

Aleksander NOWAK¹

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SIECI ASG-EUPOS DO AUTOMATYCZNEGO WYZNACZANIA PARAMETRÓW MANEWROWYCH JEDNOSTKI PŁYWAJĄCEJ

W artykule przedstawiono wyniki analiz możliwości wykorzystania serwisów czasu rzeczywistego sieci ASG-EUPOS do automatycznego wyznaczania parametrów manewrowych jednostki pływającej. Rozważania teoretyczne uzupełniono pomiarami wykonanymi na jednostce pływającej, manewrującej na Zatoce Gdańskiej. Zaprezentowano wyniki przeprowadzonych badań oraz ich analizę w kontekście możliwości zbudowania automatycznego systemu do określania wybranych charakterystyk statku.

POSSIBILITIES OF USING ASG-EUPOS SERVICES TO DETERMINATION OF VESSEL'S MANEUVERING CHARACTERISTICS

The paper presents results of analysis concerning the possibilities of using ASG-EUPOS real time services to determination of vessel's maneuvering characteristics. Theoretical dissertation are supplemented by measurement campaign done on the vessel maneuvering at Gdansk Bay. The results of measurement campaign and their analysis in context of possibility of building the automatic system to determine some ship's characteristics are presented.

1. WSTĘP

Znajomość charakterystyk manewrowych jednostki ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa żeglugi i środowiska morskiego. Pozwala ona zaplanować właściwy manewr, bezpiecznie prowadzić statek po wyznaczonej trasie i podjąć właściwe decyzje w sytuacjach zagrożenia i awaryjnych. Każdy statek posiada na mostku dokumenty takie jak: The Wheelhouse Poster (Bridge Poster) i Pilot Card, które zawierają między innymi podstawowe charakterystyki manewrowe statku, ustalone podczas prób manewrowych danej jednostki. Są to dokumenty wykonane w języku angielskim i umieszczone w widocznym miejscu na mostku. Osoba odpowiedzialna za prowadzenie statku jest zobowiązana do zapoznania się z nimi. Próby manewrowe, w trakcie których ustalone zostają charakterystyki, wykonywane są po wyjściu statku ze stoczni i uwzględniają charakterystyki manewrowe jednostki przy jej stanie balastowym, które w przybliżony

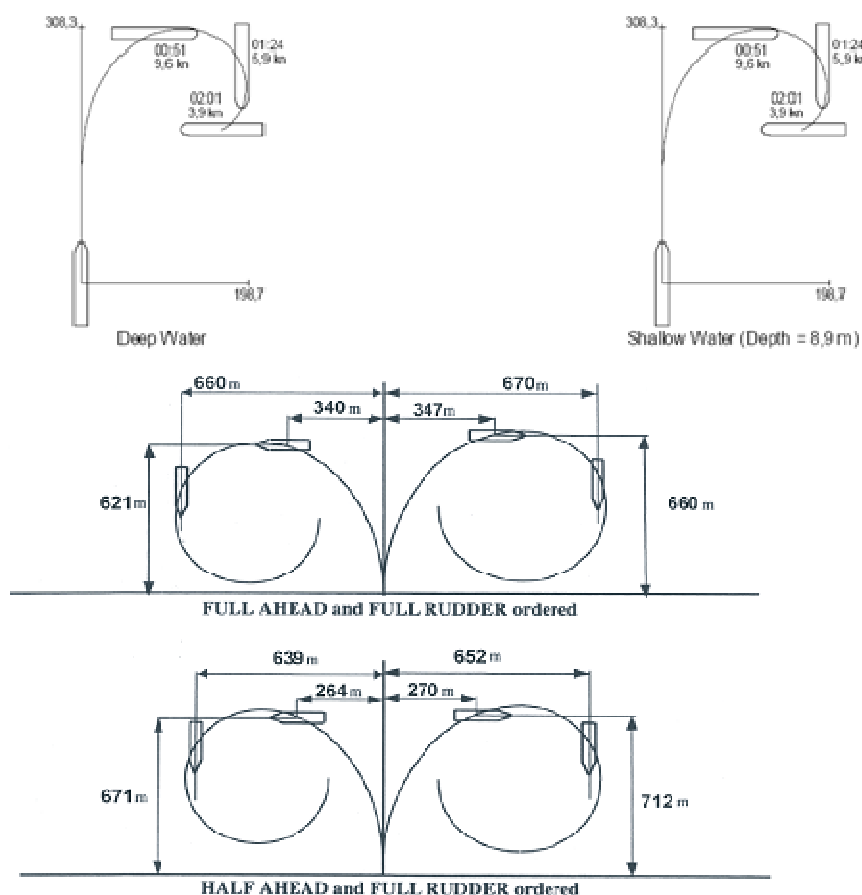
¹Institut Nawigacji i Hydrografii Morskiej, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, ul. Śmidowicza 69, 81-103 Gdynia, e-mail: a.nowak@amw.gdynia.pl, tel. +48 58 626 27 74, +48 883 911 654

sposób odzwierciedlają zdolności manewrowe statku. Do podstawowych charakterystyk manewrowych należą:

