



Satelitarny system wyznaczania pozycji  
w geodezji i nawigacji, cz. VI

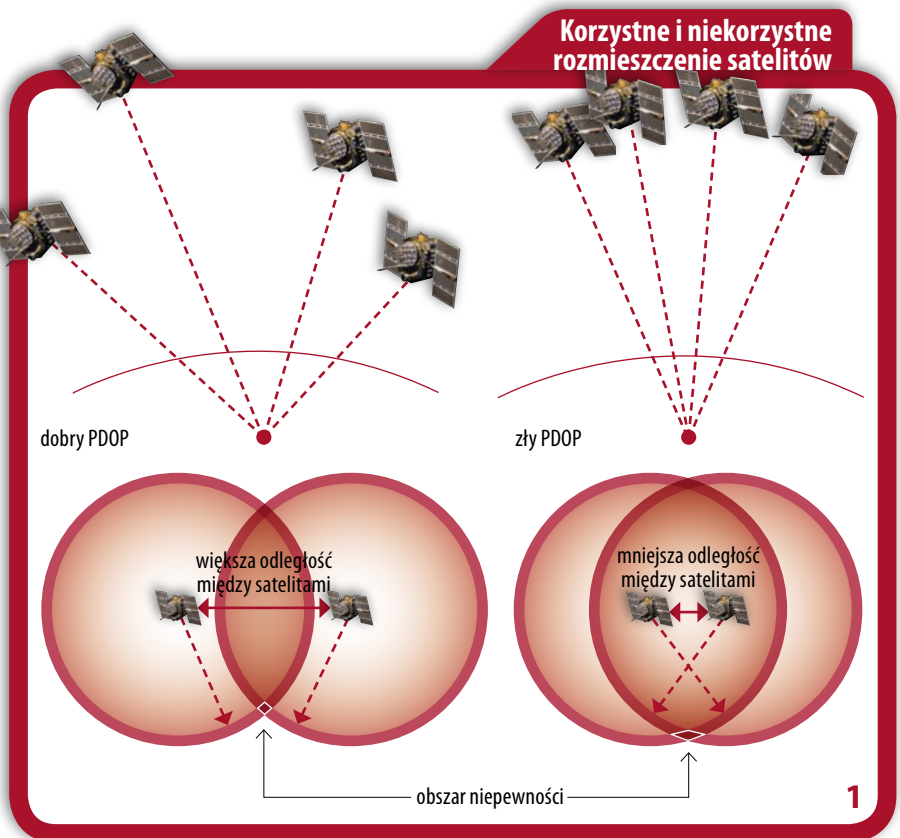
# Błędy geometrii i technologii

JANUSZ ŚLEDZIŃSKI

**W poprzedniej części Alfabetu GPS omówione zostały błędy: systemu, ośrodka i propagacji sygnału oraz aparaturowe, wpływające na dokładność pomiarów GPS. W tym miesiącu przedstawiamy pozostałe błędy towarzyszące tej technice.**

**N**iewłaściwa geometria konstelacji i błędy stosowanych technologii. Określenie położenia z obserwacji GPS opiera się – z geometrycznego punktu widzenia – na procedurze trysferacji i jest geodezyjnym liniowym przestrzennym wcięciem wstecz. Dokładność wyznaczenia współrzędnych anteny tą metodą zależy od rozmieszczenia wykorzystywanych punktów o znanych współrzędnych (satelitów). W przypadku pomiarów GPS tworzone są przestrzenne konstrukcje – ostrosłupy z wierzchołkiem w punkcie, którego współrzędne określamy. Ze względów dokładnościowych korzystniejszy będzie przypadek, gdy satelity rozłożone będą po różnych stronach niebosłonu, bo wówczas kąty przecięcia linii wyznaczających położenie punktu (stanowiska anteny GPS) nie będą zbyt ostre. Rysunek 1 ilustruje dwa przypadki: korzystnego i niekorzystnego rozmieszczenia satelitów wyznaczających położenie stanowiska.

