

MICHAŁ BRACH

## Analiza dokładności wyznaczania współrzędnych wybranymi odbiornikami GNSS w środowisku leśnym\*

Accuracy analysis for determination of coordinates by the selected GNSS receivers in the forest environment

### ABSTRACT

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

Forest digital maps have practical application provided, *inter alia*, their continuous updating by employing reliable measurement methods. Satellite navigation technology is an excellent source of geometric data. The paper presents an analysis of the positioning accuracy for five navigation receivers of different classes used to measure X, Y, Z coordinates in the forest environment. The measurements were conducted using a network of reference stations ASG-EUPOS. The error analysis was based on the precisely measured geodetic control network

### KEY WORDS

forest geodesy, satellite navigation, GNSS, ASG-EUPOS, DGPS

### ADDRESSES

Michał Brach – e-mail: Michal.Brach@wl.sggw.pl

Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa; SGGW; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

### Wstęp

System nawigacji satelitarnej zyskał dużą popularność w leśnictwie. Jest to bowiem szybkie i proste narzędzie do uzyskania w miarę dokładnej lokalizacji. Pozwala na rejestrację punktów, przebiegu linii i obliczanie powierzchni. W praktyce znajduje zastosowanie w wyznaczaniu granic wyłączeń drzewostanowych, lokalizacji położenia powierzchni próbnych, składów drewna czy drzew pomnikowych, drzewostanów nasiennych lub stanowisk rzadkich roślin i wielu innych obiektów związanych z przestrzenią gospodarstwa leśnego.

Bolstad i in. [2005] stwierdzili, że największą dokładność można uzyskać stosując odbiorniki sygnałów satelitarnych klasy geodezyjnej. Zastosowana w nich technologia pomiarów fazowych pozwala na uzyskanie centymetrowej dokładności. Odbiorniki te są jednak drogie i niepraktyczne w zastosowaniach leśnych ze względu na swoje gabaryty i problem z utrzymaniem ciągłości pomiaru fazowego pod okapem drzewostanu, polegającego na ciągłym śledzeniu fazy fali nośnej. Problem ten w mniejszym stopniu dotyka tańsze i prostsze odbiorniki kodowe klasy GIS. Bazują one bowiem na pomiarze odległości z wykorzystaniem kodu C/A, dostarczając wyniki o dokładności mniejszej, lecz na poziomie akceptowalnym przez leśników. Odbiorniki kodowe wyznaczają odległość w oparciu o porównanie fragmentu kodu C/A z satelity z tą samą częścią kodu generowaną w urządzeniu [Brach 2010]. Wyniki otrzymywane są błyskawicznie, stąd też

\* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy N N309 114137 „Analiza dokładności pomiaru współrzędnych w środowisku leśnym z wykorzystaniem odbiornika GNSS”.

w miejscach o ograniczonej dostępności do sygnału (drzewostan) zdecydowanie łatwiej jest zarejestrować poprawne obserwacje.

Prace badawcze, związane z przydatnością pomiarów GNSS (Global Navigation Satellite Systems) w środowisku leśnym, prowadzone są od wielu lat. Podyktowane jest to między innymi zarządzeniem nr 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 23 sierpnia 2001 roku, które umożliwiło stosowanie pomiarów satelitarnych jako wiarygodnej metody do aktualizacji leśnej mapy numerycznej. Warto zauważyć, że ówczesne odbiorniki zapewniały dokładność rzędu kilkudziesięciu metrów [Antosiewicz, Wężyk 2005].

Wykorzystanie systemów pozycjonowania satelitarnego istotnie poprawia efektywność wykonywanych prac szczególnie związanych z zarządzaniem i ochroną lasu [Bakuła i in. 2006]. Ważnym elementem związanym ze stosowaniem tej technologii w środowisku leśnym jest konieczność posiadania wiedzy na temat dokładności pomiarów oraz przyczyn powstawania błędów. Stosowanie odbiorników nawigacyjnych jako alternatywy dla tradycyjnych metod pomiarowych powinno być poprzedzone badaniami nad ich dokładnością [Owari i in. 2009].

Warto zwrócić uwagę, że parametry dokładnościowe podawane przez producentów sprzętu niejednokrotnie są zawyżane, a wyniki pomiarów w specyfikacji sprzętu, w większości przypadków, dotyczą rejestracji sygnałów satelitarnych w terenie otwartym.