- prędkości przy danym reżimie pracy silników i śrub,
- krzywe cyrkulacji dla różnych prędkości i wychyleń steru, czasami też dla wody głębokiej i płytkiej,
- charakterystyki zatrzymania awaryjnego (crash stop) przy różnych prędkościach,
- zmiany prędkości i zanurzenia na akwenach płytkich.

Poszczególne charakterystyki manewrowe, jakie zostały ustalone dla danej jednostki, mogą różnić się, w zależności od przeznaczenia statku, jego konstrukcji i wielkości. Na poniższych rysunkach zaprezentowano przykładowe dokumenty zawierające wybrane charakterystyki manewrowe różnych statków.

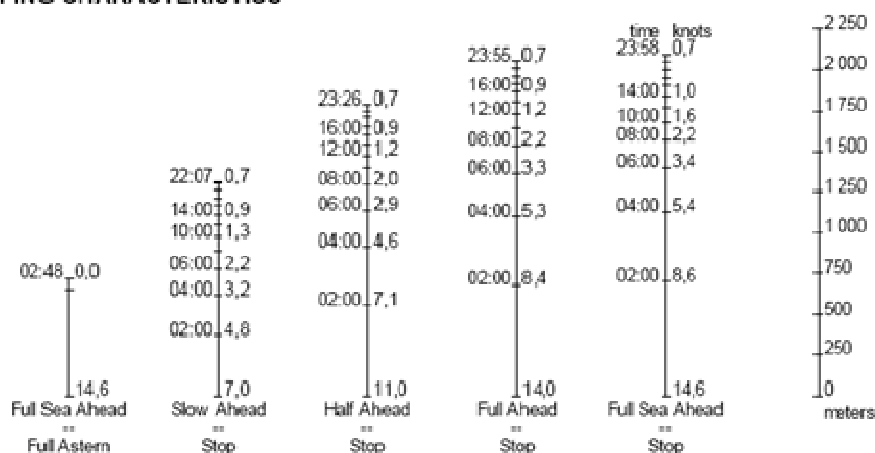
TURNING CIRCLES RUDDER 45 DEG



Rys.1. Przykładowe charakterystyki manewrowe statków – krzywe cyrkulacji

Throttle setting		RPM	Pitch	Speed
Full Sea Speed	1,	146,	0,872	14,59
Full Ahead	0,8	134,	0,863	14,
Half Ahead	0,5	123,	0,732	11,04
Slow Ahead	0,25	106,	0,523	7,03
Dead Slow Ahead	0,125	101,	0,331	3,99
Stop	0,	101,	0,044	0,73
Dead Slow Astern	-0,125	101,	-0,288	-2,32
Slow Astern	-0,25	110,	-0,453	-3,58
Half Astern	-0,5	127,	-0,628	-6,68
Full Astern	-1,	146,	-0,689	-8,54

STOPPING CHARACTERISTICS



Rys.2. Przykładowe charakterystyki manewrowe statków – tabela prędkości i charakterystyki zatrzymania

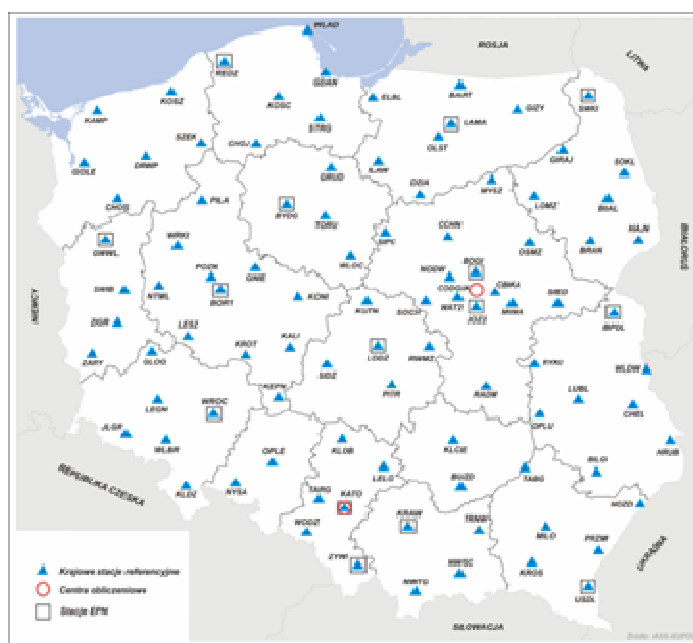
W niniejszym artykule podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, czy do wyznaczenia części z charakterystyk manewrowych statku można by wykorzystać serwisy czasu rzeczywistego sieci ASG-EUPOS.

