

MITY I FAKTY DOTYCZĄCE STOSOWANIA GPS W LEŚNICTWIE

GPS IN FORESTRY: MYTHS AND FACTS

Piotr Węzyk

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Katedra Ekologii Lasu,
Wydział Leśny Akademii Rolniczej w Krakowie

Słowa kluczowe: GPS, leśnictwo, ochrona przyrody
Keywords: GPS, forestry, nature protection

Wstęp

Zapewne nie jest mitem, iż podróżnicy Hellady doskonalili się w nawigacji morskiej wykorzystując wiedzę o położeniu gwiazd, Księżyca i Słońca.

Faktem jest natomiast, że Ptolemeusz w *Geografii* (I w. n.e.) do określania pozycji geograficznej zaleca metodę obserwacji zaćmień Księżyca na podstawie przykładów pochodzących z 330 roku p.n.e. Jego dzieło dopiero w 1415 roku trafia do Wenecji. Dopiero, gdyż już w roku 721 n.e. Chińczycy byli w stanie określić szerokość geograficzną na podstawie pomiaru długości cienia 2,5 metrowymi gnomami (prętami) pomiędzy Pekinem a Wietnamem. Obliczyli, że na każde 640 km różnicy w szerokości geograficznej długość cienia rzucanego przez gnom zmienia się dokładnie o 8,9 cm. Po długości cienia byli w stanie określać szerokość geograficzną oraz kolejny dzień w roku. Jeszcze wcześniej Chińczycy potrafili określać długość geograficzną dzięki obserwacjom zaćmień Księżyca (Menzies 2002).

Faktem jest również, iż system NAVSTAR-GPS składa się z 24 aktywnych satelitów (oraz 3 zapasowych) umieszczonych na 6 orbitach kołowych (po cztery satelity na orbicie) w odległości około 20 200 km od Ziemi. Takie szczegóły techniczne, jak kąt nachylenia orbity do płaszczyzny równika (55°) nie interesują zwykłego użytkownika cywilnego, a poczytać o nich można w każdej publikacji na temat GPS. Założenia twórców systemu NAVSTAR-GPS przewidywały, iż minimum 5° satelitów powinno być widocznych powyżej kąta wzniesienia 5° nad horyzontem z każdego punktu Ziemi z prawdopodobieństwem 0,9996. Niestety nie uwzględniali oni na tym etapie potrzeb wojsk lądowych walczących pod okapem drzew, a jedynie US Marines Corps, US Navy i US Air Force (Frączyk i in. 1996).

Mitem jest natomiast stwierdzenie, że sygnał GPS (dwie zakodowane fale nośne $L1=1575,42$ MHz; 19,05 cm oraz $L2=1227,60$ MHz; 24,45 cm; najnowsza generacja satelitów bloku IIR-M emituje już drugi sygnał cywilny na $L2$. a od roku 2006 trzeci na $L5$ – blok IIF) w ogóle nie penetruje przez korony drzew, przez co odbiór pod okapem drzewostanu jest niemożliwy.

Z punktu widzenia leśnictwa ważnym faktem stało się Zarządzenie nr 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 23.08.2001 r., w załączniku nr 8, w punkcie 2.1.2 dotyczącym zmian wewnątrz działek głosi, iż powinny one: (...) *być oparte o wiarygodne dane uzyskane z: pomiarów terenowych, pomiarów GPS, innych baz geometrycznych, materiałów fotogrametrycznych lub map analogowych*, i dalej w pkt. 2.3. dot. aktualizacji systemu SIP na poziomie nadleśnictwa, w tym zmian sytuacji wewnętrznej: (...) *ze względu jednak na zachowanie dokładności mapy numerycznej, w tym umiejscowienie mierzonych punktów w sytuacji geograficznej, zaleca się dokonywanie pomiarów metodami dającymi dużą wiarygodność. Dlatego preferowane powinny być: pozycjonowanie satelitarne – GPS (oprócz dużej dokładności daje oszczędność czasu) oraz wykorzystanie zdjęć lotniczych lub wysokorozdzielczych obrazowań satelitarnych*. Nie sprecyzowano jednak w Zarządzeniu dopuszczalnych błędów ani technologii pomiarowej.

Niniejszy artykuł ma na celu obiektywne zaprezentowanie przydatności odbiorników GPS w pracach pod okapem drzewostanu oraz udzielenie praktycznych wskazówek zwolennikom tej nowej metody pomiarowej. Artykuł ten jest wynikiem prac i doświadczeń stanowiących dorobek Akademii Rolniczej w Krakowie.

Projekty geoinformatyczne z wykorzystaniem odbiornika GPS realizowane w Laboratorium GIS i Teledetekcji Wydziału Leśnego AR w Krakowie (LGiT AR)

Wraz z zakupieniem dwóch pierwszych odbiorników DGPS firmy Corvallis MicroTechnology (1996) do Laboratorium GIS i Teledetekcji AR w Krakowie (LGiT AR) pojawiły się nowe możliwości zasilania geometrycznych i opisowych baz danych systemów GIS oraz wykorzystania zalet nawigacji satelitarnej. Przez pierwsze lata, do dnia 01.05.2000 r. pomiar autonomiczny GPS obarczony był często poważnym błędem (wartości SA na kodzie C/A dochodziły do $\pm 100\text{m XY}$), co stwarzało nie lada problemy i wymuszało posługiwanie się trybem pomiaru DGPS i korekcją post-processing. W tym celu należało posiadać własną stację referencyjną (bazową) w postaci drugiego odbiornika, co oznacza dodatkową inwestycję. W roku 2000 dzięki środkom finansowym z NFOŚiGW zakupiono dodatkowe 2 odbiorniki kartograficzne Pathfinder ProXRS firmy Trimble wyposażone w rejestratory TSC1.

