

LESZEK BOLIBOK

Zastosowanie odbiorników nawigacji satelitarnej klasy turystycznej w szczegółowym planowaniu hodowlanym

The application of tourist class satellite navigation receivers in detailed silvicultural planning

ABSTRACT

In detailed silvicultural planning, good knowledge of the internal situation (e.g. placement of advanced regeneration) in stand survey units is necessary. Information gathered in the framework of regular forest survey is not sufficient, specifically when natural stand regeneration is planned. The application of GPS is a practical, inexpensive, quick to operate technology of collecting information required for silvicultural planning and positioning spatial elements of a cutting system. As silviculture needs do not require such a high accuracy as in the case of positioning of stand survey units, it seems that the application of tourist-class GPS receivers is an optimum solution. This class equipment is inexpensive and easy to operate. The knowledge about possibilities which GPS receiver provides on the one hand and the awareness of limitations that forest environment creates for GPS measurements helps make a reliable draft of a stand's internal situation.

KEY WORDS

satellite navigation, GPS receiver, silvicultural planning, measurement error

Wstęp

Szczegółowe planowanie hodowlane polega na uporządkowaniu czynności hodowlanych w konkretnym drzewostanie w ciągu całego okresu jego istnienia, aż do powstania następnego pokolenia drzew. W przypadku zrębowo-przerębowego sposobu zagospodarowania lasu dużego znaczenia nabiera kwestia ładru przestrzennego, szczególnie w okresie odnawiania drzewostanu. Sukces w stosowaniu bardziej złożonych rodzajów i form rębni w dużym stopniu zależy od dostępności informacji na temat: usytuowania w danym drzewostanie istniejących płatów odnowień, lokalizacji fragmentów, w których rozpoczęto już cięcia odnowieniowe, przestrzennego zasięgu cięć o różnej intensywności, przebiegu szlaków zrywkowych istniejących lub projektowanych, usytuowania granicy transportu. Bardzo przydatne mogą okazać się informacje o lokalnym mikro zróżnicowaniu siedlisk w obrębie odnawianego drzewostanu lub też o występowaniu bujnej roślinności nie sprzyjającej rozwojowi odnowień. Mapy gospodarcze wykonywane w ramach sporządzania operatu urządzania lasu mogą stanowić źródło potrzebnych informacji jedynie w ograniczonym zakresie. Obowiązujące zasady gromadzenia informacji o sytuacji przestrzennej wewnątrz drzewostanów [Instrukcja UL 2003] zalecają mapowanie stosunkowo niewielkiej liczby informacji o obiektach nie stanowiących wyłączeń ze względu na kryteria powierzchniowe takich jak luki, gniazda (odnowione lub nieodnowione) kępy, oczka wodne, poletka łowieckie. W sposób oczywisty jest to uwarunkowane wysokimi kosztami gromadzenia informacji przestrzennej o dokładności wymaganej przy tworzeniu leśnych map gospodarczych. Nowy

LESZEK BOLIBOK

Katedra Hodowli Lasu SGGW
ul. Nowoursynowska 159
02-787 Warszawa
bolibok@delta.sggw.waw.pl

Standard Leśnej Mapy Numerycznej nie ogranicza możliwości wprowadzania bardziej szczegółowej informacji o sytuacji wewnętrznej w drzewostanach, ale dziesięcioletni okres pomiędzy kolejnymi rutynowymi aktualizacjami może okazać się niewystarczający dla potrzeb szczegółowego planowania hodowlanego. Z drugiej strony duża dokładność położenia w przestrzeni poszczególnych obiektów zapewniana przez ten standard nie jest konieczna w planowaniu hodowlanym. W tym przypadku bardziej istotna jest informacja o wzajemnym położeniu poszczególnych obiektów w obrębie drzewostanu. Innymi słowy nie wymagana jest precyzyjna mapa, ale raczej „wiarygodny szkic” sytuacji wewnętrznej w drzewostanie. Ostatecznie taki szkic może być wykonany odręcznie na kserokopii mapy gospodarczej. Obecności zaawansowanego odnowienia naturalnego bardzo ogranicza widoczność poziomą w drzewostanie. Nawet osoby o wyjątkowo dobrej orientacji przestrzennej mogą mieć kłopoty w takich warunkach ze sporządzeniem wiarygodnego szkicu. W tej sytuacji bardzo przydatnym narzędziem może okazać się odbiornik nawigacji satelitarnej GPS klasy turystycznej. Pozwala on na rejestrowanie informacji o położeniu istotnych z hodowlanego punktu widzenia obiektów, a następnie przedstawienie ich na szkicu drzewostanu. W odróżnieniu od procedury sporządzania mapy numerycznej wykonanie takiego szkicu nie wymaga posiadania wyrafinowanego i kosztownego oprogramowania oraz dużego doświadczenia w jego obsłudze. W najprostszym przypadku wymagane jest skanowanie mapy gospodarczej i użycie prostego w obsłudze programu do prezentacji graficznej pomiarów zwyczajowo dołączanego przez producenta odbiornika GPS lub innego dostępnego gratis w Internecie. Z drugiej strony pracownicy z większym doświadczeniem w obsłudze oprogramowania GIS mogą wykorzystać istniejącą w nadleśnictwie mapę numeryczną do sporządzenia takiego szkicu.

Jak rozumiany jest błąd pomiaru

Jeżeli kłamstwo to świadome mijanie się z prawdą to można powiedzieć, że od maja 2000 roku dostępne do zastosowań cywilnych odbiorniki GPS „nie kłamią”. Intencjonalnie wprowadzone przez twórców systemu GPS zakłócenia do sygnału emitowanego przez satelity na częstotliwości cywilnej powodowały, że błąd pomiaru położenia za pomocą odbiorników klasy turystycznej sięgał kilkudziesięciu metrów. Obecnie odbiorniki „nie kłamią”, ale ciągle mijają się z prawdą. Jak w przypadku wszelkich pomiarów istnieje zjawisko błęd pomiaru, którego nie można wyeliminować. Wielkość tego błędu zależy od wielu czynników, w tym od parametrów samego odbiornika. Producenci sprzętu GPS zazwyczaj podają w charakterystyce odbiornika błąd jakiego można się spodziewać w przypadku ich odbiornika. Istnieje jednak pewne zamieszanie ponieważ różni producenci różnie definiują ów błąd. Niekiedy podczas lektury instrukcji odbiornika czytelnik może się zastanawiać jaki w ogóle jest sens używania tak niedokładnego urządzenia, szczególnie gdy jego wzrok padnie na wartość, poniżej której ma mieścić się 95% błędów. Podstawowym pojęciem z zakresu określania precyzji pomiarów jest tak zwany błąd średniokwadratowy (RMS – ang. root mean squared error), który dla dużej liczby prób wyraża się wzorem:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N b_i^2}{N}} \quad [1]$$

gdzie:

b_i – błąd pojedynczego pomiaru (pozioma odległość między rzeczywistym położeniem obiektu P a położeniem P_n wskazanym przez odbiornik GPS),

N – liczba pomiarów.