2. SIEĆ ASG-EUPOS – PODSTAWOWE WIADOMOŚCI

ASG-EUPOS jest wielofunkcyjnym system precyzyjnego pozycjonowania satelitarne-go, stanowiącego kontynuację systemu ASG-PL. Jest on częścią międzynarodowego systemu EUPOS, obejmującego swoim zasięgiem kraje Europy Środkowej i Wschodniej. Podobnie jak sieć ASG-PL, system ASG-EUPOS cechuje otwarta architektura, umożliwiającą w przyszłości dołączenie kolejnych stacji referencyjnych i uruchomienie nowych serwisów. Aktualnie ASG-EUPOS składa się z następujących grup stacji referencyjnych:[1]

- 84 stacji z modułem GPS,
- 14 stacji z modułem GPS/GLONASS,
- 22 stacji zagranicznych.

Sumaryczna liczba stacji włączonych do systemu nie powinna przekroczyć 130. Krajowe stacje referencyjne w większości zlokalizowane są na budynkach administracji publicznej szczebla wojewódzkiego i powiatowego, placówkach badawczych i budynkach oświaty. Poniższa mapa przedstawia rozmieszczenie stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS.



Rys.3. Rozmieszczenie stacji referencyjnych ASG-EUPOS na terenie Polski [2]

Dzięki ciągłej dostępności oferowanych serwisów na obszarze całej Polski, użytkownik, który zdecyduje się na korzystanie z systemu ASG-EUPOS, dysponuje możliwością precyzyjnego określenia swojej pozycji. System oferuje następujące typy serwisów:

- serwisy czasu rzeczywistego: NAWGEO, KODGIS, NAWGIS,
- serwisy post-processingu: POZGEO, POZGEO D.

Wybrane charakterystyki serwisów zebrano w tabelicy 1.

Tab.1. Wybrane charakterystyki serwisów sieci ASG-EUPOS

Serwis	Metoda pomiaru	Rodzaj transmisji	Format	Dokładność
SERWISY CZASU RZECZYWISTEGO				
NAWGEO	RTK	GSM/GPRS/EDGE/UMTS, Internet	RTCM wer. 2.3 i 3.0	0.03 m w poziomie 0.05 m w pionie
KODGIS	DGPS	GSM/GPRS/EDGE/UMTS, Internet	RTCM wer. 2.1	Do 0.25 m
NAWGIS	DGPS	GSM/GPRS/EDGE/UMTS, Internet (opcjonalnie FM)	RTCM wer. 2.1	1-3 m
SERWISY POST-PROCESSINGU				
POZGEO	Post-processing	Internet, nośnik danych	RINEX	0.01 m w poziomie 0.03 m w pionie
POZGEO D	Post-processing	Internet, nośnik danych	RINEX	0.01 m w poziomie 0.03 m w pionie

Możliwość wykorzystania poszczególnych serwisów na obszarach morskich uzależniona jest od rozmieszczenia stacji referencyjnych w strefie brzegowej oraz, jeżeli weźmiemy pod uwagę specyfikę zastosowań nawigacyjnych, pokryciem daną usługą telekomunikacyjną (determinującą możliwość odbierania korekt różnicowych). Na obszarze Zatoki Gdańskiej istnieje możliwość korzystania w czasie rzeczywistym zarówno z korekt różnicowych do pojedynczej stacji referencyjnej jak i korekt powierzchniowych (wypracowywanych na podstawie obserwacji z sieci stacji). Na rys. 4 przedstawiono pokrycie serwisem NAWGEO terenu Polski północnej. Czerwonym okręgiem zaznaczono wody polskiej części Zatoki Gdańskiej.



