

KRÓL Artur<sup>1</sup>  
STUPAK Tadeusz<sup>2</sup>

## BADANIE KOMPASU GPS W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

*W artykule przedstawiono wyniki badań wskazań kompasu satelitarnego w stosunku do żyrokompasu przeprowadzonych na statku „Horyzont II”. Badania prowadzono podczas cyrkulacji statku przy różnych wychyleniach steru i gdy statek utrzymywał stały kurs.*

## GPS COMPASS INVESTIGATION IN REAL CONDITIONS

*The comparison of GPS compass indications to gyrocompass performed on the ship "Horyzont II" are presented in the article. The investigation was conducted during circulations with different rudder angle and when the ship was on steady course.*

### 1. WSTĘP

System nawigacji satelitarnej pozwala wyznaczać pozycję obserwatora a na podstawie jej zmian wyznaczyć kurs drogi nad dnem (ang. COG – course over ground) i prędkość statku nad dnem (ang. SOG – speed over ground).

Błędy systemów nawigacji satelitarnej, ograniczające dokładność lokalizacji, można podzielić na:

- błędy propagacji sygnału (opóźnienie jonosferyczne i troposferyczne),
- błędy wynikające z efektów relatywistycznych,
- błędy działania systemu, czyli powstające w segmencie kosmicznym i naziemnym (błędy efemeryd satelitów, błędy zegarów satelitów względem skali czasu systemu nawigacyjnego, błędy rozmycia pozycji DOP, błędy wielotorowości),
- błędy odbiorników (błędy segmentu użytkowników).

W normie PL-EN 61108-1:2000 określono wymagania dotyczące wyznaczenia kąta drogi nad dnem statku podane w tabeli 1.

---

<sup>1</sup> Akademia Morska, Wydział Nawigacji, 81-345 Gdynia, al. Jana Pawła II 3, Tel.: +48 58 690-11-27, E-mail: arturka@am.gdynia.pl

<sup>2</sup> Akademia Morska, Wydział Nawigacji, 81-345 Gdynia, al. Jana Pawła II 3, Tel.: +48 58 690-11-27, E-mail: stupak@klif.am.gdynia.pl

Tab. 1. Wymagana norma dokładność COG[4]

Zakres prędkości [w]	Dokładność wyjścia COG [°]
0 do < 1	Nieemożliwa do wyznaczenia
>1 do <17	± 3
>17	±1

Odnośnie ograniczeń odbiornika GPS przedstawionych w niniejszej normie, nie odnoszą się one do błędów wyznaczenia kąta drogi nad dnem statku podczas ruchu o wysokiej dynamice. Te ograniczenia mają być podane w fabrycznej instrukcji obsługi [4]. Natomiast nie ma przepisów dotyczących kompasów GPS. W artykule przedstawione są badania takiego urządzenia przeprowadzone na statku Akademii Morskiej „Horyzont II” w bieżącym roku.

## 2. WIELOANTENOWY ODBIORNIK GPS – KOMPAS SATELITARNY. BUDOWA, DZIAŁANIE, DOKŁADNOŚĆ

Kompas satelitarny jest stosunkowo nowym urządzeniem, stosowanym głównie na statkach specjalistycznych. Ten wieloantenny odbiornik systemu satelitarnego GPS poza typowymi funkcjami, jest w stanie określić kąt orientacji przestrzennej jednostki, czyli kurs rzeczywisty (kierunek, w który zwrócony jest dziób – *heading* [HDG]). Kompas satelitarny należy do grupy urządzeń do przekazywania kursu, które zostały zdefiniowane w Rezolucji IMO MSC 116(73) i dodane do konwencji SOLAS. Urządzenie to musi być zainstalowane na każdym statku o pojemności brutto pomiędzy 300 a 500, o ile nie jest on wyposażony w żyrokompas oraz na statku pasażerskim typu HSC (High SpeedCraft), który może pomieścić maksymalnie 100 pasażerów, jeśli także nie ma zainstalowanego żyrokompasu.[2]

Kompas satelitarny wyznacza kierunek z różnicy pozycji dwóch anten położonych blisko siebie. Błąd określenia pozycji anteny jest znacznie większy niż odległość pomiędzy antenami, ale błąd ten dla obu anten jest taki sam w danym momencie.