Stosowanie odbiorników GPS stało się już praktyką w projektach geoinformatycznych realizowanych w LGiT AR. Poniżej przytoczono przykłady konkretnego zastosowania w wybranych projektach z zakresu leśnictwa oraz ochrony przyrody, w których wykorzystywane były one jako narzędzie do zasilania baz danych oraz w nawigacji:

- pomiary DGPS współrzędnych punktów dostosowania (graniczniki, punkty charakterystyczne) do kalibracji i transformacji przetwarzanych map gospodarczych;
- pomiary fotopunktów (GCP) naturalnych w celu fotogrametrycznego opracowania archiwalnych zdjęć lotniczych;
- określenie lokalizacji stałych powierzchni kontrolnych;
- pomiary obiektów liniowych (ścieżki, szlaki zrywkowe) oraz powierzchniowych (zbiorniki roślinne);

- kartowanie drewna martwego na sieci powierzchni monitoringowych;
- nawigacja do zaplanowanej sieci powierzchni monitoringowych;
- wytyczanie siatki pomiarowej oraz zbieranie atrybutów drzewostanu wg słowników obiektów. Tyczenie sieci powierzchni ATPOL;
- inwentaryzacja tropów rysia i wilka w okresie zimowym;
- kartowanie zbiorowisk roślinnych na polanach reglaowych;
- kartowanie gniazd kornikowych w drzewostanach górnoreglowych;
- wytyczanie w terenie nowego podziału powierzchniowego opracowanego na podstawie zdjęć lotniczych CIR na terenach objętych gradacją owadów;
- kartowanie tras narciarskich, uszkodzeń kosodrzewiny, gleby, itp.;
- tworzenie kluczy fotointerpretacyjnych dla zdjęć CIR (obiekty poligonowe wraz z atrybutami wg słowników obiektów);
- określanie zasięgu użytkowania narciarskiego, średniej długości zjazdów narciarskich itp. (DGPS poprzez LandStar);
- generowania NMT obszaru badań z 43 000 obserwacji punktowych 3D GPS;
- kartowanie sukcesji roślinnej (wykorzystanie tzw. sukcesji kierowanej) na terenach rekultywowanych w tym ocena udatności leśnego kierunku rekultywacji;
- wyznaczanie obszarów pod zalesienia (podział przestrzenny) oraz obszarów do przejęcia przez administrację Lasów Państwowych na terenach zrekultywowanych;
- określanie obszarów użytkowania górniczego (wytrobiska oraz zwałowiska);
- określanie współrzędnych hipergeoktralnego skanera lotniczego AISA i anteny radaru HUTSCAD podczas nalotów.
- pomiar powierzchni wzorcowych dla klasyfikacji obrazów lotniczych i satelitarnych;
- pozyskiwanie współrzędnych jako metadanych obiektów (zdjęć cyfrowych, nadawanie geopozycji dokumentom, itp.);
- analizy sieciowe (network analysis) – optymalizacja dojazdu do powierzchni monitoringowych, określanie obszarów działania służb ratowniczych w określonym czasie itp.;
- kartowanie gniazd zrębowych oraz określenie lokalizacji pni drzew w wybranych wydzieleniach (pomiar OFFSET);
- kontrola przebiegu wydzieleń drzewostanowych w oparciu o pomiar DGPS punktów wyznaczonych w terenie przez zespoły wykonujące urządzenie lasu;
- pomiar współrzędnych i nawigacja do pni drzew w celu zbierania określonych atrybutów na terenie parków Krakowa;
- nawigacja DGPS (w trybie korekcji satelitarnej OmniStar) do wybranych drzew (cykliczne obserwacje);
- pomiary wybranych elementów zieleni wysokiej parków (drzew pomnikowych, gatunków introdukowanych, itp.) oraz określenie współrzędnych innych obiektów parkowych (np. pomniki, wejścia itp).
- nawigacja i kartowanie roślinności i powierzchni wzorcowych do klasyfikacji wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych (Husky feX21 z aplikacją ArcPad ESRI).

Metodyka

W zależności od specyfiki realizowanych projektów, pomiary prowadzi się zazwyczaj w trybach:

- autonomicznym (np. nawigacja z wykorzystaniem aplikacji ArcPad) lub
- różnicowym – w opcjach:
 - DGPS (ang. *Differential GPS*);
 - RTK (ang. *Real Time Kinematic*), a także
 - pomiaru fazowego (ang. *carrier phase*)

Pomiar DGPS (pomiar różnicowy) wykorzystywany jest w 95% przeprowadzanych przez LGiT AR pomiarów, co gwarantuje wysoką poprawność otrzymywanych danych poprzez usunięcie błędów określenia pozycji (zwykle średni błąd liniowy XY < 0,5 m teren otwarty). Pomiaru fazowego w drzewostanach nie udaje się przeprowadzić ze względu na utrudnioną obserwację tych samych satelitów przez odbiornik ruchomy (*rover station*) i stację bazową (*base station*) przez co najmniej 10 minut (w zależności od odległości). Dokładności uzyskiwane w pomiarze fazowym mogą być nawet subcentymetrowe. Podobnie także i pomiar RTK wymaga specjalnego oprzyrządowania (nadajniki i odbiorniki radiowe objęte zezwoleniem) i z tych powodów nie znajduje szerokiego zastosowania w realizowanych projektach LGiT AR. Zalecany jest on jednak osobom posługującym się wysokiej klasy geodezyjnymi odbiornikami GPS na częstotliwościach L1 oraz L2. Ten typ pomiarów można z powodzeniem stosować na obszarach pokłeskowych (odsłonięty horyzont, duże wylesione powierzchnie) bądź też przy wyznaczaniu obszarów pod zalesienia (na nieużytkach, terenach rekultywowanych itd.). Pomiar RTK w czasie rzeczywistym pozwala wytyczać oraz domierzać obiekty z dokładnością rzędu 1–2 cm (w zależności od klasy odbiornika oraz odległości od stacji bazowej) przy zaangażowaniu praktycznie jednej osoby zamiast całego zespołu mierniczego. Dane w postaci cyfrowej natychmiast po zakończeniu pomiaru przesłać można do systemu CAD/GIS lub nawet w czasie rzeczywistym zasilać serwer w aplikacjach typu WebGIS.