Rys.4. Pokrycie serwisem NAWGEO obszaru Polski północnej[3]

Mając na uwadze dokładności serwisu NAWGEO deklarowane przez operatora systemu (patrz tab. 1) i pokrycie serwisem (zaprezentowane na rys. 4) postanowiono przeprowadzić eksperyment, którego głównym celem było udzielenie odpowiedzi na pytanie o możliwość wykorzystaniem odbiorników RTK pracujących w serwisie NAWGEO sieci ASG-EUPOS do określenia charakterystyk manewrowych jednostki pływającej.

3. ROZWAŻANIA TEORETYCZNE

Określenie charakterystyk manewrowych w sposób automatyczny, wymaga ciągłej informacji o współrzędnych pozycji i prędkości, wyznaczonych z wymaganą dokładnością. Liczne publikacje i wyniki eksperymentów pomiarowych potwierdzają kilkucentymetrową dokładność serwisu NAWGEO sieci ASG-EUPOS w dynamice, pod warunkiem dostępności poprawek różnicowych. Większość odbiorników RTK przystosowanych do pracy w sieci ASG-EUPOS, w czasie rzeczywistym estymują bieżącą dokładność wyznaczeń współrzędnych, na podstawie konstelacji satelitów (geometrii segmentu kosmicznego) i wieku poprawek. Umożliwia to automatyczną kontrolę jakości wyznaczeń i odrzucenie tych, które nie spełniają wymogów dokładności. Zatem, pozostaje problem określenia prędkości z wymaganą dokładnością. Można go rozwiązać metodą pośrednią, obliczając prędkość v z zależności:

$$v = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

gdzie: x_1, y_1 – współrzędne kartezjańskie pozycji wyznaczone w czasie t_1 wyrażone w [m],
 x_2, y_2 – współrzędne kartezjańskie pozycji wyznaczone w czasie t_2 wyrażone w [m],
 t_1, t_2 – czas wyznaczenia współrzędnych pozycji w [s].

Pozostaje pytanie, jaki powinien być odstęp pomiędzy wyznaczeniami (różnica czasów $t_2 - t_1$), aby zapewnić określenie prędkości z wymaganą dokładnością. Jeżeli założymy, że błąd wyznaczeń współrzędnych pozycji będzie nie większy niż 0.1 m, a prędkość musi być wyznaczona z dokładnością 0.05 m/s (0.1 węzła) to niezbędną różnicę czasów $t_2 - t_1$ obliczymy z następującej zależności:

$$v + \delta v = \frac{v \cdot (t_2 - t_1) + \sqrt{m_1^2 + m_2^2}}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

gdzie: v – prędkość jednostki w [m/s],
 δv – dopuszczalny błąd określenia prędkości jednostki w [m/s],
 m_1, m_2 – błędy wyznaczeń współrzędnych pozycji w czasie t_1 i t_2 w [m].

Przekształcając powyższe równanie i podstawiając założone wartości błędów wyznaczeń współrzędnych pozycji i wymaganą dokładność określenia prędkości otrzymamy, że różnica czasów $t_2 - t_1$ musi wynosić co najmniej 2.83 s (bez względu na prędkość jednostki), czyli w zastosowaniach praktycznych 3 s. Zatem problem

zastosowania serwisu NAWGEO sieci ASG-EUPOS do określania parametrów manewrowych jednostki pływającej sprowadza się do pytania o dostępność i ciągłość poprawek różnicowych w trakcie prób morskich. By udzielić na nie odpowiedzi, przeprowadzono dynamiczną kampanię pomiarową na Zatoce Gdańskiej.

