

## TECHNIKA GPS W URZADZENIACH MOBILNYCH (II)

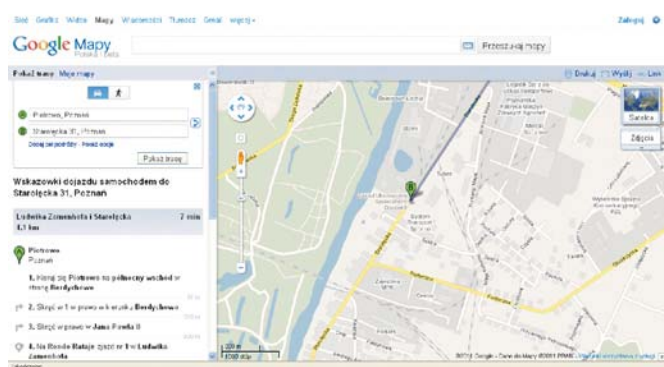
Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia technologiczne w zakresie możliwości sterowania urządzeniami mobilnymi za pomocą systemu GPS. Zaprezentowano obszar zastosowania techniki GPS w maszynach roboczych, pojazdach i innych urządzeniach, w tym przykład wykorzystania GPS w maszynach melioracyjnych, opracowanych w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu.

**Słowa kluczowe:** GPS, NAVSTAR, GLONASS, EGNOS, RTK, DGPS, nawigacja satelitarna, techniki pomiarów geodezyjnych, automatyczne prowadzenie maszyn, maszyny mobilne, maszyny melioracyjne

### Przykłady zastosowań systemów GPS w urządzeniach mobilnych

Podstawowym i historycznie pierwszym zastosowaniem systemu GPS była nawigacja okrętów marynarki wojennej na wodach oceanicznych. Obecnie zastosowania systemu w wojsku są szersze i obejmują nawigację wszelkich pojazdów wojskowych, orientację wojsk w terenie za pomocą ręcznych odbiorników satelitarnych, nawigację samolotów, naprowadzanie rakiet sterowanych, organizację akcji ratunkowych i wiele innych.



Rys. 1. Liczne serwisy Internetowe, takie jak GoogleMaps oferują dostęp on-line do map drogowych oraz podgląd powierzchni Ziemi na zdjęciach satelitarnych [15]

Fig. 1. Numerous Internet services such as GoogleMaps offer the on-line access to the road maps and the Earth surface preview on satellite photos [15]

Zastosowania cywilne GPS zaczęły się od wykonywania map terenu na podstawie zdjęć satelitarnych. Obecnie tą

metodą wykonuje się mapy w kartografii i geodezji, a zwłaszcza bardzo popularne stało się tyczenie dróg i ich zapis w postaci elektronicznej. Takie rozwiązania utworzyły nową jakość usług w serwisach internetowych. Użytkownik cywilny ma dostęp do map i zdjęć satelitarnych każdego fragmentu kuli ziemskiej, bez względu na to, gdzie się znajduje. Powszechnie wykorzystywany jest, np. serwis GoogleMaps (rys. 1), który pozwala zaplanować trasę przejazdu samochodem lub pieszej wędrowki, zaznaczając na mapie linię wędrowki i generując wskazówki z wymaganymi manewrami na trasie. Ponadto, oblicza czas potrzebny na przybycie do celu.

Rozwinięciem usługi map on-line jest nanoszenie na nich tzw. punktów POI, czyli punktów użyteczności publicznej. Mogą to być stacje benzynowe, budynki użyteczności publicznej (urzędy, kina, restauracje), a także sklepy i zakłady usługowe, które w ten sposób zyskują reklamę i łatwiejszy sposób dotarcia do klienta (przez ułatwienie klientowi dotarcia do usługodawcy).