Lepszą dokładność pomiarową można uzyskać między innymi poprzez:

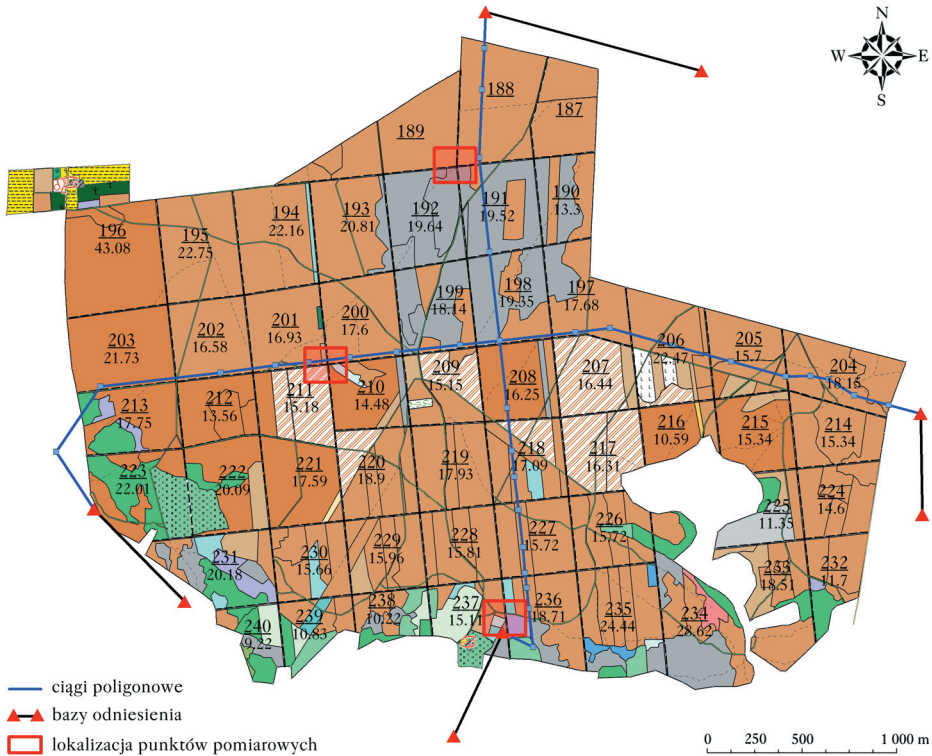
- modyfikację sprzętu i oprogramowania (lepsze anteny, śledzenie większej liczby częstotliwości, modyfikacje w oprogramowaniu pozwalające uniknąć sygnałów odbitych, np. Everest Trimble),
- zastosowanie metody korekcji różnicowej (DGPS),
- zwiększenie liczby rejestrowanych danych dla pojedynczego punktu i ich uśrednienie,
- połączenie kodowej i fazowej metody pomiarów.

Wielkość błędu wyznaczania współrzędnych może zależeć od zadrzewienia, ukształtowania terenu czy konfiguracji urządzenia [Bolstad i in. 2005]. Środowisko leśne stwarza trudne warunki dla pomiarów satelitarnych. Korony drzew ograniczają możliwość przenikania sygnałów satelitarnych, zaś liście, gałęzie oraz bogaty podszyt przyczyniają się do powstawania zjawiska wielotorowości (odbior sygnałów odbitych), a niekiedy całkowicie uniemożliwiają odbiór sygnału [Yoshimura, Hasegawa 2003]. Mimo to, w odróżnieniu od przeszkód takich jak budynki, które kompletnie blokują sygnał satelitarny, las dzięki swojej azurowości i pewnej widoczności nieba pozwala na dostęp części sygnałów do odbiornika znajdującego się pod okapem drzewostanu [Cole 2004].

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę głębszej analizy wybranych odbiorników nawigacyjnych klasy GIS oraz klasy geodezyjnej. Do badań tych skłania fakt rozszerzającej się oferty na rynku oraz istotne obniżenie cen tych urządzeń. Badaniom tym sprzyja ponadto powszechny i ciągle jeszcze darmowy dostęp do źródeł korekcji różnicowej (DGPS) udostępniany przez ogólnopolską sieć ASG-EUPOS [Wajda i in. 2008]. Dodatkowym elementem jest wykorzystanie odbiorników GNSS charakteryzujących się możliwością pracy jednocześnie z systemem GPS Navstar oraz GLONASS.

