

Politechnika Morska w Szczecinie
Wydział Nawigacyjny
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Krzysztof Jaskólski

Katedra Nawigacji i Hydrografii Morskiej
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
im. Bohaterów Westerplatte
ul. Śmidowicza 69
81-127 Gdynia

Wniosek

z dnia **21.08.2023 r.**

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego,
w dziedzinie **nauk inżynieryjno-technicznych,**
w dyscyplinie¹ **inżynieria lądowa, geodezja i transport.**

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego:

- 1. Modelowanie wybranych charakterystyk eksploatacyjnych systemu automatycznej identyfikacji wraz z widmem amplitudowym zmienności wieku danych dynamicznych wybranych parametrów nawigacyjnych.**
- 2. Modelowanie wybranych charakterystyk eksploatacyjnych urządzeń kompasowych na podstawie dynamicznego charakteru zmian błędów urządzeń kompasowych w dziedzinie częstotliwości oraz redukcja błędów niskiej częstotliwości za pomocą metod cyfrowego przetwarzania sygnałów.**

Osiągnięcie naukowe zaprezentowano w monografii naukowej wydanej przez Wydawnictwo Akademickie AMW zatytułowanej:

Modele dostępności, wiarygodności i dokładności okrętowych systemów i urządzeń nawigacyjnych – wybrane zagadnienia.

Wniosuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym***²

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.

232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rod.html

.....
(podpis wnioskodawcy)



PODPIS ZAUFANY

KRZYSZTOF
JASKÓLSKI

21.08.2023 15:44:46 [GMT+2]

Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

² * Niepotrzebne skreślić.

Załączniki:

1. Dane wnioskodawcy.
2. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora nauk technicznych.
3. Autoreferat.
4. Wykaz osiągnięć naukowych stanowiący znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżyniera lądowa, geodezja i transport.
5. Monografia naukowa zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a Ustawy.
6. Zaświadczenia.
7. Klauzula informacyjna.

kmdr por. dr inż. Krzysztof JASKÓLSKI
Katedra Nawigacji i Hydrografii Morskiej
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
im. Bohaterów Westerplatte

AUTOREFERAT
przedstawiający opis kariery zawodowej oraz istotnej aktywności naukowej

Gdynia 2023

1. Imię i nazwisko

Krzysztof JASKÓLSKI

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej

2002 – inżynier nawigator, kierunek studiów: nawigacja, specjalność: okrętowe systemy i urządzenia pokładowe. Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

Tytuł pracy dyplomowej inżynierskiej: *Zabezpieczenie ratownicze polskiego rejonu odpowiedzialności w aspekcie łączności w niebezpieczeństwie*

Promotor: kmdr dr inż. Maciej DROGOSIEWICZ

2004 – magister inżynier nawigator, kierunek studiów: nawigacja, specjalność: nawigacja. Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

Tytuł pracy dyplomowej magisterskiej: *Ocena wpływu wprowadzenia Automatycznego Systemu Identyfikacji (AIS) na bezpieczeństwo żeglugi na Bałtyku*

Promotor: kmdr prof. dr hab. inż. Andrzej FELSKI

2013 – doktor nauk technicznych w zakresie geodezja i kartografia, specjalność: nawigacja. Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Model wiarygodności i dostępności informacji nawigacyjnej pozyskiwanej za pośrednictwem Automatycznego Systemu Identyfikacji (AIS)*

Promotor: kmdr rez. prof. dr hab. inż. Andrzej FELSKI

Recenzent 1: kmdr rez. prof. dr hab. inż. Cezary SPECHT, Akademia Morska w Gdyni

Recenzent 2: dr hab. inż. Andrzej BANACHOWICZ, prof. ZUT, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

2013 – dyplom ukończenia środowiskowych studiów doktoranckich, Wydział Oceanografii i Geografii, Uniwersytet Gdański, specjalność: geodezja i kartografia

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu

a) Zatrudnienie w jednostkach naukowych

2011.09.02 – 2023.03.06: asystent badawczo-dydaktyczny w Katedrze Nawigacji i Hydrografii Morskiej (dawniej: Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej), Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

2023.03.06 – do chwili obecnej: adiunkt badawczo-dydaktyczny w Katedrze Nawigacji i Hydrografii Morskiej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

b) Zatrudnienie w jednostkach innych niż naukowe

2004.08.09 – 2010.09.30: dowódca działu okrętowego, oficer wachtowy, oficer rozpoznania elektronicznego na okrętach specjalistycznych 3. Flotylli Okrętów w Gdyni. Marynarka Wojenna RP

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2021 r., poz. 478 ze zm.)

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Moim osiągnięciem naukowym stanowiącym podstawę wniosku habilitacyjnego wynikającym z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2021 r., poz. 478 ze zm.) jest:

- a) **modelowanie wybranych charakterystyk eksploatacyjnych automatycznego systemu identyfikacji wraz z charakterystyką widmową zmienności wieku danych dynamicznych wybranych parametrów nawigacyjnych;**
- b) **modelowanie dokładności i wiarygodności urządzeń kompasowych na podstawie dynamicznego charakteru zmian błędów w dziedzinie częstotliwości oraz redukcja błędów niskiej częstotliwości za pomocą cyfrowych technik przetwarzania sygnału .**

Osiągnięcie naukowe przedstawiłem w monografii naukowej wydanej przez Wydawnictwo Akademickie AMW zatytułowanej:

Modele dostępności, wiarygodności i dokładności okrętowych systemów i urządzeń nawigacyjnych – wybrane zagadnienia.

4.2. Autor, tytuł publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy publikacji będącej osiągnięciem naukowym:

Krzysztof JASKÓLSKI

Modele dostępności, wiarygodności i dokładności okrętowych systemów i urządzeń nawigacyjnych – wybrane zagadnienia

Wydawnictwo Akademickie AMW

ISBN: 978-83-966280-6-0

Recenzenci wydawniczy monografii:

dr hab. inż. Piotr KANIEWSKI, prof. WAT

dr hab. inż. Janusz URIASZ, prof. PM

4.3. Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników wraz z możliwością ich ewentualnego wykorzystania

Istotny wkład monografii naukowej, zawierającej treść osiągnięcia naukowego w obszarze dyscypliny naukowej **inżynieria lądowa, geodezja i transport**, stanowi opracowanie autorskich narzędzi do modelowania dostępności, wiarygodności i dokładności urządzeń i systemów nawigacyjnych.

Poruszane w monografii aspekty teoretyczne oraz proponowane rozwiązania dotyczą przede wszystkim systemu automatycznej identyfikacji (AIS) i stanowią istotne rozwinięcie i uzupełnienie istniejącej metodyki badań serwisu AIS w dyscyplinie **inżynieria lądowa, geodezja i transport** [Felski et al., 2015; Jaskólski, 2015, 2022b]. Pobocznym nurtem moich zainteresowań były urządzenia kompasowe jako zagadnienie, którego specyfika – jak okazało się w trakcie badań – wymaga bardziej szczegółowego rozpatrzenia. Modele wiarygodności i dokładności kompasów stanowiły rezultat prac badawczych związanych z modelowaniem dostępności i wiarygodności serwisu AIS, gdy okazało się, że charakter informacji pochodzących z kompasów znacznie odbiega od informacji, których źródłem pochodzenia jest system pozycyjny GNSS.

W ramach monografii prezentującej osiągnięcia naukowe opracowałem narzędzia służące wyznaczeniu prawdopodobieństw granicznych dostępności i wiarygodności serwisu AIS oraz metody i algorytmy mające zastosowanie w modelowaniu wiarygodności i dokładności strumienia danych pochodzących z okrętowych urządzeń kompasowych. Analizę zmian dokładności strumienia danych kompasowych przedstawiłem z wykorzystaniem spektrum amplitudowego sygnału w dziedzinie częstotliwości [Jaskólski et al., 2019; Felski et al., 2020; Jaskólski, 2022a]. W tym przypadku szczególnym osiągnięciem jest zastosowanie funkcji splotu w postaci sumy próbek sygnału wejściowego z odpowiedzią impulsową, czyli filtr ze skończoną (FIR) i nieskończoną odpowiedzią impulsową (IIR), w celu odfiltrowania w dalszych badaniach błędów kursu generowanych z niską częstotliwością przez urządzenie kompasowe [Jaskólski, 2022a; Jaskólski et al., 2019].

System automatycznej identyfikacji (AIS) jest powszechnie obowiązującym systemem rozgłoszeniowym zapewniającym przekazywanie informacji o statku i jego ruchu. Nie jest więc systemem nawigacyjnym, jednak strumień przekazywanych w ten sposób danych zawiera wyłącznie informacje o charakterze nawigacyjnym. Można zatem uogólnić, że AIS stanowi źródło bardzo wszechstronnych informacji nawigacyjnych o statku, dane nawigacyjne pochodzą z podłączonych do transpondera AIS urządzeń nawigacyjnych i są transmitowane do odbiorców. Działanie zaproponowanych metod przedstawiłem na podstawie wybranych parametrów nawigacyjnych, takich jak: szerokość i długość geograficzna (POS), prędkość nad dnem (SOG), kąt drogi nad dnem (COG), kurs wzdłuż osi symetrii statku (HDT), prędkość zwrotu (ROT), zarejestrowanych za pośrednictwem AIS. Dodatkowo rejestrowałem dane bezpośrednio z urządzeń nawigacyjnych (HDT) oraz skorzystałem z danych wygenerowanych metodami symulacji służących do estymacji położenia obiektu w sytuacji ograniczenia dostępności serwisu AIS [Jaskólski et al., 2021].

Zgodnie z zaleceniem technicznym systemu AIS ITU-R.M-1371 opracowanym przez Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ITU) dopuszcza się występowanie niepełnych danych w sytuacji, w której dane wejściowe nie są przesyłane do transpondera AIS. Niepełne dane oznaczono parametrem „domyślny”. Takie pojawienie się niekompletnych danych w depeszy AIS powoduje brak pełnej informacji na temat statku wyposażonego w transponder AIS dla użytkowników systemu odbierających dane AIS drogą radiową. Informacja AIS wykorzystywana jest przez pilotów morskich oraz nawigatorów w warunkach szczególnych żeglugi, tj. na torach podejściowych do portu, w portach, wąskich przejściach, śluzach. Systemy wspomagające pilota morskiego korzystają z informacji AIS i pozwalają na zaplanowanie i wykonanie manewrów statkiem morskim na obszarach, na których wymagana jest wysoka dokładność i występuje wysokie ryzyko uszkodzenia statku lub ładunku.

Problem modelowania dostępności i wiarygodności serwisu AIS jest zagadnieniem istotnym z punktu widzenia bezpieczeństwa nawigacji.

W kontekście szacowania dostępności i wiarygodności serwisu AIS w dotychczas opublikowanych pracach rozważano takie metody badań dla systemów nawigacyjnych jak:

- a) **drzewo uszkodzeń – *fault tree analysis* (FTA)** – metoda analizy mająca na celu określenie, jaki rodzaj niezdatności, uszkodzenia systemu, zdarzenia zewnętrznego lub ich kombinacji może spowodować awarię systemu. Metoda ta jest przedstawiona w postaci drzewa zdarzeń powodujących awarię systemu [Jaskólski, 2014];
- b) **analiza statystyczna** – metoda polegająca na oszacowaniu błędu z próby na podstawie określonego poziomu ufności, obliczeniu błędu standardowego oraz wyznaczeniu przedziału ufności. Metoda opiera się na analizie zarejestrowanych strumieni danych, szczególnie bada informacje mające wpływ na bezpieczeństwo żeglugi. Możliwe jest określenie wiarygodności i dostępności emitowanych strumieni danych dynamicznych indeksowanych numerem MMSI. W metodzie wykorzystywany jest proces szacowania parametrów cechy statystycznej badanej populacji (wartość oczekiwana, wariancja) [Jaskólski, 2014];
- c) **wykres stanów operacyjnych** – sposób prezentacji struktury niezawodnościowej obiektu. Metoda służy do oceny niezawodności systemu. Na podstawie procesów stochastycznych metoda ta jest efektywnym sposobem szacowania niezawodności obiektów odnawialnych [Jakubowski, 2003];

- d) **metody stochastyczne z wykorzystaniem procesu Markowa i semi-Markowa** – aparaty matematyczne umożliwiające opis i badanie rzeczywistych procesów losowych. Stanowią one ważną klasę procesów stochastycznych, które pozwalają na matematyczny opis zmian wielkości w czasie [Jakubowski, 2003; Jaskólski, 2014].
- e) **model oparty na teście chi-kwadrat** przedstawiony w [Siegert et al., 2016]. Test chi-kwadrat służy do testowania hipotez. Wartość testu ocenia się za pomocą rozkładu chi-kwadrat. Test najczęściej stosowany w praktyce. Można używać go do testowania zgodności zarówno cech mierzalnych, jak i niemierzalnych;
- f) **uogólniony współczynnik prawdopodobieństwa – *generalized likelihood ratio (GLR)*** – metoda kontroli wykrywania zmian parametrów systemu dla poszczególnych obserwacji. Metoda zwykle stosowana w systemie monitorowania obiektu badań. Opiera się na wyznaczeniu z próby n obserwacji w każdym przedziale czasu, gdzie n jest wystarczająco duże, aby można było dopasować model regresji w każdym przedziale czasu przy użyciu n obserwacji [Chang, 2020; Abba et al., 2019].

