

## ANALIZA DZIAŁANIA MORSKIEJ STACJI REFERENCYJNEJ W ŚWINOUJŚCIU JAKO PODSTAWA DO STWORZENIA MORSKICH SYSTEMÓW IDS (*INSTRUMENT DOCKING SYSTEM*)

### ANALYSIS OF OPERATION OF THE MARITIME REFERENCE STATION IN ŚWINOUJŚCIE AS A BASIS FOR CREATING THE INSTRUMENT DOCKING SYSTEM (IDS)

**Jacek Pietraszkiewicz\*, Wojciech Tycholiz**

NavSim Polska Sp. z o.o., ul. Różana 95, 59-700 Bolesławiec,  
e-mail: jacek.pietraszkiewicz@navsim.pl

\* Adres do korespondencji/Corresponding author:

**Streszczenie:** W artykule opisano fazy podchodzenia statku do portu ze szczególnym uwzględnieniem problemu wyznaczania pozycji jednostki z dużą dokładnością w czasie rzeczywistym. W tym aspekcie przeprowadzona została analiza systemów pozycjonowania, ich dokładności, dostępności, niezawodności oraz zasięgu działania. W artykule przedstawiono wyniki badań obserwacji dokładności systemu pozycjonowania w Świnoujściu, przeprowadzonych przez zespół NavSim Polska Sp. z o.o. Podkreślając wykorzystanie techniki RTK (*Real Time Kinematic*), przeprowadzono analizę działania Morskiej Stacji Referencyjnej (MSR) w Świnoujściu. Artykuł prezentuje możliwe praktyczne wykorzystanie technologii GNSS RTK (*Global Navigation Satellite Systems*) do budowy systemów elektronicznego zobrazowania rzeczywistej sytuacji nawigacyjnej dużej jednostki oraz wdrożenia na wzór systemów lotniczych ILS (*Instrument Landing System*) lub GBAS (*Ground Based Augmentation System*) morskich systemów IDS (*Instrument Docking System*). Przedstawione wnioski uzasadniają przydatność MSR w Świnoujściu oraz stosowanie podobnych systemów w celu zwiększenia bezpieczeństwa podczas wprowadzania statków do portu.

**Słowa kluczowe:** e-Navigation, nawigacja precyzyjna, cumowanie, *Instrument Docking System* (IDS), *Portable Pilot Units* (PPU), *Real Time Kinematic* (RTK), systemy pilotowe, *International Docking System Standard* (IDSS).

**Abstract:** Navigating large vessels in the confined waters (coastal/approach and harbour) is everything but trivial. Due to heavy vessel traffic, vicinity of navigational hazards, limited water depth, rapidly changing navigational circumstances, and tremendous weight of the vessels, navigating, mooring and docking activities are demanding and stressful for the pilots. Stress usually leads to increased tiredness, risk of human error and thus to a larger number of incidents and accidents. Marine pilots are more tired and less effective. In the temperate zones there is an additional factor to be considered: poor visibility. This article presents a practical application of the GNSS RTK technology in the electronic chart and

situational awareness system as well as the concept of the Instrument Docking System (IDS) for vessels, which in its purpose and fundamental elements is similar to the Instrument Landing System (ILS) for aircrafts).

**Keywords:** e-Navigation, precise navigation, docking, Instrument Docking System (IDS), Portable Pilot Units (PPU), Real Time Kinematic (RTK), pilots systems, International Docking System Standard (IDSS).

## 1. WSTĘP

Potrzeba poprawienia bezpieczeństwa energetycznego Polski stworzyła konieczność budowy terminalu LNG (*Liquefied Natural Gas*) i portu zewnętrznego w Świnoujściu. Oddanie ich do eksploatacji w 2015 roku wiązało się z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa nawigacyjnego statkom operatorów. Statki LNG są znacznie większe od dotychczas obsługiwanych przez port w Świnoujściu, dlatego konieczna była budowa nowego falochronu, a tym samym modernizacja całego basenu portowego oraz poszukiwania i zastosowania nowych technik nawigacyjnych. Za budowę i utrzymanie infrastruktury portu zewnętrznego, toru podejściowego oraz nadzór nad bezpieczeństwem ruchu jednostek pływających odpowiada Urząd Morski w Szczecinie, który już od 2009 roku był inspiratorem poszukiwania nowych technologii zapewniających bezpieczeństwo nawigacyjne.

W 2012 roku zespół naukowców Akademii Morskiej w Szczecinie pod kierownictwem Stanisława Gucmy dokonał ciekawej analizy dostępności portu w Świnoujściu w pracy „Projekt systemów zapewniających bezpieczną nawigację i obsługę statków LNG na podejściu i w porcie zewnętrznym w Świnoujściu” [Gucma 2012]. Z racji też w niej zawartych opracowanie to można uznać za przełomowe. Posłużyło ono później dyrektorowi Urzędu Morskiego w Szczecinie do stworzenia ram i norm prawnych dla żeglugi jednostek powyżej 220 m na akwenie podległym [Urząd Morski Szczecin 2015].

