

TECHNOLOGIA NAWIGACYJNA W OCHRONIE ŚRODOWISKA

Michał Brach

Streszczenie

Ochrona środowiska jest dziedziną wiedzy odnoszącą się w sposób ścisły do przestrzeni geograficznej – przestrzeni, która przy tym poziomie antropopresji wymaga metod pozwalających na szybkie podejmowanie prawidłowych decyzji. Doskonałym narzędziem wspomagającym proces decyzyjny są systemy informacji przestrzennej, będące tą gałęzią wiedzy, której rozwój w sposób ścisły zależy od źródeł danych i metod ich pozyskiwania. Jedną z najlepszych technologii mogących zaspokoić te potrzeby są systemy nawigacji satelitarnej. Ta stosunkowo prosta i szybka metoda realizacji pomiarów bezpośrednio w terenie znalazła wielu zwolenników szczególnie wśród osób poszukujących rozwiązań mogących zastąpić kosztowne i czasochłonne klasyczne pomiary geodezyjne. Dokonując wyboru pozornie prostej technologii, jaką są systemy nawigacji satelitarnej należy mieć świadomość zarówno jej ograniczeń, ale także nie w pełni wykorzystywanego potencjału.

Słowa kluczowe: nawigacja satelitarna, system GNSS, ochrona środowiska

NAVIGATION TECHNOLOGY IN ENVIRONMENTAL PROTECTION

Abstract

Knowledge about environmental protection refers strictly to geography information. High level of anthropogenic impact needs efficient methods in order to make good decisions. Geographical information system (GIS) is a perfect tool which helps in this situation. On the other hand GIS must be supplied by fast and accurate geographical information. The best solution to this is global navigation satellite systems technology. It is useful especially for users who want to replace cost and time consuming geodetic surveying. Using global navigation technology is simple but it has some limitations as well. It is also observed that many users can not use navigation receiver correctly and they lose a chance for accurate data.

Keywords: satellite navigation, GNSS system, environmental protection

Wstęp

Duża dynamika zmian zachodzących na Ziemi powoduje coraz większe zapotrzebowanie na informacje o stanie środowiska, a to stwarza konieczność budowy wydajnych sieci monitoringu o zasięgu globalnym. Rejestrowanie i dokumentowanie różnorodnych zjawisk w przyrodzie jest podstawą ich zrozumienia.

Szybki postęp technologiczny sprawił, że w ciągu ostatnich kilkunastu lat zrewolucjonizowały się metody zbierania, przetwarzania i prezentowania informacji przestrzennych, będących podstawą monitoringu. Efektem tych zmian jest powstanie technologii GIS (Geographical Information System) łączących takie dziedziny wiedzy jak kartografia, geodezja, geografia i informatyka. Wysoka wydajność nowoczesnych technologii sprawia, że przyrodnicy sięgają po nie coraz częściej.

Przygotowanie informacji geograficznej wymaga prostych i skutecznych metod zbierania danych przestrzennych. Niewątpliwie najprostszą do tego technologią jest obecnie odbiornik do nawigacji satelitarnej, który nie tylko dostarcza zapisanych w sposób cyfrowy danych o położeniu, lecz także pozwala na aktualizację opisowej bazy danych. Stosowanie właściwych algorytmów interpolacyjnych umożliwia szybką zmianę obserwacji punktowych w opracowanie tematyczne obejmujące swym zasięgiem monitorowany obszar. Upowszechnienie odbiorników do nawigacji satelitarnej zwiększa liczbę danych przestrzennych wzbogacając wiedzę o środowisku, a tym samym ułatwiając podejmowanie trafnych decyzji. Mimo wielu korzyści płynących z tej technologii, niejednokrotnie pojawiają się trudności poprawnego wykonywania pomiarów odbiornikami do nawigacji satelitarnej i zrozumienia ich działania. Trudności sprawia także interpretacja błędów oraz dobór właściwej do warunków terenowych metody pomiaru.