Tematyka przedstawiona w autorskiej monografii nawiązuje także do światowych trendów badań związanych z estymacją trajektorii ruchu statków [Fossen et al., 2018; Guo et al., 2020; Jaskólski et al., 2021; Sang et al., 2015; Särkkä, 2004; Siegert et al., 2016], gdzie wiarygodność i dostępność serwisu urządzeń nawigacyjnych nabierają szczególnego znaczenia. Nawigacja obiektu, aby mogła być realizowana w sposób niezawodny, powinna być oparta na wiarygodnych i dostępnych strumieniach danych pochodzących z pokładowych systemów i urządzeń okrętowych. Zatem do rozwiązania problemu związanego z ograniczeniami wiarygodności i dostępności strumieni danych dynamicznych należy rozwijać narzędzia identyfikujące stan dostępności i wiarygodności urządzeń oraz systemów okrętowych [Banys et al., 2012; Felski et al., 2015; Harati-Mokhtari et al., 2007; Jakubowski, 2003; Jaskólski, 2015, 2022b], metody filtracji dynamicznych parametrów nawigacyjnych [Dąbrowski et al., 2020; Emel'yantsev et al., 2020; Felski, 2010; Felski et al., 2020; Jaskólski, 2022a; Lushnikov et al., 2012] oraz narzędzia służące estymacji trajektorii ruchu obiektu [Fossen et al., 2018; Guo et al., 2020; Jaskólski et al., 2021; Kaniewski, 2010; Konatowski, 2016; Siegert et al., 2016; Wang et al., 2017; Xu et al., 2011; Yang, 2020].

Stąd cel badań przedstawionych w niniejszym opracowaniu określiłem następująco:

- a) **Opracowanie probabilistycznego modelu dostępności i wiarygodności serwisu AIS służącego analizie przekroczenia dopuszczalnego wieku danych dynamicznych systemu wraz z prezentacją widma amplitudowego czasu uszkodzenia serwisu i jego praktyczne zastosowanie w rejonie Zatoki Gdańskiej.**
- b) **Opracowanie probabilistycznego modelu dokładności i wiarygodności urządzeń kompasowych służącego analizie widma dopuszczalnych błędów dynamicznych w dziedzinie częstotliwości oraz redukcja błędów kompasu za pomocą cyfrowych technik przetwarzania sygnału.**

Aby osiągnąć tak sformułowane cele badawcze, zrealizowałem następujące zadania, które podzieliłem na trzy etapy prac badawczych:

Etap 1:

- a) Opracowanie modelu dostępności serwisu AIS na podstawie wieku danych dynamicznych.
- b) Wyznaczenie momentów poprawnej pracy oraz awarii serwisu AIS na podstawie zaproponowanego modelu dostępności serwisu.
- c) Wyznaczenie częstości występowania uszkodzeń serwisu w próbkach za pomocą szybkiej transformacji Fouriera (FFT) oraz przedstawienie wyników prac przy zastosowaniu w tym celu widma amplitudowego średniego czasu do naprawy (*MTTR*) w dziedzinie częstotliwości.
- d) Wyznaczenie prawdopodobieństwa występowania serwisu AIS w stanie awarii i w stanie poprawnej pracy.

Pobocznym nurtem zainteresowań związanych z modelowaniem dostępności i wiarygodności serwisu AIS była analiza dokładności wskazań urządzeń kompasowych, które w trakcie badań wykazywały zaskakującą odrębność w porównaniu z innymi systemami. Analizę dokładności wskazań urządzeń kompasowych poprzedziłem wynikami prac badawczych zrealizowanych w Etapie 1.

Etap 2:

- a) Wyznaczenie amplitudy wskazań urządzeń kompasowych.
- b) Modelowanie dokładności urządzeń kompasowych na podstawie widma amplitudowego błędów urządzeń kompasowych.
- c) Zastosowanie pasmowo-zaporowego oraz pasmowo-przepustowego filtra FIR oraz IIR do eliminacji błędów kompasów charakteryzujących się niską częstotliwością występowania dewiacji inercyjnej w kompasach żyroskopowych.
- d) Opracowanie kryterium stanu wiarygodności urządzeń kompasowych na podstawie dyskretnych w stanach i w czasie jednorodnych procesów Markowa.

Etap 3:

- a) Symulacja trajektorii referencyjnej statku.
- b) Opracowanie modeli procesu śledzenia ruchu statku na podstawie pozycji obiektu.
- c) Zasymulowanie trajektorii ruchu obiektu z zastosowaniem zaproponowanych modeli.
- d) Opracowanie modelu wiarygodności serwisu AIS dla strumieni danych indeksowanych numerem identyfikacyjnym statku Maritime Mobile Service Identity (MMSI).
- e) Porównanie położenia obiektu symulowanego modelem procesu z trajektorią referencyjną.
- f) Wyznaczenie macierzy intensywności przejść między stanami wiarygodności serwisu AIS dla symulowanych modeli ruchu obiektu.

Aby zrealizować postulowane badania i założony cel, przyjąłem zastosowanie następujących definicji niezbędnych do zrozumienia zagadnień poruszanych w treści monografii:

Dostępność systemu nawigacyjnego jest to prawdopodobieństwo poprawnej pracy systemu w dowolnym momencie z wymaganym poziomem dokładności w strefie działania systemu [SPS, 1993]. To prawdopodobieństwo, z jakim serwis świadczony przez system jest dostępny użytkownikowi będącemu w granicach strefy jego działania [DoD, 1999].

Ciągłość systemu nawigacyjnego jest to prawdopodobieństwo utrzymania określonej wydajności systemu w zdefiniowanym czasie trwania fazy poprawnej pracy (3 godziny) przy założeniu, że system był dostępny na początku tej fazy działania [DoD, 1999]. Jest to prawdopodobieństwo przy założeniu poprawnej pracy odbiornika, z jakim użytkownik będzie w stanie określić mierzony parametr nawigacyjny z wymaganym poziomem dokładności oraz wiarygodności w krótkich odstępach czasu [IMO, 2001].

Wiarygodność systemu nawigacyjnego jest to zdolność systemu do terminowego powiadamiania użytkownika o aktualnym stanie pracy w momencie, w którym system nie jest w stanie wyznaczyć parametru nawigacyjnego z wymaganym poziomem dokładności, w granicach strefy działania systemu [SPS, 1993]. Wartość wyznaczana progiem alarmu (*alert limit*) jako maksymalny dopuszczalny błąd pomiaru parametru nawigacyjnego [IMO, 2001].

Zgodnie z [DoD, 2019] **wiarygodność** (*integrity*) to zdolność systemu do dostarczania użytkownikowi w odpowiednim czasie ostrzeżeń o nieprzydatności systemu w procesie nawigacji. Pojęcie wiarygodności systemu funkcjonuje od 2001 roku [DoD, 2001]. Od 2005 roku [DoD, 2005] termin ten definiowany jest jako miara zaufania do poprawności informacji dostarczanej przez system. Autor niniejszej monografii **wiarygodność** definiuje jako miarę

zaufania do emitowanego strumienia danych, którego zawartość stanowi wybrany parametr nawigacyjny.

Niezawodność systemu nawigacyjnego jest to prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy systemu w zadanym przedziale czasu przy zachowaniu dostępności oraz maksymalnie dopuszczalnego błędu, w granicach strefy działania systemu [SPS, 1993]. Jest to prawdopodobieństwo wykrycia błędu grubego przez system nawigacyjny w momencie wyznaczenia parametru nawigacyjnego [IMO, 2001].

Dokładność systemu nawigacyjnego to stopień zgodności zmierzonego parametru nawigacyjnego z wartością rzeczywistą w granicach strefy działania systemu.

Strefa działania systemu nawigacyjnego to obszar w płaszczyźnie OXY w nawigacji morskiej, w którym system umożliwia wyznaczenie parametru nawigacyjnego oraz pracę systemu zgodną z jego charakterystyką, z wymaganym poziomem dokładności.

Przyjąłem zatem w Etapie 1, że **dostępność serwisu AIS**, jako cecha odnosząca się do wyznaczenia wieku pełnych danych oraz określenia momentów poprawnej pracy i awarii AIS na podstawie występowania niepełnych wartości parametrów nawigacyjnych, wymaga weryfikacji i krytycznego podejścia do wcześniej przeprowadzonych badań. Wobec powyższego zaproponowałem następujące tezy:

- a) **Częstość występowania zjawiska niepełnych danych dynamicznych AIS jest wyznaczana w dowolnym momencie i jest definiowana czasem do naprawy (TTR), poprzez indeksowanie strumieni danych na podstawie przypisanego każdemu urządzeniu identyfikatora *maritime mobile service identity* (MMSI).**
- b) **Wyniki badań średniego czasu do naprawy (MTTR) dla pięciu parametrów nawigacyjnych: pozycja geograficzna jako długość i szerokość geograficzna, kurs żyroskopowy, prędkość zwrotu, kąt drogi nad dnem, prędkość nad dnem można zaprezentować w dziedzinie częstotliwości, stosując w tym celu szybką transformację Fouriera.**

Zastosowanie analizy widmowej czasu przebywania w stanie awarii serwisu AIS oraz przedstawienie *MTTR* w dziedzinie częstotliwości stanowi nowe podejście badawcze w teorii niezawodności systemów nawigacyjnych, które do tej pory nie zostało przedstawione.

Z kolei ograniczenia dostępności serwisu AIS danych dynamicznych pochodzących z urządzeń kompasowych skłoniły mnie do przeprowadzenia szczegółowych badań związanych z dokładnością i wiarygodnością wskazań tych urządzeń. Zatem, aby zrealizować postulowane badania i założony cel, przyjąłem w Etapie 2 zastosowanie filtru z nieskończoną odpowiedzią impulsową (IIR) oraz filtru ze skończoną odpowiedzią impulsową (FIR), a także metodykę badania wiarygodności kompasu na podstawie dyskretnych w stanach i w czasie procesów stochastycznych – łańcuch Markowa.

W zgodzie z przedstawionymi wynikami analizy widmowej w dziedzinie częstotliwości błędów kompasu wyeliminowałem czynniki powodujące błędy wskazania niskich częstotliwości dla trzech kompasów. Do zrealizowania tego etapu prac badawczych zastosowałem filtr z nieskończoną odpowiedzią impulsową oraz filtr ze skończoną odpowiedzią impulsową wraz z filtrem górnoprzepustowym (0,02 Hz) i środkowo-zaporowym (0,005–0,015 Hz).

Dla etapu 2 przyjąłem następujące tezy:

- a) **Filtr FIR oraz IIR górnoprzepustowy (0,02 Hz) i środkowo-zaporowy (0,005–0,015 Hz) skutecznie eliminuje niskoczęstotliwościowe błędy kompasu żyroskopowego.**
- b) **Przyjęte kryterium stanu wiarygodności informacji pochodzącej z urządzeń kompasowych $\sigma_j > 1^\circ \cdot \secant \varphi_m$ pozwala zaszeregować system do określonego stanu eksploatacyjnego przed i po zastosowaniu filtrów FIR oraz IIR.**
- c) **Zastosowanie filtru FIR oraz IIR pozwala na wyznaczenie kursu żyroskopowego, w którym wyeliminowano dewiacje inercyjne kompasu żyroskopowego związane z dynamiką ruchu okrętu.**

W celu zwiększenia niezawodności AIS konieczne jest opracowanie metod monitorowania wiarygodności AIS oraz metod symulacji trajektorii ruchu statku. Dlatego zaproponowałem zastosowanie trzech modeli realizujących proces estymacji położenia względem trajektorii referencyjnej statku jako modeli symulacyjnych do monitorowania wiarygodności strumieni danych AIS:

- a) modelu rozszerzonego filtru Kalmana (EKF) opartego na odległości i namiarze radarowym do znaku nawigacyjnego,
- b) modelu symulującego wyznaczenie współrzędnych za pomocą odbiornika GPS,
- c) modelu matematycznego zliczenia drogi statku (MZD).

Modele zostały opracowane w celu odwzorowania ruchu statku zarówno manewrującego stałym kursem, jak i podczas manewrowania w trakcie cyrkulacji. Na podstawie różnic w pozycjach oszacowanych przez model symulacyjny obiektu z pozycjami wyznaczonymi przez trajektorię referencyjną istnieje możliwość, aby wyznaczyć odchylenie położenia statku w chwili $(k)T$ i określić stopień wiarygodności strumieni danych AIS.

Wiarygodność serwisu AIS wyznaczyłem na podstawie danych dynamicznych AIS indeksowanych numerem MMSI. Dlatego dla Etapu 3 zaproponowałem następujące tezy:

- a) **Odchylenie położenia obiektu w chwili $k(T)$ wyznaczone modelem procesu względem położenia referencyjnego w chwili $k(T)$ może posłużyć do wyznaczenia czasu przejścia między stanami wiarygodności danych pozycyjnych AIS indeksowanych numerem MMSI.**
- b) **Wiarygodność położenia obiektu emitowanego strumieniem danych AIS możemy zdefiniować dwustanowym procesem stochastycznym, określając w ten sposób limit alarmowy zgodnie z przyjętym założeniem w modelu.**
- c) **Intensywność przejść między stanami wiarygodności strumienia danych pozycyjnych AIS zależy od zastosowanego modelu procesu śledzenia ruchu statku w chwili $k(T)$, od prędkości statku (STW), prędkości zwrotu (ROT) i zmienności kursu (HDT).**

Symulację trajektorii ruchu obiektu na potrzeby systemu AIS przeprowadziłem w wyniku pojawiania się coraz częstszych problemów związanych z ograniczeniami dostępności (*jamming*) i wiarygodności (*spoofing*) serwisu GPS. Takie zjawiska prowadzą do wydłużenia wieku danych (w efekcie przerw w odbiorze danych satelitarnych) bądź odbioru niewiarygodnych danych przez odbiorniki GPS.

Przyjętą w monografii koncepcję zrealizowałem zgodnie z powyższymi celami badawczymi opisanymi w trzech etapach.

