

Krzysztof Róžański, Andrzej Felski

Akademia Marynarki Wojennej

Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej

81-103 Gdynia, ul. J. Śmidowicza 69

e-mail: A.Felski@amw.gdynia.pl

KOMPAS SATELITARNY JAKO KOMPAS NA REJONY POLARNE

STRESZCZENIE

W ostatniej dekadzie coraz powszechniejsze zastosowanie znajdują tzw. kompasy satelitarne (specyficzna odmiana odbiorników nawigacji satelitarnej), które poza standardowymi dla odbiorników systemu GPS informacjami pozwalają wyznaczać kąty orientacji przestrzennej nosiciela. Atrakcyjność tych kompasów zdaje się wzrastać wraz ze wzrostem szerokości geograficznej akwenu, w przeciwieństwie do tradycyjnych rozwiązań magnetycznych i żyroskopowych, które w tych rejonach wykazują istotne niedoskonałości. W artykule opisano badania istotnych własności pomiarowych wybranych konstrukcji kompasów satelitarnych w rejonach polarnych obejmujących wody okalające Spitsbergen oraz na Zatoce Gdańskiej.

Słowa kluczowe:

kompas satelitarny, nawigacja morska, rejony polarne, Zatoka Gdańska.

WSTĘP

Możliwość ustalenia kątów orientacji przestrzennej przemieszczającego się obiektu jest jednym z podstawowych wymogów każdego rodzaju nawigacji. W odniesieniu do nawigacji morskiej można sprowadzić problem do orientacji jednej z głównych osi jednostki pływającej (dalej: jednostki) w płaszczyźnie horyzontu względem kierunku północy, czyli do określenia kursu. Od XII wieku wykorzystuje się w tym celu magnetyzm ziemski, a od początku wieku XX — ruch wirowy Ziemi

(żyrokompassy). Oba rozwiązania nie są jednak doskonałe i poszukiwania nowych możliwości pomiaru kursu nadal trwają. Stosowane obecnie kompasy, zarówno magnetyczne, jak i żyroskopowe, cechują się wieloma niedoskonałościami. W odniesieniu do kompasu magnetycznego należą do nich w szczególności: wpływ anomalii magnetycznych, przemieszczanie się bieguna magnetycznego oraz wpływ pól zakłócających, a w odniesieniu do kompasu żyroskopowego: zależność od prędkości oraz przyspieszeń jednostki. Ponadto przy stosowaniu kompasu żyroskopowego należy wziąć pod uwagę ograniczenia techniczne i finansowe, takie jak relatywnie duże zapotrzebowanie na energię elektryczną i długi czas przygotowania do pracy, koszty produkcji i serwisowania. Szczególnym zagadnieniem jest wpływ szerokości geograficznej na możliwość wykorzystania kompasów, których zastosowanie jest ograniczone w rejonach polarnych¹.

Rozwój technik nawigacji i geodezji satelitarnej opartych na nawigacyjnych systemach satelitarnych doprowadził do prób ustalania kursu na podstawie sygnałów pochodzących od sztucznych satelitów Ziemi. W efekcie opracowano urządzenia występujące pod handlową nazwą kompasów satelitarnych. Duże zasługi dla powstania tej grupy urządzeń nawigacyjnych ma grupa profesora Lachapelle'a z uniwersytetu w Calgary, gdzie na przełomie XX i XXI wieku opublikowano wiele prac w tym zakresie, między innymi [8, 12, 6]. W Polsce informacje na ten temat można znaleźć w [2, 3].

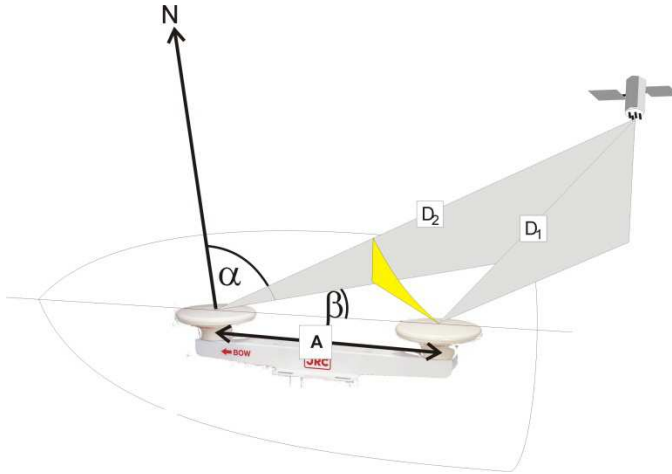
Zdaniem wielu specjalistów w chwili obecnej popularność i dostępność kompasów żyroskopowych zdaje się wykluczać potrzebę poszukiwania innych źródeł informacji o kursie, zwłaszcza wobec obowiązujących uregulowań prawnych, w szczególności konwencji wymagających wyposażenia statków w kompas żyroskopowy. Jednak wspomniane koszty, ograniczenia techniczne tych urządzeń oraz gwałtowny wzrost liczby jednostek niewielkich, niepodlegających konwencji SOLAS i jednostek bardzo szybkich, na których tradycyjny kompas żyroskopowy okazuje się nieprzydatny, powodują, że zainteresowanie alternatywnymi źródłami informacji o kursie jest znaczne.

¹ Warto pamiętać o pojęciu tzw. szerokości geomagnetycznej, odpowiedniku pojęcia szerokości geograficznej, jednak wobec przesunięcia bieguna magnetycznego względem geograficznego niekiedy efekty te potęgują się (np. aktualnie w Kanadzie na szerokościach znacznie niższych niż szerokość Spitzbergenu, a na Oceanie Indyjskim nawet poniżej 60°).