Ryc. 1. Wyznaczanie obszarów chronionych za pomocą odbiornika sygnałów GPS (fot. Michał Brach)

Fig. 1. Marking out the protected areas with GPS

System nawigacji satelitarnej podlega nieustannym zmianom. Funkcjonujący od wielu lat amerykański segment GPS Navstar nie jest już jedynym znanym źródłem sygnałów. Szerokie zapotrzebowanie gospodarki całego świata na dostęp do nawigacji satelitarnej skłania organizacje rządowe do modernizowania i unowocześniania systemów pozycjonowania. Obecnie można zatem mówić już o systemie GNSS (Global Navigation Satellite Systems), w skład którego wchodzi nie tylko GPS Navstar, lecz także rosyjski Glonass oraz segment stacji referencyjnych EUPOS, poprawiający dokładność pomiarową. Technologia ta jest powszechnie dostępna i warto ją stosować

również w ochronie przyrody, aby poprawić jakość i wydajność metod monitorowania środowiska.

Możliwości zastosowania technologii nawigacyjnej są ogromne i korzysta się z nich z powodzeniem na całym świecie. Z punktu widzenia ochrony środowiska warto zwrócić uwagę na wykorzystanie odbiorników GNSS w takich dziedzinach, jak:

- ewidencja zasobów naturalnych i ich dokumentacja w cyfrowych bazach danych przestrzennych,
- ochrona bioróżnorodności oraz monitorowanie zagrożonych gatunków fauny,
- lokalizacja zanieczyszczeń środowiska (woda, plamy oleju, szkodliwe odpady i substancje, wpływ wysypisk śmieci na otoczenie itp.),
- wyznaczanie obszarów ochronnych i przeznaczonych do rekultywacji (ryc. 1).

Zadania te znacznie łatwiej można wykonać za pomocą odbiorników nawigacyjnych. Powszechny dostęp do tych urządzeń ujawnia jednak niedostatki w zakresie wiedzy o prawidłowym korzystaniu z sygnałów nawigacyjnych, które – wbrew pozorom – mają liczne ograniczenia. Warto zatem zwrócić uwagę na kilka czynników mogących znacznie usprawnić prace pomiarowe.

Rodzaje danych przestrzennych

Działanie odbiornika sygnałów nawigacyjnych polega na wykonaniu pomiaru odległości między minimum czterema satelitami a urządzeniem rejestrującym i wyznaczeniu współrzędnych X, Y, Z. Uzyskane w ten sposób obserwacje są zbiorem punktów, które można zamienić na dowolne obiekty przestrzenne. Rejestracja danych punktowych przedstawia rzeczywistość w pewnym uproszczeniu, ponieważ tworzą one dyskretny model danych przestrzennych, a więc taki, w którym wszystkie mierzone obiekty opisywane są punktem, linią łamaną lub poligonem zbudowanym z odcinków. Jest to zapis przestrzeni, charakterystyczny dla modelu wektorowego, stosowanego powszechnie do budowy map numerycznych. Zaletą takiej rejestracji jest gwarancja wiernego odtworzenia wyników z pomiarów terenowych oraz możliwość podłączenia dowolnej wielkości zbioru opisowego do każdego obiektu. Powszechność map numerycznych jest kolejnym atutem przemawiającym za stosowaniem odbiorników do nawigacji satelitarnej. Rozbudowane oprogramowanie pozwala w prosty sposób przenieść wcześniej opracowaną mapę na urządzenie rejestrujące sygnały satelitarne, umożliwiając aktualizację map bezpośrednio w terenie. Prostota tej technologii przyczyniła się do jej dynamicznego rozwoju, tworząc nową dziedzinę wiedzy nazywaną „mobile GIS”.

Przygotowując wykonanie pomiarów terenowych konieczne należy stworzyć projekt bazy danych przestrzennych i przypisać odpowiedni model danych (punkty, linie lub poligony) do obiektu przestrzennego będącego przedmiotem opracowania. Dodatkowym czynnikiem, który należy uwzględnić, jest dokładność urządzenia pomiarowego oraz skala mapy mającej powstać z zebranych danych. Determinuje to jakość i wiarygodność danych przestrzennych. Stosowanie odbiorników nawigacyjnych o dokładności ± 10 metrów do pomiaru na przykład zasięgu korony pojedynczego drzewa jest niewskazane, ponieważ uzyskane wyniki będą obarczone dużymi błędami. Warto zatem dokładnie przeanalizować wymiarowość obiektów, zaplanować skalę opracowania wynikowego oraz sprawdzić możliwości urządzeń pomiarowych pod kątem ich dokładności.

