

SZYBKE POZYSKIWANIE PRECYZYJNYCH I WIARYGODNYCH INFORMACJI GEODEZYJNYCH W CZASIE RZECZYWISTYM NA POTRZEBY INŻYNIERII ŚRODOWISKA

QUICK ACQUISITION OF PRECISE AND RELIABLE GEODETIC INFORMATION IN REAL TIME FOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING PURPOSES

Zbigniew Siejka

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Ochrona środowiska to dzisiaj jedna z najważniejszych dla współczesnych społeczeństw dziedzin wiedzy i nauki, która odnosi się w sposób ścisły do otaczającej nas przestrzeni od skali mikro do skali makro dla różnych form jego ochrony. Szybki postęp technologiczny sprawił, że szczególnie w ciągu ostatnich kilkunastu lat zrewolucjonizowane zostały metody pozyskiwania, przetwarzania i prezentowania informacji przestrzennych na różne potrzeby, w tym również na potrzeby inżynierii środowiska. Głównym efektem tych zmian jest powstanie technologii GIS (Geographical Information System), które pozwalają nam wizualizować, analizować, interpretować, ujawniać relacje oraz trendy występujące w otaczającym środowisku. Technologie GIS łączą wiele dziedzin wiedzy i nauki, tj. geodezję, kartografię, geografę i informatykę. Skuteczność i wydajność tych systemów zależy jednak od podstawowej rzeczy, jaką jest wiarygodne i odpowiednio precyzyjne wykonanie pomiarów bezpośrednio w terenie. To natomiast stanowi domenę współczesnej geodezji, która daje nam szerokie możliwości w tym zakresie. Jedną z najskuteczniejszych na dzień dzisiejszy technologii mogących zaspokoić te potrzeby jest technologia satelitarna oraz związane z nią systemy pozycjonowania i nawigacji satelitarnej. W pracy na przykładzie empirycznym przedstawiono sposób wykorzystania takiego systemu. Przeanalizowano uzyskane wyniki pod kątem ich dokładności oraz efektywności pomiarów, wskazano korzyści płynące z wdrażania nowoczesnej technologii satelitarnej w sektorze ochrony środowiska.

Abstract. Environmental protection is one of the most important fields of knowledge and science for today's communities and it directly refers to our surroundings on the macro and micro scales for the various forms of their protection. The rapid technological progress

has entailed the revolution in the methods for acquiring, processing, and presenting spatial information for various purposes, including those of environmental engineering. The main effect of such transformations is the creation of the GIS (Geographical Information System) technology, which allows us to visualise, analyse, interpret, and reveal the relations and trends occurring in the surrounding environment. The GIS technology combines numerous fields of science and knowledge, such as geodesy, cartography, and information technology. However, the effectiveness and productivity of these systems depends on the fundamental issue of reliable and adequately precise measurements taken in the field. This falls to the domain of contemporary geodesy, which provides us with a wide range of options in this respect. One of the most effective current technologies satisfying these needs is satellite technology and the associated satellite navigation and positioning systems. This paper uses an empirical example to present the utilisation of such a system. The obtained results are analysed for measurement accuracy and effectiveness, and the benefits from the introduction of innovative satellite technology in the environmental protection sector are presented.

Słowa kluczowe: pomiary GNSS-RTK, system ASG-EUPOS, korekcje RTK

Key words: GNSS-RTK measurements, system ASG-EUPOS, RTK corrections

WSTĘP

Ochrona środowiska to dzisiaj bardzo ważna dla współczesnych społeczeństw dziedzina wiedzy i nauki, odnosząca się w sposób ścisły do otaczającej nas przestrzeni od skali mikro do skali makro w celu różnych form ochrony środowiska. Bardzo wysoka dynamika zmian zachodząca współcześnie na Ziemi oznacza coraz większe zapotrzebowanie na szybką i precyzyjną informację o procesach przemian występujących w środowisku. To z kolei wymaga budowy różnego rodzaju aktywnych baz danych dla monitoringu o bardzo szerokim zasięgu – od zakresu bardzo lokalnego po zasięg globalny – aby rejestrować, dokumentować, rozumieć i podejmować właściwe decyzje. Doskonałymi narzędziami wspomagającymi te działania są systemy informacji przestrzennej, stanowiące tę gałąź nauki, której rozwój w sposób ścisły zależy od jakości źródeł danych i metod ich pozyskiwania.

