

## DOKŁADNOŚĆ ZLICZANIA DROGI ZA POMOCĄ URZĄDZENIA „ADVANCED NAVIGATION - SPATIAL FOG” ORAZ LOGU „NAVQUEST 600”

W artykule przedstawiono badanie mające na celu ocenę dokładności pozycjonowania urządzeniem „Advanced Navigation - SPATIAL FOG” w połączeniu z logiem „NavQuest 600”, przeprowadzone w warunkach rzeczywistych metodą porównania ze wzorcem. Porównywano pozycje obliczane metodą zliczania drogi z pomiarów kursu „Advanced Navigation - SPATIAL FOG” oraz prędkości logiem „NavQuest 600” z pozycjami wzorcowymi - wyznaczanymi INS „VN-200”. Na wstępie scharakteryzowano parametry dokładnościowe pomiarów kursu i prędkości oraz wzorcowych współrzędnych pozycji. W części głównej przedstawiono przyjętą metodę badania oraz analizę otrzymanych wyników. Część końcowa zawiera uogólniony opis oceny dokładności pozycjonowania urządzeniem „NavQuest 600”.

### WSTĘP

Nawigacja zliczeniowa polega na ustaleniu pozycji obiektu w dowolnym momencie czasu na podstawie współrzędnych pozycji początkowej i wektora drogi przebytej do pozycji końcowej. Dokładność pozycji końcowej opisują zazwyczaj dwie tzw. macierze kowariancji: współrzędnych pozycji początkowej oraz wektora przyrostu współrzędnych. Druga z nich jest zależna przede wszystkim od wartości umieszczanych na jej przekątnej głównej (diagonalnej). Wartościami tymi są błędy średnie pomiaru kierunku i pomiaru prędkości. Wobec powyższego urządzenia nawigacyjne stosowane do nawigacji zliczeniowej powinny charakteryzować się wysoką dokładnością pomiaru, bo one w głównej mierze determinują dokładność pozycjonowania [1][2].

W artykule przedstawiono badanie mające na celu ocenę dokładności pozycjonowania systemem nawigacji zliczeniowej złożonym z urządzenia Advanced Navigation - SPATIAL FOG i logu NavQuest 600. Przeprowadzono je w warunkach rzeczywistych, co pozwoliło na uwzględnienie w pomiarach dodatkowego wpływu środowiska (dryfu i prądu). Wybór badanych urządzeń był podyktowany przede wszystkim ich nieprzeciętnymi parametrami dokładnościowymi pomiaru podanymi w specyfikacjach technicznych przez producentów.

### 1. CHARAKTERYSTYKA URZĄDZEŃ

#### 1.1. Advanced Navigation - SPATIAL FOG

Badaniu poddano system nawigacji zliczeniowej złożony z urządzenia Advanced Navigation - SPATIAL FOG oraz logu NavQuest 600, którego wyniki pomiarów porównywano w odniesieniu do pomiarów uzyskiwanych INS VN-200.

Advanced Navigation - SPATIAL FOG wyposażono w żyroskop światłowodowy zintegrowany z trójosiowym kompasem magnetycznym i akcelerometrem oraz sensorem ciśnienia. Opcjonalnie może on być także zintegrowany z odbiornikiem RTK GNSS. Jednak w badaniach nie korzystano z odbiornika RTK GNSS (jego antena była odłączona).



Rys. 3. Advanced Navigation - SPATIAL FOG  
[<https://www.advancednavigation.com.au/product/spatial-fog>]

Jest to urządzenie o bardzo dobrych parametrach dokładnościowych. Ze specyfikacji technicznej wynika, że błąd średni pomiaru kursu wynosi zaledwie 0.05° (rys. 4).

