

*Zbigniew Siejka*

**ANALIZA SZEREGÓW CZASOWYCH OBSERWACJI  
SATELITARNYCH WYKONYWANYCH  
Z WYKORZYSTANIEM SERWISU EGNOS**

---

***TIME SERIES ANALYSIS OF SATELLITE OBSERVATIONS  
MADE WITH APPLICATION OF EGNOS SERVICE***

**Streszczenie**

W ostatnich latach obserwujemy bardzo szybki rozwój satelitarnych systemów powstających głównie w celu podniesienia dokładności, kompatybilności i interoperacyjności pozycjonowania satelitarnego. Oprócz działających amerykańskiego GPS oraz rosyjskiego GLONASS powstają inne systemy jak na przykład japońskie: QZSS (Quazi-Zenith Satellite System), MSAS (Multifunction Augmentation Transport Satellites), indyjskie: IRNSS (Indian Radionavigation Satellite System), GAGAN (GPS and GEO Augmentation System, chińskie COMPAS, SNAS (Satellite Navigation Augmentation System) czy nigeryjski NIGCOMSAT (Nigerian Communications Satellite SBAS).

W pracy przedstawiono wyniki kampanii pomiarowej przeprowadzonej w Krakowie na punkcie referencyjnym, która miała na celu ustalenie wiarygodnej dokładności korekcji różnicowej jednego z systemów SBAS - Satellite Based Augmentation System [Narkiewicz, 2003]. Zrealizowano kontrolne pomiary testowe z wykorzystaniem najprostszego trybu real-time DGPS w postaci korekcji różnicowych z systemu EGNOS.

Przeprowadzona szczegółowa analiza uzyskanych z pomiaru wyników pozwala stwierdzić, że GMS-2 z korekcją EGNOS zwiększa rzeczywistą dokładność wyznaczenia pozycji dla współrzędnej  $x$  do około 2.6 m, dla współrzędnej  $y$  do około 2.1 m i wysokości  $H$  do około 3.1 m. Może zatem zostać wykorzystany do zbierania danych dla potrzeb GIS zapewniając rejestrację współrzędnych w różnych układach oraz umożliwia dodatkowo wykonywanie dokumentacji fotograficznej.

**Słowa kluczowe:** GNSS, stacja referencyjna, szeregi czasowe

### Summary

*Lately we can see a very fast development of the satellite systems created mainly in order to raise the precision, compatibility and interoperability of satellite positioning. Besides functioning American GPS and Russian GLONASS other systems become, like for example Japanese: QZSS (Quasi-Zenith Satellite System), MSAS (Multifunction Augmentation Transport Satellites), Indian: IRNSS (Indian Radionavigation Satellite System), GAGAN (GPS and GEO Augmentation System), Chinese COMPAS, SNAS (Satellite Navigation Augmentation System) or Nigerian NIGCOMSAT (Nigerian Communications Satellite SBAS).*

*The paper shows the results of measuring campaign carried out in Krakow (Poland) on a reference point with the aim to determine reliable accuracy of differential correction in one of SBAS systems – Satellite Based Augmentation System [Narkiewicz, 2003].*

*Testing control measurements were carried out using simple real-time DGPS procedure in the form of differential corrections from EGNOS system.*

*Carried out detailed analysis of the results let us come to the conclusion, that GMS-2 receiver with EGNOS correction increases the real accuracy of positioning along the X axis to 2.6m, along the Y axis to 2.1m and the height H to 3.1m. It could then be used to collect data for GIS with possibility of coordinates registration in different reference systems plus making photo documents.*

**Key words:** GNSS, base stations, series of time

### WPROWADZENIE

W pracy przedstawiono wyniki kampanii pomiarowej przeprowadzonej w Krakowie na punkcie referencyjnym, która miała na celu ustalenie wiarygodnej dokładności korekcji różnicowej jednego z systemów SBAS - Satellite Based Augmentation System [Narkiewicz, 2003]. Zrealizowano kontrolne pomiary testowe z wykorzystaniem najprostszego trybu real-time DGPS w postaci korekcji różnicowych z systemu EGNOS. Sygnały EGNOS transmitowane są obecnie przez trzy satelity geostacjonarne: INMARSAT III Wschodni Rejon Oceanu Atlantyckiego (PRN 120), INMARSAT III Region Oceanu Indyjskiego (PRN 126) oraz ESA ARTEMIS (PRN 124). Zadaniem systemu jest wprowadzenie poprawek różnicowych zapewniających znaczne zwiększenie dokładności wyznaczanej pozycji w trzech wymiarach. Dodatkowym, ale bardzo istotnym zadaniem, jest weryfikacja danych pochodzących z systemu GPS, która ma na celu sprawdzenie czy nie wystąpiły błędy podczas transmisji lub czy nie doszło do awarii któregoś z satelitów. Korekcje te odbierane są bezpośrednio przez kanały odbiornika satelitarnego i nie wymagają stosowania dodatkowych urządzeń ani modułów. Obecnie EGNOS znajduje się w fazie modernizacji i przystosowania do udostępniania usługi bezpieczeństwa życia (Safety of Life – SoL). Serwis ten w najbliższym czasie oprócz poprawek dla sygnałów pomiarowych GNSS będzie udostępniał także informacje o wiarygodności tego systemu. Będzie posia-