Szybki postęp technologiczny sprawił, że szczególnie w ciągu ostatnich kilkunastu lat zrewolucjonizowały się metody pozyskiwania, przetwarzania i prezentowania informacji przestrzennych na różne potrzeby, w tym również na potrzeby inżynierii środowiska. Głównym efektem owych zmian jest powstanie technologii GIS (Geographical Information System), które pozwalają nam wizualizować, analizować, interpretować, ujawniać relacje oraz trendy występujące w otaczającym środowisku. Technologie GIS łączą wiele dziedzin wiedzy i nauki, tj. geodezję, kartografię, geografę i informatykę.

Skuteczność i wydajność tych systemów zależy jednak od podstawowej rzeczy, jaką jest wiarygodne i odpowiednio precyzyjne wykonanie pomiarów bezpośrednio w terenie, to zaś stanowi domenę współczesnej geodezji, która daje nam w tym zakresie szerokie możliwości. Jedną z najlepszych aktualnie technologii mogących zaspokoić te potrzeby są technologie satelitarne oraz związane z nimi systemy pozycjonowania i nawigacji satelitarnej. Technologie satelitarne – w porównaniu z czasochłonnymi klasycznymi pomiarami geodezyjnymi – zapewniają obecnie stosunkowo proste i szybkie metody

realizacji pomiarów bezpośrednio w terenie. Trzeba jednak mieć świadomość zarówno ich ograniczeń, jak i wielkiego potencjału nie zawsze w pełni wykorzystywanego.

SYSTEMY POZYCJONOWANIA I NAWIGACJI SATELITARNEJ

Nawigacja satelitarna jest rodzajem radionawigacji, w której do określania współrzędnych anteny użytkownika wykorzystuje się sygnały radiowe emitowane przez sztuczne satelity Ziemi. Wszystkie obecnie działające i budowane systemy nawigacji satelitarnej można ująć pod jedną nazwą określoną akronimem GNSS – Global Navigation Satellite System, w skład którego wchodzi takie systemy jak: GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS, QZSS, SBAS. Na dzień dzisiejszy dostępnych mamy w sumie ponad 90 satelitów, które należą do różnych systemów pozycjonowania i nawigacji (tabela 1). Wszystkie te systemy działają według tej samej ogólnej zasady i zbudowane są w podobny sposób.

Tabela 1. Systemy pozycjonowania i nawigacji satelitarnej (luty 2014)

Table 1. Satellite navigation and positioning systems (February 2014)

Nazwa systemu System name	GPS G	Glonass R	Galileo E	BeiDou C	QZSS J	SBASS
Właściciel Owner	USA	Federacja Rosyjska Russia	UE (kraje ESA) UE	Chiny China	Japonia Japan	USA, UE (ESA), Japonia, Indie USA, UE (ESA) Japan, India
Liczba satelitów w systemie Number of satellites in the system	32	24	6	15	3	13

Najbardziej znanym i najczęściej wykorzystywanym obecnie na świecie jest opracowany przez Stany Zjednoczone system nawigacji satelitarnej GPS (Global Positioning System). Został on zaprojektowany, jako precyzyjny system określania położenia, czasu oraz prędkości ruchu obiektów; ma zasięg globalny [Narkiewicz 2003]. Z systemu można korzystać wszędzie tam, gdzie docierają sygnały z satelitów, a więc na powierzchni Ziemi, w atmosferze oraz w bliskiej przestrzeni kosmicznej wokół Ziemi w ciągu całej doby bez względu na warunki atmosferyczne.

