

Spojrzenie na ASG-EUPOS od strony użytkownika serwisu POZGEO, cz. I

DRUGA STRONA MEDALU

Mamy wreszcie nową jakość w pomiarach geodezyjnych, którą tworzy uruchomiony w połowie 2008 roku system ASG-EUPOS. Na początku 2001 roku, w ramach przygotowań do prac nad ASG-PL, odbyła się w GUGiK burzliwa narada, na której omawiano studium wykonalności systemu. Z racji ograniczonych środków pierwotnie zdecydowano się na wykonanie systemu określonego jako „płotka, nie łosos”. Teraz mamy już tego „łososia”.

RYSZARD PAŻUS

Po ponad półrocznym okresie funkcjonowania pora ocenić ASG-EUPOS z pozycji użytkownika. I mam na myśli nie tylko geodetów wykonujących pomiary, ale również pracowników ODGiK-ów przyjmujących dokumentację do zasobu. Sytuacja jest trudna, bo standardów technicznych w tej materii brak, czyli obowiązują ogólne, dotychczasowe. Przygotowany ponad rok temu projekt wytycznych technicznych (G-1.12) nie jest oczywiście standardem technicznym (instrukcją techniczną), a jedynie wskazówką dla wykonawców, na dodatek ciągle w fazie projektu. Nie ułatwia to pracy ODGiK-om przyjmującym operaty z pomiarami z ASG-EUPOS. Ale w części sprzętowej (hardware) i operacyjnej (processing) system jest prawie kompletny.

Sporo zostało jednak do zrobienia, aby procedury systemu był czytelne i przejrzyste dla każdego użytkownika, a użytkownikami są nie tylko geodeci. Duża w tym rola zespołu ASG-EUPOS. Do tej pory strona internetowa systemu nie zawiera podstawowych informacji dotyczących raportu POZGEO:

- interpretacji otrzymanej dokładności poziomej,
- interpretacji załączanych diagramów wpływów refrakcji,
- wyjaśnienia niedokładności obliczeń transformacji współrzędnych na układ 1965 (a jest to rezultat nieuwzględniania znaczenia dokładności lokalnej),
- opisu modelu geoidy niwelacyjnej (quasigeoidy) – użytkownik korzystający

z serwisu POZGEO D nie ma możliwości wykonania postprocessingu z użyciem modelu zastosowanego w systemie,

- oceny dokładności otrzymanych wysokości (zwłaszcza, czy można je przyjmować jako nawiązanie osnowy wysokościowej, a jeżeli tak, to dla jakich zastosowań praktycznych).

Na tej liście nie umieściłem pozycji najważniejszej. Jest to problem integracji dotychczasowych osnów geodezyjnych z punktami zakładanymi poprzez ASG-EUPOS. Ale o tym będzie w kolejnych częściach artykułu.

● ZWYKŁE POMIARY ODLEGŁOŚCI

W prawie wszystkich krajowych publikacjach książkowych dotyczących GNSS (globalnych systemów nawigacji satelitarnej) zastanawia wyjątkowo zagmatwany sposób przedstawiania zasad pomiaru geodezyjnego. Zwykle prezentuje się je jako coś całkowicie odrębnego od dotychczas stosowanych metod, a przecież to nic innego, jak kontynuacja znanych nam sposobów pomiaru odległości. Geodezyjny odbiornik satelitarny jest po prostu dalmierzem nowej generacji, a pomiary nim wykonywane są podobne do trilateracji. Mówiąc bardziej precyzyjnie, jest to multiferacja, bo pomiar jest przestrzenny [1], nie w pobliżu powierzchni odniesienia, jak to ma miejsce w trilateracji. Punktami nawiązania są anteny satelitów w znacznej odległości od odbiornika. Dla GPS najkrótsze odległości w zenicie punktu obserwacji to około 20 200 km. Dokładny pomiar tak dużych długości jest możliwy dzięki precyzyjnym zegarom atomowym na

