

Wpływ długości sesji pomiarowej na dokładność wyznaczania pozycji w pomiarach statycznych GPS

Łukasz Borowski

*Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: l.borowski@pollub.pl*

Streszczenie: W publikacji zaprezentowano wyniki badań wpływu długości sesji pomiarowej na dokładność wyznaczania współrzędnych w pomiarach statycznych GPS. Przebadano sesję 1, 2, 4 i 8 godzinną dla wektorów 18,5 i 26 km. Do analiz wykorzystano obserwację satelitarne gromadzone przez system ASG-EUPOS.

Słowa kluczowe: geodezja satelitarna, pomiary GPS, pomiary statyczne, ASG-EUPOS.

1. Wprowadzenie

Jedną z satelitarnych metod wyznaczania pozycji są pomiary statyczne, nawiązywane do osnowy geodezyjnej. Są one wykorzystywane m.in. do zakładania różnych typów osnów geodezyjnych lub monitoringu obiektów inżynierskich (mosty, wiadukty, zapory). Wykorzystywane są także do wyznaczania wartości undulacji, czyli odstępu quasi-geoidy od elipsoidy.

W tej metodzie pozycja punktu jest wyznaczana w trakcie synchronicznych pomiarów. Wymaga to zastosowania co najmniej dwóch odbiorników GPS jednocześnie. Jeden z nich znajduje się na wyznaczanym punkcie. Drugi natomiast znajduje się na punkcie osnowy geodezyjnej. Odbiornik na punkcie osnowy służy do obliczenia różnicy pomiędzy pozycją wyznaczoną w trakcie pomiaru, a pobraną z katalogu osnów geodezyjnych. Różnicę tą wykorzystujemy się do poprawienia pozycji odbiornika na wyznaczanym punkcie. Takie rozwiązanie jest konieczne, gdyż w opisywanych pomiarach statycznych wyznaczanie pozycji jest wykonywane z dokładnością do kilkudziesięciu centymetrów. Natomiast znacznie bardziej dokładnie można określić współrzędne wektora między dwoma odbiornikami.

Ostateczna dokładność współrzędnych wyznaczanego punktu jest zależna od wielu czynników, z których największy wpływ ma długość sesji pomiarowej. Ten czynnik był przedmiotem eksperymentu pomiarowego, zaprezentowanego w niniejszej publikacji.

2. Ustalenie długości sesji pomiarowej

Do celów naukowych związanych np. badaniami z zakresu geodezji wyższej stosowane są najczęściej 24 godzinne sesje obserwacyjne. Zapewniają one równomierny rozkład satelitów, dzięki czemu możliwa jest minimalizacja błędów systematycznego powodowanego określonym układem satelitów. Dodatkowo pomiar dobowy umożliwia zastosowanie metody absolutnej PPP (*Precise Point Positioning*),

służącej do wyznaczenia pozycji z wysoką dokładnością. Kilkukrotne sesje dobowe są wykorzystywane także do zakładania podstawowej osnowy bazowej zakładania podstawowej osnowy bazowej np. sieci POLREF czy EUVN. Osnowa ta jest dowiązywana do osnowy ASG-EUPOS za pomocą 20-50 kilometrowych wektorów.

Zakładanie osnów szczegółowych jest wykonywane ze znacznie krótszym okresem obserwacyjnym. W przypadku pomiarów statycznych są to najczęściej 1 lub 2 godzinne sesje na każdym punkcie. Jest to związane z redukcją kosztów jej zakładania, przy zachowaniu odpowiednich wymagań dokładnościowych. Osnowa tego typu jest nawiązywana do osnowy podstawowej wektorami o długościach nawet do 40 km.

Pomiar służące np. do lokalnego modelowania quasi-geoidy, kontrolnego badania osiadania obiektów inżynierskich czy badania rozkładu sił i naprężeń w obiektach inżynierskich są wykonywane z zastosowaniem kilkugodzinnej sesji obserwacyjnej. Jako przykład można podać pracę na modelu quasi-geoidy, w której zastosowano pomiary statyczne GPS na punktach trawersu przebiegającego przez cały kraj. W trawersie tylko na co czwartym punkcie wykonywano obserwację 24 godzinne, natomiast większość punktów wyznaczono 4 godzinną sesją pomiarową [1]. Długości mierzonych wektorów trawersu nie przekraczały 25 km.