System GPS składa się z trzech zasadniczych segmentów:

- kosmicznego – stanowi go odpowiednia konstelacja satelitów (aktualnie jest to 32SV) rozmieszczonych na 6 orbitach na wysokości około 20 200 km;
- kontrolnego – składa się z centralnej stacji nadzoru oraz stacji śledzących i korygujących (obecnie 20 stacji rozmieszczonych na całym globie ziemskim), sprawuje nadzór nad systemem;

- użytkowników – ludzi lub urządzeń technicznych wyposażonych w odbiorniki sygnałów satelitarnych.

Ogólna zasada działania systemu polega na tym, że w odbiorniku jest mierzony czas przebiegu sygnału od satelity do anteny odbiornika oraz jednocześnie są transmitowane współrzędne miejsca, gdzie znajdował się satelita w momencie nadania sygnału pomiarowego. Pomnożenie czasu przebiegu sygnału od satelity do odbiornika przez prędkość odbieranej fali radiowej daje w wyniku odległość odbiornika od satelity. Po odebraniu i przetworzeniu sygnałów minimum od czterech satelitów (w tym samym momencie czasu) zostają wyznaczone współrzędne przestrzenne położenia centrum fazowego anteny odbiornika, na zasadzie wyznaczenia przestrzennego wcięcia wstecz. Istotną zaletą pomiaru satelitarnego jest również to, że oprócz położenia obiektu wyznaczany jest aktualny czas, który można traktować, jako czwarty wymiar przestrzeni.

Dokładność wyznaczania pozycji w GPS zależy od kilku czynników, z których najważniejsze to:

- Status użytkownika wynikający z wydzielenia przez właściciela systemu (rządu USA) grupy użytkowników autoryzowanych, którymi są w większości użytkownicy wojskowi, oraz pozostałych użytkowników. Autoryzowani użytkownicy w absolutnym wyznaczeniu pozycji mogą uzyskiwać dokładności wyznaczenia współrzędnych około dziesięć razy większe od użytkowników niemających autoryzacji i odbierających sygnały pomiarowe tylko na jednej częstotliwości fal radiowych.
- Metoda pomiaru odległości anteny odbiornika od satelitów. Przy korzystaniu z odpowiednich technik pomiarowych i metod przetwarzania sygnałów można uzyskać błędy wyznaczania położenia na poziomie subcentymetrowym, a nawet submilimetrowym.
- Klasa odbiornika oraz rodzaj anteny i warunki satelitarne (dostęp do otwartego horyzontu), w których jest dokonywany pomiar.

W poprawnym wyznaczeniu pozycji mogą brać udział tylko te sygnały, które docierają do odbiornika bezpośrednio z satelitów. Odbiorniki GPS najlepiej działają w terenach otwartych, przy widoczności całej sfery niebieskiej. Trudności z pomiarem mogą pojawić się, gdy część nieba jest zasłonięta: np. w górach, w lesie przez drzewa lub przez budynki w mieście, a w skrajnych przypadkach pomiar może być w ogóle niemożliwy. Dużym niebezpieczeństwem jest odbieranie sygnałów odbitych, np. od wody, dachów, ścian budynków, różnego rodzaju powierzchni metalowych i szklanych, co może powodować duże błędy pomiaru pozycji.

Na dzień dzisiejszy nie ma możliwości wyznaczenia pozycji za pomocą GPS w pomieszczeniach zamkniętych. W takich warunkach, jeżeli nawet do anteny odbiornika docierają sygnały pomiarowe, to są to zwykle odbite lub też bardzo słabe i zniekształcone sygnały przenikające przez ściany, a wówczas wskazania odbiorników systemów nawigacji satelitarnej nie są wiarygodne. Należy jednak podkreślić, że prowadzone są obecnie prace nad stworzeniem odbiorników działających także w zamkniętych pomieszczeniach, wykorzystujących specjalne metody odbioru i filtracji bardzo słabych zniekształconych sygnałów [Narkiewicz 2007].

