

SZULC Dariusz<sup>1</sup>

## WIARYGODNOŚĆ ODBIORNIKÓW NAWIGACJI SATELITARNEJ

*W artykule zaprezentowano wyniki statycznych pomiarów pozycji z wykorzystaniem wybranych odbiorników GPS. Statystyczne ujęcie wyników rejestracji ma na celu określenie wiarygodności oraz dokładności określania pozycji przez te odbiorniki w nawiązaniu do danych technicznych opisanych przez producentów.*

## CREDIBILITY OF SATELLITE NAVIGATION RECEIVERS

*The article presents the results of static measurements of selected positions using GPS receivers. Statistical recording of the results of registration is to determine the credibility and accuracy of the positioning of these receivers in relation to the technical data described by the manufacturers.*

### 1. WSTĘP

W dobie dzisiejszego tempa rozwoju wielu dziedzin naukowych ważnym stało się ich unowocześnianie, usprawnianie oraz ułatwianie użytkowania. Szczególnie widoczne jest to w geodezji i nawigacji. Dzięki postępowi technologicznemu nastąpił gwałtowny rozwój systemów satelitarnych, gdzie ciągle wprowadzane są coraz to nowe, lepsze, bardziej precyzyjne techniki pomiarowe lub systemy ich wspomaganie.

Globalny System Pozycjonowania GPS znajduje wiele zastosowań i szybko wszedł do praktycznego użytku. W pomiarach geodezyjnych bardzo wysokie wymagania stawiane są odnośnie precyzji, dokładności, szybkość otrzymywania danych oraz niezawodności. Do tego celu używa się techniki DGPS lub GPS RTK. Dodatkowym systemem wspomagającym jest system ASG EUPOS gdzie otrzymujemy wyniki w granicach kilkunastu centymetrów a nawet milimetrów w zależności od serwisu. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że dokładność systemu pozycjonowania to jedno a dokładność pozycjonowania przez odbiornik w połączeniu z odpowiednią anteną to drugi element wpływający na jakość otrzymanej pozycji.

---

<sup>1</sup>Akademia Marynarki Wojennej, d.szulc@amw.gdynia.pl

## 2. OPIS TESTOWANYCH ODBIORNIKÓW NAWIGACJI SATELITARNEJ

### 2.1 Odbiornik Mini Max firmy CSI Wireless

Odbiornik Mini Max zapewnia wysoki poziom wydajności pozycjonowania. Zapewniają to: wbudowany demodulator SBAS oraz wbudowany moduł DGPS Beacon. Mini Max umożliwia przetwarzanie surowych danych w procesie postprocessingu oraz zapewnia doskonałą jakość pomiarów fazowych.



Rys. 1. Odbiornik Mini Max firmy CSI Wireless

Najważniejsze cechy odbiornika Mini Max:

- 12-kanałowy moduł GPS ( 2 kanały przeznaczone do śledzenia SBAS)
- Poniżej metrowa pozioma dokładność wyznaczania pozycji ( $p=0.95$ )
- Nieprzetworzone dane wyjściowe (udokumentowane informacje binarne)
- Aktualizowanie pozycji i nieprzetworzonych danych z częstotliwością max. 5Hz
- e-Dif-ready – dowolna stacja bazowa w pozycjonowaniu różnicowym
- WAAS/EGNOS i Beacon posiadają zróżnicowane źródła
- Szybki czas pierwszej poprawki
- Dwa porty szeregowy dla transmisji duplexowej, z których jeden może być używany jako port wejściowy RTCM, skonfigurowane w jednym złączu DB8

### 2.2 Odbiornik Ashtech GG24 firmy Magellan Corporation

- Najważniejsze cechy odbiornika Ashtech GG24:
- Dokładność w Real-Time: Niezależny – 3,2m; Różnicowy: 40 cm
- 12 kanałów L1 Dla GPS
- 12 kanałów L1 dla GLONASS
- Wyjście danych RAW
- Modele geoidy i deklinacji magnetycznej
- Standard NMEA 0183 v 2.01
- Układy odniesienia wybierane i definiowane przez użytkownika
- Pomiar różnicowy: RTCM v 2.2
- Aktualizowanie pozycji i nieprzetworzonych danych z częstotliwością do 2 Hz
- Opcja RTK