Dodatkowo w zależności od charakteru samych obiektów pomiarowych wyróżniamy tryby:

- statyczny (np. dla pomiaru graniczników) oraz
- dynamiczny (kinematyczny) odbiornika ruchomego przy pomiarze szlaków zrywkowych, pracy ciągnika na zrębie, rejestracji oprysków itp).

Odbiornikiem kartograficznym DGPS (*Pathfinder ProXRS Trimble*) wyposażonym w rejestrator polowy (TSC1), poza określeniem współrzędnych geograficznych obiektów:

- punktowych (np. graniczniki, pojedyncze drzewa, miejsca załamania linii przebiegu wydzieleni itp.);
- liniowych (szlaki komunikacyjne, tropy itp.) oraz
- powierzchniowych (zręby, uprawy, pożary)

dokonyje się rejestracji atrybutów wg wcześniej zaprojektowanych szablonów formularzy (tzw. słowników). W ten sposób bezpośrednio po przeprowadzeniu korekcji różnicowej i transformacjach geodezyjnych (np. WGS84→PUWG 1992) geodane zapisane w rejestratorze TSC1 zasilają bazę geometryczną i opisową oprogramowania GIS (np. ArcGIS ESRI).

W ciągu ostatnich 11 lat autor, zbierając doświadczenia z zakresu pomiarów DGPS w lasach posługiwał się następującymi odbiornikami:

- PCL 5 Corvallis MicroTechnology (CMT);
- MC GPS (CMT);

- March III (CMT);
- Pathfinder ProXRS (Trimble);
- GeoExplorer3 (Trimble);
- e-Map (Garmin);
- GPS PCMCIA (Teletype).

Podczas pomiarów DGPS oraz w dalszych opracowaniach stosowano dodatkowy sprzęt i oprogramowanie wspomagające, tj.y:

- dalmierz laserowy 3D (Atlanta);
- komputer typu („hand-held”) Husky feX21;
- odbiornik DGPS Boening (samolot Skyvan w projekcie FOREMMS);
- oprogramowanie Pathinder Office (Trimble) i PC-GPS (CMT) oraz
- programy do transformacji geodezyjnych: Geo-Trans (Geosystem), Transpol i TraKo (Taxus SI).

Stacjonarne stacje referencyjne

Wykonywanie pomiarów DGPS w trybie *post-processing* wymaga użycia tzw. pliku korekcyjnego rejestrowanego przez stację bazową (referencyjną; ang. *base station*) dokładnie w tym samym czasie obserwacji odbiornika ruchomego. W praktyce poprawne okazują się zalecenia producentów odbiorników, aby odległości od stacji bazowej do miejsca pomiaru nie przekraczały 500 km. Na każde 100 km należy liczyć się z wystąpieniem błędu o wartości około 1ppm wektora odległości. Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie posiada własną stację bazową firmy Trimble, której antena zamontowana jest na dachu budynku Wydziału Leśnego (WGS84: 50° 04'59,07405" N; 19° 57'02,39439" E; 255,47 m n.p.m.). Do przeprowadzenia precyzyjnych pomiarów zakładana jest lokalna stacja bazowa na punktach osnowy wysokościowej. W tym celu jeden z odbiorników kartograficznych Pathfinder ProXRS włączany jest w trybie stacji bazowej. a dane zbierane są do kart pamięci typu Flash. W ostatnich dwóch latach w projektach wykorzystywane są poprawki pochodzące z komercyjnej stacji bazowej IUNG w Puławach. Od maja 2004 r. do korekcji plików pomiarowych GPS wykorzystywane są także dane ze stacji korekcyjnych pracujących w sieci ASG-PL (Aktywna Sieć Geodezyjna; www.asg-pl.com.pl). Dostęp do danych jest bezpłatny, a warunek jaki należy spełnić to możliwość zapisu całego pliku pomiarowego, a nie tylko uśrednionej pozycji.

Inne źródła poprawki różnicowej

Specyfika niektórych pomiarów GPS wymaga stosowania trybu DGPS w czasie rzeczywistym. Sygnał poprawki może być dystrybuowany między innymi przez :

- falę radiową UKF/RDS;
- radiolatarnie na Wybrzeżu Bałtyku – zasięg w głąb lądu około 150 km:
 - Dziwnów 54° 01'00" N, 14° 44'00" E,
 - Rozewie 54° 50'00" N, 18° 20'00" E,
- GSM/GPRS (np. tryb pomiarów RTK),
- drogą transmisji satelitarnej (LandStar, OmniStar, EGNOS, WAAS).

Część z tych poprawek jest w stanie odbierać antena odbiornika Pathfinder PoXRS (Trimble). W chwili obecnej opłacony roczny serwis komercyjny OmniStar pozwala na osiągnięcie w czasie rzeczywistym na terenie otwartym dokładności rzędu $\pm 20\text{cm}$ (X,Y). Odbiornik jest też w stanie realizować poprawkę DGPS testowego sygnału EGNOS propagowanego nad Europą..

Testy przeprowadzone w czerwcu 2004 z użyciem poprawki DGPS otrzymywanej ze stacji ASG-PL (Katowice, RTCM) przez internet i telefonię komórkową (transmisja GPRS) potwierdziły, że błędy kartowania szaty roślinnej na terenach silnie zniekształconych emisjami huty cynku i ołowiu nie przekraczały ± 30 cm (X,Y) w czasie rzeczywistym (pomiar testowy na punkcie osnowy wysokościowej: 300 epok).