SYSTEMY WSPOMAGANIA SATELITARNEGO

Podstawowym zadaniem systemów wspomaganie satelitarne (*augmentation systems*) jest zwiększenie dokładności, niezawodności i wiarygodności wyznaczenia pozycji. Odbywa się to głównie przez kompensację błędów propagacji sygnałów w atmosferze i ich chwilowych zakłóceń oraz umożliwienie działania odbiorników na obszarach, na których utrudniony jest odbiór sygnałów z satelitów. Najczęściej spotykanym sposobem wspomaganie (zwiększania dokładności) współczesnych systemów GNSS jest zastosowanie metod różnicowych DGPS (Differential GPS).

Współczesne systemy wspomagające dzielimy na dwie podstawowe grupy:

1. Satelitarne systemy wspomagające SBAS (Satellite Based Augmentation Stations), w których poprawki różnicowe transmitowane są dla użytkowników drogą satelitarą poprzez specjalne satelity. Tego typu systemy wspomagające działają na dużych obszarach. Obecnie na świecie pracuje kilka takich systemów, tj.: EGNOS (European Geostationary Overlay System), który swoim zasięgiem obejmuje teren Europy, WAAS (Wide Area Augmentation System) pracujący na terenie USA, MSAS (Multi-mission Satellite Augmentation System) obejmujący tereny Dalekiego Wschodu i Japonii.
2. Nazemne systemy wspomagające GBAS (Ground Based Augmentation Systems), wśród których możemy wyróżnić:
 - lokalne, autonomiczne układy DGPS, złożone najczęściej z jednej stacji referencyjnej i jednego lub kilku odbiorników ruchomych;
 - regionalne systemy DGPS, obejmujące swym zasięgiem pewien większy obszar, na którym na stałe zainstalowano sieć stacji referencyjnych pracujących permanentnie i zarządzanych z jednego Centrum Kontroli i Zarządzania – przykładem może być Małopolski System Pozycjonowania Precyzyjnego (MSPP), obejmujący swym zasięgiem województwa małopolskie i śląskie;
 - narodowe systemy DGPS, które obejmują zwykle swoim zasięgiem całe terytorium danego kraju – składają się one zwykle z kilkudziesięciu bądź kilkuset stacji referencyjnych zbudowanych według jednego standardu i tworzą szersze wielofunkcyjne systemy pozycjonowania i nawigacji.

ASG-EUPOS

W ostatnich kilku latach w Polsce wyraźnie wzrosło wykorzystanie technologii pomiarów satelitarnych GNSS do zastosowań nie tylko geodezyjnych, ale także w wielu innych dziedzinach, w tym w rolnictwie, transporcie czy ochronie środowiska. Nastąpiło to zwłaszcza po uruchomieniu w czerwcu 2008 roku Aktywnej Sieci Geodezyjnej (ASG-EUPOS). ASG-EUPOS jest wielofunkcyjnym systemem precyzyjnego pozycjonowania satelitarne, który stanowi część szerszego systemu EUPOS obejmującego swoim zasięgiem szesnaście krajów Europy Środkowej i Wschodniej. System ten pozwala określać z wysoką precyzją w czasie rzeczywistym pozycje obiektów w przestrzeni (na lądzie, na/w wodzie i w powietrzu). Funkcjonuje on w oparciu o naziemne stacje referencyjne GNSS. Umożliwia wykonywanie różnicowych pomiarów dla użytkowników pomiarów satelitarnych z dokładnością pojedynczych centymetrów, co daje

ogromną przewagę tej technice w stosunku do pomiarów autonomicznych wykonywanych za pomocą pojedynczego odbiornika, które umożliwiają obecnie pozycjonowanie z dokładnością około 7,6 m.

Na szczególną uwagę z punktu widzenia przeciętnego użytkownika zasługują serwisy czasu rzeczywistego: NAWGIS, KODGIS, NAWGEO (tab. 2).