## **Materiał i metody**

Powierzchnie badawcze zlokalizowano na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Rogowie. Ze względu na dostępność do dokładnie pomierzonych i zastabilizowanych punktów pomiarowych wybrano uroczysko Głuchów, będące zwartym kompleksem leśnym o powierzchni około 900 hektarów. Dodatkowym atutem obiektu jest duże zróżnicowanie drzewostanów oraz ciekawa orografia terenu (ryc. 1).



Ryc. 1.

Uroczysko Głuchów wraz z lokalizacją punktów pomiarowych  
 Głuchów forests including the location of measurement points

Bazą dla wyznaczenia położenia powierzchni badawczych są dwa ciągi poligonowe przechodzące przez uroczysko Głuchów w kierunku północ-południe i wschód-zachód. Współrzędne punktów nawiązania dla ciągów poligonowych pomierzono dwuczęstotliwościowym odbiornikiem GPS serii 4700 firmy Trimble Navigation Ltd. z antenami typu Micro-Centered L1/L2 z błędem nieprzekraczającym 2 cm dla współrzędnych X i Y, a dla wysokości elipsoidalnych – 3 cm. Ciągi poligonowe wyrównano sieciowo, uzyskując średni błąd położenia punktu wynoszący 6 cm. Niwelacja geometryczna pozwoliła na uzyskanie średniej odchyłki wahającej się w granicach 3-8 cm w zależności od ciągu. W miejscach o dużej różnorodności drzewostanów oraz położonych w bezpośrednim sąsiedztwie ciągów poligonowych, zastabilizowano 36 punktów pomiarowych (tab. 1). Stosując biegunową metodę pomiaru sytuacji i trygonometryczny model pomiaru różnicy wysokości, obliczono współrzędne X, Y, Z wszystkich punktów.

Do pomiarów wykorzystano pięć różnych odbiorników do nawigacji satelitarnej (tab. 2, ryc. 2). Klasa GIS reprezentowana była przez odbiornik Trimble Pathfinder ProXH, pozostałe zaś reprezentują klasę geodezyjną. Wyjątkiem jest urządzenie Topcon GR-3, które po odłączeniu zewnętrznej anteny może pracować jako odbiornik klasy GIS. Jest więc znakomitą alternatywą dla użytkowników wymagających w swoich pracach możliwości łączenia pomiarów typowo nawigacyjnych z opcją uzyskania dużej dokładności, wymaganej dla prac typowo geodezyjnych.

Czynnością poprzedzającą pomiar na wybranych powierzchniach badawczych było udokumentowanie procentu widoczności nieba przy zastosowaniu techniki zdjęć hemisferycznych

Tabela 1.

Podstawowe informacje o drzewostanach, w których znajdują się punkty pomiarowe  
Basic information about stands with measurement points

Kategoria drzewostanu	Nr powierzchni badawczych [wiek]	Oddział – wydzielenie	Gatunek panujący	Zwarcie	Wysokość	Zagęszczenie
Brz 19-42	2 (19); 3 (19)	237-g-00	Brz	Pełne	14	Duże
Św 50	4 (50); 5(50); 6 (50)	236-f-00	Św	Pełne	21	Duże
Brz 19-42	7 (42); 8 (42); 9 (42)	236-d-00	Brz	Pełne	20	Duże
So 72-110	1 (72); 10 (72); 11 (72); 12 (72)	237-a-00	So	Umiarkowane	26	Umiarkowanie duże
So 72-110	13 (110); 14 (110)	210-b-00	So	Umiarkowane	26	Umiarkowanie duże
So 72-110	15 (104); 16 (104); 17 (104); 18 (104)	211-a-00	So	Umiarkowane	26	Umiarkowanie duże
So 72-110	19 (90); 20 (90)	201-a-00	So	Umiarkowane	25	Umiarkowanie duże
So 17	21 (17)	201-c-00	So	Umiarkowane	3	Umiarkowanie duże
So 61-88	22 (88); 23 (88); 24 (88)	200-a-00	So	Pełne	25	Duże
So 61-88	31 (61); 32 (61); 33 (61)	188-a-00	So	Pełne	23	Duże
So 61-88	34 (64); 35 (64); 36 (64)	189-a-00	So	Pełne	24	Duże
Db 80-84	28 (80); 29 (80); 30 (80)	191-a-00	Db	Pełne	24	Duże
Db 80-84	25 (84); 26 (84); 27 (84)	192-a-00	Db	Pełne	23	Duże

Tabela 2.