Kompasem satelitarnym nazywane jest urządzenie, które dzięki synchronicznym pomiarom sygnałów od satelitów GPS przez co najmniej dwa odbiorniki może określić kierunek między antenami tych odbiorników. Jeśli anteny są w trwały sposób połączone z okrętem, oznacza to również ustalenie orientacji kadłuba. W przypadku większej liczby anten możliwe są także pomiary dodatkowych kątów orientacji (przechył, przegłębienie). Długość bazy pomiarowej w takich urządzeniach (odległość pomiędzy antenami) waha się na ogół od 0,5 do 5,0 m, przy czym wzrost odległości wpływa korzystnie na dokładność pomiaru. Wielką zaletą tych urządzeń w stosunku do żyrokompasów jest niewielki pobór mocy (co najwyżej kilkanaście watów), bardzo krótki czas do uruchomienia i brak zależności od dynamiki jednostki, co sprawia, że największe zainteresowanie tymi urządzeniami przejawiają armatorzy niewielkich i szybkich jednostek.

ZASADA DZIAŁANIA KOMPASU SATELITARNEGO

Kompas satelitarny to specyficzny zespół odbiorników GPS-RTK, którego zadaniem jest, w oparciu o pomiary fazowe, wyznaczenie wektora łączącego zamocowane na statku, często we wspólnej obudowie anteny urządzenia. Do najczęściej występujących należą rozwiązania z dwiema lub trzema antenami, jednak zdarzają się również rozwiązania czteroantenowe. W przypadku zastosowania dwóch anten możliwe jest ustalenie (drogą satelitarną, bez dodatkowych czujników) dwóch stopni swobody łączącego je wektora (kurs statku oraz przechył albo przegłębienie). Niektóre kompasy na podstawie pomiarów satelitarnych obliczają także amplitudę poruszania się anteny w pionie (co ma odpowiadać nurzaniu statku na fali i może służyć przykładowo do wyeliminowania zafalowań z obrazu dna na echosondzie). Schemat zasady funkcjonowania kompasu satelitarnego na przykładzie dwuantenowego urządzenia zaprezentowano na rysunku 1.



Rys. 1. Zasada pomiarów kompasem satelitarnym

Źródło: opracowanie własne.

Sygnal z satelity GPS odbierany jest przez dwie anteny umieszczone w linii równoległej do płaszczyzny symetrii jednostki (może być również odchylona o znany kąt). Różnica pseudoodległości anten do satelity $D_2 - D_1$ przy znanej długości bazy A pozwala obliczyć kąt β pomiędzy diametralną jednostki (w tym wypadku kierunkiem bazy) a rzutem różnicy $D_2 - D_1$ na płaszczyznę horyzontu

$$\cos\beta = \frac{D_2 - D_1}{A}. \quad (1)$$

Ponieważ równocześnie odbiornik oblicza azymut α na satelitę (na podstawie almanachu lub efemeryd), to jest oczywiste, że suma kątów α i β pozwala również obliczyć kierunek diametralnej, a więc kurs

$$KR = \alpha + \beta + 180. \quad (2)$$

W rzeczywistości w odbiorniku dokonuje się podobnych obliczeń względem wielu satelitów i wyrównania tak obliczonych wartości. Ponadto należy zaznaczyć, że pomiary te są dokonywane w dziedzinie pomiarów fazowych, nie kodowych. Tak więc różnica odległości wynosi $\Delta\lambda + n\lambda$, gdzie długość fali λ jest znana ($\lambda = 19$ cm), a liczba n zostaje automatycznie wyznaczona podczas inicjalizacji urządzenia. Większość producentów stosuje w tym celu algorytm LAMBDA opracowany przez prof. Teunissen z Politechniki w Delft [13].

Dla techniki radiowej znamienne jest występowanie zaników sygnału, co może doprowadzić do niedopuszczalnego braku ciągłości w wyznaczaniu kursu. Z tego powodu niemal powszechną praktyką jest instalowanie w systemie dodatkowych sensorów, najczęściej tanich żyroskopów klasy MEMS, spełniających funkcje stabilizujące — tłumienie wahań w okresach przejściowych i podtrzymywanie informacji na czas zaniku sygnałów radiowych. Znane są również rozwiązania wykorzystujące sensory pola magnetycznego, grawitacyjne, a także przeróżne ich kombinacje. Dla jakości wyznaczania kursu wielkie znaczenie ma umiejscowienie tych dodatkowych sensorów w schemacie urządzenia [4].

PRZYKŁADY DOSTĘPNYCH KOMPASÓW SATELITARNYCH

Obecnie urządzenia tej grupy oferują przede wszystkim producenci japońscy: Furuno, Koden, Japan Radio Co. oraz kanadyjski Hemisphere i norweski Simrad. Do niedawna na rynku dostępny był również produkt firmy Sperry, jednak zaniechano tej produkcji. Obserwacje potwierdzają szczególne zainteresowanie tym sprzętem armatorów operujących w wyższych szerokościach geograficznych i zapewne to jest przyczyną takiego umiejscowienia producentów. Warto też wspomnieć, że trudno znaleźć kompas satelitarny na jednostkach pływających na wodach tropikalnych. Zestawienie wybranych rozwiązań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wybranych kompasów satelitarnych

Producent	Model	Liczba anten	Długość bazy [mm]	Błąd pomiaru wg producenta	Orientacyjna cena [USD]
JRC	JLR-10	2	500		
	JLR-20	3	450	0,50	3500
	JLR30	3	850	0,30	6500
Furuno	SC-30	2	490	0,50	2500
	SC-100	3	860	0,30	10000
	SC-50	3	430–5000	0,50	5000
Koden	KGC-1	2	593	1	
Hemisphere	CrescentV100	2	500	0,30	2000
Sperry	Navistar	2	678	0,50	
Simrad	MX575C	2	668	0,50	
	HS80	2	668	0,50	
	HS70	2	417	0,75	

Źródło: opracowanie własne.