## 3. KONFIGURACJA I SPECYFIKACJA KOMPASU SATELITARNEGO FURUNO SC-50

Do badań użyto kompasu satelitarnego japońskiej firmy Furuno. Elementy składowe kompasu satelitarnego Furuno SC-50 to:

- trójosiowa antena,
- wyświetlacz,
- jednostka centralna.

Specyfikacja nawigacyjna urządzenia:

- dokładność kursu: ± 1,0°,
- podział skali: 0,1°,
- prędkość nadążna: 45°/s,
- czas dostrajania: 3 minuty,
- dokładność pozycji: 10 m lub 5 m (DGPS), 95% czasu.

#### 4. ZASADA DZIAŁANIA KOMPASU SATELITARNEGO FURUNO SC-50

Kurs statku można wyznaczyć poprzez rozkodowanie danych częstotliwości nośnej obok innych danych odbieranych przez odbiorniki GPS. Wzdłuż osi statku montuje się dwie anteny – A1 (tylną) i A2 (przednią). Anteny podłączone są do odbiornika GPS, który w punktach A1 i A2 oblicza pseudoodległości oraz azymuty do satelitów. Różnica odległości pomiędzy A1 i A2 wyznaczana jest precyzyjnie za pomocą różnicy faz sygnałów odebranych przez poszczególne anteny.

Antena A3 służy do kompensacji wpływu kołysania wzdłużnego i boczno-kołysania statku.

#### 5. DOKŁADNOŚĆ WYZNACZANIA KURSU RZECZYWISTEGO W KOMPASIE SATELITARNYM

Rezolucja IMO MSC 116(73) wskazuje, jakie wymagania dokładnościowe ma posiadać kompas satelitarny. Wymagania te powinny być spełnione w następujących warunkach żeglugi: w warunkach dynamicznych, w szerokościach do  $60^\circ$ , przy kołysaniu poprzecznym i wzdłużnym prostym ruchem harmonicznym o okresie od 6 do 15 sekund, przy kącie kołysania maksimum  $5^\circ$  i maksymalnym poziomie przyspieszenia  $0,22 \text{ m/s}^2$ .

Dokładność wskazań wymagana przez Rezolucję IMO 116(73) dopuszcza następujące wartości:

- błąd transmisji łącznie z błędem rozróżnialności – mniejszy niż  $\pm 0,2^\circ$ ,
- błąd statyczny – mniejszy niż  $\pm 1,0^\circ$ ,
- błąd dynamiczny – mniejszy niż  $\pm 1,5^\circ$ . Jeżeli amplituda zmian błędów dynamicznego przekracza  $\pm 0,5^\circ$ , to częstotliwość tych zmian powinna być mniejsza niż  $0,033 \text{ Hz}$  (co odpowiada okresowi nie krótszemu niż 30 s),
- błąd nadążania dla różnych prędkości powinien wynosić – mniej niż  $\pm 0,5^\circ$  przy prędkości zwrotu do  $10^\circ/\text{s}$ , mniej niż  $\pm 1,5^\circ$  przy prędkości zwrotu od  $10^\circ/\text{s}$  do  $20^\circ/\text{s}$ .

W Zeszytach Naukowym Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, Nr 4 (175), 2008r, opublikowano artykuł pt. *Pierwsze doświadczenia z eksploatacji kompasu satelitarnego* autorstwa Andrzeja Felskiego i Aleksandra Nowaka [1]. Autorzy tej publikacji przeprowadzili eksperyment z wykorzystaniem kompasu satelitarnego Crescend Vector 100. Pomiary w liczbie 25 000 wykonano przy domyślnych nastawach urządzenia, w warunkach stacjonarnych, w odstępach jednosekundowych. Autorzy uzyskali średnią wartość kursu z całej populacji wynoszącą  $87,748^\circ$  z odchyleniem standardowym  $1,355^\circ$ . Wynik odbiegał od wartości błędów opisanego w specyfikacji urządzenia –  $0,3^\circ$ . Jak stwierdzili autorzy, powodem takiej różnicy była niekorzystna konfiguracja satelitów systemu GPS.