Rozwinięciem idei map cyfrowych, tworzonych w oparciu o system satelitarny, są urządzenia nawigacji samochodowej (rys. 2). Podstawowym zadaniem tych odbiorników jest prowadzenie kierowcy po zawiłych ulicach obcych mu miast i skrzyżowań autostrad (plusy doceniane przez każdego kierowcę). W dzisiejszych czasach, kiedy ruch uliczny nie pozwala na chwilowe zatrzymanie pojazdu, aby sprawdzić na mapie drogę przejazdu, takie urządzenia stają się nieodzownym wyposażeniem każdego samochodu. Urządzenia takie można nabyć już za ok. 200 zł. Są też powszechnie dostępne w smartfonach.



Rys. 2. Odbiornik do nawigacji samochodowej z mapą z budynkami w widoku 3D (na podstawie [16])

Fig. 2. Receiver for car navigation with the map with buildings in 3D view (on base [16])

Nawigacja samochodowa GPS to także śledzenie ruchu floty samochodowej w firmach transportowych. Celem usługi jest koordynacja ruchu pojazdów, w celu lepszego ich wykorzystania logistycznego, kontroli przewozu ładunków niebezpiecznych lub nietrwałych i nadzór nad kierowcami. Zaawansowane systemy pozwalają nawet na przesył informacji o stanie przewożonego ładunku.

Odpowiednikami odbiorników samochodowych są odbiorniki przeznaczone dla żeglugi morskiej i śródlądowej. Zaawansowane systemy pozwalają automatycznie sterować okrętem i prowadzić go wzdłuż trasy na mapie oceanu, a nawet przeprowadzać bezpiecznymi drogami przez cieśniny i archipelagi wysp bez konieczności śledzenia mapy przez nawigatora. Te prostsze i tańsze (rys. 3) podają pozycję łodzi, datę i czas, a ponadto wysyłają sygnały:

- identyfikujące łodzie dla komunikacji z innymi statkami,
- alarmowe dla służb ratowniczych w przypadku pożaru, tonięcia, niebezpieczeństwa (np. lokalizacji piratów), wprowadzeniu statku na mieliznę lub kolizji z innym statkiem.

Ważnym i dużym obszarem zastosowania GPS jest rolnictwo. W rolnictwie stosuje się wiele rozwiązań w tym zakresie, począwszy od systemów GIS (*Geographic Information System*), które wspomagają zarządzanie gospodarstwami, a skończywszy na prowadzeniu ciągnika z dokładnością do 2 cm. W zależności od dokładności można wyróżnić następujące zastosowania GPS:

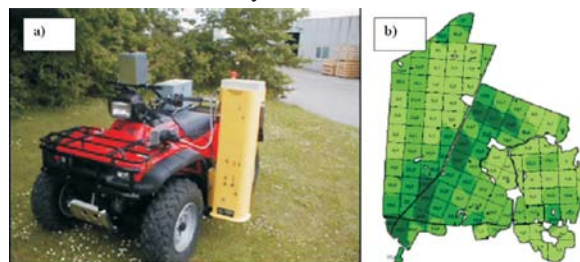
- nawigacja i logistyka - przenośne odbiorniki o małej precyzji (5-10 m), wykorzystywane do lokalizacji użytkownika w terenie, z możliwością rejestracji danych i wykonywania dokumentacji,
- mapowanie - wykorzystuje się tu odbiorniki o dokładności 0,3-2 m, instalowane na maszynach rolniczych (np. w kombajnach do rejestracji wielkości plonu) lub pojazdach typu quad (do ewidencji i pomiaru jakości gleb - rys. 4). Jednym z celów takiej operacji jest opracowywanie map do sterowania w późniejszym czasie praca ciągników rolniczych i kombajnów,
- systemy DGPS - są wykorzystywane do rozsiewania i rozlewania nawozów (dokładność do 30 cm), opryskiwania roślin środkami chemicznymi (dokładność do 5-10 cm), zbioru plonów, takich jak: ziemniaki, warzywa, zboża, gdzie wymagana precyzja może być już na poziomie 5 cm i w siecie precyzyjnym (2 cm), który jest najbardziej wymagającym zabiegiem, jeśli chodzi o dokładność, ponieważ umożliwia później prowadzenie precyzyjnych pielniaków w systemie bezchemicznego usuwania chwastów.



