

ANALIZA PRECYZJI I DOKŁADNOŚCI POMIARÓW GPS W WARUNKACH LEŚNYCH

ANALYSIS OF PRECISION AND ACCURACY OF GPS MEASUREMENTS IN FOREST CONDITIONS

**Mieczysław Bakuła, Stanisław Oszczak, Renata Pelc-Mieczkowska,
Marcin Suchocki, Marta Chrostowska, Marcin Rudziński**

Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Słowa kluczowe: RTK, wielotorowość sygnału, nieoznaczoność pomiarów fazowych
Keywords: RTK, multipath, ambiguity resolution

Wprowadzenie

Badania nad zastosowaniem pomiarów GPS w warunkach leśnych są prowadzone od wielu lat. Wykorzystanie pomiarów GPS na terenach rolniczych i leśnych może znacznie poprawić efektywność wykonywanych prac, a w niektórych przypadkach stanowić jedyne możliwe rozwiązanie (Bakuła, Oszczak, 2006). Środowisko leśne stwarza jednak specyficzne, bardzo trudne warunki dla pomiarów GPS, z uwagi na znacznie ograniczony dostęp do sfery niebieskiej, a także gęste, ale często drobne, poruszające się zasłony jakimi są gałęzie drzew, powodujące przerwy w odbiorze sygnałów lub odbiór sygnałów odbitych co wiąże się z niebezpieczeństwem nagłego pojawienia się dużych błędów (Yoshimura, Hasegawa, 2003). Błędy te, co ważne, nie znajdują odzwierciedlenia w towarzyszącej pomiarom GPS analizie dokładności, dlatego też ich wykrycie jest bardzo trudne. Dokładność pomiarów GPS w warunkach leśnych zależy przede wszystkim od zagęszczenia zasłon. Współczynnik PDOP, co jest dość zaskakujące, nie ma dużego wpływu na wynik pomiaru w warunkach leśnych. Z badań wynika, że nie osiągnięto mniejszego błędu pozycji (horyzontalnej i pionowej) odcinając obserwacje, dla których PDOP wynosił więcej niż 4. Więcej niż połowa pozycji uzyskanych przy wartości PDOP od 4 do 8 charakteryzowała się mniejszym błędem (RMS), niż pozycje uzyskane dla PDOP mniejszego od 4 (Sigrist i inni, 1999). Wydłużenie czasu obserwacji nie wpływa bezpośrednio na dokładność wyznaczenia pozycji, zwiększa jednak prawdopodobieństwo rozwiązania nieoznaczoności (Hasegawa, Yoshimura, 2003).



Rys. 1. Zasłony nad PKT1 podczas pomiaru statycznego (kwiecień 2004)



Rys. 2. Zasłony nad PKT1 podczas pomiaru RTK (maj 2005)