Model dostępności serwisu AIS na podstawie wieku danych dynamicznych

Informacja dynamiczna systemu AIS stanowi treść raportów pozycyjnych, czyli wiadomości nr 1, 2 oraz 3 w przypadku stosowania transponderów klasy A montowanych na statkach konwencyjnych. Strumień danych dynamicznych zawartych w raportach pozycyjnych indeksowany jest numerem morskiej służby ruchomej (MMSI). Jeżeli w depeszy AIS, w pojedynczym strumieniu danych indeksowanym numerem MMSI, pojawią się dane niepełne, wówczas specyfikacja techniczna systemu ITU-R.M.1371 zaleca oznaczać te dane wartościami domyślnymi. Wartości domyślne są stosowane, gdy rzeczywiste parametry nawigacyjne są niedostępne. Specyfikacja techniczna systemu w przypadku niepełnych danych zaleca stosować wartości domyślne zestawione w **tabeli 1**.

Tabela 1. Wartości stosowane w przypadku niepełnych danych dynamicznych zawartych w raportach pozycyjnych AIS nadawanych przez transpondery klasy A [ITU, 2014]

Parametr nawigacyjny	Wartość niepełna
<i>latitude</i>	91 (3412140 hex)
<i>longitude</i>	181 (6791AC0 hex)
<i>COG</i>	3600 (E10 hex)
<i>SOG</i>	1023 (3FF hex)
<i>ROT</i>	128 (80 hex)
<i>HDT</i>	511 (149 hex)

W przypadku pojawienia się w zawartości depezy AIS danych niepełnych zamieszczonych w tabeli 1 należy uznać, że dostępność serwisu AIS została ograniczona przez pojedynczy, niekompletny strumień danych indeksowany numerem MMSI.

Przyjąłem w założeniach, że każdy obiekt wyposażony w transponder AIS klasy A przesyła raporty pozycyjne indeksowane numerem MMSI z interwałem od 2 sekund do 180 sekund i traktowany będzie jako niezależny strumień danych. Liczba strumieni danych definiowana będzie liczbą statków wyposażonych w transponder AIS klasy A znajdujących się w strefie zasięgu radiowego odbiornika AIS sprzężonego z rejestratorem danych. Do oszacowania dostępności serwisu AIS wykorzystałem strumienie danych dynamicznych indeksowane numerem MMSI, w których mogą występować niepełne dane dynamiczne. Występowanie danych niepełnych w zasadniczy sposób wydłuża wiek danych, co w decydujący sposób wpływa na dostępność serwisu AIS i zwiększa czas między naprawą (TTR), na podstawie którego, w oparciu o strumienie danych indeksowanych numerem MMSI, wyznaczyłem średni czas do naprawy MTTR i współczynnik dostępności serwisu AIS $A(t)$.

Awaria systemu nawigacyjnego może być traktowana jako stan, w którym system nie spełnia założonych wymagań zgodnie z jego przeznaczeniem. Oznacza to, że awaria systemu może być rozważana jako stan, który wynika z jego uszkodzeń wewnętrznych lub zewnętrznych elementów, takich jak uszkodzenie łącza radiowego (wysoki poziom szumu w stosunku do poziomu sygnału użytecznego). Awaria serwisu to stan, w którym wiek danych może być utożsamiony z występowaniem danych niepełnych w raportach pozycyjnych AIS indeksowanych numerem MMSI. Taki stan systemu może zostać określony czasem do naprawy TTR (*time to repair*) [Specht, 2014]. Zgodnie z [IALA, 1989] wartość średnią TTR zastosowałem do oszacowania dostępności serwisu.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR'} \quad (1)$$

gdzie:

MTBF – średni czas między uszkodzeniami,

MTTR – średni czas do naprawy.

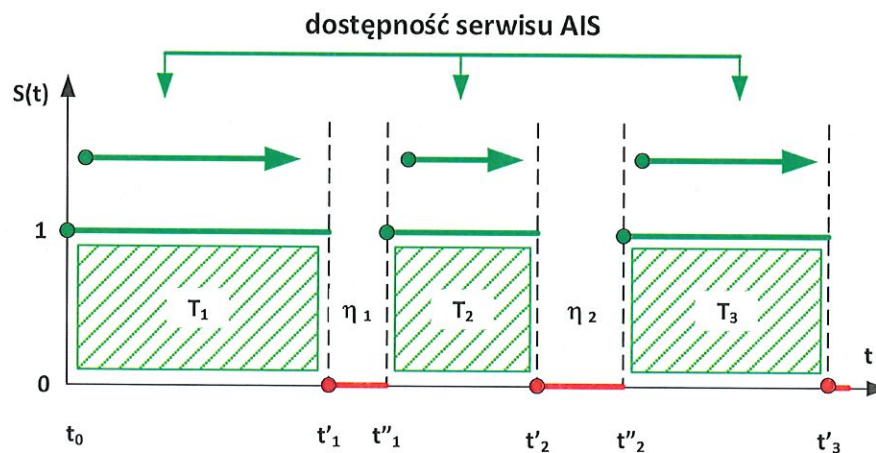
Przyjąłem, że nawigacyjna struktura systemu jest obiektem realizującym postawione zadania w czasie. Wówczas przebieg procesu eksploatacji rozpatrywanego systemu składa się z występujących na przemian okresów zdadności obiektu $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ rozumianych jako czas poprawnej pracy oraz okresów niezdatności $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots, \eta_n$ rozumianych jako czas naprawy (odnowy). Chwile $t'_r = T_1 + \eta_1 + T_2 + \eta_2 + \dots + T_r - 1 + \eta_r - 1 + T_r$ nazwałem chwilami uszkodzeń systemu, natomiast chwile $t''_r = t'_r + \eta_r$ nazwałem chwilami napraw systemu [Felski et al., 2015]. W założeniach przyjąłem, że odcinki czasu T_n oraz η_n są niezależnymi, dodatnimi zmiennymi losowymi o znanych rozkładach prawdopodobieństwa. Stan pracy przypisany jest binarnej 1. Stan awarii przypisany jest binarnemu 0. Stan awarii 0 oznacza wydłużony wiek danych dynamicznych wynikający z odebrania danych niepełnych w raporcie pozycyjnym, co jest równoważne dłuższej niż normalna przerwie pomiędzy kolejnymi odebranymi pakietami danych. Dostępność serwisu dla każdego z parametrów nawigacyjnych *HDT, ROT, POS, COG, SOG* wyznaczyłem czasem do naprawy TTR dla każdego strumienia danych indeksowanych numerem MMSI, identyfikując w ten sposób

nadawcę. Na tej podstawie wyznaczyłem MTTR dla każdego parametru nawigacyjnego z osobna indeksowanego numerem MMSI. Na podstawie zbioru m strumieni danych wyznaczyłem $MTTR$ dla pięciu parametrów nawigacyjnych – podstawowych składników raportów pozycyjnych. Wiek danych zapisanych parametrów nawigacyjnych to odstęp czasu między kolejnymi odebranymi raportami pozycyjnymi, w których badany parametr nawigacyjny HDT , ROT , SOG lub COG zawiera pełne dane zgodne z wartościami zawartymi w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości stosowane w przypadku pełnych danych dynamicznych zawartych w raportach pozycyjnych AIS nadawanych przez transpondery klasy A [ITU, 2014]

Parametr nawigacyjny	Wartość pełna
<i>latitude</i>	[-90, 90]
<i>longitude</i>	[-180, 180]
<i>COG</i>	[0, 3599]
<i>SOG</i>	[0, 1022]
<i>ROT</i>	[-127, 127]
<i>HDT</i>	[0, 359]

Graficzną prezentację dostępności serwisu AIS dla pojedynczego parametru nawigacyjnego $p = 1$ oraz dla $m = 1$ strumieni danych indeksowanych numerem MMSI przedstawiłem na rysunku 1.



Rysunek 1. Graficzna prezentacja dostępności serwisu AIS dla pojedynczego parametru nawigacyjnego oraz dla $m = 1$ strumieni danych indeksowanych numerem MMSI

T_n – czas pracy, η_n – czas awarii, $S(t)$ – stan systemu, dwustanowy proces stochastyczny, t'_r – chwile uszkodzeń systemu, t''_r – chwile naprawy systemu.

Dla pojedynczego parametru nawigacyjnego (p) oraz pojedynczego strumienia danych (m) indeksowanego MMSI wartość $MTBF$ obliczamy zgodnie z zależnością:

$$MTBF = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n}{n} \quad (2)$$

Natomiast wartość $MTTR$ wyznaczymy zgodnie ze wzorem:

$$MTTR = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots + \eta_n}{n} \quad (3)$$

Zakładając, że w dowolnym momencie struktura systemu AIS zakłada występowanie m niezależnych strumieni danych indeksowanych numerem MMSI, wówczas $MTTR_{1,m}$ dla $p = 1$ parametru nawigacyjnego systemu wyniesie:

$$MTTR_{1,m} = \frac{MTTR_{1,1} + MTTR_{1,2} + \dots + MTTR_{1,M}}{M}, \quad (4)$$

gdzie:

$MTTR_{1,m}$ – średni czas do naprawy dla $m = 1..M$ strumieni danych indeksowanych numerem MMSI dla wybranego $p = 1$ parametru nawigacyjnego.

Wartość $MTTR$ oraz $MTBF$ można utożsamiać z wartością oczekiwaną czasu awarii i wartością oczekiwaną czasu między uszkodzeniami systemu.

Zatem:

$$E_{(T_n)} = \frac{T_{(1)} + T_{(2)} + T_{(3)} + \dots + T_{(n)}}{n}, \quad (5)$$

$$E_{(\eta_n)} = \frac{\eta_{(1)} + \eta_{(2)} + \eta_{(3)} + \dots + \eta_{(n)}}{n}, \quad (6)$$

gdzie:

$E_{(T_n)}$ – wartość oczekiwana stanu pracy,

$E_{(\eta_n)}$ – wartość oczekiwana stanu awarii.

W tej sytuacji dostępność serwisu wyznaczamy zgodnie ze wzorem:

$$A = \frac{E_{(T_n)}}{E_{(T_n)} + E_{(\eta_n)}}. \quad (7)$$

Ponadto dostępność serwisu może być wyznaczona jako prawdopodobieństwo zdarzeń zgodnie z zależnością:

$$A_{(t)} = P_{(S_{(t)}=1)}. \quad (8)$$

Dostępność serwisu AIS odniosłem do interwału kolejno odebranych parametrów nawigacyjnych p zawartych w depeszach indeksowanych numerem MMSI w strefie działania systemu. Reprezentacją dostępności jest jej graniczna wartość definiowana jako współczynnik dostępności – A , który wyznaczyłem zgodnie ze wzorem:

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A_{(t)} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{E_{(T_n)} + E_{(\eta_n)}} \int_0^{\infty} [1 - F_u] du, \quad (9)$$

gdzie:

$$\int_0^{\infty} [1 - F_u] du = E_{(T_n)} \quad (10)$$

jest parametrem dostępności serwisu, wyznaczoną wartością oczekiwaną zmiennej losowej $T_{(n)}$ zwaną średnim czasem między uszkodzeniami serwisu.

Strukturę dostępności serwisu AIS zdefiniowałem za pośrednictwem interwału pomiędzy dwoma kolejno odebranymi raportami pozycyjnymi (wiadomość nr 1, 2, 3), czyli wiekiem danych indeksowanych nr MMSI. Do wyznaczenia TTR w dowolnym momencie zastosowałem dane indeksowane wartością numeru MMSI (informacja identyfikująca nadawcę) jako pojedynczy strumień danych. Do wyznaczenia $MTTR$ zastosowałem wiek danych niepełnych jako wartość oczekiwaną czasu przebywania w stanie awarii, który obliczyłem dla m strumieni danych, dla p parametrów nawigacyjnych. Będzie to decydowało o stanie, w jakim znajduje się obiekt w dowolnej chwili t . Dla obiektów dwustanowych w sensie niezawodności przyjąłem model niezawodnościowy w postaci dwustanowego procesu stochastycznego $S_{(t)}$, $t \in [0, \tau]$. W założeniu początkowym przyjąłem, że $S_{(t)}$ będzie binarną reprezentacją dostępności procesu.

$$S_{(t)} = \begin{cases} 1 & t'_{n+1} \leq t < t''_n \\ 0 & t''_n < t \leq t'_n \end{cases} \quad \text{dla } n = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (11)$$

gdzie:

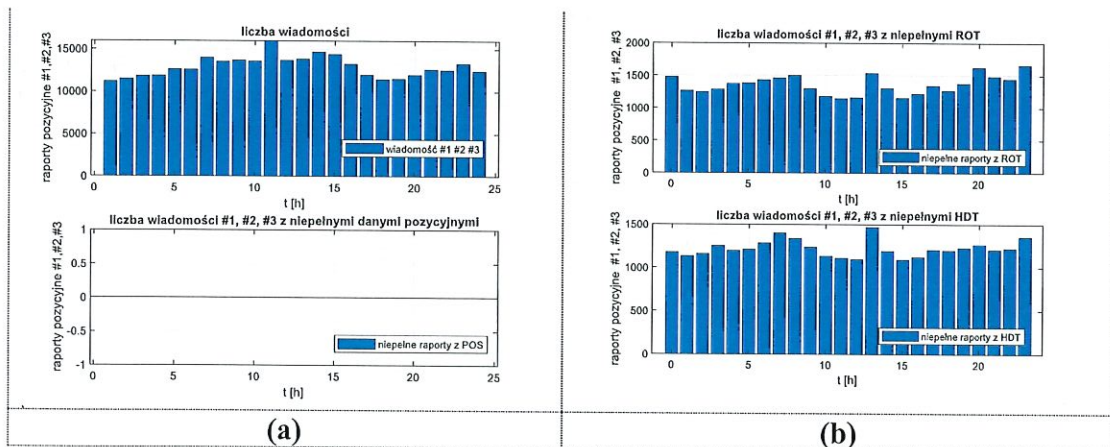
$S_{(t)}$ – dwustanowy proces stochastyczny.

Stan $S_{(t)} = 1$ oznacza, że w chwili t wiek danych dynamicznych parametru nawigacyjnego p indeksowanych numerem MMSI jest mniejszy, równy 10 s, jeżeli prędkość była większa, równa 3 węzły, lub mniejszy, równy 180 s, jeżeli prędkość była mniejsza niż 3 węzły. Dla sześciogodzinnego interwału = 21600 s, $E_{(T_n)} \geq 20520$ s. System jest w stanie pracy (zdatności).