Odbiorniki nawigacyjne klasy GIS

Na rynku znajduje się duży wybór odbiorników rejestrujących sygnały nawigacyjne. Ich podaż szczególnie wzrosła po spopularyzowaniu oprogramowania do nawigacji w samochodach oraz do

szeroko rozumianej turystyki. Niewątpliwie jest to korzystne zjawisko, ponieważ powoduje nie tylko obniżenie cen tych urządzeń, lecz także wzrost zainteresowania technologią GIS. Segment odbiorników do nawigacji osobistej jest obecnie zdominowany przez takie firmy jak Garmin, TomTom, Mitac czy Navigon. Nie są to jednak urządzenia przeznaczone do pomiarów. Ich głównym celem jest dostarczenie przybliżonych (w granicach ± 15 metrów) danych lokalizacyjnych, które następnie są odpowiednio interpretowane przez zainstalowane oprogramowanie. Brakuje możliwości pracy na własnych mapach, czy wykonywania zapisu danych przestrzennych łącznie z informacją opisową.



Ryc. 2. Odbiorniki klasy GIS. a – Trimble GeoXH, b – Topcon GMS 2Pro, c – Mobile Mapper (źródło: materiały promocyjne producentów)

Fig. 2. Receivers of GIS class. a – Trimble GeoXH, b – Topcon GMS 2Pro, c – Mobile Mapper

Te niedogodności usuwa segment odbiorników klasy GIS, które właściwie są niewielkimi komputerami wyposażonymi najczęściej w system Windows i zintegrowany moduł do rejestracji sygnałów nawigacyjnych. Zaletą urządzeń tego typu jest przede wszystkim możliwość instalacji dowolnego oprogramowania oraz otwartość na różnego typu urządzenia peryferyjne takie jak aparaty fotograficzne, czytniki kodów kreskowych czy wreszcie wysokiej klasy odbiorniki GNSS. Do czołowych producentów w tym segmencie można zaliczyć firmy Trimble, Topcon czy Magellan (ryc. 2abc). W przypadku oprogramowania mamy do czynienia z zaawansowanymi rozwiązaniami, pozwalającymi na wprowadzanie dużej ilości informacji oraz pracę na rozbudowanych zestawach danych, jak to ma miejsce w przypadku produktu ArcPad firmy ESRI. Niewątpliwie istotnym problemem jest cena, kształtująca się na znacznie wyższym poziomie niż dla urządzeń klasy turystycznej. Ze względu na użyteczność technologii, tzw. mobile GIS, wysoką jakość wykonania nowoczesnych rejestratorów polowych i odporność na trudne warunki środowiskowe, jest to dobra inwestycja.

Dokładność wyznaczania współrzędnych

Wyznaczenie współrzędnych X, Y, Z za pomocą pojedynczego odbiornika można wykonać z dokładnością od kilku do kilkunastu metrów z prawdopodobieństwem 95%. Rozrzut wartości jest zatem bardzo duży, a trzeba też liczyć się z tym, że 5% pomiarów może znacząco przekraczać

wartości deklarowane przez producenta. Agresywne działania marketingowe niektórych firm mogą prowadzić do obniżenia wartości prawdopodobieństwa, w którym wyniki będą mieścić się w deklarowanym przedziale dokładności, ukrywając tym samym faktyczne możliwości odbiornika. Dokładność poszczególnych modeli odbiorników nawigacyjnych najczęściej jest testowana w warunkach idealnych dla rejestracji tego typu sygnałów. Są to zatem tereny otwarte, z dobrą widocznością widnokregu i przy odpowiedniej konstelacji satelitarnej. Właśnie te wyniki zostają następnie wpisane przez producenta, a przecież środowisko przyrodnicze nie zawsze wygląda tak samo. Pomiar na obszarach leśnych i zadrzewionych jest zdecydowanie trudniejszy, co spowodowane jest występowaniem zjawiska wielotorowości (odbicia) sygnału satelitarnego oraz istotnym ograniczeniem widoczności satelitów. Elementy te dodatkowo wpływają na pogorszenie warunków obserwacji, a czasem całkowicie uniemożliwiają wykonanie pomiaru.