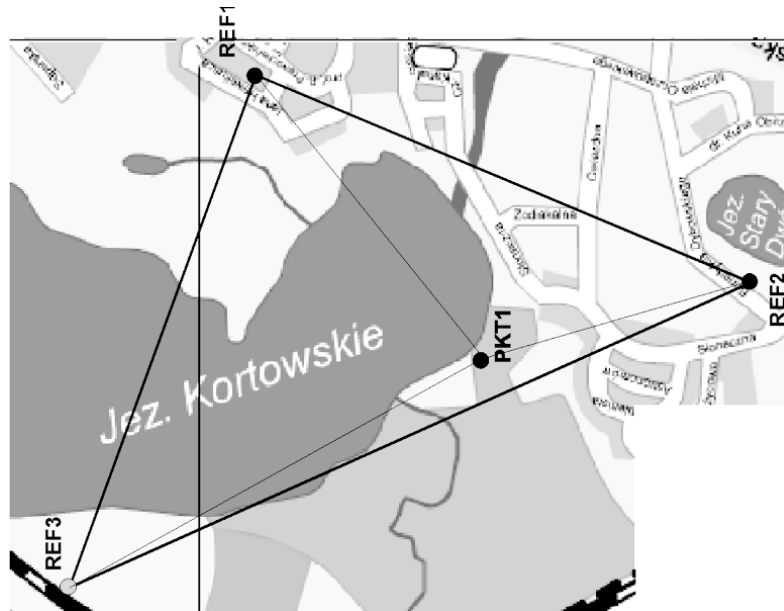
Pomiary terenowe

Pomiary testowe przeprowadzono na punkcie (PKT1) zlokalizowanym w Lasach Kortowskich, na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie. Nad punktem tym występowały liczne zasłony w postaci konarów i gałęzi drzew (rys. 1). Punkty referencyjne zostały rozmieszczone równomiernie na odkrytym terenie w celu zapewnienia pełnego dostępu do sfery niebieskiej. Punkt wyznaczany znajdował się w centrum sieci (rys. 3). Punkt REF1 umieszczono na budynku Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, REF2 na osiedlu Słoneczny Stok, a punkt REF3 na osiedlu Dajtki.

Współrzędne punktu PKT1 zostały wyznaczone klasycznie, a następnie wykonano statyczny pomiar GPS z wykorzystaniem stacji referencyjnych oraz pomiar metodą RTK.

Klasyczne wyznaczenie współrzędnych punktu PKT1 zostało wykonane 19 kwietnia 2004 r. Do pomiaru użyto tachimetru TC-10 firmy Leica. Pomiar został wykonany w 3 seriach, a współrzędne punktu obliczone metodą wcięcia kombinowanego.

Pomiar współrzędnych metodą statyczną GPS został wykonany 30 marca 2004 roku dwuczęstotliwościowym odbiornikiem firmy Ashtech typu Z-Surveyor. Prace terenowe odbywały się pomiędzy godziną 8:20 a 11:00 czasu lokalnego. Wyboru czasu wykonania obserwacji terenowych dokonano na podstawie analizy konstelacji satelitów. Podstawowe parametry pomiaru: minimalna wysokość satelitów nad horyzontem 10° , interwał pomiaru 1 sekunda, minimalna liczba satelitów 4.



