokonano w kwietniu 2012 – okres bezlistny, w lipcu i wrześniu 2012 – okres ulistnienia; odbiornik Trimble Pathfinder ProXRS). Wyniki zamieszczone w tabeli 3 wskazują, na około dwukrotne zwiększenie dokładności lokalizacji przestrzennej, przy zwiększonej dwu, trzy krotnie liczbie epok pomiarowych. Oczywiście na zasadniczą dokładność pomiaru ma wpływ okres (pora roku) wykonywania pomiarów, z uwagi na fazy fenologiczne drzewostanu.

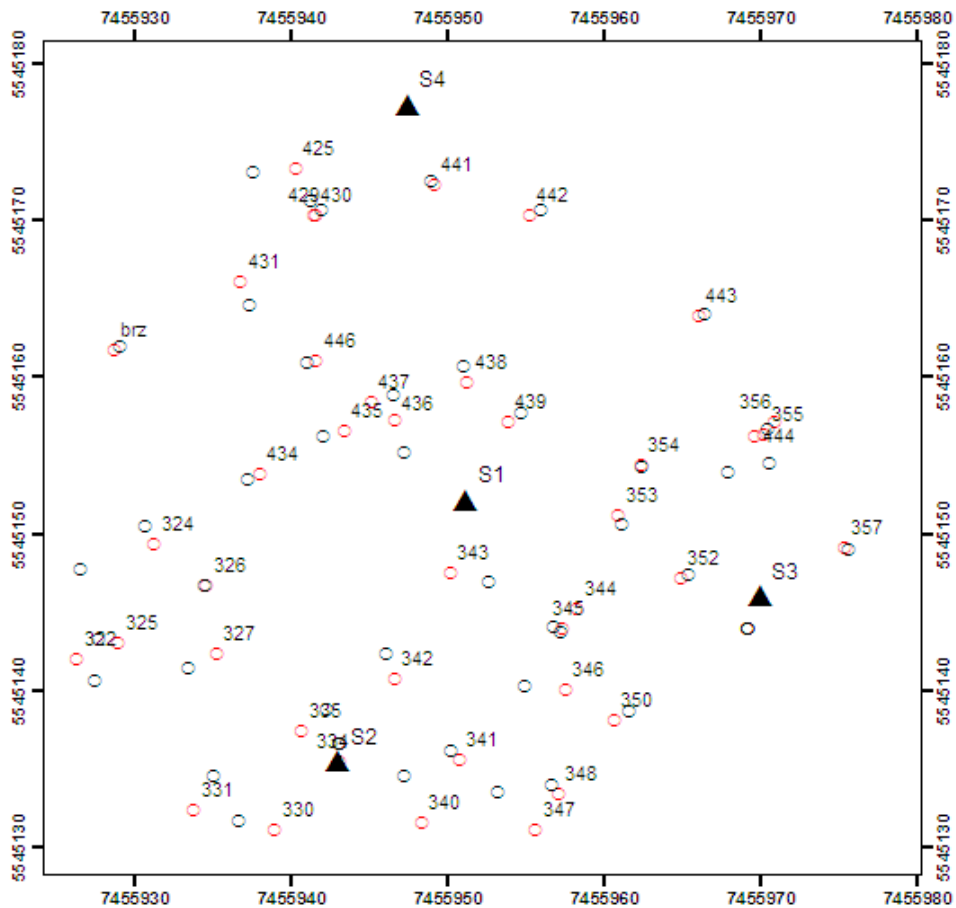
Tabela 3. Zestawienie błędów pomiarowych punktów: pod okapem drzewostanu i w terenie otwartym (rejon Drogi Królewskiej) w zależności od fazy fenologicznej drzewostanu oraz długości pomiaru (pomiar dGPS odbiornikiem Trimble Pathfinder ProXRS)

