

Jacek Rapiński*, Sławomir Cellmer*

Wpływ dołączenia obserwacji od pseudosatelity na wyrównanie sieci GPS

1. Wstęp

W ciągu kilku ostatnich lat bardzo popularne stało się wykorzystanie systemu GPS w pomiarach geodezyjnych. System zyskał na wartości dzięki możliwości wykonania szybszych i tańszych pomiarów z zadowalającą dokładnością dla wielu zastosowań.

Pomimo wielu zalet systemu GPS, jego zastosowanie w geodezji inżynierskiej jest ograniczone. Dokładność wyznaczenia współrzędnych płaskich jest zwykle zadowalająca, ale dokładność wyznaczenia wysokości jest często zbyt mała.

Kolejnym poważnym utrudnieniem w inżynierskich zastosowaniach systemu GPS są zasłony (elementy istniejących i powstających konstrukcji, zabudowania, drzewa) uniemożliwiające często odbieranie sygnału satelitarne przez odbiornik. Istnieje więc potrzeba znalezienia metody pomiarowej mogącej wspomóc działanie systemu GPS w trudnych warunkach bez konieczności wykonywania dodatkowych pomiarów.

Wykorzystanie pseudosatelitów do wspomagania Systemu GPS może okazać się dobrym rozwiązaniem powyższych problemów [3]. Można w ten sposób wyeliminować problemy związane ze słabą widocznością satelitów bez konieczności wykonywania pomiarów klasycznych.

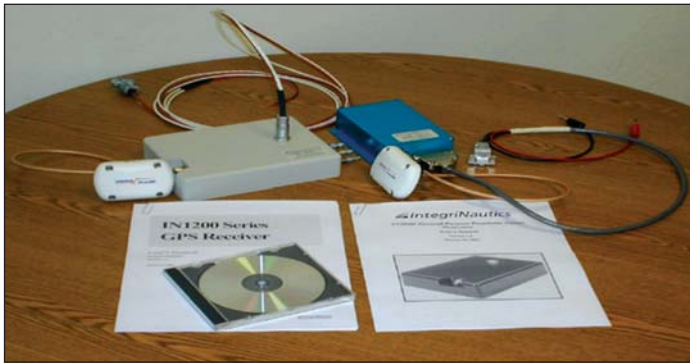
2. Pseudosatelity

Pseudosatelita (od *pseudo-satellite*) jest to generator i nadajnik sygnału GPS umieszczany na punkcie o znanych współrzędnych [4]. Sygnał pseudosatelity jest wysyłany na częstotliwości L1 systemu GPS (1575,42 MHz).

* Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn

Do doświadczeń wykorzystane zostały dwa odbiorniki GPS firmy NovAtell oraz pseudosatelita IN200D wyprodukowany przez IntegriNautics.

Satelity GPS wysyłają sygnał o mocy ok + 40 dBm. Po przebyciu ok. 20000 km i dotarciu do odbiornika sygnał jest o wiele słabszy – ok. -130 dBm. Maksymalna moc pseudosatelity wynosi w przybliżeniu 0 dBm. Ponieważ odbiorniki są zaprojektowane do śledzenia relatywnie słabego sygnału satelitarnego, dużo silniejszy sygnał pseudosatelity może go zakłócić. W celu uniknięcia takiej sytuacji ważne jest, aby odpowiednio sflumować moc sygnału pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem. Można to zrobić przez obniżenie wewnętrznej mocy nadajnika lub przez pulsowanie sygnału pseudosatelity [1].