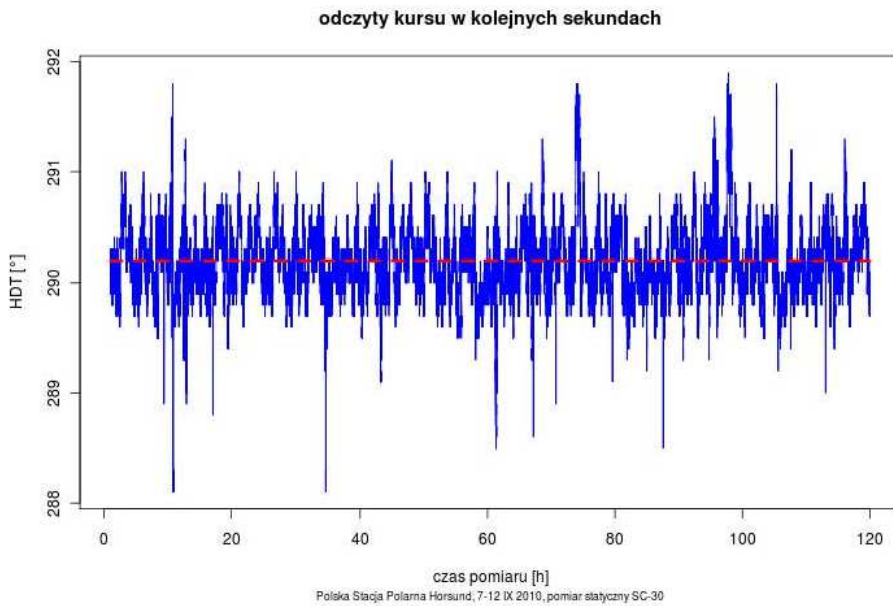
BADANIA PORÓWNAWCZE WYBRANYCH KOMPASÓW W WARUNKACH STATYCZNYCH

Autorzy przeprowadzili eksperymenty mające na celu głębsze poznanie specyfiki eksploatacji wybranych kompasów satelitarnych oraz zweryfikowanie informacji producentów o dokładności pomiaru kursu. Przeprowadzono pomiary statyczne oraz dynamiczne na wodach Zatoki Gdańskiej oraz Spitsbergenu, w trakcie których posługiwano się kompasami SC-30 produkcji Furuno, Crescent (Hemisphere) oraz Navistar (Sperry). Istotą pomiarów statycznych była rejestracja i statystyczne opracowanie danych transmitowanych w standardzie NMEA 0183 w warunkach kompasu nieruchomego. Ustalano takie wartości, jak średnia wartość kursu (w całym pomiarze oraz godzinna), średni błąd kwadratowy (dla całego pomiaru oraz dla kolejnych godzin), największa wartość błędów, jak również zależności między wartościami błędów a liczbą dostępnych satelitów. W trakcie pomiarów dynamicznych rejestrowano ponadto odczyty w pewnym przedziale czasowym, korelując je z informacjami o kursie pochodzącymi z innych źródeł, również z innych kompasów satelitarnych. Korelacji czasowej odczytów w przypadku rejestracji z wielu urządzeń dokonywano w oparciu o znaczniki czasowe.

Poniżej przedstawiono charakterystyczny przykład takiego pomiaru przeprowadzony z użyciem kompasu SC-30 wykonany w polskiej stacji polarnej Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w Hornsundzie na Spitsbergenie (77°00'N 015°33'E) w okresie 7–12 września 2010 roku. Antenę kompasu na czas pomiarów zainstalowano na dachu stacji. Przez cały ten okres aktywność jonosfery była niewielka.

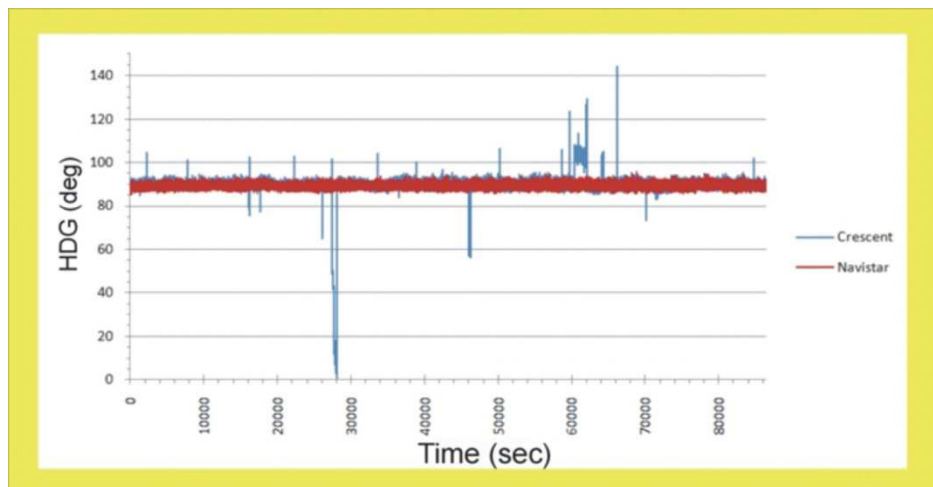
Kompas podawał kurs pięć razy na sekundę, jednak dla ułatwienia obróbki danych do badań wybierano pierwszą wartość odnotowaną w danej sekundzie. Średnia wartość kursu dla całego pięciodobowego pomiaru wyniosła 290,2° jednak wahania kursu sięgały nawet 2°.

Podobne zasady zastosowano dla porównania wyznaczeń kursu kompasami Navistar i Crescent, jednak w tym wypadku kompasy były zainstalowane na statku „Puck” zacumowanym do nabrzeża w porcie gdańskim.



Rys. 2. Przykładowy wykres wyznaczeń kursu HDG kompasem SC-30

Źródło: K. Różański, *Dokładność kompasu satelitarnego (praca magisterska)*, AMW, Gdynia 2012.