Czas trwania obserwacji GPS

Na podstawie wieloletnich doświadczeń można stwierdzić, iż w zależności od celu prowadzonych pomiarów i warunków w drzewostanowych, obserwacje DGPS w trybie statycznym dokonywane być powinny poprzez minimum 120 epok (nie jest to tożsame ze 120 sekundami). W przypadku pomiaru fotopunktów (GCP) bądź innych obiektów służących w następnych krokach kalibracji map czy innym transformacjom geodezyjnym – pomiar trwać powinien zdecydowanie dłużej (np. 900 epok). W czasie prowadzenia testów wykonywano również obserwacje 3600 epok i dłuższe. Tak długie sesje pomiarowe wymagają zabezpieczenia odpowiedniej liczby akumulatorów oraz wolnej pamięci w rejestratorze i nie zawsze dają lepsze wyniki (np. fakt występowania opóźnienia jonosferycznego itp.).

Okres realizacji pomiarów

Pomiarów DGPS dokonywać można przez cały rok, często w bardzo trudnych warunkach atmosferycznych (deszcz, śnieg, mróz, wiatr). Niekiedy specjalnie wybierano trudne warunki pogodowe w celu ustalenia ich wpływu na jakość pomiaru DGPS.

Wyniki i dyskusja

Systemy Globalnego Pozycjonowania są podstawowym narzędziem dzisiejszych leśników, ale ironia sprawia, że pracują oni w miejscach, w których odbiór sygnału satelitarne GPS jest utrudniony, a czasem wręcz niemożliwy....

Steve Willent

Wyniki pomiarów dokonywanych w drzewostanach są stosunkowo rzadko publikowane w literaturze fachowej, a wszystko wskazuje na to że geodeci zajmujący się precyzyjnymi pomiarami fazowymi, DGPS i RTK pracując odbiornikami dwuczęstotliwościowymi (L1 i L2) zdecydowanie unikają obszarów z zadrzewieniami, a co dopiero las. Publikowane już opracowania przedstawiają wyniki badań, które dość trudno mogą być ze sobą porównywane (Karaszkiwicz 2000a, 2000b; Kuliesis, Bajorunas 1999; Mancebo, Chamberlain 2000; Mirsa i in. 1999). Dzieje się to za przyczyną stosowania różnego typu odbiorników i odmiennej metodyki obserwacji GPS. Ponadto warunki drzewostanowe jakie występują w Skandynawii różnią się zwykle diametralnie od warunków Polski czy lasów Montany (USA). Dodatkową rolę odgrywa sama lokalizacja geograficzna (odległość od równika), czy też lokalna rzeźba terenu (osłonięcie horyzontu). W każdym z przeprowadzanych przez LGiT AR projektów z użyciem odbiorników DGPS, istotną kwestią było przeprowadzenie tzw. „testu świadomości popełnianego błędu”. Polegał on na pozyskaniu z lokalnego ośrodka dokumen-

tacji geodezyjnej i kartograficznej współrzędnych (X, Y i Z) punktu z osnowy wysokościowej. W większości przypadków sytuowane są one poza terenami leśnymi. Po dokonaniu transformacji współrzędnych (zwykle PUWG 1965 → WGS84) i wprowadzeniu ich do rejestratora odbiornika GPS jako punktu do nawigacji, określano błąd dotarcia do niego (nawigacja DGPS), a następnie dokonywano rzeczywistego pomiaru (DGPS w trybie post-processing lub z korekcją satelitarną OmniStar). Te dwie wielkości dają nam pewne wyobrażenie co do błędów określenia pozycji, w warunkach jednak niezwykle korzystnych (punkt osnowy wysokościowej na terenie otwartym). W drzewostanie może być już tylko gorzej, czasem niestety wielokrotnie gorzej.

W zdecydowanej większości realizowanych projektów, dokładności pomiaru na terenie otwartym oscylowały w granicach średniego błędu liniowego $\Delta L_{-XY} = 50 \pm 60$ cm (Wężyk, Guzik 2000). Informacje wyświetlane przez odbiornik bądź oprogramowanie możliwe były do zweryfikowania właśnie na punktach testowych (osnowy) o znanych współrzędnych. Nie zawsze testowanie dokładności na granicznikach, których współrzędne pochodzą z rejestrów ewidencyjnych dawało zadowalające wyniki (przypadki rozrzucania błędów pomiarowych w przeszłości na odcinku ciągu). Póki co, aktualizację i weryfikację ewidencji gruntów, tj. szczególnie granic posiadania pozostawić należy geodetom i ich instrumentom typu „TotalStation”, chyba że skorzystają oni z pomiarów GPS w trybie RTK z wykorzystaniem funkcji „Offset” („przesunięcia”). Posiadając dalmierz laserowy (wektor 3D) można odsunąć się od ściany lasu w kierunku terenu otwartego, gdzie obserwacja horyzontu jest wystarczająca do przeprowadzenia pomiaru DGPS. Znając wartość azymutu, odległości i spadku pomiędzy anteną odbiornika GPS a mierzonym obiektem, można „przesunąć” pomiar DGPS we wskazane miejsce (do widocznego granicznika na brzegu lasu). Innego rodzaju „obejście” problemu umożliwia opcja „Travers”, dostępna np. w odbiornikach GPS firmy MCT. Jest to złożenie jakby kilku „przesunięć” („offset”) ze sobą, poczynając i kończąc na punktach pomiarowych gdzie można określić swoją pozycję (np. przed wejściem pod okap drzewostamu).

Błędy nawigacji i błędu pomiaru GPS

Przy wyznaczaniu sieci monitoringowej projektu FOREMMS (Wężyk, 2004) zastosowano metodykę, którą nazwano „pomiar i przesunięcie”. Polegała ona na nawigacji z użyciem korekcji różnicowej poprzez satelitę geostacjonarnego do wirtualnych punktów reprezentujących środki powierzchni monitoringowych. Błąd nawigacji obliczany przez odbiornik co 1 sekundę wyświetlany był na ekranie rejestratora. W momencie gdy błędy XY oscylowały w najniższych wartościach (od dm – do kilku m) i nic nie wskazywało na to aby nawigacja mogła się zdecydowanie poprawić, dokonywano wstępnej stabilizacji środka powierzchni. W tym miejscu realizowano pomiar (ok. 900 epok), który poddawany był jeszcze korekcji różnicowej plikiem pochodzącym ze stacji bazowej oddalonej o około 30 km (AR Kraków). Obliczona pozycja porównywana była z założonymi wartościami wirtualnych środków powierzchni monitoringowych (X, Y), co w efekcie wskazywało na wektor błędu o jaki tymczasowo zastabilizowany środek powierzchni powinno się przesunąć (Wężyk i in., 2001). Samego przesunięcia dokonywano już przy prowadzeniu prac urządzeniowych na powierzchni monitoringowej. Wartość współczynnika rozmycia pozycji (PDOP) oraz średniego błędu liniowego pomiaru DGPS w okresie letnim i wiosennym zaprezentowano w tabeli 1.

