

Krzysztof NAUS, Aleksander NOWAK

# DOKŁADNOŚĆ ZLICZANIA DROGI Z POMIARÓW KURSU I PRĘDKOŚCI WYKONYWANYCH URZĄDZENIEM „NAVQUEST 600”

W artykule przedstawiono badanie mające na celu ocenę dokładności pozycjonowania urządzeniem „NavQuest 600”, przeprowadzone w warunkach rzeczywistych metodą porównania z wzorcem. Porównywano pozycje obliczane metodą zliczania drogi z pomiarów kursu i prędkości - wykonywanych urządzeniem „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

System nawigacyjny oparty na skonfigurowanych ze sobą urządzeniach mierzących kurs i prędkość mógłby być stosowany, jako autonomiczny lub wspomagający inne systemy nawigacyjne (np. Loran C, czy GNSS) w warunkach wykluczających ich wykorzystanie. Jednak podstawowym problemem w jego zastosowaniu jest obecnie mała dokładność pozycjonowania, zależna przede wszystkim od rodzaju skonfigurowanych ze sobą urządzeń i doboru metod obliczeniowych. Wynika to z faktu, iż urządzenia te wykonują pomiary w sposób dyskretny. Natomiast ruch obiektu ze swojej natury jest ciągły. Wynik całkowania równania ruchu w postaci zliczania drogi z chwilowych pomiarów kursu i prędkości jest obciążony błędem, który narasta wykładniczo w funkcji czasu. Zatem zastosowanie w konfiguracji ze sobą urządzeń mierzących parametry z większą dokładnością powinno gwarantować dłuższy okres czasu wyznaczania współrzędnych pozycji z oczekiwaną dokładnością [1].

Z tych względów można uznać jako bardzo ważne badania dokładności wyznaczania współrzędnych pozycji tego typu systemów nawigacyjnych. W trakcie takich badań należy na wstępie ustalić błędy średnie pomiaru poszczególnych parametrów nawigacyjnych - np. na podstawie specyfikacji technicznej urządzenia opracowanej przez producenta, natomiast w drugiej kolejności ocenić dokładność wyznaczania współrzędnych pozycji - najlepiej w rzeczywistych warunkach pracy lub do nich zbliżonych. Tak przeprowadzone badania powinny pozwolić na obiektywną ocenę systemu nawigacyjnego, konieczną przed jego zastosowaniem do pozycjonowania [2].

## 1. CHARAKTERYSTYKA URZĄDZEŃ

### 1.1. NavQuest 600

Badaniu poddano urządzenie NavQuest 600, którego wyniki pomiarów porównywano w odniesieniu do pomiarów uzyskiwanych INS VN-200.

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 Velo-

city Log) ma średnicę około 12,6 cm, długość 17,0 cm i waży mniej niż 1,2 kg (rys. 1).



Rys. 1. NavQuest 600 Micro DVL  
[<http://www.link-quest.com/html/NavQuest600M.pdf>]

NavQuest 600 opcjonalnie wyposażono w trójosiowy kompas, dzięki temu w połączeniu z logiem może on służyć do wyznaczania współrzędnych pozycji metodą zliczania drogi na podstawie pomiarów kursu i prędkości. Na rys. 2 przedstawiono specyfikację techniczną opisującą najważniejsze parametry tego urządzenia.

Velocity Specifications	Optional Sensors
Frequency: 600 kHz	Compass
Accuracy: 1% ± 1 mm/s	Accuracy: ±2°
Accuracy (Model F): 0.2% ± 1 mm/s	Tilt/pitch and roll
Maximum Altitude: 110 m	±0.5° up to ±15°
Minimum Altitude: 0.3 m	Temperature
Maximum Velocity: ±20 knots	Accuracy: ±0.4°C from -3°C to 43°C
Standard Depth: 800 m	
Optional Depth: 150, 300 or 600 m	
Maximum Ping Rate: 5/second	
Power	Options
Maximum Transmit: 80 watts	Full-featured Current Profiling
Receiver: 1.2 watts	OEM System Without Pressure Housing
Average Power Consumption: 2.5 watts	
Input Voltage: 24 ± 2V	
Hardware	Weight and Dimension
Transducer: 4 Beam Convex	Transducer Assembly Diameter: 12.6 cm
Transducer Beam Angle: 22°	Housing Diameter: 12.6 cm
Housing: Anodized Aluminum and Plastics	Overall Length: 17 cm
Communication: RS422 or RS232	Weight In Air: 2.9 kg
	Weight In Water: 1.2 kg

Rys. 2. 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, a kursu raczej niska. Błąd średni pomiaru kursu stanowi zaledwie 0.2% zmierzonej wartości, natomiast pomiar kursu jest obarczony błędem średnim wynoszącym aż 2°.