Tabela 2. Serwisy czasu rzeczywistego w systemie ASG-EUPOS

Table 2. The real-time services ASG-EUPOS system

Nazwa Name	Metoda pomiaru The measurement method	Transmisja danych Transmission of data	Zakładana dokładność Assumed accuracy	Minimalne wymagania sprzętowe Minimum hardware requirements
NAWGIS	kinematyczna (DGPS) kinematic (DGPS)		do 3 m up to 3 m	Odbiornik L1 DGPS, moduł komunikacyjny L1 DGPS receiver, a communication module
KODGIS	kinematyczna (DGPS) kinematic (DGPS)	Internet, GSM (GPRS)	do 0,25 m up to 0.25 m	Odbiornik L1/L2 RTK, moduł komunikacyjny L1/L2 RTK receiver, a communication module
NAWGEO	kinematyczna (RTK) kinematic (RTK)		0,01–0,03 m (Hz) 0,01–0,05 m (V)	

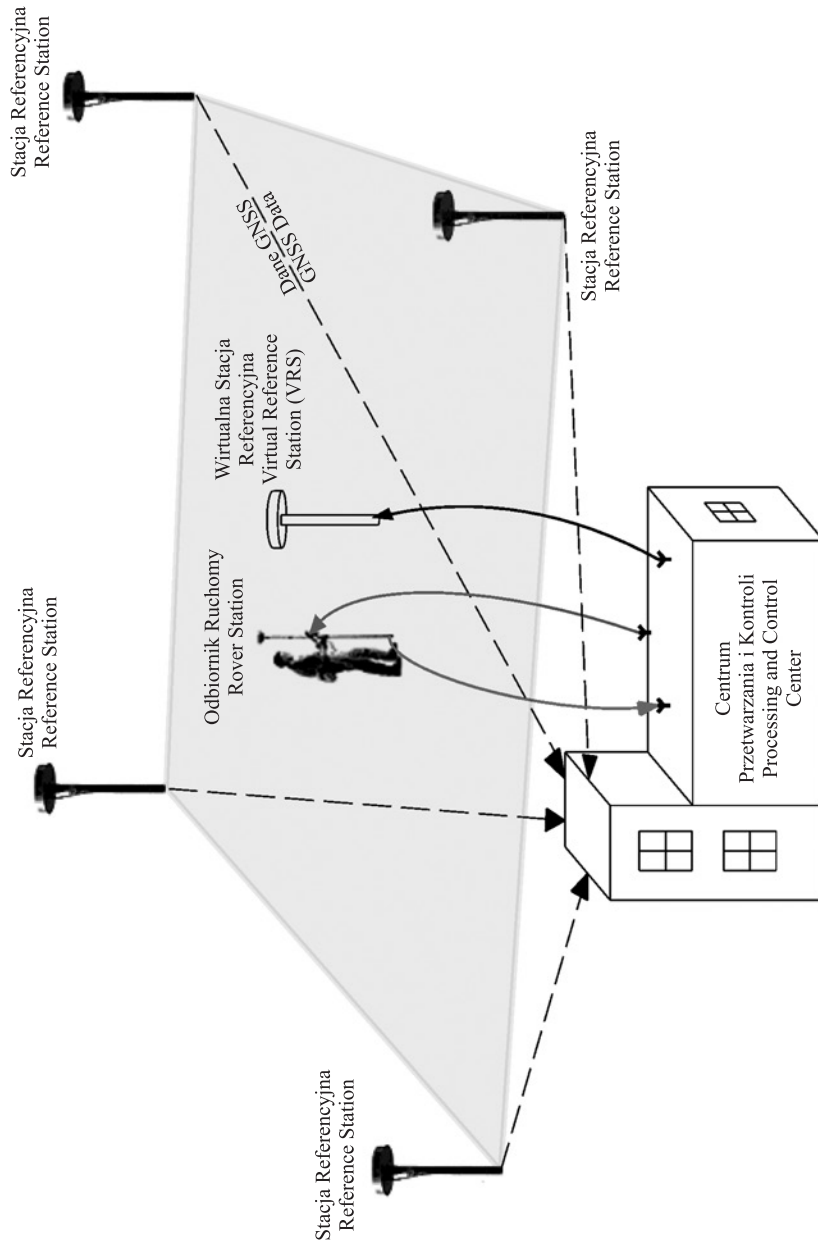
Źródło: www.asgeupos.pl

Source: www.asgeupos.pl

Serwisy czasu rzeczywistego opierają się na zasadzie pomiarów różnicowych DGNSS (Differential GNSS) oraz RTK (Real-Time Kinematic), wykonywane są w oparciu o naziemne satelitarne stacje referencyjne i dzięki temu istotnie podnoszą dokładność wykonywanych pomiarów.