W przypadku pomiaru poziomego usytuowania obiektu na kuli ziemskiej można popełnić błąd (b_i) zarówno w określaniu długości (b_x) jak i szerokości geograficznej (b_y), więc:

$$b_i = \sqrt{b_x^2 + b_y^2} \quad .$$

Przybliżona pozycja analizowanego obiektu (P_n) jest zmienną losową o dwuwymiarowym rozkładzie normalnym. Dodatkowe założenie, że nie ma korelacji między zmiennymi składowymi (b_x i b_y) pozwala modelować kształtowanie się rozkładu wartości błędów pomiarowych za pomocą rozkładu Weibulla (ryc. 1), a w zasadzie jego szczególnego przypadku: rozkładu Rayleigha (parametr k rozkładu=2). Wówczas prawdopodobieństwo, że podczas pomiaru błąd (b_i) będzie miał wartość mniejszą bądź równą wybranej odległości (d) wyraża się wzorem:

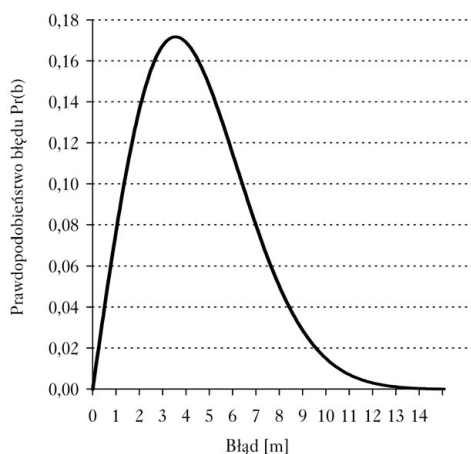
$$\Pr(b_i \leq d) = 1 - e^{-1\left(\frac{d^2}{RMS^2}\right)} \quad [2]$$

gdzie:

e – podstawa logarytmu naturalnego.

Prawdopodobieństwo to zależy wyłącznie od wybranej odległości d oraz specyficznej dla danego odbiornika wartości RMS (ryc. 2). Badania Wilsona [2000] przeprowadzone dla odbiornika klasy turystycznej Garmin 12XL z dodatkową anteną zewnętrzną pozwoliły ustalić na podstawie ponad 86 tysięcy odczytów wartość błędu RMS na 5,5 m. Empiryczny rozkład zaobserwowanych błędów b_i wykazał duże podobieństwo do rozkładu Rayleigha, niemniej nie całkowite, co sugeruje jednak pewną korelację między błędami w ustaleniu szerokości i długości geograficznej (b_x i b_y).

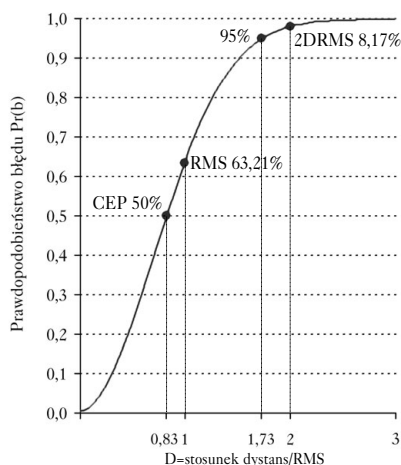
Teoretycznie z ryciny 1 wynika, że dla wspomnianego odbiornika najbardziej prawdopodobna wartość błędu wynosi 3,55 m, natomiast bardzo niskie jest prawdopodobieństwo wystąpienia błędów (rzędu kilkunastu metrów) mogących mieć negatywny wpływ na jakość szkicu sytuacji wewnętrznej drzewostanu. Na rycinie 2 przedstawiony został nomogram zaproponowany przez Wilsona [2000], pozwalający na podstawie charakterystyki odbiornika podanej



Ryc. 1.

Teoretyczny rozkład prawdopodobieństwa błędu dla odbiornika z $RMS=5,0$ m

Theoretical error probability distribution for GPS receiver with $RMS=5.0$ m



Ryc. 2.

Skumulowany rozkład prawdopodobieństwa wystąpienia błędu mniejszego niż D

Cumulated probability distribution of occurrence of an error smaller than D

przez producenta (lub własnych pomiarów) ustalić jakie jest prawdopodobieństwo, że błąd pomiaru nie przekroczy określonej wartości. Odczyt następuje na podstawie wskaźnika D (wybrana wartość błędu (d) podzielona przez wartość RMS). Na wykresie poza RMS zaznaczono również inne często używane charakterystyki odbiorników. CEP (ang. Circular Error Probable) oznacza medianę błędu pomiaru. Iloczyn $0,83 \cdot \text{RMS}$ odpowiada promieniowi koła o środku w P (rzeczywistej lokalizacji obiektu), w którym zawarte powinno być 50% lokalizacji wskazanych przez dany odbiornik dla punktu P. Producenci odbiorników ze Stanów Zjednoczonych w specyfikacjach technicznych swoich wyrobów stosują się do normy ustalonej przez Federal Geographic Data Committee [Anonim 1998]. Zgodnie z nią dokładność pomiaru definiowana jest w odniesieniu do 95% pomiarów. W przypadku braku korelacji między b_x a b_y promień koła, w którym mieści się 95% odczytów pozycji wynosi $1,7308 \cdot \text{RMS}$. Niektórzy producenci podają, że w przypadku ich sprzętu 95% wskazanych lokalizacji znajduje się w kole o promieniu $2 \cdot \text{RMS}$ (często oznaczanym jako 2DRMS). Wskazuje to na ich ostrożność w szacowaniu zalet swojego odbiornika, ponieważ teoretycznie w tym obszarze powinno się znaleźć 98,17% wskazań.

Wskaźnik szacunkowego błędu określania pozycji EPE i jego wykorzystanie

Omawiany dotychczas błąd RMS można ustalić rejestrując bardzo dużą liczbę odczytów, w ciągu długiego okresu, dla miejsca o znanych współrzędnych i reprezentatywnych warunkach pomiaru (np. w miejscu o dobrej widoczności nieboskłonu). Wartości wyliczone w krótszych okresach w tym samym miejscu mogą się jednak znacznie różnić od siebie. Błąd pomiaru zależy od wielu czynników, które mogą się stosunkowo szybko zmieniać w czasie. Nie sposób przewidzieć dokładnej wartości błędu dla konkretnego pomiaru, niemniej jednak istnieje możliwość oszacowania zakresu w jakim będzie się ten błąd mieścił jeszcze przed pomiarem. Zakres ten określanym jest mianem szacunkowego błędu określania pozycji i oznaczany akronimem EPE (ang. Estimated Position Error). Wiele turystycznych odbiorników podaje wartość wskaźnika EPE, ponieważ można ją wykorzystać w celu zwiększenia dokładności określania pozycji. Najbardziej ogólny wzór określa wartości EPE jako iloczyn dwóch składników:

$$\text{EPE} = \text{DOP} \cdot \text{UERE} \quad [3]$$

Pierwszy z komponentów: DOP określa osłabienie precyzji pomiarów (ang. Delusion of Precision) związane z aktualną konstelacją satelitów na nieboskłonie. W przypadku optymalnej dla precyzji pomiarów konfiguracji (satelity rozmieszczone są daleko od siebie) wskaźnik DOP ma wartość 1 i nie ma wpływu na szacunkowy błąd określania pozycji. W przypadku pogarszania się konfiguracji (gdy śledzone przez odbiornik satelity znajdują się bardzo blisko siebie w przestrzeni) wskaźnik DOP rośnie osiągając wartość nawet powyżej 9. W związku z ustawicznym ruchem satelitów po nieboskłonie wartość tego wskaźnika ulega ciągłym zmianom w krótkim czasie może on wielokrotnie pogorszyć dokładność określenia pozycji. Biorąc pod uwagę zmienność tego wskaźnika i częstotliwość występowania różnych jego wartości DOP poniżej 4 należałoby uznać za wystarczająco dobre [Anonim 2003].