Rys. 2. Odbiornik Ashtech GG24 firmy Magellan Corporation

### 2.3 Antena Pinwheel firmy Novatel

Dane operacyjne:

- Pasmo przepustowe 3 dB:
  - L1:  $1588.5 \pm 23.0$  MHz
  - L2:  $1236 \pm 18.3$  MHz
- Wzmocnienie LNA: 29 dB
- Wzmocnienie w zenicie ( $90^\circ$ ):
  - L1: min. +5.0 dBic
  - L2: min. + 2.0 dBic
- Współczynnik szumów: 2.0 dB
- VSWR:  $\leq 2.0 : 1$
- Opóźnienie propagacji różnicy L1-L2: max 5ns



Rys. 3. Antena Pinwheel firmy Novatel

### 2.4 Antena MGL-3 firmy CSI Wireless

Dane operacyjne:

- Zakres częstotliwości, Beacon: 283,5 – 325 kHz
- Wzmocnienie LNA, Beacon: 34dB
- Zakres częstotliwości, GPS: 1,575 GHz
- Wzmocnienie LNA, GPS: różna dostępność



Rys. 4. Antena MGL-3 firmy CSI Wireless

### 3. REJESTRACJA DANYCH POMIAROWYCH

W celu określenia pozycji w systemie GPS wykonano kilka sesji pomiarowych. Wszystkie obserwacje zostały przeprowadzone w laboratorium Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni: punkt pomiarowy 1 na budynku nr 7 oraz punkt pomiarowy 2 na budynku 353 (rys. 5). Wykonano łącznie 7 minimum 48-godzinnych sesji pomiarowych, rejestrując dane co 1 s. Dane rejestrowane były w formacie NMEA-0183. Pomiar wykonywane były w trybie GPS, DGPS oraz GPS+Glonass.



Rys.5. Widok na punkty referencyjne na terenie AMW w Gdyni.

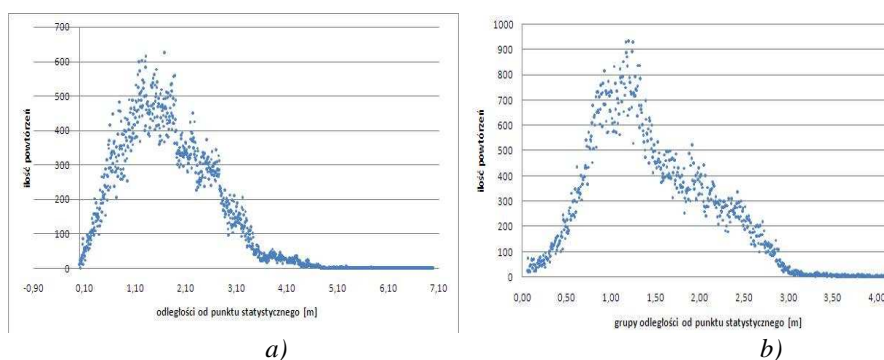
W celu zapewnienia zróżnicowanych warunków odbioru w poszczególnych seriach pomiarowych zmieniano także anteny do poszczególnych odbiorników.

Tab. 1. Przypisanie odbiorników i anten do trybów wykonanych pomiarów

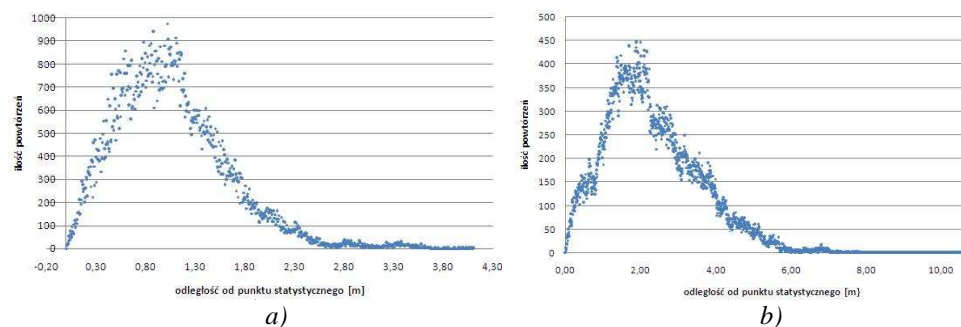
Odbiornik + antena	MiniMax + MGL-3	MiniMax + Pinwheel	Ashtech + Pinwheel
Tryb GPS	X	X	X
Tryb DGPS	X		
Tryb GPS + Glonass			X