Rys. 3. Odbiornik satelitarny dla żeglugi wodnej [12]  
Fig. 3. Satellite receiver for sailing [12]

Wiele systemów sterowania maszynami w rolnictwie wykorzystuje GPS do celów autonomicznego kierowania ciągnikiem. W połączeniu z innymi sensorami, np. optycznymi, daje możliwości organizowania naprawę nowoczesnej gospodarki rolnej na miarę XXI wieku. To właśnie rolnictwo daje największe szanse na rozwój systemów autonomicznego prowadzenia maszyn, ponieważ warunki ich pracy są w dużej

mierze ujednoczone (jednorodne pole) i dające się zawęzić do ograniczonego zbioru niewiadomych, rozpoznawanych przez układy sterowania. Dla porównania, znacznie trudniej jest zrealizować autonomiczny samochód.



Rys. 4. Pojazd typu quad z aparaturą pomiarową jakości gleby (a) i sporządzona w systemie GIS mapa żyzności gleby (b) [8]  
Fig. 4. Vehicle type quad equipped with soil quality measurement apparatus (a) and soil fertility map made in GIS system (b) [8]

Typowe układy sterowania ciągnikami rolniczymi w technologii GPS ograniczają się jednak tylko do „wyręczania” kierowcy w kontrolowaniu trajektorii jazdy i kontrolowaniu pracy maszyny. Pierwsze zadanie polega na przejęciu funkcji manewrowania kierowcą przez sterownik GPS, który prowadzi maszynę po uprzednio zdefiniowanych liniach na mapie pola, wczytanej do sterownika GPS. W ciągnikach przy-stosowanych do tego celu fabrycznie, sygnał sterujący wysyłany jest bezpośrednio do rozdzielacza hydraulicznego, przestawiającego siłownik kół kierowanych. W ciągnikach starszych można zainstalować urządzenie, które za pomocą silnika elektrycznego i gumowego kółka, obraca kołem kierownicy w kabinie.

Drugie zadanie polega na sterowaniu parametrami pracy maszyny doczepionej do ciągnika i ich zmianie w zależności od bieżącej pozycji GPS i zaplanowanej pracy. W ten sposób można zmieniać dawkę rozsiewanego nawozu lub wyłączać nieużywane sekcje w opryskiwaczu precyzyjnym (rys. 5).



Rys. 5. Zasada prowadzenia oprysku precyzyjnego, sterowanego w oparciu o system GPS [9]  
Fig. 5. The role of precise spraying performing with the use of GPS system [9]

Podobnie jak w rolnictwie, systemy GPS wykorzystuje się do prowadzenia maszyn roboczych, takich jak: równiarki, koparki, spycharki i in. W zależności od zaawansowania systemu, odbiornik GPS wskazuje tylko pozycję maszyny, pozycję narzędzia maszyny lub przejmuje funkcję regulatora pozycji narzędzia. Typowe elementy układu sterowania to: odbiornik GPS z korekcją RTK poprzez stację przenośną, blok zaworów hydraulicznych, podpiętych do odbiornika, panel sterujący z wizualizacją 3D pracy maszyny i wyłącznikiem automatycznego sterowania, czujnik lub czujniki pochylenia do wskazywania pozycji narzędzia względem maszyny.

W prostej wersji sterowania to operator decyduje o ruchu narzędzia, czyli jego podniesieniu lub zagłębieniu. Do tego ma pomocniczy wyświetlacz, na którym otrzymuje informacje

o miejscu i sposobie wykonania pracy wyrównywania terenu (rys. 6). Graficzny wyświetlacz pokazuje, na jakiej wysokości znajduje się aktualnie narzędzie względem planu terenu, przygotowanego przez geodetę.