Zespół ekspertów, po raz pierwszy w rozdziale 5 wspomnianego opracowania, określił rzetelnie wymagania i warunki dla możliwych do użycia systemów pozycjonowania i, co znamienne, w wyniku tej analizy po raz pierwszy zostały w niej dostrzeżone przenośne systemy pilotowe PPU (*Portable Pilot Units*), wymienione tam jako podstawowe narzędzia do realizacji zadań nawigacyjnych w portach i na podejściach do tychże. Innowacyjna aktywność grup pilotów morskich została dostrzeżona przez opiniotwórczą naukę, a w ślad za tym organy administracji państwowej usankcjonowały prawnie wymagania, dotyczące wyposażenia i stosowania narzędzi nawigacyjnych do realizacji zadań wewnątrz lokalnych portów.

Kluczowe jest tu słowo „lokalny” – zespół pod kierownictwem Gucmy określił cechy systemów nawigacyjnych pod kątem przydatności do zastosowań pozycyjnych oraz ich pochodnych. Cechami tymi są opisywane również w dokumencie R-121: dokładność, dostępność, niezawodność, ciągłość oraz zasięg działania systemu [IALA R-121 2004]. W dalszej kolejności zespół dokonał analizy możli-

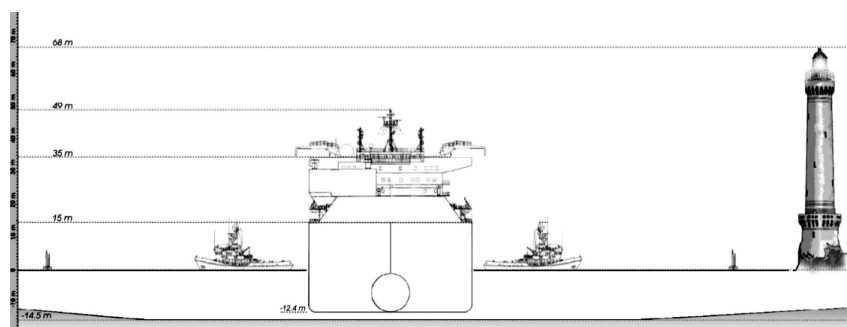
wych do wykorzystania, znanych współcześnie technik nawigacyjnych. Na jej podstawie naukowcy doszli do wniosku, że „podstawową metodą określania pozycji i jej pochodnych jest metoda satelitarna wykorzystująca pilotowy system nawigacyjny i metoda terestryczna, a metodą awaryjną metoda radarowa” [Gucma 2012].

Z nawigacyjnego punktu widzenia proces podchodzenia dużego statku do portu można podzielić na kilka faz:

- Faza I – precyzyjne ustalenie pozycji jednostki na torze podejściowym do portu.
- Faza II – wejście statku w rejon, w którym niezależnie od warunków hydro-meteorologicznych lub technicznych przerwanie manewru wejścia do portu jest już niemożliwe. Minięcie punktu ostatniej decyzji dla Świnoujścia to para pław 5 i 6, które znajdują się 12 mil od główek portu.
- Faza III – manewrowanie w porcie czyli cyrkulacje, ustawianie równoległe i obrót.
- Faza IV – podejście do nabrzeża i oparcie o odbojnice portowe, gdzie statek praktycznie porusza się niezauważalnie. Maksymalna dopuszczalna prędkość zbliżania statku do nabrzeża określona jest na poziomie 10 cm/s.

W celu zapewnienia bezpiecznego manewrowania, ustalenia położenia i prędkości statku w III i IV fazie należało rozwiązać problem wyznaczania pozycji jednostki w czasie rzeczywistym z dokładnością do co najmniej 10 cm na poziomie ufności minimum 95%. Tylko pomiar uzyskany z taką dokładnością daje gwarancję bezpiecznego manewrowania i podejścia statku do nabrzeża w warunkach ograniczonej widzialności. Duża odległość punktu ostatniej decyzji od główek portu stwarza dodatkowe ryzyko istotnej zmiany warunków atmosferycznych, w szczególności zaś realne pogorszenie widzialności w porze jesiennej i zimowej.

Rysunek 1 przedstawia sytuację statku „Al Nuaman” przed wejściem do portu Świnoujście w okolicy główek wejściowych.



**Rys. 1.** Schemat sytuacji statku „Al Nuaman” przed wejściem do portu Świnoujście, przekrój na linii pław 15 i 16 (rysunek w skali)

**Fig. 1.** Situation of the “Al Nuaman” ship before entering (berthing at) the port of Świnoujście, section on buoys 15 and 16 (drawing in scale)

Źródło: [NavSim Polska 2014; 2015].

W rozwiązaniach stosowanych na świecie ostatnią fazę cumowania realizuje się głównie z wykorzystaniem dalmierzy laserowych [Trelleborg Marine Systems 2015].

Przykładowy system pomiaru laserowego SmartDock firmy Trelleborg przedstawiony jest na rysunku 2. Stosowanie takich rozwiązań jest jednak kłopotliwe i niewygodne dla pilota. Systemy te wykonują tylko pomiary zbliżania (prędkość i kąt) burty statku do nabrzeża, nie wskazując rzeczywistej pozycji całej jednostki w stosunku do nabrzeża czy chwilowego środka obrotu. Ponadto system ten sprawdza się jedynie w przypadku cumowania, sam obejmując tylko konkretne miejsce cumownicze. Dodatkowo system laserowy wymaga od pilota stosowania innych narzędzi i systemów łączności w pozostałych fazach manewrowania.