Lokalizacja punktu	Faza fenologiczna	Liczba epok	Błąd X [m]	Błąd Y [m]	Błąd Z [m]	RMS XY [m]	RMS XYZ [m]
Drzewostan (punkt S_1)	bez liści	100	1.04	0.99	1.61	1.44	2.16
		300	-0.53	-0.06	1.60	0.53	1.69
	aparat asymilacyjny	100	1.32	0.69	2.11	1.49	2.58
		300	1.15	-0.39	2.23	1.21	2.54
		600	-0.06	-0.64	1.40	0.64	1.54
		300	0.10	0.11	-0.72	0.15	0.74
Droga Królewska	aparat asymilacyjny	100	-0.24	0.17	-1.35	0.30	1.39
		300	0.10	0.11	-0.72	0.15	0.74

Przeanalizowano także wyniki pomiarów 42 pni drzew w obrębie powierzchni badawczej TR2 w zakresie dokładności pomiaru w okresie ulistnionym w trybie pomiaru GPS oraz dGPS (pomiar odbiornikiem Trimble Pathfinder ProXRS), w odniesieniu do lokalizacji przestrzennej pni drzew, wynikającej z pomiarów tachymetrycznych oraz z przetworzenia danych skanowania naziemnego (rys. 3, tabela 4). Obserwując wyniki z tabeli 4 można stwierdzić, iż w trybie pomiaru dGPS uzyskano prawie dwukrotne zwiększenie średniej dokładności lokalizacji przestrzennej mierzonych pni drzew w porównaniu do pomiarów GPS (wyniki pomiarów GPS/dGPS odniesione do danych referencyjnych – pomiarów tachymetrycznych i TLS).



Pomiary GNSS w przestrzeni leśnej przy wykorzystaniu różnej klasy odbiorników oraz wybranych trybów pomiaru.

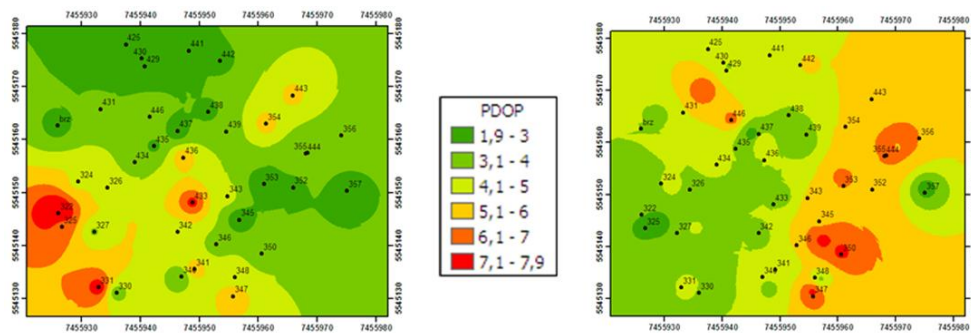


Rys. 3. Lokalizacja drzew w obrębie powierzchni kołowej (kolor czerwony – pomiar dGPS, drzewostan ulistniony; kolor czarny – dane referencyjne)

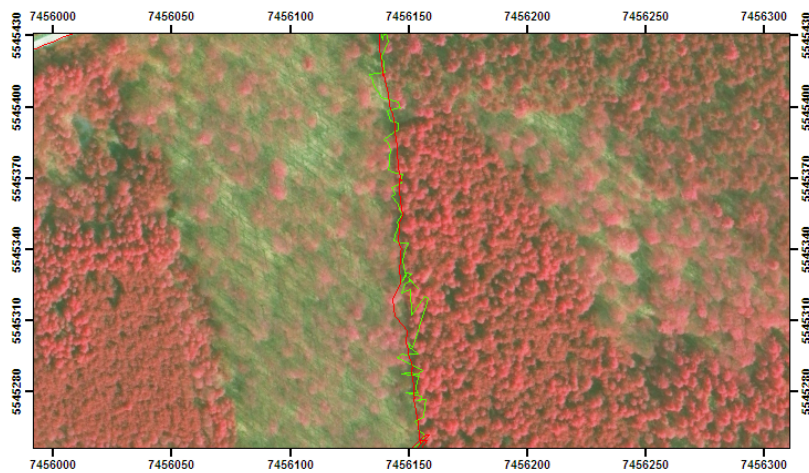
Tabela 4. Wyniki pomiarów pni drzew w obrębie powierzchni TR2, odniesione do lokalizacji uzyskanej z pomiarów tachimetrycznych oraz TLS (pomiar odbiornikiem Trimble Pathfinder ProXRS, drzewostan ulistniony)

