

dr inż. kpt. ż.w. Arkadiusz Tomczak  
dr inż. st. of. pokł. Paweł Zalewski  
mgr inż. Krzysztof Marcjan  
mgr inż. Marcin Przywarty  
inż. Bartosz Muczyński

## Badanie systemu PNDS w warunkach rzeczywistych na statku Nawigator XXI

słowa kluczowe: dalmierz laserowy, system dokujący, pomiar odległości,

W artykule zaprezentowano poszczególne etapy badań rzeczywistych systemu PNDS przeprowadzone z wykorzystaniem prototypów głowic usytuowanych na nabrzeżu przy stanowisku postojowym statku szkolnego AM Nawigator XXI. Faza wstępna badań obejmowała kalibrację głowic laserowych, instalację głowic w ustalonych punktach nabrzeża, wyznaczenie współrzędnych geograficznych tych punktów z założoną dokładnością, techniką GPS RTK oraz pomiar odległości do statku Nawigator XXI w czasie manewrów cumowania i odcumowania. Na podstawie przeprowadzonych badań i zgromadzonych danych dokonano oceny systemu i sformułowano wnioski końcowe.

### Wstęp

Badania rzeczywiste systemu PNDS miały na celu ocenę, niezawodności pracy systemu w warunkach rzeczywistych. Badano przede wszystkim: zdolność do wykonywania pomiarów odległości w możliwie szerokim zakresie przejrzystości atmosfery i parametrów celów, zdolność do utrzymywania łączności z resztą systemu niezależnie od warunków zewnętrznych, długoterminowe zachowanie geometrii pomiaru, niewrażliwość głowic na ewentualne zakłócenia pracy sieci energetycznej, jak zaniki napięcia, chwilowe przepięcia itp., rozpoznawanie przez głowicę sytuacji awaryjnych i sygnalizowanie takich wypadków pozostałym elementom systemu. Istotnym etapem badań rzeczywistych była również prezentacja mierzonych parametrów ruchu statku Nawigator w zintegrowanym systemie wizualizacji danych nawigacyjnych PNDS w czasie manewrów cumowania i odcumowania statku. Umożliwiło to weryfikację poprawności wyznaczanych odległości obwiedni statku od nabrzeża oraz prędkości poprzecznej. Badania rzeczywiste obejmowały również ocenę dokładności różnicowego systemu GPS (DGPS), jako integralnej części systemu PNDS, stanowiącego statkowy moduł pozycjonowania i określania kursu rzeczywistego.