Odbiornik określa swoją pozycję w przestrzeni dzięki wyliczeniu odległości między nim a poszczególnymi satelitami, względem których się orientuje. Do ustalenia współrzędnych x i y potrzebuje on co najmniej trzech satelitów (tzw. tryb 2D), a do ustalenia wysokości nad poziomem morza, co najmniej czterech (tzw. tryb 3D). Odległość od danego satelity ustalana jest jako iloczyn prędkości rozchodzenia się fali radiowej oraz czasu w jakim ona dotarła z satelity do odbiornika. Błędy w ustalaniu tego czasu (np. kilka nanosekund różnicy między czasem

zegara odbiornika GPS i zegara satelity) oraz zmiany prędkości propagacji fal radiowych w atmosferze przekładają się na błąd ustalenia wspomnianej odległości i rzutują na obliczoną przez odbiornik pozycję.

Drugi składnik UERE (wzór [3]) jest oszacowaniem wpływu na dokładność określenia pozycji jaki ma błąd ustalania odległości przez odbiornik użytkownika (ang. User Estimated Range Error). Dokumentacja publikowana przez wojskową agendę USA [Anonim 2003] podaje, że dla odbiorników działających na jednej częstotliwości (standard w odbiornikach turystycznych) wartość UERE waha się w zakresie 2,2 do 14,6 metra. Po uwzględnieniu zakłóceń w pracy odbiornika wywołanych przez sygnały satelitów odbite od przeszkód terenowych (ang. multipath effect) wartość UERE zazwyczaj zamyka się w granicach 10-15 metrów.

Wskaźnik UERE jest liczony jako pierwiastkowana suma kwadratów (RSS ang. root sum square) składników tak zwanego budżetu błędów. Budżet błędów jest to lista czynników powodujących błąd w ustalaniu odległości między satelitą a odbiornikiem oraz przypisywane im wielkości błędu wyrażone w metrach. Pierwsza część tej listy zawiera czynniki, które wywołują błędy nie podlegające korekcie: szum odbiornika (ang. receiver noise) oraz zakłócenia spowodowane sygnałami odbitymi (ang. multipath effect).

Druga część listy, określana jako SIS (ang. Signals in Space, Anonim 2001) zawiera czynniki niezależne od odbiornika (błąd zegara satelity, zakłócenia w jonosferze i troposferze itp.). W przypadku odbiorników klasy kartograficznej możliwe jest zniwelowanie tej części błędu dzięki specjalnej korekcie uzyskanej dzięki technice pomiarów różnicowych. Podobnym rozwiązaniem, stosowanym w niektórych odbiornikach turystycznych, jest korekta rozsyłana drogą radiową przez naziemne stacje radiowe (w USA system The Coast Guard) zawierającą precyzyjne informacje o niezbędnych w danym momencie poprawkach. Większy zasięg i precyzję mają poprawki wysyłane drogą radiową przez satelity geostacjonarne spoza systemu GPS. Taki system w USA nosi nazwę WAAS (Wide Area Augmentation System), a uruchamiany w Europie nazywa się EGNOS (Euro Geostationary Navigation Overlay Service). Przy wyborze odbiornika warto więc wiedzieć czy będzie on w stanie współpracować z tego typu systemami. Informacje od producentów odbiorników turystycznych wskazują, że z poprawką WAAS w otwartym terenie błąd 95% odczytów nie przekracza trzech metrów [Anonim 2004].

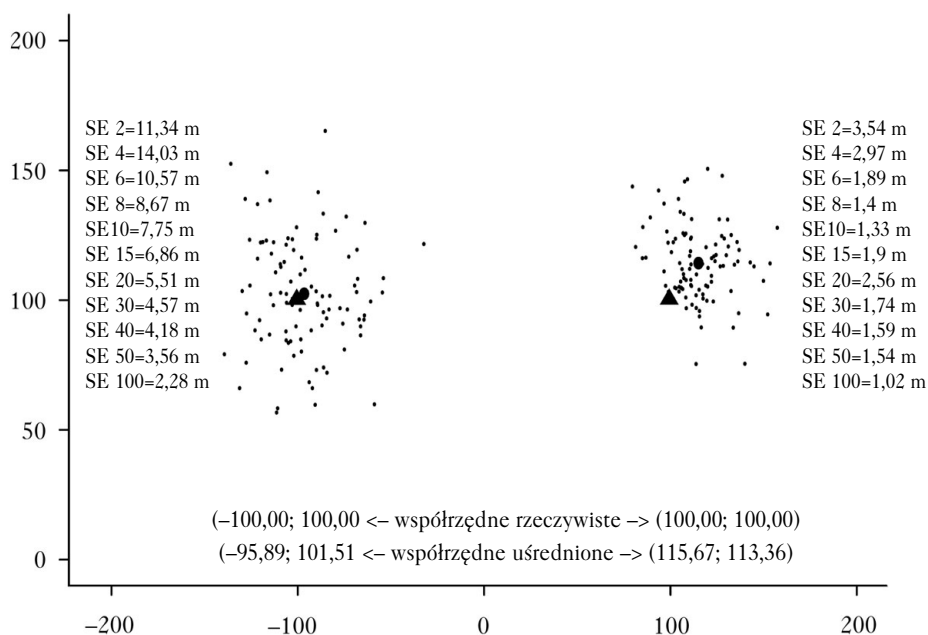
Błąd pomiaru współrzędnych jest zmienną losową. Mimo, że znany jest jej przybliżony rozkład, do końca nie wiadomo jaką będzie miał wartość dla następnego odczytu. Praktyczne zastosowanie wskaźnika EPE można wytłumaczyć przez analogię do rzutu kostką do gry. Szansa na wyrzucenie 1 oczka (co mogłoby oznaczać mały błąd odczytu pozycji) wynosi jak 1:6. Jeżeli gracz wiedziałby, w jakim momencie wypadnie liczba oczek mniejsza od czterech wówczas miałby szansę jak 1:3 na uzyskanie jednego oczka. W uczciwej grze jest to raczej niemożliwe. Natomiast w przypadku turystycznego odbiornika GPS szansa na dokładniejsze odczyty istnieje przy mniejszych wartościach EPE. Należy jednak podkreślić, że jest to jedynie większa szansa, a nie gwarancja na dokładność odczytów.