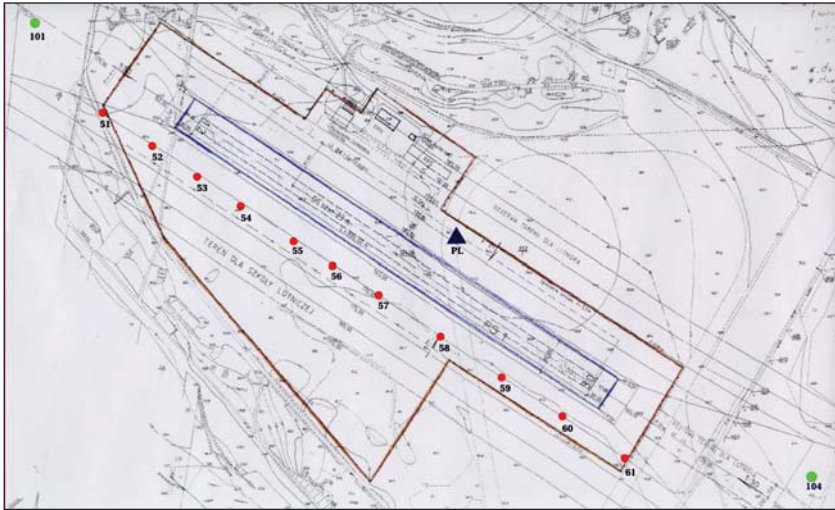
Rys. 1. Pseudosatelita IN200D

W IN200D (rys. 1) wykorzystano pulsowanie sygnału ze zmiennym opóźnieniem pulsu (RTCM). Obydwa odbiorniki śledziły zarówno sygnały satelitarne jak i sygnał od pseudosatelity przez cały czas trwania eksperymentu. W celu uzyskania współrzędnych anteny pseudosatelity nad anteną umieszczoną została antena GPS podłączona do odbiornika Ashtech ZXtereme

3. Doświadczenie

Doświadczenie zostało przeprowadzone na terenie lotniska w Gryźlinach koło Olsztyna. Sieć testowa składała się z dwóch znanych punktów odniesienia, jedenastu punktów do pomierzenia oraz z punktu będącego lokalizacją pseudosatelity (rys. 2).

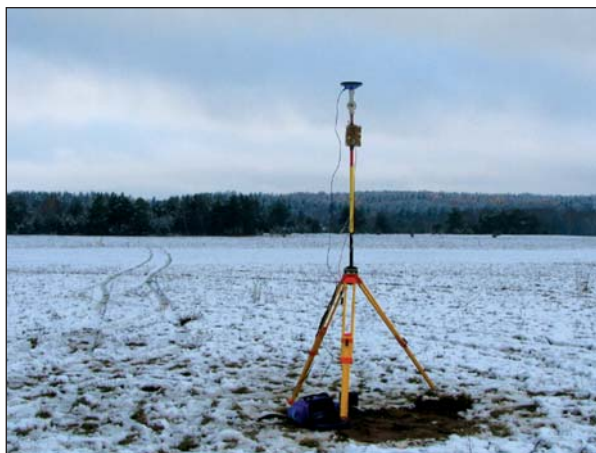
Punkty 101 oraz 104 są znanymi punktami wykorzystanymi do nawiązania pomiaru oraz wyznaczenia współrzędnych anteny pseudosatelity. Zarówno na tych punktach, jak i nad anteną pseudosatelity wykorzystane zostały dwuczęstotliwościowe odbiorniki Ashtech ZXtreme.



Rys. 2. Szkic sieci

Punkty 51, 52, 53, ... , 61 były punktami wyznaczanymi przy pomocy odbiorników NovAtell umożliwiających śledzenie zarówno sygnału satelitarne, jak i pseudosatelity.

Pomiar położenia anteny pseudosatelity został wykonany w jednej trwającej trzy godziny sesji GPS. Pomiary na pozostałych punktach były mierzone w sesjach trwających po 45 minut (rys. 3).



Rys. 3. Pseudosatelita w trakcie eksperymentu

4. Algorytm

W celu obliczenia poszczególnych wektorów zastosowany został standardowy algorytm obliczeniowy zmodyfikowany tak, aby możliwe było dołączenie obserwacji od pseudosatelity. Dla celów doświadczenia wykorzystane zostało uproszczone podejście do rozwiązania nieoznaczoności. Ze względu na bardzo dobrą widoczność horyzontu na terenie lotniska możliwe było uzyskanie współrzędnych punktów sieci na podstawie samego pomiaru GPS z dokładnością rzędu ~1 cm. Nieoznaczoność została policzona na podstawie znanych współrzędnych satelitów oraz obliczonych współrzędnych punktów sieci. Następnie znana pozycja została zaburzona oraz dodane zostały zasłony w celu „pogorszenia warunków pomiarowych”.

Ponieważ sygnał od pseudosatelity nie przechodzi przez jonosferę a przez troposferę przechodzi nisko nad ziemią, konieczne było obliczenie wpływu refrakcji troposferycznej na drodze pseudosatelita – odbiornik.