Stan $S_{(t)} = 0$ oznacza, że w chwili t wiek danych dynamicznych parametrów nawigacyjnych p indeksowanych numerem MMSI jest większy niż 10 s, jeżeli prędkość była większa, równa 3 węzły, lub większy niż 180 s, jeżeli prędkość była mniejsza niż 3 węzły. Dla sześciogodzinnego interwału = 21600 s, $E_{(T_n)} > 1080$ s. System jest w stanie awarii (niezdatności).

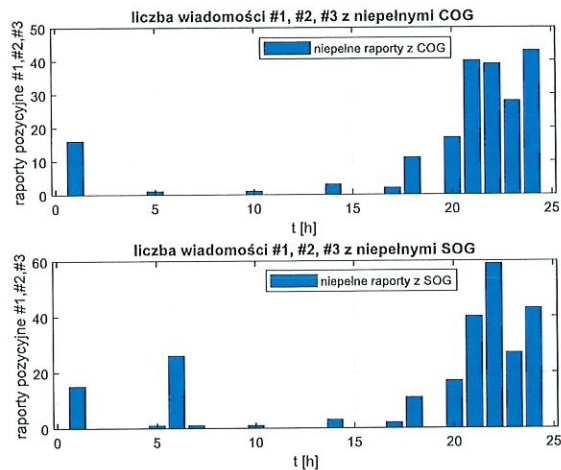
W przypadku statków poruszających się z SOG ≥ 22 węzłów oraz statków w trakcie zmiany kursu z ROT $> 5^\circ$ w czasie 30 s przyjąłem limit alarmowy wieku danych dynamicznych = 10 s.

Zaproponowana struktura dostępności serwisu na podstawie procesu kwantowania TTR w próbkach trwających po 6 godzin pracy pozwoliła mi zaszeregować serwis systemu AIS do określonego stanu eksploatacyjnego. Czas próbkowania odnoszący się do stanu serwisu uwzględniła przeprowadzony wcześniej test z interwałem 60 minut, który wykazał niską częstość pojawiania się niepełnych danych dynamicznych. Źródłem danych dynamicznych był odbiornik GNSS/ GPS sprzężony z transponderem AIS oraz kompas żyroskopowy lub urządzenie referencyjne kursu względem dziobu (MRU) (rysunek 2, rysunek 3).



Rysunek 2. Graficzna prezentacja niepełnych danych dynamicznych serwisu AIS z interwałem jednej godziny, zapis z dwudziestu czterech godzin pracy odbiornika AIS z interwałem 3600 sekund

- (a) – wszystkie raporty pozycyjne, pozycja geograficzna,
 (b) – prędkość zwrotu, kurs żyrokompasowy



Rysunek 3. Graficzna prezentacja niepełnych danych dynamicznych serwisu AIS z interwałem jednej godziny, zapis z dwudziestu czterech godzin pracy odbiornika AIS z interwałem 3600 sekund, parametr nawigacyjny: kąt drogi nad dnem, prędkość nad dnem

Pojedyncza depesza nawigacyjna przesyła 5 parametrów nawigacyjnych, które możemy zapisać w postaci wektora $x_p(t)$.

$$\mathbf{x}_p(t) = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4 \quad x_5]^T, \quad (12)$$

gdzie:

x_1 – HDT – heading,

x_2 – ROT – rate of turn,

x_3 – COG – course over ground,

x_4 – SOG – speed over ground,

x_5 – POS – latitude and longitude (WGS-84).

Dane dynamiczne indeksowane są zgodnie z numerem MMSI przypisanym każdemu urządzeniu AIS. Zatem funkcjonalna struktura odebranych depeszy dynamicznych AIS $\Phi_{m x_p}$ przyjmuje postać:

$$\Phi_{m x_p} = \Phi_{m(t)} [X_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad X_4 \quad X_5]^T, m = \{1, 2 \dots M\}, \quad (13)$$

gdzie:

m – indeks definiujący liczbę strumieni danych oznaczonych numerem MMSI w chwili t ;

X_p – zbiór danych odnoszący się do wybranego parametru nawigacyjnego p indeksowanego numerem MMSI.

Przyjmując, że parametry nawigacyjne wektora $\mathbf{x}_p(t)$ są niezależne, prawdopodobieństwo odebrania danych niepełnych opisałem zależnością:

$$P_{\Phi_m(s_{t=0})} = 1 - P_{\Phi_m(s_{t=1})} = q_c = 1 - p_m, \quad (14)$$

gdzie:

$P_{\Phi_m(s_{t=0})}$ – prawdopodobieństwo zdarzenia polegające na tym, że serwis systemu znajduje się w stanie 0 – stan niezdatności,

$P_{\Phi_m(s_{t=1})}$ – prawdopodobieństwo zdarzenia polegające na tym, że serwis systemu znajduje się w stanie 1 – stan zdatności,

p_m – prawdopodobieństwo odebrania pełnych danych w depeszy raportu pozycyjnego,

q_c – prawdopodobieństwo odbioru niepełnych danych w depeszy raportu pozycyjnego.

Odbiór parametru nawigacyjnego p ze zbioru P w m strumieniach danych ze zbioru M indeksowanych numerami MMSI zdefiniowałem w chwili t zbiorem danych $X_{d(t)}$,

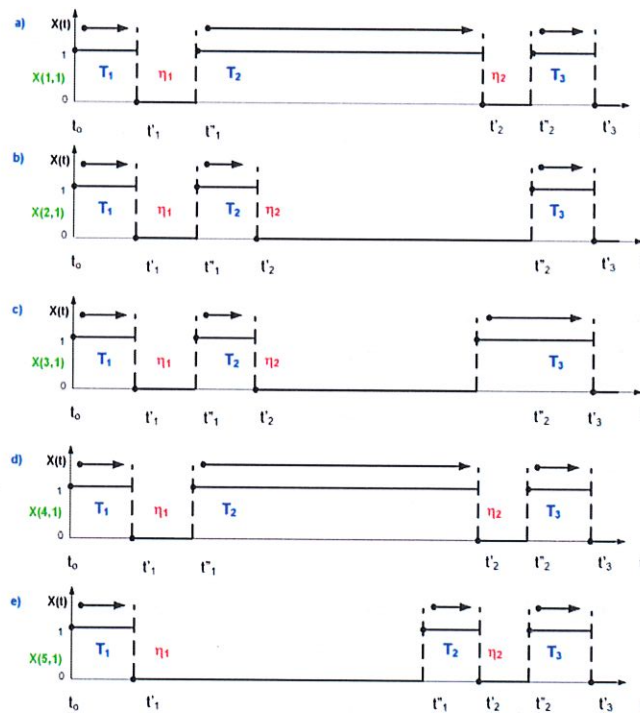
$$X_{d(t)} = [X_{p,m}]. \quad (15)$$

Zatem odbiór informacji ze zbioru $X_{d(t)}$ dla $p = \{1 \dots P\}$ parametru nawigacyjnego z $m = \{1 \dots M\}$ strumieni danych przyjmuje postać:

$$\xi_{n(t)} = [X_{1,1} X_{2,1} X_{3,1} X_{4,1} X_{5,1}, \dots, X_{1,m} X_{2,m} X_{3,m} X_{4,m} X_{5,m}]. \quad (16)$$

Przy założeniu, że liczba parametrów nawigacyjnych poddanych badaniu wynosi $p = 5$, dostępność serwisu wyznaczyłem dla każdego z parametrów osobno, na podstawie danych z m strumieni indeksowanych numerami MMSI z interwałem 6 godzin.

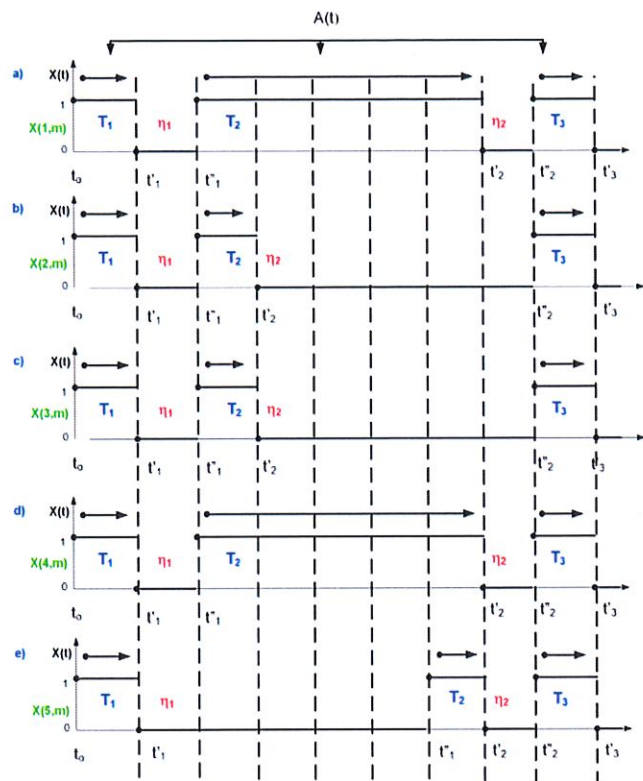
Na podstawie danych z raportów pozycyjnych AIS indeksowanych numerami MMSI wyznaczyłem w każdym strumieniu wartość oczekiwaną czasu przebywania w stanie awarii $E(\eta_n)$ dla każdego z parametrów nawigacyjnych wektora x_p . Dostępność serwisu AIS dla pojedynczego strumienia danych dynamicznych indeksowanych numerami MMSI przedstawiłem na **rysunku 4**.



Rysunek 4. Dostępność serwisu AIS dla pojedynczego strumienia danych dynamicznych indeksowanych numerami MMSI [Jaskólski K., 2022b]

a) COG, b) HDT, c) POS, d) ROT, e) SOG

Graficzną prezentację procesu uszkodzenia struktury zdefiniowanej zależnością ξ_n pokazałem na **rysunku 5**.



Rysunek 5. Graficzna prezentacja procesu uszkodzenia struktury serwisu AIS [Jaskólski, 2022b]

a) COG, b) HDT, c) POS, d) ROT, e) SOG

Na podstawie TTR pojedynczego parametru nawigacyjnego wyznaczonego dla m strumieni danych indeksowanych numerami MMSI oszacowałem $MTTR$ w zdefiniowanym czasie t i ustaliłem, w jakim stanie $S \{0,1\}$ znajduje się serwis systemu.

Dla każdego parametru nawigacyjnego określiłem częstość pojawiania się awarii serwisu. Zadanie to zrealizowałem, stosując analizę widmową TTR w dziedzinie częstotliwości. Analizę zmian czasu awarii serwisu w dziedzinie częstotliwości przedstawiłem przy zastosowaniu metody szybkiej transformacji Fouriera (FFT) [Jaskólski et al., 2019].

Przed przystąpieniem do analizy widmowej sygnału w dziedzinie częstotliwości w pierwszej kolejności wyznaczyłem $MTTR$, zgodnie z następującą zależnością (3), (4).

Na podstawie tak przetworzonych danych przeprowadziłem analizę widmową w dziedzinie częstotliwości dla oscylacji $MTTR$.

W celu dokonania oceny zmienności $MTTR$ zaproponowałem metodę analizy widma sygnału, czyli analizę częstotliwościową, znaną jako transformacja Fouriera.

Sygnał x_t przedstawiłem za pomocą odwrotnej postaci transformaty Fouriera, zgodnie z następującą zależnością:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} x(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega, \quad (17)$$

gdzie:

$x(\omega)$ – transformata Fouriera dla sygnału $x(t)$,

$e^{j\omega t}$ – wykładnicza postać fali harmoniczej.

Przy założeniu opisanym zależnością (17) transformatę Fouriera sygnału x_t wyznaczyłem zgodnie z zależnością:

$$x_\omega = \int_{-\infty}^{+\infty} x_t \cdot e^{-j\omega t} dt. \quad (18)$$

W przeciwieństwie do sygnału ciągłego x_t , $MTTR$ jest określany jako dyskretny sygnał x_i . Częstotliwość próbkowania dla sygnałów tego typu przedstawiłem zależnością:

$$x_{(i)} = x_{i\Delta t}, \quad (19)$$

gdzie:

$$i = 0 \dots N - 1,$$

N – liczba obserwacji.

Matematyczna postać sygnału jest wtedy zapisana następującą zależnością:

$$x_{(i)} = A_{(0)} + \sum_{r=1}^{\frac{N-1}{2}} A_{(r)} \cdot \cos \left[\omega'_{r(i)} \cdot \Delta t + \varphi_{(r)} \right], \quad (20)$$

gdzie:

$A_{(0)}$ – składowa podstawowa sygnału,

$A_{(r)}$ – amplituda składowej harmonicznej sygnału,

$\omega'_{r(i)}$ – pulsacja głównej składowej harmonicznej sygnału, gdzie $r = 1$,

$\varphi_{(r)}$ – faza składowej harmonicznej sygnału.

Pulsacja głównych składowych harmonicznych sygnału, gdzie $r = 1$ ma następującą postać:

$$\omega' = \frac{2\pi}{N\Delta t}. \quad (21)$$

Postać (20) sygnału $x_{(i)}$ informuje, dla jakich wartości rozkładu $x_{(i)}$ poszczególne składowe harmoniczne r będą definiowane amplitudą $A_{(r)}$, fazą $\varphi_{(r)}$ w dowolnym momencie, w dziedzinie częstotliwości oraz składową podstawową $A_{(0)}$. Notacja jest prawdziwa dla nieparzystych obserwacji N . Dla parzystej liczby obserwacji N liczba składowych harmonicznych r musi mieścić się w przedziale $\left[1 \dots \frac{N}{2}\right]$.