## Etapy i przebieg badań

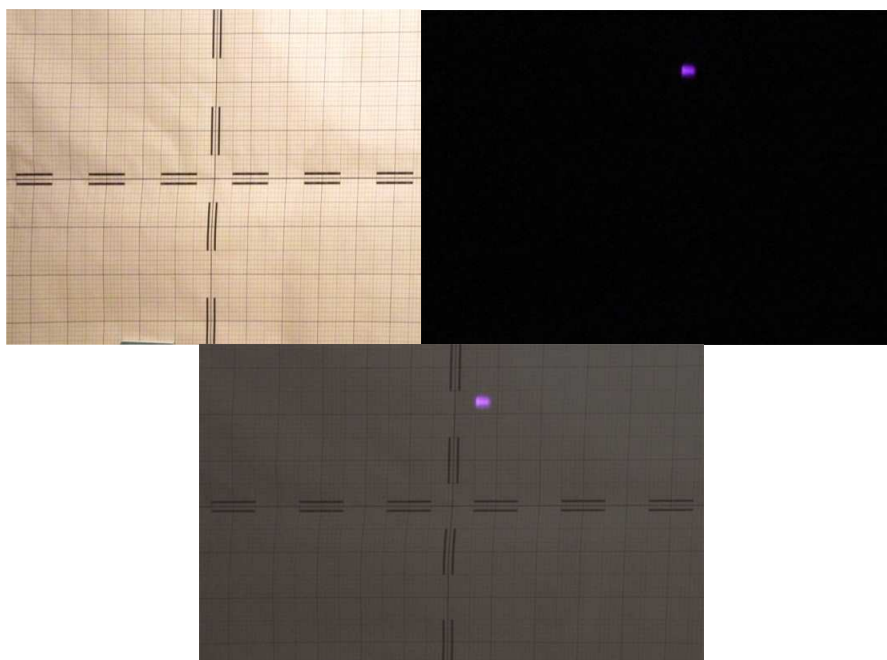
### 1. Kalibracja głowic laserowych

W celu eliminacji błędów pomiarów wywołanych nieznacznymi zmianami położenia samego lasera jak i lunetki wewnątrz obudowy, np. na skutek wstrząsów dokonano kalibracji głowic laserowych metodą kalibracji na równoległość wiązki lasera do osi lunetki [Rys 1.].



Rys. 1. Front głowicy dalmierzy. Położenie lunetek względem soczewek lasera Jenoptic Riegl (głowice 04 i 05).

Podstawą procesu kalibracji były zdjęcia tarczy celowniczej umieszczonej w odległości 10.4 metra. Aby zarejestrować plamkę lasera zdjęcia wykonywano w warunkach całkowitego zaciemnienia i z czasem naświetlania równym 15 sekund. Każdorazowo przed fotografowaniem wiązki robiono zdjęcie tarczy celowniczej. Obie fotografie były następnie nakładane na siebie i odczytywano współrzędne środka plamki [Rys.2].



Rys. 2. Zdjęcie kontrolne tarczy (po lewej), zdjęcie plamki lasera głowicy 01 (po prawej) oraz efekt ich nałożenia (zdjęcie dolne). Środek krzyża celowniczego ustawionego na środek tarczy.

Ostateczne wartości uzyskane po kalibracji przedstawiono w tabeli nr 1.

Tabela 1. Wartości uzyskane po kalibracji

Oczekiwane współrzędne plamki [cm]*		Odchyłka kątowa po kalibracji		Współ. na odl. 10m [cm]		Współ. odl. 20m [cm]		Współ. na odl. 50m [cm]		Współ. na odl. 100m	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
-3,5	-1	-0,03	-0,06	-4,1	-2,1	-4,6	-3,2	-6,3	-6,6	-9,1	-12,1

Proces kalibracji pozwolił uzyskać dokładność rzędu 10 centymetrów przy odległości 100 metrów, co stanowi wartość wystarczającą do pomiarów w warunkach rzeczywistych.

## 2. Wytyczenie pozycji głowic laserowych

Pozycje głowic laserowych wyznaczono na nabrzeżu przy ul. Jana z Kolna w Szczecinie za pomocą odbiornika GNSS Legacy-E firmy Topcon korzystając z poprawek różnicowych RTK uzyskiwanych z serwisu ASG-EUPOS.

### Dane techniczne odbiornika GNSS Topcon Legacy-E

Opis: 40 kanałowy zintegrowany odbiornik GNSS z interfejsem MINTER

Antena: PGA-1 aprobowana do pomiarów w ASG-EUPOS

Śledzenie: 40 kanałów GPS (20 GPS L1+L2)

Śledzone sygnały: L1/L2 C/A i P Code & Carrier

Dokładności (poj. odch. standardowe):

RTK (OTF) dokładność w poziomie: 15mm + 2ppm dla L1

w pionie: 20mm + 2ppm dla L1

Porty komunikacyjne: 2 szeregowo (RS232)

Kontroler – interfejs zewnętrzny:

Topcon FC-1000 Data Collector z oprogramowaniem TopSURV

komputer PC z aplikacjami: PC-CDU 2.1.10 MS, Topcon Link v. 8

oraz oprogramowaniem GNSS Internet Radio i modemu telefonu

komórkowego do łączności z serwerem ASG-EUPOS

Rejestracja danych: 1s

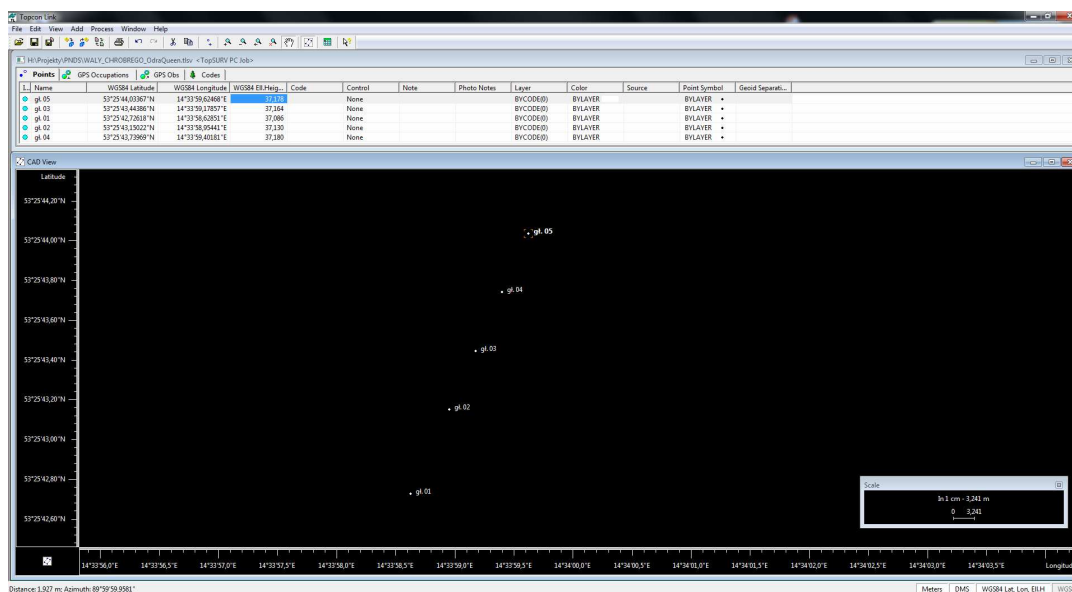
Obsługa protokołów: na wejściu i wyjściu RTCM SC104 v. 2.2 i 2.3 oraz CMR+



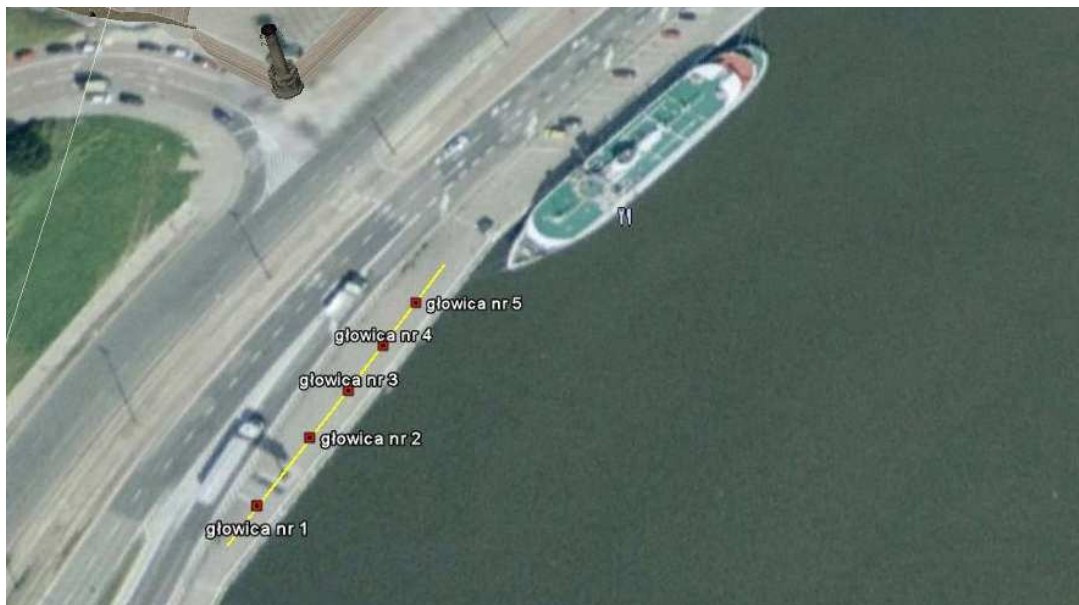
Rys. 3. Zestaw pomiarowy RTK.