## 1.2. INS VN-200

VN-200 to miniaturowy Inercjalny System Nawigacyjny (ang. Inertial Navigation System – INS), zbudowany z odbiornika GPS zintegrowanego z dwoma urządzeniami: inercyjnym i do pomiaru ciśnienia, wykonanymi w technologii MEMS (ang. Micro-Electro-Mechanical Systems). Na rys. 3 przedstawiono specyfikację najważniejszych parametrów dokładnościowych pomiarów wykonywanych 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. 3.** Specyfikacja techniczna najważniejszych parametrów dokładnościowych pomiarów wykonywanych 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 na założonym poligonie pomiarowym o długości około 1000 m, znajdującym się na jeziorze Jeziorak (rys. 4).

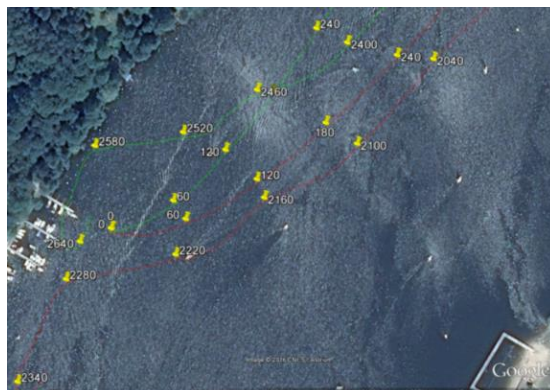


**Rys. 4.** Poligon pomiarowy [<https://maps.google.com>]

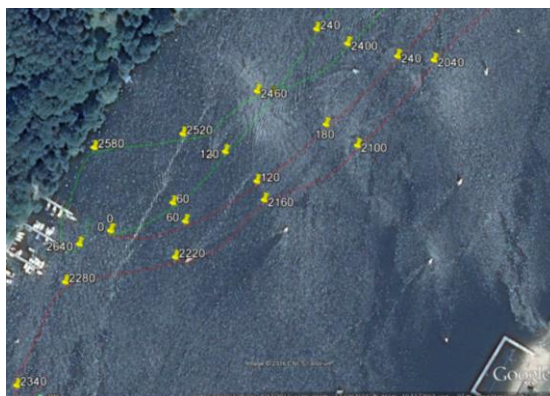
Łódź motorowa, na której zamontowano urządzenia (testowane i wzorcowe), pokonała drogę o długości około 1000 m z prędkością około 1 m/s. W tym czasie zarejestrowano na niej równoległe współrzędne geograficzne pozycji wyznaczone INS VN-200 oraz składowe prędkości i kąty orientacji przestrzennej wyznaczone urządzeniem NavQuest 600.

### 2.2. Wyniki testu

Na rys. 5, 6 i 7 przedstawiono uzyskane trajektorie ruchu (na dwóch przejściach – tam i z powrotem). Zliczaną z pomiarów kurs i prędkości NavQuest 600 (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. 5.** I część drogi przebytej w czasie testu (linia czerwona - NavQuest 600, linia czerwona – INS VN-200) [<https://maps.google.com>]



**Rys. 6.** II część drogi przebytej w czasie testu (linia czerwona - NavQuest 600, linia czerwona – INS VN-200) [<https://maps.google.com>]



**Rys. 7.** III część drogi przebytej w czasie testu (linia czerwona - NavQuest 600, linia czerwona – INS VN-200)  
[<https://maps.google.com>]

### 2.3. Analiza otrzymanych wyników

Na podstawie zebranych w czasie testu pomiarów oszacowano dwa podstawowe parametry dokładnościowe. Błąd średni współrzędnych pozycji zliczanej - równy 75 m oraz maksymalne oddalenie pozycji wzorcowej - wynoszące około 400 m. Są to wartości bardzo duże i z pewnością nie przemawiają za samodzielnie stosowaniem urządzenia NavQuest 600 do pozycjonowania.