NAVIGATION	
Horizontal Position Accuracy	0.8 m
Vertical Position Accuracy	1.5 m
Horizontal Position Accuracy (with SBAS)	0.5 m
Vertical Position Accuracy (with SBAS)	0.8 m
Horizontal Position Accuracy (with RTK or Kinematic PPK)	0.008 m
Vertical Position Accuracy (with RTK or Kinematic PPK)	0.015 m
Velocity Accuracy	0.007 m/s
Roll & Pitch Accuracy	0.01 °
Heading Accuracy	0.05 °

Rys. 4. Specyfikacja techniczna najważniejszych parametrów dokładnościowych Advanced Navigation - SPATIAL FOG  
[<https://www.advancednavigation.com.au/product/spatial-fog>]

Ze specyfikacji wynika także, że urządzenie to wykonuje pomiar kierunku z bardzo dużą częstotliwością - wynoszącą aż 1000 Hz. Pozwala to na przyjęcie bardzo małego kroku całkowania rów-

niania ruchu metodą zliczania drogi i w następstwie dokładniejsze odzwierciedlenia rzeczywistej trajektorii ruchu.

## 1.2. NavQuest 600

Urządzenie NavQuest 600 opracowane zostało przez firmę „Link-quest”. Jest to jedno z najmniejszych i najlżejszych urządzeń wyposażonych w log Dopplerowski na świecie. W konfiguracji standardowej z obudową NavQuest 600 Micro DVL (ang. Doppler Velocity Log) ma średnicę około 12,6 cm, długość 17,0 cm i waży mniej niż 1,2 kg (rys. 2).



Rys. 3. NavQuest 600 Micro DVL [<http://www.link-quest.com>]

Na rys. 4 przedstawiono specyfikację techniczną opisującą najważniejsze parametry dokładnościowe tego urządzenia.

### Velocity Specifications

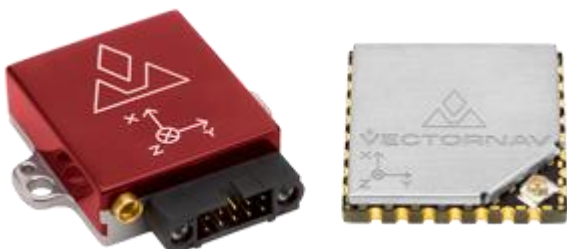
Frequency	600 kHz
Accuracy	1% ± 1 mm/s
Accuracy (Model P)	0.2% ± 1 mm/s
Maximum Altitude	110 m
Minimum Altitude	0.3 m
Maximum Velocity	± 20 knots
Standard Depth	800 m
Optional Depth	1500, 3000 or 6000 m
Maximum Ping Rate	5/second

Rys. 4. Specyfikacja techniczna najważniejszych parametrów dokładnościowych NavQuest 600 Micro DVL [<http://www.link-quest.com/html/NavQuest600M.pdf>]

Przedstawione parametry dokładnościowe pozwalają na stwierdzenie, że dokładność pomiaru prędkości jest bardzo wysoka. Błąd średni pomiaru prędkości stanowi zaledwie 0.2% zmierzonej wartości.

## 1.3. INS VN-200

VN-200 to miniaturowy Inercjalny System Nawigacyjny (ang. Inertial Navigation System – INS), zbudowany z odbiornika GPS zintegrowanego z dwoma urządzeniami: inercjalnym i do pomiaru ciśnienia, wykonanymi w technologii MEMS (ang. Micro-Electro-Mechanical Systems) (rys. 5).



Rys. 5. INS VN-200 [<http://www.vectornav.com/products/vn-200/>]

Na rys. 6 przedstawiono specyfikację najważniejszych parametrów dokładnościowych INS VN-200.

Navigation Specifications	
Range (Heading, Roll):	±180°
Range (Pitch):	±90°
Static Accuracy (Heading, Magnetic) <sup>1</sup> :	2.0° RMS
Static Accuracy (Pitch/Roll):	0.5° RMS
Dynamic Accuracy (Heading, True Inertial):	0.3° RMS
Dynamic Accuracy (Pitch/Roll):	0.1° RMS
Static Accuracy (Pitch/Roll) (after Dynamic Alignment)	0.1° RMS
Angular Resolution:	< 0.05°
Angular Repeatability:	< 0.1°
Horizontal Position Accuracy	2.5 m RMS
Horizontal Position Accuracy (w/ SBAS)	2.0 m RMS
Vertical Position Accuracy	5.0 m RMS

Rys. 6. Specyfikacja techniczna najważniejszych parametrów dokładnościowych INS VN-200 [<http://www.vectornav.com/docs/default-source/documentation/vn-200-documentation/PB-12-0003.pdf?sfvrsn=11>]

Ze specyfikacji wynika, że błąd średni wyznaczania współrzędnych pozycji 2D (w trybie pracy SBAS, ang. Satellite Based Augmentation System) wynosi zaledwie 2.0 m, a kursu 0.3°. Należy się zatem spodziewać, iż w trakcie wykonywania testu współrzędne pozycji wzorcowych będą obciążone niewielkim i „stałym” w czasie błędem.