Charakterystyki wykorzystanych odbiorników nawigacyjnych (na podstawie danych producentów)  
Characteristics of the analysed receivers (according to the producer data)

	Topcon GRS-1	Topcon GR-3	Topcon HiperPro	Trimble Pathfinder ProXH	Trimble 5800
Ilość kanałów	72	72	40	12	24
Śledzone sygnały	GPS L1, L2, L2C, GLONASS, WAAS/EGNOS	GPS L1, L2, L2C, L5, GLONASS, GALILEO, WAAS/EGNOS	GPS L1, L2, GLONASS, WAAS/EGNOS	GPS L1	GPS L1, L2, WAAS/EGNOS
Częstotliwość pomiaru	do 10 Hz	20 Hz	1-20 Hz	1 Hz	1 Hz
Dokładności					
RTK poziomo	±10 mm+1 ppm	±10 mm+1 ppm	±10 mm+1 ppm	Brak danych	±10 mm+1 ppm
RTK pionowo	±15 mm+1 ppm	±15 mm+1 ppm	±15 mm+1 ppm	Brak danych	±20 mm+1 ppm
Static poziomo	±3 mm+0,8 ppm	±3 mm+0,5 ppm	±3 mm+0,5 ppm	0,5 m	±5 mm+0,5 ppm
Static pionowo	±4 mm+1 ppm	±5 mm+0,5 ppm	±5 mm+0,5 ppm	0,5 m	±5 mm+1 ppm
DGPS	0,5m	Brak danych	Brak danych	<1m	Brak danych

(ryc. 3 i 4). Obliczeń dokonano za pomocą oprogramowania GLA. W trakcie rejestracji sygnałów satelitarnych zapisano wartość współczynnika PDOP, opisującego konstelację satelitów i zestawiono ją z wartością teoretyczną dla tej lokalizacji, odczytaną z depeszy satelitarnej (ryc. 5).

Wszystkie odbiorniki nawigacyjne rejestrowały sygnały w tym samym czasie, a więc warunki obserwacji były takie same. Pomiar wykonywano w okresie wegetacyjnym w początku czerwca 2010 roku. Antena została umieszczona na spionowanej i ustabilizowanej tyczce o wysokości dwóch metrów. Każdy odbiornik podłączony był do sieci ASG-EUPOS za pomocą łącza internetowego. Ostateczne wartości współrzędnych obliczono po uśrednieniu jednonumutowego zapisu sygnałów satelitarnych.

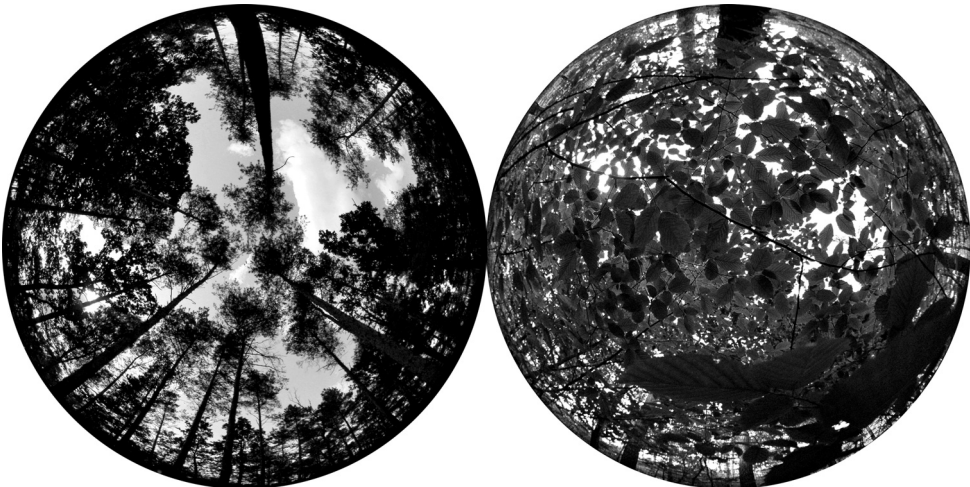
Analiza danych polegała na obliczeniu średniej arytmetycznej różnicy (*Bias*) poszczególnych współrzędnych X, Y oraz Z według wzoru:



Ryc. 2.