Odbiorniki wykonujące pomiary w terenie komunikują się z Centrum Obliczeniowym, w celu uzyskania korekt obserwacyjnych do pomiarów GNSS. Cały proces wymiany danych odbywa się w czasie rzeczywistym poprzez wykorzystanie połączenia internetowego GPRS, w związku z czym użytkownik otrzymuje wyniki na bieżąco w terenie. Ogólny schemat realizacji pomiarów tą metodą przedstawiono na ryc. 1.

W zależności od rodzaju sprzętu pomiarowego (L1 lub L1/L2), którym dysponuje użytkownik, oraz przyjętej metody pomiarów (DGPS/RTK) dokładności uzyskiwane w pomiarach mogą wahać się od 3 m do 1 cm (tab. 2). Serwisy NAWGIS i KODGIS znajdują zastosowanie głównie w pomiarach GIS oraz nawigacji, natomiast najdokładniejszy serwis NAWGEO jest wykorzystywany w szerokim spektrum prac inżynierskich i geodezyjnych.



Ryc. 1. Schemat generowania poprawek w technologii VRS
Fig. 1. Scheme corrections generating VRS technology

PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA OBIEKTU BADAWCZEGO

W pracy przedstawiono sposób wykonywania pomiarów oraz dokonano oceny rzeczywistej precyzji odbiornika satelitarnego i jego efektywności w realnych warunkach terenowych, ponieważ najczęściej dokładności podawane przez producentów sprzętu geodezyjnego w trybie RTK odnoszą się do pomiarów wykonywanych na specjalnych punktach kontrolnych, na których panują „idealne” warunki satelitarne. W praktyce natomiast zachodzi zwykle potrzeba prowadzenia pomiarów GNSS w terenie o mocno zróżnicowanych warunkach odbioru sygnałów satelitarnych, co ma istotny wpływ na uzyskiwane wyniki. W związku z tym należy dysponować wiarygodną informacją, czy i jaki ma to wpływ na dodatkowe zniekształcanie wyników, a jeśli to możliwe, należy określić sposób jego uwzględniania.

Obiekt badawczy wykorzystany do celów niniejszej pracy znajdował się w województwie świętokrzyskim, powiat staszowski, gmina Osiek, miejscowość Niekurza (ryc. 2). Obejmował dolinę rzeki Wisły w międzywalu od jej lewego brzegu do wału przeciwpowodziowego, który został generalnie zmodernizowany po powodzi w 1997 roku. Był to teren niezainwestowany, wykorzystywany częściowo rolniczo, a w dużej części pokryty zadrzewieniami i inną roślinnością typową dla tego typu obszarów.



Ryc. 2. Obiekt badawczy

Fig. 2. Research facility

Pomiary inwentaryzacyjne zostały wykonane nowoczesną techniką pozycjonowania satelitarnego GNSS-RTN, za pomocą jednego odbiornika (zestawu Trimble R8 GNSS z kontrolerem TSC2, ryc. 3) w oparciu o koncepcję udostępniania korekcji do wykonywanych pomiarów, z wykorzystaniem wirtualnych stacji referencyjnych (VRS

– Virtual Reference Stations). W Polsce rozwiązanie to udostępnione jest dla użytkowników poprzez system ASG-EUPOS za pomocą serwisu NAWGEO. Serwis ten aktualnie udostępniany jest odpłatnie i wymaga autoryzacji użytkownika za pomocą loginu i hasła dostępowego. Dla optymalizacji pomiarów odbiornik skonfigurowano według następujących parametrów: maska PDOP ≤ 4 , maska elewacji 10° , typ rozwiązania „fixed”, minimalny czas pomiaru na punkcie 5 sekund; uwzględniając charakter eksperymentalny prowadzonych pomiarów, nie założono żadnego ograniczenia co do precyzji wyznaczenia pozycji poziomej (Hz) i pionowej (V).