Tryb pomiaru	Wartość wyznaczana	Różnica X [m]	Różnica Y [m]	Wartość bezwzględna różnic X [m]	Wartość bezwzględna różnic Y [m]	RMS XY [m]
dGPS	Średnia	0.31	-0.47	0.95	1.01	1.4
	Odch. stand.	1.17	1.30	0.73	0.94	-
GPS	Średnia	1.65	0.66	1.87	1.57	2.4
	Odch. stand.	1.63	1.82	1.37	1.11	-

Dla uzupełnienia wyników pomiarów punktowych prowadzonych w przestrzeni leśnej sporządzono mapy rozkładu PDOP (rys. 4), jako wartości charakteryzującej błąd wykonywanych pomiarów GPS (pomiar odbiornikiem Trimble Pathfinder ProXRS). W celu określenia przestrzennego rozmieszczenia wartości PDOP wykonano interpolację metodą IDW (Inverse Distance Weighted; Isaaks, Mohan Sirivastava, 1989) dla pomiarów lokalizacji poszczególnych pni drzew na powierzchni testowej TR2. Analizując rozmieszczenie przestrzenne wartości PDOP w drzewostanie łatwo zauważyć, że większość obszarów o wyższym PDOP jest w miesiącach letnich (drzewostan ulistniony).



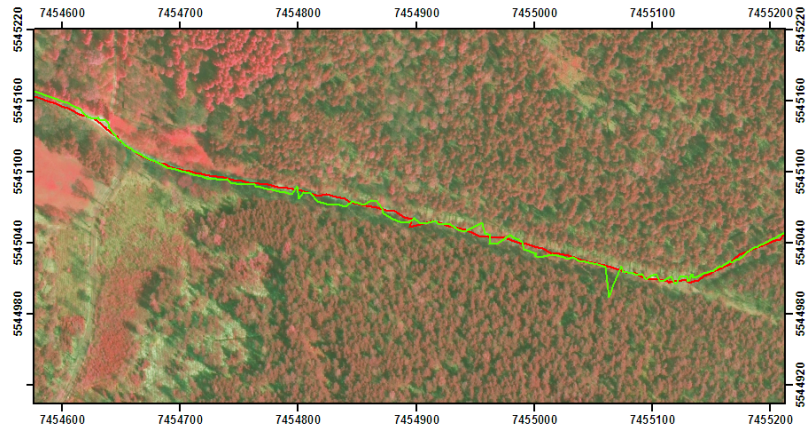
Rys. 4. Charakterystyka pomiarów GPS – PDOP, w różnych fazach fenologicznych drzewostanu (po lewej – drzewostan bezlistny, po prawej – drzewostan ulistniony)



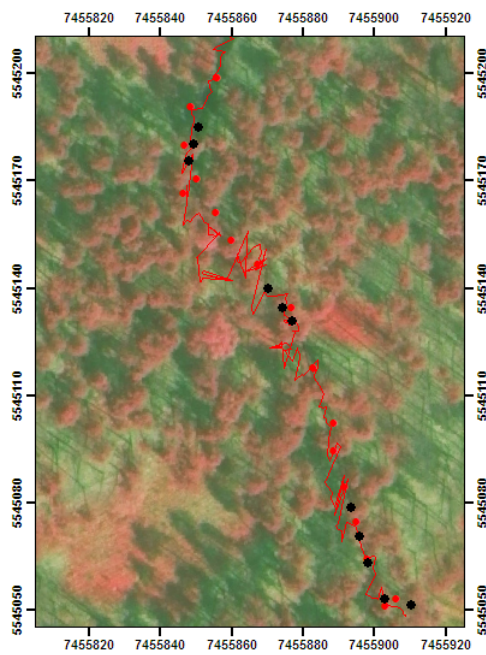
Rys. 5. Przebieg drogi leśnej – wyniki ciągłych pomiarów liniowych (kolor zielony – GPS; kolor czerwony – dGPS)