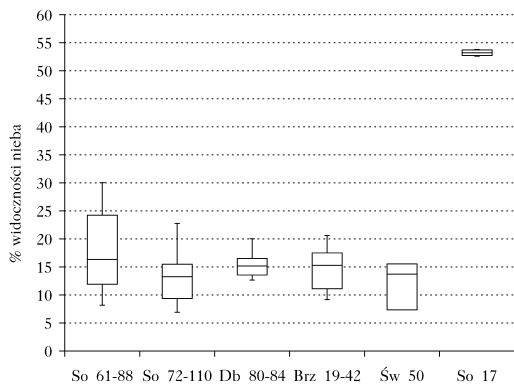
Wybrane model odbiorników (od lewej): Trimble 5800, Trimble Pathfinder ProXH, Topcon GR-3 oraz Topcon HiperPro

Selected receivers (from the left): Trimble 5800, Trimble Pathfinder ProXH, Topcon GR-3 and Topcon HiperPro



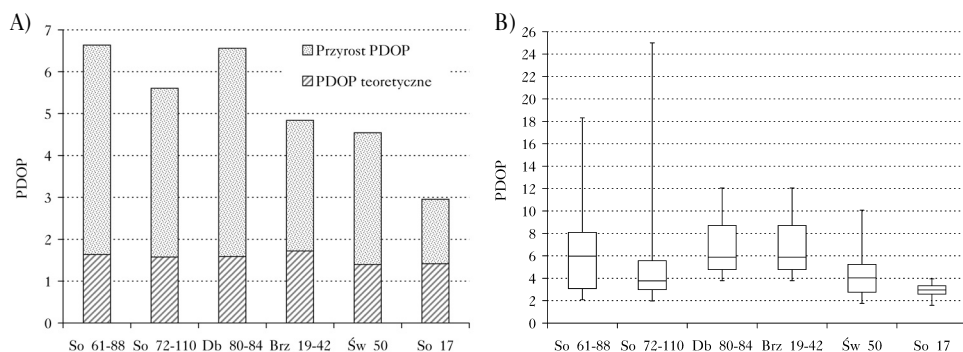
Ryc. 3.

Widoczność nieba wynosząca 30% (lewo) i 7% (prawo)  
 Sky visibility of 30% (left) and 7% (right)



Ryc. 4.

Zmienność procentu widoczności nieba w wybranych kategoriach drzewostanów  
Variability in the percentage of the visible sky in the selected forest stand categories



Ryc. 5.

Przyrost (A) i zmienność (B) współczynnika PDOP w wybranych kategoriach drzewostanów  
Increase (A) and variability (B) on the PDOP index in the selected forest stand categories

$$Bias_{x,y,z} = \frac{\sum_{i=1}^n (GNSS - GEO)}{n}$$

gdzie:

$GNSS$  – współrzędna wyznaczona odbiornikiem nawigacyjnym,  
 $GEO$  – współrzędna referencyjna z pomiarów geodezyjnych,  
 $n$  – liczba pomiarów.

Ponadto obliczono błąd średni wyznaczenia poszczególnych współrzędnych:

$$M_{x,y,z} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}}$$

gdzie:

$d$  – różnica współrzędnych wyznaczonych odbiornikiem nawigacyjnym i geodezyjnym,  
 $n$  – liczba pomiarów.

Błąd średni wyznaczania położenia punktu określono na podstawie wzoru:

$$M_p = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

gdzie:

$M_x$  – błąd średni współrzędnej  $X$ ,  
 $M_y$  – błąd średni współrzędnej  $Y$ .

Dokonano także analizy korelacji uzyskanych błędów z wartością PDOP, zadrzewieniem, wiekiem oraz procentem widoczności nieba. W żadnym przypadku nie znaleziono istotnego związku między badanymi cechami.

### Wyniki

Średnia różnica wyznaczania rzędnej X wahała się od  $-0,79$  do  $+0,11$  w zależności od typu drzewostanu i od  $-0,62$  do  $-0,04$  w zależności od użytego odbiornika. W przypadku współrzędnych Y i Z zakresy wynosiły odpowiednio od  $-0,32$  do  $+0,26$  i od  $1,60$  do  $3,19$  w różnych typach drzewostanu oraz od  $-0,25$  do  $+0,14$  i od  $1,38$  do  $3,27$  w zależności od odbiornika (tab. 3). Średni błąd wyznaczania współrzędnych X i Y poszczególnymi typami odbiorników wyniósł od około  $1,31$  do  $2,65$  m, a współrzędnej Z – od  $2,34$  do  $4,12$  m (ryc. 6). W przypadku różnych typów drzewostanów odpowiednie wartości wynosiły od  $1,09$  do  $1,94$  m oraz od  $2,66$  do  $4,52$  m (ryc. 7).