Uśrednianie pomiarów

Innym mechanizmem wbudowanym w większość turystycznych odbiorników jest tzw. uśrednianie wyników. Polega ono na automatycznym wykonaniu przez odbiornik szeregu odczytów, a następnie wyliczeniu z nich średniej wartości współrzędnych x i y oraz zapisaniu ich jako współrzędnych rejestrowanego punktu. W produktach firmy Magellan gdy użytkownik przestaje się przemieszczać odbiornik automatycznie przechodzi w tryb uśredniania odczytu. W konstrukcjach innych firm wymagana jest decyzja użytkownika. W wielu odbiornikach ukazuje się

wskaźnik określający liczbowo postęp tego procesu. Przykładowo w odbiorniku Garmin GPS 12CX nosi on nazwę FOM (ang. Figure of Merit). W miarę uśredniania kolejnych odczytów pozycji jego wartość maleje. Początkowo dość znacznie, lecz stosunkowo szybko się stabilizuje. Wartość tego wskaźnika również podawana jest w metrach co mogłoby sugerować dokładność pomiaru. Producent dość enigmatycznie opisuje ten wskaźnik i radzi kończyć uśrednianie pozycji przy jak najmniejszych jego wartościach. Dociekliwi użytkownicy odbiorników tej firmy doszli do przekonania, że ów wskaźnik to nic innego jak błąd standardowy (SE) odchylenia odczytów względem położenia wyznaczonego przez uśrednienie ich współrzędnych.

Na rycinie 3 przedstawiono symulację procesu uśredniania. Wokół punktów symbolizujących położenie o znanych współrzędnych komputer wygenerował serię 100 kolejnych odczytów, które oddalone są od prawdziwego położenia o pewną odległość symbolizującą błąd odczytu. Kolejne odchylenia były generowane przez generator liczb losowych na podstawie rozkładu Rayleigha (dla RMS=30 m por. ryc. 1). W symulacji przedstawionej w lewej części rysunku „odczyty” rozmieszczone są wokół punktu symbolizującego prawdziwe położenie. Stało się tak ponieważ komputer z jednakowym prawdopodobieństwem przypisywał wartość azymutu z zakresu 0° - 360° , dla każdego kolejnego wygenerowanego odchylenia. W prawej części rysunku środek ciężkości chmury „odczytów” jest wyraźnie przesunięty względem prawdziwej pozycji. Efekt ten powstał dlatego, że nie wszystkie azymuty błędów były jednakowo prawdopodobne. W tym przypadku wartość azymutu była zmienną losową o rozkładzie normalnym $N(45,30)$. Ten wariant symulacji może odpowiadać realnej sytuacji, w której z powodu konfiguracji terenu lub innych przeszkód widoczna jest jedynie część nieboskładu, co może mieć wpływ na przesunięcie odczytów względem prawdziwej pozycji.



Ryc. 3.

Symulacja uśredniania 100 odczytów GPS

Simulation of averaging effect of 100 readings from a GPS receiver

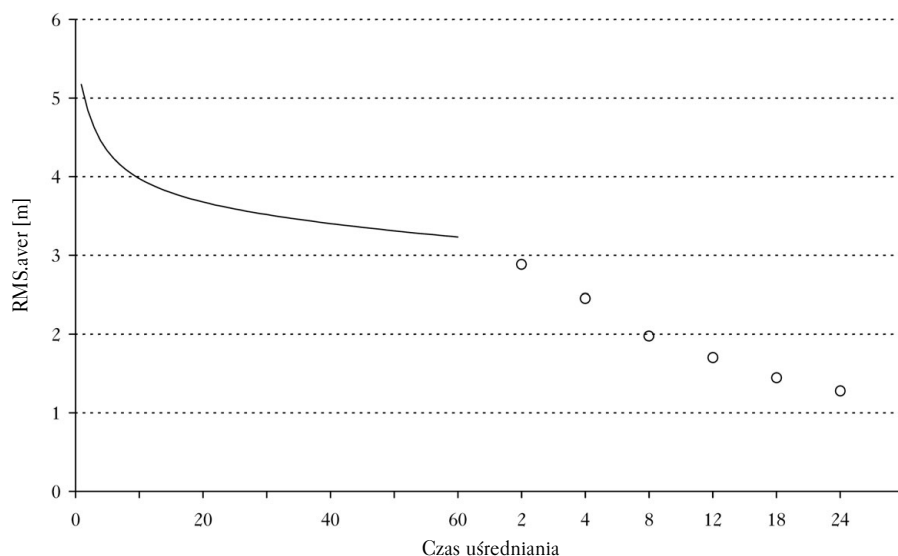
Znak „▲” oznacza współrzędne rzeczywiste, kropki wskazują współrzędne odczytów, czarne koło oznacza współrzędne uśrednione
 A „▲” sign describes real coordinates, points describe coordinates from the readings, black circles describe averaged coordinates

W obu wariantach symulacji w miarę pojawiania się kolejnych odczytów błąd standardowy maleje w podobnym tempie, ale różnica między prawdziwą pozycją a uśrednioną w symulacji po prawej stronie jest zdecydowanie większa. A więc ostatecznie większy jest błąd odczytu uśrednionego. Omawiany wariant symulacji wyraźnie pokazuje, że mała wartość błędu standardowego odchylenia kolejnych odczytów nie stanowi gwarancji małej wartości błędu odczytu. Można powiedzieć, że uśrednianie powoduje wzrost precyzji pomiaru, ale nie powoduje wzrostu jego dokładności. Prawdą jest, że uśrednianie zmniejsza maksymalną wartość błędu pomiaru, niemniej jednak podnosi również wartość minimalną tego błędu [Oderwald, Boucher 2003].

Wilson [2000], na podstawie obserwacji empirycznych w warunkach dobrej widoczności nieboskłonu, podał dla odbiornika Garmin GPS12XL zależność funkcyjną (ryc. 4) między czasem uśredniania a osiąganą wartością błędu średniokwadratowego uśrednianej pozycji (RMS.aver). W ciągu pierwszych dziesięciu minut uśredniania błąd ten maleje najszybciej, lecz z czasem tempo tego procesu wyraźnie zmniejsza się. W omawianym odbiorniku odczyt pozycji odbywa się co 2 sekundy, więc w ciągu pierwszych dziesięciu minut odbiornik ma szansę uśrednić około 300 odczytów (o ile warunki otoczenia pozwolą na wszystkie odczyty). Dobowy okres uśredniania pozwala osiągnąć wartość RMS.aver zbliżoną do jednego metra. Rycina 4 uświadamia ograniczony potencjał uśredniania w redukcji błędów ustalania pozycji. Z praktycznych względów przy sporządzaniu szkicu sytuacji wewnętrznej w odnawianym drzewostanie trudno będzie poświęcić 10 minut na uśrednianie pozycji. Niemniej jednak, nawet krótki okres uśredniania może częściowo zniwelować efekt najbardziej skrajnych odczytów.

Wpływ środowiska leśnego na dokładność pomiarów

System GPS został zaprojektowany z myślą o użytkowaniu odbiorników w warunkach dobrej widoczności nieboskłonu. Dotychczasowe rozważania dotyczyły właśnie takich warunków.



Ryc. 4.