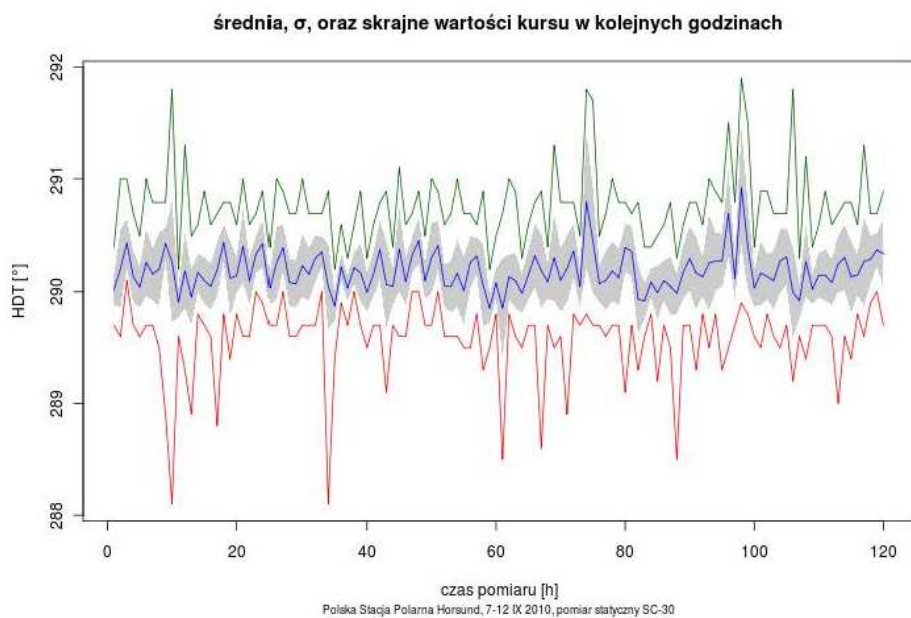
Rys. 3. Porównanie wskazań kursu kompasów satelitarnych Navistar i Crescent w warunkach statycznych

Źródło: A. Felski, *Exploitative properties of Different Types of Satellite Compasses, Proceedings of ENC 2011, London*.

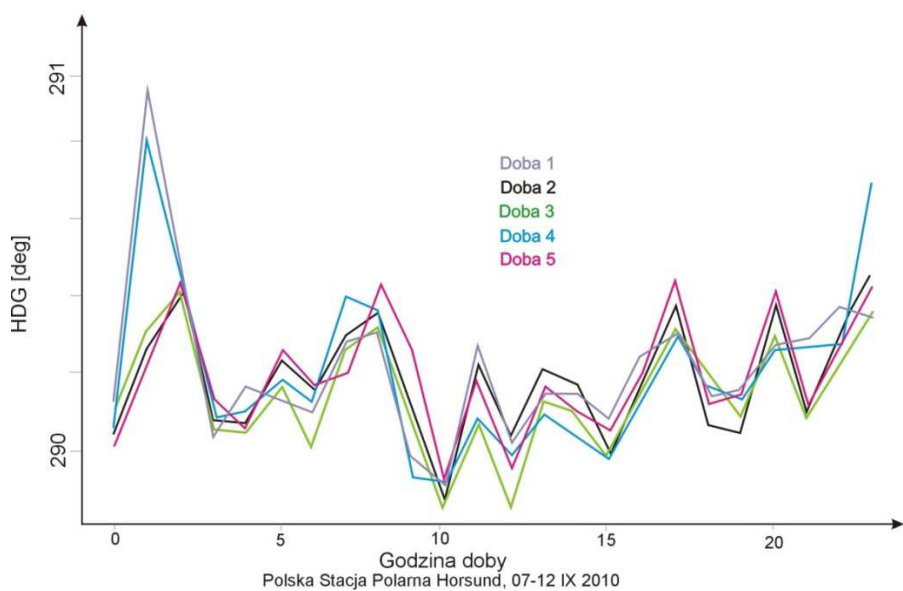
Na rysunkach 2. i 3. dostrzegalne są nieregularne, krótkotrwałe i gwałtowne zmiany kursu o charakterze szpilkowym. W przypadku kompasów Navistar i SC-30 ograniczają się one do wartości 3° , jednak w przypadku kompasu Crescent przekraczają nawet 90° . Przyczyną są procesy przejściowe w momencie dobierania nowej konfiguracji satelitów, ale także zjawisko wielodrogowości powodowanej odbiciami od infrastruktury jednostki. Stabilniejsze wskazania kompasów SC-30 oraz Navistar wynikają z zastosowania w ich strukturze układów stabilizujących — magnetycznych w przypadku Navistar i żyroskopowych w SC-30.

Odchylenie standardowe dla całego pomiaru prezentowanego na rysunku 2. wyniosło $\sigma = 0,32^\circ$, co potwierdza dane producenta, jednak nie w pełni oddaje rzeczywiste zachowanie się urządzenia z punktu widzenia bezpieczeństwa nawigacji. Okazuje się, że błędy te nie w pełni podlegają rozkładowi normalnemu, ich zmienność w krótszych przedziałach jest znacznie większa, a ponadto w przedziałach godzinnych dają się zaobserwować błędy o charakterze niemal systematycznym. Zmiana średniej dobowej wartości kursu w kolejnych dobach wynosiła poniżej $0,04^\circ/\text{dobę}$. Są to wartości o rząd mniejsze niż błąd wskazań kompasu, jednak należy zauważyć, iż w sposób zauważalny w poszczególnych godzinach zmieniała się średnia wartość kursu, przyjmując wartości od $289,85^\circ$ aż po $290,93^\circ$. Warto też zauważyć, że daje się zaobserwować wyraźną powtarzalność tych zmian w kolejnych dobach, co ma wyraźny związek z powtarzaniem się konstelacji satelitów. Zmiany średniej godzinnej wartości kursu w sposób ciągły dla całego pomiaru (kolor niebieski), wraz z zaznaczeniem najmniejszej i największej wartości zmierzonej w danej godzinie (odpowiednio kolory czerwony i zielony) oraz odchyleniem standardowym (kolor szary) ukazano na rysunku 4., a w zestawieniu wielodobowym na rysunku 5.