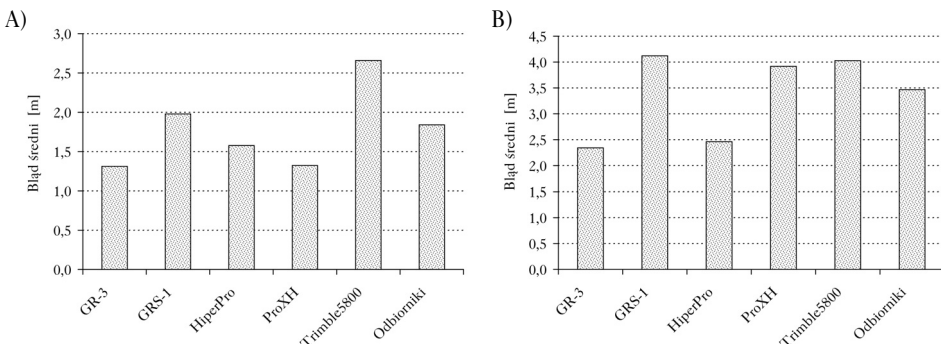
### Dyskusja

Uzyskane wyniki pozwalają wskazać na dużą przydatność odbiorników nawigacyjnych w środowisku leśnym. Termin wykonywania pomiarów wybrano nieprzypadkowo, ponieważ okres początku wegetacji cechuje się silnym rozwojem roślinności mogącej potencjalnie wpłynąć na ostateczne wyniki (ryc. 4). Dość dobrze zjawisko to obrazuje analiza współczynnika PDOP w poszczególnych drzewostanach (ryc. 5). Zaobserwować można bowiem, że praktycznie we wszystkich drzewostanach wartość PDOP zwiększa się ponad dwukrotnie. Sytuacja ta może

Tabela 3.

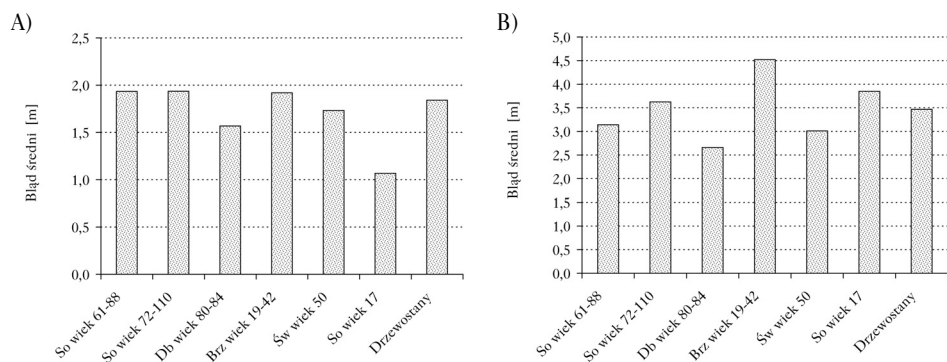
Średnia różnica rzędnych [m] dla poszczególnych odbiorników nawigacyjnych i kategorii drzewostanów  
 Mean differenc of coordinate [m] for individual receivers and forest stand types

Drzewostan	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	Odbiornik	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
So 61-88	0,11	0,26	2,14	GR-3	-0,25	0,06	1,38
So 72-110	-0,50	-0,11	2,57	GRS-1	-0,48	-0,25	3,27
Db 84-88	-0,18	-0,09	1,60	HiperPro	-0,62	0,08	1,84
Brz 19-42	-0,79	-0,21	3,19	ProXH	-0,06	0,14	3,22
Św 50	-0,02	-0,32	2,19	Trimble5800	-0,04	-0,21	2,07
So 17	-0,29	0,20	2,48				
Łącznie	-0,29	-0,04	2,36	Łącznie	-0,29	-0,04	2,36



Ryc. 6.

Błąd średni wyznaczania współrzędnych X, Y (A) i Z (B) dla poszczególnych odbiorników  
 Mean error of the X, Y coordinates (A) and Z (B) coordinate determination for individual receivers



Ryc. 7.