#### 4. OPIS STATYSTYCZNY ZAREJESTROWANYCH OBSERWACJI

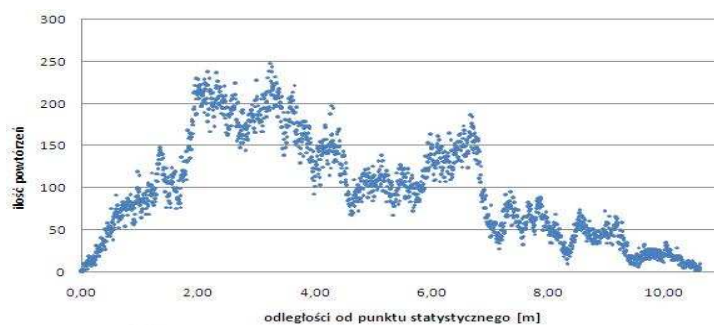
##### 4.1 Częstość występowania danego wyniku w zależności od odległości od punktu statycznego



Rys. 5. Ilość powtórzeń danego pomiaru w zależności od odległości od punktu statycznego odbiornika Mini Max z anteną MGL-3 a) dla trybu GPS b) dla trybu DGPS



Rys.6. Ilość powtórzeń danego pomiaru w zależności od odległości od punktu statycznego dla trybu GPS a) odbiornika Mini Max z anteną Pinwheel, b) dla trybu GPS odbiornika Ashtech z anteną Pinwheel

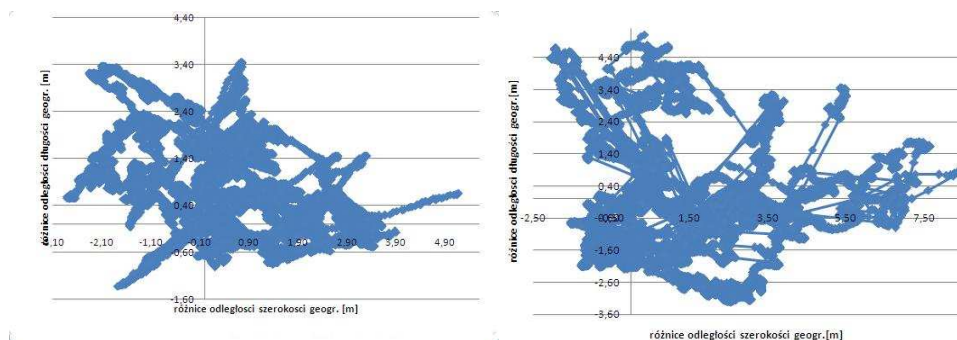


Rys. 7. Ilość powtórzeń danego pomiaru w zależności od odległości od punktu statycznego dla trybu GPS+Glonass odbiornika Ashtech z anteną Pinwheel

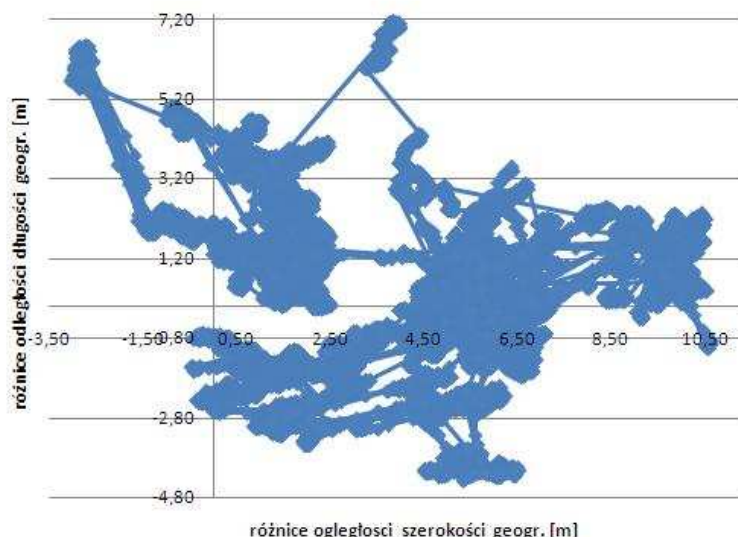
Spośród wszystkich pomiarów najlepsze wyniki otrzymane są z odbiornika Mini Max pracującego z anteną Pinwheel w trybie GPS oraz pomiar tym samym odbiornikiem w trybie DGPS z anteną MGL-3, gdzie liczące się zagęszczenie punktów mieści się w odległości do 3 m. W obu jednak przypadkach najczęściej powtarzających się danych pomiarowych mieści się w przedziale 0,6 - 1,5 m. Nieco gorsze wyniki uzyskane zostały z trybu GPS dla Mini Max z jego oryginalną anteną. Odbiornik Ashtech pokazuje nawet 4-metrowe i bardziej rozrzucone odległości od punktu statycznego. GPS+Glonass nie dał oczekiwanych rezultatów a współrzędne są aż do 11 m odsunięte od zamierzonego wyniku.