Zależność ta występuje dla skończonej liczby obserwacji. Aparat matematyczny zakłada nieparzystość obserwacji N .

Model wiarygodności i dokładności strumieni danych pochodzących z urządzeń kompasowych

Przyjąłem założenie, że mierzonym parametrem nawigacyjnym jest kurs statku (HDT) jako kąt pomiędzy osią symetrii statku a lokalnym południkiem geograficznym. W niektórych przypadkach mierzony parametr to kurs żyrokompasowy (KŻ) jako kąt pomiędzy osią symetrii statku a północą żyrokompasową pokrywającą się z wektorem wypadkowym osi głównych żyroskopu lub inaczej wektorem wypadkowym momentów kinetycznych żyroskopów.

Zatem **dokładność parametru nawigacyjnego** oznacza stopień zgodności statystyk zmierzonych parametrów nawigacyjnych z wartościami rzeczywistymi lub tymi, które przyjmujemy za rzeczywiste. Natomiast **dokładność względna parametru nawigacyjnego**, która jest rozpatrywana w badaniach urządzeń kompasowych, to dokładność określenia parametru nawigacyjnego w stosunku do innego urządzenia – systemu referencyjnego [Specht, 2007].

Jednym z wyników prac badawczych powinna być nowa lub udoskonalona metoda przetwarzania danych, której zastosowanie zapewni pomiar kursu z dokładnością porównywalną lub wyższą od standardowych urządzeń nawigacyjnych.

Określenie wartości błędów oraz stopnia zależności ruchu obiektów od wartości błędów występujących we wskazaniach kompasu wymaga porównania wskazań kompasu z kierunkiem referencyjnym. Zmienności wartości błędów kompasu nie sposób przedstawić w sposób deterministyczny. Jednym z problemów związanych z wyznaczaniem błędu kompasu jest wyznaczenie kursu referencyjnego, który służy do porównania go z kursem odczytanym

podczas przeprowadzania rejestracji kursu. Na potrzeby badań kurs referencyjny został określony przez Ocean Master Applanix Trimble Reference System ($\sigma = 0,02^\circ$). Dzięki systemowi referencyjnemu okręt utrzymuje kurs na zadanym profilu hydrograficznym. System stanowi element echosondy wielowiązkowej. Przy użyciu systemu referencyjnego dokładność może być większa niż oferowana przez morskie kompasy okrętowe. Ponadto urządzenie to jest wolne od błędów dynamicznych, które są charakterystyczne dla żyroskopowych, mechanicznych elementów pomiarowych.

Podstawowym zadaniem matematycznego modelu dokładności urządzeń kompasowych jest wyznaczenie amplitudy błędu w chwili t . Bardziej miarodajne jest badanie kompleksowego spektrum, tj. rozkładu kursu okrętu w dziedzinie czasu i rozkładu oscylacji błędów względnych kompasu w dziedzinie częstotliwości.

Zgodnie z zależnością:

$$HE_{(k)} = CH_{(k)} - RH_{(k)}, \quad (22)$$

gdzie:

$HE_{(k)}$ – błąd kompasu dla obserwacji $k = 0 \dots K - 1$,

$RH_{(k)}$ – kurs referencyjny dla obserwacji $k = 0 \dots K - 1$,

$CH_{(k)}$ – kurs kompasowy dla obserwacji k .

Ponadto błąd kompasu $HE_{(k)}$ w chwili t może zostać wyznaczony zgodnie z zależnością:

$$HE_{(k)} = \left[\left(CH_{(k)} - \frac{\left(\sum_{k=1}^{k=K} CH_{(k)} \right)}{K-1} \right) \right], \quad (23)$$

gdzie:

$HE_{(k)}$ – błąd kompasu dla (k) obserwacji w zdefiniowanym interwale Δt .

$CH_{(k)}$ – kurs kompasowy dla obserwacji (k) w chwili t ,

K – liczba obserwacji w zbiorze.

Rozpatrzyłem trzy testy składające się z K obserwacji z wykorzystaniem metody postprocessingu. Przeanalizowałem wpływ ruchu statku oraz dokładność trzech urządzeń kompasowych. Dodatkowo, za pomocą analizy widmowej, przeanalizowałem i usunąłem efekty powodowane momentem bezwładności okrętu w trakcie manewrowania po wyznaczonych profilach hydrograficznych.

Na podstawie przetworzonych danych przeprowadziłem analizę widmową w dziedzinie częstotliwości oscylacji kursu z trzech urządzeń kompasowych. Do oceny dokładności wskazań kompasu zaproponowałem metodę analizy widmowej, czyli analizę sygnału w dziedzinie częstotliwości z zastosowaniem transformacji Fouriera, przedstawioną w [Jaskólski et al., 2019; Felski et al., 2020].

W przypadku filtracji cyfrowej (dyskretnej) analiza teoretyczna opiera się na reprezentacji sygnałów w postaci dyskretnej. Filtr cyfrowy przetwarza sekwencję dyskretnych wartości próbek dostarczonych na jego wejście. Filtrem cyfrowym może być specjalny układ scalony, programowalny procesor lub program komputerowy.

Z tego powodu możliwe są dwie postaci opisu sygnałów w postaci dyskretnej, tj. system realizujący nieskończoną odpowiedź impulsową (IIR) oraz system realizujący skończoną odpowiedź impulsową (FIR).

Realizacja filtrów tego typu jest możliwa zarówno w postaci programu komputerowego, jak i procesów sygnałowych. W celu ułatwienia projektowania filtrów MATLAB został wyposażony w interfejs graficzny, który umożliwia łatwe projektowanie i analizę filtrów FIR i IIR [MathWorks, 2021].

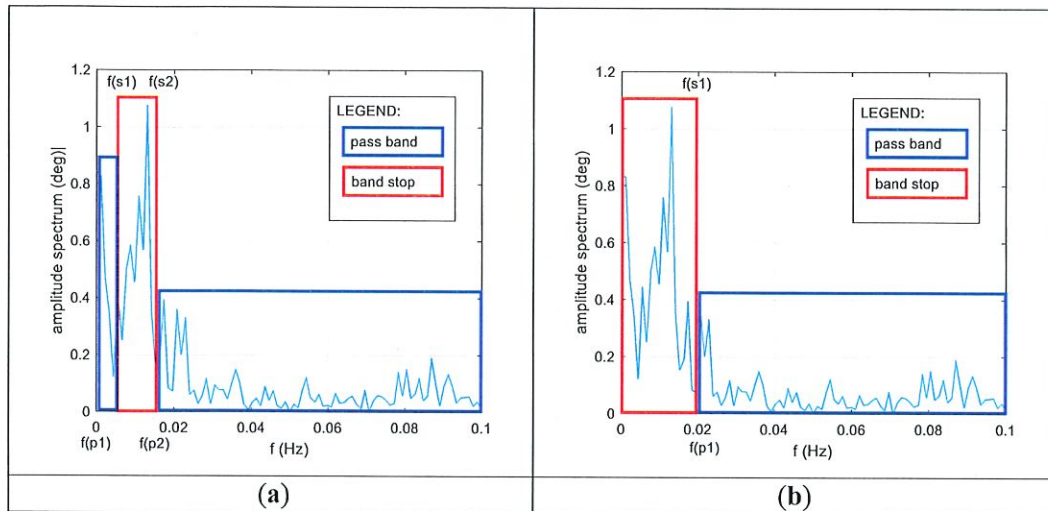
Widmo amplitudowe zarejestrowanych błędów podzieliłem na pasmo sygnału użytecznego i pasmo zakłóceń. Jeżeli błędy długoterminowe trzech kompasów korelują ze sobą i mają największe wartości dla pasma częstotliwości 0,005–0,015 Hz, to ten zakres częstotliwości należy traktować jako szum. Biorąc pod uwagę, że na kursie 270° i 090° dewiacja prędkościowa kompasu żyroskopowego $\delta_V = 0^\circ$ [Jaskólski, 2016], wartości długookresowych błędów dynamicznych uznano za szum. Jeżeli błąd pojawił się tylko we wskazaniach klasycznego kompasu żyroskopowego, należy przyjąć, że wzrost amplitudy

błędów dynamicznych w paśmie częstotliwości 0,005–0,015 Hz trzeba traktować jako sygnał użyteczny. Taka sytuacja ma miejsce, gdy we wskazaniach kompasów żyroskopowych pojawia się dewiacja inercyjna drugiego rodzaju δ_i^{II} .

Na podstawie zarejestrowanych danych z trzech kompasów oraz amplitudowego widma błędów w dziedzinie częstotliwości zastosowałem dwa filtry, które przedstawiłem na rysunku 6.

Filtr # 1 zakłada zastosowanie pasma zaporowego w zakresie 0,005–0,015 Hz.

Filtr # 2 zakłada zastosowanie pasma przepustowego w zakresie 0,02 Hz.



Rysunek 6. Redukcja zakłóceń, warunki dynamiczne (a) pasmo zaporowe 0,005–0,015 Hz, (b) pasmo przepustowe 0,02 Hz [Jaskólski, 2022a]

f_{p1} – pasmo przepustowe, f_{s1} – pasmo zaporowe, *pass band* – pasmo przepustowe, *band stop* – pasmo zaporowe, *amplitude spectrum* – spektrum amplitudowe sygnału

Spełniając powyższe warunki, uzyskałem model redukcji zakłóceń. Dlatego na potrzeby prac badawczych zaproponowałem zastosowanie filtrów FIR w dwóch wariantach oraz filtrów IIR w dwóch wariantach do redukcji oscylacji błędów kompasu w paśmie niskich częstotliwości.

Wariant 1: filtr pasmowo-zaporowy FIR. Pasmo zaporowe 0,005–0,015 Hz. Częstotliwość próbkowania 0,2 Hz.

Wariant 2: filtr górnoprzepustowy FIR. Pasmo przepustowe 0,02 Hz. Częstotliwość próbkowania 0,2 Hz.

Wariant 3: filtr pasmowo-zaporowy IIR Butterwortha. Pasmo zaporowe 0,005–0,015 Hz. Częstotliwość próbkowania 0,2 Hz.

Wariant 4: filtr górnoprzepustowy IIR Butterwortha. Pasmo przepustowe 0,02 Hz. Częstotliwość próbkowania 0,2 Hz.

Analizując charakter występujących oscylacji błędów kompasu w dziedzinie częstotliwości, przyjąłem następujące założenie: Jeżeli amplitudy błędów trzech typów kompasu nie są ze sobą skorelowane, odchylenie w dziedzinie częstotliwości będzie użytecznym sygnałem. Silna korelacja błędów kompasu i ten sam trend zmian błędów kompasu wskazują na odchylenia wywołane czynnikami zewnętrznymi – dewiacją środowiskową [Jaskólski, 2016]. Dewiacja w dziedzinie częstotliwości będzie szumem.

Właściwości cyfrowej filtracji dla typów filtrów i czterech wariantów przedstawiłem w tabeli 3.

Tabela 3. Właściwości filtracji cyfrowej dla filtru pasmowo-zaporowego 0,005–0,015 Hz i pasmowo-przepustowego 0,02 Hz [Jaskólski, 2022a]

Wariant	Rodzaj filtracji	Typ odpowiedzi	Projekt filtru	f_s [Hz]	$f_{(pass)}^{(I)}$ [Hz]	$f_{(stop)}^{(I)}$ [Hz]	$f_{(stop)}^{(II)}$ [Hz]	$f_{(pass)}^{(II)}$ [Hz]
#1	FIR	pasmo-zaporowy	Equiripple	0,2	0,005	0,01	0,015	0,02
#2	FIR	górnoprzepustowy		0,2	–	–	–	0,02
#3	IIR	pasmo-zaporowy	Butterworth	0,2	0,002	0,005	0,015	0,02
#4	IIR	górnoprzepustowy		0,2	–	–	–	0,02

f_s – częstotliwość próbkowania, $f_{(pass)}^{(I)}$ – częstotliwość przepustowa #1, $f_{(stop)}^{(I)}$ – częstotliwość zaporowa #1, $f_{(stop)}^{(II)}$ – częstotliwość zaporowa #2, $f_{(pass)}^{(II)}$ – częstotliwość przepustowa #2

Metodyka badania dokładności wskazań kompasu polega na zastosowaniu dwóch filtrów. Filtr #1 stosuje pasmo zaporowe 0,005–0,015 Hz. Filtr #2 stosuje pasmo przepustowe 0,02 Hz. W modelach zastosowałem dwa rodzaje filtrów: FIR i IIR oraz dwa rodzaje odpowiedzi impulsowej: środkowo-zaporowy i górnoprzepustowy. Dodatkowo zastosowałem filtr Butterwortha dla skończonej odpowiedzi impulsowej oraz filtr Equiripple’a dla nieskończonej odpowiedzi impulsowej.

Na początku wyznaczam transformatę Fouriera oraz dokonuję analizy widma sygnału, przedstawiającą powtarzalność występowania błędów kompasu podczas manewrowania okrętem po zadanym profilu hydrograficznym. Liczba punktów, z których składa się odpowiedź impulsowa, została określona jako minimalna. Pasma zaporowe w filtrze pasmowo-zaporowym oraz pasmo przepustowe w filtrze górnoprzepustowym wybrałem na podstawie analizy widmowej sygnału w dziedzinie częstotliwości, dla której amplituda oscylacji błędów kompasu i częstotliwość ich występowania wskazuje na dewiację środowiskową i dewiacje inercyjne urządzeń żyroskopowych.

W metodyce badania dokładności wskazań kompasu ważną rolę odgrywa teoria niezawodności, która dokonuje charakterystyki operacyjnej urządzenia nawigacyjnego w procesie kwantyzacji stanu, w jakim aktualnie znajduje się dane urządzenie. Głównym celem badań było określenie wiarygodności informacji pochodzących z poszczególnych kompasów na podstawie zarejestrowanych danych w trakcie przeprowadzonych trzech testów. Badania przeprowadziłem przed i po zastosowaniu metod cyfrowej filtracji danych pochodzących z kompasów.