Kolejnym etapem prac było dokonanie testów pomiarów GPS w zakresie elementów liniowych. Pomiary te wykonano odbiornikiem Trimble Pathfinder ProXRS, korekcję przeprowadzono w oparciu o poprawki ze stacji bazowej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Porównano przebieg drogi leśnej wyznaczonej w trybie ciągłego pomiaru liniowego GPS oraz dGPS (rys. 5), trasy Drogi Królewskiej przebytej z odbiornikiem umieszczonym na dachu samochodu, z różną prędkością przejazdu (pomiar dGPS; rys.6)

oraz lokalizację rowu melioracyjnego, wyznaczoną z zastosowaniem pomiaru punktowego i liniowego (oba warianty jako dGPS; rys.7).

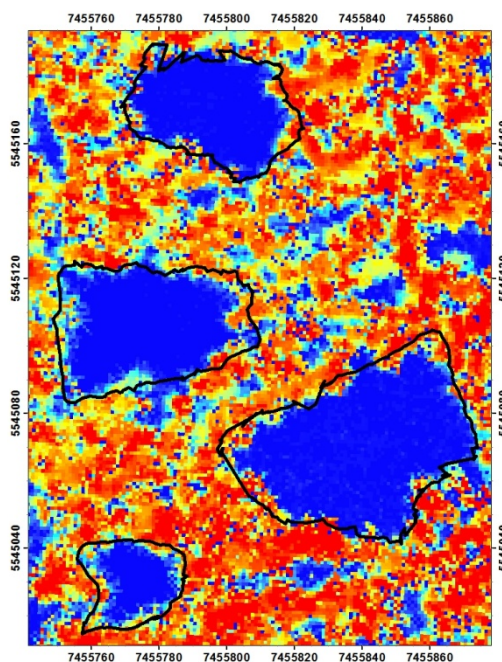


Rys. 6. Pomiar dGPS Drogi Królewskiej z odbiornikiem umieszczonym na dachu samochodu (kolor zielony – prędkość 30-60 km/h; kolor czerwony – prędkość < 30 km/h)



Rys. 7. Lokalizacja rowu melioracyjnego – wyniki pomiaru punktowego (kolor czerwony – pomiar dGPS; kolor czarny – pomiar tachymetryczny) i liniowego (pomiar dGPS)

Ostatnim elementem badań było dokonanie testów w zakresie pomiarów elementów powierzchniowych. Wyznaczono obszary luk w drzewostanie (rys. 8). Pomiarzy te wykonano odbiornikiem Trimble Pathfinder ProXRS w trybie dGPS (korekcja w oparciu o poprawki ze stacji bazowej UR w Krakowie). Dodatkowo założono dla jednej z luk w drzewostanie – testowy obiekt powierzchniowy – trójkąt równoboczny o boku 6.60 m. Wyznaczono pole powierzchni trójkąta testowego na podstawie pomiarów, przeprowadzonych różnymi typami odbiorników GPS/GNSS. Różnice w polu powierzchni trójkąta testowego wyniosły: 0.06 m<sup>2</sup> dla Trimble 6000 GeoXR (pomiar RTK), 0.5 m<sup>2</sup> dla CHCX20 (pomiar statyczny z uwzględnieniem poprawek sieci ASG-EUPOS) oraz 1.1 m<sup>2</sup> dla Trimble Pathfinder ProXRS (pomiar dGPS, poprawki ze stacji referencyjnej UR).