Odbiornik Mini Max z anteną MGL-3 w trybie DGPS osiągnął aż 40% wyników w najmniejszym przedziale, czyli do 0,6 m. W tym przypadku odległości od punktu głównego rozłożone na 2 grupy, więc ponad 90% danych mieści się w granicy do 2,4m. Pomiar DGPS Mini Max-em z anteną MGL-3, z definicji, po raz kolejny przewyższa GPS z tą samą anteną, a także GPS mierzony odbiornikiem Ashtech. Tryb GPS+Glonass wskazuje najczęściej wartości powyżej 6 m. Oznacza to, że daje on najmniej dokładne i najbardziej oddalone od punktu statycznego pomiary.

#### 4.2 Wybrane rozkład odległości zarejestrowanych danych od punktu statycznego w przestrzeni dwuwymiarowej



Rys. 8. Dwuwymiarowy rozkład odległości od punktu statycznego w trybie GPS dla odbiornika a) Mini Max z anteną MGL-3 b) Ashtech z anteną Pinwheel



Rys. 9. Dwuwymiarowy rozkład odległości od punktu statycznego w trybie GPS+Glonass dla odbiornika Ashtech z anteną Pinwheel

Wykresy w przestrzeni dwuwymiarowej mają tendencję północno wschodnią. Większość punktów oddalonych od środków układów współrzędnych umieszczona jest w pierwszych ćwiartkach. Najbliższe skupienie danych pomiarowych wokół punktu statycznego pokazuje odbiornik Mini Max z anteną Pinwheel w trybie GPS, jednocześnie dane nie są porzucane jak w przypadku reszty wykresów, lecz są zbite razem. Punkty są również równo rozmieszczone w poszczególnych ćwiartkach, czyli 24-26%. Zbliżony procent rozmieszczeń na wykresie ma tryb GPS mierzony Ashtechem, ale w tym przypadku równomierne rozmieszczenie nie przekłada się na minimalizację odległości od punktu statycznego. Punkty porzucane są prawie do 8 m na wschód. DGPS mierzony odbiornikiem Mini Max wskazuje minimalną ilość punktów w jednej z ćwiartek, co nie ma większego wpływu na odległości, gdyż DGPS jest jednym z najbardziej dokładnych pomiarów. Jedynie wykres wygląda na nieco przesunięty na północny wschód. Najwięcej punktów, w przypadku trybu GPS dla Mini Max i anteny MGL-3, znajduje się w północnej części układu. Jednak są to punkty znacznie bardziej porzucane niż w przypadku tego samego odbiornika i tej samej anteny dla trybu DGPS. Najgorzej wypadł GPS+Glonass, gdzie punkty nie są zbyt skupione obok siebie a i odległości do punktu głównego są największe spośród wszystkich przypadków.

#### 4.3 Miary tendencji centralnej i rozproszenia danych

##### Współrzędne punktów statycznych:

- Na dachu budynku nr 353:

$$\varphi = 54^{\circ}32,658111' \quad \lambda = 018^{\circ}32,771015'$$

- Na dachu budynku nr 7:

$$\varphi = 54^{\circ}32,619303' \quad \lambda = 018^{\circ}32,649863'$$

Tab. 2. Zestawienie liczb środkowych

Mediana	GPS: Mini Max + MGL-3 /353/	DGPS: Mini Max + MGL-3 /353/	GPS: Mini Max + Pinwheel /7/	GPS: Ashtech + Pinwheel /7/	GPS+Glonass: Ashtech + Pinwheel /7/
Szerokość geograficzna	54°32,65864`	54° 32,65859`	54° 32,61934`	54° 32,6191`	54°32,619`
Długość geograficzna	18°32,77128`	18° 32,77135`	18° 32,64987`	18°32,64989`	18°32,651`
Odległość od punktu statycznego [m]	1,6470	1,316174059	0,995507846	2,11229171	3,8606629

