

Sebastian Ryglewicz

Wykorzystanie technologii pomiarowej w czasie rzeczywistym RTK GPS w pomiarach sytuacyjno-wysokościowych

Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 30, 95-105

2008

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Sebastian Ryglewicz

WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII POMIAROWEJ W CZASIE RZECZYWISTYM RTK GPS W POMIARACH SYTUACYJNO-WYSOKOŚCIOWYCH

Wstęp

Jednym z podstawowych zakresów prac geodezyjnych są pomiary sytuacyjno-wysokościowe. Metody tych pomiarów zmieniły się wraz z rozwojem nauki i techniki. Przełomowym etapem w uzyskiwaniu coraz dokładniejszych wyników było zastosowanie w budowie tachimetrów podzespołów elektronicznych oraz wykorzystania fal elektromagnetycznych do pomiaru odległości i kierunków. Obecnie stosuje się w pełni zautomatyzowane instrumenty geodezyjne – total station, które stanowią połączenie teodolitu elektronicznego z fazowym dalmierzem elektrooptycznym, co gwarantuje osiągnięcie wysokich dokładności oraz znaczne skrócenie czasu pracy.

Od roku 1957 możemy śledzić rozwój globalnego satelitarnego systemu pozycyjnego GPS, który pierwotnie miał zastosowanie jako nawigacyjny system wojskowy. Wraz z udostępnieniem go dla użytkowników cywilnych, znalazł on zastosowanie w różnych dziedzinach życia i nauki, w tym również we wszystkich rodzajach prac geodezyjnych i w nawigacji. Zadecydowały o tym przede wszystkim główne zalety technik satelitarnych w porównaniu z tradycyjnymi technikami naziemnymi: wyższa dokładność, możliwość natychmiastowego uzyskania pozycji, prawie zupełna automatyzacja pomiarów i ich opracowania oraz znacznie niższe koszty. Pomiary GPS służą do wyznaczania położenia współrzędnych punktów nieruchomych i obiektów będących w ruchu, są również wykorzystywane w badaniach geodynamicznych do wyznaczania takich parametrów, jak ruch bieguna, badanie stabilności ruchu obrotowego Ziemi i innych.

Powszechnie stosowane technologie pomiarów sytuacyjno-wysokościowych

Tachimetrią nazywamy pomiar sytuacyjno – wysokościowy wykonywany metodą biegunową do określenia położenia sytuacyjnego punktów szczegółowych oraz niwelacji do określania wysokości tych punktów.

Dokładnie tachimetria znaczy szybki pomiar, co uzyskuje się w praktyce przez stosowanie dalmierzy optycznych lub elektronicznych do określenia odległości oraz wykonywanie odczytów służących do wyznaczania kątów poziomych i pionowych ze średnią dokładnością.

Dla tachimetrii produkowane są specjalne teodolity zwane tachimetrami autoredukcyjnymi, które ułatwiają zarówno wykonywania pomiarów, jak i prac obliczeniowych.

Prace terenowe przy pomiarach tachimetrycznych obejmują:

- 1) przeprowadzenie dokładnego wywiadu w terenie celem odpowiedniego wyboru stanowisk,
- 2) wyznaczenie wzajemnego położenia stanowisk i ich wysokości (pomiar kątów, boków i niwelacja),
- 3) wyznaczenie sytuacji i wysokości punktów rozproszonych (pikiet) zdejmowanego terenu.

