

Pomiar powierzchni działek przy wykorzystaniu technologii GPS

ODBIORNIK DO KONTROLI

W dobie permanentnych sieci stacji referencyjnych dokładne wyznaczenie pola powierzchni tą techniką nie powinno stanowić problemu. Czy jednak na pewno? Częstym utrudnieniem jest brak czystego horyzontu czy niedostępność sieci GSM transmitującej poprawki różnicowe. Na dokładność wpływają jednak przede wszystkim jakość zegara i algorytmów odbiornika.

MARIUSZ FIGURSKI,
MARCIN SZOŁUCHA,
PIOTR MIELNIK,
MARCIN
GAŁUSZKIEWICZ,
MACIEJ WRONA

Technika pomiarów satelitarnych oferuje coraz bardziej dokładne, wiarygodne i dostępne rozwiązania w znaczny sposób podnoszące efektywność prac terenowych. Dla szerokiego wachlarza zastosowań, poza precyzyjnymi odbiornikami geodezyjnymi, coraz częściej wykorzystywane są urządzenia o niższej dokładności – rzędu od kilku metrów do kilkudziesięciu centymetrów. Są to na ogół odbiorniki bazujące na pomiarach kodu C/A modulowanego na częstotliwości L1 z możliwością uwzględnienia poprawek różnicowych (DGPS). Do niewątpliwych zalet metody DGPS w takiej konfiguracji należą: praca w czasie rzeczywistym, niski koszt urządzenia oraz nieskomplikowany proces pomiarowy. Wszystko to sprawia, że tej klasy odbiorniki są wykorzystywane w różnych pracach

terenowych, jak np.: pomiary powierzchni działek rolnych, pozyskiwanie danych dla potrzeb GIS, aktualizacja map topograficznych czy inwentaryzacja łączy energetycznych i gazowych.

Planując zakup odbiornika do wykonania zadań po-

miarowych, często opieramy się na danych producenta dotyczących nominalnych dokładności wyznaczenia pozycji w dostępnych trybach pomiarowych. Jak można przypuszczać, te dane niejednokrotnie różnią się od rzeczywistych param-

trów uzyskiwanych w terenie, m.in. z uwagi na różne warunki pomiaru. Główny wpływ na to ma środowisko pracy urządzeń, stabilność anteny podczas pomiaru, liczba dostępnych satelitów itp. Jednak kluczową rolę w procesie interpretacji obserwacji



Poligon testowy GPS



Pomiar statyczny GNSS na punktach poligonu

satelitarnych odgrywa zegar odbiornika GNSS.

● NAJWAŻNIEJSZY JEST ZEGAR

Systemy wyznaczania pozycji (GPS, GLONASS, Galileo) wykorzystują zasadę pomiaru odległości pomiędzy satelitami a odbiornikiem. Podstawowym parametrem mierzonym w tym procesie jest czas propagacji sygnału radiowego. Stąd w założeniach wymagane jest, aby zegary zarówno odbiorników, jak i satelitów utrzymywały wysoką dokładność.

Zastosowanie na satelitach zegarów atomowych oraz ich ciągła weryfikacja przez segment kontrolny systemu sprawiają, że jedynym problemem przy pomiarze GNSS jest realizacja czasu GPS w odbiornikach pomiarowych. Ze względów ekonomicznych oraz gabarytowych nie ma możliwości montowania zegarów atomowych w odbiornikach GPS w segmencie użytkownika. Podstawowym zadaniem wewnętrznych algorytmów odbiornika jest więc synchronizacja skali czasowej na podstawie otrzy-

mywanych sygnałów. Offset skali czasu odbiornika dT wynikający z braku synchronizacji zegara odbiornika do skali czasu GPS jest traktowany jako dodatkowa niewiadoma w procesie obliczeniowym. Fizyczna realizacja skali czasu odbiornika charakteryzuje się często dużym błędem, dochodzącym niekiedy do kilkudziesięciu milisekund. Niektóre odbiorniki poprawiają okresowo fizyczną skalę czasu na podstawie wyznaczanej na bieżąco poprawki zegara. W przypadku obserwacji synchronicznych, jakie wykonuje się między innymi dla potrzeb geodezyjnych, błąd fizycznej realizacji skali czasu odbiornika powoduje dodatkowe, nieusuwalne zaszumienie wielkości pomiarowych.