Rys. 6. Ekran programu do sterowania spycharką, przedstawiający jej położenie na planie terenu i wyświetlający informacje o zakresie wykonywanej pracy (FILL = nagarnij więcej ziemi) z wygodną skalą i suwakiem w kształcie żółtego trójkąta [19]

Fig. 6. View of control screen in bulldozer cab which shows its location on ground plane and displays information about the job progress (FILL = take in more earth) and on the right side the convenient color scale is added to the screen which presents height of bulldozer scoop [19]

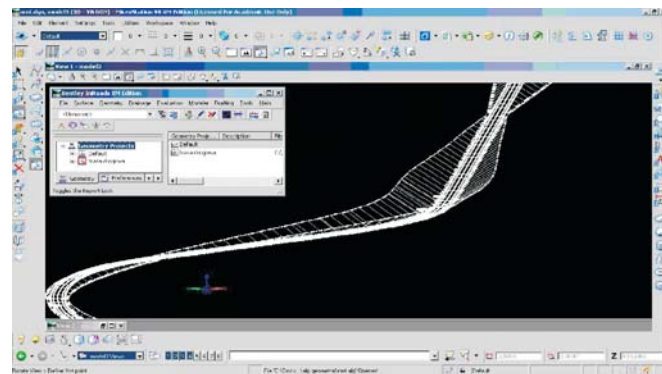
W układach z regulacją automatyczną, antena GPS montowana jest bądź na łyżce (spycharki, równiarki), bądź na maszynie. Bywa, że w równiarkach montowane są dwie anteny, aby kontrolować dodatkowo kąt nachylenia łyżki. W koparce nie da się zamontować anteny na łyżce do kopania, dlatego pozycja łyżki przeliczana jest względem pozycji maszyny za pomocą czujników akcelerometrycznych, mierzących kąt pochylenia każdego członu manipulatora koparki. Dokonując transformacji układów współrzędnych każdego członu można obliczyć współrzędne łyżki. Układ sterowania może działać jako bezpiecznik (w koparkach), zabraniający użytkownikowi zagłębić łyżkę poza głębokość dna wykonywanego wykopu. W równiarkach natomiast operator kieruje tylko jazdą maszyny, a odbiornik sam decyduje, czy łyżkę zagłębić, czy podnieść wyżej.

Zalety omówionych rozwiązań skutkują zwiększeniem wydajności pracy i jakością uzyskanej powierzchni. Badania wykonane przez firmę Trimble pokazały, że operator równiarki potrafi wyrównać w ciągu jednej dniówki 2-3 razy więcej terenu ze sterowaniem GPS, niż pracując tradycyjnie, a ponadto, po kontroli pracy przez geodetę, zawsze są konieczne poprawki w tym drugim przypadku [19]. Z tego powodu w dużych firmach budowlanych każda maszyna jest wyposażona w system GPS.

Systemy GPS stosowane w geodezji są najdokładniejszymi odbiornikami cywilnymi. Dokładność, jaką można uzyskać w takim odbiorniku to nawet 0,5 cm (w pionie 1 cm) - dla pomiarów obrobionych statystycznie. Jest to lepszy wynik niż uzyskiwany tachimetrami i teodolitami, zważywszy, że nie ma znaczenia wielkość obszaru objętego pomiarem (np. kilka kilometrów).

W systemach tych uzyskuje się tak duże dokładności, ponieważ pomiary odbywają się stacjonarnie, więc można stosować dokładniejszy pomiar fazowy i obróbkę statystyczną wyników (np. średnia pozycja z 5 pomiarów w ciągu sekundy). Urządzenia działają z poprawkami serwowanymi ze stacji przenośnych lub z systemu ASG-EUPOS. Typowy odbiornik składa się z tyczki pomiarowej, najczęściej długości 3 m, na

której mocuje się odbiornik (odbiornik zabudowany razem z anteną). Odbiornik odbiera poprawki samodzielnie i przekazuje gotowy, obrobiony już wynik do tabletu, zamontowanego na tyczce i obsługiwanego przez geodetę. W tablicie wyniki pomiarów są zapamiętywane w postaci chmury punktów. Do punktów można dodać opis i kod identyfikacyjny. Chmura punktów jest następnie obrabiana w komputerze stacjonarnym, a wynikiem tej obróbki jest model 3D terenu (rys. 7). Taki model jest wczytywany do sterowników w koparkach i równiarkach, i stanowi punkt odniesienia do wykonywanych robót. W tej sytuacji nie jest nawet potrzebne oznaczenie terenu przez geodetę (ustawienie znaczników), ponieważ każda maszyna bez problemu zostanie zlokalizowana w terenie.