satelitach (dla odbiornika zadowalająca jest stabilność częstotliwości 1 Hz rzędu kilku nanosekund). Punkty nawiązania, uznawane za stałe w danym momencie obserwacji, przemieszczają się po orbitach, tak że można wykonywać cały ciąg pomiarów w ustalonych interwałach czasu. Fakt, że są w takim dalmierzu dwa zegary wymagające synchronizacji (drugi na satelicie), ma kapitalne znaczenie, bo sprawia, że odbiornik jest instrumentem pasywnym, tzn. jedynie odbierającym sygnały, w przeciwieństwie do klasycznego dalmierza. Ciekawostką jest, że dwa satelity GPS (SVN 36 = PRN 06 i SVN 37 = PRN 07) posiadają też lustra do pomiaru odległości dalmierzem laserowym. Pasywność odbiornika ma jeszcze jedną zaletę – w tym samym czasie tysiące użytkowników mogą wykonywać wzajemnie niezakłócające się pomiary. Ważnym warunkiem takiego pomiaru jest potrzeba otwartego widnokręgu w miejscu obserwacji, ale za to bez widoczności naziemnych punktów sąsiednich.

● W STRONĘ POMIARÓW GEODEZYJNYCH

Powyższy krótki opis dotyczy wyznaczenia pozycji odbiornika, która nie ma znaczenia geodezyjnego – do tego są potrzebne pomiary różnicowe, wykonane co najmniej dwoma odbiornikami, bo przy kombinacji operacji obliczeniowych różnic faz otrzymamy znacznie dokładniejsze wektory między punktami wyznaczanymi. A błędów do usunięcia jest sporo, żeby wymienić tylko hasłowo błędy: orbity, zegarów satelitów, zegara odbiornika (oscylatora), jonosfery, troposfery, wielotorowości fali, szumu fali nośnej, centrum fazowego anteny, nieusuniętych cykli utraconych (*cycle slips*). O niektórych z nich w dalszej części artykułu, wszystkie omówione są w publikacjach książkowych, np. [1], [5], [14], [15].

Siłą rzeczy tutaj skupimy się na kilku najważniejszych elementach. Coraz większe szybkości procesorów odbiornika pozwalają na rozwijanie różnych metod pomiarów, np. kinematycznych. Pomysłowość w tym zakresie jest imponująca i ciągle rejestrujemy nowe, coraz sprawniejsze metody opracowywania obserwacji GNSS. Z wielu metod pomiarowych wykorzystywanych w geodezji (np. statyczna, szybka statyczna, kinematyczna, pseudokinematyczna i on-the-fly), najbardziej interesujące są – zastosowane w ASG-EUPOS – statyczna i kinematyczna. Tutaj zajmiemy się tylko statyczną, jako typową dla pomiaru geodezyjnego. W metodzie kinematycznej tylko inicjalizacja ma charakter geodezyjny, dalszy pomiar jest już typowo GIS-owy – otrzymywane dokładności są wysokie pod warunkiem odpowiedniej kalibracji pomiarów do punktów dostosowania. Wadą metody kinematycznej jest niedostępność do bezpośredniego pomiaru punktów zaliczanych do pierwszej klasy dokładności według obowiązujących standardów technicznych.

● SPECYFIKA WYZNACZEŃ GPS

Poza niezbędnymi wymaganiami pomiarów geodezyjnych (co najmniej dwa odbiorniki, cztery i więcej satelitów, możliwie najbardziej otwarty widnokrąg) należy brać pod uwagę znacznie więcej specyficznych czynników wpływających na dokładność wyników. Pomocny w ich zrozumieniu będzie poniższy skrócony opis.

● **Opracowanie pomiarów przy użyciu systemów GNSS wymaga operowania ogromną ilością danych.** Dla przykładu: jednogodzinna sesja pomiarowa z jednosekundową rejestracją od jednego satelity to blisko 0,15 MB danych (zwykle rejestruje się więcej, na potrzeby oceny jakości). Przyjmując 6 satelitów, minimum cztery punkty (odbiorniki) i 3600 epok, dostajemy 86 400 pomiarów fazy do post-processingu. Dla porządku wymagana jest więc jakaś logiczna struktura identyfikacji plików (ich nazw) i oczywiście zabezpieczenie tych plików odpowiednią formą kopiowania (*back-up*). Limitowana pojemność pamięci odbiornika wymaga zwalniania miejsca na nowe obserwacje. Te spore ilości surowych danych (*raw data*) są zwykle rejestrowane w formie binarnej, specyficznej dla pro-