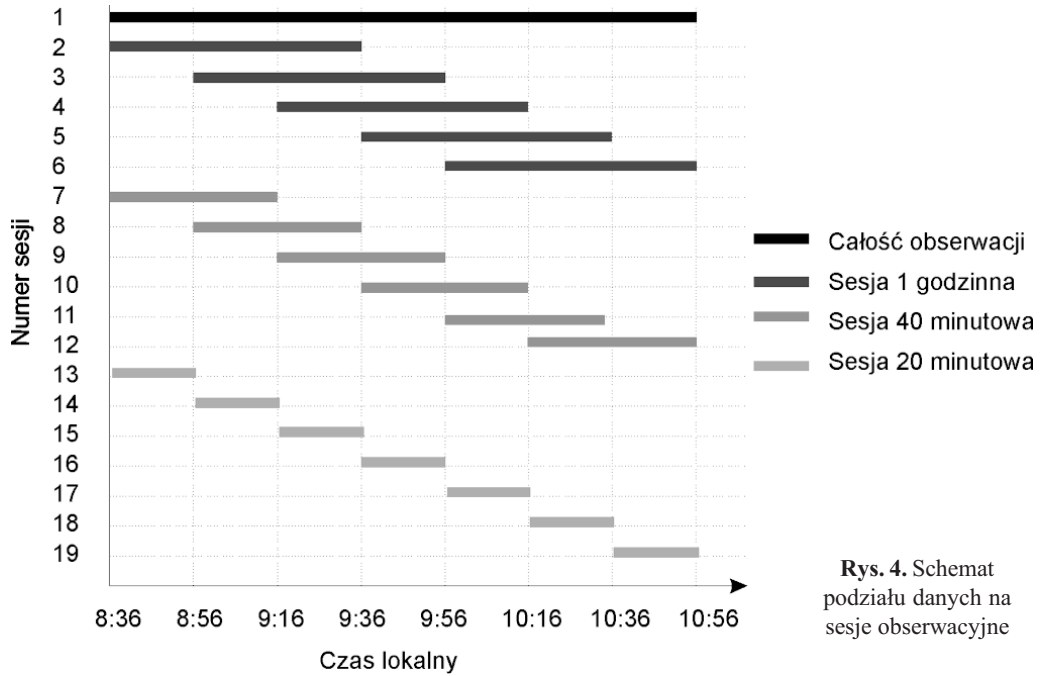
Rys. 3. Szkic sieci

Pomiary współrzędnych PKT1 metodą RTK wykonano w dniach 12 i 13 maja 2005 r. w godzinach 13:50–15:50. Do pomiaru użyto dwuczęstotliwościowego odbiornika firmy Ashtech typu Z-Xtreme. Dane ze stacji referencyjnej do odbiornika ruchomego przesyłano za pośrednictwem radiomodemu SATEL. Stacja referencyjna znajdowała się na budynku Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej. Podstawowe parametry pomiaru pozostały takie same jak przy pomiarze metodą statyczną. Warunki pomiarowe w jakich został przeprowadzony pomiar RTK można uznać za bardzo trudne ponieważ pojawiające się liście znaczne utrudniały dostęp do sfery niebieskiej nad punktem pomiarowym (rys. 2).

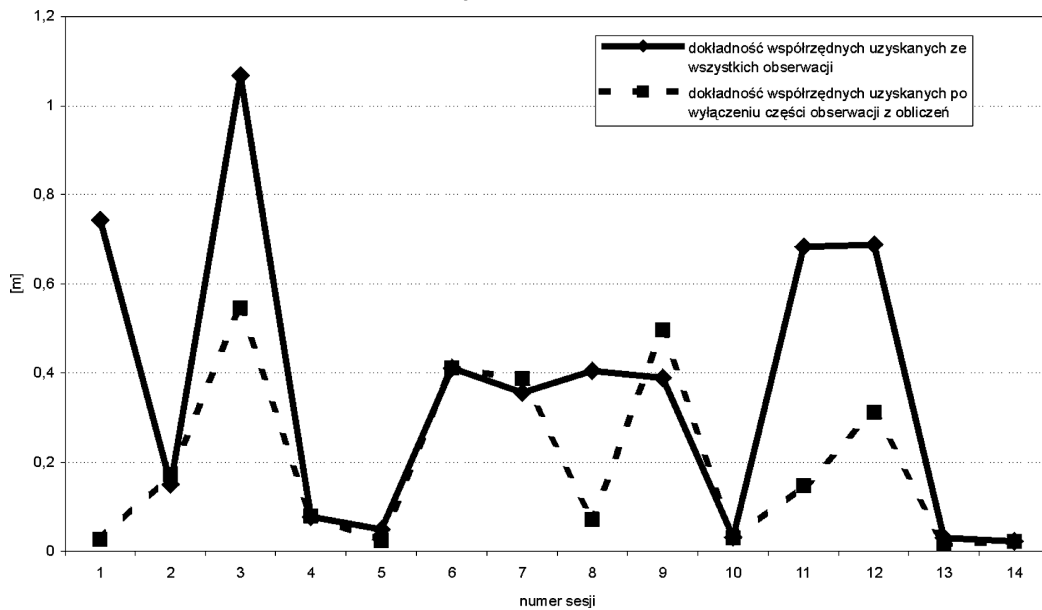
Obliczenia i wyniki

Przed przystąpieniem do obliczenia współrzędnych punktu PKT1 na podstawie pomiarów statycznych, surowe dane podzielono na różnej długości sesje pomiarowe, aby możliwe było zbadanie zależności pomiędzy długością sesji pomiarowej a dokładnością wyznaczenia pozycji. Wydzielono pięć sesji 1 godzinnych, sześć sesji 40 minutowych oraz siedem sesji 20 minutowych (rys. 4).

Do obliczenia współrzędnych stacji referencyjnych REF2 i REF3 oraz punktu PKT1 w układzie WGS-84 wykorzystano program Ashtech Office Suite for Survey (AOS), wersja 2.0. Transformację współrzędnych do układu „2000” wykonano za pomocą programu Trans-Pol wersja 1.0/2000. Podczas obliczeń każdy wektor został opracowany oddzielnie w celu osiągnięcia jak najlepszych wyników (rys. 5). Opracowanie to polegało na wyłączeniu z



Rys. 4. Schemat podziału danych na sesje obserwacyjne



Rys. 5. Porównanie dokładności współrzędnych uzyskanych przed i po analizie pojedynczych wektorów obliczeń

obliczeń obserwacji charakteryzujących się częstymi przerwami w dostępności poszczególnych satelitów, charakterystycznymi dla pomiarów w warunkach leśnych.