Te dość niekorzystne czynniki psują opinię odbiornikom GNSS. Użytkownicy cywilni jednak mimo wszystko nie zrezygnowali z tych urządzeń i obecnie istnieje cały zestaw metod, które mogą poprawić dokładność pomiaru.

Wybór odbiornika nawigacyjnego

Decydując się na zakup odbiornika, należy przewidzieć nie tylko koszt samego urządzenia, lecz także koszt oprogramowania pozwalającego zapisywać obserwacje. Jest to bardzo istotna inwestycja, ponieważ od funkcjonalności oprogramowania zależy nie tylko zakres metod pomiarowych, z których korzysta się w terenie, ale także możliwość pracy na własnych zestawach danych.

Na jakość samego odbiornika wpływa szereg innych czynników, takich jak metoda śledzenia satelitów, zastosowany zegar, zdolność rejestracji fazy nośnej czy wreszcie implementacja rozwiązań pozwalających odbierać sygnały z satelitów Glonass i systemów korekcji różnicowej (EUPOS, EGNOS). Ze względu na konieczność dostępu do serwerów udostępniających poprawki korekcyjne, warto zwrócić uwagę na to czy rejestrator pozwala na łączność technologią bezprzewodową Bluetooth, WLAN lub złącze dla kart SIM. Ponieważ pomiary mogą być realizowane w trudnych warunkach terenowych i przy zmiennej aurze, należy także sprawdzić czy urządzenia spełniają normy wodo- i pyłoszczelności.

Korekcja różnicowa w praktyce

Pomiar współrzędnych za pomocą pojedynczego odbiornika obciążony jest tak dużym błędem, że zaczęto poszukiwać rozwiązań technologicznych, które mogą temu zaradzić. Okazało się, że błędy wyznaczania współrzędnych są zbliżone dla urządzeń pracujących w podobnych warunkach oraz znajdujących się od siebie w odległości około 35 kilometrów. Dysponując zatem obserwacjami z dwóch odbiorników, z tego samego czasu, można poprawnie wyznaczyć wektor odległości między nimi. Jeżeli wektor ten doda się do punktu referencyjnego o dokładnie obliczonych współrzędnych, uzyska się właściwe wartości dla nowo rejestrowanych punktów. Metodę tę nazywano DGPS (Differential Global Positioning System) i początkowo zaczęto stosować jedynie w nawigacji precyzyjnej (dokładności centymetrowe). Polega ona na odbieraniu informacji generowanych przez stacje referencyjne umieszczone na punktach o znanych współrzędnych. Dane te zwane poprawką korekcyjną dostarczają wartość, o jaką należy skorygować rejestrowane obserwacje. Ten dość skomplikowany mechanizm wymaga przede wszystkim dostępu do stacji referencyjnych, co może być realizowane trzema podstawowymi sposobami.

1. Zakup własnej stacji referencyjnej i zlokalizowanie jej w pobliżu miejsca wykonywania pomiarów. Ta metoda jest bardzo kosztowna i stosowana przez zaawansowanych użytkowników (ryc. 3).

2. Wykorzystanie systemu EGNOS, generującego poprawki przesyłane bezpośrednio do odbiorników drogą satelitarną. W praktyce prawie każdy odbiornik rejestruje sygnały EGNOS, jednak ze względu na niskie położenie satelitów wysyłających poprawki (około 20°) dostęp do tych sygnałów jest znacznie ograniczony.

3. Podłączenie się do ogólnopolskiego systemu ASG-EUPOS za pomocą sieci GSM. Tą drogą uzyskuje się darmowy dostęp do blisko 130 polskich i zagranicznych stacji referencyjnych (ryc. 4). Analiza dokładności realizowanych pomiarów wykazała, że błędy wyznaczania pozycji wahają się od kilku centymetrów do kilku metrów w zależności od warunków obserwacji.



