

Z AzusStar+ osnowa w zasięgu ręki

AzusStar+ to nowsza wersja odbiorników Azus przeznaczonych do wyznaczania położenia punktów geodezyjnej osnowy pomiarowej zestandaryzowanej rozporządzeniem o pomiarach syt.-wys. Zaliczają się one do grupy odbiorników niskokosztowych, ale przy wyborze optymalnej metody pomiaru i techniki obliczeniowej pozwalają na uzyskanie dokładności równoważnej innym odbiornikom.



Ryszard Pazus
Aleksander Mróz
Jacek Saniewski

Wśród metod pomiaru rekomendowanych do stosowania z odbiornikami AzusStar+, w kolejności ich znaczenia, wyróżniamy:

- **Szybką statyczną** (Rapid Static) – z wykorzystaniem punktów wirtualnych VRS generowanych przez serwis POZGEO D lub obliczanych przy użyciu serwisu POZGEO DF. Dokładności uzyskane na wirtualnych stacjach referencyjnych (w pobliżu naszych punktów pomiarowych) nie odbiegają od dokład-

ności pomiaru na fizycznych stacjach referencyjnych aktywnych sieci geodezyjnych wyposażonych w odbiorniki GNSS (rys. 1). Do wyznaczania krótkich wektorów między VRS a naszymi punktami wystarcza pomiar odbiornikami GPS L1 lub GNSS (GPS/GLONASS L1). W wersji GPS, z uwagi na to, że powyżej 10° nad horyzontem dostępnych jest co najwyżej 10 satelitów, zwykle nie wszystkie kanały odbiornika są wykorzystywane. Obliczenia można wykonywać programami: RTKLIB lub komercyjnymi, które dla postprocessingu L1 są bezpłatne, a dla GNSS L1/L2 odpłatne.

- **Półkinematyczną** Stop&Go z wykorzystaniem serwisów ASG-EUPOS (POZGEO D i POZGEO DF).

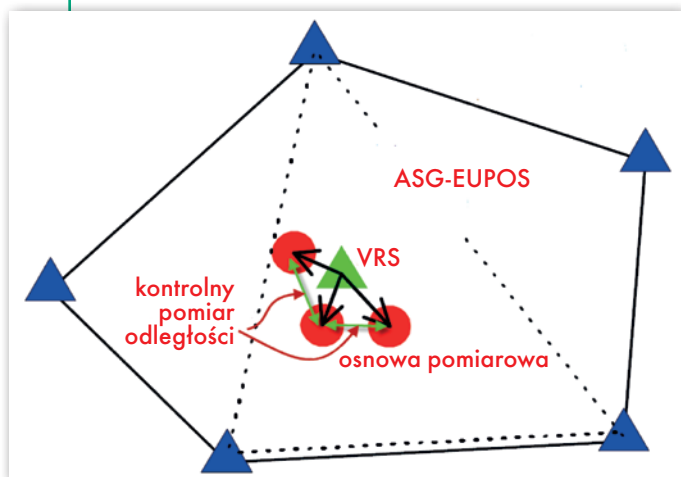
- **RTN** (Real Time Network), czyli pomiar w czasie zbliżonym do rzeczywistego z poprawkami sieciowymi VRS w serwisie ASG-EUPOS NAWGEO (NAWGEO_VRS_3_1, SLASK_VRS_3_1, MAZ_VRS_3_1). Dla każdego mierzonego punktu system tworzy oddzielny wirtualny punkt VRS (RTKLIB → rtknavi.exe).

- **Statyczną** – w nawiązaniu do fizycznych punktów aktywnej sieci geodezyjnej z POZGEO D (ASG-EUPOS).

- **Statyczną** – w nawiązaniu do fizycznych punktów aktywnej sieci geodezyjnej z automatycznym postprocessingiem POZGEO ASG-EUPOS.