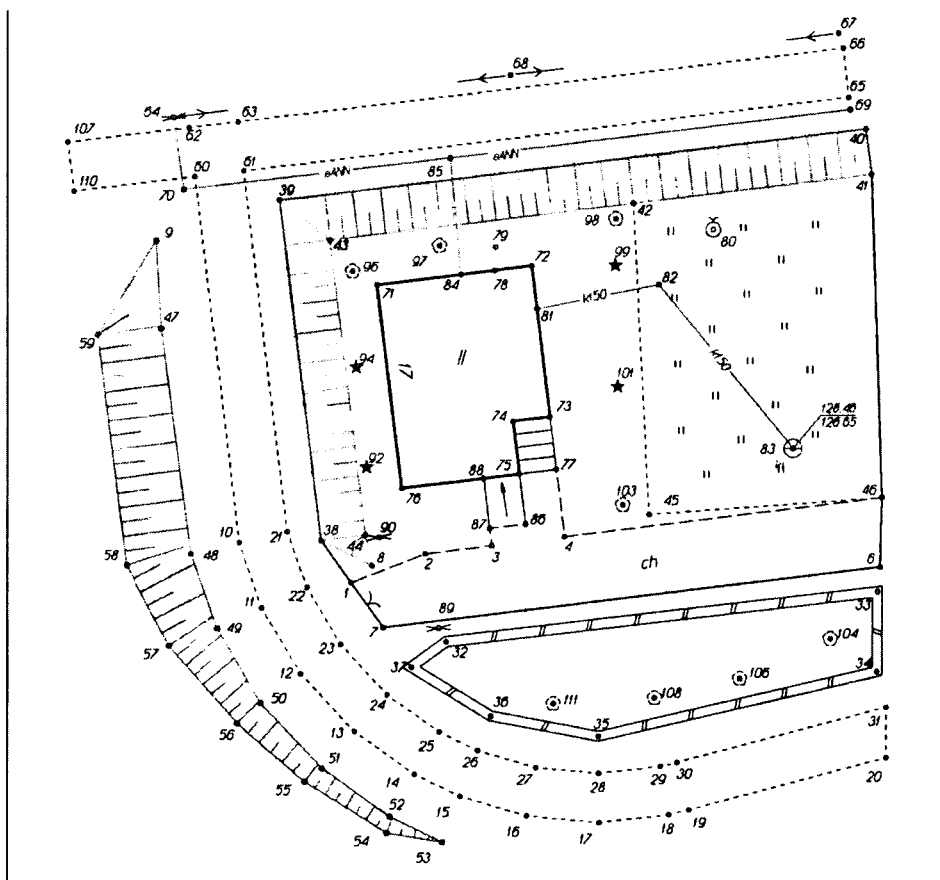
Stanowiska powinny być tak wyznaczone, aby teren był dobrze widoczne w promieniu 200 m. Obrane stanowiska utrwalamy w terenie, numerując je bieżąco oraz sporządzając opisy topograficzne.

Teodolit (tachimetr) używany do pomiarów tachimetrycznych musi być sprawdzony i zrektyfikowany jak do pomiarów kątów w poligonizacji.

Dokładność pomiarów tachimetrycznych przy stosowaniu teodolitów wyposażonych w dalmierz optyczny jest mniejsza od dokładności pomiarów treści sytuacyjnej metodą rzędnych i odciętych oraz od dokładności treści wysokościowej terenu uzyskanej za pomocą niwelacji geometrycznej. Jednak dla wielu zagadnień technicznych, takich jak projekty zagospodarowania przestrzennego, podkłady do projektów z dziedziny budownictwa lądowego i wodnego, metoda ta jest dostatecznie dokładna. W wyniku tych pomiarów otrzymujemy mapę sytuacyjno – wysokościową terenu.

Na dużych obszarach pomiary tachimetryczne mogą być zastępowane opracowaniami fotogrametrycznymi, z wykorzystaniem specjalnych zdjęć lotniczych. Na małych obszarach stosowanie fotogrametrii jest nieopłacalne.

Zestaw przyrządów do pomiarów tachimetrycznych składa się z teodolitu lub tachimetru autoredukcyjnego, kompletu łąt oraz tyczek niezbędnych przy nawiązywaniu kierunków. Wystarczający jest zwykły teodolit techniczny, zapewniający dokładność odczytu 1' lub 1°. Teodolity takie mają w lunecie dalmierz o stałym kącie paralaktycznym. W teodolitach z lunetą analaktyczną stała mnożenia dalmierza $k=100$, natomiast stała dodawania $c=0$. Stałe dalmierza mogą ulec pewnym zmianom w zależności od różnych czynników, dlatego co pewien czas należy je sprawdzać.



Rys.1 Przykładowy szkic polowy z pomiaru tachimetrycznego

Na dużych obszarach pomiary tachimetryczne mogą być zastępowane opracowaniami fotogrametrycznymi, z wykorzystaniem specjalnych zdjęć lotniczych. Na małych obszarach stosowanie fotogrametrii jest nieopłacalne.

Zestaw przyrządów do pomiarów tachimetrycznych składa się z teodolitu lub tachimetru autoredukcyjnego, kompletu łąt oraz tyczek niezbędnych przy nawiązywaniu kierunków. Wystarczający jest zwykły teodolit techniczny, zapewniający dokładność odczytu 1' lub 1^c. Teodolity takie mają w lunecie dalmierz o stałym kącie paralaktycznym. W teodolitych z lunetą analaktyczną stała mnożenia dalmierza $k=100$, natomiast stała dodawania $c=0$. Stałe dalmierza mogą ulec pewnym zmianom w zależności od różnych czynników, dlatego co pewien czas należy je sprawdzać.