Ryc. 3. Stacja referencyjna firmy Ashtec na dachu budynku CEPL w Rogowie (fot. M. Brach)
Fig. 3. Ashtec reference station on the CEPL buidling in Rogow

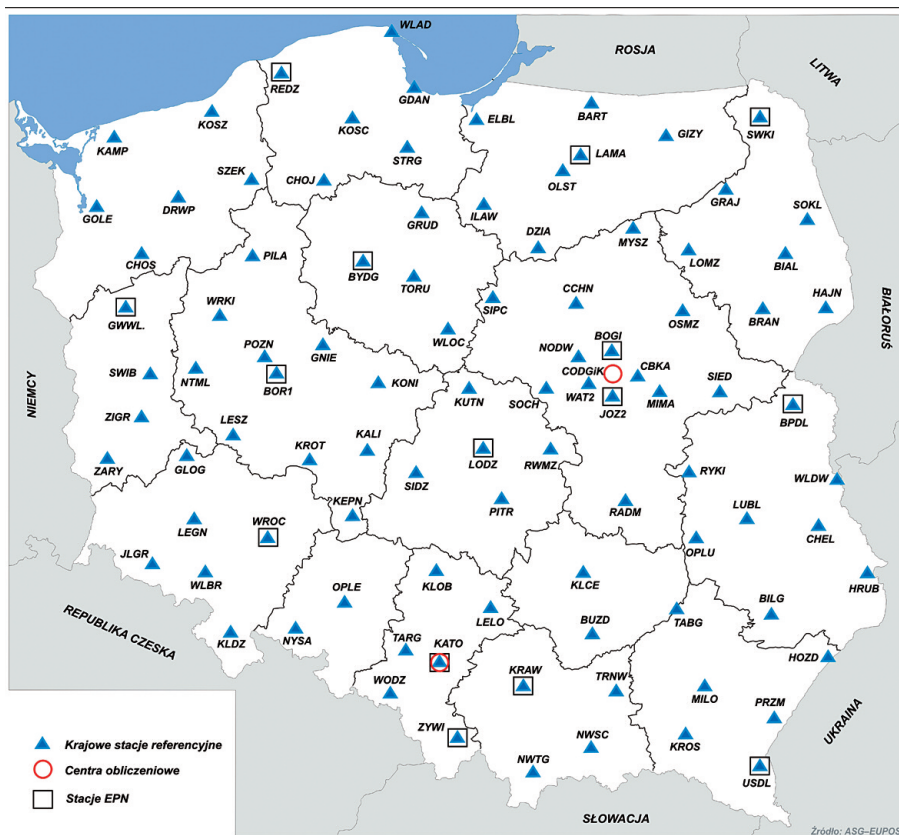
Każdy odbiornik klasy GIS dobrej firmy pozwala na zrealizowanie wszystkich wyżej wymienionych metod korekcji. Oznacza to, że w rzeczywistości możliwe jest uzyskanie współrzędnych o zdecydowanie większych dokładnościach niż ma to miejsce w przypadku pomiarów autonomicznych. Technologia ta jest niestety rzadko stosowana przez grono użytkowników niezwiązanych z geodezją, a wbrew pozorom jest to metoda prosta i skuteczna. Warto sięgać po takie rozwiązania, przyczyniając się tym samym do poprawy jakości opracowań tematycznych.

Typowe zadania pomiarowe

Podczas dokonywania pomiarów w terenie, napotykamy nieraz na środowisko nieprzyjazne dla propagacji sygnałów satelitarnych. Jest to kolejne źródło błędów, którego całkowita eliminacja obecnie nie jest możliwa, ale zastosowanie odpowiedniej techniki pracy może ten stan rzeczy znacznie poprawić.

Podczas rejestracji danych punktowych kluczowym elementem jest uśrednianie współrzędnych. Polega ono na zapisaniu większej liczby obserwacji dla interesującego nas obiektu, a następnie ob-

liczeniu średniej dla wartości X, Y oraz Z. Badania wykazują, że rejestrując dane w interwale jednosekundowym warto jest wydłużyć czas pomiaru do 3 minut. W zależności od typu odbiornika i zainstalowanego na nim oprogramowania, obliczenie to wykonywane jest automatycznie. Metoda ta pozwala uniknąć dużych błędów związanych z czasem, który jest potrzebny na inicjalizację urządzenia oraz na zwiększenie prawdopodobieństwa uzyskania poprawnych współrzędnych.