3. Główne założenia eksperymentu

W związku z powyższym w eksperymencie pomiarowym pierwotnie rozważano przebadanie sesji 1, 2 i 4 godzinnych. Postanowiono także włączyć do opracowania sesję 8 godzinną, jako alternatywę dla sesji 12 godzinnych. Sesje 12 godzinne mają niewątpliwą zaletę - umożliwiają wykonanie pomiarów w okresie pełnego obiegu satelitów GPS wokół ziemi. Jednocześnie korzyści z tak długiego pomiaru są wyraźnie widoczne w trakcie jakościowej analizy obserwacji wykonywanej za pomocą wysoce specjalistycznego oprogramowania np. *Bernese*. Sesje krótsze, kilkugodzinne, mogą być z powodzeniem opracowywane za pomocą oprogramowania bardziej powszechnego, co oznacza mniejszy koszt wykonanych prac. Dodatkowo pomiary nieprzekraczające 8 godzin nie wymagają przekraczania dziennego czasu pracy, co także nie wymaga dodatkowych nakładów finansowych.

Drugim przeanalizowanym czynnikiem mającym wpływ na dokładność określania pozycji jest długość wektora nawiązania. W eksperymencie planowano przebadać krótkie wektory do ok. 20 km. Znaczna ilość pomiarów terenowych jest nawiązywana do najbliższej stacji ASG-EUPOS wektorem nieprzekraczającym tej wartości. Dodatkowo dla tak krótkiego wektora oraz krótkich sesji pomiarowych, wystarczy jedna metoda wyznaczania nieoznaczoności. Minimalny jest także niekorzystny wpływ jonosfery, a obliczenia można zrealizować za pomocą powszechnie stosowanego oprogramowania inżynierskiego, bez konieczności wstępnej walidacji danych (*preprocessingu*). Po analizie podobnych opracowań opisanych w literaturze postanowiono długość wektora wydłużyć do ok. 27 km. Na tą decyzję wpłynął eksperyment przeprowadzony na terenach USA, w którym rozpatrywano wektory o długościach od 27 do 300 km [2]. Dzięki temu zaistniała możliwość chociaż częściowego porównania uzyskanych wyników.

Ostatecznie pytanie badawcze, dotyczące eksperymentu pomiarowego, można sformułować następująco:

Jaka jest dokładność wyznaczania współrzędnych elipsoidalnych w pomiarach GPS dla sesji 1, 2, 4 i 8 godzinnych dla wektorów nieprzekraczających 27km?

4. Dodatkowy cel eksperymentu

Obecne geodezyjne odbiorniki GPS umożliwiają wykonywanie obserwacji z częstotliwością nawet do 20 na sekundę. Standardem jest jednak wykorzystywanie interwału 1 sekundy oraz jego wielokrotności. Przykładowo sieć stacji EPN udostępnia obserwację satelitarne co 30 s, gdyż dla tej sieci podstawową długością sesji jest doba. Natomiast w polskiej sieci ASG-EUPOS obserwacje wykonywane i udostępniane są z interwałem 1s przez dwa tygodnie od dnia ich wykonania. Po tym terminie następuje zmniejszenie interwału do 5 s, co umożliwia redukcję objętości przechowywanych danych.

Część oprogramowania do *postprocessingu* wykorzystuje maksymalnie 3600 obserwacji z jednej sesji obserwacyjnej. W przypadku zaimportowania pliku z większą ich liczbą następuje automatyczne rozrzedzenie danych, poprzez usunięcie np. co 2 obserwacji. Redukcja taka realizowana jest np. w dość powszechnie wykorzystywanym oprogramowaniu Geonet [3].

Dla sesji 4 i 8 godzinnej archiwum ASG-EUPOS zapewnia 80% obserwacji z maksymalnej ilości stosowanej w *postprocessingu* (interwał co 5 i 10 s, zamiast co 4 i 8 s). Zbadanie czy zredukowana liczba obserwacji ma istotny wpływ na dokładność wyznaczania pozycji w sesji 4 i 8 godzinnej jest celem dodatkowym eksperymentu pomiarowego. Jego realizacja umożliwi odpowiedź na następujące pytanie:

Czy wykorzystanie 2 880 obserwacji dla sesji 4 i 8 godzinnych wpływa na dokładność określenia współrzędnych elipsoidalnych?

5. Metodologia przeprowadzonych badań

Pomiary statyczne od 2008 r. w na terenie całego kraju można wykonywać w nawiązaniu do sieci stacji permanentnych ASG-EUPOS. Stacje te są wyposażone w odbiorniki GNSS (lub tylko GPS), które przez całą dobę gromadzą obserwacje satelitarne. Ze względu na zgromadzoną ilość danych, złożony proces ich przetworzenia uwzględniający wiele czynników oraz nieustanny monitoring systemu, sieć stacji ASG-EUPOS stanowi najdokładniejszą krajową osnowę geodezyjną w zakresie współrzędnych elipsoidalnych.