• Model geoidy

Wszystkie wymienione metody cechuje pełna ocena dokładności – jest to ocena dokładności położenia punktu VRS generowanego dla pomiarów statycznych. Wyznaczenie krótkiego wektora względem VRS to już tylko milimetrowe błędy średnie, wliczając w to błędy centrowania i pomiaru wysokości anteny (ARP). Są one o rząd lepsze od wymaganych standardem technicznym syt.-wys. w odniesieniu do współrzędnych płaskich x, y oraz B, L (te ostatnie w standardzie podawane jako ϕ, λ). Inaczej wygląda sytuacja z wysokościami. Jak wiadomo, na decyzję GGK w sprawie oficjalnie obowiązującego modelu quasi-geoidy możemy czekać do 1 stycznia 2014 r. (§ 23 rozporządzenia Rady Ministrów z 15 października 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych). Zanim to więc nastąpi, do otrzymania poprawnych wysokości konieczne jest wykonywanie wyłącznie pomiarów różnicowych wysokości elipsoidalnych Δh z uwzględnieniem różnic odstępów geoidy (quasi-geoidy) ΔN . Odejmnowanie odstępu N od wysokości elipsoidalnej (w rozporządzeniu nazwanej geodezyjną) to dość poważny błąd merytoryczno-techniczny. Tak samo jak – zalecana przez niektóre wytyczne – transformacja wysokości zezwalająca na



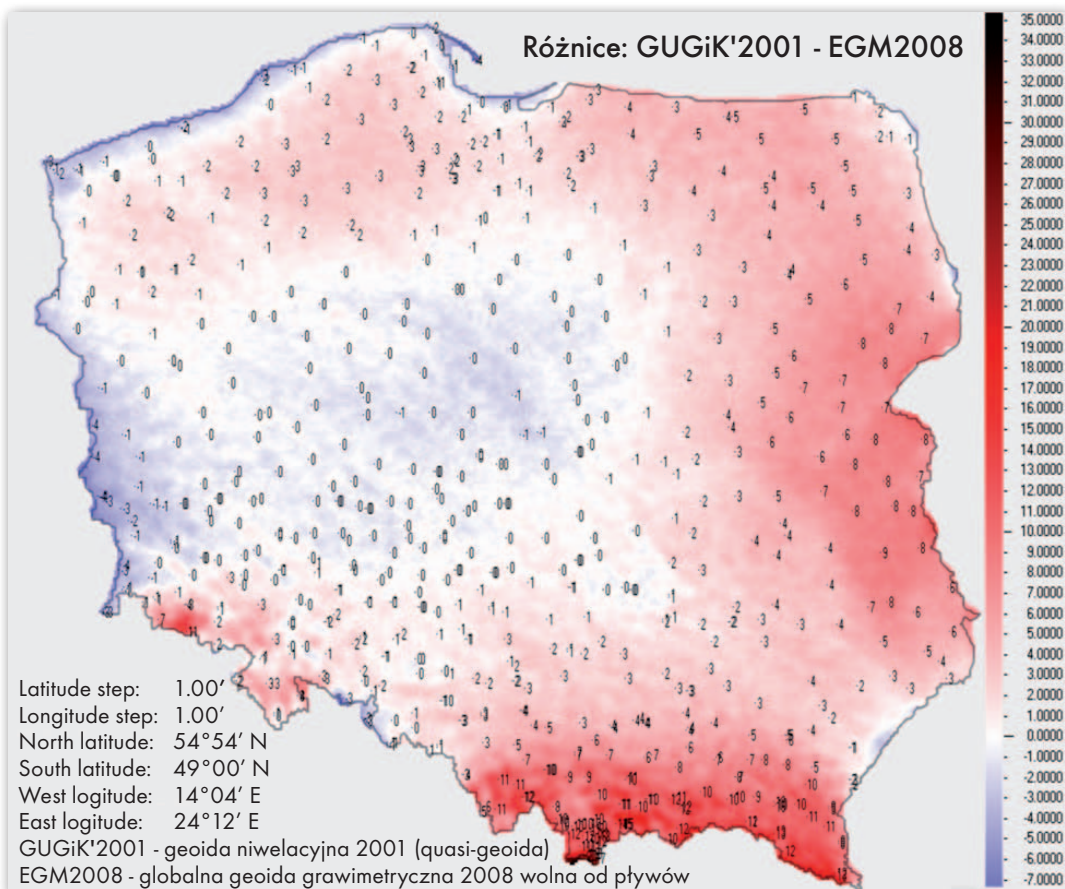
Rys. 1. Osnowa pomiarowa nawiązana do ASG-EUPOS

nachylenie powierzchni, która powinna być jedynie równolegle przesuwana z tej racji, że dotyczy powierzchni ekwipotencjalnej siły ciężkości Ziemi.