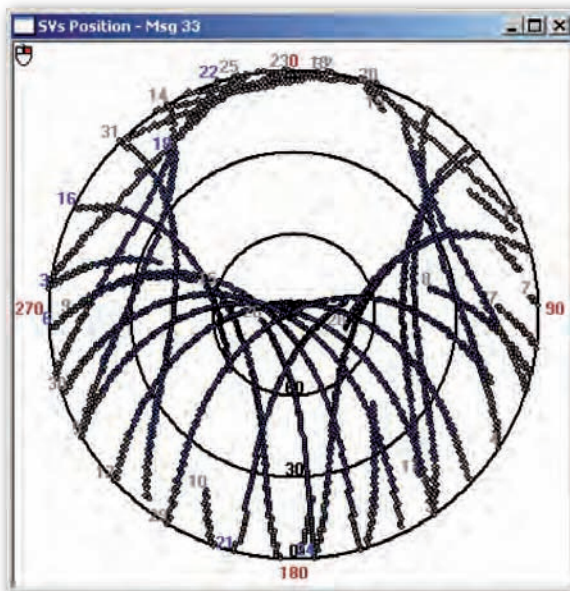


Diagram obserwacji dla Warszawy ($\varphi=52^{\circ}15'$)

ducenta, bo wtedy zajmują mniej miejsca. Najczęściej wydzielą się pliki o określonym przeznaczeniu, np. obserwacje, czyli pomiary fazowe i pseudoodległości do satelity; efemerydy pokładowe satelity, czyli otrzymane z odbioru (*broadcast*), nazywane nawigacyjnymi; pliki z danymi meteorologicznymi czy dane o stanie jonosfery.

● **Wyniki pomiarów geodezyjnych muszą podlegać kontroli jakości przez wykonawcę.** W pomiarach statycznych ta kontrola jest prosta – już ocena wielkości błędu położenia punktu z raportu serwisu POZGEO lub własnego post-processingu (jeżeli wykorzystuje się dane z serwisu POZGEO D) daje wystarczającą informację o jakości wyznaczenia. Jeżeli nasze pomiary są też nawiązywane do istniejących punktów osnowy, to mamy od razu kontrolę poprzez porównanie zgodności. A jeżeli tych punktów w sąsiedztwie nie ma, to wystarczy pomiar kontrolny tachimetrem elektronicznym między sąsiednimi punktami.

Pomiar z wykorzystaniem serwisu POZGEO jest specyficzny. Wyznaczamy nie tyle sieć, co zbiór pojedynczych punktów w nawiązaniu do odległych stacji referencyjnych, bez jakiegokolwiek powiązania z istniejącymi na obiekcie punktami osnowy. Dokładności i procedury obliczeniowe muszą więc gwarantować spójność z punktami wyznaczanymi pomiarami naziemnymi. Jest oczywiste, że takim modułowym wyznaczaniem położenia punktów nie możemy zakładać osnow geodezyjnych obecnie zaliczanych do I i II klasy (poziomych), w których wymagane są obserwacje do

najbliższych punktów sieci. Dyskusyjne jest nawet wyznaczenie osnow III klasy.

Ale dla osnowy pomiarowej, która jest naszym głównym celem, takie modułowe wyznaczenie jest całkowicie wystarczające. Gdyby traktować te moduły jako zbiór tworzący sieć geodezyjną, to od razu widać, że jest to sieć wyjątkowo „dziurawa”, bo brakuje w niej najważniejszych powiązań, czyli między naszymi najbliższymi punktami. Czyli to, co było najważniejszymi obserwacjami w dotychczas zakładanych sieciach, zostaje zdegradowane jedynie do elementów kontrolnych. Nie pozostaje nam nic innego, jak taką niedogodność zaakceptować, ze świadomością, że jest to procedura uproszczona wyznaczenia

położenia. Nie oznacza to jednak, że możemy szaleć dowolnie i ignorować określone standardowo zasady postępowania, zwłaszcza te istotne, dotyczące dokładności lokalnej.

● **W pomiarach statycznych problemem jest rozwiązanie nieoznaczoności liczby pełnych długości fali pseudoodległości (*cycle ambiguity problem*).** „Końcówka” wartości pseudoodległości do satelity jest znana już po kilkunastu epokach pomiaru. Rezultat ten to przesunięcie fazowe, wynikające z porównania sygnału kodowanego, otrzymanego z satelity, z jego repliką w odbiorniku. Jednak do wyznaczenia liczby pełnych długości fali potrzebna jest dalsza rejestracja pomiaru. Jeżeli mamy już ten problem rozwiązany i bez utraty łączności z satelitami zaczniemy przemieszczać odbiornik, dochodzimy do metody kinematycznej. Krótkie zatrzymanie na poszczególnych punktach pozwala na pełnowartościowy pomiar, bo stale wykorzystujemy to pierwotne rozwiązanie liczby długości fal naszej pseudoodległości. Ciągła rejestracja zmiany fazy pozwala bowiem na zmianę liczby pełnych cykli fazowych obliczonych na starcie. Dla częstotliwości L1 GPS liczba ta wynosi ponad 106 milionów jednostek.