Ryc. 4. Rozmieszczenie stacji referencyjnych sieci ASG-EUPOS (źródło <http://www.asgeupos.gov.pl>)

Fig. 4. Location of reference stations of the ASG-EUPOS network

Zdarza się, że podczas rejestracji danych o charakterze liniowym i powierzchniowym przy interwale czasowym wynoszącym jedną sekundę, uzyskane linie nie odzwierciedlają rzeczywistości tak, jak się oczekiwało. Przebieg linii jest falisty i poszarpany, a czasem zapisane są takie miejsca, w których nie dokonywano pomiaru. Jest to dość charakterystyczne zjawisko dla sygnałów nawigacyjnych, które wiąże się z dokładnością takich pomiarów oraz występowaniem sygnałów odbitych. Wskazane jest zatem poddanie gotowych obiektów wektorowych procesom generalizacji,

pozwalającym dostosować wyniki pomiarów do wymaganych parametrów. Dobrym przykładem może być tutaj użycie algorytmów matematycznych odnajdujących linię trendu, która przeważnie pokrywa się z faktycznym przebiegiem mierzonej linii. W razie konieczności, gotowy obiekt można poddać procesowi wygładzania, niwelujący sztuczny kształt wyrażony za pomocą linii łamanej.

Odbiornik GNSS nie musi być jedynym źródłem informacji przestrzennej. Aby uzyskać dokładniejsze wyniki, warto posługiwać się metodami łączącymi różne techniki, oparte na pomiarze kąta i odległości. Zastosowanie prostych konstrukcji geometrycznych pozwala ponadto efektywnie zbierać dane w miejscach niedostępnych. Większość odbiorników klasy GIS pozwala na realizację następujących podstawowych zadań pomiarowych:

- Wyznaczenie położenia punktu leżącego na przedłużeniu linii utworzonej z obserwacji GNSS poprzez pomiar odległości. Technika ta może być szczególnie przydatna wówczas, gdy potrzebne jest wyznaczenie środka grubego drzewa o szerokiej koronie, mogącej utrudnić rejestrację sygnałów nawigacyjnych (ryc. 5a);
- Metoda domiarów prostokątnych umożliwiająca odłożenie odległości wzdłuż istniejącej linii, a następnie pod kątem prostym do mierzonego obiektu. Jest to dobry sposób wyznaczania współrzędnych dla punktów zlokalizowanych wzdłuż jednej linii (ryc. 5b);
- Tworzenie obiektów liniowych lub poligonowych na podstawie wyznaczonego za pomocą odbiornika GNSS punktu referencyjnego. Wykorzystując dalmierz laserowy z busolą rejestruje się azymut i odległość do wierzchołków linii (ryc. 5c);
- Metoda wcięć liniowych lub kątowych pozwalająca obliczyć położenie punktu na podstawie pomiaru odległości lub azymutu z dwóch punktów referencyjnych. W ten sposób można pomierzyć położenie obiektów niedostępnych (ryc. 5d);
- Automatyczne tworzenie obiektu liniowego w zadanej odległości od osi, wzdłuż której dokonywana jest rejestracja sygnałów satelitarnych. Metoda ta jest przydatna wówczas, gdy pomiar dokonywany jest w pobliżu obiektów mogących ograniczyć odbiór sygnałów satelitarnych. Można ją również zastosować wtedy, gdy trzeba wyznaczyć oś rzeki, kanału czy drogi i zdecydowanie łatwiej jest poruszać się wzdłuż krawędzi obiektu (ryc. 5e).