Fotogrametria polega na zastosowaniu odpowiednio wykonanych zdjęć fotograficznych (fotogrametrycznych) do pomiaru i odtwarzania pomiarów przestrzennych (współrzędnych) zdejmowanych obiektów oraz do sporządzania map sytuacyjnych i sytuacyjno–wysokościowych.

Dużą rolę w rozwoju fotogrametrii, zapoczątkowanej w roku 1952, odgrywa olbrzymi postęp lotnictwa i udoskonalenie fotogrametrii.

Fotogrametrię można podzielić, w zależności od celu pomiarów, na topograficzną i nietopograficzną.

Zależnie od sposobu wykonywania zdjęć fotograficznych – fotogrametrie dzielimy na:

- a) fotogrametrię naziemną (terrofotogrametria),
- b) fotogrametrię lotniczą (aerofotogrametrię).

W fotogrametrii naziemnej zdjęcia fotogrametryczne wykonujemy ze stanowisk naziemnych za pomocą fototeodolitu lub kamery stereometrycznej. Fototeodolit jest to kamera fotograficzna i teodolit zmontowana na wspólnej osi pionowej.

W fotogrametrii lotniczej zdjęcia wykonujemy z powietrza za pomocą kamer lotniczych, umieszczonych w odpowiednim urządzeniu na samolocie lub helikopterze.

W zależności od sposobu wykorzystania zdjęć fotogrametrię możemy podzielić na:

- 1) fotogrametrię płaską (jednoobrazową),
- 2) fotogrametrię przestrzenną (dwuobrazową), zwaną również stereofotogrametrią.

W płaskiej fotogrametrii lotniczej do opracowywania wykorzystujemy pojedyncze zdjęcia, co pozwala na sporządzenie tzw. fotoszkiców i fotomap, a następnie map kreskowych sytuacyjnych.

Fotoszkice to szereg odbitek zdjęć fotogrametrycznych, naklejonych na wspólnym arkuszu, po uprzednim uzgodnieniu styków na podstawie sytuacji.

W tym celu zdjęcia powinny być wykonywane z niewielkim pokryciem (powinny zachodzić na siebie) i z równej wysokości. Fotoszkic nie posiada skali ani warstwic, dlatego też służy tylko jako podkład orientacyjny.

Fotomapa to odbitki zdjęć fotogrametrycznych przetworzone za pomocą przetwornika na żadaną skalę, zwykle jest to 1:5000 i naklejone na wspólny arkusz (sekcję). Zestawienie fotomapy opiera się nie tylko na sytuacji, ale przede wszystkim na punktach dostosowania tzw. fotopunktach.

Mapy kreskowe mogą być opracowywane w oparciu o fotomapy w takiej formie zewnętrznej, w jakiej wykonywane są mapy zwykłymi metodami geodezyjnymi.

Fotogrametryczną mapę kreskową sytuacyjną otrzymamy, jeżeli na fotomapach wyciągniemy sytuację tuszem, a następnie poddamy odbitkę procesowi bielienia w odpowiednich kąpielach. Błąd położenia punktu na fotomapie dochodzi ± 1 mm.

Opracowania fotogrametrii przestrzennej opiera się na dwóch zdjęciach tego samego obiektu, wykonywanych z dwóch różnych stanowisk. Zdjęcia takie stanowią razem tzw. stereogram, a odległość pomiędzy stanowiskami zdjęć nazywamy bazą zdjęć. Opracowania stereofotogrametryczne dają możliwość sporządzania map kreskowych sytuacyjno – wysokościowych.



Rys.2 Przykład ortofotomapy miasta Poznań

Ortofotomapa (rys.2) jest to specjalnie przetworzone zdjęcie lotnicze, które zachowuje pełne bogactwo informacji zarejestrowanych na zdjęciu, a ponadto charakteryzuje się metrycznymi walorami mapy, jest bowiem wykonana w jednolitej skali (rzucie ortogonalnym). Cykl opracowania ortofotomap nosi nazwę przetwarzania różnicowego lub przetwarzania pasmowego.

Ortofotomapę można uzupełnić warstwicami rejestrowanymi w trakcie przetwarzania pasmowego na oddzielnym arkuszu papieru.