Czas poprawnej pracy kompasu z wymaganą dokładnością scharakteryzowany jest jako wykładniczy rozkład czasu, w którym system działał poprawnie (czas pracy – *operating time*), oraz czasu, w którym system był uszkodzony (czas awarii – *failure time*). Jeżeli proces przekazywania informacji przez urządzenie, skutkujący dostarczeniem użytkownikowi dokładnej informacji o kursie w dowolnym momencie, jest procesem niezawodnościowy, urządzenie można traktować jako strumień informacji i testować metodami znanymi z teorii niezawodności. W związku z powyższym zaproponowałem znany z teorii procesów Markowa model służący do badania i opisu obiektów technicznych pod względem wiarygodności. Cechą charakterystyczną łańcuchów Markowa jest to, że stan urządzenia w chwili $k + 1$ jest określony wyłącznie przez stan S , a nie przez poprzednie stany procesu.

Na podstawie powyższego założenia po przetworzeniu zapisanych danych wyznaczyłem stochastyczną macierz prawdopodobieństwa przejść między stanami wiarygodności urządzenia, umożliwiającą identyfikację źródła błędów kompasu. Macierz stochastyczna przedstawia intensywność przejść między stanami procesu.

Czas przebywania urządzenia w stanie wiarygodności jest wartością, którą można opisać za pomocą procesów stochastycznych. Dlatego opracowałem model wiarygodności kompasu z zastosowaniem procesów markowskich, których szczególnym przypadkiem jest łańcuch Markowa.

Proces stochastyczny oznaczyłem symbolem:

$$\{S_t: t \in T\}, \quad (24)$$

Szczególnym przypadkiem procesu stochastycznego jest sekwencja losowa $\{S_k: k \in (0, 1, 2, 3, \dots, K)\}$, którą nazywamy łańcuchem losowym. Wartości zmiennych losowych reprezentują stany wiarygodności kompasu na podstawie obserwacji z próby. Charakter zmian stanu eksploatacyjnego urządzenia można przyjąć jako łańcuch Markowa w zbiorze stanów:

$$S = \{S_1, S_2\}, \quad (25)$$

gdzie:

stan $S_1 = 0$ oznacza, że w momencie t $\sigma_j > 1^\circ \cdot \secant \varphi_m$ urządzenie jest w stanie awarii (failure state) w sensie niezawodnościowym.

stan $S_2 = 1$ oznacza, że w momencie t $\sigma_j \leq 1^\circ \cdot \secant \varphi_m$ urządzenie jest w stanie pracy (operating state) w sensie niezawodnościowym.

gdzie:

σ_j – różnica między wartością referencyjną i wartością zmierzoną j [$^\circ$],

φ_m – średnia szerokość geograficzna [$^\circ$].

Chwile, w których urządzenie znajduje się w stanie awarii, są momentami odnowy struktury nawigacyjnej.

Z definicji łańcucha Markowa wynika, że łańcuch Markowa charakteryzuje się tym, że stan w chwili $(k + 1)T$ zależy jedynie od stanu w chwili $(k)T$ i jest niezależny od stanu w chwilach poprzedzających.

Łańcuch Markowa można zdefiniować, jeśli rozkład początkowy:

$$\mathbf{P} = [p_{ij}: i, j \in S], \quad (26)$$

oraz macierz intensywności przejść między stanami jest znana.

Zatem macierz intensywności przejść między stanami przyjmuje postać:

$$\mathbf{P}_{X_0=i} = p_i, i \in S, \quad (27)$$

Prawdopodobieństwo przejść między stanami procesu można zapisać w postaci:

$$\mathbf{p}_{ij} = \mathbf{P}_{X_{k+1}=j | X_k=i}, k = 0, 1, 2, 3, \dots, K, \quad (28)$$

gdzie:

k – liczba obserwacji w zbiorze K ,

$\mathbf{P}_{X_{k+1}=j | X_k=i}$ – prawdopodobieństwo warunkowe przejścia ze stanu $i \in S$ w chwili $(k)T$ do stanu $j \in S$ w chwili $(k + 1)T$,

p_{ij} – prawdopodobieństwo przejść między stanami procesu.

Jeżeli $k \in K$, wówczas prawdopodobieństwo przejść między stanami procesu $p_{ij}(k - 1, k)$ w chwili t nie zależy od liczby obserwacji k . Zatem łańcuch Markowa $\{X_k: k = 0, 1, 2, 3, \dots, n\}$ jest jednorodnym łańcuchem Markowa. W przypadku jednorodnych procesów markowskich prawdopodobieństwo przejść ze stanu w chwili $(k - 1)T$ do stanu w chwili $(k)T$ nie zależy od momentów poprzedzających $(k - 1)T$ ani też od momentów będących następstwem w chwili $(k)T$, natomiast zależy od różnicy $(k)T - (k - 1)T$, co oznacza, że zależy od momentów przejścia między stanami. Prawdopodobieństwo intensywności przejść między stanami można zapisać w postaci macierzy kwadratowej z liczbą wierszy/ kolumn odpowiadającej liczbie stanów systemu.

Zatem macierz stochastyczną definiuje się jako prawdopodobieństwo intensywności przejść między stanami operacyjnymi systemu lub urządzenia nawigacyjnego, np. kompasu żyroskopowego.

Wówczas p_{ij} oznacza prawdopodobieństwo przejścia ze stanu procesu $i \in S$ do stanu $j \in S$ dla $k + 1$ obserwacji.

W zaproponowanym przeze mnie rozwiązaniu macierz prawdopodobieństw przejść między stanami procesu przyjmuje postać:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{bmatrix}, \quad (29)$$

W założeniu do badań przyjąłem rozkład początkowy $p(0) = [0, 1]$. Oznacza to, że w stanie początkowym system znajduje się w stanie pracy (stan zdatności) S_2 .

Prawdopodobieństwa graniczne wyznaczyłem zgodnie z zależnością:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} p_{ij}(k) = \lim_{k \rightarrow \infty} P_{X_{(k+1)=j|X_{(k)}=i} = \lim_{n \rightarrow \infty} P_{X_{(k+1)=j} = \pi_j, \quad (30)$$

gdzie:

$\lim_{k \rightarrow \infty} P_{X_{(k+1)=j|X_{(k)}=i}$ – prawdopodobieństwo graniczne warunkowego przejścia ze stanu $i \in S$ w chwili $(k)T$ do stanu $j \in S$ w chwili $(k+1)T$

Do wyznaczenia prawdopodobieństw granicznych przebywania systemu w stanie $S\{s_1, s_2\}$ rozwiązałem następujący układ równań:

$$\sum_{i \in S} \pi_i p_{ij} = \pi_j, j \in S, \quad (31)$$

przy założeniu, że:

$$\sum_{i \in S} \pi_i = 1, \quad (32)$$

gdzie:

π_i – prawdopodobieństwo graniczne przebywania systemu w stanie S .

Prawdopodobieństwa π_0 π_1 jako granice, do których dąży asymptotycznie częstość wystąpień badanej zmiennej, wyznaczają rozkład stacjonarny jednorodnego łańcucha Markowa $\pi_s = [\pi_0 \ \pi_1]$ z macierzą prawdopodobieństw przejść:

$$\mathbf{P} = p_{ij}; i, j \in S \quad (33)$$

Prawdopodobieństwa graniczne π_0 , π_1 obliczyłem na podstawie iloczynu macierzy:

$$[\pi_0 \ \pi_1] \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{bmatrix} = [\pi_0 \ \pi_1], \quad (34)$$

$$\begin{cases} p_{00}\pi_0 + p_{10}\pi_1 = \pi_0 \\ p_{01}\pi_0 + p_{11}\pi_1 = \pi_1, \\ \pi_0 + \pi_1 = 1 \end{cases} \quad (35)$$

Model wiarygodności strumieni danych pozycyjnych systemu AIS

Wcześniejsze badania wiarygodności informacji dynamicznej AIS ujawniły problemy, jakie urządzenie napotyka podczas wymiany danych z urządzeniami współpracującymi. W obszarach przybrzeżnych AIS pracujący w radiowym zasięgu pasma VHF nie spełnia wszystkich oczekiwań odnośnie do ciągłości pracy i dostępności serwisu oraz istnieją obszary, w których nie występuje emisja radiowa strumieni danych AIS. Dlatego w trzecim etapie prac badawczych zaprojektowałem modele symulacji procesu śledzenia trajektorii ruchu statków, umożliwiając wykrywanie awarii systemu na podstawie monitorowania wiarygodności strumieni danych pozycyjnych indeksowanych numerem MMSI.

Zaprojektowane modele procesu zweryfikowałem symulowanymi danymi dynamicznymi AIS, tj. w symulowanym eksperymencie w rejonie Zatoki Gdańskiej. Wiarygodność pozycji statku zawartą w strumieniach danych dynamicznych AIS określiłem przy użyciu metod stochastycznych opartych na łańcuchach Markowa.

Każdy statek wyposażony w odbiornik AIS klasy A przesyła raport pozycyjny zgodnie ze specyfikacją techniczną ITU-R M.1371 [ITU, 2014]. Raporty pozycyjne zawierają dane dynamiczne, takie jak: kurs wzdłuż osi symetrii statku HDT , prędkość zwrotu ROT , prędkość nad dnem SOG , szerokość i długość geograficzna POS , kąt drogi nad dnem COG . Interwał pomiędzy dwoma kolejnymi raportami pozycyjnymi AIS, otrzymanymi z tego samego statku wyposażonego w odbiornik klasy A, wynosi od 2 s do 180 s [ITU, 2014].

Transponder AIS odbiera dane z podłączonych czujników – są to między innymi HDT i ROT . Mierzone parametry pochodzą z żyroskopasów, natomiast współrzędne geograficzne (POS), tj. szerokość i długość geograficzna, oraz SOG i COG pochodzą z odbiornika systemu pozycjonowania. W modelu ruchu statku podstawowymi parametrami nawigacyjnymi są szerokość i długość geograficzna (POS), prędkość po wodzie STW , kurs wzdłuż osi symetrii statku, w tym przypadku kurs żyroskopasowy HDT i prędkość zwrotu ROT .

Pomiar parametru nawigacyjnego urządzeniami okrętowymi obarczony jest błędem. Wartość błędu wynika z zakłóceń ruchu obiektu po zaplanowanej trajektorii. Czynniki generujące zakłócenia wskazań urządzeń kompasowych przedstawiłem w rozdziale czwartym. Zakłócenia ruchu obiektu generowane celowo poprzez ograniczenia dostępności i wiarygodności serwisu pozycyjnego stanowią istotny problem związany z bezpieczeństwem nawigacji. W takich sytuacjach statek w sposób niekontrolowany zmienia swoje położenie, kurs i prędkość. Aby temu zapobiec, należy między innymi rozwijać metody i modele redukcji i pomiaru błędów parametrów nawigacyjnych.

Zaproponowałem zatem trzy modele procesu śledzenia trajektorii statku:

- model procesu śledzenia trajektorii ruchu statku na podstawie zamiaru i odległości radarowej do znaku nawigacyjnego;
- model procesu śledzenia trajektorii ruchu statku na podstawie zliczenia matematycznego przebytej drogi obiektu;
- model procesu śledzenia trajektorii ruchu statku na podstawie symulacji współrzędnych obiektu odbiornikiem systemu GPS.

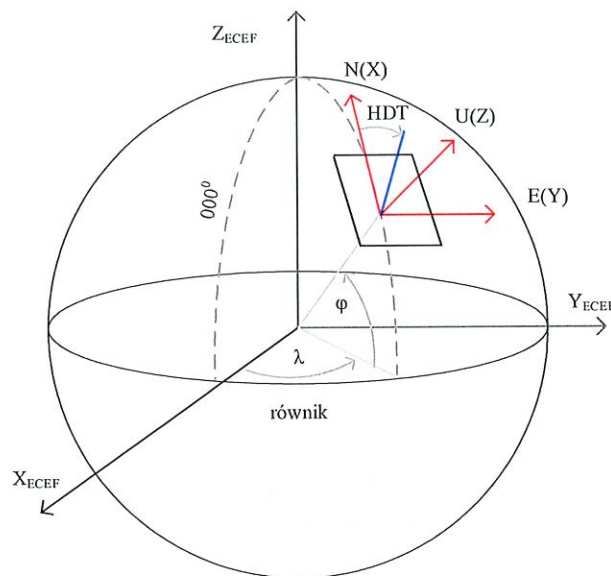
Modele procesu śledzenia ruchu obiektu zastosowałem do porównania generowanych danych pozycyjnych AIS symulowanych trzema modelami ruchu z zaplanowaną trajektorią referencyjną w celu znalezienia przypadków niedokładności pozycji statku. W trakcie symulacji ruchu obiektu statek porusza się po zaplanowanych pięciu trajektoriach referencyjnych. Ocenę dokładności pozycji obiektu względem trajektorii referencyjnej przeprowadziłem na podstawie miary rozproszenia – odchylenia standardowego. **Dwukrotna wartość pierwiastka z sumy kwadratów odchylenia położenia statku w płaszczyźnie OX i OY wyznaczała limit alarmowy wiarygodności serwisu AIS.** Do oceny wiarygodności informacji o położeniu obiektu w strumieniach danych AIS zastosowałem dwustanowy model stochastyczny – łańcuch Markowa.