Zależność błędów średniokwadratowych uśrednianej pozycji (RMS.aver) od czasu uśredniania dla odbiornika Garmin GPS12XL według Wilson [2000]

Relationship between Root Mean Square Error (RMS aver.) and the averaging time for a Garmin GPS 12XL receiver according to Wilson [2000]

Środowisko leśne ma znaczny wpływ na propagację sygnału radiowego nadawanego z satelitów systemu GPS. Jako ilustrację tego stwierdzenia mogą posłużyć następujące obserwacje. W silnie zróżnicowanym wiekowo i wysokościowo drzewostanie, w którym pracownicy Katedry Hodowli Lasu prowadzą badania nad rozwojem wielogeneracyjnych drzewostanów sosnowych, do celów kontrolnych została założona sieć kołowych powierzchni próbnych. Rozmieszczenie powierzchni próbnych zostało wyznaczone w odniesieniu do linii oddziałowej za pomocą busoli i taśmy mierniczej i zaznaczone drewnianymi kołkami. We wrześniu 2003 roku na środku 56 powierzchni dokonano rejestracji położenia (z uśrednianiem) za pomocą odbiornika GPS klasy turystycznej Garmin GPS 12CX. W celu oszacowania jaki wpływ może mieć struktura drzewostanu na wielkość błędu określania pozycji wykonano następującą analizę. Niestety nie są dostępne precyzyjnie wyznaczone współrzędne geodezyjne środków powierzchni próbnych. Aby ominąć ten problem założono, że sieć powierzchni kołowych została wyznaczona w terenie precyzyjnie i zachowane są przewidziane między kołkami odległości. Za pomocą komputera wygenerowano współrzędne kołków w pożądanych odległościach względem siebie. Następnie program komputerowy „dopasował” tę sieć do zarejestrowanych w terenie za pomocą odbiornika lokalizacji powierzchni próbnych. Dopasowywanie polegało na cyklicznym przesuwaniu sieci o 10 cm wzdłuż osi x oraz y. Po każdym przesunięciu była liczona suma odległości między poszczególnymi środkami a wskazaniami z odczytów GPS. Najmniejsza sumaryczna różnica wyniosła 488 m, co oznacza średnio 8,71 m różnicy między kołkiem a odczytem. Różnice między środkami powierzchni o wartościach odczytów dla potrzeb dalszej analizy uznano za błędy odczytów. Korelacja między miąższością drzewostanu na powierzchni próbnej a wartością błędu była niska ($R=0,26$), ale większą wartość osiągała gdy korelowano miąższość drzew o pierśnicy ≥ 30 cm ($R=0,39$). Na każdej powierzchni próbnej została określona faza rozwojowa i struktura drzewostanu. Zestawienie kształtowania się średniej wartości błędu na powierzchniach o różnej strukturze drzewostanu przedstawia tabela 1.

Ze względu na dużą liczbę wstępnych założeń i stosunkowo małą liczbę pomiarów przedstawione wyniki nie są formalnym testem dokładności odbiornika klasy turystycznej w warunkach leśnych, niemniej jednak są one zgodne z wynikami badań w innych obiektach przeprowadzonych z użyciem sprzętu wyższej klasy niż turystyczna. Negatywny wpływ drzewostanu na dokładność pomiarów jest zjawiskiem złożonym, w którym można wyróżnić kilka aspektów: zablokowanie sygnału, osłabienie sygnału oraz odbicie sygnału nadawanego przez satelity.

Sygnał radiowy nadawany przez satelity systemu GPS rozchodzi się po liniach prostych i może być całkowicie zatrzymywany przez drzewostan lub konfigurację terenu. W związku z ruchem satelitów po nieboskłonie rzadkie są miejsca, w których odczyt jest w ogóle niemożliwy. Częściej zdarzają się miejsca gdzie niemożność odczytu pozycji pojawia się okresowo w ciągu doby. Rumble i Lindzey [1997] w drzewostanach *Pinus ponderosa* stwierdzili liniową zależność pomiędzy procentem udanych prób odczytu lokalizacji a oddzielnie zwarcem, pierśnicowym

Tabela 1.

Kształtowanie się średniej wartości błędu pomiaru odbiornika GPS klasy turystycznej w zależności od typu drzewostanu na powierzchni próbnej

The mean measurement error value of a tourist class GPS receiver depending on stand type on the sampling plot

Typ drzewostanu	Uprawa	Młodnik	Granica dojrzałego	Dojrzały jednopiętrowy	Dojrzały wielopiętrowy	Razem
Średni błąd odczytu	3,4	5,7	8,2	8,4	10,5	8,7
Liczba powierzchni	6	2	12	9	27	56

polem przekroju i zagęszczeniem drzew na 1 akr. W drzewostanach, w których drzewa zakrywały ponad 70% nieboskłonu blisko 50% prób odczytu pozycji zakończyło się niepowodzeniem. Gamo i in. [2000] stosując podobną metodykę wykazali, że różne gatunki drzew mają różny wpływ na możliwość odczytu pozycji. Dla drzewostanów o zwarcu ponad 70%, w przypadku *Populus tremuloides* (stan bezlistny) procent udanych prób był największy (50%), mniej udanych prób zanotowano dla *Pinus ponderosa* (35%), a najmniej w przypadku *Picea galuca* (około 25%). Niejasne wyniki dały badania w ulistnionych drzewostanach osikowych. W 7 na 19 zbadanych drzewostanów w okresie wegetacyjnym zaobserwowano większy sukces odczytu pozycji mimo oczywistej gorszej widoczności nieboskłonu. W innych badaniach obraz jest bardziej jednoznaczny. Jasumback i Gerlach [1989, za Sigrist i in. 1999] stwierdzili redukcję liczby odczytów o 36% w okresie ulistnienia w stosunku do okresu bezlistnego. W badaniach Liu i Brantigana [1995] obecność liści na drzewach wydłużała okres konieczny do zebrania zakładanej liczby odczytów w trybie 3D. Sigrist i in. [1999] stwierdzili, że liczba odczytów w okresie bezlistnym wzrasta w stosunku do okresu ulistnienia średnio o 47%, ponadto zaobserwowali w okresie bezlistnym wzrost liczby śledzonych przez odbiornik satelitów.

Brak możliwości śledzenia większej liczby satelitów i wyboru tych dających lepszą konfigurację (DOP) skutkuje pogorszeniem dokładności odczytu pod okapem drzewostanu. Badania Deckerta i Bolstada [1996, za Sigrist i in. 1999] wykazały następującą prawidłowość: pomiary są dokładniejsze w terenie otwartym w stosunku do odczytów pod okapem, dokładniejsze w drzewostanach liściastych niż w iglastych, dokładniejsze na wzniesieniach terenu niż w zagłębieniach. Wyniki Sigrista i in. [1999] wykazują wyraźny (średnio o 40%) wzrost błędu RMS określania pozycji w okresie ulistnienia drzew w stosunku do okresu bezlistnego, i to we wszystkich kategoriach drzewostanów (liściastych, mieszanych i iglastych). W cytowanych badaniach odbiorniki pod ulistnionym drzewostanem miały większe problemy z odnalezieniem dobrej konstelacji satelitów (większe wartości DOP).

Badania Sigrista i in. [1999] wskazują na niemal wykładniczą zależność między zwarciem drzewostanu a wzrostem błędu pomiaru. Cytowani autorzy podkreślają, że uśrednianie pomiarów (z około 180 odczytów) pozwalało zmniejszyć błąd pomiaru. Zabieg ten był jednakowo efektywny we wszystkich typach drzewostanów, ale jego efektywność wzrastała w przypadku odczytów z miejsc o większym zwarcu. Warto podkreślić, że zbieranie ponad 300 odczytów nie przynosiło już tak wyraźnej poprawy dokładności (co jest zgodne z zależnością przedstawioną na ryc. 4.)