Ryc. 3. Zestaw pomiarowy Trimble R8 GNSS z kontrolerem TSC2

Fig. 3. Measuring set Trimble R8 GNSS TSC2 controller

Pomiary udało się wykonać na 137 ze 142 punktów w rzeczywistych warunkach terenowych. Podczas pomiaru rejestrowano następujące parametry:

- numer mierzonego punktu,
- typ uzyskanego rozwiązania,
- data i godzina pomiaru,
- wysokość anteny nad mierzonym punktem,
- współrzędne (x, y) w układzie 2000/21,
- wysokość w systemie Kronsztadt 86 (H),
- precyzję wyznaczenia poziomego współrzędnych (Prec_Hz),
- precyzję wyznaczenia wysokości (Prec_V),
- parametr PDOP,

Tabela 3. Przykładowe wyniki pomiarów dla wybranych punktów
Table 3. Sample test results for selected points

Nr Punktu No point	Typ rozwiązania Type of solution	Data i godzina Date and time	Wysokość anteny The height of the antenna	x m	y m	H m	Prec Hz m	Prec V m	PDOP	RMS mm	L. Sat No of sat.	Czas Time s
1	Fixed	2012-10-08 15:36:39	2,000	5589447,557	7528076,564	152,250	0,027	0,041	2,0	42	9	18
2	Fixed	2012-10-08 15:37:49	2,000	5589441,073	7528024,990	152,429	0,042	0,054	2,7	81	7	12
3	Fixed	2012-10-08 15:39:10	2,000	5589432,290	7527971,571	151,933	0,053	0,079	2,7	75	7	19
4	Fixed	2012-10-08 15:40:38	2,000	5589431,727	7527918,332	152,940	0,014	0,021	2,2	23	8	6
5	Fixed	2012-10-08 15:40:52	2,000	5589431,057	7527915,230	152,753	0,023	0,031	2,2	20	8	6
6	Fixed	2012-10-08 15:41:21	2,000	5589415,044	7527910,711	152,144	0,018	0,021	1,7	36	9	6
7	Fixed	2012-10-08 15:41:45	2,000	5589415,061	7527910,712	152,143	0,016	0,019	1,7	30	9	6
8	Fixed	2012-10-08 15:42:08	2,000	5589415,017	7527914,536	152,047	0,013	0,018	1,5	30	10	6
9	Fixed	2012-10-08 15:45:04	2,000	5589378,697	7527908,209	152,173	0,013	0,015	1,7	24	9	6
10	Fixed	2012-10-08 15:45:17	2,000	5589379,041	7527905,723	152,170	0,012	0,016	1,5	22	10	6

- parametr RMS,
- liczbę obserwowanych satelitów (L. Sat.),
- czas trwania pomiaru na punkcie w sekundach.

W tabeli 3 zestawiono przykładowe wyniki pomiarów wraz z ich charakterystyką jakościową dla pierwszych dziesięciu pomierzonych punktów.

ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW POMIARÓW

Oceny uzyskanych wyników pomiarów dokonano na podstawie parametrów podawanych i zarejestrowanych przez odbiornik GNSS, podczas wykonywania pomiarów na punktach wyznaczanych. Były to następujące parametry:

- precyzja wyznaczenia poziomego pozycji [Prec_Hz],
- precyzja wyznaczenia pionowego pozycji [Prec_V],
- parametr PDOP (współczynnik opisujący stosunek pomiędzy błędem pozycji użytkownika a błędem pozycji satelity),
- parametr RMS,
- liczba obserwowanych satelitów,
- czas pomiaru na punkcie.