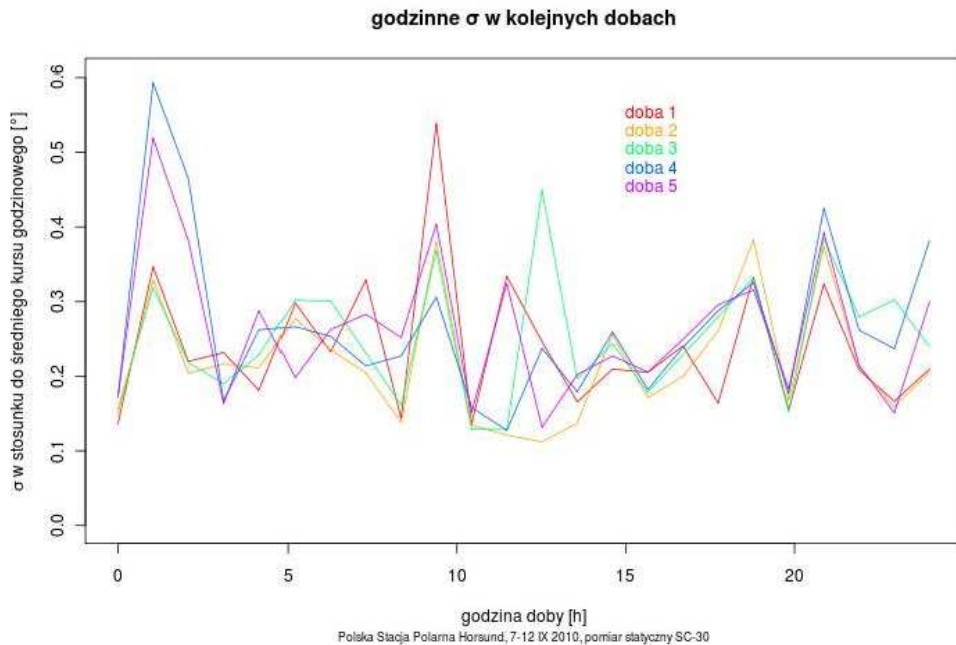
Powtarzalność procesu jest również dostrzegalna przy analizie błędów kursu w okresach godzinnych w kolejnych dobach.



Rys. 4. Średnie godzinne wartości kursu oraz maksymalne i minimalne wartości wyznaczeń
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Porównanie średnich godzinnych wartości kursu w pięciu kolejnych dobach
Źródło: K. Różański, *Dokładność kompasu satelitarnego AMW*, Gdynia 2012.



Rys. 6. Porównanie błędów wyznaczeń godzinnych w kolejnych dobach

Źródło: K. Różański, *Dokładność kompasu satelitarnego AMW*, Gdynia 2012.

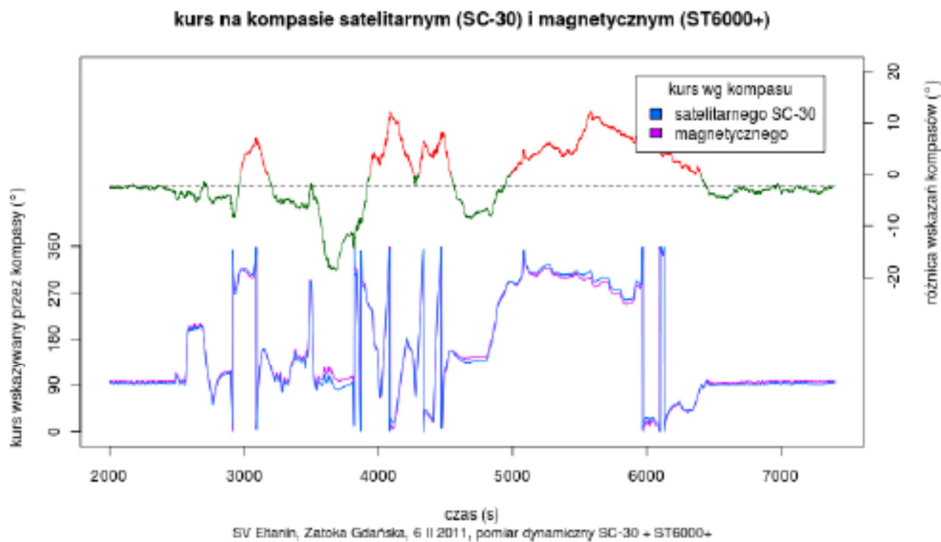
BADANIA PORÓWNAWCZE WYBRANYCH KOMPASÓW W WARUNKACH DYNAMICZNYCH

Badania kompasów satelitarnych w warunkach dynamicznych napotykają na pewne trudności z powodu braku odpowiednio dokładnych wzorców. Z tego względu wyniki nie mogą być tak jednoznaczne i mają przede wszystkim charakter porównawczy. 6 lutego 2011 roku na statku „Eltanin”² dokonano porównania charakterystyki wskazań kompasu satelitarnego SC-30 z kompasem żyromagnetycznym fluxgate ST-6000. Rejestrowano jednocześnie dane z kompasu magnetycznego i satelitarnego, wykonując przy tym szereg manewrów. W trakcie postoju jednostki przy nabrzeżu stwierdzono systematyczną różnicę 3° pomiędzy kompasami, która wynikała z niedoskonałej instalacji kompasu SC-30, przeprowadzonej na czas eksperymentu. Ta różnica w trakcie manewrów zmieniała się. Na rysunku 7. zaznaczono:

² Jacht stalowy typ J-80, $L = 11,60$ m.