Holden i in. [2001] dokładniej zbadali wpływ zwarcia analizując korelację między błędem określania pozycji, a oddzielnie: procentem zakrytego przez korony nieboskłonu, wielkością największej luki w sklepieniu koron nad odbiornikiem oraz fragmentacją widocznego nieboskłonu w sklepieniu koron. Zgodnie z poprzednio cytowanymi badaniami wzrost procentu zakrytego nieboskłonu powodował wzrost błędu. Wzrost wielkości luki redukował błąd określenia pozycji. W przypadku miejsc, które miały podobny procent zakrytego nieboskłonu, mniejsze błędy notowano gdy fragmenty odsłonięte były mniej rozdrobione. Wszystkie stwierdzone zależności miały charakter nieliniowy. Dla zwarcia 16-70% notowano 2-3-krotny wzrost błędu, a dla zwarcia powyżej 71% aż 5-7-krotny wzrost błędu w stosunku do powierzchni otwartej.

Negatywny wpływ drzewostanu na odczyty związany jest również ze zjawiskiem odbijania się fal radiowych. W takim przypadku sygnał z satelity nie dociera do odbiornika bezpośrednio z satelity po linii prostej, ale po linii łamanej po odbiciu się od drzew. Jeżeli sygnał rozchodzący się po linii prostej zostanie zasłonięty przez drzewo to odbiornik może użyć sygnału odbitego do ustalania odległości od satelity. Ponieważ ten wędrował dłużej, odbiornik popełni duży błąd w ustalaniu tej odległości co przełoży się na duży błąd w ustalaniu pozycji. Wielkość błędu

powodowanego przez odbicie nie daje się przewidzieć, ale może być znaczna. Z drugiej strony dla odbiorników pracujących na zakresie L1 stwierdzono, że teoretycznie efekt odbicia dla określonej pozycji pojawia się w cyklach 6-10 minutowych. Jeżeli antena odbiornika będzie utrzymywana przez cały okres cyklu w jednej pozycji to błąd może ulec w czasie uśredniania zredukowaniu do stosunkowo małej wartości [Anonim 2001]

Różne fragmenty drzew w różnym stopniu odbijają fale radiowe. Najlepiej fale odbijają się od dużych gładkich powierzchni. Z tego powodu efekt odbicia będzie miał szczególnie duże znaczenie w drzewostanach z drzewami o grubych pniach i gładkiej korze (np. stare buczyny). Brak podszytu (jako czynnika tłumiącego fale odbite) w tego typu drzewostanach jest dodatkowym czynnikiem zwiększającym prawdopodobieństwo efektu odbicia [Heine 2001]. Innym ośrodkiem, od którego dobrze odbijają się fale radiowe jest tafla wody. Jasumback [1996] porównując odczyty pod drzewostanem z suchymi i z mokrymi koronami zauważył pogorszenie dokładności w tych ostatnich, co przypisał efektowi odbicia fal od wilgotnego listowia. Sigrist i in. [1999] zauważyli, że drzewostany sosnowe wyraźnie gorzej wpływają na określanie pozycji w lecie niż w zimie. Różnica w widoczności nieboskłonu między obu okresami wynosiła zaledwie 4,44%, ale błąd RMS wzrastał prawie trzy razy z 4,5 do 12 m. Autorzy to zjawisko tłumaczyli jako wpływ wody obecnej na igłach podczas pomiarów w sezonie wegetacyjnym. Cytowani autorzy w swojej pracy wskazują ponadto na ruchy koron wywołane przez wiatr jako dodatkową przyczynę mogącą powodować efekt odbicia i pogorszenie wyników pomiarów.

Małe wartości wskaźnika EPE mogą być w otwartym terenie wykorzystywane do poprawienia dokładności odczytów, ponieważ wskazują one na sprzyjającą dużej dokładności pomiarów konstelację satelitów (małe wartości DOP). Jak wskazują badania Sigrista i in. [1999] oraz Næsseta i Jonmeistera [2002] pod drzewostanem ta zasada nie sprawdza się. Teoretycznie najlepszą dokładność odbiornik uzyskuje analizując sygnał z satelitów znajdujących się nisko nad horyzontem. W takiej sytuacji droga sygnału do odbiornika przez korony drzew jest dłuższa niż z satelity nad odbiornikiem. Pojawiający się wówczas efekt odbicia sprawia, że dokładność pomiarów przy niskich wartościach DOP nie jest wcale lepsza od pomiarów przy wyższym DOP. Również Karaszkievicz [2001] nie zauważa istotnej korelacji między dokładnością a wartością wskaźnika DOP.

Dlaczego odbiornik GPS klasy turystycznej?

Przedstawione w poprzednim rozdziale prawidłowości dotyczące wpływu drzewostanu na dokładność pomiarów zostały określone z użyciem sprzętu wyższej klasy niż turystyczna. Wynika to z różnych przyczyn. Najbardziej zaawansowane odbiorniki pozwalają na ustalanie położenia obiektów z dokładnością do kilku milimetrów, co pozwala nawet na śledzenie wypiętrzania się łańcuchów górskich. Urządzenia średniej klasy (kartograficzne) pozwalają na osiągnięcie dokładności określenia pozycji do kilkunastu cm. Najmniej precyzyjne są odbiorniki GPS klasy turystycznej, w tym wypadku dokładność może wynosić kilka lub kilkanaście metrów z tego powodu odbiornik klasy turystycznej słabo nadaje się na dokładny przyrząd badawczy. Inny powód to ograniczone możliwości transferu danych z odbiornika. O ile odbiorniki wyższych klas zapisują w pamięci pełne dane dotyczące każdego odczytu oraz wszystkie odczyty wzięte do uśredniania pozycji, o tyle odbiorniki turystyczne zapisują zazwyczaj tylko ograniczoną liczbę danych w pamięci. Określenie jakie odczyty były wzięte do uśredniania pozycji możliwe jest tylko w przypadku gdy odbiornik taki ma możliwość podłączenia do komputera i dane są przekazywane na bieżąco. Z wymienionych powodów liczba badań nad dokładnością funkcjonowania odbiorników turystycznych w środowisku leśnym jest bardzo ograniczona. Badania prowadzone w polskich lasach przez Karaszkievicza [2001] wykazały, że drzewostan znacząco ogranicza dokładność pomiaru za pomocą odbiorników GPS z wyższych klas. Stoso-

wanie w tych odbiornikach korekty różnicowej nie daje wyraźnej poprawy dokładności pomiaru. Wobec tego brak tego rodzaju korekty w odbiorniku klasy turystycznej traci na znaczeniu.

W wielu przypadkach, duża dokładność pomiaru odbiorników wyższej klasy związana jest z długim okresem przebywania odbiornika w miejscu odczytu. Wynika ona z konieczności zebrania dużej (150-300) liczby odczytów, ponadto w trosce o dokładność zalecane jest w tych odbiornikach ignorowanie odczytów przy zbyt wysokich wartościach DOP, gdy sygnał docierający do odbiornika jest słaby lub gdy satelity znajdują się zbyt nisko nad horyzontem. W praktyce oznacza to poprawę dokładności kosztem czasu pomiaru. W przypadku gdy celem pomiaru jest szkic, a nie dokładna mapa sytuacji wewnętrznej drzewostanu, nie wydaje się celowe, aby leśniczy tracił 15 minut na określenie położenia jednego punktu w terenie. A więc wada jaką jest mała dokładność odbiorników turystycznych może być w tej sytuacji zrekomensowana zaletą jaką jest dużo szybsze określanie pozycji.