Wyniki pomiarów są w zasadzie do zweryfikowania dopiero po usunięciu drzewostanu na powierzchni monitorowanej, bądź też po przeprowadzeniu bezpośrednich pomiarów geodezyjnych.

Tabela 1. Wartość współczynnika PDOP oraz średniego błędu liniowego (ΔL) w różnych typach drzewostanów w okresie wiosennym i letnim przeprowadzania pomiarów

Typ drzewostanu	Średni PDOP	ΔL [m] wiosna	ΔL [m] lato
Iglasty	6,90	3,03	3,08
Liściasty	7,07	2,54	3,74
Mieszany	6,78	3,18	3,00

Testowanie odbiorników Pathfinder ProXRS w Puszczy Niepołomickiej

W maju 2001 r. w ramach realizacji projektu FOREMMS, wspólnie z firmą Horyzont-KPG przeprowadzono test w Puszczy Niepołomickiej, którego wyniki prezentowane były na I Konferencji „Systemy Informacji Przestrzennej w Lasach Państwowych”. Poligon testowy sieci trwale stabilizowanych punktów w drzewostanach, różniących się cechami taksacyjnymi, takimi jak: skład gatunkowy, wiek, wysokość, pierśnica, zasobność czy zwarcie stworzony został dla potrzeb projektu FOREMMS (5FP IST). Dało to możliwość odnoszenia dokonywanych pomiarów do rzeczywistych współrzędnych geodezyjnych. Wyznaczenie współrzędnych zastabilizowanych punktów powierzono firmie KPG z Krakowa. Obustronnie nawiązany do punktów osnowy wysokościowej ciąg założony został według wszelkich prawideł geodezyjnych, przez co z całą pewnością można stwierdzić, że dokładność lokalizacji poszczególnych punktów nie była gorsza niż kilka cm. Nareszcie pojawiła się więc możliwość przeprowadzania konkretnych testów i odnoszenia ich wyników do rzeczywistych wartości, a nie opierania się na tym co wyświetla odbiornik GPS czy „pokazuje” mapa.

Zgodność pomiarów GPS z LMN

Nie można pominąć w tym miejscu sprawy jakości kartometrycznej map leśnych, w tym i tworzonych z map ewidencyjnych i gospodarczych LMN. Odnoszenie się z wynikiem pomiaru GPS do przebiegu wektora LMN i używanie stwierdzenia: „*pomiar GPS dobrze siadł na mapie numerycznej*” może, aczkolwiek nie musi, być poważnym błędem. Kwestia poprawności LMN, tj. technologii tworzenia map leśnych jest bardzo obszernym tematem. Problemy są zbliżone do tych jakie dotyczą obecnie projektów LPIS (IACS). Może zaistnieć sytuacja, w której pomiar DGPS będzie poprawny, a mapa numeryczna obciążona błędem. Nie należy więc bezkrytycznie ufać materiałom kartograficznym, chociaż ich poziom edycyjny i kartometryczny znacznie wzrósł w ostatnich latach. Informacje o przebiegu wydzieleń leśnych często powielane były przez dziesiątki lat na mapach i nie weryfikowane przez taksatorów w terenie, a z obecną technologią przenoszone są do baz geometrycznych. Jedyną możliwością ich weryfikacji to stosowanie ortofotomap lotniczych bądź satelitarnych lub też pomiar DGPS. I znowu w tym miejscu wracamy do „poziomu zaufania” jakim można obdarzyć konkretne odbiorniki GPS.

Żmudne 12 miesięcy i 3 dni

Na poligonie badawczym GPS założonym w Puszczy Niepołomickiej, na 54 wytypowanych punktach (14 – teren otwarty; 15 – drzewostan iglasty; 18 – drzewostan liściasty; 7 drzewostan mieszany) przez kolejne 12 miesięcy (01.2004-12.2004) testowano różne tryby pracy odbiorników Pathfinder ProXRS w tej samej konfiguracji oraz przy użyciu 3 różnych stacji bazowych (Szczygielski, 2003). Główne cele testowania dotyczyły określenia wpływu:

- korekcji różnicowej (post-processing oraz OmniStar);
- liczby rejestrowanych epok pomiarowych;
- odległości od stacji bazowej (1 km, 25 km oraz 84 km);
- aparatu asymilacyjnego drzewa oraz
- wybranych cech taksacyjnych drzewostanów

na dokładność określania pozycji na terenach otwartych (uprawa, młodnik) i w różnego typu drzewostanach. Dodatkowo przez okres 3 kolejnych dni (4.10-6.10.2004) prowadzono obserwacje w celu uzyskania informacji o zmienności warunków pomiarowych (np. współczynnika PDOP, SNR itp.) Jednostkowy błąd liniowy współrzędnych płaskich wyznaczenia pozycji ΔL_{XY} obliczany był według wzoru 1:

$$\Delta L_{XY} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (1)$$

W następnym kroku obliczono średnie błędy liniowe (\bar{L}_{XY}) oraz średnie błędy wyznaczenia wysokości (\bar{L}_Z) punktów pogrupowanych w kategorii wydzielone ze względu na zmieniające się warunki pomiaru (czas pomiaru, typ pomiaru, pora roku) oraz stałe cechy (typ obiektu, typ drzewostanu, klasa wieku, wysokość drzewostanu, zwarcie, zasobność) w czasie wykonywania 12-miesięcznego pomiaru (Szczygielski, 2003). Średnie błędy liniowe w kategoriach obiektów liczone były według wzoru 2:

$$\bar{L}_{XY} = \frac{1}{n} \sum \Delta L_{XY} \quad (2)$$

gdzie:

n – liczba błędów jednostkowych wchodzących w skład wydzielonej kategorii.