W oprogramowaniu do pre-processingu dla odbiorników Azus w nagłówku pliku RINEX umieszczona jest informacja o wielkości N dla modelu geoidy niwelacyjnej 2001. Pozwala to na korygowanie obliczanych wysokości dla pomiarowej osnowy dwufunkcyjnej. W firmowych programach producentów odbiorników geodezyjnych GNSS najczęściej stosowanym modelem geoidy jest EGM2008. Na rys. 2 mamy porównanie tych dwóch modeli w postaci różnic GUGiK'2001-EGM2008. Tu wymagane wyjaśnienie: geoida niwelacyjna 2001 dotyczy tylko i wyłącznie obszaru do granicy państwowej. Występująca zakładka poza granicę nie jest więc istotna dla praktycznego użytkownika (to rezultat niezbędnej ekstrapolacji). Jeśli ograniczymy nasze porównanie do terytorium kraju, to rozpiętość tych różnic ogranicza się do kilkunastu cm: od minus kilku do plus kilkunastu. I to jest zgodne z różnicami, jakie wynikają z przyjęcia wysokości normalnych w GUGiK'2001 i ortometrycznych w EGM2008. Temat ten wykracza poza ramy tego artykułu, ale jest uwzględniony w instrukcji obliczeń (nie wchodzi ona w skład akcesoriów odbiornika). W instrukcji są też opisy postprocessingu wykonywanego programami komercyjnymi. Użytkownik ma do wyboru dyskretną (punktową) powierzchnię geoidy niwelacyjnej 2001 wbudowaną w formaty danych modelu EGM2008.

• Rejestracja sesji pomiarowych w metodzie Stop&Go

Choć odbiornik AzusStar+ został zaprojektowany do pomiarów statycznych, to jest jednak grupa użytkowników zainteresowanych wykorzystaniem go do pomiaru metodą Stop&Go. W takim przypadku zalecane jest umieszczenie odbiornika na tyczce ze stałą wysokością anteny. W celu rejestracji sesji pomiarowych dodano opcję automatycznego za-



Rys. 2. Różnice w cm na punktach sieci: EUVN, POLREF, TATRY i WSSG (pary punktów blisko siebie)

PKT1	GeoDigitalGPS	MARKER NUMBER				
Ryszard Pazus	AZUS Star	OBSERVER / AGENCY				
BHD10080128	L6X010101RN0000	REC # / TYPE / VERS				
0	DF5255A GNSS_L1	ANT # / TYPE				
3656127.0139	1394511.2260	APPROX POSITION XYZ				
0.0910	0.0000	ANTENNA: DELTA H/E/N				
1	0	WAVELENGTH FACT L1/2				
DELTA H z uwzględnieniem ARP = 0.0780						
COMMENT						
COMMENT						
COMMENT						
COMMENT						
COMMENT						
COMMENT						
COMMENT						
COMMENT						
# / TYPES OF OBSERV						
INTERVAL						
TIME OF FIRST OBS						
TIME OF LAST OBS						
END OF HEADER						
N = 31.419m Geoida niwelacyjna'2001 [GUGiK,2001] N = 31.405m Geoida niwelacyjna [EGM,2008]						
UWAGA: Inne wielkości N w raporcie POZGEO						
4	C1	L1	D1	S1		
5.000						
2013	02	18	17	41	00.0000000	GPS
2013	02	18	18	56	00.0000000	GPS
13	02	18	17	41	0.0000000	0 4G05G09G26G17
226291	Układ 1965 strefa 2					
	X: 5722581.485 Y: 4560443.890					
	mx: 0.030 my: 0.030 mp: 0.043					
	Układ UTM strefa 35					
	X: 5788881.192 Y: 4491652.909					
	mx: 0.002 my: 0.002 mp: 0.003					
	WYZNACZONE WYSOKOŚCI PUNKTU:					
	Wysokość elipsoidalna: 143.258 mh: 0.014					
	Anomalia wysokości : 31.380					
	Kronszadt 86 : 111.879 mH: 0.021					