Zatem różnica pomiędzy wartością uzyskaną z pomiarów a zaczerpniętą z katalogu osnów można przyjąć za błąd rzeczywisty. Z tego powodu eksperyment ograniczono wyłącznie do stacji ASG-EUPOS. Ich pozycję katalogową w układzie ETRF2000 (epoka 2011) pobrano z publikacji internetowej serwisu [4].

Do eksperymentu wybrano dwie niezależne pary wektorów o długościach ok. 18,5 i 26 km. Dla każdego okresu pomiarowego pobrano 9 zestawów danych (prób). Dla sesji głównej – 8 godzinnej – każdy zestaw obserwacji rozpoczynał się o 8 a kończył o 16 godzinie czasu UTC. Dane dla krótszych sesji wybrano losowo z zestawów sesji głównej. Wpływ redukcji liczby obserwacji do 2880 na dokładność wyznaczania pozycji badano w podobny sposób, zmniejszając próbkę do 3 zestawów danych. Obliczenia wykonywano w programie Trimble Business Center 2.70 z wykorzystaniem orbit precyzyjnych.



Rys. 1. Plan rozmieszczenia stacji ASG-EUPOS wykorzystanych w eksperymencie.

Tabela 1. Wektory wybrane do eksperymentu.

Lp.	Wektor	Długość [km]
1	OLST-LAMA	17,6
2	WAT1-JOZ2	19,5
3	KATO-TAR1	25,4
4	WAT1-BOGI	26,2

6. Uzyskane dokładności położenia punktów

Podstawowym kryterium zastosowanym do oceny dokładności jest średni błąd każdej stacji reprezentowany przez odchylenie standardowe z wartości błędów rzeczywistych współrzędnych elipsoidalnych φ , λ , h punktów. Za błąd rzeczywisty uznano różnicę pomiędzy wartościami obliczanymi a pobranymi z katalogu współrzędnych osnowy ASG-EUPOS.

W tabeli 2 zaprezentowano uzyskane wyniki, średnie błędy, wraz z oceną ich powtarzalności, w postaci odchylenia standardowego. Odchylenie standardowe błędów średniego zostało wykorzystane do oceny powtarzalności uzyskanych dokładności dla każdej z 9 prób. Jej wysoka wartość zauważalna jest dla sesji 1 h. Na skutek losowania sesji 1 godzinnej z sesji 8 h do obliczeń przyjęte zostały także próby z okresów o niekorzystnym układzie stelitów (wysoki współczynnik PDOP), co powodują pojawienie się znacznych różnic pomiędzy poszczególnymi próbami. Zauważalne są także większe błędy wysokości dla stacji TAR1 w zakresie sesji od 2 do 8 godzin. Dla tej stacji winna być przeprowadzona oddzielna analiza z dłuższego okresu czasu.

Tabela 2. Średni błąd współrzędnych elipsoidalnych dla każdej stacji.

Długość sesji [h]	Stacja	Średni błąd [mm]			Odchylenie średniego błędu [mm]		
		φ	λ	h	φ	λ	h
1	LAMA	6.4	8.4	47.8	4.4	36.9	21.6
	JOZ2	5.9	14.3	49.7	4.3	1.2	9.7
	TAR1	7.0	40.3	37.7	4.1	3.4	15.3
	BOGI	6.3	2.1	39.0	3.4	12.9	17.6
2	LAMA	7.2	6.7	8.2	0.9	0.5	10.6
	JOZ2	3.4	2.3	12.4	2.0	1.5	4.8
	TAR1	2.3	1.1	19.4	4.0	1.8	3.3
	BOGI	3.7	2.3	8.3	2.3	1.5	7.9
4	LAMA	7.7	7.3	8.1	0.9	0.7	8.3
	JOZ2	4.6	2.8	10.7	1.1	0.7	4.2
	TAR1	3.4	1.2	16.5	2.6	1.0	4.8
	BOGI	2.4	1.6	7.4	1.9	2.0	3.3
8	LAMA	6.8	6.4	5.8	0.9	0.4	4.6
	JOZ2	4.2	2.9	8.2	0.9	0.8	4.1
	TAR1	3.6	1.1	13.1	0.8	0.7	3.4
	BOGI	2.1	1.9	6.7	1.5	2.0	4.3

Ostatecznie błędy obserwacji obliczono jako średnia ze wszystkich wektorów, przy założeniu równych wag (tabela 3). Wyniki te dobrze ilustrują wpływ długości sesji pomiarowej na uzyskane dokładności, zwłaszcza dotyczące wysokości. Przedstawione wyniki są podobne do uzyskanych w badaniach przeprowadzonych na obszarze USA, w zakresie sesji 4 i 8 godzinnej [2]. W tamtej pracy nie badano krótszych sesji.