W tabeli 2 zaprezentowano uśrednione (dla wszystkich obiektów typu LAS i NIE_LAS) wyniki z okresu 12 miesięcy pomiarów wykonywanych przy 120 epokach obserwacji w trybach pomiaru autonomicznego (GPS) oraz różnicowego (DGPS).

Analiza błędów pomiaru w zależności od zmiennej „typ drzewostanu” wykazała i zarazem potwierdziła przypuszczenia, że dla każdego typu drzewostanu korekcja różnicowa (DGPS)

Tabela 2. Średnie wartości błędu liniowego (\bar{L}_{XY}) w poszczególnych typach obiektów dla 12-miesięcznego okresu pomiarowego

Obiekt	Liczebność próby	Średni błąd liniowy pomiaru (\bar{L}_{XY}) [m]	
		GPS	DGPS
Las	40	3,41	1,69
Teren otwarty	14	2,03	0,43

Tabela 3. Średnie wartości błędu liniowego (\bar{L}_{XY}) w poszczególnych typach drzewostanów w ciągu 12 miesięcy przy trybie pomiaru DGPS (post-processing)

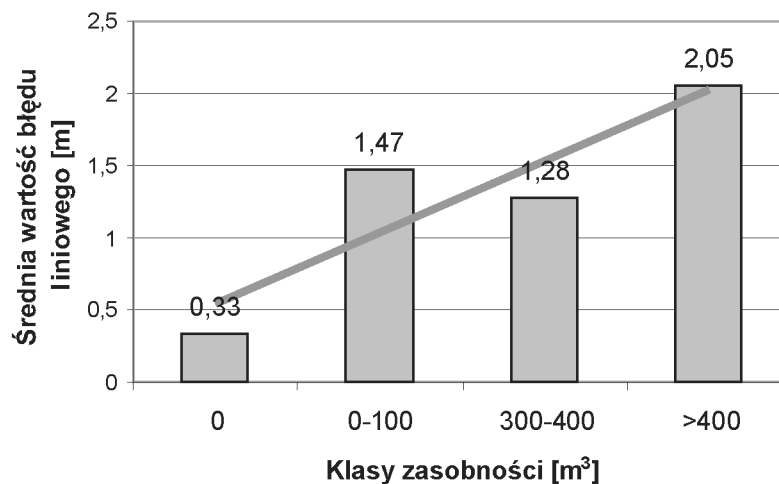
Typ drzewostanu	Miesiąc pomiaru DGPS											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Iglasty	0,62	0,96	0,68	1,90	1,33	1,92	1,59	1,08	2,57	1,03	1,39	0,98
Liściasty	0,50	1,44	1,06	1,92	1,87	1,50	1,03	1,37	1,66	1,51	2,14	1,17
Mieszany	1,14	1,65	0,99	1,53	2,72	1,90	2,82	3,09	3,08	2,32	2,17	1,25

znacznie poprawia dokładność określenia pozycji w różnych porach roku, tj. okresach fenologicznych (tab. 3).

Wybrane analizy dotyczące hipotezy o wpływie drzew grubych na odbijanie sygnału GPS, czyli tzw. wielotorowości sygnału (ang. *multipath*) wykazały pewną korelacją pomiędzy wielkością błędu liniowego (obiekty typu LAS), a zasobnością otaczającego drzewostanu (rysunek).

Praktyczne doświadczenia własne oraz innych użytkowników GPS, pracujących w warunkach drzewostanowych, opublikowane na internetowych listach dyskusyjnych, sprowadzają się do następujących spostrzeżeń bądź wskazówek:

- osłabianie sygnału GPS przez liście i igły podlega bardzo prostej formule: jest odwrotnie proporcjonalne do ilości światła pod drzewostanem;
- do zlokalizowania satelity odbiornik GPS musi otrzymać 5-krotnie silniejszy sygnał niż na jego utrzymywanie, stąd lepiej przesunąć się w miejsce luki (gdzie sygnał jest odbierany) i powoli wracać do miejsca pomiaru;
- w drzewostanach liściastych odbiór sygnału GPS w okresie spoczynku drzew jest z reguły lepszy niż w czasie trwania wegetacji (brak liści w koronach);



Rysunek. Wpływ zasobności drzewostanu na dokładność określenia pozycji metodą DGPS (wszystkie punkty położone wewnątrz drzewostanu)

- poruszanie się gałęzi z aparatem asymilacyjnym w czasie wiatru znacząco wpływa na zakłócanie odbioru sygnału, stąd należy unikać wietrznych dni w czasie dokonywania pomiarów;
- wzrost wilgotności aparatu asymilacyjnego (większy turgor oraz bezpośrednio po wystąpieniu opadów atmosferycznych) powoduje powiększanie się efektu wielotorowości sygnału;
- krople deszczu czy rosy zakumulowane na aparacie asymilacyjnym drzew potęgować mogą zjawisko wielotorowości;
- wielotorowość sygnału następować może na skutek odbicia od: pni, konarów, stosów drewna, urządzeń, mostów, budowli a także zbiorników wodnych;
- kilka lat temu technologia zapobiegająca wielotorowości nie była dostępna użytkownikom cywilnym ale wciąż są sytuacje, w których niemożliwe jest odebranie sygnału odpowiedniej jakości od satelitów pod okapem drzew;
- liście często utrudniają lub wręcz uniemożliwiają docieranie sygnału GPS do anteny odbiornika GPS. Większe znaczenie ma zwarcie aparatu asymilacyjnego (biomasa) niż wysokość samej roślinności;
- należy odpowiednio planować misje pomiarowe i dokonywać pomiarów w okresie bezdeszczowym (suche powierzchnie liści i igieł w koronach);
- zawsze należy dokonywać minimum 60 (autor zaleca 120) epok pomiarowych, a nie 4–5 rekomendowanych przez producentów odbiorników GPS.