Po takim opracowaniu danych uzyskano rozwiązanie (całkowite wartości nieoznaczoności) dla wszystkich wektorów z wyjątkiem wektorów PKT1-REF1, PKT1-REF2 oraz PKT1-

REF3 w 19 sesji pomiarowej (sesja 20-minutowa trwająca od 10:36 do 10:56). Uzyskana dokładność (RMS) wyznaczenia pojedynczych wektorów wynosiła od 14 do 21 mm dla sesji 1, od 19 do 36 mm dla sesji 2–6 (sesje 1-godzinne), od 15 do 35 mm dla sesji 7–12 (sesje 40-minutowe) oraz od 12 mm do ponad 1 m dla sesji 13–18 (sesje 20-minutowe). Zestawienie błędów średnich dla poszczególnych wektorów w poszczególnych sesjach zostało przedstawiono w tabeli 1.

Współrzędne punktu zostały obliczone na drodze ścisłego wyrównania sieci w programie AOS. Sesja 19, w której nie uzyskano całkowitych wartości nieoznaczoności nie została poddana wyrównaniu. Po przetransformowaniu współrzędnych punktu PKT1 do układu państwowego „2000” porównano je ze współrzędnymi punktu PKT1 wyznaczonymi klasycznie, które to współrzędne uznano za prawdziwe współrzędne punktu. Odchylenia standardowe oraz odchylenia od wartości uzyskanych klasycznie wyrównanych współrzędnych punktu PKT1 uzyskane w poszczególnych sesjach przedstawiono w tabeli 2.

Opracowanie wyników pomiarów wykonanych metodą RTK polegało na wybraniu ze wszystkich obserwacji (łącznie 1396 pozycji) tylko tych dla, których została rozwiązana nieoznaczoność (łącznie 195 pozycji). Następnie ze zbioru danych przeznaczonych do analizy zostały wyłączone obserwacje, dla których średni błąd wyznaczenia pozycji horyzontalnej (HRMS), obliczony podczas pomiaru przez odbiornik GPS, był większy niż 10 cm.

Tabela 1. Zestawienie wartości RMS dla poszczególnych wektorów w poszczególnych sesjach

Nr sesji	RMS [mm] dla poszczególnych wektorów					
	REF1 PKT1	REF2 PKT1	REF3 PKT1	REF2 REF1	REF3 REF1	REF3 REF2
1	17,5	21,0	14,6	7,6	6,1	6,2
2	31,5	36,5	27,5	6,3	6,5	4,0
3	29,0	26,9	30,8	6,4	5,9	5,2
4	32,4	28,7	29,7	6,6	6,0	6,7
5	19,5	18,7	20,2	8,8	6,9	7,9
6	24,9	31,6	29,3	10,1	8,0	7,9
7	35,4	32,4	31,0	7,4	6,9	4,2
8	33,4	23,2	22,0	6,3	6,7	3,6
9	29,4	25,2	28,2	5,5	5,7	6,2
10	20,5	21,3	20,9	7,1	6,4	7,8
11	24,9	15,2	14,9	9,7	7,6	8,5
12	19,4	29,3	27,1	8,3	8,0	5,7
13	390,3	379,3	31,2	7,1	6,7	5,2
14	1172,8	659,6	1234,6	7,1	6,5	4,0
15	524,7	487,2	477,7	5,2	4,7	3,6
16	17,6	19,6	18,6	5,5	5,8	6,9
17	16,1	18,7	20,0	8,1	7,8	8,5
18	11,9	216,9	212,5	10,3	7,2	9,4

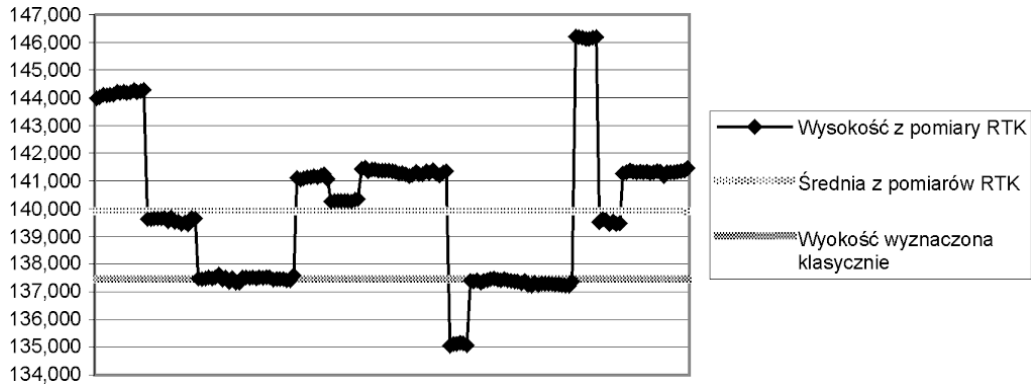
Tabela 2. Zestawienie odchyłeń standardowych oraz odchyłeń od wartości uzyskanych klasycznie wyrównanych współrzędnych punktu PKT1