Założyłem, że statek będzie poruszał się po symulowanej trajektorii referencyjnej. W przedziale czasowym $\Delta t = t_k - t_{k-1}$, w momencie k , statek wyposażony w odbiornik AIS dostarcza raporty pozycyjne z danymi dynamicznymi, tj. z kursem względem dziobu HDT_{S_k} , prędkością po wodzie STW_{S_k} , prędkością zwrotu ROT_{S_k} i współrzędnymi geograficznymi (φ_{S_k} , λ_{S_k}). W założeniach przyjąłem, że w przypadku ograniczeń dostępności serwisu pozycyjnego statek oraz pozostałe obiekty wyposażone w urządzenia AIS posiadają i stosują generator podstawy czasu, który zapewnia emisję strumieni danych dynamicznych AIS w postaci raportów pozycyjnych zgodnie z modelem procesu śledzenia ruchu statku. Przyjąłem, że statek realizuje żeglugę w strefie przybrzeżnej, w której występuje stałe oznakowanie nawigacyjne. Ponadto statek w dowolnej chwili $k(T)$ korzysta z wyposażenia nawigacyjnego w postaci kompasu żyroskopowego, radaru nawigacyjnego, logu okrętowego prędkości względnej, odbiornika AIS klasy A. W chwili $k(T)$ kompas żyroskopowy wyznacza kurs wzdłuż osi symetrii statku, względem północy żyroskopowej $HDT_{S(k)}$, prędkość zwrotu $ROT_{S(k)}$ oraz log okrętowy wyznacza prędkość $STW_{S(k)}$ w chwili $k(T)$.

Współrzędne generowane w płaszczyźnie OXY przez modele procesu śledzenia ruchu statku w chwili $k(T)$: $\mathbf{X}_{S(k)}(x_{S(k)}, y_{S(k)})$ wyznaczyłem w lokalnym układzie współrzędnych ENU.

Na podstawie pomiarów zrealizowanych w dowolnym momencie k , współrzędne oszacowałem w przedziale czasowym Δt przy użyciu następujących parametrów: $x_{S(k)}$, $y_{S(k)}$, $HDT_{S(k)}$, $STW_{S(k)}$, oraz $ROT_{S(k)}$.

Pozycje statku zapisałem w lokalnym układzie współrzędnych (*local frame*) ENU (North-East-Up) w płaszczyźnie OXY. Współrzędne statku stanowiły początkowy zbiór danych do symulacji ruchu statku modelem procesu śledzenia trajektorii ruchu obiektu. Układ ENU nie jest na stałe związany ze środkiem Ziemi, lecz z obiektem ruchomym – statkiem. Początek układu współrzędnych stanowi punkt na powierzchni Ziemi $\mathbf{X}_{S(0)}(x_{S(0)}, y_{S(0)})$, który jest środkiem symetrii statku w chwili $k = 0$. Położenie odpowiada pozycji początkowej statku. Oś X skierowana jest na północ (N). Oś Y skierowana jest na wschód (E). Oś Z skierowana jest prostopadłe do płaszczyzny OXY w górę (Up). Kurs żyrokompasowy, namiar radarowy wyznaczony jest wokół osi Z (Up), od osi X (N) w kierunku osi Y (E) zgodnie z ruchem wskazówek zegara, zgodnie z rysunkiem 7.



Rysunek 7. Lokalny układ współrzędnych ENU na kuli będącej modelem Ziemi

Oparty na założeniach symulacji model matematycznego zliczenia drogi (MZD) ruchu statku zdefiniowałem zależnością:

$$\mathbf{x}_{MZD}(k) = f[\mathbf{x}_{MZD}(k-1), \mathbf{u}(k), 0] \quad (36)$$

Zatem:

$$\mathbf{x}_{MZD}(k) = \begin{bmatrix} x_z(k) \\ y_z(k) \\ HDT_z(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{z(k-1)} \\ y_{z(k-1)} \\ HDT_{z(k-1)} \end{bmatrix} + \Delta t \cdot \begin{bmatrix} STW_{(k-1)} \cdot \cos HDT_{(k-1)} \\ STW_{(k-1)} \cdot \sin HDT_{(k-1)} \\ ROT_{(k-1)} \end{bmatrix} \quad (37)$$

gdzie:

$\mathbf{x}_{MZD}(k)$ – wektor stanu modelu zliczenia matematycznego ruchu statku,

$x_z(k)$, $y_z(k)$ – współrzędne zliczenia matematycznego ruchu statku w płaszczyźnie OXY, x na osi OX, y na osi OY w chwili k , $k - 1$,

k – moment, zdefiniowany czas,

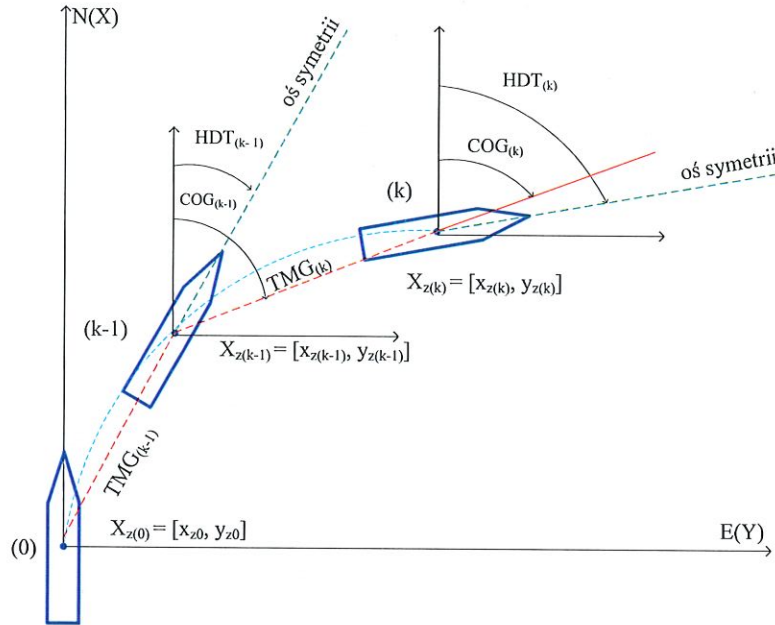
$\mathbf{X}_z(k)(x_z(k), y_z(k))$ – symulowane współrzędne w płaszczyźnie OXY ze zliczenia matematycznego ruchu statku w chwili k , x na osi OX, y na osi OY,

Δt – czas od momentu $k - 1$ do momentu k ,

$STW_{(k-1)}$ – prędkość po wodzie z logu okrętowego w momencie $k - 1$,

$HDT_{z(k)}$ – kurs wzdłuż osi symetrii statku, jako żyrokompasowy w chwili k , $k - 1$.

Statek znajduje się w środku układu współrzędnych $X_z(x_{(0)}, y_{(0)})$. Ze statku mieszczącego się na pozycji $X_z(x_{z(0)}, y_{z(0)})$ statek rozpoczyna manewrowanie, i przemieszcza się po zaplanowanej trajektorii referencyjnej kursem $HDT_{z(k)}$ z prędkością względem logu $STW_{(k-1)}$ (rysunek 8). Wyznaczenie położenia obiektu w chwili $k+n$ w fazie predykcji zrealizowałem zgodnie z $f[x_{MZD}(k-1), \mathbf{u}(k), \mathbf{w}(k)]$, przy czym wektor \mathbf{w} zakłóceń procesu = 0.



Rysunek 8. Ruch statku w układzie ENU

Model procesu śledzenia ruchu obiektu z wykorzystaniem informacji radarowej stosuje algorytm nawigacyjny oparty na lokalizacji obiektu charakterystycznego w postaci znaku nawigacyjnego w pozycji zgodnie z wektorem:

$$\mathbf{X}_{zn} = [x_{zn}, y_{zn}]^T. \quad (38)$$

gdzie:

\mathbf{X}_{zn} – wektor położenia znaku nawigacyjnego,

x_{zn}, y_{zn} – współrzędne znaku nawigacyjnego.

W dalszym etapie na podstawie porównania lokalizacji obiektu charakterystycznego w postaci znaku nawigacyjnego zostaje ustalone względne położenie statku. Początkowa lokalizacja statku w układzie ENU, tj. $X_{s(0)}(x_{s(0)}, y_{s(0)})$ znajduje się w środku układu współrzędnych ENU i nie jest obciążona błędem. Uproszczony model zakłada traktowanie statku jako punktu. Statek porusza się po zaplanowanej trajektorii kursem żyrokompasowym, stałą prędkością względem logu okrętowego (rysunek 9). Położenie znaku nawigacyjnego $X_{zn}(x_{zn}, y_{zn})$ obliczyłem zgodnie z zależnością

$$x_{zn} = x_{s(0)} + d_{r(0)} \cdot \cos(N_{r(0)}) \quad (39)$$

$$y_{zn} = y_{s(0)} + d_{r(0)} \cdot \sin(N_{r(0)}) \quad (40)$$

gdzie:

x_{zn}, y_{zn} – współrzędne pozycji znaku nawigacyjnego X_{zn} wzdłuż osi OX, OY w lokalnym układzie ENU,

$x_{s(0)}, y_{s(0)}$ – współrzędne początkowe pozycji statku $X_{s(0)}$ w lokalnym układzie ENU,

$N_{r(0)}$ – namiar radarowy na wykryty znak nawigacyjny wyznaczony z pozycji początkowej $X_{s(0)}$,

$d_{r(0)}$ – odległość między pozycją początkową statku $\mathbf{X}_{s(0)}$ a pozycją znaku nawigacyjnego \mathbf{X}_{zn} .

Z pozycji początkowej statku w układzie ENU $\mathbf{X}_{s(0)}(x_{s(0)}, y_{s(0)})$ w chwili $k = 0$ zmierzono namiar radarowy $N_{r(0)}$ oraz odległość radarową $r_{(0)}$ radarem nawigacyjnym do znaku nawigacyjnego znajdującego się w pozycji $\mathbf{X}_{zn}(x_{zn}, y_{zn})$ (rysunek 9). Statek przemieszcza się po zaplanowanej trajektorii w zdefiniowanych interwałach charakterystycznych dla raportów pozycyjnych AIS, czyli $\Delta t = t_k - t_{k-1}$, osiągając w ten sposób nowe położenie $\mathbf{X}_{s(1)}(x_{s(1)}, y_{s(1)})$, których wartości $x_{s(1)}, y_{s(1)}$ opisano zgodnie z zależnością:

$$x_{s(1)} = x_{zn} + r_{(1)} \cdot \cos(N_{r(1)} + 180^\circ) \quad (41)$$

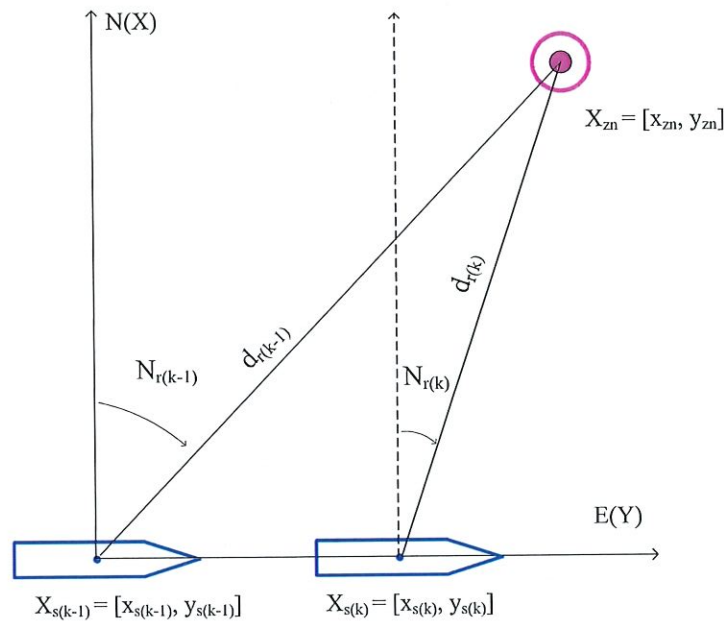
$$y_{s(1)} = y_{zn} + r_{(1)} \cdot \sin(N_{r(1)} + 180^\circ) \quad (42)$$

gdzie:

$x_{s(1)}, y_{s(1)}$ – współrzędne pozycji statku $\mathbf{X}_{s(1)}$ w chwili $k+1$, w płaszczyźnie OXY, względem położenia znaku nawigacyjnego $\mathbf{X}_{zn}(x_{zn}, y_{zn})$,

$N_{r(1)}$ – namiar radarowy na wykryty znak nawigacyjny wyznaczony z pozycji statku w chwili $k+1$,

$d_{r(1)}$ – odległość między pozycją statku w chwili $k+1$, tj. $\mathbf{X}_{s(1)}$, a pozycją znaku nawigacyjnego $\mathbf{X}_{zn}(x_{zn}, y_{zn})$.



Rysunek 9. Uproszczony model pomiaru

Wektor pomiaru $\mathbf{z}(k)$ filtru EKF wyznaczylem na podstawie zmiennych:

$\mathbf{X}_{s(k)}(x_{s(k)}, y_{s(k)}), \mathbf{X}_{zn}(x_{zn}, y_{zn})$.

gdzie:

$\mathbf{X}_{zn}(x_{zn}, y_{zn})$ – współrzędne znaku nawigacyjnego w płaszczyźnie OXY,

$\mathbf{X}_{sk}(x_{sk}, y_{sk})$ – współrzędne obiektu manewrującego w płaszczyźnie OXY.

Filtr EKF składa się z trzech faz. Są to: faza inicjacji, faza predykcji, faza korekcji. W modelowaniu symulacji ruchu statku pierwsza faza ma miejsce na początku badań zgodnie z założeniami, po zmianie położenia obiektu na podstawie namiaru i odległości radarowej do znaku [Jaskólski et al., 2021; Marchel et al., 2020].

Wektor stanu początkowego $x_{(0)}$, opisany wartościami parametrów: pozycja $(x_{s(0)}, y_{s(0)})$, $HDT_{(0)}$, $STW_{(0)}$, ustaliłem zgodnie z zależnością:

$$\mathbf{x}_{(0)} = [x_{s(0)} \quad y_{s(0)} \quad HDT_{(0)} \quad STW_{(0)}]^T \quad (43)$$

Przyjąłem, że statek porusza się ze stałą prędkością w lokalnym układzie odniesienia w płaszczyźnie OXY, zgodnie z kierunkiem trajektorii referencyjnej. Przyjąłem, że odczyt pomiaru kursu statku oraz prędkość zmiany kursu realizowana jest za pośrednictwem kompasu żyroskopowego. Przyjąłem, że odczyt pomiaru prędkości realizowany jest za pośrednictwem logu okrętowego prędkości względnej. Współrzędne początkowe stanowią początek lokalnego układu NEU. Przyjąłem, że radar nawigacyjny dokonuje pomiaru względnego namiaru radarowego i odległości radarowej do stałego oznakowania nawigacyjnego.