Błąd średni wyznaczania współrzędnych X, Y (A) i Z (B) dla poszczególnych odbiorników  
 Mean error of the X, Y coordinates (A) and Z (B) coordinate determination for individual receivers

ulec zmianie w okresie zimowym, szczególnie w drzewostanach liściastych, jednak zważywszy na czas, w którym z reguły wykonuje się prace inwentaryzacyjne i urzędzeniowe, należy brać pod uwagę, że odbiornik nawigacyjny będzie pracować przede wszystkim w okresie wegetacji. Brak istotnego wpływu wartości współczynnika PDOP oraz innych cech taksacyjnych drzewostanów (wysokość, zadrzewienie, wiek, gatunek) na uzyskaną dokładność pozwala utwierdzić się w przekonaniu, że w trudnych warunkach leśnych możliwe jest uzyskanie stabilnych pomiarów. W trakcie rejestracji zaobserwowano co prawda czasowe problemy z dostępem do sygnału satelitarnego, jednak po wznowieniu pracy możliwe było ponowne uzyskanie wiarygodnych wyników. Analizując błędy średnie dla drzewostanów można zaobserwować ich w miarę równe wartości dla współrzędnych X i Y, dające średni błąd  $M_p$  wynoszący  $\pm 1,84$  metra oraz  $\pm 3,46$  metra dla współrzędnej Z (ryc. 6 i 7). Średnia różnica współrzędnych X i Y przyjmuje pomijalne wartości, natomiast w przypadku rzędnej Z znacznie przekracza ona dwa metry (tab. 3). Przyczyny wysokich błędów dla wysokości można upatrywać w wielu nakładających się czynnikach. Przede wszystkim sama konfiguracja satelitów jest niekorzystna dla geometrii przestrzennego wycięcia liniowego, na podstawie którego obliczana jest rzędna punktu. Różnicę w teoretycznej dokładności wyznaczania współrzędnych X i Y w stosunku do wyznaczania współrzędnej Z widać chociażby w wartościach współczynników poziomego rozmycia dokładności HDOP (ang. horizontal dilution of precision) i pionowego rozmycia dokładności VDOP (ang. vertical dilution of precision), opisujących wpływ konstelacji satelitów na poszczególne współrzędne, z których ten drugi jest zwykle większy [Lamparski, Świątek 2007]. Dodatkowo przy określaniu wysokości największy wpływ na dokładność ma zjawisko refrakcji oraz przejście z wysokości elipsoidalnych na normalne [Bosy 2005]. Nie należy zatem oczekiwać wiarygodnych wyników określania wysokości przy pomiarach odbiornikami nawigacyjnymi w środowisku leśnym, ponieważ wielkość błędów jest dość duża.

Interesujące wyniki zaobserwowano w porównaniu błędów uzyskiwanych przez poszczególne odbiorniki. Okazuje się, że stosunkowo tani odbiornik ProXH firmy Trimble daje wyniki zbliżone do zawansowanego i drogiego urządzenia Topcon GR-3. Dzieje się tak między innymi dlatego, że model ProXH oblicza odległości wykorzystując kod C/A, do którego prawidłowe zarejestrowanie wymaga bardzo krótkiego czasu. W przypadku odbiorników fazowych (GR-3, GRS-1, HiperPro i Trimble 5800) konieczne jest utrzymywanie stałej rejestracji sygnału od danego satelity przez dłuższy czas, co w przypadku warunków panujących w drzewostanie jest trudne do



osiągnięcia. Wyraźnie widać też zmiany w samej technologii konstruowania odbiorników. Najnowszy i najbardziej zaawansowany odbiornik GR-3 pozwala uzyskać najlepsze wyniki. Nie zmienia to faktu, że porównanie relacji dokładności do ceny wypada zdecydowanie na korzyść odbiorników kodowych, których zastosowanie w leśnictwie jest jak najbardziej wskazane. Powiększająca się liczba satelitów GNSS pozwoli w czasie na poprawę dokładności pomiarowych oraz ułatwienie dostępu do sygnału satelitarne w środowisku leśnym.

## Podsumowanie

Technologia nawigacji satelitarnej stale się rozwija, przyczyniając się tym samym do zwiększania możliwości jej zastosowań w środowisku leśnym. Badania nad dokładnością odbiorników nawigacyjnych wydają się uzasadnione, mając na względzie liczne błędy w bazie geometrycznej leśnej mapy numerycznej. Niniejsze opracowanie potwierdza przydatność stosowania nawigacji satelitarnej do prac pomiarowych, niemniej jednak wyraźnie pokazuje, że ponoszenie dużych kosztów na wysokiej klasy urządzenia nawigacyjne nie jest w chwili obecnej uzasadnione. Zakup sprawdzonych, markowych odbiorników klasy GIS w połączeniu z powszechnie dostępnym źródłem korekcji różnicowej (ASG-EUPOS) w zupełności wystarcza do realizacji podstawowych zadań pomiarowych.