Wpływ refrakcji na sygnał pseudosatelity można zapisać jako funkcję parametrów meteorologicznych [2]

$$N = 77,6 \frac{P}{T} + 3,73 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (1)$$

gdzie $e = RH \cdot \exp(-37,2465 + 0,2133 \cdot T - 2,569 \cdot e^{-4} \cdot T^2)$

Przy krótkich wektorach można założyć, że na całym terenie parametry atmosferyczne były takie same. Opóźnienie troposferyczne dla pojedynczo zróżnicowanych obserwacji można zapisać jako

$$\Delta\delta_{trop} = (77,6 \frac{P}{T} + 3,73 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2}) \cdot 10^{-6} \Delta\rho \quad (2)$$

gdzie:

P – ciśnienie atmosferyczne w hektopaskalach (1013 hPa),

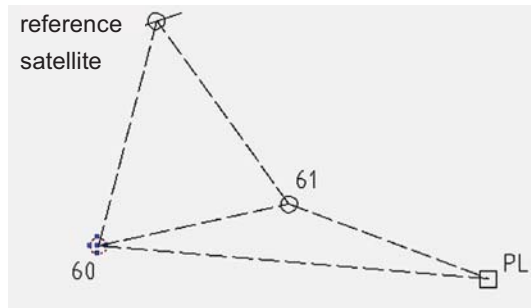
T – temperatura w kelwinach (273,15 K),

e – częściowe ciśnienie pary wodnej,

$\Delta\rho$ – różnica w odległości geometrycznej pomiędzy pseudosatelitą i dwoma odbiornikami,

RH – wilgotność względna (50%).

W trakcie pomiaru wpływ troposfery na pomiar od pseudosatelity wynosił około 27 mm. Po dodaniu poprawek troposferycznych do pojedynczo zróżnicowanych obserwacji, obliczono obserwacje podwójnie zróżnicowane. Sposób różnicowania pomiędzy dwoma punktami, satelitą odniesienia i pseudosatelitą został przedstawiony na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat różnicowania obserwacji

Obliczenie wektora zostało zrealizowane poprzez wyrównanie podwójnie zróżnicowanych obserwacji metodą najmniejszych kwadratów po wcześniejszym wykryciu i korekcie zagubionych cykli.

Obliczenie wektorów GPS wykonano przy wykorzystaniu autorskiego oprogramowania napisanego w języku C/C++. Platformą programistyczną był Linux Fedora Core 4 i kompilator gcc 4.0.2 oraz biblioteka gpstk rozpowszechniana na licencji Open Source. Do stworzenia interfejsu użytkownika wykorzystana została biblioteka Qt. Do wyrównania obserwacji posłużył program SNAP (Survey Network Adjustment Program) stworzony przez Land Information New Zeland.

5. Obliczenia i wyniki

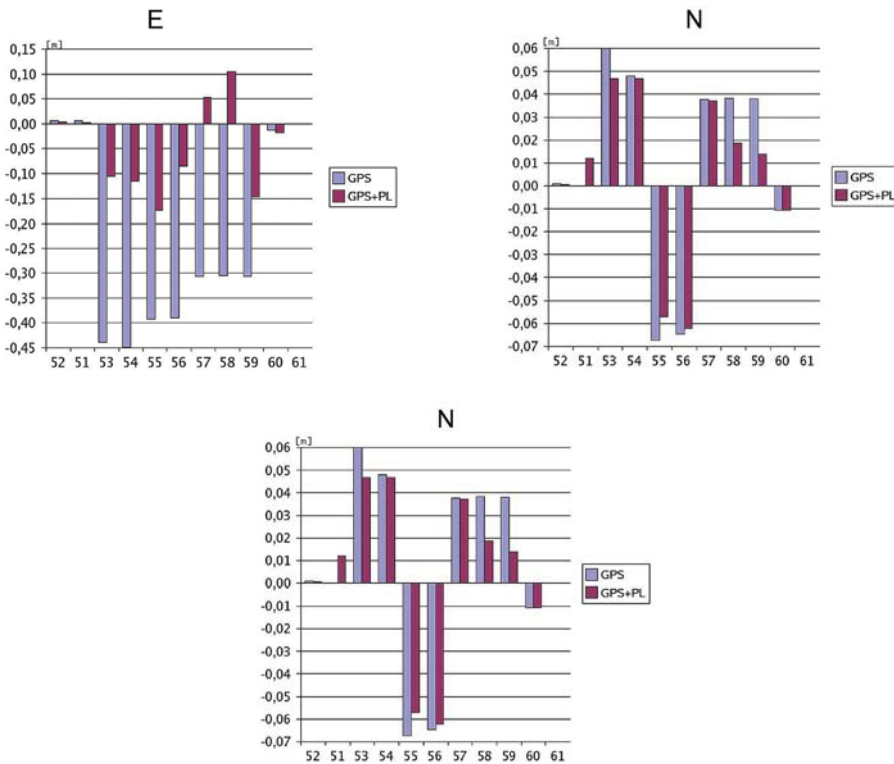
W celu sprawdzenia wpływu dołączenia pseudosatelity na wyrównanie sieci GPS wykonano następujące obliczenia (wszystkie obliczenia w układzie lokalnym):