Autorzy prowadzący badania z odbiornikami wyższej klasy stwierdzili, że wywyższenie odbiornika pozytywnie wpływa na dokładność pomiaru. Przykładowo D'Eon [1996, za Naesset, Jonmeister 2002] stosował z pozytywnym skutkiem antenę na teleskopowym 4 metrowym wysięgniku. Karsky i in. [2000] przeprowadzili próby z odbiornikiem klasy turystycznej (Garmin GPS III+) z dodatkową anteną zewnętrzną (wyposażenie opcjonalne). W drzewostanie sosnowym (*Pinus concerta* i *P. ponderosa*) po zastosowaniu anteny zewnętrznej błąd 2DMRS był wyraźnie mniejszy, w niektórych miejscach prawie dwa razy. Wywyższenie anteny zewnętrznej polepsza dla niej widoczność nieboskłonu. Nawet uniesienie w rękę odbiornika ponad głowę może polepszyć dokładność odczytu [Wilent 2002], ponieważ ciało człowieka również utrudnia dostęp fal do odbiornika.

Za przydatnością odbiornika o mniejszej dokładności do sporządzania szkicu dla potrzeb szczegółowego planowania hodowlanego przemawia również fakt, że mapowane obiekty mogą mieć granice trudne do precyzyjnego określenia. Często granica między fragmentem odnowienia przydatnym a nie przydatnym z punktu widzenia hodowli lasu jest umowna i jej przebieg może być różnie wyznaczony nawet przez tego samego obserwatora w różnych porach roku. Po co więc w takim przypadku dokładność rzędu 1-2 metrów? Z drugiej strony na mapie w skali 1:5000 granica naniesiona ołówkiem o grubości 0,5 mm oznacza pas w terenie o szerokości 2,5 metra.

W celu określenia wpływu dokładności odbiornika Garmin GPS 12 CX na pomiar wielkości obiektów powierzchniowych wykonano następującą symulację. Teoretycznym celem pomiaru była elipsa o stosunku osi 1:1,5. Na obwodzie elipsy rozmieszczono w równych odstępach kątowych pewną liczbę punktów, w których miała być odczytywana pozycja, o znanych „rzeczywistych współrzędnych”. Następnie komputer dla każdego punktu oddzielnie przypisywał losowo zgodnie z rozkładem Rayleigha wartość błędu pomiaru. Wartość błędu RMS została powiększona z 5,5 na 10 m w celu symulowania zakłóceń powodowanych przez drzewostan (co oznacza, że 95% odczytów będzie znajdować się w kole o promieniu 17,31 metra). Podobnie jak w przypadku symulacji z lewej strony ryciny 3 azymut błędu był całkowicie losowy. Po zakończeniu symulacji komputer liczył powierzchnię wieloboku wyznaczonego przez prawdziwe współrzędne punktów, jak też powierzchnię wieloboku wyznaczonego przez odczyty obarczone błędem. Następnie obliczał procentowy błąd określania wielkości obiektu powierzchniowego w stosunku do wieloboku opisanego przez „rzeczywiste współrzędne”. Taka symulacja została wykonana 1000 razy dla każdej kombinacji liczby punktów na obwodzie i wielkości elipsy przedstawionych w tabeli 2. Dodatkowo przeprowadzono symulację uśredniania 30 odczytów w każdym punkcie pomiarowym. Symulację wykonano podobnie jak na prawej części ryciny 3. O ile jednak w symulacji przedstawionej na rycinie 3 dominował azymut 45°, o tyle podczas opisywanych symulacji dla każdego punktu odczytu komputer oddzielnie losował dominujący azymut

Tabela 2.

Kształtowanie się procentowego błędu pomiaru wielkości powierzchni elipsy w symulacji pomiarów za pomocą odbiornika GPS klasy turystycznej (RMS=10 m) w zależności od symulowanej metody pomiaru, wielkości mierzonej powierzchni i liczby punktów pomiaru na obwodzie

The percentage measurement error of the plot size in simulation of measurement with a tourist class GPS receiver (RMS=10 m) depending on the simulated measurement method, plot size and number of measurement points on a circle

Metoda pomiaru	Liczba punktów	Powierzchnia elipsy [ar]						
		5	15	25	35	50	100	200
Bez uśredniania pozycji	10	65,83	25,98	17,35	13,42	10,17	7,24	4,56
	20	124,70	51,43	34,35	25,90	19,68	11,33	6,21
	40	191,90	84,51	58,18	46,73	36,00	22,36	13,30
Z uśrednianiem pozycji	10	42,33	17,35	11,87	9,59	7,54	5,15	3,48
	20	78,41	34,38	23,71	17,71	13,05	7,49	3,90
	40	110,80	53,78	38,31	30,73	24,19	15,17	9,26

z zakresu 0° - 360° , tak że obciążone błędem odczyty mogły wskazywać punkty zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz badanej elipsy.

Wyniki symulacji świadczą, że nie należy bez wyraźnej potrzeby zwiększać liczby punktów, w których będą odczytywane współrzędne, ponieważ znacząco zwiększa to błąd określania wielkości obiektu powierzchniowego. Stosowanie uśredniania odczytu pozycji może zmniejszyć błąd określania wielkości obiektów powierzchniowych. W przypadku małych obiektów błędy są bardzo duże. Dopiero w przypadku elipsy o wielkości dwóch hektarów błąd procentowy określania powierzchni spadł poniżej 5%. Tradycyjne metody pomiarowe (zakładanie ciągów busolowych) są bez wątpienia dokładniejsze, ale zdecydowanie bardziej czasochłonne.

W praktyce łatwiej czasami powierzchnię zajmowaną przez naloty lub podrosty podaje się szacunkowo bez jakichkolwiek pomiarów jedynie na podstawie oceny wzrokowej. W porównaniu z takim szacunkiem, pomiar z zastosowaniem odbiornika GPS ze średnim błędem poniżej 20% dla obiektów o wielkości ponad 25 (15 z uśrednianiem) arów wydaje się uzasadniony. Ze względu na duże błędy jakich można by się spodziewać dla małych powierzchni wydaje się, że lepiej użyć odbiornika GPS jedynie do stabilizacji środka, a następnie odwzorować ich powierzchnię jako elipsę lub koło i pomierzyć odpowiednie średnice.

Podczas pomiaru wielkości obiektu powierzchniowego może okazać się, że punkt pomiaru (narożnik wieloboku) znajduje się w warunkach drzewostanowych, w których odbiornik nie może podawać odczytów. W takiej sytuacji warto pamiętać o dwóch zasadach [Wilent 2002]. Po pierwsze, namierzenie satelity przez odbiornik wymaga dostępu do mocniejszego sygnału niż jego śledzenie. W przypadku kłopotów z uzyskaniem odczytu należy przejść w miejsce o lepszej widoczności nieboskłonu i potem gdy odbiornik namierzy satelity powoli wracać do miejsca odczytu. Po drugie, jeżeli wymagana jest duża dokładność odczytu to lepiej nie wracać do miejsca gdzie był słaby sygnał, lecz zrobić odczyt w dogodnym miejscu i zanotować odległość i azymut do pożądanego punktu pomiaru.