Dokładność opracowań fotogrametrycznych zależy od wielu czynników, między innymi w dużej mierze do skali zdjęć, użytych przyrządów do sporządzenia mapy oraz od zdolności i wprawy obserwatora.

Technologia pomiarów satelitarnych RTK GPS

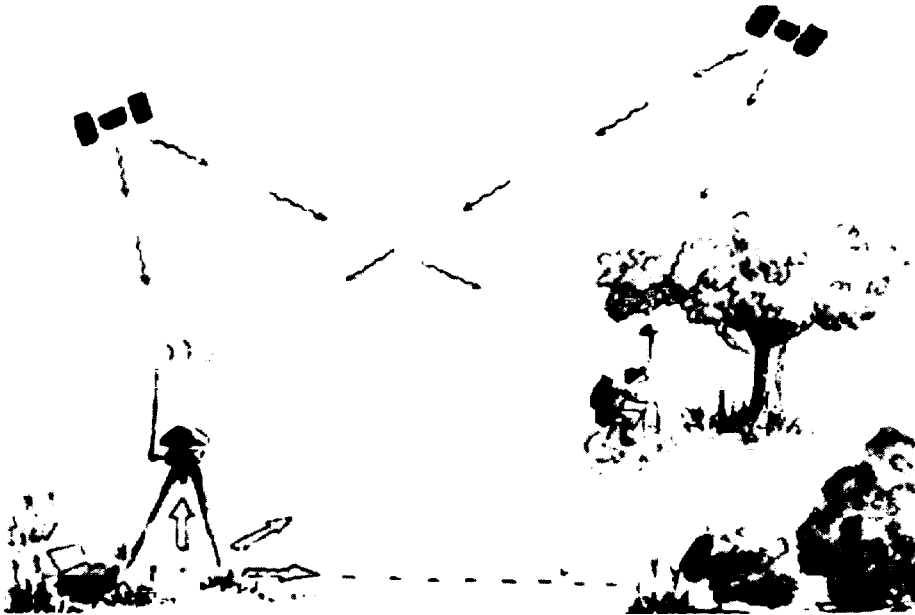
Globalny system pomiarów satelitarnych GPS bazuje na określaniu przestrzennych współrzędnych położenia anteny odbierającej sygnały emitowane przez układ satelitów poruszających się po określonych trajektoriach, pod ciągłym nadzorem ośrodka sterowania współpracującego z grupą naziemnych stacji kontroli lotów. Współrzędne GPS wyznaczane są w geocentrycznym układzie zdefiniowanym przez środek masy i oś obrotu Ziemi.

Pomiary GPS mogą odbywać się w różnych trybach pracy, wśród których najbardziej obiecujący jest tryb Real Time Kinematic, co można tłumaczyć jako bezpośredni pomiar kinematyczny. Kinematyczny - czyli w ruchu, w odróżnieniu od metod pomiarów stacjonarnych, i bezpośredni - czyli dający wyniki w momencie pomiaru (z opóźnieniem najwyżej kilkusekundowym). Pomiar taki jest możliwy dzięki współpracy dwóch odbiorników GPS, z których jeden pozostaje nieruchomy przez cały czas trwania sesji pomiarowej, podczas gdy drugi przemieszczany jest tak, aby objąć wszystkie punkty przeznaczone do pomiaru. "Współpraca" obu (lub większej liczby) odbiorników jest możliwa dzięki komunikacji radiowej między nimi, a konkretnie - dzięki przesyłaniu drogą radiową danych ze stacji bazowej do stacji ruchomych. Ilustruje to rys. 3, na którym geodeta wyposażony w stację ruchomą (plecak i antena) przemieszcza się, co symbolizuje możliwą szybkość pomiaru.

W ostatnich latach technika RTK znalazła szereg praktycznych zastosowań, takich jak:

- pomiary realizacyjne ropociągu na pustyni Asab w Zjednoczonych Emiratach Arabskich,
- pomiary powykonawcze stacji PKP w celu wykonania mapy numerycznej,
- pomiary osnowy dla dużego zakładu przemysłowego.

We wszystkich przypadkach wykonawcy chwalili przydatność metody oraz dostrzegali potencjalne jej możliwości w zakresie szybkości i jakości pracy.