### 3. Pomiary

Pozycje głowic ustalono na podstawie uśrednienia trzech pomiarów RTK (OTF) uzyskując pozycje Fixed (z tolerancją według danych technicznych) w globalnym układzie odniesienia WGS 84 i elipsoidą odniesienia WGS 84. Poprawki RTK uzyskano z serwisu ASG-EUPOS w trybie VRS (z wirtualnej stacji referencyjnej usytuowanej w odległości kilkunastu metrów od rejestrowanych pozycji). Zarejestrowane dane zostały zaimportowane w formacie tsv odpowiadającym formatowi aplikacji bazy danych Access firmy Microsoft.



Rys. 4. Przykład wytyczonych pozycji głowic przy stanowisku cumowniczym Nawigator XXI w aplikacji Topcon Link v. 8.



Rys.5. Rozmieszczenie głowic na Nabrzeżu Wieleckim Źródło: Google Maps.

Tabela 2. Wytyczone pozycje przy stanowisku cumowniczym Nawigatora XXI

Numer Głowicy	Współrzędne szerokości	Współrzędne długości	Easting [m]	Northing [m]
1	53:25:44,03376	14:33:59,62461	471200.99	5920071.14
2	53:25:43,73990	14:33:59,40180	471196.83	5920062.08
3	53:25:43,44347	14:33:59,17895	471192.66	5920052.95
4	53:25:43,15005	14:33:58,95409	471188.45	5920043.90
5	53:25:42,72631	14:33:58,62830	471182.36	5920030.85

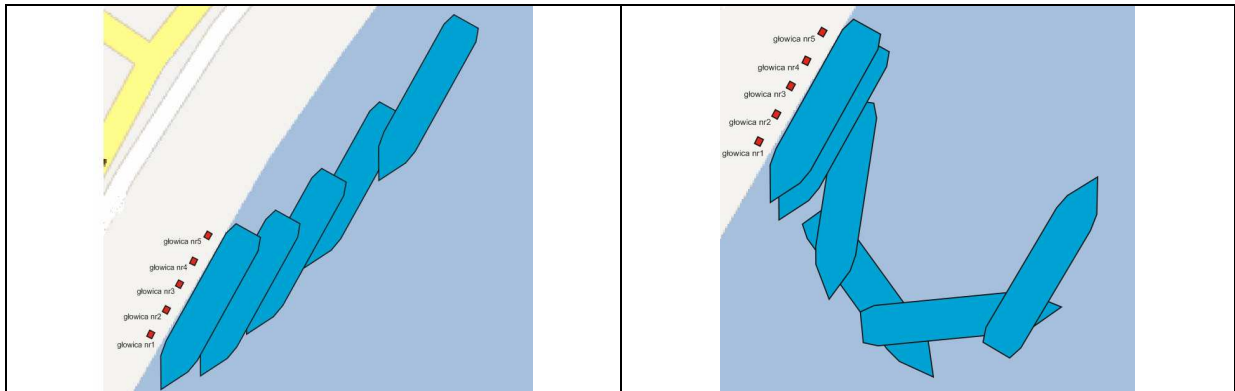
#### 4. Pomiar manewrów cumowania i odcumowania statku Nawigator XXI

W celu weryfikacji poprawności działania systemu w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem dynamicznego celu dokonano pomiaru prędkości poprzecznej i odległości statku Nawigator XXI od nabrzeża podczas manewrów cumowania i odcumowania. Średni okres pomiaru manewru jednostki wynosił około 12 minut. Głowice ustawione były prostopadle do kierunku nabrzeża w odległości 485 cm od zacumowanej jednostki, tak by namierzać się na niebieską część burty statku.