**Rys. 2.** System SmartDock firmy Trelleborg

**Fig. 2.** The Trelleborg SmartDock System

Źródło: [Trelleborg Marine Systems 2015].

W 2015 roku, w ramach realizacji wewnętrznego projektu badawczego, zespół NavSim Polska Sp. z o.o. wykonał badania własne 24-godzinnej obserwacji dokładności systemu pozycjonowania w Świnoujściu w zależności od wybranej konstelacji satelitów. W badaniach wykorzystano odbiorniki GNSS Trimble BX982 z anteną Zaphyr 2 Geodetic. Celem badania było określenie przydatności konkretnych konstelacji satelitów (serwisów) i technik pozycjonowania do ustalenia całkowitego rozrzutu obserwacji pomiarowych nieruchomej anteny wokół średniej ze wszystkich pomiarów. Antena pomiarowa umocowana została na maszcie znajdującym się na dachu Bazy Oznakowania Nawigacyjnego w Świnoujściu. Pomiary wykonywano w lipcu 2015 roku zawsze od godziny 07:00 jednego dnia do godziny 07:00 dnia kolejnego. W sumie wykonanych zostało 81 288 obserwacji pomiarowych (z częstotliwością 1 Hz).

## 2. POMIARY GNSS I GNSS-RTK

W pierwszej kolejności wykonano pomiary pojedynczych konstelacji GPS (*Global Positioning System*) oraz GLONASS (*Globalnaja Navigacjonnaja Sputnikowa Sistema*) bez poprawki georeferencyjnej typu SBAS (*Satellite Based Augmentation System*). Następnie wykonano pomiary dla pojedynczych konstelacji z uwzględnieniem poprawki SBAS. Wreszcie, w ostatnim kroku, wykonano pomiary dla obu konstelacji jednocześnie – GPS i GLONASS – z uwzględnieniem poprawki SBAS.

W wyniku dokonanych obserwacji ustalono, że żaden z badanych serwisów nie osiągnął oczekiwanej precyzji. Dla serwisu GLONASS nie znaleziono żadnego pomiaru oddalonego od własnej średniej o 10 cm. Tylko 7% mieściło się w kole o promieniu 1 m. Dla serwisu GPS około 70% pomiarów mieściło się w kole o promieniu 1 m, ale tylko 2,3% spełniało warunek 0,1 m. Jedynie jednoczesne wykorzystanie konstelacji GPS, GLONASS i SBAS dało przyzwoity wynik 99,99% pomiarów w kole o promieniu 1 m, choć tylko 17,15% z nich mieściło się w kole o promieniu 0,1 m.

W kolejnej fazie badania analogiczne pomiary wykonano dla serwisu GPS+GLONASS z wykorzystaniem poprawki RTK (*Real-Time Kinematic*) w standardzie RTCM3. Wynik był imponujący: 100% pomiarów mieściło się w kole o promieniu 1 m oraz 100% pomiarów mieściło się w kole o promieniu 0,1 m. Metody czasu rzeczywistego RTK umożliwiają prawie natychmiastowe wyznaczenie położenia centrum fazowego anteny odbiornika z dokładnością 2 cm na poziomie ufności 95%. Czas inicjacji pomiarów w odbiorniku GPS przy wykorzystaniu tych metod wynosi ok. 10 s.

Odbiornik na statku wyznacza współrzędne położenia punktu na podstawie sygnałów odebranych przez jego antenę GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) oraz poprawek ze stacji referencyjnej przez antenę radiomodemu lub telefon komórkowy (GPRS). W odbiorniku następuje proces obróbki tych sygnałów i wyznaczenie pozycji anteny odbiornika ruchomego. Istotą działania tej technologii jest zatem dostęp do specjalistycznej stacji referencyjnej wysyłającej poprawki z dużą częstotliwością dla każdego z „widocznych” satelitów osobno.

## 3. MORSKA STACJA REFERENCYJNA W ŚWINOUJŚCIU

Urząd Morski w Szczecinie, w ramach projektu „Modernizacja infrastruktury zapewniającej dostęp do portów w Świnoujściu i Szczecinie – oznakowanie nawigacyjne”, realizowanego w 2015 roku, podjął decyzję o wybudowaniu Morskiej Stacji Referencyjnej RTK w Świnoujściu (zwanej dalej MSR). Mimo że sama technologia RTK jest już znana i z powodzeniem stosowana w geodezji, rolnictwie czy górnictwie, nieczęsto jest stosowana w nawigacyjnych rozwiązaniach morskich. Tym

bardziej, że ze względu na jej innowacyjność, żadna z globalnych instytucji regulacyjnych nie sprecyzowała jeszcze w sposób jednoznaczny uwarunkowań prawnych ani zaleceń dotyczących jej stosowania na morzu. W sposób ogólny techniki GNSS do zastosowań nawigacyjnych zostały określone w Dyrektywach Międzynarodowej Organizacji Morskiej IMO A.915(22) i IMO 953(23) oraz w rekomendacji IALA (*International Association of Lighthouse Authorities*) R-121 (IALA R-121 2004). Dotyczą one jednak ogólnie technik różnicowych, w szczególności DGPS (*Differential Global Positioning System*).