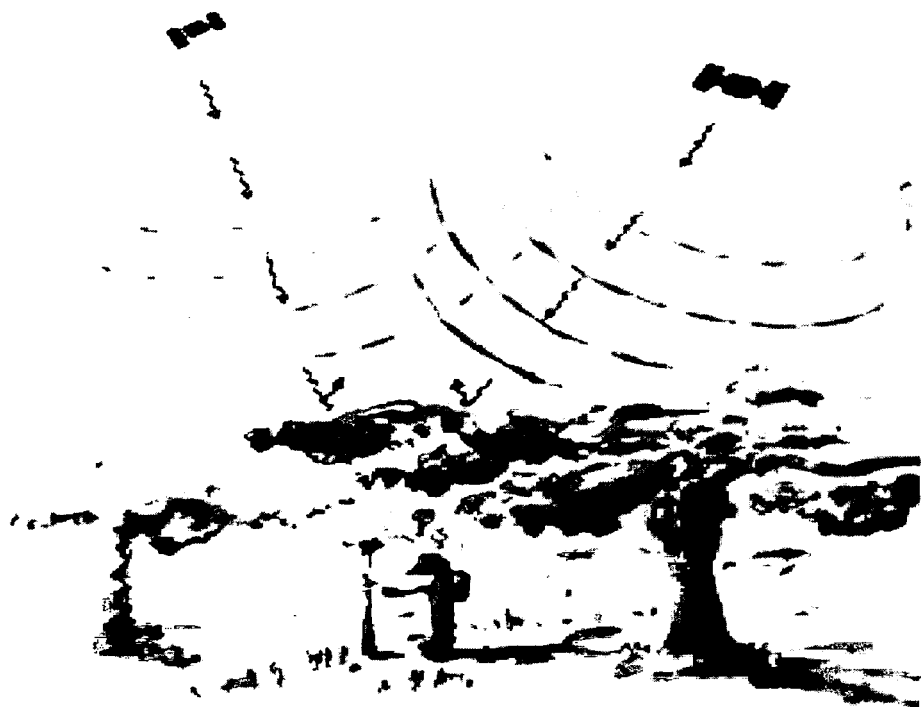


Rys.3 Pomiary wykonywane przez geodetę wyposażonego w stację ruchomą

Istnieje kilka czynników ograniczających pracę odbiornikami GPS w trybie RTK. Do najważniejszych można zaliczyć:

- a) wymóg bezpośredniego dotarcia sygnałów z co najmniej 5 satelitów do odbiorników, co w miejscach o złej widoczności nieba może skutecznie ograniczyć obszary możliwe do pomiaru (rys.4) - szczególnie w terenach zurbanizowanych czy zadrzewionych,
- b) konieczność definicji parametrów transformacji współrzędnych geocentrycznych (w układzie WGS84 - World Geodetic System 1984) do układu obowiązującego na danym terenie,
- c) konieczność używania dwóch odbiorników komunikujących się drogą radiową.

Istotnymi utrudnieniami są ponadto: ograniczony zasięg nadajnika radiowego oraz wpływ na jego pracę silnego promieniowania elektromagnetycznego (np. z tracji wysokiego napięcia), odbicia fal GPS przez niektóre obiekty terenowe, tj. budynki, samochody, grunt (tzw. zjawisko multipath), niezdolność pracy przy spadku liczby satelitów poniżej 5 lub podczas celowego zakłócania sygnałów nadawanych przez niektóre satelity. W efekcie należy liczyć się z tym, że w pewnych miejscach mierzonego obszaru lub w pewnych okresach pomiar będzie niemożliwy.



Rys.4 Zakłócenia w odbiorze sygnałów w miejscach o słabej widoczności nieba

Pozostaje zatem liczyć na inne metody pomiarowe. Nie jest to jednak odstępstwo od dotychczasowych reguł prowadzenia prac geodezyjnych, gdzie konkretne metody dobiera się w zależności od stopnia dostępności terenu, kształtu osnowy, określonych wymagań dokładnościowych, a także od posiadanego sprzętu.

Osnowa geodezyjna w pomiarach RTK GPS

W pomiarach sytuacyjno-wysokościowych z zastosowaniem technologii RTK GPS bardzo ważnym czynnikiem jest właściwy wybór punktów osnowy przeznaczonych na stanowiska stacji bazowych oraz do transformacji współrzędnych między układami (tzw. punktów dostosowania). Liczba punktów bazowych jest uzależniona od wielkości mierzonego obszaru oraz mocy sygnału radiowego między *bazą* a *roverem*.