Rys. 7. Model 3D drogi obmierzonej geodezyjnym urządzeniem pomiarowym w technologii GPS [19]

Fig. 7. 3D model of road obtained by its measuring with use of geodetic GPS surveying equipment [19]

### Wybrane prace badawcze PIMR z wykorzystaniem GPS

Z racji szerokiego zastosowania GPS w rolnictwie, w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu prowadzone są liczne prace badawcze, wykorzystujące ten system pozycjonowania. Pierwszym z przykładów jest siewnik precyzyjny, który można wykorzystać do wysiewania wzorów kwiatowych na terenach zieleni miejskiej [3]. Badania prowadzone na modelowym siewniku, który umożliwił wyrzut ziaren w określonej pozycji terenu. Jedynym urządzeniem pozycjonującym siewnik był odbiornik GPS o dokładności 2-5 cm (pracujący z poprawkami ASG-EUPOS). Wynik w formie wysianego wzoru logo PIMR pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Etapy wysiewania logo PIMR za pomocą modelowego siewnika precyzyjnego, sterowanego przez GPS [2]

Fig. 8. Stages of sowing PIMR logo drawing on ground surface using the model of precise seeder controlled by GPS [2]

Innym przykładem jest urządzenie wielozadaniowe do regeneracyjnego kształtowania otwartych cieków wodnych, opracowane w PIMR, w ramach projektu badawczo-

rozwojowego. W ramach projektu powstał prototyp urządzenia, który pozwala na nietypową i niestosowaną dotychczas metodę renowacji rowów i kanałów melioracyjnych (rys. 9).



Rys. 9. Model koncepcyjny nowego urządzenia wielozadaniowego do regeneracyjnego kształtowania otwartych cieków wodnych, opracowanego w PIMR\*

Fig. 9. Concept model of the new multitask machine for renovation of water courses designed in PIMR

\* Prototyp zbudowano w ramach projektu "Technologia i nowej generacji urządzenie wielozadaniowe do regeneracyjnego kształtowania otwartych cieków wodnych", nr WND-POIG.01.03.01-00-165/09. Projekt był finansowany z krajowych środków publicznych w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka na lata 2007-2013 oraz Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Ideą urządzenia jest możliwość poruszania się w przestrzeni kanału, tak aby unikać kolizji z drzewami porastającymi skarpy rowu. Taka praca nie jest możliwa do realizacji przez typowe maszyny budowlane. Urządzenie jest wyposażone w kilkanaście wymiennych typów narzędzi, pozwalających na wykaszanie traw i trzciny, wycinanie krzewów i gałęzi, odmulanie i inne operacje renowacyjne. Ze względu na duży stopień zaawansowania technologicznego, urządzenie jest zaopatrzone w odbiornik GPS o wysokiej precyzji (odbiornik geodezyjny renomowanej amerykańskiej firmy Trimble), który umożliwia pomiar wysokości dna rowu. Odbywa się to celem zachowania odpowiedniego spadku dna dla spływu wody. Oprócz automatycznego sterowania wysokością pracy odmularki, system daje wskazówki operatorowi o stanie rowu, w tym informacje o przeszkodach często niewidocznych w wysokiej roślinności (informacje wyświetlane na ekranie). Aby było możliwe wykorzystanie sterownika GPS w maszynie, trzeba wykonać uprzednio pomiar geodezyjny rowu i wykonać model 3D, na zasadzie takiej samej, jak model 3D drogi w robotach budowlanych.

## GPS TECHNIQUE IN MOBILE DEVICES (II)

### Summary

The selected technical issues in the range of mobile devices control with the use of GPS system were presented in the paper. The examples of the use of GPS technique in many areas were presented too, such as: control of working machines, vehicles, cars etc. Additionally the new machines (GPS seeder; melioration machine) designed in Industrial Institute of Agricultural Engineering were presented too.