Analizując zmiany kursu w krótszych przedziałach czasowych, autorzy uzyskali wartość odchylenia standardowego równą  $0,5^\circ$ , co było bliskie wskazaniu producenta.

Innego rodzaju badania przeprowadzono na statku Akademii Morskiej w Gdyni „Horyzont II” w dniu 19 października 2010. Porównywano wskazania kompasu GPS z żyrokompasem podczas manewrów cyrkulacji statku i następnie żeglugi na stałym kursie.

Tab. 2. Dane statku „Horyzont II”[5]

L.p.	Parametr	Wartość
1	Rok budowy i miejsce	2000. - Gdańsk
2	Pojemność brutto	1321
3	DWT	288
4	Długość całkowita	56,34 m
5	Szerokość	11,36 m
6	Zanurzenie	3,90 m
7	Wysokość masztu od linii wodnej	21,75 m
8	Prędkość	12 węzłów
9	Moc silnika głównego	1280 kW

Podczas badań wiał wiatr z kierunku 191° z prędkością 12m/s, stan morza wynosił 3B. W czasie pomiarów rejestrowano w odstępach jednosekundowych pozycje statku z odbiornika kompasu satelitarnego Furuno SC-50 oraz w odstępach dwusekundowych kurs żyrokompasowy. Porównania parametrów dokonano dla wspólnych momentów. Podstawowe parametry użytych urządzeń podano w tabelach 3 i 4.

Tab. 3. Dane żyrokompasu Raytheon-Anschitz typ Standard 20 110-800[5]

L.p.	Parametr	Wartość
1	Błąd nastawy	$\leq \pm 0,1^\circ \pm \bullet \text{sec}_{LAT}$
2	Błąd statyczny	$\leq \pm 0,1^\circ \pm \bullet \text{sec}_{LAT}$ , RMS
3	Błąd dynamiczny	$\leq \pm 0,4^\circ \pm \bullet \text{sec}_{LAT}$
4	Prędkość nadążna	70°/s
5	Czas nastawy	3 h

Tab. 4. Parametry kompasu satelitarnego GPS Furuno S.C.-50[3]

L.p.	Parametr	Wartość
1	Liczba kanałów pomiarowych	12
2	Kod odbioru	C/A, WAAS
3	Dokładność pozycji GPS	10 m (95%)
4	Dokładność pozycji DGPS	5 m(95%)

Wykonano cyrkulacje statku przy różnych wychyleniach steru na prawą burzę. Parametry podano w tabeli 5.

Tab. 5. Cyrkulacje statku

L.p.	Wchylenie steru [deg]	Kurs początkowy [deg]	Czas rozpoczęcia zwrotu	Prędkość kątowna zwrotu [deg]
1	5	092	09:39:51	92
2	10	095	09:46:31	105
3	15	115	09:51:31	135
4	20	145	09:57:13	155
5	25	182	10:02:55	170
6	30	215	10:06:41	210

Dla powyżej podanych manewrów obliczono średni błąd wskazań kompasu GPS w stosunku do wskazań żyrokompasu. Wyniki przedstawiono w tabeli 5. Obliczono średnia wartość różnic wskazań dla całego manewru oraz najmniejszą i największą zanotowaną wartość.