Nr sesji	Odchylenie standardowe			Odchylenie od wartości wyznaczonej klasycznie		
	σ_N [mm]	σ_E [mm]	σ_H [mm]	dX [m]	dY [m]	dH [m]
1	274,3	179,3	641,3	-0,026	0,005	-0,125
2	275,4	207,3	530,0	0,101	-0,139	-0,062
3	278,0	204,1	591,2	-0,414	-0,354	0,062
4	368,1	231,2	957,3	-0,047	0,064	-0,263
5	255,5	158,6	596,7	-0,023	0,007	-0,201
6	401,6	277,5	686,9	-0,102	0,399	0,375
7	520,3	313,6	729,9	0,370	-0,113	0,894
8	179,4	138,8	410,7	-0,049	-0,052	-0,133
9	275,2	189,7	754,8	-0,055	0,493	0,439
10	259,4	171,9	677,6	-0,030	0,005	-0,163
11	452,8	302,9	773,3	0,074	0,127	-0,279
12	308,6	237,9	485,0	-0,430	1,020	0,973
13	2757,2	1117,5	2297,2	5,949	-2,517	0,844
14	1616,9	1279,8	3555,6	-0,311	0,010	0,557
15	2872,7	1189,2	4077,7	4,489	-2,581	-0,255
16	174,0	145,5	536,4	-0,011	0,011	-0,173
17	644,4	252,9	1355,4	0,011	0,018	-0,229
18	2726,2	1443,8	4456,5	1,890	-6,738	3,844