● WSKAŹNIKI DOKŁADNOŚCI

Skoro przyrównaliśmy nasz geodezyjny odbiornik satelitarny do dalmierza, wypada w tym miejscu od razu omówić wymagania konstrukcji geometrycznej, jakie muszą być spełnione, aby pomiar dawał dobre rezultaty. Wiemy, że poprawne wcięcie liniowe dalmierzem

wymaga minimum trzech punktów nawiązania równomiernie rozłożonych wokół horyzontu (kąty między kierunkami zbliżone do 120°, odległości najlepiej nie zróżnicowane). Podobnie jest w przypadku naszego dalmierza satelitarnego. Najlepsze wyniki otrzymujemy, jeżeli położenie wymaganej minimalnej liczby czterech satelitów (punktów nawiązania) będzie podobne, przy czym jeden z nich powinien być w okolicach zenitu naszego miejsca obserwacji. Oczywiście, im więcej obserwowanych satelitów, tym rezultat lepszy. Dla łatwej oceny wymyślono wskaźnik DOP (*dilation of precision*), będący informacją o jakości geometrycznej konstrukcji takiego przestrzennego wcięcia liniowego. Dosłownie oznacza to rozwodnienie (rozpuszczenie) dokładności, a zasada obliczania wywodzi się z obliczania objętości bryły, jaką tworzą położenia satelitów i odbiornika. Znajomość konfiguracji satelitów w określonym momencie pozwala na zgrubną ocenę spodziewanych dokładności naszego pomiaru. Najlepiej, jeżeli wskaźnik jest zbliżony do jedności. Wysoki wskaźnik – rzędu 5 czy 6 jednostek (np. DOP = 5,7) – oznacza gorsze wyniki.

Do oceny nie są wymagane wyniki pomiaru, bo wskaźnik jest obliczany z geometrii położenia satelitów i przybliżonego miejsca obserwacji. Poza wartością a priori, wskaźnik jest zwykle obliczany przez oprogramowanie odbiornika (*firmware*) dla każdej epoki pomiarowej, czyli z uwzględnieniem stanu faktycznego w momencie pomiaru. Wśród kilku tego typu wskaźników najbardziej interesujące są dwa: HDOP – horyzontalny (czyli dotyczący dokładności współrzędnych poziomych, a więc B, L oraz x, y w układach 2000, 1992 i 1965) oraz wysokościowy VDOP (wskazujący na dokładność określenia wysokości). Należy tu jednak podkreślić, że ocena ta jest przybliżona, bo nie uwzględnia np. straty dokładności przy obserwacji satelitów nisko nad horyzontem, wynikającej z większych błędów refrakcyjnych, jonosferycznych i troposferycznych. Ale dla zgrubnej oceny wskaźnik ten jest bardzo pomocny do przewidywania dokładności nie tylko w pomiarach geodezyjnych, ale również w nawigacji satelitarnej.

I jeszcze jedna ważna informacja dotycząca konstrukcji geometrycznej pomiaru naszym dalmierzem satelitarnym. Wynika ona z nachylenia orbit satelitów GPS, ale dotyczy i pozostałych systemów satelitarnych (GLONASS, Galileo). Nachylenie orbit powoduje, że w Polsce ma-

my na nieboskłonnie obszar martwy, tzn. bez satelitów, który dość znacznie obniża możliwość otrzymywania dobrej geometrii, zwłaszcza w miejscach z przeszkodami terenowymi. Przykładem może być przedstawiony na poprzedniej stronie diagram obserwacji dla Warszawy ($\varphi = 52^{\circ}15'$).

Widać z niego wyraźnie, jak ważna jest otwartość sektora północno-wschodniego i północno-zachodniego, czyli sektorów o azymutach 45-90° i 270-315° oraz otwartość na południe. I oczywiście wniosek dodatkowy: w sektorze 315-45° przeszkody terenowe nie przeszkadzają w odbiorze sygnałów z satelitów. Wypada tu jeszcze dodać, że problem ten nie występuje w krajach o niższych szerokościach geograficznych. Ta uwaga, na pozór banalna, jest istotna, kiedy czytamy o parametrach dokładności odbiorników w firmowych reklamach.