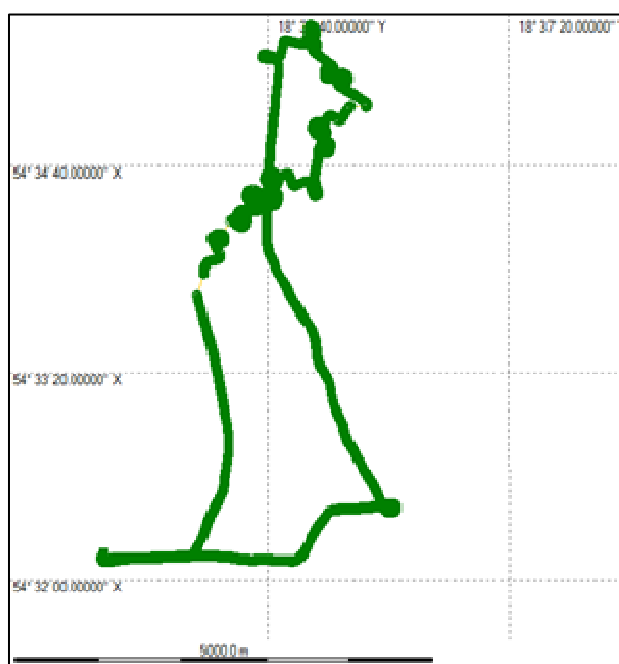
4. EKSPERYMENT POMIAROWY I JEGO WYNIKI

Eksperyment przeprowadzono na wodach Zatoki Gdańskiej w okolicach redy portu Gdynia, dnia 14 stycznia 2010 r. między godzinami 12:00 i 15:00. Do przeprowadzenia badań wykorzystano jednostkę pływającą Akademii Marynarki Wojennej – kuter hydrograficzny m/v Puck. Podstawowe dane jednostki zawarto w tab. 2.

Tab. 2. Podstawowe dane jednostki m/v Puck

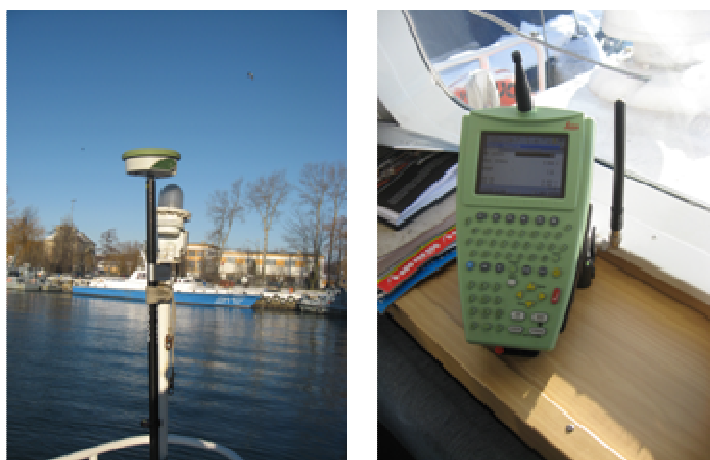
Wyporność	Długość	Szerokość	Zanurzenie	Prędkość maksymalna
46 ton	18.7 m	4.5 m	1.5 m	4.7 m/s (9.4 węzła)

Trasę jednostki podczas eksperymentu przedstawiono na rys.5. W trakcie przejścia jednostka manewrowała kursami i prędkościami zmiennymi, wykonując manewry typu „zygzak ze zwrotami o 90°” i „ósemki”.



Rys.5. Trasa jednostki m/v Puck w trakcie eksperymentu na Zatoce Gdańskiej

W osi symetrii jednostki (na dziobie i na rufie) umieszczone zostały odbiorniki GPS Leica system 1200 SmartRover, składające się ze SmartAnten typu ATX1230GG oraz kontrolerów RX1250Xc. Kontroler łączył się ze SmartAnteną po bluetooth'ie. Pomiary dynamiczne wykonano w odniesieniu do stacji referencyjnych Aktywnej Sieci Geodezyjnej – EUPOS wykorzystując serwisy czasu rzeczywistego (NAWGEO) dystrybuujące poprawki powierzchniowe typu VRS. W tym celu wykorzystano połączenie internetowe GPRS realizowane za pomocą modemów Siemens MC75 oraz protokół NTRIP do transmisji danych RTK. Do wykonania pomiarów wykorzystano funkcję rejestracji autopunktów w trybie interwału 1s. Na rys. 6 przedstawiono SmartAntenę i kontroler wykorzystywane w opisywanym eksperymencie.



Rys.6. SmartAntena typu ATX1230GG oraz kontrolerów RX1250Xc

W przeprowadzonym eksperymencie założono (zgodnie z rozważaniami teoretycznymi przedstawionymi w poprzednim paragrafie), że maksymalnym dopuszczalnym błędem wyznaczeń współrzędnych horyzontalnych będzie 10 cm ($p=0.95$). Zapewniłoby to dokładność określenia prędkości na poziomie 0.1 węzła. Zatem zdefiniowano następujące stany niezawodnościowe systemu:

- stan zdatności** – współrzędne zostały wyznaczone z dokładnością lepszą niż 10cm ($p=0.95$),
- stan niezdatności** – współrzędne nie zostały wyznaczone, bądź dokładność wyznaczeń gorsza niż 10 cm ($p=0.95$).