Wnioski

(...) zjawisko rozpraszania sygnału GPS przez drzewostan jest jak sztuka – nie da się go opisać ale można poznać w momencie kiedy się go „zobaczy”(...)

Faktem jest, iż mapy leśne czy inne czynności gospodarcze wykonywać można bez stosowania urządzeń zwanych odbiornikami Globalnego Systemu Pozycjonowania (GPS), jednak niecałe 20 lat temu bardzo opinie dotyczyły zastosowań komputerów w leśnictwie. Takim samym mitem jak nieprzydatność komputera PC w leśnictwie jest więc mit o tym, iż *GPS nie nadaje się do lasu, jest za drogi i póki co to tylko nowinka techniczna niewiele przydatna.*

Faktem jest natomiast, że aby dyskutować na powyższy temat opierać się trzeba na wynikach testów w konkretnych rozwiązaniach i analizach ekonomicznych, a niekoniecznie tylko na opisach sprzętu czy opiniach sprzedawców. Dotychczasowe własne wyniki projektów badawczych i wdrożeniowych, jak również prace innych autorów (Kuliesis, Bajorunas 1999; Mancebo, Chamberlain 2000; Wężyk 2004a, 2004b) wykazały ponad wszelką wątpliwość, iż:

- pomiary GPS pod okapem drzewostanu są możliwe;
- zawsze należy starać się wykonywać pomiar w trybie DGPS (min. 120 epok);
- drzewostan wpływa niekorzystnie na odbiór sygnału i dokładność określenia pozycji. Wpływu tego nie da się całkowicie wyeliminować ale można go ograniczać stosując odpowiednie metody pomiaru;

- proponuje się o ile to możliwe wynosić antenę ponad pułap drzew (np. wysuwane tyczki);
- należy stosować anteny zewnętrzne odporne na wielotorowość sygnału;
- odbiorniki z anteną zintegrowaną (wewnętrzną) podczas pomiaru wynosić należy ponad głowę obserwatora (nie ocieńczać anteny własnym ciałem);
- unikać trzeba pomiarów bezpośrednio w sąsiedztwie dużych pni (wielotorowość sygnału);
- w przypadku braku sygnału w otoczeniu mierzonego obiektu stosować opcję „Trawers” lub „Offset”;
- używać oprogramowania do planowania misji pomiarowej (niezbędny aktualny almanach);
- błędy pomiarowe trzeba akceptować, ale konieczna jest świadomość o ich wartości i kierunku;
- swoista pogoń za czasem i za coraz dokładniejszymi wynikami pomiarów, a przede wszystkim chęć utrzymania wysokiego stanu aktualności baz danych geometrycznych (LMN) i opisowych (SILP) wymaga stosowania odbiorników DGPS;
- zastosowanie odbiorników GPS do aktualizacji LMN wymaga określenia odpowiednimi instrukcjami wielkości dopuszczalnych błędów dla odpowiedniego trybu pomiarowego (np. DGPS, RTK)
- w większości prac wykonywanych przez:
 - leśniczych (lokalizacja zrębów, stosów drewna, drzew nasiennych, tropów zwierziny, drzew doborowych, budowli wodnych, itd.),
 - pracowników administracji LP (np. kontrole).
 - firmy wykonujące usługi (np. pielęgnacje, zrywka, transport),
 - służby ratownicze (np. straż pożarna, patrole ppoż., GOPR),
 - pracowników parków narodowych (sieci ATPOL, gniazda kornikowe itp.),
 - zespoły badawcze (np. zdjęcia fitosocjologiczne, stałe powierzchnie obserwacyjne),
 - BULiGL (urządzenie lasu, lokalizacja odkrywek glebowych),
 - społeczeństwo (np. turystyka, myślistwo itp.).
- stosowanie tzw. „odbiorników turystycznych” GPS jest w pełni wystarczające i w zasadniczy sposób ułatwia dokonywanie określonych czynności;
- odbiorniki GPS w ciągu następnych 2–3 lat staną się powszechnym narzędziem pracy leśniczego bądź pracownika Parku Narodowego, tak jak w chwili obecnej rejestratory PSION, komputery PC czy telefony komórkowe;
- nowe technologie teleinformatyczne (sieci GSM, serwis GPRS, WLAN, Bluetooth) pociągają za sobą integrację odbiorników GPS z urządzeniami typu PDA, hand-held computer, panel i tym samym powodują gwałtowny rozwój geoinformatyki a w szczególności WebGIS (MobileGIS, GeoWeb etc);
- zapowiedź rychłego uruchomienia europejskiego systemu GALILEO, a także dostępny testowy sygnał EGNOS oraz wprowadzanie nowych generacji satelitów NAVSTAR-GPS przyczynią się w zdecydowany sposób do poprawy warunków odbioru i jakości pomiaru pod drzewostanem;
- dla stosowanych już w nadleśnictwach odbiorników GPS należy jak najszybciej przeprowadzić obiektywne i niezależne testy w jednakowych warunkach drzewostanowych na precyzyjnie wyznaczonym poligonie pomiarowym;
- przy dokonywaniu przez DGLP rekomendacji zakupu i stosowania konkretnych odbiorników należy mieć przede wszystkim na względzie:

- cel ich zastosowań (geodezyjne, kartograficzne, turystyczne),
- możliwość pracy w różnych trybach (pomiaru statyczne i kinematyczne, zapis punktów, linii, poligonów itd.),
- możliwość stosowania korekcji (np. post-processing, DGPS poprzez satelity geostacjonarne czy radiolatarnie) oraz innych rozwiązań (np. DGPS, RTK poprzez GPRS),
- możliwość wykorzystania poza NAVSTAR-GPS także systemów EGNOS, GLONASS, OmniStar, LandStar a w przyszłości GALILEO,
- integracji z rozwiązaniami stosowanymi na co dzień w praktyce leśnej w tym stosowania programów do transformacji geodezyjnych bądź możliwości konfiguracji odwzorowania w samym odbiorniku GPS.
- rachunek ekonomiczny.
- DGLP powinna jak najszybciej nawiązać współpracę z inicjatywą podjętą przez ASG-PL i GUGIK w celu wykorzystania bezpłatnych serwisów DGPS i RTK dla celów dokonywania pomiarów geodezyjnych GPS na obszarach leśnych.