- 1) „Prawdziwe” współrzędne punktów sieci zostały wyznaczone na podstawie wyrównania wektorów GPS obliczonych za pomocą programu GPPS. Ponieważ w trakcie 45 minutowej sesji pomiarowej nie występowały żadne utrudnienia wszystkie punkty wyznaczono z dokładnością lepszą niż 1 cm.
- 2) W celu symulowania trudnych warunków pomiarowych ponownie wykonano obliczenia wszystkich wektorów GPS z minimalną wysokością horyzontalną ustawioną na 40 stopni za pomocą autorskiego oprogramowania. Dla wektora 53–54 minimalna wysokość horyzontalna została zmieniona na 35 stopni, ponieważ przy 40 stopniach program nie był w stanie policzyć współrzędnych wektora z powodu zbyt małej liczby obserwacji.

Po wyrównaniu maksymalne różnice pomiędzy współrzędnymi „prawdziwymi” i „zaburzonymi” wynosiły ok. 40 cm dla współrzędnych płaskich i ok. 30 cm dla wysokości. Pseudosatelita był wyłączony z obliczeń.

- 3) Obliczenie współrzędnych pseudosatelity na podstawie pomiaru GPS.
- 4) Wykonanie obliczeń dla wszystkich wektorów przy wykorzystaniu autorskiego oprogramowania. Minimalna wysokość horyzontalna ustawiona na 40 stopni oraz dołączony do pomiaru pseudosatelita (dla wektora 53–54 minimalna wysokość horyzontalna wynosiła również 40 stopni). Wektory wyrównane tym samym programem z takimi samymi ustawieniami jak w poprzednich przypadkach. Po wyrównaniu różnice między współrzędnymi „prawdziwymi” i „zaburzonymi” wynosiły ok. 14 cm dla współrzędnych płaskich i ok. 4 cm dla wysokości.

Różnice pomiędzy współrzędnymi „prawdziwymi” a współrzędnymi z pomiaru „zaburzonego” z pseudosatelitą oraz bez pseudosatelity przedstawiają poniższe wykresy (rys. 5).



Rys. 5. Wyniki dla składowych E,N i H

6. Wnioski

1. W trudnych warunkach pomiarowych dołączenie pseudosatelity do pomiaru GPS może poprawić dokładność wyznaczenia punktów.
2. W skrajnych przypadkach gdy widoczna jest zbyt mała liczba satelitów, pseudosatelita umożliwia poprawne wyznaczenie wektora.

Literatura

- [1] Cobb S. 1997, *GPS pseudolites: theory, design and applications. A disseration submitted to the departament of aeronautics and astronautics and the committee on graduate studies of Stanford University in partial fullfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy*, SUDAAR 707.
- [2] Liwen Dai, Jan Zhang, Chris Rizos, Shaowei Han and Jingling Wang: *GPS and Pseudolites Integration for Deformation Monitoring Applications, School of Geomatic Engineering, University of New South Wales, Sydney, NSW, Australia* 2005.
- [3] Rzepecka Z., Wasilewski A., Cellmer S.: *Integration of GPS and Pseudolites – Effect on the Positioning Accuracy*. Technical Science, Olsztyn (49-64), 2005.
- [4] Rzepecka Z., Wasilewski A., Cellmer S.: *Integration of GPS and Pseudolites – Studies of Effect on Vector Determination, Reports on Geodesy, No 3(74), Warszawa* 2005.