W pomiarach GPS jakość geometrycznej konstelacji satelitów charakteryzuje współczynnik zwany *Dilution of Precision* (DOP). Jego wartość można policzyć na podstawie macierzy współczynników układu równań obserwacyjnych. Używa się kilku rodzajów współczynników DOP:



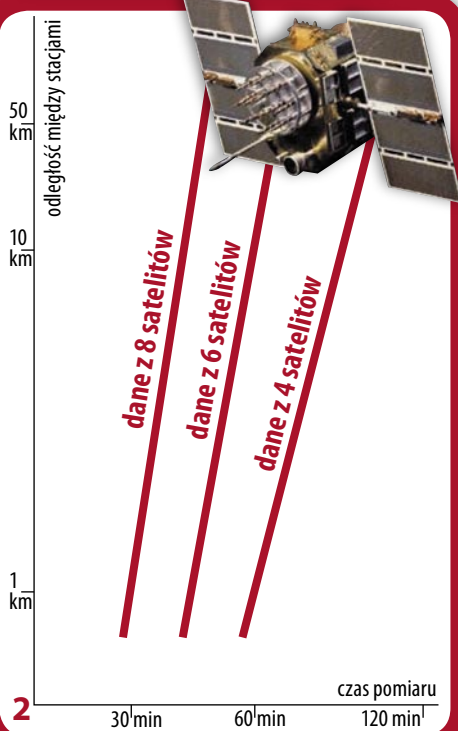
- HDOP – dla wyznaczenia współrzędnych horyzontalnych,
- VDOP – dla wyznaczenia współrzędnej pionowej,
- PDOP – dla wyznaczenia współrzędnych przestrzennych (3D),
- TDOP – dla wyznaczenia czasu.

Interpretacją geometryczną współczynnika PDOP jest odwrotność objętości V ostrosłupa utworzonego przez wyznaczone stanowisko i cztery satelity wykorzystywane do obliczeń. Im objętość ostrosłupa jest większa, tym współczynnik PDOP mniejszy i korzystniejsza konfiguracja geometrii satelitów. Przyjmuje się, że jeśli PDOP wynosi 1-3, to

warunki do obserwacji są bardzo dobre, gdy 4-5 – dobre, gdy 6 – słabe (ale dostateczne), natomiast nie należy wykonywać obserwacji, gdy PDOP przekroczy 6. Wartość współczynnika charakteryzującego w danej chwili geometrię konstelacji satelitów można odczytać z odbiornika satelitarnego GPS.

Oprócz konstelacji satelitów na wyniki pomiaru mogą wpływać błędy stosowanych technologii. Każda z metod pomiarów GPS (omówionych w NAWI 3/2005) wymaga przestrzegania ustalonych procedur, a niedokładne ich wypełnianie może spowodować błędy. Na przykład technologia statyczna wyma-

## Orientacyjny czas trwania sesji pomiarowej GPS



Źródło: wg J. Van Sickle, „GPS for Land Surveyors”, Ann Arbor Press, Inc.

styczną (*fast/rapid static*) przy określonej liczbie obserwowanych satelitów. W każdym przypadku powinno być to przedmiotem analizy. Duże znaczenie ma tu doświadczenie wykonującego obserwacje.

**O**wplywie poszczególnych rodzajów błędów na pomiar GPS. Wiele podręczników omawiających pomiary GPS podaje szacunkowe wartości poszczególnych błędów składających się na końcowy błąd mierzonej odległości Ziemia-satelita. W tabelce poniżej pokazano błędy, z jakimi możemy się liczyć przy pomiarze odległości do satelity wykonywanym jednym odbiornikiem (*single point positioning*). Technologie pomiarów względnych (różnicowych) większość z tych błędów w znacznym stopniu eliminują. Rysunek 3 przedstawia orientacyjne dokładności, jakie można osiągnąć, stosując pomiary absolutne i różnicowe, kodowe i fazowe.