Rys. 3. W nagłówku RINEX danych z odbiornika AzusStar jest podawana informacja na temat różnic dwóch modeli geoidy: GUGiK'2001 oraz EGM2008

znaczenia początku i końca pomiaru kolejnych punktów. Poszczególne pomiary będą rejestrowane w wygenerowanym pliku RINEX jako zdarzenia (=EVENT) o numerach kolejnych (\$EVENT,ON,0,... \$EVENT,OFF,0,... \$EVENT,ON,1... \$EVENT,OFF,1,... itd.). Zaznaczone w pamięci momenty początku i końca pomiarów na poszczególnych punktach mierzonych metodą Stop&Go (półkinematyczną) są przenoszone do pliku RINEX programem do preprocessingu (Azus.exe). Momenty te markuje się poprzez przyciśnięcie (krótko, bez przytrzymywania) przycisków zielonego (początek pomiaru na punkcie) i czerwonego (koniec pomiaru na punkcie). Procedura pomiarowa w metodzie Stop&Go (półkinematycznej) przedstawia się następująco:

- Na punkcie początkowym wykonujemy pomiar jak dla metody szybkiej statycznej, czyli kilkunastominutowy dla PDOP < 2,0 lub dłuższy, jeśli mamy na punkcie jakieś przeszkody terenowe.

- Koniec pomiaru na punkcie początkowym zaznaczamy przyciskiem czerwonym i, nie wyłączając zasilania, przechodzimy na punkt następny. Ważne jest, aby w czasie przejścia antena odbiornika nieprzerwanie „widziała” kilka satelitów.

- Po ustawieniu centrycznym na punkcie pomiarowym rozpoczynamy pomiar przyciskiem zielonym. Wymaga to krótkiej około 1-minutowej sesji (jeśli mamy przeszkody terenowe w pobliżu, to dobrze jest taką sesję trochę wydłużyć). Koniec sesji zaznaczamy przyciskiem czerwonym i przechodzimy na punkt następny.

- Po wykonaniu pomiarów na wszystkich punktach wracamy na punkt początkowy, na którym wykonujemy pomiar zamykający pełną sesję metody Stop&Go, też minutowy, jak na punktach pośrednich.

Mamy tu kinematyczną metodę pomiaru bez rezultatów w czasie rzeczywistym. O poprawności naszej sesji pomiarowej będzie decydować porównanie rezultatów, jakie otrzymamy w post-processingu z powtórnego, końcowego pomiaru na punkcie początkowym. A o jakości pomiaru naszych punktów pośrednich decydują dwa kryteria: otrzymanie rozwiązania jednoznacznego (*fixed*) wektora: baza (VRS) → *rover* (punkt wyznaczany) i w rezultacie błędu średniego położenia tego punktu względem VRS rzędu co najwyżej kilku milimetrów. Czyli jeśli po kilku czy kilkunastu punktach pojawi się punkt z rozwiązaniem *fixed*, ale z błędem średnim np. kilku cm, to nie przyjmujemy go jako poprawnie wyznaczonego. Taki przypadek nie rzutuje na inne punkty,

np. pomierzone po nim, spełniające dwa wymienione kryteria. Jak widać, metoda ta jest podobna do zakładania klasycznego, zamkniętego ciągu poligonowego. W czasie postprocessingu otrzymujemy informację o odchyłce zamknięcia i czy nasze punkty pośrednie mają rozwiązania jednoznaczne (*fixed*). Te z rozwiązaniami *fixed* i m_p rzędu kilku mm, przy poprawnej odchyłce zamknięcia, spełniają kryteria punktów osnowy pomiarowej. Zaletą tej metody jest również to, że nawet kiedy na niektórych punktach pośrednich otrzymamy rozwiązania niejednoznaczne (*float*), to po prostu dany punkt pomijamy i nie ma to wpływu na dokładność punktów następnych. Oczywiście zamiast zamknięcia na punkcie początkowym nasz ciąg satelitarny może skończyć się na innym punkcie kontrolnym o znanych współrzędnych.

• Pomiar kinematyczny RTN

Po kilku latach produkcji urządzeń Azus pojawiła się też grupa użytkowników zainteresowanych wykonywaniem pomiarów w czasie prawie rzeczywistym: RTK i RTN. Dla ścisłości: pomiar RTK to nic innego, jak satelitarna tachimetria, w której stacja bazowa jest odpowiednikiem stanowiska tachimetru, a stacja ruchoma (w żargonie geodezyjnym *rover*), zastępuje lustro. Takie pomiary są akceptowane standardem technicznym do określania położenia punktów osnowy pomiarowej. Skoro tak, to do odbiornika AzusStar+ dodano i taką opcję. Wykorzystano do niej opracowania Tamoji Takasu, który od kilku lat udostępnia w ramach idei open source profesjonalne oprogramowanie RTKLIB.