Przeciętne wartości tych parametrów opisujących jakość uzyskanych wyników pomiarów na realizowanym obiekcie zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Przeciętne wartości parametrów uzyskane podczas pomiarów
Table 4. The average values of the parameters obtained during the measurement

Wartość parametru The value of the parameter	Prec_Hz m	Prec_V m	PDOP	RMS mm	L. SAT. No SAT.	CZAS TIME s
MIN	0,011	0,015	1,5	5	5	5
MAX	0,446	0,484	7,6	88	17	47
R	0,435	0,469	6,1	83	12	42
<i>a</i>	0,023	0,034	2,4	25	8	7
σ	0,045	0,049	1,0	12	1	5

W przeprowadzonym eksperymencie w 5 przypadkach na 142 nie udało się wykonać pomiaru pozycji ze względu na zakłócenia sygnału lub zbyt małą liczbę widocznych satelitów. Stanowiło to 3,5% wszystkich obserwacji.

Analizując szczegółowo uzyskane wyniki, stwierdzono, że w całym zbiorze uzyskanych wyników 91% pomiarów mieściło się w zakresie błędu < 3 cm dla pozycji poziomej, natomiast 89% uzyskanych pomiarów mieściło się w zakresie błędu < 5 cm dla wyznaczenia wysokości. Są to zakresy dokładności, które teoretycznie deklaruje serwis NAWGEO przy spełnieniu wszystkich wymagań co do warunków satelitarnych stawianych pomiarom kinematycznym RTK.

WNIOSKI

Badania dowodzą, że wysoka precyzja pozycjonowania jest osiągalna w technologii Real Time Kinematik (RTK) na terenie Polski z wykorzystaniem wielofunkcyjnego naziemnego systemu wspomagania pomiarów satelitarnych ASG-EUPOS. Jednak w pracy wykazano również, że technologia GNSS nie jest tak łatwa, jakby to mogło się wydawać czy też jak przedstawiają to dystrybutorzy tego typu sprzętu.

Podczas przeprowadzanych eksperymentów zdarzały się momenty, gdy brakowało ciągłości i integralności wymaganej dla szybkiego pomiaru kinematycznego w czasie rzeczywistym. Pojawiły się też problemy z wielodrożnością sygnałów satelitarnych przy wykonywaniu pomiarów w bezpośrednim sąsiedztwie lustra wody.

Można natomiast z całą pewnością stwierdzić, że pozycjonowanie w sieci RTK jest w stanie zapewnić wysoką dokładność w idealnych warunkach satelitarnych przy wykorzystaniu dobrej klasy instrumentu pomiarowego (np. wykorzystanego w pracy Trimble R8). Badania potwierdziły także znaną z teorii zależność, że przeciętna dokładność pozycjonowania satelitarnego w płaszczyźnie pionowej (dla wysokości) jest około 1,5 raza niższa w stosunku do pozycjonowania w płaszczyźnie poziomej.

Praca wykazała również, że rzeczywista dokładność pomiarów testowanego zestawu satelitarnego istotnie odbiega od parametrów deklarowanych przez producenta, który podaje dokładność pozycjonowania poziomego w trybie RTK równą $\pm(10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$, a pozycjonowania pionowego $\pm(20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$. Wynika to przede wszystkim z faktu, że producenci odbiorników najczęściej podają dokładność sprzętu dla warunków laboratoryjnych. Ze względu na fakt, że pomiar zależy przede wszystkim od liczby widocznych satelitów oraz ich konstelacji w danym momencie, dokładność realnych pomiarów może znacznie odbiegać od tego, co deklaruje producent.

Istotnym czynnikiem ekonomicznym, na który również należy zwrócić uwagę przy proponowanej metodzie, jest czas wykonania pomiaru na punkcie, wynoszący przeciętnie 7 sekund do otrzymania efektu końcowego pomiaru (współrzędnych punktu wyznaczonego).

PIŚMIENNICTWO

- Januszewski J., 2006. Systemy satelitarne GPS Galileo i inne. Wyd. Naukowe PWN Warszawa.
Narkiewicz J., 2003. GPS Globalny System Pozycyjny. Wyd. Komunikacji i Łączności Warszawa.
Narkiewicz J., 2007. GPS i inne satelitarne systemy nawigacyjne. Wyd. Komunikacji i Łączności Warszawa.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.07.2014