- kurs wskazywany przez kompas satelitarny SC-30 (kolorem niebieskim);
- kurs wskazywany przez kompas magnetyczny (kolorem fioletowym);
- różnicę kursów (kolorem zielonym, jeżeli wartość kursu wskazywanego przez kompas magnetyczny była większa od wartości wskazywanej przez kompas satelitarny, a kolorem czerwonym, jeżeli była mniejsza);
- średnią różnicę między wskazywanymi kursami (czarną linią przerywaną).

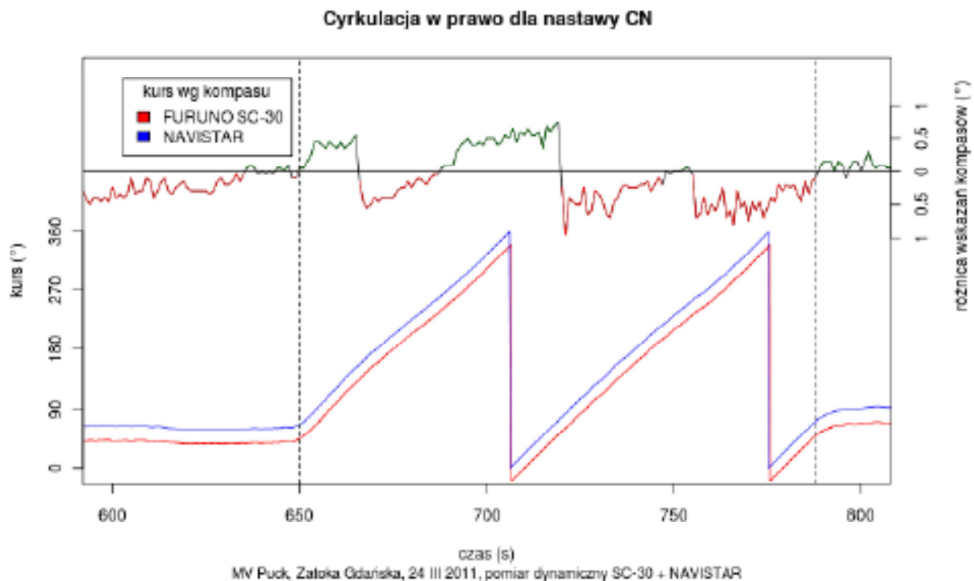
Podczas próby węzowej złożonej z dwóch zwrotów po około 180° (pierwszy przez lewą, drugi przez prawą burzę) oraz długich pełnych cyrkulacji w lewo i prawo stwierdzono znacznie większe różnice (maksymalne wartości $8,4^\circ$ w pierwszej i $14,3^\circ$ w drugiej próbie). Zasadniczo podczas cyrkulacji w lewo kurs wskazywany przez stabilizowany żyroskopowo kompas magnetyczny był względem kursu wskazywanego przez kompas satelitarny wyraźnie przesunięty w prawo i odwrotnie — podczas cyrkulacji w prawo był on wyraźnie przesunięty w lewo, co zdaje się sugerować, iż błąd nadążania w przypadku kompasu satelitarnego jest mniejszy niż w przypadku porównywanego kompasu żyromagnetycznego, na którego wyniki najwyraźniej oddziaływała stabilizacja żyroskopowa.



Rys. 7. Porównanie wskazań kompasów SC-30 i ST-6000

Źródło: K. Różański, *Dokładność kompasu satelitarnego AMW*, Gdynia 2012.

Potwierdzeniem tego wniosku może być również zaobserwowane zjawisko odwrotne, gdy po długiej cyrkulacji w lewo, po zmniejszeniu prędkości zwrotu, mimo tego, iż jednostka nadal wykonywała zwrot w lewo, kompas żyromagnetyczny zaczął pokazywać kurs na lewo od kursu wskazywanego przez kompas satelitarny. Zdaje się to dowodzić, iż współdziałający z czujnikiem magnetycznym żyroskop prędkościowy po pewnym czasie trwania cyrkulacji ze stałą prędkością kątową ustalił wartość prędkości zwrotu i przyjął ją do korygowania wskazań czujnika magnetycznego także chwilę po zmniejszeniu prędkości zwrotu. Te aspekty różnic wskazań kursu pomiędzy różnymi konstrukcjami wymagałyby dalszych analiz i w niniejszym artykule nie rozpatrywano ich.



Rys. 8. Porównanie wskazań kompasów SC-30 i Navistar

Źródło: K. Różański, *Dokładność kompasu satelitarnego AMW*, Gdynia 2012.

24 marca 2011 roku wykonano kolejny eksperyment pomiarowy — porównanie charakterystyki kompasów Furuno SC-30 i Navistar na statku „Puck”³. Stała różnica kursów wskazywanych przez oba kompasy wynosiła około 0,4° i była

³ Kuter hydrograficzny o wyporności 45T, $L = 18,74$ m.

najprawdopodobniej spowodowana niedokładnym, tymczasowym montażem kompasu Furuno. W trakcie manewrów różnice te osiągnęły nawet wartości odpowiednio $+2,0^\circ$ i $-1,3^\circ$.

Dla większej czytelności wykresów kurs z kompasu Furuno przesunięto o 20° w dół. Na wykresach zaznaczono też różnicę kursów wskazywanych przez oba kompasy: w przypadku większej wartości z kompasu Navistar kolorem zielonym, w przypadku mniejszej — czerwonym. Na rysunku 8. przedstawiono cyrkulację w prawo przy nastawie maszyny cała naprzód. Zaobserwowano, że wzajemna różnica wskazań zmieniała się, jednak w zasadzie utrzymywała się w granicach $0,5^\circ$ na każdą burtę.