Jedną z metod oceny poprawnej pracy zegara odbiornika jest wygenerowanie wzorcowego, powtarzalnego sygnału z wykorzystaniem symulatora GNSS. W Wojskowej Akademii Technicznej w lutym 2005 roku przeprowadzono pierwsze w Polsce bezwzględne wzorcowanie odbiorników systemu GPS (L1

C/A). Odbiorniki satelitarnych systemów nawigacji posiadają na wyjściu możliwość dostarczenia co sekundę impulsu tzw. 1 PPS (One Pulse Per Second). Impuls ten dowiązany jest do skali czasu danego systemu nawigacji z określoną dokładnością, zależną od wielu czynników, z których dwa najistotniejsze to:

- prawidłowe dopasowanie modeli opóźnień jonosferycznych w odbiorniku do rzeczywistych bieżących warunków,

- proces odbioru sygnałów w.c.z. oraz sposób generacji sygnału 1 PPS w odbiorniku.

Należy zaznaczyć, iż istotne jest wzajemne przesunięcie impulsów 1 PPS pomiędzy dwoma lub więcej odbiornikami, a nie dowiązanie pojedynczego odbiornika do skali czasu. W ramach sieci dystrybucji sygnałów synchronizacji wielkość wzajemnego rozsynchronizowania impulsów 1 PPS można zmniejszyć, wykorzystując odbiorniki tego samego typu. W praktyce jednak działanie takie nie gwarantuje niczego. Każdy odbiornik charakteryzuje się bowiem własnym, unikalnym czasem przesunięcia względem czasu systemu. Producenci odbiorników GNSS nie podają tej wartości, lecz jedynie wielkość odchylenia standardowego (fluktuację) impulsu 1 PPS wytwarzanego przez odbiornik.

Zdarzają się zatem sytuacje, że porównując impulsy 1 PPS na wyjściu odbiorników różnych producentów, otrzymamy wyniki o stałej

wielkości przesunięcia rzędu nawet 1 mikrosekundy i wartości RMS na poziomie 100 ns. W celu uniknięcia tego zjawiska wykonywane są procedury kalibracji zmieniające do oszacowania wielkości opóźnienia w generacji sygnału 1 PPS wprowadzanego przez odbiorniki GNSS względem skali czasu satelitarnego systemu nawigacji. Tego typu prace realizowane są obecnie w WAT z wykorzystaniem symulatora GPS.

Opisany powyżej problem czasu w pomiarach GPS jest jednym z ważniejszych czynników wpływających na otrzymywaną dokładność pomiarową.

● POLIGON TESTOWY

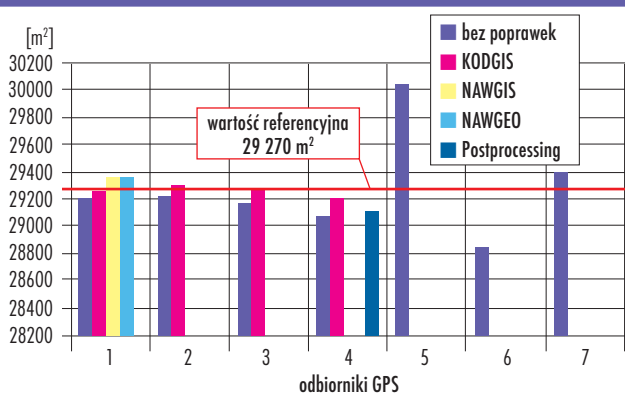
Określenie możliwości i optymalnych warunków pomiaru pola powierzchni zaczyna zyskiwać na znaczeniu ze względu na rosnącą skalę prac związanych z pomiarem pola powierzchni działek rolnych na potrzeby realizacji dopłat bezpośrednich prowadzonych przez UE. W Zakładzie Geomatyki Stosowanej Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT przeprowadzono testy i analizy mające na celu określenie optymalnych warunków dla wiarygodnego pomiaru pola powierzchni technologią GNSS. Część pomiarowa projektu obejmowała pomiar ośmiu zastabilizowanych punktów poligonu o powierzchni 2,9 ha (fot. na stronie obok).