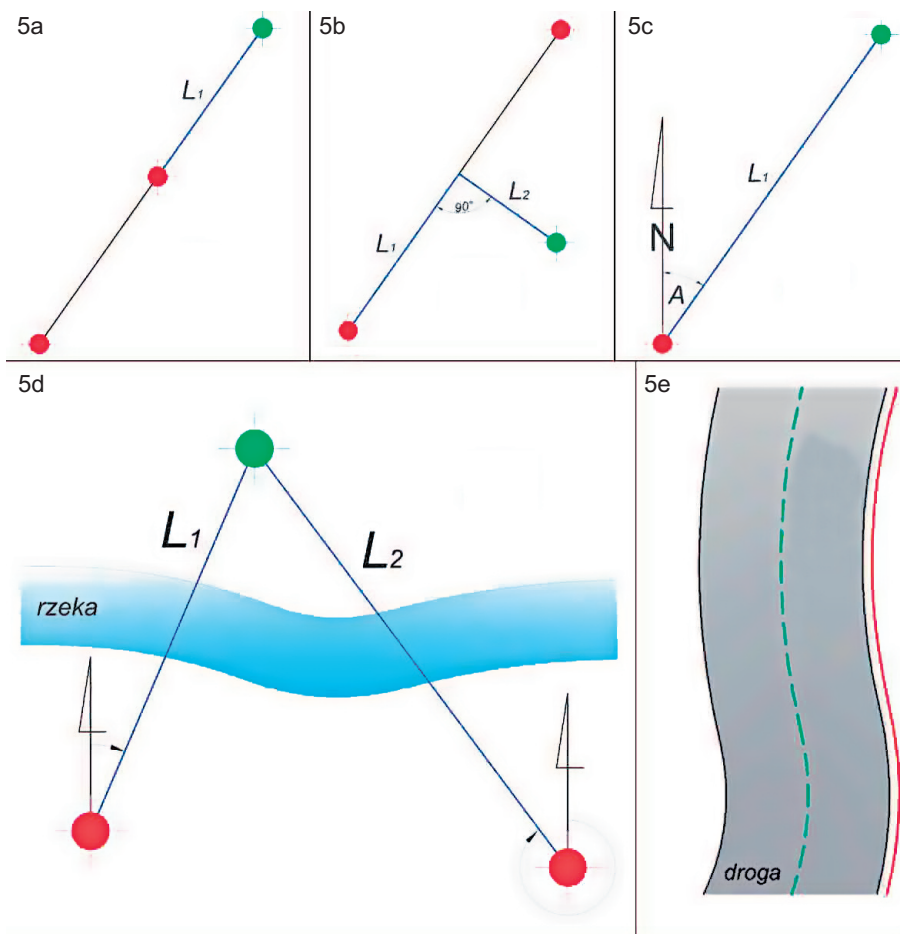
Pomiar odległości można wykonać za pomocą tradycyjnej taśmy mierniczej (ruletki) lub stosując dalmierze laserowe, których wybór na rynku jest dość duży. W przypadku pomiaru kąta najprostszym rozwiązaniem jest użycie tradycyjnej lub elektronicznej busoli.

Coraz częściej zdarza się, że zarówno dalmierz laserowy jak i busola elektroniczna są montowane w tym samym urządzeniu, które przesyła wyniki pomiarów do odbiornika GNSS za pomocą technologii Bluetooth.

Lokalizacja zwierząt za pomocą odbiorników nawigacyjnych

Zbieranie wiarygodnej dokumentacji na temat wędrowek zwierząt oraz szlaków, które pokonują ptaki, jest trudnym zadaniem, z którym borykają się przyrodnicy. System nawigacji satelitarnej jest doskonałym rozwiązaniem mogącym dostarczyć dokładnych danych o położeniu zwierząt również w czasie rzeczywistym. Podstawowym ograniczeniem przy stosowaniu odbiorników nawigacyjnych do takich zadań był rozmiar i waga urządzenia, jak również ograniczona żywotność akumulatorów. Obecnie na rynku dostępne są odbiorniki o wadze nawet 10 gramów (ryc. 6). Wielkość ta ma istotne znaczenie, ponieważ w przypadku ptaków ciężar urządzenia nie powinien przekraczać 3-4% ich ogólnej wagi. Ciągłość zasilania przez trzy lata gwarantują baterie słoneczne.

Kolejnym problemem było przesłanie danych lokalizacyjnych do użytkownika. Ale i tę barierę udało się pokonać za pomocą systemu AGROS bazującego na sześciu satelitach pogodowych NOAA. Idea działania systemu polega na tym, że odbiornik nawigacyjny jest równocześnie na-



Ryc. 5. Przykłady prostych konstrukcji geometrycznych wykonanych za pomocą odbiorników klasy GIS. Objasnienia: kolor czerwony – obiekty wyznaczone odbiornikiem GNSS, kolor zielony – obiekty docelowego pomiaru, kolor niebieski – długości konieczne do zmiernienia, A – azymut, L – odległość