W związku z powyższym, średni czas pomiędzy uszkodzeniami (MTBF) i średni czas do naprawy (MTTF) opisano zależnościami:

$$MTBF = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i \quad (3)$$

$$MTTF = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m Y_j \quad (4)$$

gdzie: $MTBF$ – średni czas pomiędzy uszkodzeniami,

X_i – czas pozostawania w stanie zdatności,

n – liczba stanów zdatności,

$MTTF$ – średni czas do naprawy,

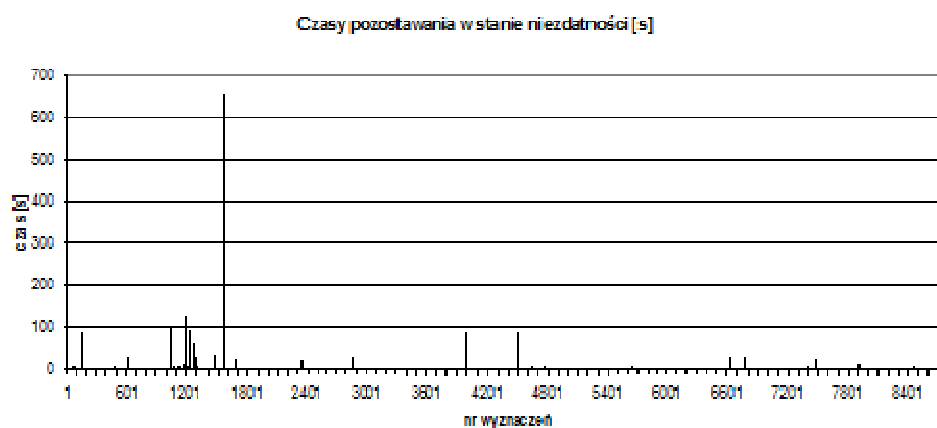
Y_j – czas pozostawania w stanie niezdatności,

m – liczba stanów niezdatności.

Zatem, dostępność serwisu NAWGEO sieci ASG-EUPOS (A_{NAWGEO}) zdefiniować można jako:

$$A_{NAWGEO} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTF}, \quad (5)$$

Po przeprowadzeniu pomiarów na morzu, surowe obserwacje opracowano za pomocą programu Leica GeoOffice i wyeksportowano w formie pliku tekstowego do dalszej analizy. **Obliczona dostępność serwisu NAWGEO** (zgodnie z wzorami od (3-5)) **wyniosła 0.822**. Na poniższym rysunku zaprezentowano czasy pozostawania serwisu w stanie niezdatności w trakcie eksperymentu.



Rys.6. Czasy pozostawania serwisu NAWGEO sieci ASG-EUPOS w stanie niezdatności

3. WNIOSKI

W artykule zaprezentowano wynik eksperymentu, którego głównym celem była ocena możliwości wykorzystania sieci ASG-EUPOS do automatycznego wyznaczania parametrów manewrowych jednostki pływającej. Z analizy zarejestrowanych danych wypływają następujące główne wnioski:

- dokładności serwisu NAWGEO sieci ASG-EUPOS umożliwiają wyznaczenie trajektorii jednostki pływającej w wystarczającą precyzją oraz określenie prędkości z dokładnością 0.05 m/s (0.1 węzła),
- pewien problem w automatyzacji procesu określania parametrów manewrowych mogą stanowić okresowe przerwy w serwisie. W czasie eksperymentu dostępność NAWGEO była zaledwie nieco wyższa od 82%, a przerwy w wyznaczeniach współrzędnych sięgały nawet 11 min. W trakcie innych prac z wykorzystaniem ASG-EUPOS zauważono, że dostępność serwisu NAWGEO silnie zależy od pory dnia, w której przeprowadza się pomiar, co związane jest ze zmianami obciążenia sieci GSM. Wygląda na to, że w dużych aglomeracjach sieć jest po prostu przeciążona i system do automatycznego wyznaczania parametrów manewrowych jednostek pływających musiałby być wyposażony w niezależny kanał odbioru poprawek różnicowych,
- ogólnie stwierdzić należy, że uzyskane wyniki dają przesłanki do budowy eksperymentalnego stanowiska do określania parametrów manewrowych statków, działającego w oparciu o sieć ASG-EUPOS.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg_type=syst_descr
- [2] http://www.asgeupos.pl/webpg/graph/publ/00007_Geodeta_141_ASG-EUPOS.pdf.
- [3] http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg_type=serv&sub=nawgeo.