## 2. BADANIE I ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW

### 2.1. Metoda badania

Badanie przeprowadzono dwuetapowo.

W pierwszym etapie zebrano dane na poligonie pomiarowym na jeziorze Jeziorak. Łódź motorowa, na której zamontowano urządzenia (testowane i wzorcowe), pokonała dwie drogi. Pierwszą po prostej o długości około 900 m z prędkością około 2 m/s. Drugą z cyrkulacjami o długości około 1700 m z prędkością około 1 m/s. W tym czasie zarejestrowano na niej równoległe współrzędne geograficzne pozycji wyznaczone INS VN-200, składowe prędkości logiem NavQuest 600 oraz kąty orientacji przestrzennej wyznaczone urządzeniem Advanced Navigation - SPATIAL FOG.

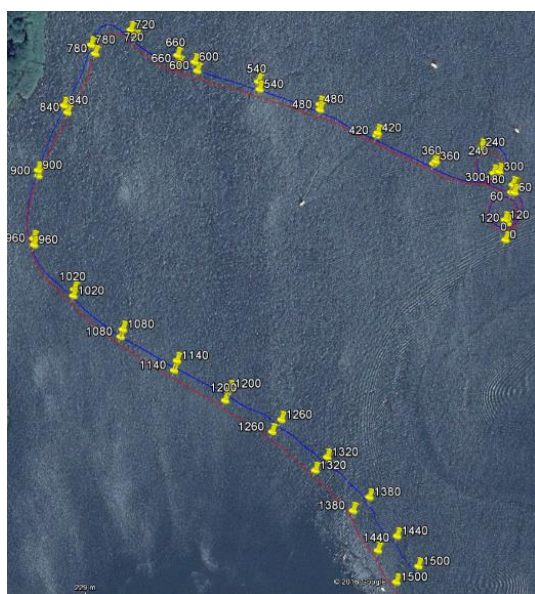
W drugim etapie oceniano dokładność wyznaczania współrzędnych pozycji zliczanej. Na podstawie zebranych danych, wyznaczono współrzędnych pozycji metodą zliczania drogi z pomiarów NavQuest 600 oraz Advanced Navigation - SPATIAL FOG i porównywano je z pozycjami wzorcowymi wyznaczonymi INS VN-200.

### 2.2. Wyniki testu

Na rys. 5, 6 przedstawiono uzyskane trajektorie ruchu (na dwóch przejściach – po prostej oraz z cyrkulacjami). Zliczaną z pomiarów kursu i prędkości (linia zielona) oraz wzorcową wyznaczaną INS VN-200 (linia czerwona). Pinezki z etykietami symbolizują pozycje z czasem ich wyznaczenia odliczanym w sekundach od momentu rozpoczęcia testu.



**Rys. 7.** Droga wzorcowa (linia czerwona) i droga wyznaczona metodą zliczania (linia niebieska)



**Rys. 8.** Droga wzorcowa (linia czerwona) i droga wyznaczona metodą zliczania (linia niebieska)

### 2.3. Analiza otrzymanych wyników

Błąd średni wyznaczania współrzędnych pozycji metodą zliczania pierwszej drogi (rys. 7) wyniósł około 15 m, natomiast maksymalne oddalenie od pozycji wzorcowej wyniosło około 18 m. Na rys. 7 widać wyraźnie, że pozycje wyznaczone metodą zliczania drogi i wzorcowe układają się w jednakowym kierunku, ale w różnych odległościach względem punktu startowego. Świadczy to o małej dokładności pomiaru prędkości i wysokiej dokładności pomiaru kursu. Na rys. 9 przedstawiono wykresy prędkości badanej i wzorcowej zarejestrowane w czasie pierwszego przejścia po prostej. W głównym przebiegu są one do siebie bardzo podobne, ale w niektórych momentach czasowych widać wyraźnie duże, gwałtowne wahania prędkości wyznaczonej logiem.