Tab. 6. Wyniki pomiarów

L.p.	Cyrkulacja	$\sigma$ [deg]	$\sigma_{\max}$ [deg]	$\sigma_{\min}$ [deg]	Opóźnienie czasowe [s]
1	5° PB	8,7	21,2	0,0	4
2	10° PB	12,8	50,2	2,7	6
3	15° PB	14,7	30,6	0,5	5
4	20° PB	15,8	28,5	1,8	5
5	25° PB	15,7	33,2	1,5	6
6	30° PB	12,2	41,4	0,5	5

$\sigma$  - średnia różnica pomiędzy COG i HDG dla danej serii pomiarów

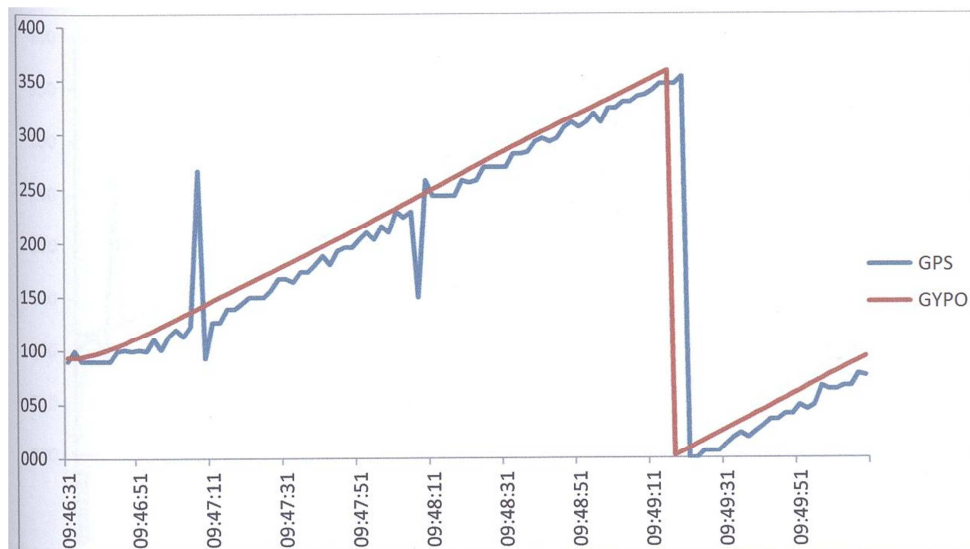
$\sigma_{\max}$  - największa różnica pomiędzy COG i HDG dla danej serii pomiarów

$\sigma_{\min}$  - najmniejsza różnica pomiędzy COG i HDG dla danej serii pomiarów

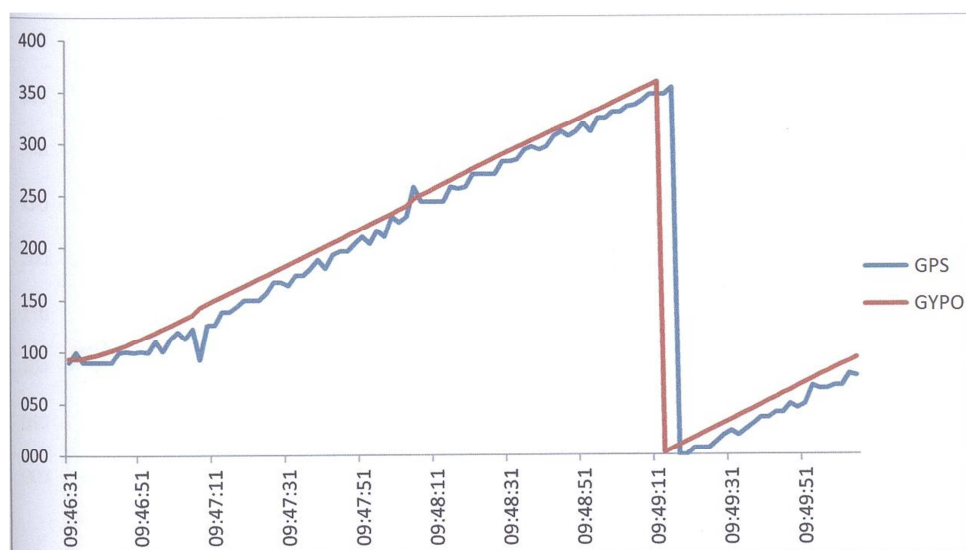
$\sigma_w$  -13,3° – średnia różnica dla wszystkich pomiarów.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że kąt drogi nad dnem odznacza się małą korelacją w stosunku do kursu żyrokompasowego statku podczas manewru cyrkulacji. Średnia różnica pomiędzy COG i HDG wynosi ze wszystkich pomiarów wynosi 13,3°. We wszystkich pomiarach wartości bezwzględne różnic wynoszą od zera do kilkudziesięciu stopni.