Tab. 3. Zestawienie najczęściej występujących pozycji

Dominanta	GPS: Mini Max + MGL-3 /353/	DGPS: Mini Max + MGL-3 /353/	GPS: Mini Max + Pinwheel /7/	GPS: Ashtech + Pinwheel /7/	GPS+Glonass: Ashtech + Pinwheel /7/
Szerokość geograficzna	54° 32,6584`	54°32,65859`	54°32,61959`	54°32,61869`	54° 32,619`
Długość geograficzna	18°32,77158`	18°32,77132`	18°32,64989`	18°32,64997`	18° 32,651`
Odległość od punktu statycznego [m]	0,779143408	1,160093441	1,107948979	1,91381339	1,4782437



Tab. 4. Zestawienie odchyleń standardowych

Odchylenie standardowe	GPS: Mini Max + MGL-3 /353/	DGPS: Mini Max + MGL-3 /353/	GPS: Mini Max + Pinwheel /7/	GPS: Ashtech + Pinwheel /7/	GPS+Glonass: Ashtech + Pinwheel /7/
Szerokość geograficzna	0,00051196	0,0004335	0,00045571	0,0009787	0,001093
Długość geograficzna	0,000563677	0,00039289	0,00045285	0,0010224	0,001522
Odległość od punktu statycznego [m]	0,861837863	0,641460298	0,551944587	1,22927661	2,3189981

Tab. 5. Zestawienie wariancji

Wariancja	GPS: Mini Max + MGL-3 /353/	DGPS: Mini Max + MGL-3 /353/	GPS: Mini Max + Pinwheel /7/	GPS: Ashtech + Pinwheel /7/	GPS+Glonass: Ashtech + Pinwheel /7/
Szerokość geograficzna	0,0000003	0,00000019	0,00000021	0,00000096	0,00000119
Długość geograficzna	0,0000003	0,00000015	0,00000021	0,00000105	0,00000232
Odległość od punktu statycznego [m]	0,742764502	0,411471314	0,304642827	1,51112098	5,377752

## 5. WNIOSKI

Rejestracja danych pomiarowych odbywała się z użyciem: odbiorników Mini Max i Ashtech; antenami MGL-3 i Pinwheel oraz w trybie GPS, DGPS, GPS+Glonass na dachach budynków 7 oraz 353 terenu Akademii Marynarki Wojennej podczas dobrych warunków pogodowych. Najlepszym zestawem okazał się odbiornik Mini Max i antena Pinwheel pracujące w trybie GPS. Uzyskał on najlepsze wyniki pomiarów w niemal wszystkich rozpatrywanych kategoriach. Skupienie pomiarów najbliżej punktu statycznego oraz ich rozkład było w tym przypadku największe. Znaczna większość

wyników odsunięta była tylko do 2,4 m od punktu referencyjnego. Wybranie tego zestawu pomiarowego jest najlepszą możliwą konfiguracją. Drugim dobrym wynikiem był tryb DGPS tego samego odbiornika z anteną MGL-3. Z założenia, DGPS powinien podawać dokładniejszą pozycję, jednak w tym przypadku różnica anten miała ogromne znaczenie.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Krupowicz A.: *Metody numeryczne zagadnień początkowych równań różniczkowych zwyczajnych*, Warszawa, PWN 1986.
- [2] Felski A.: „Satelitarne systemy nawigacji i bezpieczeństwa żeglugi” Gdynia 1997
- [3] Januszewski J.: „System GPS i inne systemy satelitarne w nawigacji morskiej” Gdynia, 2004
- [4] Januszewski J.: “Problemy eksploatacyjne system GPS w transporcie morskim” Gdynia, 2008
- [5] Specht C.: „System GPS”, Pelplin, 2007
- [6] National Marine Electronics Association - NMEA 0183 – Standard For Interfacing Marine Electronic Devices, version 2.30, 1998