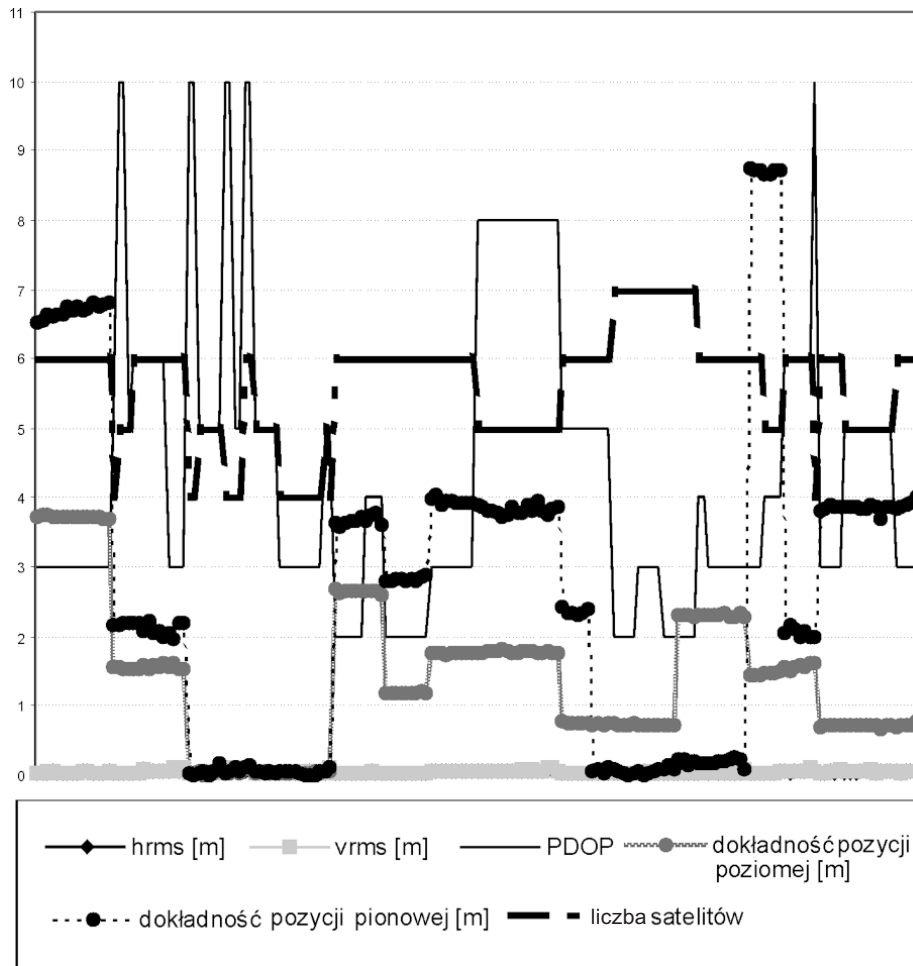
Analiza wyników

Błędy prawdziwe współrzędnych wyznaczonych w pomiarze statycznym wyniosły od 15 mm (sesja nr 16) do 7 metrów (sesja nr 18). Odchylenie standardowe, co ważne, nie stanowiło miarodajnej charakterystyki dokładności. W przypadku pomiarów wykonywanych w warunkach leśnych różnice pomiędzy precyzją, a dokładnością pomiaru są znaczne. Na podstawie analizy odchyłeń standardowych możliwe było jedynie odrzucenie wyników pomiarów obarczonych największym, przekraczającym 2 metry błędem. Nie było jednak możliwe oszacowanie dokładności pozostałych pomiarów, gdyż wzrost wartości odchylenia standardowego nie zawsze oznaczał spadek dokładności (rys 6 i 7).

W pomiarze RTK w obrębie każdej serii (od inicjalizacji do momentu „utrąty” nieoznaczoności) różnice współrzędnych nie przekraczały 25 cm, jednak różnice współrzędnych pomiędzy sesjami dochodziły do 5 metrów (rys. 8). Średnia pozioma pozycja z pomiarów RTK różniła się od pozycji wyznaczonej klasycznie o 78 cm. Błędy wysokości uzyskanych z pomiarów RTK wynosiły od 5 mm do 8,5 metra (rys. 9). Średni błąd wyznaczenia wysokości osiągnął wartość 2,5 m.



Rys. 9. Współrzędne pionowe uzyskane z pomiaru RTK



Rys. 10. Wykres dokładności i precyzji pomiaru RTK oraz liczby obserwowanych satelitów i wartości współczynnika PDOP

W przeprowadzonym doświadczeniu wartości błędów pozycji horyzontalnej i pionowej, podobnie jak odchylenia standardowe w pomiarze statycznym, stanowiły charakterystykę precyzji, a nie charakterystykę dokładności pomiaru (rys. 10). Współczynnik PDOP nie miał dużego wpływu na dokładność wyznaczenia pozycji w warunkach leśnych.

Wnioski i podsumowanie

Jak wykazały badania, możliwe jest uzyskanie nawet centymetrowych dokładności przy zastosowaniu pomiarów GPS w warunkach leśnych. Środowisko leśne stwarza jednak skrajnie trudne warunki dla takich pomiarów, a możliwość ich zastosowania zależy od bardzo wielu czynników.

Dokładność obserwacji GPS zależy przede wszystkim od lokalizacji stanowiska pomiarowego. Jeżeli jest to możliwe, należy wybierać takie miejsca, w których zasłony są najmniejsze, np. skrzyżowania leśnych dróg, wyрэby, polany. Bardzo duże znaczenie ma wybór odpowiedniego czasu obserwacji. W celu uzyskania jak najlepszych, a przede wszystkim jak najbardziej wiarygodnych wyników, należy wykonywać pomiary w okresie od późnej jesieni do wiosny, kiedy drzewa są bezlistne. Wybór pory dnia podczas której największa liczba satelitów jest widoczna także wpływa na dokładność pomiaru, a przede wszystkim daje większe prawdopodobieństwo rozwiązania nieoznaczoności. Długość czasu obserwacji nie wpływa bezpośrednio na uzyskaną dokładność (doświadczenie pokazało, że największa dokładność została uzyskana podczas najkrótszej, 20-minutowej sesji), ale zwiększa szanse na uzyskanie rozwiązania nieoznaczoności (w doświadczeniu jedyne wektory, dla których nie udało się uzyskać rozwiązania nieoznaczoności zostały pomierzone podczas 20-minutowej sesji). Współczynnik PDOP, jak pokazały pomiary przeprowadzone metodą RTK, zasadniczo nie wpływa na dokładność wyznaczenia pozycji w warunkach leśnych.