W celu wyznaczenia wzorcowej powierzchni działki doświadczalnej współrzędne

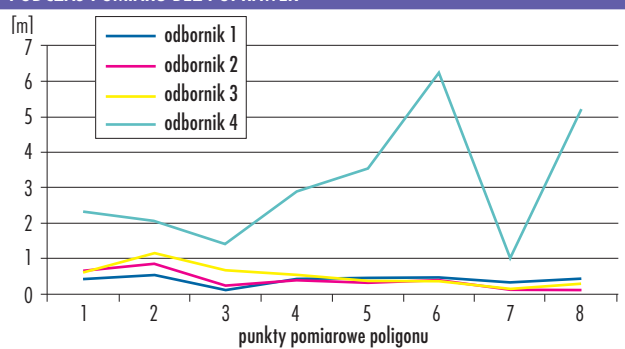
PODSTAWOWE PARAMETRY ODBIORNIKÓW GPS KLASY GIS WYKORZYSTANYCH W TESTACH

Odbiornik	Liczba kanałów	Dokładność w czasie rzeczywistym	Postprocessing
1. Trimble Juno	12 (L1 kod)	>2 m (SBAS)	-
2. Trimble ProXT	12 (L1 kod i faza)	<1 m (SBAS lub in. RTCM)	0,3-0,01 m
3. Trimble GeoXH	24 (12 L1 kod i faza, 12 L2 faza, 2 SBAS)	<0,3 m VRS	0,1-0,3 m VRS
4. Topcon GMS2	12 (L1 kod) + dane GLONASS	>0,5 m	>0,3 m
5. Magellan CX	14 (L1 kod)	<1 m	>0,3 m
6. Magellan 6	12 (L1 kod)	>2 m	>1 m
7. Garmin 60	12 (L1 kod)	>2 m	-

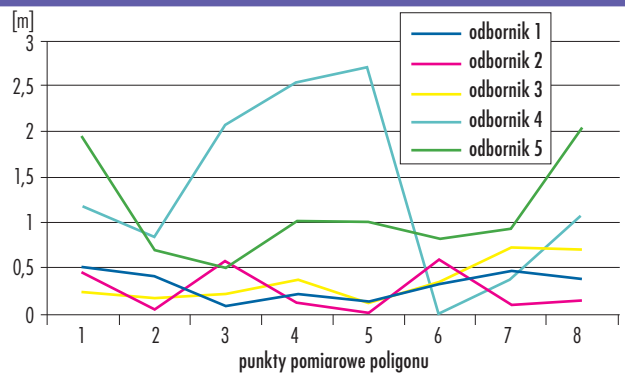
WARTOŚCI POŁA POWIERZCHNI OBLICZONEJ Z POMIARÓW GPS Z WYKORZYSTANIEM RÓŻNYCH SERWISÓW ASG-EUPOS



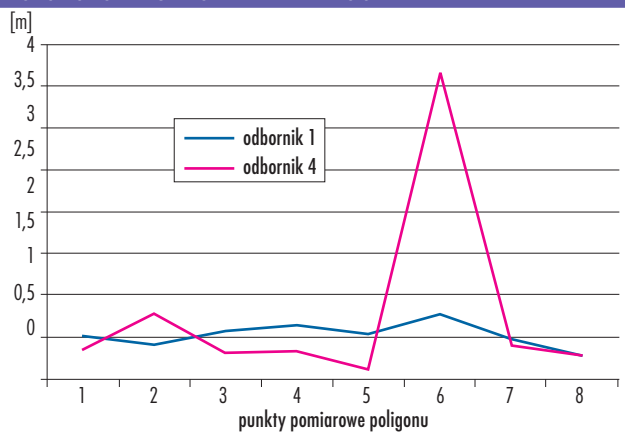
WARTOŚCI BŁĘDU ŚREDNIOKWADRATOWEGO WSPÓŁRZĘDNYCH POZIOMYCH PODCZAS POMIARU BEZ POPRAWEK



WARTOŚCI BŁĘDU ŚREDNIOKWADRATOWEGO WSPÓŁRZĘDNYCH POZIOMYCH PODCZAS POMIARU Z POPRAWKAMI KODGIS



WARTOŚCI BŁĘDU ŚREDNIOKWADRATOWEGO WSPÓŁRZĘDNYCH POZIOMYCH PODCZAS POMIARU Z POPRAWKAMI NAWGIS



punktów poligonu (działki) zostały pomierzone dwiema metodami: klasycznie przy wykorzystaniu tachimetru Topcon GTS 105-N (dokładności pomiaru kąta $\pm 15''$, kierunku $\pm 10''$; odległości $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ mm/km}$) oraz metodą statyczną GPS odbiornikami Trimble SPS 881 i SPS 851 z anteną Zephyr Geodetic Model 2 (fot. na s. 11). Sesja obserwacyjna dla pomiarów GPS trwała minimum 40 minut dla każdego z punktów przy piętnastosekundowym interwale zapisu danych. Proces wyznaczenia współrzędnych z obserwacji satelitarnych przeprowadzono w programie Trimble Geomatic Office, wykorzystując stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS (BOGI, NODW, WAT1, SOCH). Współrzędne wyznaczone z pomiaru statycznego GPS przyjęto jako referencyjne dla pomiarów odbiornikami klasy GIS (tabela na poprzedniej stronie). Współrzędne elipsoidalne przetransformowano do układu 2000 za pomocą programu TRANSPOL. Powierzchnie obliczono metodą współrzędnych prostokątnych w środowisku SCILAB.