Rys. 6. Rozmieszczenie głowic na nabrzeżu.

Manewr podejścia do nabrzeża polegał na przemieszczeniu się jednostki prawą burzą do nabrzeża za pomocą sterów strumieniowych. Statek najpierw namierzany był przez głowice numer 5 i przemieszczał się w kierunku głowicy numer 1. Manewr odejścia był dłuższy, statek po odejściu od nabrzeża wykonywał zwrot o 180 stopni.



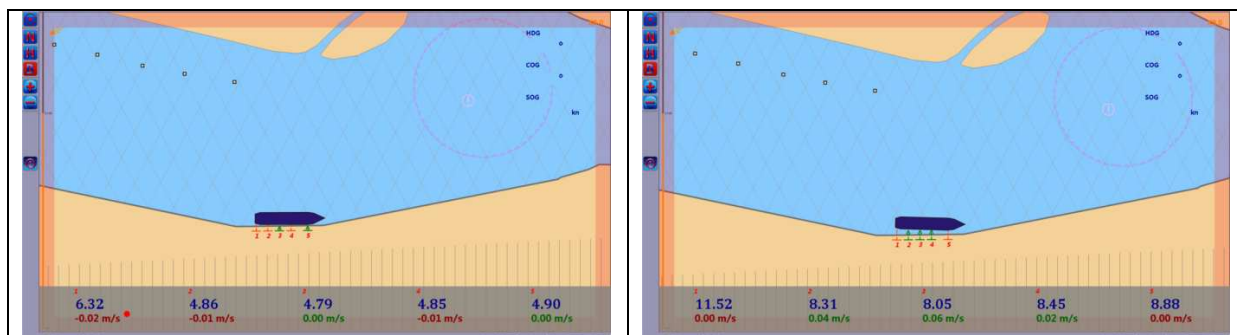
Rys.7. Taktyka cumowania i odcumowania statku Navigator XXI

Wyniki pomiarów wysyłane były do zdalnego komputera, a dalej zapisywane do bazy danych PostgreSQL znajdującej się na klastrze obliczeniowym ACETON.

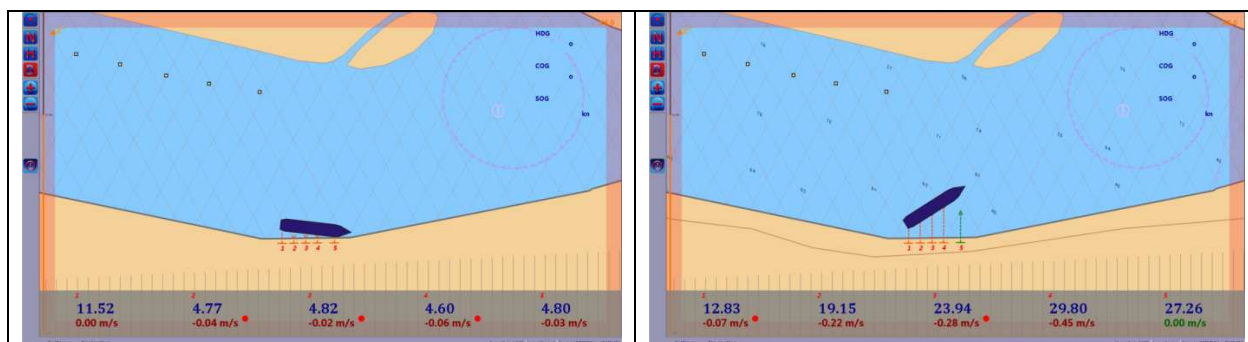
## Wyniki

Na poniższych rysunkach przedstawiono kolejne etapy odcumowania statku Navigator XXI. Odległości zmierzone za pomocą głowic laserowych przedstawione zostały za pomocą linii przerywanych. Czerwony kolor linii oznacza, że zmierzona odległość maleje, natomiast zielony kolor oznacza, że zmierzona odległość rośnie. Liczbowe wartości zmierzonych odległości wyświetlane są w dolnej części ekranu, pod nimi wyświetlane są również

obliczone prędkości poprzeczne. Pomiary rozpoczynały się w momencie, gdy statek przycumowany był do nabrzeża [Rys. 8a] i trwały, aż do momentu, gdy impuls z żadnej z głowic nie trafiał w kadłub statku.