**Key words:** GPS, NAVSTAR, GLONASS, EGNOS, RTK, DGPS technique, satellite navigation, geodetic survey, autonomous machine steering, mobile machines, melioration machines

## Podsumowanie

Technologia GPS w zastosowaniach cywilnych jest dość młodą technologią. Ma niewiele ponad 20 lat, a już znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki. Zdecydowały o tym liczne jej zalety, które można porównać z rewolucją maszyn CNC w zakładach przemysłowych. Można stwierdzić, że technologia GPS jest jej odpowiednikiem, ale w zakresie pozycjonowania i kontroli w przestrzeni globalnej całego świata.

Zapotrzebowanie na nowe rozwiązania w technologii pozycjonowania GPS jest duże: od tworzenia map cyfrowych, z nanoszonymi coraz doskonalszymi technikami modeli trójwymiarowych budynków, poprzez sterowanie maszynami przemysłowymi, a skończywszy na najprostszych odbiornikach dla użytkowników indywidualnych. Należy się spodziewać, że technika GPS będzie powoli wypierała tradycyjne metody pomiarów w budownictwie i geodezji. Zastąpi mapy papierowe mapami cyfrowymi, które będą dostępne na pokładzie każdego samochodu i w każdym telefonie komórkowym. Dostępność satelitów dla tych zastosowań będzie coraz większa, dzięki powstawaniu nowych systemów satelitarnych (Galileo, EGNOS) i dzięki coraz lepszej integracji już istniejących, wykraczając poza podziały polityczne państw.

Idąc w tym kierunku rozumowania, być może za kilkadziesiąt lat będziemy się poruszać pojazdami bez kierowcy, które z niespotykaną w współczesnych drogach precyzją będą bezpiecznie przewozić ludzi po zatłoczonych ulicach i to bez sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach.

## Bibliografia

- [1] Kamprowski R.: Analiza dokładności i możliwości zastosowania odbiornika GPS dla potrzeb rolnictwa. Praca magisterska. Uniwersytet Rolniczy w Poznaniu, Wydział Rolniczy, Instytut Inżynierii Rolniczej, 2003.
- [2] Ratajczak P., Spadło M., Vicente N., Bąkiewicz P., Szulc T.: Precyzyjny siewnik (sterowany systemem GPS) do wysiewu różnych gatunków nasion w postaci wzorów dla zastosowań w zieleni miejskiej. Rozpoznanie zapotrzebowania, opracowanie koncepcji rozwiązań i testy z wykorzystaniem modelu doświadczalnego. Opracowanie niepublikowane, PIMR-7727, 2010.
- [3] Rutkowski J., Vicente N., Spadło M., Ratajczak P.: Algorytm sterowania siewnikiem precyzyjnym. XIV Ogólnopolska Konferencja Naukowa: Zastosowanie technologii informacyjnych w rolnictwie. Inżynieria Rolnicza, 2011.
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/GPS\\_signals](http://en.wikipedia.org/wiki/GPS_signals).
- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/Real\\_Time\\_Kinematic](http://en.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Kinematic).
- [6] <http://gps.wroclaw.pl>.
- [7] <http://pl.wikipedia.org>.
- [8] <http://www.agrisystem.pl>.
- [9] <http://www.amazon.de>.
- [10] <http://www.asgeupos.pl/>.
- [11] <http://www.furuno.com/>.
- [12] <http://www.geoforum.pl>.
- [13] <http://www.gps.pl>.
- [14] <http://www.gps.rytko.com>.
- [15] <http://www.maps.google.pl>.
- [16] <http://www.navroad.com>.
- [17] [http://www.poettinger.at/landtechnik/download/lion-sem\\_pl.pdf](http://www.poettinger.at/landtechnik/download/lion-sem_pl.pdf).
- [18] <http://www.technologiagps.org.pl>.
- [19] <http://www.trimble.com>.