dał zdolność ostrzegania użytkownika o niewłaściwym funkcjonowaniu (integryty) [Figurski 2009]. Użytkownik w ciągu sześciu sekund będzie otrzymywał informację o nieprawidłowościach w funkcjonowaniu systemu.

### **INSTRUMENTARIUM I POMIARY EKSPERYMENTALNE**

W pomiarach wykorzystano uniwersalny, jednoczęstotliwościowy odbiornik sygnałów GPS + GLONASS L1, firmy Topcon model GMS-2 wyposażony w antenę zewnętrzną PG-A5. Jest to pięćdziesięciokanałowy zintegrowany odbiornik sygnałów satelitarnych posiadający wbudowany kompas cyfrowy, cyfrową kamerę, łącze w technologii Bluetooth, port USB i port szeregowy. Ponadto odbiornik ma możliwość redukcji wielodrożności, można za jego pomocą realizować pomiary statyczne jednoczęstotliwościowe, kinematyczne oraz DGPS posiada także możliwość odbioru dodatkowych informacji oraz poprawek z systemów WAAS i EGNOS.

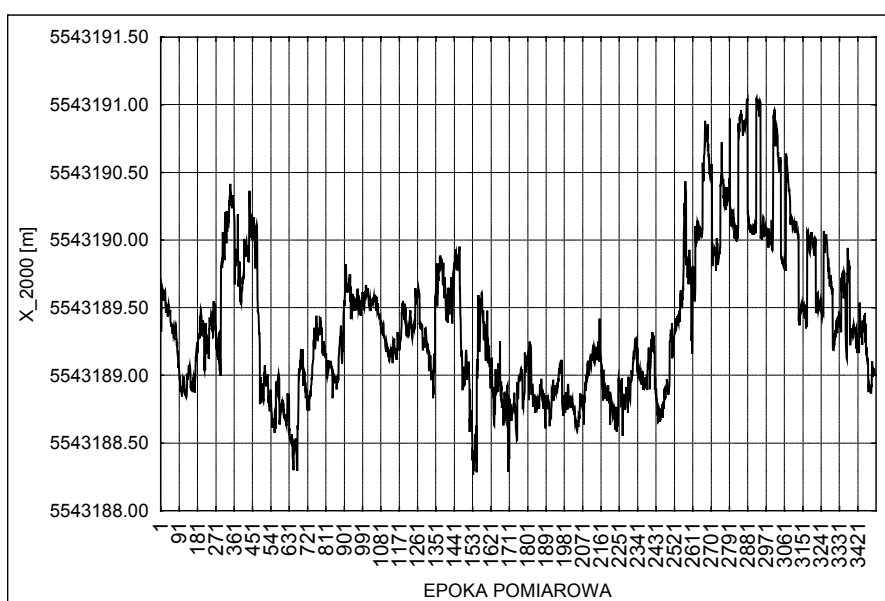


**Rysunek 1.** Antena Topcon PGA-5 na punkcie testowym  
**Figure 1.** Topcon PGA-5 antenna on test point

Pomiary kontrolne przeprowadzono w trybie ciągłym. Pomiar prowadzony był na punkcie przez 12 godzin, a obserwacje rejestrowano w interwale 10-cio sekundowym. Uzyskano w ten sposób 3508 wyznaczeń pozycji 3D. Podczas pomiaru rejestrowano następujące wielkości: numer kolejny mierzonego punktu, współrzędne ( $x$ ,  $y$ ,  $h$ ), błędy średnie wyznaczanych współrzędnych obliczane przez kontroler odbiornika w trakcie pomiaru ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_h$ ), błąd wypadkowy ( $M_p$ ), wartość współczynnika PDOP oraz liczbę obserwowanych satelitów. Wyniki zestawiono w formie tabelarycznej i poddano szczegółowej analizie na diagramach, co miało na celu określenie dostępności i jakości poprawek EGNOS na wybranym punkcie testowym (rys. 1).