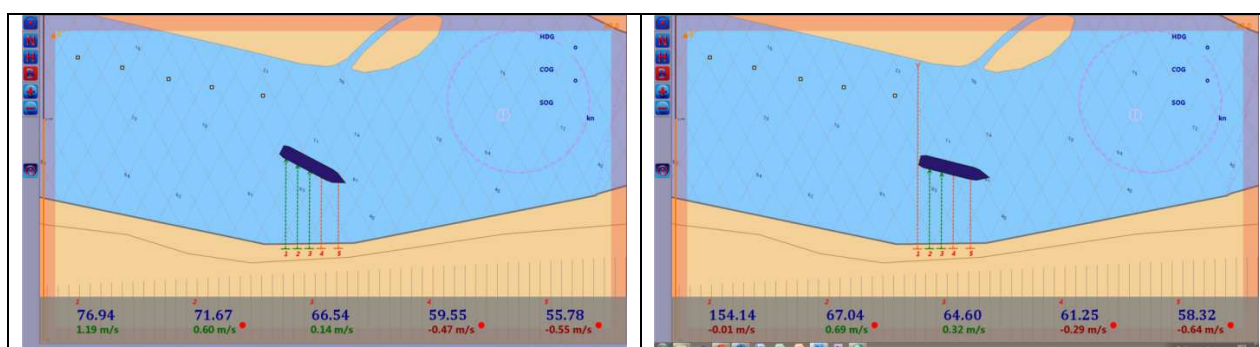


Rys. 8. Kolejne etapy manewru odcumowania statku Navigator XXI (a- lewy, b-prawy)



Rys. 9. Kolejne etapy manewru odcumowania statku Navigator XXI (c- lewy, d-prawy)

Błędne wskazania głowicy 2 [Rys. 9c] i głowicy 5 [Rys. 9d] spowodowane były najprawdopodobniej przez pracownika zrzucającego cumy (rys. c) lub pomiar do cumy, która była wykorzystywana w manewrze obracania statku [Rys. 9 d].



Rys. 10. Kolejne etapy manewru odcumowania statku Navigator XXI (e- lewy, f-prawy)

Statek w początkowej fazie obrotu przedstawia rys. e, głowice 1, 2, 3 wskazują ruch rufy od nabrzeża, głowice 4,5 natomiast ruch dziobu w kierunku nabrzeża [Rys. 10 f], na którym widoczny jest również moment przejścia rufy z linii trafienia głowicy 1, a pomiar wykonany został do nabrzeża wyspy Grodzkiej.

## **Wnioski**

Przeprowadzone badania rzeczywiste prototypu systemu PNDS w warunkach rzeczywistych pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- prototyp systemu PNDS wykazał zdolność do wykonywania pomiarów odległości w możliwie szerokim zakresie przejrzystości atmosfery i parametrów celów,
- zdolność do utrzymywania łączności z resztą systemu niezależnie od warunków zewnętrznych
- Istnieje potrzeba opracowania techniki instalacji głowic laserowych z możliwością jednoznacznej oceny pozycji trafienia lasera oraz kąta padania wiązki lasera,
- Istotna jest analiza wpływu niepewności pomiarowych współrzędnych pozycji umieszczenia głowicy lasera oraz kąta padania jego wiązki na ostateczny wynik pomiaru odległości i prędkości poprzecznej,
- należy rozważyć zwiększenie częstotliwości uzyskiwania danych pomiarowych odległości w systemie PNDS, może to mieć istotne znaczenie przy większych niż założone prędkościach podejścia i odejścia od nabrzeża.