Dokładności geodezyjne można uzyskiwać wyłącznie poprzez pomiary różnicowe, tzn. przy minimum dwóch odbiornikach obserwujących jednocześnie, bo wtedy redukujemy wpływy różnych błędów do poziomu centymetrowego (w nawigacji np. samochodowej, bez metody różnicowej, osiągniemy co najwyżej kilka metrów). W zasadzie dopiero tutaj zaczyna się wcześniej opisana geodezyjna trilateracja i od tego etapu możemy mówić o pomiarach geodezyjnych. A w serwisie POZGEO systemu ASG-EUPOS mamy pełną analogię do liniowego wcięcia wstecz, którą to metodę znamy z pomiarów osnów geodezyjnych. Na dobrą sprawę obowiązujące standardy techniczne są tutaj w pełni aktualne i nie ma jakiegokolwiek potrzeby wprowadzania innych.

● POMIARY STATYCZNE

Metoda statyczna była pierwszą i do dzisiaj pozostaje główną metodą stosowaną w pomiarach geodezyjnych GPS. Różnicowe pomiary statyczne wymagają zwykle kilku odbiorników (w ASG-EUPOS w tej liczbie są odbiorniki systemu) rejestrujących obserwacje z minimum 4 satelitów i zalecanej 40-minutowej sesji obserwacyjnej. Typowym zastosowaniem tej metody jest wyznaczenie wektorów (długości boków i ich azymutów) pomiędzy tymi odbiornikami, pozwalające na określenie ich współrzędnych w standardzie dokładności 1-2 cm. Upraszczając maksymalnie opis procedur pomiaru statycznego – pewne jego istotne cechy, elementy i uwarunkowania wymagają chociaż skrótowego omówienia, które

na pierwszy rzut oka może wyglądać na niespójne.

- Odległości od punktów mierzonych do punktów referencyjnych są w naszym przypadku co najwyżej kilkudziesięciokilometrowe. Odbiorniki obserwują tę samą konstelację satelitów w danym momencie, nazywanym epoką obserwacji, przy czym między obserwacjami kolejnymi ustala się stały interwał, zwykle 1 s, 5 s, 10 s itd. Odległości między punktami w porównaniu z odległościami do satelitów są na tyle małe, że błędy wektorów są skorelowane liniowo, co pozwala na uzyskanie wyjątkowo wysokich dokładności. A więc im wektor krótszy, tym pomiar jego dokładniejszy.

- Pierwszym krokiem do przetworzenia danych satelitarnych jest transfer zarejestrowanych przez odbiornik plików do komputera w celu przesłania do postprocessingu przez serwis POZGEO lub do własnego postprocessingu (wtedy z serwisu POZGEO D pobieramy pliki ze stacji referencyjnych ASG-EUPOS). Nie ma potrzeby specjalnie podkreślać, że te surowe dane obserwacyjne wymagają zabezpieczenia w formie dodatkowej kopii przed przypadkowym zniszczeniem lub usunięciem. Praktyczne zastosowanie pomiarów statycznych w ASG-EUPOS to głównie wyznaczanie punktów osnowy pomiarowej dla pomiarów innymi metodami, przeważnie przy użyciu tachimetru elektronicznego, zwłaszcza z bezlustrowym pomiarem odległości.

Wymiana danych pomiarów fazowych odbywa się poprzez protokół RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*). Postprocessing, czyli proces redukcji i opracowania danych GNSS przeprowadza się za pomocą dedykowanego do tego celu oprogramowania. RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) to uniwersalny, niezależny od odbiornika format wymiany danych pomiarów fazowych GNSS dla postprocessingu, utworzony i rozwijany przez Instytut Astronomii w szwajcarskim Bernie (Astronomical Institute of the University of Berne). Przygotowany został w 1989 roku dla unifikacji danych obserwacyjnych ponad 60 odbiorników GPS od 4 różnych producentów (które to odbiorniki brały udział w kampanii obserwacyjnej EUREF-89), a następnie rozwijany i modyfikowany na potrzeby GNSS.

DR RYSZARD PAŹUS

jąko dyrektor Departamentu Geodezji GUGiK był jednym z inicjatorów budowy w Polsce sieci ASG

Literatura wraz z ostatnią częścią cyklu