Fig. 5. Examples of simple geometric constructions made by receivers of the GIS class. Explanation: red colour – objects marked by GNSS receiver; green color - objects of the target measurement, blue color - length necessary to measure A - azimuth, L - distance

dajnikiem sygnałów rejestrowanych przez satelity poruszające się na wysokości 850 kilometrów. Następnie informacje te przesyłane są do stacji naziemnych, a te do centrum obliczeniowego AGROS. Użytkownik otrzymuje dostęp do aktualnego położenia odbiornika poprzez sieć Internet. Technologia ta jest dość kosztowna ze względu na wysokie ceny miniaturowanych odbiorników, jak również konieczność wykupienia dostępu do sieci AGROS. Nie ulega jednak wątpliwości, że

jest to najbardziej zaawansowana i wiarygodna metoda lokalizacji zwierząt zarówno na lądzie jak i w morzach i oceanach (ryc. 7). Technologię tę stosują z powodzeniem naukowcy na całym świecie śledząc blisko 5000 zwierząt celem lepszego ich poznania. Zebrane informacje pozwalają na szkicowanie tras i tempa migracji w zależności od warunków pogodowych, lokalizację miejsc odpoczynku, terenów łowieckich czy wreszcie legowisk zimowych. To również doskonała metoda na stały monitoring gatunków szczególnie zagrożonych oraz możliwość ich natychmiastowego odnalezienia. Informacje z transponderów AGROS dostarczają niezbędnych danych do wyznaczania obszarów chronionych.



Ryc. 6. Kulik mniejszy *Numenius phaeopus* przenoszący 10 gramowy odbiornik i transponder sygnałów nawigacyjnych (źródło: <http://10000birds.com>)

Fig. 6. "Numenius phaeopus" carrying 10 gram receiver and transmitter of navigation signals



Ryc. 7. Pingwin magellański *Spheniscus magellanicus* z doczepionym na grzbiecie odbiornikiem i transponderem sygnałów nawigacyjnych (źródło: <http://faculty.washington.edu>)

Fig. 7. "Spheniscus magellanicus" with receiver and transmitter of navigation signals attached to its back

Podsumowanie

Nie ulega wątpliwości, że rozwój elektroniki i informatyki nieustannie wpływa na poprawę jakości uzyskiwanych danych lokalizacyjnych. Należy oczekiwać znacznych ułatwień ze strony producentów oprogramowania pozwalającego na realizację coraz bardziej złożonych zadań bezpośrednio w terenie. Zapotrzebowanie na sygnały nawigacyjne jest tak duże, że kolejne kraje (Chiny, Indie, Unia Europejska czy Japonia) mają zamiar lub już budują własne systemy. Wszystkie te czynniki stwarzają coraz większe możliwości i ułatwienia przy pomiarach. Warto jednak pamiętać, że niezależnie od deklaracji producentów odbiorników nawigacyjnych, każda technologia ma pewne ograniczenia, które mogą wpływać na uzyskiwane wyniki.

Literatura

- Argos User's Manual © 2007-2008 CLS.
- Figurski M. 2009. Walka o milimetry. Nawi 1.
- Hünnerbein K., Hamann H.J., Rüter E., Wiltschko W. 2000. A GPS-based system for recording the flight paths of birds. *Naturwissenschaften* 87.
- Kowalski S. 2009. Przegląd GNSS. Nawi 1
- Lamparski J. 2003. GPS w geodezji. Wydawnictwo Gall s.c., Katowice.
- Nasset E. 1999. Point accuracy of combined pseudorange and carrier phase differential GPS under forest canopy. *Canadian Journal of Forest Research* Vol 29: 547-553. Tachiki Y.,
- Oruba A., Leończyk M., Ryczywolski M., Wajda Sz. 2009. ASG-EUPOS po roku. *Geodeta* 4.
- Wężyk P. 2004b: GPS w leśnictwie i ochronie przyrody. Mity i fakty. *Roczniki Geomatyki*. Tom II, Zeszyt 4.
- Yoshimura T., Hasegawa H., Mita T., Sakai T., Nakamura F. 2005. Effects of polyline simplification of dynamic GPS data under forest canopy on area and perimeter estimations. *Journal of Forest Research* Vol 10.
- Vigil S., Zueck D. 1999. Environmental Applications of GPS. Proceedings of the 92nd Annual Meeting and Exhibition of the Air and Waste Management Association: St. Louis, MO Jun. 1999.

Michał Brach
Wydział Leśny SGGW
michal@wl.sggw.pl