Błąd średni wyznaczania współrzędnych pozycji metodą zli-

czania drugiej drogi (rys. 8) wyniósł około 45 m, natomiast maksymalne oddalenie od pozycji wzorcowej wyniosło około 52 m. Na rys. 8 widać, że pozycje wyznaczone metodą zliczania drogi i wzorcowe układają się blisko siebie, prawie przez całą drogę. Świadczy to o tym, że wykonywanie cyrkulacji nie ma wpływu na dokładność pomiaru prędkości i pomiaru kursu, a w konsekwencji na dokładność wyznaczania współrzędnych pozycji.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyprowadzić następujące, uogólnione wnioski:

1. System nawigacyjny zaliczeniowej zbudowany z logu NavQuest 600 i urządzenia Advanced Navigation - SPATIAL FOG może wyznaczać współrzędne pozycji z dużą dokładnością w długim okresie czasu.
2. Dokładność zliczania współrzędnych pozycji nie jest zależna od zmian kursu, np. podczas wykonywania cyrkulacji.
3. Urządzenie Advanced Navigation - SPATIAL FOG wymaga ustawienia kierunku inicjacyjnego (startowego) przed rozpoczęciem pracy. Kompas satelitarny wydaje się być odpowiednim urządzeniem do tego celu.
4. Prędkość mierzona NavQuest 600 powinna być poddawana filtracji. W jej wyniku należy usuwać pomiary obciążone dużymi błędami (grubymi).

## BIBLIOGRAFIA

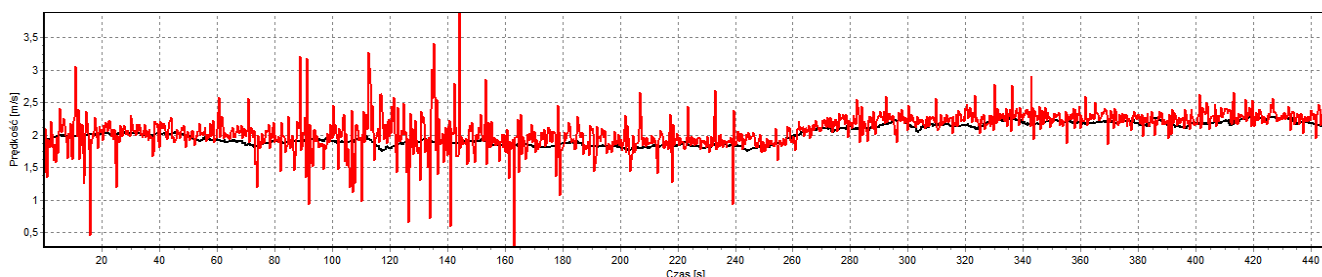
1. Naus K., Szymak P., *Accuracy of positioning autonomous biomimetic underwater vehicle using additional measurement of distances*, „Annual of Navigation”, No. 23, Gdynia 2016.
2. Naus K., Nowak A., *The Positioning Accuracy of BAUV Using Fusion of Data from USBL System and Movement Parameters Measurements*, „Sensors” 2016, 16(8).

### Accuracy of positioning the dead reckoning method using "ADVANCED NAVIGATION - SPATIAL FOG" devices and "NAVQUEST 600" log

*Paper presents research that aims to evaluate the positioning accuracy with the "Advanced Navigation - SPATIAL FOG" device in combination with the "NavQuest 600" log carried out in real conditions by comparison method. Compare positions calculated the dead reckoning method based on course determined "ADVANCED NAVIGATION - SPATIAL FOG" and speed measured by "NavQuest 600" in relation to positions determined INS "VN-200".*

Autorzy:

dr hab. inż. – **Krzysztof NAUS** – Akademia Marynarki Wojennej  
dr inż. – **Aleksander NOWAK** – Politechnika Gdańska



**Rys. 9.** Wykresy prędkości wzorcowej (kolor czarny) i zmierzonej logiem (kolor czerwony)