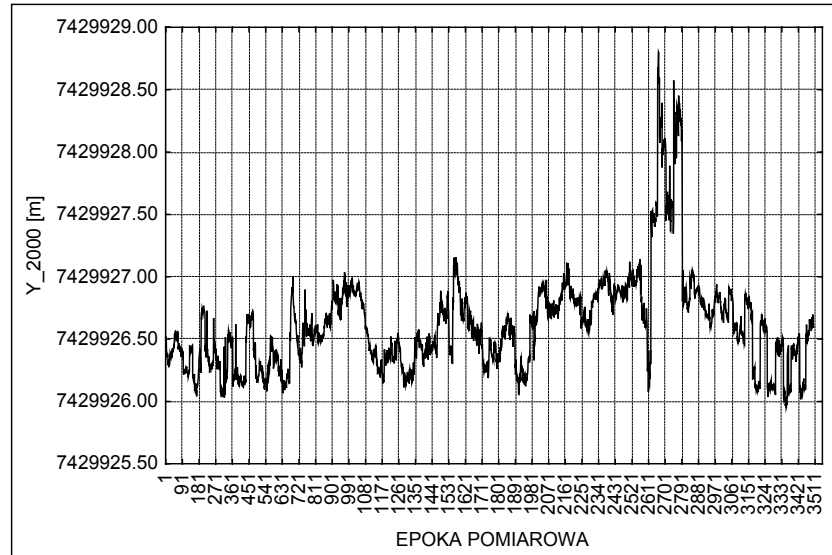
### WYNIKI MONITORINGU WSPÓŁRZĘDNYCH NA PUNKCIE TESTOWYM Z WYKORZYSTANIEM SERWISU EGNOS

Dzięki ciągłości pomiarów sygnałów GPS na analizowanym punkcie kontrolnym, wygenerowano szeregi czasowe rozwiązań współrzędnych o dużej rozdzielczości – 10 sekund (rysunek 1, 2, 3). Zawierają one lokalną charakterystykę różnych czynników wpływających na rozwiązanie współrzędnych z wykorzystaniem serwisu EGNOS.



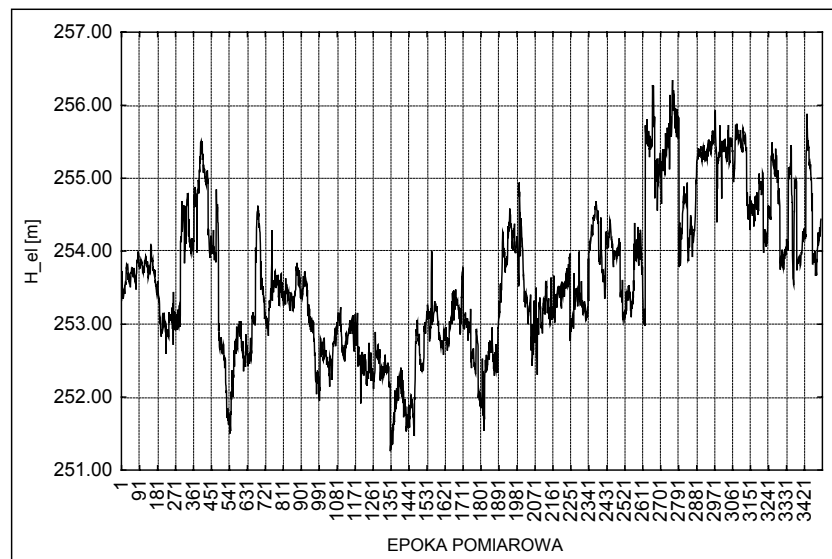
**Rysunek 2.** Szeregi czasowe współrzędnej X otrzymane w wyniku pomiaru na punkcie testowym