### Błędy przy pomiarze jedynym odbiornikiem

Źródło	Wielkość
<b>Błędy systemu</b>	
błędy orbity	1-2 m
błędy zegara	1-2 m
<b>Wpływ ośrodka</b>	
wpływ jonosfery (2 częstotliwości)	cm-dm
model jonosfery („dobry”)	1-2 m
model jonosfery („średnio dobry”)	5-10 m
model jonosfery („niezbyt dobry”)	10-50 m
wpływ troposfery (model)	dm
wielodrożność	1-2 m
<b>Wpływy instrumentalne</b>	
szum odbiornika	0,2-1 m
opóźnienia w odbiorniku	dm-m
błąd centrum fazowego anteny	mm-cm

Źródło: G. Seeber, „Satellite Geodesy”, 2nd edition, de Gruyter 2003

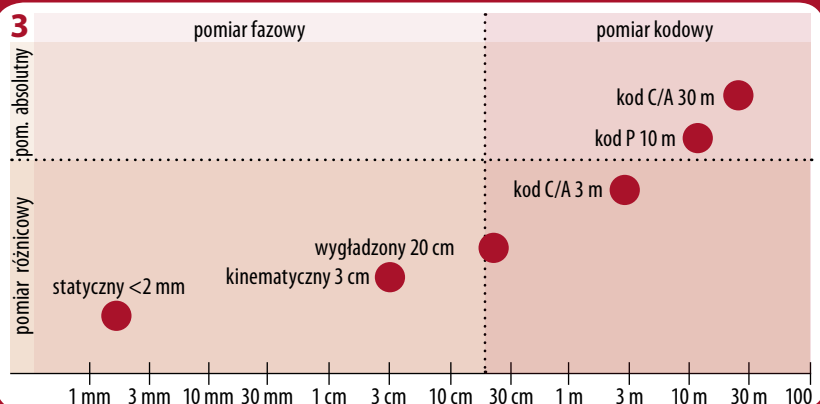
Z punktu widzenia użytkownika systemu na dokładność wyznaczania pozycji z pomiarów GPS wpływają przede wszystkim:

- odległość między mierzonymi punktami,
- długość obserwacji,
- stosowana technologia pomiarów,
- jakość geometrii konstelacji satelitów,
- właściwe instrumentarium (odbiorniki jedno- czy dwuczęstotliwościowe, anteny wysokiej jakości itp.),
- harmonogram i strategia wykonywania obserwacji.

Jakie dokładności można obecnie osiągnąć z pomiarów GPS? Najwyższa precyzja niezbędna jest do globalnych i regionalnych badań geodynamicznych oraz do zakładania kontynentalnych i podstawowych krajowych sieci geodezyjnych. Wykorzystanie dwuczęstotliwościowych odbiorników satelitarnych i zaawansowanej techniki poprawiania orbit pozwala już osiągnąć dokładności 0,1 ppm (1 mm na 10 km). W niedalekiej przyszłości – przy zastosowaniu specjalnych procedur obserwacji, zaawansowanej techniki modelowania orbit i zaawansowanych programów obliczeniowych – będzie możliwe osiągnięcie o rząd większej dokładności, tj. 0,01 ppm (1 mm na 100 km). Będzie ją można uzyskać przede wszystkim pomiędzy stacjami GPS pracującymi permanentnie. Jest ich obecnie na świecie kilkaset, z czego najwięcej zainstalowano w Europie.

PROF. JANUSZ ŚLEDZIŃSKI  
JEST PRACOWNIKIEM NAUKOWYM  
INSTYTUTU GEODEZJI WYŻSZEJ  
I ASTRONOMII GEODEZYJNEJ  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

### Orientacyjne dokładności



ga wykonywania obserwacji przez określony czas, zależny m.in. od odległości między mierzonymi punktami. Zbyt duże odległości pomiędzy stacjami mogą wprowadzić błędy spowodowane niedokładną eliminacją wpływu refrakcji jonosferycznej i troposferycznej. Na rysunku 2 przedstawiono zależność długości sesji pomiarowej od liczby obserwowanych satelitów dla różnych odległości między punktami.

Podobnie jest również w przypadku innych metod, np. źródłem błędów mogą być zbyt krótkie obserwacje na stanowisku mierzonym technologią szybką