Wykonywane na świecie próby wykorzystania techniki RTK są podejmowane głównie przez poszczególne lokalne grupy pilotów w trudnych i wąskich portach. Według wiedzy, jaką posiadają autorzy, tylko Urząd Morski w Szczecinie zrealizował budowę takiej stacji referencyjnej kompleksowo i zgodnie z dostępnymi aktami normatywnymi dla systemów różnicowych, tworząc jednocześnie uwarunkowania prawne w ramach swoich lokalnych kompetencji do korzystania z takiego typu systemu nawigacyjnego.

W odróżnieniu od podobnych stacji geodezyjnych, zgodnie z IALA R-121, MSR RTK musiała zostać zaprojektowana zgodnie z zasadami *Integrity Monitor* [IALA R-121 2004; Nowak i Specht 2012]. W Morskiej Stacji Referencyjnej (MSR) można wyodrębnić dwa moduły: pomiarowy i nadawczy. Moduł pomiarowy zlokalizowano na terenie Bazy Oznakowania Nawigacyjnego w Świnoujściu, a moduł nadawczy – na wieży latarni morskiej. Oba moduły połączono jednomodowym łączem światłowodowym, aby maksymalnie skrócić czas pomiędzy wyliczeniem poprawki a jej rozgłoszeniem. Ze względu na wymaganą dużą niezawodność, dostępność i ciągłość serwisu poprawek RTK (99,98%) moduł pomiarowy wyposażono w dwa odbiorniki ustawione w tryb pracy dla stacji referencyjnej i jeden odbiornik ustawiony w tryb pracy RTK jako odbiornik monitorujący.

Do wszystkich trzech odbiorników podłączono anteny GNSS o dużej odporności na odbiór wielodrożny Zephyr 2 Geodetic. Użycie takich anten determinowało ustalanie poprawek dla jak największej liczby satelitów widocznych z obszaru Świnoujścia. Dzięki takim rozwiązaniom MSR wylicza na bieżąco poprawki nawet dla 24 satelitów GPS i GLONASS jednocześnie oraz jest już przystosowana do obliczania poprawek dla konstelacji Galileo. Warto w tym miejscu nadmienić, że w styczniu 2016 roku Morska Stacja Referencyjna w Świnoujściu korzystała z sześciu satelitów Galileo. Zaznaczyć należy, że do prawidłowego działania MSR oraz odbiornik ruchomy muszą odbierać jednocześnie sygnał z co najmniej pięciu tych samych satelitów. Duża liczba widocznych jednocześnie satelitów (średnio 24) oraz ich „wzajemna kompatybilność” zwiększa niezawodność, dostępność i ciągłość serwisu. Anteny stacji umieszczono na szczycie 2,5-metrowego masztu kratownicowego na planie trójkąta równobocznego o boku dokładnie 500 mm

(rys. 3). Po instalacji ustalono dokładne pozycje centrów fazowych anten metodą postprocessingu z 24-godzinnych obserwacji.

Zadaniem dwóch pierwszych odbiorników MSR RTK jest ciągle generowanie poprawek i ich transmisja do modułu nadawczego.



**Rys. 3.** Anteny pomiarowe GNSS Morskiej Stacji Referencyjnej RTK

**Fig. 3.** MRS RTK GNSS antennas

Źródło: [NavSim Polska 2014; 2015].

Moduł nadawczy (rys. 4) wyposażony został w dwa redundantne radiomodemy, nadające wygenerowaną poprawkę w formacie RTCM 3.1 na częstotliwości 449,275 MHz z mocą 1 W oraz w systemy zdalnego sterowania pracą każdego z nich. W danej chwili nadaje tylko jeden radiomodem. Tak wygenerowane poprawki mogą być odbierane i wykorzystywane przez odbiorniki statkowe na promach lub pilotowe urządzenia nawigacyjne. Zasięg radiowy systemu zależy od wysokości anteny odbiornika ruchomego i wynosił od 10 Nm dla anteny na wysokości 2 m n.p.m. do 30 Nm dla anteny na wysokości 24 m n.p.m. Każda wygenerowana poprawka archiwizowana jest również w bazach danych serwera Centralnego Urzędu Morskiego. MSR generuje także poprawki w formatach RTCM 2.3, RTCM 2.1, CRMx, CRM+ i CRM, ale w chwili obecnej są one dostępne tylko poprzez sieć Internet.



**Rys. 4.** Moduł nadawczy MSR RTK

**Fig. 4.** MSR RTK broadcasting module

Źródło: [NavSim Polska 2014; 2015].

Poprawkę nadaną z radiolatarni Świnoujście odbiera drogą radiową radiomodem modułu pomiarowego, przekazując ją do odbiornika monitorującego. Radiomodem pomiarowy oddalony jest od nadawczego o 2,6 km. Odbiornik monitorujący przesyła każdą aktualną obserwację pozycji do serwera centralnego co jedną sekundę. Każdy pomiar jest następnie (w czasie rzeczywistym) porównany z pozycją referencyjną oraz zapisywany w archiwum serwera.