Stacje bazowe powinny być lokalizowane na punktach osnowy znajdującej się w miarę możliwości w środku ciężkości mierzonego obiektu. Gdy w centralnej części obiektu brakuje punktów osnowy i nie opłacalne jest ich założenie, wówczas stacje bazowe mogą być wyznaczone w formie stanowisk swobodnych. W przypadku większej liczby punktów bazowych zaleca się, aby ich rozmieszczenie było planowane w taki sposób, by granica zasięgu pomiaru z jednego stanowiska bazowego przekraczała częściowo granicę zasięgu pomiaru z innego punktu osnowy przeznaczonego na stację bazową.

Liczba i lokalizacja punktów bazowych przeznaczonych na stanowiska stacji referencyjnej powinna być taka, aby można było pomierzyć cały obiekt zachowując odpowiednią dokładność mierzonych pikiet terenowych. Jeżeli na obszarze opracowania bądź poza jego granicami znajduje się odpowiednia liczba punktów osnowy, ale znaczna ich część nie spełnia koniecznego warunku wykonania pomiarów satelitarnych, wówczas należy zaprojektować i zastabilizować nowe punkty przeznaczone na stanowiska *bazy*. Najlepszą technologią wyznaczenia współrzędnych takich punktów będzie ich pomiar statyczną metodą satelitarną GPS, w nawiązaniu do punktów osnowy szczegółowej III klasy lub wyższej. Wykorzystanie osnowy jako punktów bazowych daje najlepsze rezultaty obliczeń wówczas, jeśli są one punktami osnowy tej samej klasy dokładnościowej. Chodzi o to, aby pomiar RTK był oparty na punktach osnowy wyznaczonych w miarę możliwości z jednakową dokładnością. W przeciwnym razie, wykorzystując osnowę istniejącą i nowo założoną, istnieje większe prawdopodobieństwo wystąpienia znacznych różnic przy dwukrotnym wyznaczeniu współrzędnych tej samej pikiety z dwóch punktów. Problem ten dotyczy przede wszystkim szczegółów terenowych I-szej grupy dokładnościowej, a w szczególności elementów trudnodostępnych np. budynków, które najczęściej są wyznaczone metodą RTK, w sposób pośredni, więc narażone na większy błąd wyznaczenia ich właściwej pozycji.

Jeżeli istniejąca osnowa została zagęszczona i pomierzona statyczną metodą satelitarną GPS, to należy dokonać obliczeń współrzędnych nowo założonych punktów i włączyć opracowanie wyrównania tych punktów do dokumentacji geodezyjno – kartograficznej.

Jeżeli natomiast do realizacji prac geodezyjnych zostaje wykorzystana w pełni istniejąca osnowa, to pozostaje tylko sprawdzenie współrzędnych katalogowych punktów osnowy.

Wykonujemy również pomiar losowo wybranych kilku punktów osnowy metodą RTK GPS, dla sprawdzenia zgodności starych i nowo pomierzonych współrzędnych.

Charakterystyka zestawu RTK GPS – GPS900 lite (przykład)

Producent: Leica Geosystems



Dwie anteny GPS ATX900 (L1, L2) z zestawem akcesoriów.

Odbiornik bazowy: antena GPS ATX900 (L1, L2), statyw, spodarka, wspornik anteny, modem radiowy, uchwyt modemu, kable, bateria zewnętrzna 8Ah, ładowarka na 5 baterii, przymiar hakowy wysokości, walizka terenowa na cały zestaw.

Odbiornik ruchomy: antena GPS ATX900 (L1, L2), kontroler z Windows CE z bluetooth, oprogramowanie do pomiarów RTK (standard), modem radiowy, uchwyt modemu, kable, 4 baterie wewnętrzne 2Ah, tyczka teleskopowa, uchwyt kontrolera na tyczce.

Technologia GPS: SmartTrack 12 L1 + 12 L2

Zasięg pomiaru RTK: ok. 2,5 km

Dokładność pozioma: 10 mm+1ppm

Dokładność pionowa: 20 mm+1ppm

Podsumowanie

Technologię RTK GPS można zaliczyć do powszechnych i efektywnych metod pomiarów sytuacyjno-wysokościowych, ale nie jest to technologia uniwersalna. Ze względu na trudności rejestracji sygnałów satelitarnych w terenach zurbanizowanych, może występować konieczność zastosowania metody wspomagającej np. metody biegunowej wykonywanej za pomocą tachimetrów elektronicznych.