Sesja pomiarowa z wykorzystaniem siedmiu różnych odbiorników GPS obejmowała pomiar współrzędnych horyzontalnych poligonu w następujących trybach:

- autonomicznym (bez dodatkowych danych udokładniających pomiar, na podstawie bezpośredniego pomiaru kodu C/A),

- z poprawkami serwisu NAWGIS, NAWGEO, KODGIS z sieci ASG-EUPOS,

- postprocessingu – wyznaczenie poprzez oprogramowanie biurowe.

Wyniki pomiarów przeprowadzonych na poligonie testowym z wykorzystaniem różnych odbiorników, technik i serwisów ASG-EUPOS wskazują na możliwość występowania znaczących błędów w określeniu dwuwymiarowej pozycji (patrz wykresy obok). Taki stan rze-

czy w większości zastosowań jest niedopuszczalny, choć, niestety, rzadko dostrzegany i poprawnie interpretowany. Dodajmy, że – poza wieloma negatywnymi czynnikami związanymi z samym procesem pomiaru GNSS/DGNSS – wpływ na dokładność wyznaczenia pola powierzchni mają również wielkość i kształt mierzonego obszaru. Jest to jednak zagadnienie doskonale znane wszystkim geodetom.

● UREGULOWANIA NORMATYWNE

Zagadnienie rzetelności pomiarów satelitarnych w czasie rzeczywistym jest na tyle istotne, że w 2007 roku Komisja Techniczna ISO/TC 172/ SC6 opublikowała najnowszą wersję standardów dotyczących procedur testowania instrumentów geodezyjnych ISO 17123, w tym techniki GNSS RTK 17123-8. Celem przeprowadzenia pomiarów (bazujących na ściśle sprecyzowanych wartościach testów statystycznych) jest określenie rzeczywistej dokładności różnych zestawów GNSS w odmiennych warunkach środowiskowych z uwzględnieniem wpływu krótko- i długoterminowych czynników zewnętrznych.

Normy precyzują dwa typy procedur testowych: uproszczoną (*Simplified test procedure*) i pełną (*Full test procedure*). Obydwie opierają się na zastabilizowanych w terenie dwóch punktach odbiornika ruchomego (w odległości od siebie minimum 2 m i nieprzekraczającej 20 m) i jednego bazowego. Odległości (w trójwymiarowej przestrzeni) pomiędzy punktami odbiornika ruchomego powinny zostać określone z dokładnością poniżej 3 mm. Zakładana dokładność pomiaru wysokości anteny i centrowania nad punktem wynosi 1 mm. Ponadto wymagane jest, aby kolejne obserwacje (minimum 5) na „punktach ruchomych” trwały przynajmniej

5 minut i były powtórzone po co najmniej 90 minutach. Takie podejście ma zagwarantować obecność w końcowym wyniku czynników powodujących obniżenie dokładności pomiaru (konstelacja satelitów, warunki topograficzne i atmosferyczne, efekty wielodrożności, dokładność nominalna odbiornika, poprawność funkcjonowania serwisu dostarczającego poprawki).

Celem uproszczonej procedury testowej jest określenie dokładności testowanego rozwiązania RTK. W tym przypadku, z racji niewielkiej ilości danych pomiarowych, testy statystyczne nie są wykorzystywane. Scenariusz uproszczony wymaga przeprowadzenia jednej serii pomiarowej, w której użytkownik wykonuje przynajmniej pięć pomiarów na dwóch punktach odbiornika ruchomego. Poszczególne pomiary są porównywane z wartościami nominalnymi. W tym scenariuszu pomiarowym podstawowym kryterium jest określone przez warunek:

$$\begin{cases} \varepsilon_{D_{ij}} \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_{xy}, \\ \varepsilon_{h_{ij}} \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_h, \end{cases}$$

gdzie:

$\varepsilon_{D_{ij}}, \varepsilon_{h_{ij}}$ – różnice odległości między wartościami pomierzonymi a nominalnymi,

s_{xy}, s_h – odchylenie standardowe podane przez producenta.