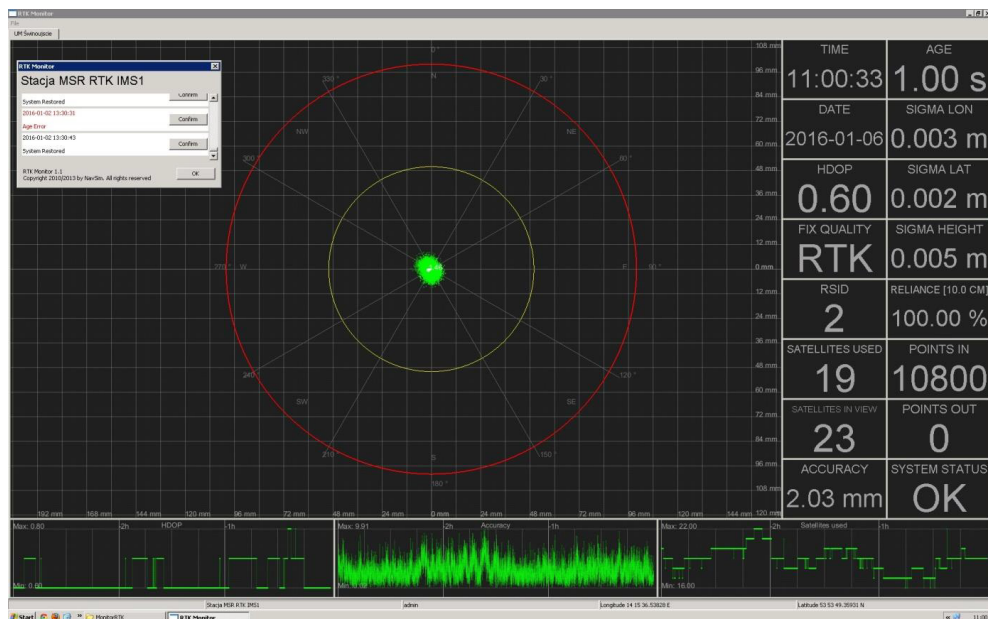
Kiedy dowolna z badanych wielkości pomiaru (pozycja, wiek poprawki, minimalna liczba satelitów, geometria satelitów) odbiega od zadanej normy przez dłużej niż 4 s, serwer centralny natychmiast automatycznie przełącza moduł nadawczy na tor odbiornika zapasowego, informując o tym fakcie operatora serwisu.

Jeżeli taka sama sytuacja powtórzy się w układzie zapasowym, serwer automatycznie zamyka oba tory nadawcze, wyłączając serwis poprawek, alarmując jednocześnie stosownym komunikatem operatorów VTS (*Vessel Traffic Service*) oraz wysyłając wiadomości SMS (*Short Message Service*) i e-maile do osób odpowiedzialnych za działanie systemu GNSS-RTK.



Rysunek 5 przedstawia ekran główny komputera monitorującego pracę Morskiej Stacji Referencyjnej RTK w Świnoujściu. Czerwony okrąg wyznacza granicę 0,1 m zdefiniowaną w IMO A915(22) Appendix 2.

Wewnętrzna chmura 10 800 punktów reprezentuje rzeczywiste pomiary za ostatnie 3 godziny działania MSR w stosunku do pozycji referencyjnej. W lewym górnym rogu widać okno alarmowe systemu z komunikatami o błędach i ich usunięciu przez serwer centralny.

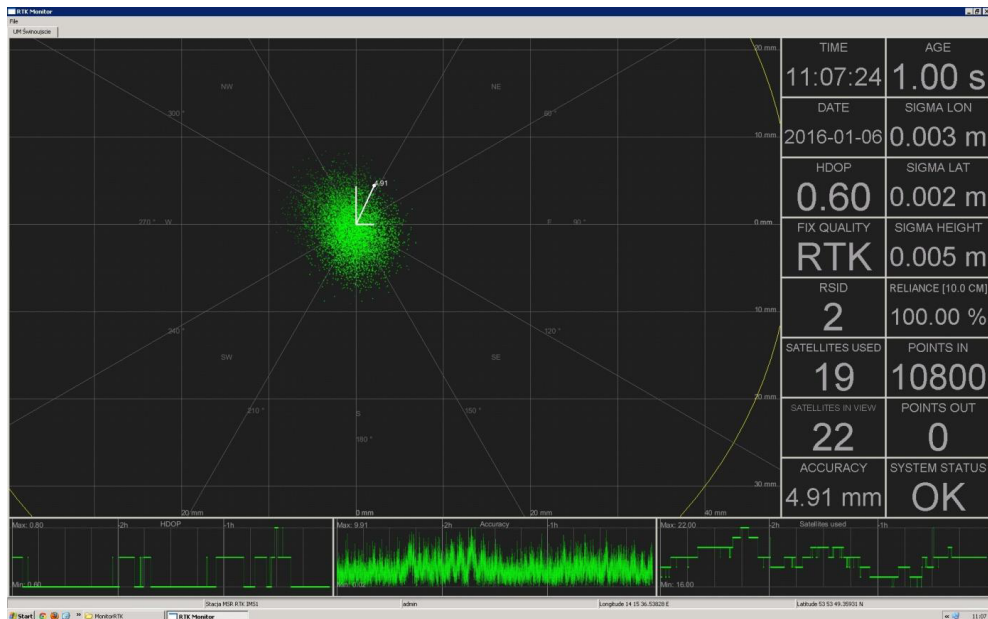


**Rys. 5.** Ekran główny komputera monitorującego pracę Morskiej Stacji Referencyjnej RTK w Świnoujściu

**Fig. 5.** The main screen of the computer monitoring the performance of the Maritime Reference Station RTK in Świnoujście.