**Figure 2.** Time series of X coordinate as the result of measurements on test point



**Rysunek 3.** Szeregi czasowe współrzędnej Y otrzymane w wyniku pomiaru na punkcie testowym

**Figure 3.** Time series of Y coordinate as the result of measurements on test point



**Rysunek 4.** Szeregi czasowe współrzędnej H otrzymane w wyniku pomiaru na punkcie testowym

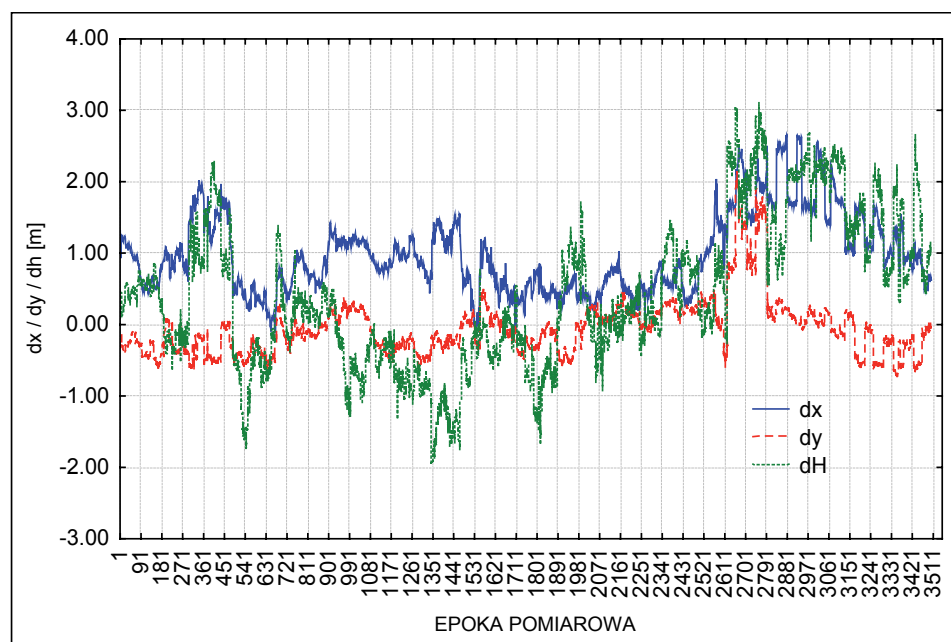
**Figure 4.** Time series of H coordinate as the result of measurements on test point

Analizując zmiany współrzędnych na punkcie kontrolnym w funkcji czasu, zauważyć można pewne okresowe zmiany poszczególnych składowych oraz przypadki zwiększonego poziomu fluktuacji. Ogólnie rozrzut uzyskanych wyników pomiarów dla współrzędnej x wyniósł 2.78 m przy odchyleniu standardowym 0.55 m, dla współrzędnej Y 2.86 m przy odchyleniu standardowym 0.40 m oraz dla współrzędnej wysokościowej H 5.09 m przy odchyleniu standardowym 1.04 m.

### ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW POMIARÓW

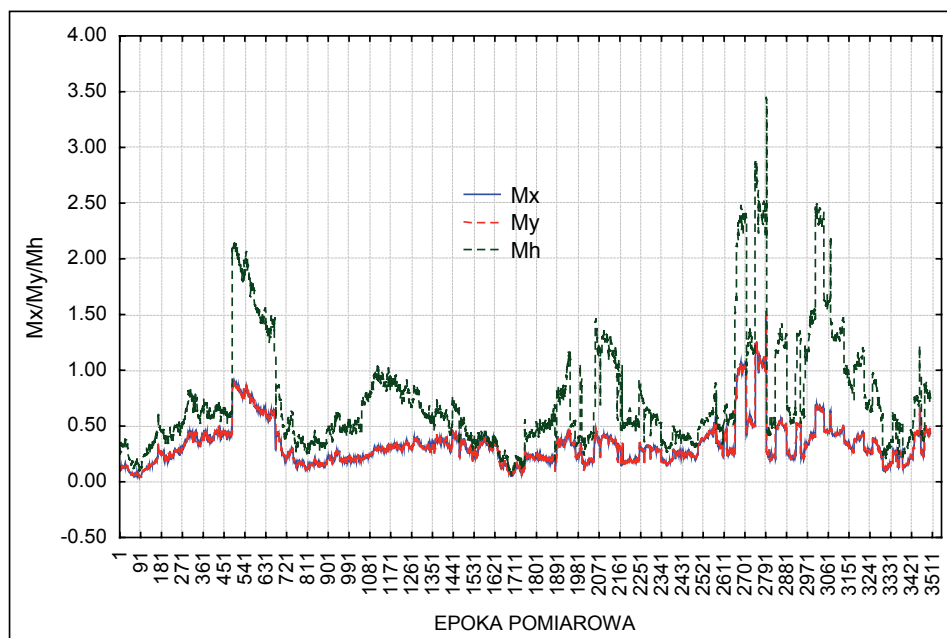
Analiza uzyskanych szeregów czasowych dostarcza nam wielu informacji na temat dokładności, niezawodności i efektywności uzyskanych rozwiązań współrzędnych, w zadanym interwale czasowym z wykorzystywaną w pomiarach korekcją EGNOS.