Analizując przebiegi obu kursów można zauważyć opóźnienie czasowe wskazań kompasu satelitarnego w stosunku do żyroskopowego (wyraźnie widoczne przy przejściu przez kurs 360°). Jest to główna przyczyna występowania różnic. Opóźnienie to powodowane jest metodą obliczenia COG przez odbiornik nawigacyjny.



Rys. 1. Cyrkulacja – wychylenie steru  $10^\circ$  PB  
 Początek cyrkulacji: 09:46:21 LT. Koniec cyrkulacji: 09:50:09 LT. Czas manewru: 00:03:38. Prędkość kątowna:  $105^\circ/\text{min}$ .



Rys. 2. Cyrkulacja statku – wychylenie steru  $10^\circ$  PB. Z błędami grubymi.

Tab. 7. Stały kurs

Kurs odniesienia	094,8°
Średnia SOG	3,5 kt
Średni COG z całej serii	094,6°
Odchylenie standardowe	0,6°
Największe zarejestrowane wskazanie COG	096,0°
Najmniejsze zarejestrowane wskazanie COG	092,5°
Średnia różnica pomiędzy kursem odniesienia a COG średnim	0,5°
Największa różnica	2,3°
Najmniejsza różnica	0,0°
Wymagana dokładność	±3°, <091,8° ; 097,8°>

Po zakończeniu manewrów statek utrzymywał stały kurs. Zmiany kursu w tym czasie były bardzo małe, co spowodowało, że różnice wskazań obu przyrządów były niewielkie. Potwierdza to przydatność kompasu GPS dla statków. Pozwala on uzyskać wiarygodne wskazania kursu jednostki, a cena jego jest wielokrotnie niższa niż kompasu żyroskopowego. W tabeli 7 podano wyniki rejestracji danych w tej fazie eksperymentu.

## 6. PODSUMOWANIE

Kąt drogi nad dnem jest bardzo istotnym parametrem ruchu statku. Klasyczny, jedno antenowy odbiornik GPS wyznacza go na podstawie kolejnych pozycji. Dokładność tych wskazań zależy od dokładności wyznaczonych pozycji, prędkości statku i czasu filtracji.

Wskazania kompasu GPS korzystającego z układu anten są dokładniejsze, ponieważ mierzy on różnice położenia anten w tej samej epoce pomiarowej, a więc są obarczone tymi samymi błędami, które można kompensować.

Eksperyment wykazał, że kompas GPS pozwala na uzyskanie wysokiej dokładności wskazań, gdy statek utrzymuje stałe parametry ruchu. Większe różnice wskazań kompasu GPS w stosunku do kompasu żyrokompasowego występują podczas manewru jednostki. Występuje opóźnienie czasowe wskazań kompasu satelitarnego mające związek z dynamiką wykonywanego manewru..

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Felski A., Nowak A., *Pierwsze doświadczenia z eksploatacji kompasu satelitarnego*, w: Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej Nr 4 (175), Wydawnictwo Akademii Marynarki Wojennej, Gdynia 2008.
- [2] Narkiewicz J., *GPS i inne satelitarne systemy nawigacyjne*, wyd. 1, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2007.
- [3] *Furuno operator's manual. Satellite compass – model SC-50*, Furuno Electronics CO., LTD. Nishinomiya, Japan.
- [4] *PL-EN 61108-1:2000 Urządzenia i systemy nawigacji i radiokomunikacji morskiej -- Globalne satelitarne systemy nawigacyjne (GNSS) -- Część 1: Globalny system określania pozycji (GPS) -- Urządzenia odbiorcze -- Normy dotyczące działania, metody badań i wymagane wyniki badań*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2000.
- [5] <http://www.am.gdynia.pl/html/armator/grafika/galeria/foto35.jpg>.