Źródło: Program RTK Monitor™ firmy NavSim Polska [NavSim Polska 2015].

Na rysunku 6, przedstawiającym zwiększoną skalę wyświetlania chmury punktów pomiarowych, zauważyć można wektory różnic pomiarowych (składowe i wypadkowy) w stosunku do pozycji referencyjnej oraz samoskalowalne wykresy pracy stacji za ostatnie 3 godziny.



**Rys. 6.** Ekran główny komputera monitorującego pracę Morskiej Stacji Referencyjnej RTK w Świnoujściu. Zwiększona skala wyświetlania chmury punktów pomiarowych

**Fig. 6.** The main screen of the computer monitoring the performance of the Maritime Reference Station RTK in Świnoujście. Increased scale of the measurement point cloud display

Źródło: Program RTK Monitor™ firmy NavSim Polska [NavSim Polska 2015].

Dodatkowo serwer poprzez inny autonomiczny system komunikacyjny (AIS AtoN) wysłał stosowne ostrzeżenie do pilotów o wyłączonym serwisie RTK. Warto nadmienić, że podczas prac projektowych projektanci systemu zgłaszali na tym etapie problem unifikacyjny dla protokołu systemu AIS. Po wyłączeniu serwisu RTK (zaprzeszaniu propagowania poprawek) serwer centralny nadal analizuje w tle przychodzące z odbiornika monitorującego pomiary, aby automatycznie włączyć serwis poprawek, gdy tylko te wrócą do normy. Specjalne programy komputerowe, implementowane na serwerze centralnym, automatycznie i bez ingerencji człowieka próbują, według opracowanych algorytmów, jak najszybciej przywrócić stację do poprawnej pracy. Od początku działania MSR, czyli od maja 2015 roku, serwer wyłączył serwis tylko raz, gdy został przerwany światłowód podczas prac ziemnych. Był to istotny błąd zaprojektowanego systemu. Po tej awarii Urząd Morski zbudował dedykowany most radiowy w paśmie 5 GHz, który uruchamiany jest zastępczo, gdy nastąpi awaria traktu światłowodowego (rys. 7).



URZĄD MORSKI W SZCZECINIE

Sprawozdanie z monitoringu pracy  
MSR RTK Świnoujście

Data od: 2016-09-01

Data do: 2017-06-07

OK

|   |                                |                          |                              |            |
|---|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|------------|
| System: <b>UM Szczecin</b>                                    | Serwis: <b>NavSim Polska</b>   | Typ poprawek: <b>RTK</b> |                              |            |
| Data pomiaru:<br>2016-09-01 - 2017-06-07                      | Częstotliwość rejestracji: 1Hz |                          | Liczba wyznaczeń: 15 637 890 |            |
| Współrzędne referencyjne:<br>(układ 2000 i wys. elipsoidalna) |                                | X = 14.260149522358      | Y = 53.897044252819          | H = 48.445 |

Zaobserwowane błędy:

|        |       |            |       |          |       |
|--------|-------|------------|-------|----------|-------|
| RMS x  | 6 mm  | CEP(50%)   | 8 mm  | SEP(50%) | 14 mm |
| RMS y  | 7 mm  | CEP(95%)   | 16 mm | SEP(90%) | 23 mm |
| RMS h  | 15 mm | CEP(99%)   | 20 mm | SEP(99%) | 31 mm |
| 2RMS x | 13 mm | DRMS(65%)  | 9 mm  | MRSE     | 18 mm |
| 2RMS y | 13 mm | 2DRMS(95%) | 18 mm | 2MRSE    | 35 mm |
| 2RMS h | 30 mm | 3DRMS(99%) | 27 mm |          |       |

Charakterystyki niezawodnościowe:

Dostępność serwisu [IALA R-121: Availability]

| Progi [mm]         | MTBF (3D) | MTTR (3D) | A (3D)   | MTBF (2D) | MTTR (2D) | A (2D)   | MTBF (h)  | MTTR (h) | A (h)    |
|--------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|
| HAL=20<br>VAL=30   | 7281 s    | 3 s       | 99.956 % | 345591 s  | 11 s      | 99.997 % | 7397 s    | 3 s      | 99.959 % |
| HAL=50<br>VAL=80   | 691185 s  | 18 s      | 99.997 % | 711515 s  | 17 s      | 99.998 % | 1511995 s | 7 s      | 100 %    |
| HAL=100<br>VAL=150 | 711515 s  | 17 s      | 99.998 % | 711516 s  | 15 s      | 99.998 % | 1612795 s | 7 s      | 100 %    |
| HAL=150<br>VAL=200 | 711517 s  | 14 s      | 99.998 % | 691189 s  | 14 s      | 99.998 % | 1727998 s | 4 s      | 100 %    |
| HAL=200<br>VAL=300 | 691189 s  | 14 s      | 99.998 % | 671989 s  | 13 s      | 99.998 % | 2015998 s | 4 s      | 100 %    |