Na rysunku 4 przedstawiono cykl pomiarowy odchyłek ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dh$ ) wyznaczanej pozycji od współrzędnych „prawdziwych” dla poszczególnych zmiennych ( $x$ ,  $y$ ,  $H$ ). Odchyłki dla współrzędnej X zawierają się w przedziale od -0.13 m do +2.65 m dla współrzędnej Y od -0.72 m do +2.13 m a dla wysokości H od -1.97 m do +3.11 m.



**Rysunek 5.** Zbiorcze zestawienie różnic współrzędnych pomierzonych i katalogowych:  $dx$ ,  $dy$ ,  $dh$

**Figure 5.** Comprehensive list of coordinate differences, measured vs catalogue values of “time errors”  $dx$ ,  $dy$ ,  $dh$



**Rysunek 6.** Zbiornicze zestawienie błędów średnich współrzędnych (Mx, My, Mh) wyznaczanych i podawanych przez instrument podczas pomiaru

**Figure 6.** Comprehensive list of mean errors in coordinates (Mx, My, Mh) calculated vs shown on controller screen during field session

Rysunek 5 obrazuje natomiast zestawienie błędów średnich (Mx, My, Mh) wyliczanych przez instrument w analizowanym szeregu czasowym.

## WNIOSKI

Wygenerowane szeregi czasowe z rozwiązań współrzędnych punktów za pomocą odbiornika GMS-2 wspomagane korekcją EGNOS, umożliwiają analizę jakościową i ilościową krótkookresowych zmian wyznaczanych współrzędnych, na podstawie pomiarów GNSS.

Przeprowadzona szczegółowa analiza uzyskanych z pomiaru wyników pozwala stwierdzić, że GMS-2 z korekcją EGNOS zwiększa rzeczywistą dokładność wyznaczenia pozycji dla współrzędnej *x* do około 2.6 m, dla współrzędnej *y* do około 2.1 m i wysokości *H* do około 3.1 m. Może zatem zostać wykorzystany do zbierania danych dla potrzeb GIS zapewniając rejestrację współrzędnych w różnych układach oraz umożliwia dodatkowo wykonywanie dokumentacji fotograficznej.

Zauważyć należy jednak, że błędy średnie wyliczane przez instrument charakteryzują się niewielką czułością na zmianę faktycznej wartości współrzędnej i jej błąd „prawdziwy”. Analiza diagramów na rysunkach 4 i 5 wykazała, że pomimo dużych odchyłek mierzonych współrzędnych błąd średni szczególnie dla współrzędnych płaskich nie ulega widocznym zmianom. Badania wykazały, że przy wykorzystaniu przedmiotowego zestawu pomiarowego błędy średnie wyznaczanych współrzędnych wyliczane przez instrument dla współrzędnej  $x$  są o około 52% mniejsze, a dla współrzędnej  $y$  o około 40% mniejsze, w stosunku do rzeczywistych odchyłek pomiaru.

Dostępność korekcji EGNOS w analizowanym szeregu czasowym wyniosła około 81%. Można ją zwiększyć poprzez zwiększenie liczby naziemnych stacji RIMS pracujących na potrzeby serwisu. Ponadto podczas pomiaru zaobserwowano zjawisko, że odbiornik wykorzystywał mniej satelitów do rozwiązania (2 - 3 satelity) w stosunku do wszystkich dostępnych ponieważ satelity te nie otrzymywały poprawek z systemu EGNOS. Warunkiem koniecznym, aby satelita otrzymywał korekcje EGNOS musi być śledzony przez minimum 3 stacje RIMS. W naszych obszarach geograficznych wynika to przede wszystkim z małej liczby stacji RIMS znajdujących się na wschód od południka 21 stopni, ponieważ zgodnie z obszarem usług EGNOS zdefiniowanym w latach 90-tych ubiegłego wieku, wschodnia granica Polski stanowi jednocześnie wschodnią granicę EGNOS.

Pozycjonowanie GPS z wykorzystaniem korekcji EGNOS dało lepsze wyniki od pozycjonowania metodą autonomiczną. Szczególnie widoczna jest poprawa dokładności składowej wertykalnej

## BIBLIOGRAFIA

- Figurski M. *Walka o milimetry* Magazyn Geoinformacyjny Geodeta Nr 3 marzec 2009.  
Narkiewicz J. *GPS Globalny System Pozycyjny* Wydawnictwa Łączności i Komunikacji, Warszawa 2003.

Siejka Zbigniew  
Department of Land Surveying  
University of Agriculture in Krakow  
Zbigniew Siejka  
Katedra Geodezji, UR  
30-198 Kraków  
tel. kom. 602 36 82 86  
rmsiejka@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: *Prof.dr hab. Ryszard Hycner*