Pełna procedura testowa obejmuje realizację powyższego scenariusza z warunkiem trzech niezależnych serii, w których czas rozpoczęcia powinien różnić się o minimum 90 minut. W tym przypadku procedura analizy wyników jest bardziej rozbudowana. Rozszerzona procedura testowa obejmuje ponadto szereg testów statystycznych z wykorzystaniem powyższych wartości odchylenia standardowego:

● Sprawdzenie warunku, czy wartości odchylenia standardowego pomiaru pojedynczego punktu otrzymanego z pomiaru $S_{ISO-GNSST_RTK_{xy}}$ jest



Pomiar punktów poligonu odbiornikami GPS klasy GIS



mniejsza bądź równa wartości odchylenia standardowego σ_{xy} podanego przez producenta.

● Sprawdzenie warunku, czy wartości odchylenia standardowego pomiaru pojedynczego punktu otrzymanego z pomiaru $S_{ISO-GNSST_RTK_h}$ jest mniejsza bądź równa wartości odchylenia standardowego σ_h podanego przez producenta.

● Wylczenie eksperymentalnych wartości odchylenia standardowego $S_{ISO-GNSST_RTK_{xy}}$ i $\tilde{S}_{ISO-GNSST_RTK_{xy}}$ położenia pojedynczego punktu na podstawie dwóch różnych pomiarów z tej samej populacji przy założeniu, że oba pomiary mają tę samą liczbę stopni swobody.

● Wylczenie eksperymentalnych wartości odchylenia standardowego $S_{ISO-GNSST_RTK_h}$ i $\tilde{S}_{ISO-GNSST_RTK_h}$ położenia pojedynczego punktu na podstawie dwóch różnych pomiarów z tej samej populacji przy założeniu, że oba pomiary mają tę samą liczbę stopni swobody.

Spełnienie powyższych rygorów daje pogląd na rzeczywistą dokładność zestawu GNSS RTK i wiarygodność wyników prac terenowych. Jest to istotne nie tylko dla wykonawcy pomiarów, ale przede wszystkim dla świadomych problemów inwestorów. O ile w krajach Unii Europej-

skiej przed przystąpieniem do realizacji prac terenowych jest wymagane udokumentowanie przeprowadzenia takich testów, o tyle w Polsce zagadnienie to jest, niestety, wciąż zaniebywane.

● WNIOSKI

Problem dokładności pomiaru GNSS jest w głównej mierze uzależniony od dokładności zastosowanego zegara w odbiorniku GNSS. Szczególnie mocno problem ten jest widoczny w pomiarach bezwzględnych, nie dotyczy natomiast pomiarów różnicowych (względnych), w których poprawki zegara odbiornika można wyeliminować przez różnicowanie pomiarów. Innym rozwiązaniem, coraz popularniejszym, jest stosowanie efemeryd precyzyjnych i parametrów zegarów satelitarnych z opracowania IGS. Wadami tych rozwiązań są dość skomplikowane procedury obliczeniowe i, nie ukrywamy, drogie odbiorniki. Testowane przez nas jednocześnieściowe modele były najpopularniejsze w swej klasie i są powszechnie stosowane do pomiaru działek rolnych. Nie posiadają one specjalnych rozwiązań poza możliwością współpracy z ASG, dlatego należy uwzględnić fakt, że rozwiązania pomiarowe w postaci odbiorników GPS, tak jak inne urządzenia, po-

winny podlegać co najmniej jednorazowej weryfikacji co do dokładności pomiaru. Sama technologia GNSS nie jest gwarantem, że zastosowane urządzenia pomiarowe wykorzystają w odpowiedni sposób dostarczony sygnał.

Autorzy pragną podziękować za udział w przeprowadzeniu pomiarów testowych następującym firmom: Warszawskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne, INS Sp. z o.o, Impexgeo, TPI

DR HAB. INŻ. MARIUSZ FIGURSKI
(prof. WAT, WIG/CGS),
MGR INŻ. MARCIN SZOŁUCHA
(WIG/CGS),
MGR INŻ. PIOTR MIELNIK
(WEL/Instytut Radioelektroniki),
MGR INŻ. MARCIN
GAŁUSZKIEWICZ
(WIG/CGS doktorant WIG),
MGR INŻ. MACIEJ WRONA
(WIG/CGS)

WIG - Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT
CGS - Centrum Geomatyki Stosowanej
WEL - Wydział Elektroniki WAT

Literatura

1. International Standard ISO 17123-8. Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - PART8: GNSS field measurement system in real time kinematic (RTK);
2. K. Czarnecki, 1996: Geodezja współczesna w zarysie, wyd. Wiedza i Życie;
3. G. Seeber, 2003: Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications, Walter de Gruyter.