Charakterystyki dostępności:

Ciągłość serwisu [IALA R-121: Continuity]

| Progi [mm]         | Interwał | Okres | Cel     | Ciągłość | Prawdopodobieństwo awarii w interwale |
|--------------------|----------|-------|---------|----------|---------------------------------------|
| HAL=20<br>VAL=30   | 900 s    | 280 d | 99,97 % | 99.74 %  | 0.26 %                                |
| HAL=50<br>VAL=80   | 900 s    | 280 d | 99,97 % | 99.87 %  | 0.13 %                                |
| HAL=100<br>VAL=150 | 900 s    | 280 d | 99,97 % | 99.87 %  | 0.13 %                                |
| HAL=150<br>VAL=200 | 900 s    | 280 d | 99,97 % | 99.87 %  | 0.13 %                                |
| HAL=200<br>VAL=300 | 900 s    | 280 d | 99,97 % | 99.87 %  | 0.13 %                                |

Rys. 7. Przykład znormalizowanego raportu *Integrity Monitoring* pracy MSR RTK Świnoujście

Fig. 7. An example of a normalized report *Integrity Monitoring of the work of MSR RTK Świnoujście*

Źródło: [Nowak i Specht 2012].

W okresie od 1 września 2016 do 6 czerwca 2017 roku (10 miesięcy) zarejestrowano 15 637 890 pomiarów ze stacji monitorującej. W wyniku zastosowanej architektury systemu osiągnięto wskazane poniżej parametry pracy Morskiej Stacji Referencyjnej w Świnoujściu:

- średni błąd kołowy dla poziomu prawdopodobieństwa 95% – 18 mm;
- prawdopodobny błąd kołowy współrzędnych horyzontalnych dla poziomu 95% – 16 mm;
- średni czas pomiędzy awariami serwisu horyzontalnego na poziomie wymaganym 0,1 m – 197 h;
- średni czas naprawy po awarii serwisu horyzontalnego na poziomie 0,1 m – 17 sekund;
- dostępność serwisu horyzontalnego na poziomie 0,1 m – 99,998%;
- ciągłość serwisu horyzontalnego na poziomie 0,1 m – 99,87%;
- prawdopodobieństwo awarii serwisu horyzontalnego na poziomie 0,1 m w ciągu kolejnych 15 minut – 13 promili.

W trakcie tego czasu system pracował:

- w trybie RTK – 15 634 925 s;
- w trybie SBAS – 522 s;
- w trybie SPS – 106 s.

Zaobserwowane przyczyny takich parametrów dostępności i ciągłości są dwie. Pierwsza i główna związana jest z działaniem samej sieci teleinformatycznej Urzędu Morskiego w Szczecinie i można ją niewątpliwie wyeliminować lub ograniczyć. Druga wiąże się z nagłą, nieprzewidzianą i nieperiodyczną kilkusekundową utratą radiowej widoczności konstelacji GLONASS. Przyczyny są aktualnie badane i na tym etapie nie można nic o niej powiedzieć.

#### 4. Dyskusja i Podsumowanie

Zbudowanie Morskiej Stacji Referencyjnej RTK w Świnoujściu zgodnie z zasadami *Integrity Monitor* przez Urząd Morski w Szczecinie oraz swobodny dostęp do jej danych dały możliwość dalszego rozwoju technik nawigacyjnych opartych na technologiach GNSS i poprawienia tym samym bezpieczeństwa w ruchu morskim na torze podejściowym do Świnoujścia oraz w samym porcie. Ze względu na to, że szerokość bezpiecznego akwenu manewrowego jest funkcją dokładności systemów określania pozycji, MSR w znaczący sposób podnosi dokładność argumentu funkcji, przyczyniając się do zwiększenia bezpieczeństwa dostępnego akwenu.

Zastosowane rozwiązania, w tym pełny monitoring działania systemu, redundancja pomiarów, torów komunikacyjnych, modułów nadawczych i modułów zasilania, mogą pretendować stworzony system do w pełni sprawnego i zgodnego z obowiązującymi wytycznymi lokalnego systemu nawigacyjnego. W połączeniu

ze stosowanymi przez pilotów morskich odpowiednimi zestawami PPU – przystosowanymi do korzystania z poprawek RTK – system taki można wprost porównać do lotniczego systemu ILS, wspomagającego lądowanie samolotów w trudnych warunkach.

Analiza zastosowanych technologii pokazuje, że przedstawione w niniejszym artykule rozwiązanie, które autorzy nazwali *Instrument Docking System (IDS)*, może zostać porównane do *Instrument Landing System CAT III C* lub *GBAS* (pozwalającego samolotom na precyzyjne podejście według wskazań przyrządów i lądowanie w warunkach braku widzialności wzdłuż drogi startowej), będącego obecnie standardowym radiowym systemem nawigacyjnym, wspomagającym lądowanie samolotów w trudnych warunkach.