Wnioski

- ✦ Odbiornik GPS klasy turystycznej może być przydatnym narzędziem w planowaniu hodowlanym na etapie sporządzania szkicu sytuacji wewnętrznej drzewostanu.
- ✦ Warunki drzewostanowe znacznie wpływają na dokładność odczytów pozycji za pomocą tego typu urządzeń, z tego powodu w niektórych przypadkach może być konieczna odrębna korekta pozycji obiektów na szkicu generowanym przez załączone do odbiorników oprogramowanie.

- ✦ W warunkach szczególnie złej widoczności nieboskłonu lepiej współrzędne punktu ustalić przez domiar (azymut i odległość) od punktu, w którym są lepsze warunki do pomiaru pozycji.
- ✦ Szacowanie wielkości obiektów powierzchniowych na podstawie odczytów odbiorników turystycznych jest bardziej wiarygodne jedynie w przypadku większych obiektów (powyżej 0,25 ha). W przypadku mniejszych obiektów lepiej jest stosować tradycyjne metody (np. z pomiarem średnicy płatów)

Literatura

- Anonim. 1998. Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Stand for Spatial Data Accuracy, FGDC-STD-007.2-1998. Washington, DC.
- Anonim. 2001. British Columbia Standards, Specifications and Guidelines For Resource Surveys Using Global Positioning System (GPS) Technology – Release 3.0.
- Anonim. 2003. NAVSTAR Global Positioning System Surveying (Engineering and Design). CECW-EP Engineer Manual 1110-1-1003.
- Anonim. 2004. What is WAAS? <http://www.garmin.com/aboutGPS/waas.html>.
- Gamo R. S., Rumble M. A., Lindzey F., Stefanich M. 2000. GPS radio collar 3D performance as influenced by forest structure and topography. W: Eiler J. H., Alcorn D.J., Neuman M. R. [red.]. Proceedings of the 15th International Symposium on Biotelemetry. 1999 May 9-14. Juneau, Alaska. Biotelemetry 15: 464-473.
- Gerlach F. L., Jasumback A. E. 1989. Global positioning system canopy effects study. Report MTDC8971-2234, USDA Forest Service Technology & Development Program, Missoula, Montana, USA.
- Heine E. 2001. GPS based documentation of agricultural landscape structures in densely forested areas. In: United Nations Office for Outer Space Affairs, Vienna [red.]. „The Use of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) for Aisa-Pacific Region”. CD-ROM. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Holden N. H., Martin A. A., Owende P. M. O., Ward S. M. 2001. A method for relating GPS performance to forest canopy cover. International Journal of Forest Engineering 12, 2: 7-12.
- Instrukcja Urządzenia Lasu. 2003. Załącznik do zarządzenia nr 43 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 18 kwietnia 2003 r.
- Jasumback A. E. 1996. GPS Evaluation: West Coast Test Site. Report MTDC9671-2341, USDA Forest Service Technology & Development Program, Missoula, Montana, USA.
- Karaszkiwicz W. 2001. Numeryczna metoda badania zmian struktury przestrzennej lasów ze szczególnym uwzględnieniem obszarów chronionych. Praca doktorska.
- Karsky D., Chamberlain K., Mancebo S., Patterson D., Jasumback T. 2000. Comparison of GPS receivers under a forest canopy after selective availability has been turned off (SuDoc A 13.137:0171-2809-MTDC). U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Technology & Development Program.
- Langley R. B. 1997. The GPS error budget. GPS World. 8, 3: 51-56.
- Liu C. J., Brantigan R. 1995. Using differential GPS for forest traverse surveys. Can. J. For. R. 25:1795-1805.
- Oderwald R. G., Boucher B. A. 2003. GPS after selective availability how accurate is accurate enough?. Journal of Forestry 101: 24-27.
- Rumble M. A., Lindzey F. 1997. Effects of Forest Vegetation and Topography on Global Positioning System Collars for Elk. ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition Technical Papers, Seattle, Washington, April 1997. 4: 492-501.
- Næsset E., Jonmeister T. 2002. Assessing point accuracy of DGPS under forest canopy before data acquisition, in the field and after postprocessing, Scandinavian J. Forest Res. 17, 4: 351-358.
- Sigrist P., Coppin P., Hermy M. 1999. Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. Int. J. Remote Sensing. 20, 18: 3595-3610.
- Wilent S. 2000. How to... Get Better GPS Reception? Forestry Source.
- Wilson D. L. 2000. GPS horizontal position accuracy. <http://users.erols.com/dlwilson/gps.html>.

SUMMARY

The application of tourist class satellite navigation receivers in detailed silvicultural planning

In detailed silvicultural planning, good knowledge of the internal situation in stand survey units (e.g. location of advanced regeneration) is necessary. Information gathered in the framework of forest management is not sufficient, specifically when natural stand regeneration is planned.

As silviculture needs do not require such a high accuracy as in the case of area measurements during regular forest survey, it seems that the application of tourist-class GPS (Global Positioning System) receivers is an optimum solution. This class equipment is inexpensive and easy to operate.

Knowledge of the magnitude and causes of errors that can be expected in the readings provided by a tourist-class GPS receiver helps make a reliable draft of a stand internal situation. The main notion used to determine the accuracy of position measurement is the Root Mean Square Error (RMS). The RMS value is expressed in meters and indicates the radius of a circle centred on the true location of a point in which 63.21% of receiver's indications should be found (see fig. 2). The standard adopted in the United States leads the manufacturers of GPS receivers to specify their accuracy with 2DRMS indicating the radius of a circle with at least 95% readings. Such a radius can be relatively big and may at the first moment discourage potential users. However, it is worth realising that when the visibility of the sphere is good, the value of a single measurement error is a random variable with the right-asymmetrical distribution (see fig.1). This means that for a GPS receiver with DRMS=11 meters, the most probable error has the value of 3.55 meters.

Some options incorporated into the tourist class GPS receivers allow users to obtain more accurate measurements. Some receivers inform the user about satellite constellations particularly favourable for accurate measurements. The indicator EPE (estimated positioning error), despite its name, does not describe current volume of positioning error. Lower values of this indicator only indicate a greater chance for high measurement accuracy, however they do not guarantee it.

Averaging measurement results is an option highly recommended (see fig. 3). However, it should be remembered that while reducing the maximum measurement error values, such an operation may increase its minimum value. A few minutes should be spent to obtain the real effect of this option on measurement accuracy in a given location. However longer staying in the same location is not so effective (see fig. 4).

The research carried out mainly with the application of professional class GPS receivers shows that forest environment limits the accuracy of GPS measurements significantly. Factors such as stand canopy closure, its structure, species, age and dimensions of trees, season, water on foliage, or winds limit measurement accuracy to a different degree. Awareness of this fact in making decisions (e.g. selection of the right time for taking measurements) helps increase the reliability of a stand's internal situation draft made by using handheld GPS receiver.

The learned regularities associated with the occurrence of measurement errors let us attempt to carry out a simulation of measurements of two dimensional objects (e.g. patches of advanced regeneration) by means of a GPS receiver. The analysis shows that in the case of objects bigger than 25 ares, the area estimation error is below 10%. In the case of smaller objects, it is currently more justified to use traditional methods (e.g. measurement of the length of ellipsis axis or rectangle sides). The application of tourist class GPS receivers adjusted to receiving corrections from EGNOS system satellites may improve the accuracy of such measurements.