Literatura

- Frączyk, P. Lamparski J., Modliński G., 1996: Podstawy działania systemu GPS, Materiały I Krajowej Konferencji *Zastosowania satelitarne systemu lokalizacyjnego GPS*. s. 1-33.
- Karaszkiwicz W., 2000a: System GPS – Zastosowanie Odbiorników Pathfinder ProXRS w procesie aktualizacji Leśnej Mapy Numerycznej, <http://witch.sggw.pl>.
- Karaszkiwicz W., 2000b: 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 p.154-166.
- Mancebo S., Chamberlain K., 2000: Performance Testing of the Trimble Pathfinder Pro XR Global Positioning System Receiver. <http://www.fs.fed.us/database/gps/>.
- Menzies G., 2002: 1421 rok, w którym Chińczycy odkryli Amerykę i opłynęli świat. Amber, Warszawa.
- Mirsa P., Burke B. P., Pratt M. M., 1999: GPS Performance in Navigation, Proceedings of the IEEE vol. 87, No. 1, January 1999. p. 16-18.
- Szczygielski K., 2003: Pomiaru metodą DGPS w zmieniających się warunkach drzewostanowych. Praca magisterska w Katedrze Ekologii Lasu. Wydział Leśny Akademii Rolniczej w Krakowie.
- Wężyk P., 2004a: Integracja technologii geoinformatycznych w systemie monitoringu i zarządzania ekosystemami leśnym Europy, na przykładzie projektu FOREMMS (5 PR UE). Teledetekcja Środowiska. Nr 33. s.75-81.
- Wężyk P., 2004b: Materiały do szkoleń z zakresu Globalnego Systemu Pozycjonowania instruktorów Lasów Państwowych. Kraków-Margonin 22-23.03.2004.
- Wężyk P., Guzik M., 2000: Kartowanie w okresie zimowym terenów narciarskich w kotłach Goryczkowym i Gąsienicowym z wykorzystaniem technik Globalnego Systemu Pozycjonowania (GPS). W: II Ogólnopolska Konferencja „Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek – współczesne przemiany środowiska przyrodniczego Tatr”. Zakopane 12-14.10.2000
- Wężyk P., Kozioł K., Madejczyk A., 2001: Zakładanie sieci powierzchni monitoringowych w terenach leśnych metodą DGPS. W: Materiały Konferencyjne (CD-R): I Krajowa Konferencja „System Informacji Przestrzennej w Lasach Państwowych” – Rogów. 2001

Summary

In recent years we have been dealing with the use on ever growing scale of the geomatics applications, including Global Positioning Systems, in forestry and nature conservation. Special regulations (like No. 74 of the General Director of the State Forests dated 23.08.2001) are published stressing the need to apply GPS receivers in the forest administration. However, we still do not have enough proper tests of selected GPS receivers in various forest conditions which would give clear reply as regards accuracy and limitations of GPS measurements. This uncertainty around the usefulness of GPS technology resulting mostly from lack of information gives rise to emergence of groups of sceptics. It is undeniable fact, that the tree stand has negative influence on GPS signal. But the statement that GPS receivers are useless for the forest measurements and are only expensive toys, is a myth.

Main goal of this paper is to demonstrate to wide audience the practical use of GPS receivers in the RTD projects oriented to nature conservation and forestry, worked out by the Laboratory of GIS and Remote Sensing (Department of Forest Ecology, Faculty of Forestry, Agricultural University of Cracow). These studies were focused on the accuracy in various measurements modes, including differential post-processing and DGPS via satellites (OmniStar, LandStar) and GSM (GPRS).

In order to carry out the tests of Pathfinder ProXRS (Trimble) receiver, the GPS measurements polygon was established consisting of 54 points located in different forest stand of Niepołomice Forest, using traditional survey methods. The tests, repeated during 12 months of observation, allowed us to determine very precisely the influence of: differential correction, distance from base station, length of measurement, selected forest stand parameters and other parameters of the quality (accuracy) of GPS position.

The test results showed that RMS error of static GPS measurement (autonomic; 120 epoch) was around the level of 2.03 m in open areas and decreased to 0.43 m (it was ca. 5x smaller) in differential GPS (DGPS; post-processing). The differential correction solutions clearly improve survey under the forest canopy and are recommended by the author. In the same way the measurements done under forest canopy were on the level of: 3.41m (GPS mode) and only 1.69 m (DGPS mode – 2x smaller error). Increase of the error value in the forest stand (under canopy) have connection with PDOP, which ranged in summer period between 6,9 in coniferous stands up to 7,1 in deciduous stands. The study proved that higher errors of DGPS measurement occur in the vegetation period (conif.: 1,73m; decid.: 1,56 m; mixed stands: 2,52 m) while in the winter time the values decrease significantly (conif.: 0,94m; decid.: 1,30m; mixed stands: 1,58m). The tests provide basis to ascertain the influence of wood volume on the increase of DGPS error value from 0,33 m in young stands to 2,05 m in the old forest stand (400 cu. m of wood per 1 hectare).

The study also presents broad discussion on concrete areas where the GPS receivers may be used and suggests practical solutions taking into account available technology and sources of correction signals like: EGNOS, ASG-PL, Galileo etc.

dr inż. Piotr Wężyk
rlwezyk@cyf-kr.edu.pl