Rys. 8. Lokalizacja elementów powierzchniowych (pomiar dGPS, referencja - nDSM)

## 5. PODSUMOWANIE

Wyniki pomiarów dokonywanych w drzewostanach są stosunkowo rzadko publikowane w literaturze fachowej. Geodeci zajmujący się precyzyjnymi pomiarami fazowymi, dGPS i RTK unikają obszarów z występującymi zadrzewieniami, a tym bardziej samego lasu. Publikowane już opracowania z zakresu stosowania technologii pomiarów GPS w terenach leśnych (Brach 2012; Grala, Brach 2009; Kuliesis, Bajorunas 1999; Kraszkiewicz 2000; Stereńczak, Brach 2006; Węzyk 2004) przedstawiają wyniki badań, które dość trudno mogą być ze sobą porównywane. Wynika to ze stosowania różnego typu odbiorników, odmiennej metodyki obserwacji GPS jak i odmiennych warunków środowiskowych. Przykładowo warunki drzewostanowe jakie występują w Skandynawii różnią się zwykle diametralnie od warunków Polski czy lasów Montany (USA). Nie mniej

jednak problem jest niezmiernie istotny z uwagi na potrzebę monitorowania i zarządzania zasobami przyrodniczymi. Stąd też w niniejszym artykule podjęto próbę ustalenia możliwości wykonywania pomiarów GNSS w przestrzeni leśnej, przy wykorzystaniu różnej klasy odbiorników oraz wybranych trybów pomiaru.

Na podstawie przedstawionych wyników można wysnuć kilka wniosków co do prowadzenia pomiarów pod okapem drzewostanu, jak i w obszarach otwartych w przestrzeni leśnej. W pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na właściwości techniczne samych odbiorników: geodezyjnych, kartograficznych i turystycznych (dokładności wyznaczenia pozycji od centymetrów, poprzez decymetry, aż do metrów) oraz na możliwość wykonania pomiarów np. dla pomiarów RTK - dostępność do sieci telefonii komórkowej w terenie zalesionym. Następnym aspektem jest możliwość uzyskania określonej dokładności lokalizacji obiektów punktowych, liniowych i poligonowych w drzewostanie. Wyniki pomiarów prowadzonych w terenach leśnych pod okapem drzewostanu w porównaniu z mierzonymi obiektami w obszarze odsłoniętego horyzontu wskazują na kilkukrotne pogorszenie wyznaczenia pozycji. Dla odbiorników kartograficznych zasadne jest w przestrzeni leśnej prowadzenie pomiaru w trybie dGPS, jak i w miarę możliwości stosowanie pomiarów o zwiększonej liczbie epok pomiarowych - można uzyskać prawie dwukrotne zwiększenie dokładności lokalizacji przestrzennej przy zwiększonej dwu, trzykrotnie liczbie epok pomiarowych. Nie bez znaczenia jest oczywiście okres (pora roku) wykonywania pomiarów, z uwagi na fazy fenologiczne drzewostanu. Analizując rozmieszczenie przestrzenne wartości PDOP w drzewostanie łatwo zauważyć, że większość obszarów o wyższym PDOP występuje w miesiącach letnich i w związku z tym, w tym okresie dla podniesienia dokładności pomiaru, konieczne będzie wykonanie pomiarów o zwiększonej liczbie epok. Potwierdzają to także wyniki wyznaczenia lokalizacji pni drzew w odniesieniu do danych referencyjnych, określone dla dwóch dat pomiarów: kwiecień – okres bezlistny oraz lipiec – drzewostan ulistniony.

W przypadku pomiaru elementów liniowych i poligonowych zdecydowanie zalecany jest pomiar dGPS. Jeżeli zachodzi możliwość pomiaru punktów załamania elementów liniowych, a nie tylko ciągłego pomiaru liniowego to również może to podnieść dokładność wyznaczenia przebiegu elementów liniowych, czy też granic obiektów powierzchniowych.

## 6. LITERATURA

Antosiewicz M., Węzyk P., 2005. GPS w zarządzaniu informacją o środowisku. *Roczniki Geomatyki*. 3 (3), 125-133.

Brach M., 2012. Analiza dokładności wyznaczania współrzędnych wybranymi odbiornikami GNSS w środowisku leśnym. *SYLWAN*. 156 (1), 47-56.