Z analizy trajektorii przedstawionych na rysunkach wynika natomiast, że już na początku testu pozycje wyznaczone metodą zliczania drogi i wzorcowe układają się w różnych kierunkach, ale w podobnych odległościach względem punktu startowego. Świadczy to o niedokładnym pomiarze kursu i dokładnym pomiarze prędkości. Na rys. 8 przedstawiono wartości kursu uzyskane w czasie trwania całego testu. Kurs wzorcowy obliczano z kolejnych pozycji metodą uśredniania. Widać na nich wyraźnie różnicę pomiędzy kursem badanym i wzorcowym. Na początku jest ona bardzo duża i wynosi około 20°, lecz w końcowej fazie testu maleje prawie do zera. Producent NavQuest 600 podaje niewiele informacji o zastosowanym mierniku kursu. Z dokumentacji technicznej wiadomo tylko, że jest on wyposażony w trójosiowy kompas magnetyczny, który wymaga kalibracji (została ona przeprowadzona zgodnie z instrukcją przed rozpoczęciem testu). Z dużym prawdopodobieństwem można założyć, że zastosowany kompas jest zintegrowany z trójosiowym akcelerometrem i być może sensorem ciśnienia. Jednak wiadomo, że

specyfikacji (rys. 2), że urządzenie to nie jest dokładne. Potwierdziły to również uzyskane wyniki pomiaru kursu w czasie testu (rys. 8).

## PODSUMOWANIE

Parametry mierzone wyłącznie urządzeniem NavQuest 600 (tj. kąty orientacji przestrzennej w połączeniu ze składowymi prędkościami liniowymi) nie zapewniają dokładności wyznaczania współrzędnych pozycji metodą zliczania drogi na wysokim poziomie w dłuższym okresie czasu. Wynika to przede wszystkim z niedokładności pomiaru kątów orientacji przestrzennych. Błąd średni pomiaru kierunku uzyskany na podstawie wyników testu wyniósł aż 5°. Dlatego należy rozważyć integrację tego urządzenia z innego typu miernikami kątów, np. z żyroskopem optycznym. Taka zamiana w konfiguracji sprzętowej powinna wpłynąć znacząco na poprawę dokładności wyznaczania współrzędnych pozycji.

## BIBLIOGRAFIA

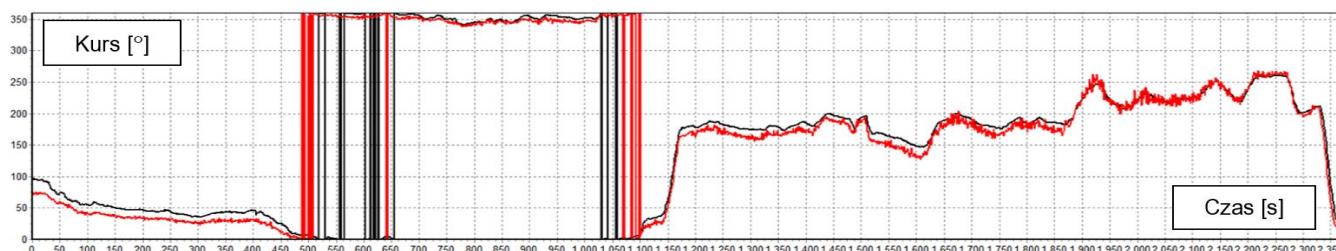
1. Naus K., Szymak P., *Accuracy of positioning autonomous biomimetic underwater vehicle using additional measurement of distances*, „Annual of Navigation”, No. 23, Gdynia 2016.
2. Naus K., Nowak A., *The Positioning Accuracy of BAUV Using Fusion of Data from USBL System and Movement Parameters Measurements*,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

### Accuracy of positioning the dead reckoning method based on course and speed measurements performed by the "NAVQUEST 600"

*Paper presents research that aims to evaluate the positioning accuracy of the "NavQuest 600" carried out in real conditions by comparison method. Compare positions calculated the dead reckoning method based on course and speed measurements performed by the "NavQuest 600" in relation to positions designated INS "VN-200".*

Autorzy:

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



**Rys. 8.** Wykresy kursu wzorcowego (kolor czarny) i badanego (kolor czerwony)