Tabela 3. Średni błąd współrzędnych dla całego badanego zakresu danych.

Długość sesji [h]	Uśredniony błąd wszystkich stacji [mm]		
	φ	λ	h
1	6.4	16.3	43.5
2	4.1	3.1	12.1
4	4.5	3.2	10.7
8	4.2	3.1	8.4

Wpływ ograniczenia liczby obserwacji do 80% badano w inny sposób. Analizowano różnicę pomiędzy współrzędnymi określonymi ze zredukowanej ilości obserwacji, a wyznaczonym z pełnej sesji (3600). Nie dostrzeżono wpływu na szerokość (φ) i długość (λ) elipsoidalną. Natomiast w przypadku wysokości (h) zauważalne jest występowanie różnicy na poziomie 1 mm, a dla stacji TAR1 nawet do 4 mm.

7. Podsumowanie i wnioski

W pracy przebadano wpływ długości sesji pomiarowej na dokładność wyznaczenia pozycji w pomiarach statycznych GPS. Badanie przeprowadzono dla wektorów o długości ok. 18,5 i 26 km.

Wyniki wskazują na silną losowość pomiarów o długość jednej godziny, co przekłada się na ich relatywnie niską dokładność. Dokładność uzyskana w eksperymencie jest porównywalna do metody VRS RTK w systemie ASG-EUPOS [4]. Stoso-

wanie sesji 1 godzinnej powinno być poprzedzone wstępną analizą (planowaniem) pomiarów, w zakresie doboru odpowiedniego okna pomiarowego charakteryzującego się korzystnym układem satelitów.

Niezauważalna jest istotna różnica pomiędzy pomiarami 2, 4 i 8 godzinnymi. Jest to korzystny czynnik, potencjalnie obniżający koszty wykonywanych pomiarów. W opinii autora dokładność uzyskana dla sesji 2 h jest bardzo wysoka. Dla tej sesji powinny być wykonane dodatkowe badania.

Obliczone wartości dla stacji TAR1 odstają od innych stacji. Należałoby powtórzyć eksperyment, zwiększając liczbę stacji. Ilość wykorzystanych zbiorów danych – 9 niezależnych sesji pomiarowych – w świetle uzyskanych wyników wydaje się być wystarczająca.

Uzyskane dokładności autor uważa za bardzo wysokie, co jest spowodowane korzystną lokalizacją anten ASG-EUPOS. Umieszczenie ich na dachach budynków umożliwia maksymalny dostęp do sygnałów od satelitów. Pomiary statyczne wykonywane na powierzchni terenu, czy na obszarach zurbanizowanych, mogą charakteryzować się niższymi dokładnościami.

Nie zauważono istotnego wpływu redukcji obserwacji do 2880 w sesjach 4 i 8 godzinnych na dokładność pozycji punktu.

Literatura

- [1] Kryński J. *Utworzenie modelu „centymetrowej” geoidy na obszarze Polski w oparciu o dane geodezyjne, grawimetryczne, astronomiczne, geologiczne i satelitarne*. Raport końcowy z prac wykonanych w ramach projektu zamawianego PZB-KBN-081/T12/2002, Warszawa, 2006.
- [2] Eckl M.C., Snay R.A., Soler T., Cline M.W., Mader G.L. *Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration*. *Journal of Geodesy* 75(12) (2001) 633–40.
- [3] *Instrukcja programu Geonet*. <http://www.geonet.net.pl/> (15.11.2013).
- [4] <http://www.asgeupos.pl/> (15.11.2013).

Duration of static GPS measurements and its influence on the coordinates accuracy

Lukasz Borowski

¹ *Geotechnical Department, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: l.borowski@pollub.pl*

Abstract: The author of the paper presents the results of the research concerning the influence of the duration of observation session on coordinates accuracy in static GPS measurements. The 1-, 2-, 4- and 8-hour measurements were made for 19 and 26 km vectors. Satellite observations gathered by ASG-EUPOS system were used to the analyses.

Keywords: satellite geodesy, GPS measurements, static, ASG-EUPOS.