Przeprowadzone badania operacyjne podczas wprowadzania statków LNG do portu zewnętrznego w Świnoujściu potwierdziły przydatność podobnego systemu na morzu. 11 grudnia 2015 roku do portu zewnętrznego w Świnoujściu, za pomocą systemu pilotowego korzystającego z MSR RTK, wprowadzono i zacumowano tankowiec LNG „Al Nuaman” – pierwszy statek z płynnym metanem w Polsce (rys. 8). Statek wpływał do portu, gdy występowały graniczne warunki meteorologiczne, określone przez zespół pod kierownictwem S. Gucmy. Manewry podejścia, obrotu i cumowania do nabrzeża wykonywane były przy słabej widzialności (około 900 m) i silnym wietrze bocznym dopychającym (w porywach do 18 m/s). Doświadczony pilot wprowadzający na jednostkę wszystkie parametry pozyskiwane z IDS, w tym pozycję, kurs nad dnem, kurs rzeczywisty, prędkość wzdłużną, prędkości boczne rufy i dziobu, prędkość obrotową, predykcję, odległość od nabrzeża i informację o przekoszeniu kątowym ocenił na bardzo wiarygodne, przede wszystkim gdy prędkość jednostki spadła do niezauważalnej już prędkości kilku cm/s na wysokości skrzydła mostka. Ani jeden parametr ruchu statku nie pochodził z systemu statkowego.



**Rys. 8.** Zbiornikowiec „Al Nuaman” podczas cumowania

**Fig. 8.** „Al Nuaman” tanker during mooring

Radioelektroniczny system naprowadzania i cumowania IDS (*Instrument Docking System*), stworzony na podstawie MSR RTK w Świnoujściu i zestawów *Portable Pilot Unit*, jest pozbawiony wad charakterystycznych dla lotniczych systemów ILS (rys. 9). Jego główną wadą jest jednak zależność od działających systemów GNSS. IDS korzysta ze wszystkich dostępnych konstelacji satelitów jednocześnie, więc całkowite wyłączenie jednej z nich nie wpływa istotnie na przydatność i możliwość dalszego korzystania z systemu. Warto także dodać, iż stosowanie IDS nie wymaga żadnych inwestycji na statkach, gdyż w jego skład wchodzi infrastruktura portowa (MSR RTK) oraz instrumenty pilotowe (PPU).



**Rys. 9.** Autonomiczne urządzenie pomiarowe PPU NavSim® OneBoxPro+™

**Fig. 9.** Autonomous measuring device PPU NavSim® OneBoxPro+™

Reasumując, wdrożone w Świnoujściu technologie IDS przyczyniły się znacząco do poprawy bezpieczeństwa i zmniejszenia kosztów obsługi statków. Dzięki zastosowaniu IDS znacznie skrócił się czas zajęcia pasa ruchu, czas i odległości holowania, zliberalizowano graniczne warunki hydrometeorologiczne upłynniając tym samym ruch lokalny statków. Ze względu na osiągnięte dokładności zmniejszono błąd kierunkowy położenia burty statku, błąd kierunkowy określenia pozycji statku, błąd określenia i utrzymania kursu statku, czyli wszystkie czynniki składowej nawigacyjnej szerokości akwenu manewrowego. Możliwe staje się również wprowadzanie coraz większych statków aż do portu w Szczecinie. Codziennie z IDS korzystają promy pasażerskie Unity Line – m/f „Polonia” i m/f „Skania”, wszystkie statki Urzędu Morskiego, odpowiadające za oznakowanie nawigacyjne oraz – przy wprowadzaniu dużych statków – piloci morscy stacji pilotowej Szczecin-Pilot.

## LITERATURA

- Gucma, S., 2012, *Projekt systemów zapewniających bezpieczną nawigację i obsługę statków LNG na podejściu i w porcie zewnętrznym w Świnoujściu*, Akademia Morska w Szczecinie, Instytut Inżynierii Ruchu Morskiego, Szczecin.
- IALA R-121, 2004, *IALA Recommendation R-121 on the Performance and Monitoring of DGNS Services in the Frequency Band 283.5 – 325 kHz*.
- NavSim Polska, 2014, *Dokumentacja projektowa MSR RTK Świnoujście*, NavSim Polska, Bolesławiec.
- NavSim Polska, 2015, *Instrukcja obsługi systemu RTK Monitor*, NavSim Polska, Bolesławiec.
- Nowak, A. Specht, C., 2012, *Koncepcja stacji monitorującej aktywne sieci geodezyjne na potrzeby nawigacji i monitorowania ruchu obiektów*, TTS Technika Transportu Szynowego, nr 9, s. 3677–3686.
- Trelleborg Marine Systems, 2015, *SmartDock® Laser Docking Aid System*, Trelleborg Marine Systems, <http://www.trelleborg.com/en/marine-systems/products--solutions--and--services/docking--and--mooring/docking--aid--system/smart--dock--laser> (dostęp październik 2018).
- Urząd Morski Szczecin, 2015, *Przepisy portowe – tekst ujednolicony wg stanu prawnego na dzień 24 lipca 2018 r.*, Urząd Morski w Szczecinie, [http://www.ums.gov.pl/po/2013/Zarz\\_3\\_2013.pdf](http://www.ums.gov.pl/po/2013/Zarz_3_2013.pdf) (dostęp październik 2018).