WNIOSKI

Przedstawione eksperymenty, będące typowymi przykładami referowanych badań, pozwalają stwierdzić, że kompasy satelitarne stanowią istotny krok naprzód w dziedzinie zarówno wykorzystania nawigacyjnych systemów satelitarnych, jak i metod ustalania kursu na morzu. Wynika to przede wszystkim z tego, że pozbawione są uciążliwych ograniczeń eksploatacyjnych właściwych żyrokompasom i kompasom magnetycznym. W porównaniu ze stosowanymi dotychczas kompasami satelitarne są urządzeniami niewymagającymi obsługi i serwisowania, relatywnie przystępnymi cenowo, co czyni je osiągalnymi dla armatorów małych statków, w tym nawet jednostek rekreacyjnych.

Większość dostępnych kompasów satelitarnych cechuje się mniejszymi błędami, rzędu $0,3^\circ$, podczas gdy dla tradycyjnych kompasów błąd ten jest bliski 1° . Dodatkową ich zaletą jest brak błędów o charakterze systematycznym, takich jak deklinacja lub dewiacja czy zależności od dynamiki jednostki, na przykład dewiacja prędkościowa i inercyjna cechująca kompasy żyroskopowe. Jednocześnie należy zauważyć występowanie błędów specyficznych dla kompasów satelitarnych. Można je podzielić na trzy grupy:

- błędy o okresie liczonym w godzinach, które zależą od konfiguracji satelitarnej, przyjmujące wartości do dwóch stopni;

- błędy o charakterze szumów, cechujących się bardzo wysokimi częstotliwościami i niewielkimi amplitudami, liczonymi w minutach kątowych;
- błędy o charakterze skokowym.

Ostatnia grupa błędów stanowi szczególny problemem dla użytkownika, bowiem mogą one doprowadzić do krótkotrwałych (co najwyżej kilkuminutowych) zmian wskazań nawet o kilkadziesiąt stopni. Takie zjawisko uniemożliwiłoby użycie kompasu satelitarnego w wielu zastosowaniach, zwłaszcza jako źródła informacji dla autopilota. W większości dostępnych kompasów satelitarnych błędy te są eliminowane poprzez integrowanie w układzie dodatkowych sensorów, najczęściej żyroskopowych, stabilizujących (tłumiących) skokowe zmiany.

Jak wykazano w omówionych eksperymentach, kompas satelitarny jest w stanie zapewnić wyższą dokładność niż powszechnie stosowane kompasy żyroskopowe za kilkukrotnie niższą cenę. W obecnym stanie prawnym nie wydaje się jednak możliwe zastąpienie nimi urządzeń żyroskopowych na tzw. statkach konwencyjnych. Wynika to przede wszystkim z uregulowań prawnych, albowiem obowiązujące konwencje oraz rezolucje IMO narzucają wymóg posiadania kompasu (magnetycznego) oraz żyrokompasu, a wszelkie inne urządzenia wyznaczające kurs w świetle tych uregulowań nie mogą ich zastąpić. Wynika to *explicite* z dokumentów, ale także z tego, iż istniejące wymogi względem kompasów nie są obiektywne, a ponadto są ewidentnie sformułowane w korelacji z zasadami działania tradycyjnych rozwiązań. Z jednej strony nie uwzględniają specyfiki kompasów satelitarnych, z drugiej są bardzo łagodne względem żyrokompasów w sytuacjach, w których ze względu na zasadę działania dokładność żyrokompasu jest ograniczona. W rzeczywistości kompas satelitarny są w stanie spełnić wymogi lepiej niż urzędowo dopuszczone żyrokompas, a w rejonach polarnych ich przydatność jest bezdyskusyjna. Nie bez znaczenia jest też kilkadziesiąt razy krótszy, w porównaniu z żyrokompasem, czas potrzebny na uruchomienie kompasu satelitarnego, mniejsze zapotrzebowanie na energię oraz niższe koszty zakupu i eksploatacji.

Aktualnie głównym zastosowaniem kompasów satelitarnych na statkach konwencyjnych jest instalowanie ich w charakterze tzw. urządzenia transmitującego kurs (HTD) dla radaru i AIS, zwłaszcza na statkach o pojemności brutto poniżej 500

— do takiego zastosowania niektóre modele kompasów bywają zatwierdzane przez administracje morskie.

Kompasy satelitarne są też znakomitym rozwiązaniem dla małych statków niekonwencyjnych, na przykład rekreacyjnych, rybackich itp. Dla części tych jednostek (w zależności od państwa bandery, wielkości i przeznaczenia statku) nie istnieją żadne odgórne wymogi co do zastosowanego sprzętu (poza ewentualnym obowiązkowym kompasem magnetycznym). Umożliwia to armatorowi wybór urządzenia według własnego upodobania; popularność tych konstrukcji, zwłaszcza na jednostkach rybackich w takich państwach jak Norwegia czy Japonia, dowodzi, że część armatorów już się przekonała, iż nawet względnie tani kompas satelitarny w pełni nadaje się do wszystkich zastosowań (ustalanie kursu dla autopilota, radaru/ARPA, wiatromierza itd.), jest dokładniejszy od kompasu magnetycznego, zatem całkowicie eliminuje potrzebę posiadania żyrokompasu. Ponieważ taki kompas jest jednocześnie wysokiej klasy wielokanałowym odbiornikiem GPS, na ogół także z opcją odbioru poprawek różnicowych DGPS i SBAS, jego faktyczny koszt (po odliczeniu kosztu innych urządzeń nawigacyjnych, w które użytkownik kompasu satelitarnego nie musi się już zaopatrywać) jest jeszcze mniejszy. Niebagatelną zaletą jest również wielokrotnie mniejsze niż dla kompasu żyroskopowego zapotrzebowanie na energię. Ta ostatnia zaleta sprawia, że posiadanie kompasu satelitarnego może być wskazane również na dużych statkach wyposażonych w żyrokompas, w charakterze awaryjnego źródła informacji o kursie.