## Literatura

- Antosiewicz M., Wężyk P. 2005. GPS w zarządzaniu informacją o środowisku. *Roczniki geomatyki* 3 (3).
- Bakuła M., Oszczak S., Pele-Mieczkowska R., Suchocki M., Chrostowska M., Rudziński, M. 2006. Analiza precyzji i dokładności pomiarów GPS w warunkach leśnych. *Roczniki geomatyki* 4 (3).
- Bolstad P., Jenks A., Berkin J., Horne K., Reading W. 2005. A Comparison of Autonomous, WAAS, Real-Time, and Post-Processed Global Positioning system (GPS) accuracies in Northern Forests. *Northern Journal of Applied Forestry* 22 (1).
- Bosy J. 2005. Precyzyjne opracowanie obserwacji satelitarnych GPS w lokalnych sieciach położonych w terenach górskich. *Katedra Geodezji i Fotogrametrii, Wrocław*.
- Brach M. 2010. Globalne systemy nawigacji satelitarnej. W: *Geomatyka w Lasach Państwowych*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa. 437-460.
- Cole A., Stiteler W. M. 2004. Global Positioning System Accuracy under Varying Forest Canopy Conditions. *Proceedings of the 2004 Forest Service Geospatial Conference*.
- Lamparski J., Świątek K. 2007. GPS w praktyce geodezyjnej. Wydawnictwo Gall, Katowice.
- Owari T., Kasahara H., Oikawa N., Fukuoka S. 2009. Seasonal variation of global positioning system (GPS) accuracy within the Tokyo University Forest in Hokkaido. *Bull. Tokyo Univ. For.* 120: 19–28.
- Wajda S., Oruba A., Leończyk M. 2008. Technical details of establishing reference station network ASG-EUPOS, GIS Polonia 2008 Conference Proceedings, University of Silesia, Sosnowiec.
- Yoshimura T., Hasehawa H. 2003. Comparing the precision and accuracy of GPS positioning in forest areas. *Journal of Forest Research, Springer-Verlag Tokyo Inc* 8 (3): 147-152.

## SUMMARY

### Accuracy analysis for determination of coordinates by the selected GNSS receivers in the forest environment

Satellite navigation technology in forestry is in use for a long time. The navigation signal receivers of the new generation appear on the market offering access to a larger number of navigation systems (GPS Navstar, GLONASS). Moreover, the availability of the reference station networks ASG-EUPOS is the additional factor influencing the increasing popularity of this measurement method and contributing to a significant improvement of measurement accuracy. The paper presents an analysis of the positioning accuracy for five different navigation receivers (Trimble

5800, Trimble ProXH, Topcon HiperPro, Topcon GR-3 and Topcon GRS-1) of geodetic and GIS classes (tab. 2).

The research area was located in the Gluchów forests of the Rogów Forest Experimental Station, Warsaw University of Life Sciences. The geodetic control network, being the reference for 36 measurement points located in different forest stands was designed on the basis of precisely measured ( $\pm 2$  cm) control points (fig. 1, tab. 1). Measurements were conducted on the same day in June 2010 using all the receivers in order to maintain the same conditions for signal registration. In addition, hemispherical photographs were taken at all measurement points, which served for the calculation of the percentage of the visible sky (fig. 3).

The obtained results were analysed by calculating mean differences in the ordinates (tab. 3) and mean errors of the determination of the coordinates X, Y, Z (fig. 6 and 7). Also, the variation in the PDOP (positional dilution of precision) of the satellite constellation in relation to the forest stand was calculated (fig. 5). There were no significant relationships between the size of the mean error and PDOP value, stand density, age and percentage of visible sky. The mean error of the determination of the coordinates X, Y was 1.84 meters, and 3.46 meters for the altitude ordinate. It has been noted that costly receivers of geodetic class do not contribute to the improvement of measurement accuracy. The receivers of GIS class (Trimble ProXH, Topcon GRS-1) based on the code measurement method give comparable results in the forest environment and are an excellent alternative to costly geodetic receivers. The current navigation systems do not prove reliable in determining altitudes in the field. There is no doubt, however, that the use of this technology to update forest numerical maps is advisable.