Duża liczba i różnorodność obserwacji daje możliwość zastosowania różnych opcji podczas opracowania wyników pomiarów, dlatego też należy stosować wysokiej klasy dwuczęstotliwościowe odbiorniki, a w miarę możliwości łączyć pomiary GPS z GLONASS, a w przyszłości także z Galileo.

Bardzo ważne jest należyte opracowanie wyników pomiarów. Wnikliwa i starannie przeprowadzona analiza poszczególnych wektorów pozwala na uzyskanie całkowitych wartości nieoznaczoności oraz poprawę dokładności wyników. W tym celu zaleca się zastosowanie oprogramowania posiadającego dobre algorytmy wykrywania i naprawy zagubień cykli, a także dającego możliwość wyłączenia z obliczeń fragmentów obserwacji, w których błędy te występują często.

Największą trudność podczas pomiarów GPS w warunkach leśnych stwarza oszacowanie dokładności uzyskanych wyników. Odchylenie standardowe, które w przypadku pomiarów na otwartej przestrzeni jest dobrą charakterystyką dokładności pomiaru, w warunkach leśnych charakteryzuje jedynie precyzję. Dobrym rozwiązaniem jest wielokrotna reinicjalizacja nieoznaczoności pomiarów fazowych dająca niezależne, nadliczbowe wyznaczenie pozycji.

Ze względu na wielość czynników mających wpływ na dokładność wyznaczania współrzędnych GPS w warunkach leśnych oraz konieczność bardzo starannego i wnikliwego opracowania wyników pomiarów, pomiary takie powinny być wykonywane i opracowywane przez doświadczony zespół pomiarowy.

Literatura

- Ashtech Office Suite for Survey – User’s Manual, 1998: USA.
- Hasegawa H., Yoshimura T., 2003: Application of dual-frequency GPS receiver for static surveying under tree canopy. *Journal of Forest Research*, Springer-Verlag, Tokyo Inc, t. 8, s. 103-110.
- Oszczak S., Bakuła M., 2006: Experiences of RTK Positioning in Hard Observational Conditions During Nysa Klodzka River Project. European Geophysical Society. XXIX General Assembly. Vienna, Austria.
- Sigrist P., Coopin P., Hermy M., 1999: Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS. *International Journal of Remote Sensing*, Taylor and Francis Ltd, t. 20(18), s. 3595-3610.
- Yoshimura T., Hasegawa H., 2003: Comparing the precision and accuracy of GPS positioning in forest areas. *Journal of Forest Research*, Springer-Verlag Tokyo Inc, t. 8(3), s. 147-152.

Summary

The paper presents results of GPS measurements executed in forest conditions. The GPS measurements were made with the use of dual-frequency Ashtech Z-Xtreme receivers. The test measurements were performed in the forest at the University of Warmia and Masury in Olsztyn. Two different analyses were conducted: Real Time Positioning (RTK) and post-processing data elaboration. Post-processing GPS data were elaborated with the use of Ashtech Office Suite (AOS) software. After very careful study of static elaborations centimeter accuracy was achieved, though large errors (a few meters) could occur. Gross errors were caused by heavy obstructions due to tree canopy. It caused frequent losses of contact with satellites as well as multipath errors. Similarly in the case of RTK measurements thanks to multiple initialization of ambiguity resolution centimeter accuracy was also obtained. However, GPS/RTK measurements demand large experience in GPS elaboration as well as very thorough knowledge of GPS positioning. Very important issue is careful planning of GPS sessions as well as applying appropriate GPS receiver sets.

Future combination of GPS and GLONASS with GALILEO systems will bring considerable improvement in getting reasonable results in forest conditions, especially RTK positioning seems very cost-effective in forest conditions.

dr inż. Mieczysław Bakuła
mbakula@uwm.edu.pl

prof. dr hab. inż. Stanisław Oszczak
oszczak@uni.olsztyn.pl

mgr inż. Renata Pelc-Mieczkowska
renata.pelc@uwm.edu.pl

mgr inż. Marcin Rudziński
mac81@go2.pl