Dostępne kompasy satelitarne różnią się wyraźnie rozwiązaniami konstrukcyjnymi, z których liczba anten, długość bazy pomiarowej oraz umiejscowienie układów wspomagających (zwykle żyroskopowych) są najistotniejsze. Z tego względu wszelkie badania i spostrzeżenia eksploatacyjne dotyczące kompasów odnoszą się do konkretnych modeli, a często także do konkretnych statków, a nie do kompasu satelitarnego *sensu largo* jako typu urządzenia. W szczególności dotyczy to dokładności wyznaczania kursu, gdyż wzrasta ona wraz z długością linii bazowej, jakkolwiek do większości zastosowań wystarczy, aby anteny były od siebie oddalone nie więcej niż jeden metr, co jest wartością typową dla większości dostępnych na rynku urządzeń.

Rejony okołobiegunowe charakteryzuje duża i szybko zmieniająca się deklinacja magnetyczna, wiele lokalnych anomalii oraz mała wartość składowej horyzontalnej ziemskiego pola magnetycznego, tak więc korzystanie z kompasu magnetycznego jest tam utrudnione. Z kolei błędy kompasu żyroskopowego w szerokościach powyżej 60° gwałtownie rosną. Z tego względu kompas satelitarny znaleźć może szczególnie zastosowanie w dynamicznie rozwijającej się żegludze polarnej, gdyż jego funkcjonowanie, nawet pomimo niższej niż w szerokościach umiarkowanych wysokości satelitów nad horyzontem, nie jest ograniczone szerokością geograficzną. Z drugiej strony rejony polarne cechuje znacznie wyższa niż w umiarkowanych szerokościach geograficznych aktywność jonosfery, co może w pewnych sytuacjach wpływać negatywnie na funkcjonowanie omawianych urządzeń. Aspekt ten jest zgłaszany od wielu lat również względem użyteczności typowych odbiorników GPS. Dotychczas jednak nawet w okresach dużej aktywności Słońca nie zaobserwowano praktycznych implikacji tego zjawiska⁴.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Crescent V100 Series User Guide*, Hemisphere Part No. 875-0174-000, Rev. A1.
- [2] Felski A., Mięsikowski M., *Some Aspects of DGPS Based Heading Determination*, „Geodezja i Kartografia”, 1999, t. XLVIII, nr 3–4, s. 97–104.
- [3] Felski A., Nowak A., *Pierwsze doświadczenia z eksploatacji kompasu satelitarnego*, „Zeszyty Naukowe AMW”, 2008, nr 4, s. 37–44.
- [4] Felski A., *Exploitative properties of Different Types of Satellite Compasses*, Proceedings of ENC 2011, London.
- [5] Hoffman-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. *GNSS — Global Navigation Satellite Systems*, Springer, Wien — New York 2008.

⁴ W trakcie eksploatacji kompasu SC-30 na wodach Spitsbergenu w okresie wzmożonej aktywności Słońca kilkakrotnie stwierdzono przerwy w pracy urządzenia jako kompasu, jakkolwiek urządzenie nadal poprawnie pracowało jako odbiornik GPS. W tym samym czasie stwierdzono zaburzenia pomiarów fazowych GPS. Może to wskazywać na większy wpływ jonizacji atmosfery na pomiary fazowe niż na kodowe. Inni użytkownicy kompasów satelitarnych takich problemów jednak nie zgłaszali.

- [6] Jiun H. K., *Determining Heading and Pitch Using a Single Difference GPS/GLONASS Approach*, The University of Calgary, Calgary 1999.
- [7] Jwo D-J., Pai Ch-F., *Incorporation of Neural Network State Estimator for GPS Attitude Determination*, 'The Journal of Navigation', 2004, Vol. 57, No 1, pp. 117–134.
- [8] Lu G., Lachapelle G., Kielland P., *Attitude determination in a survey launches using multi-antenna GPS technology*, [in:] *Proceedings of the National Technical Meeting of the Institute of Navigation*, San Francisco 1993, pp. 251–259.
- [9] *Performance standards for Gyro-Compasses*, IMO Resolution A.424(XI).
- [10] *Performance standards for Marine Transmitting Heading Devices*, IMO Resolution MSC.116(73).
- [11] Róžański K., *Dokładność kompasu satelitarnego* (praca magisterska), AMW, Gdynia 2012.
- [12] Schleppe J. B., *A Real-Time Attitude System*, The University of Calgary, Calgary 1996.
- [13] Teunissen P. J. G., *The LAMBDA Method for the GNSS Compass*, 'Artificial Satellites', 2006, Vol. 41, No 3, pp. 89–103.
- [14] www.hemispheregps.com (2013.02.01).
- [15] www.furuno.com (2013.01.29).
- [16] www.koden-electronics.co.jp (2013.02.01).
- [17] <http://pro.simrad-yachting.com/Products/GPS-Compass/Simrad-HS70> (2013.02.01).
- [18] www.jrc.co.jp (2013.01.30).

SATELLITE COMPASS AS COMPASS FOR POLAR REGIONS

ABSTRACT

For the last decade so called satellite compasses (special version of satellite navigation receivers) have been in more and more common use. Apart from standard GPS data they can also be used to determine special orientation angles of the carrier. The attraction of these compasses seems to be growing with the growth of geographical latitude of the water area in contrast

to traditional magnetic and gyroscopic solutions, which display significant imperfections in these regions. The paper presents the results of significant measurement properties of some selected satellite compasses in polar regions including waters around Spitsbergen and the Bay of Gdańsk.

Keywords:

satellite compass, maritime navigation, polar regions, the Bay of Gdańsk.