Do wykonania pomiaru wymagane jest połączenie odbiornika z komputerem wyposażonym w system operacyjny Windows i łączność z serwerem aktywnej sieci geodezyjnej poprzez port RS-232 lub USB. Korekty dla odbiorników w wersji GPS L1 pobiera się strumieniem danych NAWGEO_VRS_3_1 serwisu NAWGEO ASG-EUPOS. Dla odbiorników AzusStar++, czyli w wersji GNSS (GPS+GLONASS), na obszarze podsięci mazowieckiej i małopolskiej dochodzi jeszcze możliwość korzystania ze strumienia MAZ_VRS_3_1 i SLASK_VRS+3_1. Z pakietu kilku programów, których opis znajduje się na stronie prowadzonej przez Tamoji Takasu www.rtklib.com, wykorzystujemy aplikacje rtknavi i rtkplot.

• Niwelacja satelitarna, czyli osnowa dwufunkcyjna metodą szybką statyczną

Technika pomiarowa szybka statyczna z wykorzystaniem punktów VRS ma

jeszcze jedną zaletę. Można wyznaczać wysokości punktów osnowy pomiarowej w nawiązaniu do najbliższych reperów. I, co najważniejsze, te nawiązania wysokościowe nie wymagają żadnych naszych terenowych pomiarów na reperach czy też w ich pobliżu. A więc każdy reper, nawet niedostępny, może być wykorzystany do nawiązania. Musimy tylko wprowadzić zależności wymagane w niwelacji satelitarnej. Sprowadzają się one do zastosowania wzoru $h = H + N$, gdzie H – wysokość reperu w obowiązującym systemie wysokości, N – wielkość odstepu geoidy niwelacyjnej od elipsoidy odniesienia, obliczona z modelu geoidy. Te zależności dadzą w rezultacie wysokości obliczone z różnic między wysokościami elipsoidalnymi a różnicami odstępów geoidy niwelacyjnej ($\Delta H = \Delta h - \Delta N$), czyli pozwolą na wykonanie niwelacji satelitarnej.

Obliczenia sprowadzają się do prostych czynności. Trzeba do opisanej wcześniej procedury metody szybkiej statycznej wprowadzić repery wirtualne VRS odpowiadające naszym reperom nawiązania. Zakładając, że realizujemy ciąg niwelacyjny między dwoma reperami, potrzebujemy do tego przybliżone położenie poziome naszych reperów, określone współrzędnymi geodezyjnymi B , L i ich dokładne wysokości h obliczone z wysokości katalogowych i odstępów N . Dla takich dwóch (lub więcej) reperów zamawiamy VRS na takich zasadach, jak w metodzie szybkiej statycznej. Odległości do reperów mogą być dość znaczne. Tu musimy się kierować podobnymi zasadami, czyli jeżeli są to odległości kilometrowe, to nasza sesja musi być dłuższa i generowane VRS z dłuższym okresem.

No i oczywiście nasze pomiary też powinny być takie, aby mieć rozwiązania jednoznaczne wektorów. Opcjonalnie możemy też założyć dodatkowy VRS w pobliżu naszego punktu. Wtedy przypiszemy mu stałe położenie poziome, a jednemu z naszych reperów wirtualnych stałą wysokość. Drugi będzie kontrolnym dla utworzonego ciągu (wiszącego, tzn. bez wektora wirtualnego między reperami) – w zasadzie odchyłka nie powinna być większa niż 4 mm/km. Oczywiście ważne jest dokładne pomierzenie wysokości anteny na naszym punkcie. W metodzie tej warunkiem podstawowym jest nawiązanie do reperów o wysokiej dokładności. Metoda traci sens w nawiązaniu do reperów, których dokładność wysokości znacznie odbiega od dokładności generowanych VRS.

Ryszard Pażus, Aleksander Mróz, Jacek Saniewski
GeoDigitalGPS