Grała N., Brach M., 2009. Analysis of GNSS receiver in the forest environment. *Roczniki Geomatyki*. Tom VII, zeszyt 2(32), 41-45.

Isaaks E. H., Mohan Sirivastava R., 1989: *Applied Geostatistics*. Oxford University Press.

Stereńczak K., Brach M. 2006. Wykorzystanie GPS i dalmierza laserowego w praktyce leśnej. *Roczniki Geomatyki*, Tom VI, zeszyt 4, 67-74.

Karaszkiwicz W., 2000. GPS jako narzędzie do badania dokładności kartometrycznej i aktualizacji leśnych map numerycznych. Warszawa.

Kuliesis A., Bajorunas A., 1999. Study on GPS technology application in Lithuanian forest survey. In: Conference Proceedings: Remote Sensing and Forest Monitoring. IUFRO. Rogów 1-3, 154-166.

Standard Leśnej Mapy Numerycznej, obowiązujący na 31 lipca 2005r. Zarządzenie nr 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z 23 sierpnia 2001r. w sprawie zdefiniowania standardu leśnej mapy numerycznej dla poziomu nadleśnictwa oraz wdrażania systemu informacji przestrzennej w nadleśnictwach.

Wężyk P., 2004. Mity i fakty dotyczące stosowania GPS w leśnictwie. *Roczniki Geomatyki*. 2 (4), 19-32.

Wężyk P. 2012. The integration of the Terrestrial and Airborne Laser Scanning technologies in the semi-automated process of retrieving selected trees and forest stand parameters. *Ambiencja*, Vol. 8. 4: 533-548.

Wężyk P., Szostak M., Tompalski P., 2010a. Aktualizacja baz danych SILP oraz LMN w oparciu o dane z lotniczego skaningu laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 21, 2010, 437-445.

Wężyk P., Szostak M., Tompalski P., 2012. Określenie biomasy sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Puszczy Niepołomickiej na podstawie przestrzennego rozkładu chmury punktów naziemnego skaningu laserowego. *Roczniki Geomatyki*. 10, 5(55), 79-89.

Wężyk P., Szostak M., Tompalski P., Zajączkowski G., 2010b. The role of Airborne Laser Scanning in updating and revision of GIS databases - a case study in the Polish State Forest (Chojna District), Proceedings of Silvilaser 2010, *The 10th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems*, 14-17.09.2010, Freiburg, Germany, digital media.



## **GNSS MEASUREMENTS IN FOREST ENVIRONMENT USING VARIOUS RECEIVERS AND MEASUREMENT MODES**

KEY WORDS: GPS, ASG-EUPOS, dGPS, RTK, TLS

### **Summary**

The main aspect of the study was to evaluate the use of GNSS technology for measurement possibilities and obtaining the required position accuracy of objects in a forest area: point (eg. the location of tree trunks, landmarks), linear (eg. roads, paths) and surface (eg. the area of various plant types). The objects position with different measurement modes and various GPS receivers was done, starting from receivers for tourists, cartographs and modern multifrequency and multichannel (NAVSTAR-GPS+ GLONASS) GNSS receivers designed to work with network of reference stations.

The measurements were assessed measuring the required number of sessions conducted in different measurement modes, to obtain an accurate position (defined by Forest Management Guide) of objects in the forest. Test sessions were analyzed in 100, 300, 600 seconds or even hours. Tests performed on different days, months, in different weather conditions, in the open area and under canopy, and for different phenological phases of vegetation (trees with leaves and without leaves).

Evaluation of DGPS position determination was carried out in relation to the results obtained from RTK measurements (lots of hours of observation in the open area), measurements of total station and terrestrial laser scanning (precisely determined positions of tree trunks and course of the drainage ditch).

Dane autorów:

Dr inż. Marta Szostak  
e-mail: rlszosta@cyf-kr.edu.pl  
telefon: +48 12 662 50 76

Dr inż. Piotr Wężyk  
e-mail: rlwezyk@cyf-kr.edu.pl  
telefon: +48 12 662 50 82