Postać wektora estymowanego $\hat{\mathbf{x}}_{(k|k-1)}$ reprezentuje stan systemu a priori w momencie (k) . Filtr KF jest metodą estymacji wartości zmiennych liniowych. Zaproponowany model ruchu obiektu jest oparty na procesach estymacji stosowanych w filtrze EKF. Filtr EKF może być zdefiniowany, jeżeli znana jest postać $(\hat{\mathbf{x}}_{(k|k-1)}, \mathbf{P}_{(k|k-1)}, \mathbf{u}_{d(k)}, \mathbf{z}_{(k)})$ [Jaskólski et al., 2021; Marchel et al., 2020]:

$$\hat{\mathbf{x}}_{(k|k-1)} = f(\hat{\mathbf{x}}_{(k-1)}, \mathbf{u}_{d(k)}, 0), \quad (44)$$

gdzie:

$\mathbf{u}_{d(k)}$ – wektor wymuszeń deterministycznych (sterowań) w chwili kT ,

$\mathbf{w}_{(k)}$ – wektor wymuszeń stochastycznych, zakłóceń procesu w chwili kT , $= 0$.

Postać modelu procesu w chwili k opisałem zgodnie z zależnością:

$$\hat{\mathbf{x}}_{(k|k-1)} = \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ HDT_s \\ STW_s \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ HDT_s \\ STW_s \end{bmatrix}_{k-1} + \Delta t \cdot \begin{bmatrix} V_{l(k-1)} \cdot \cos HDT_{(k-1)} \\ V_{l(k-1)} \cdot \sin HDT_{(k-1)} \\ ROT_{(k-1)} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (45)$$

Wektor stanu w fazie korekcji podlega aktualizacji zgodnie z zależnością:

$$\hat{\mathbf{x}}_{(k|k-1)} = f(\hat{\mathbf{x}}_{(k-1)}, \mathbf{u}_{d(k)}, 0), \quad (46)$$

Statek porusza się po zadanej trajektorii referencyjnej. W fazie inicjacji filtru EKF postać wektora stanu zdefiniowałem wartością $\hat{\mathbf{x}}_{(0|k)}$ a posteriori, zgodnie z modelem ruchu statku. Estymowany wektor stanu w chwili $k = 1$, czyli $\hat{\mathbf{x}}_{(1|k-1)}$ jest wartością oczekiwaną wektora rzeczywistego stanu zgodnie z zależnością:

$$\hat{\mathbf{x}}_{(1|k-1)} = E(x_1) \quad (47)$$

Aby wyznaczyć $\hat{\mathbf{x}}_{(1|k-1)}$, zastosowałem nieliniowy model systemu zgodnie z zależnością:

$$\hat{\mathbf{x}}_{(1|k-1)} = f(\hat{\mathbf{x}}_{(0|k)}, \mathbf{u}_{d(1)}, 0), \quad (48)$$

W fazie aktualizacji (*update step*) wektor $\mathbf{w}_{(k)}$ zakłóceń nie występuje. Etap aktualizacji związany jest również z wyznaczeniem macierzy kowariancji w chwili k . W fazie inicjacji filtru macierz kowariancji \mathbf{P}_0 w chwili $k = 0$ wyznaczyłem zgodnie z zależnością:

$$\mathbf{P}_0 = E \left[(x_{s(0)} - \hat{x}_{s(0)}) \cdot (x_{s(0)} - \hat{x}_{s(0)})^T \right] \quad (49)$$

Jeżeli wyznaczyłem macierz kowariancji \mathbf{P}_0 w chwili $k = 0$, wyznaczam macierz kowariancji \mathbf{P}_1 w chwili $k = 1$. Mogę tego dokonać, stosując liniową transformację, gdzie macierze transformacji są liniową aproksymacją nieliniowego modelu stanu.

Zatem postać macierzy \mathbf{P}_1 w chwili $k = 1$ jest następująca:

$$\mathbf{P}_{1|k-1} = \mathbf{F}_x \cdot \mathbf{P}_{(0)} \cdot \mathbf{F}_x^T + \mathbf{Q}_{(1)} \quad (50)$$

gdzie:

$\hat{\mathbf{x}}_k$ – estymowany wektor a priori stanu w chwili kT ,

$\mathbf{w}_{(k)}$ – wektor wymuszeń stochastycznych, zakłóceń procesu w chwili kT ,

$\mathbf{Q}_{(k)}$ – macierz kowariancji dyskretnych zakłóceń procesu w_k w chwili kT ,
oraz:

$$\mathbf{F}_x = \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{x=\hat{x}_{(k-1|k-1)}} \quad (51)$$

gdzie:

\mathbf{F}_x – pochodna cząstkowa wektora stanu.

Macierz kowariancji a priori w chwili kT na etapie korekcji podlega aktualizacji zgodnie z zależnościami:

$$\mathbf{P}_{(k|k-1)} = \mathbf{F}_x \cdot \mathbf{P}_{(k-1|k-1)} \cdot \mathbf{F}_x^T + \mathbf{Q}_{(k)}, \quad (53)$$

Macierz pochodnych cząstkowych \mathbf{F}_x jest macierzą o wymiarach $(m \times n)$ funkcji $f = f(x)$, gdzie elementy stanowią pochodne cząstkowe m-wyjść względem n-wejść zgodnie z zależnościami:

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{bmatrix} = f \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (54)$$

Zatem:

$$\mathbf{F}_x = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (55)$$

Macierz pochodnych cząstkowych modelu procesu stanu ∇f_x oznaczono symbolem \mathbf{F}_{k-1} . Macierz jest pochodną modelu procesu $x_k = f(x_{(k-1)}, u_{(k)}, w_{(k)})$ i jest wyznaczona względem wektora stanu w chwili $k - 1$.

Zatem:

$$\mathbf{F}_{k-1} = \nabla f_x \Big|_{x=x_{k-1}} \quad (56)$$

oraz:

$$\mathbf{F}_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin \text{HDT}_{s(k-1)} \cdot \Delta t \cdot \text{STW}_{s(k-1)} & \cos \text{HDT}_{s(k-1)} \cdot \Delta t \\ 0 & 1 & \cos \text{HDT}_{s(k-1)} \cdot \Delta t \cdot \text{STW}_{s(k-1)} & \sin \text{HDT}_{s(k-1)} \cdot \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (57)$$

Wyznaczenie macierzy kowariancji błędów predykcji wymaga wyznaczenia macierzy $\mathbf{Q}_{(k)}$ kowariancji dyskretnych zakłóceń procesu $w_{(k)}$.

$$\mathbf{Q}_{(k)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Delta t^2 \cdot \sigma_{HDT}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Delta t^2 \cdot \sigma_{STW}^2 \end{bmatrix}, \quad (60)$$

gdzie:

σ_{STW}^2 – wariancja pomiaru prędkości z logu okrętowego, przy założeniu $STW_s \sim N(0, \sigma_{STW}^2)$,

σ_{HDT}^2 – wariancja pomiaru kursu żyroskopowego.

Dodatkowo przyjąłem w założeniach, że:

$$w_{(k)} \sim N(0, \mathbf{Q}_{(k)}), \quad (61)$$

Określenie współrzędnych estymowanych w modelu procesu śledzenia ruchu statku z zamiaru i odległości radarowej wymaga znajomości orientacji przestrzennej na podstawie

położenia znaku nawigacyjnego (stawy). Test zakłada, że ruch statku będzie symulowany w dwuwymiarowej płaszczyźnie OXY w lokalnym układzie odniesienia. Położenie znaku jest symulowane przez program komputerowy. Przedstawiony wariant zakłada obecność tylko jednego znaku nawigacyjnego. Statek porusza się ze stałą prędkością, a także ze stałą prędkością zwrotu podczas zmiany kursu.

Kolejnym etapem filtracji EKF jest faza korekcji. Algorytm filtracji włącza zestaw przypadkowo błędnych pomiarów \mathbf{z}_k do obserwowanego znaku nawigacyjnego [Jaskólski et al., 2021; Marchel et al., 2020].

Model pomiaru zdefiniowałem następującą zależnością:

$$\mathbf{z}_k = h(\hat{\mathbf{x}}_k, \mathbf{v}_k), \quad (62)$$

gdzie:

$\mathbf{z}_{(k)}$ – wektor pomiaru w chwili kT ,

$\mathbf{v}_{(k)}$ – wektor błędów pomiaru w chwili kT .

Model pomiaru wymaga oszacowania współrzędnych obserwowanego znaku nawigacyjnego. Do określenia pozycji wymagana jest seria pomiarów do znaku nawigacyjnego. W tym przypadku wyznaczam odległość radarową $d_{r(k)}$ oraz namiar radarowy $N_{r(k)}$ do znaku nawigacyjnego.

Wektor pomiaru przyjmuje następującą postać:

$$\hat{\mathbf{z}}_k = [N_{r(k)} \quad d_{r(k)}]^T, \quad (63)$$

gdzie:

$N_{r(k)}$ – namiar radarowy zmierzony na znak nawigacyjny w chwili kT ,

$d_{r(k)}$ – odległość radarowa zmierzona do znaku nawigacyjnego w chwili kT .

Założyłem, że jako punkt będę traktować zarówno statek, jak i znak nawigacyjny. Pomiaru radarem nawigacyjnym zostały obciążone błędem losowym $v_{dr(k)}$ w chwili k dla zmierzonej odległości radarowej $d_{r(k)}$, oraz błędem losowym $v_{Nr(k)}$ w chwili k dla zmierzonego namiaru radarowego $N_{r(k)}$ w rozkładzie normalnym z odchyleniem standardowym σ_{Nr} , σ_{dr} .

Mając to na uwadze, model pomiaru do pozycji znaku X_{zn} znaku zdefiniowałem zależnością:

$$\mathbf{z}_k = h(\mathbf{x}_{(k)}, \mathbf{v}_{(k)}) = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_{zn} - x_{S(k)})^2 + (y_{zn} - y_{S(k)})^2} \\ \arctan\left(\frac{y_{zn} - y_{S(k)}}{x_{zn} - x_{S(k)}}\right) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{dr(k)} \\ v_{Nr(k)} \end{bmatrix}, \quad (64)$$

Model pomiaru jest nieliniową funkcją wektora stanu z błędem pomiaru namiaru i odległości radarowej. Przy założeniu $\sigma_{dr} = 1\%$ odległości radarowej do znaku (stawy) od obiektu manewrującego oraz $\sigma_{Nr} = 0.3^\circ$ błąd odległości do znaku nawigacyjnego v_{dr} oraz błąd namiaru radarowego v_{dr} przyjmuje wartości zgodne z zależnością:

$$v_{Nr} \sim N(0, \sigma_{Nr}^2), \quad (65)$$

$$v_{dr} \sim N(0, \sigma_{dr}^2). \quad (66)$$

Dokonałem predykcji wektora pomiaru $\hat{\mathbf{z}}_k$ na podstawie bieżącego wektora stanu a priori $\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}$ za pomocą funkcji nieliniowej:

$$\hat{\mathbf{z}}_k = h(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, 0). \quad (67)$$

Zdefiniowałem wektor innowacji \mathbf{v}_k jako różnicę pomiędzy estymowanym wektorem pomiaru $\hat{\mathbf{z}}_k$ i pomiarem rzeczywistym \mathbf{z}_k zgodnie z zależnością:

$$\mathbf{v}_k = \mathbf{z}_k - h(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, 0), \quad (68)$$

gdzie:

\mathbf{v}_k – wektor błędów pomiaru,

z_k – rzeczywisty pomiar namiaru radarowego i odległości radarowej.

Przy tym wektor innowacji przyjmuje wartości zgodnie z zależnością:

$$\mathbf{v}_{(k)} \sim N(0, \mathbf{R}_k). \quad (69)$$

Następnie wyznaczyłem macierz innowacyjną kowariancji zdefiniowaną zależnością:

$$\mathbf{S}_k = E[\mathbf{v}_k \mathbf{v}_k^T]. \quad (70)$$

Macierz \mathbf{S}_k wyznaczyłem zgodnie z zależnością:

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{H}_x \cdot \mathbf{P}_{(k|k-1)} \cdot \mathbf{H}_x^T + \mathbf{H}_v \cdot \mathbf{R}_k \cdot \mathbf{H}_v^T, \quad (71)$$

gdzie:

$\mathbf{P}_{(k|k-1)}$ – macierz kowariancji błędów w chwili k ,

$\mathbf{R}_{(k)}$ – macierz wariancji błędów pomiarowych,

oraz:

$$\mathbf{H}_x = \nabla h_x = \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}}. \quad (72)$$

Zatem:

$$\mathbf{H}_x = \begin{bmatrix} \frac{x_{S_{k|k-1}} - x_{zn}}{d_r} & \frac{y_{S_{k|k-1}} - y_{zn}}{d_r} & 0 & 0 \\ -\frac{y_{S_{k|k-1}} - y_{zn}}{d_r^2} & \frac{x_{S_{k|k-1}} - x_{zn}}{d_r^2} & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (73)$$

gdzie:

\mathbf{H}_x – pochodna cząstkowa modelu zakłóceń względem wektora stanu w chwili k ,

d_r – odległość radarowa między znakiem nawigacyjnym i statkiem.

Wyznaczenie macierzy $\mathbf{S}_{(k)}$ wymaga obliczenia pochodnych cząstkowych pierwszego rzędu funkcji \mathbf{H}_v w odniesieniu do wektora błędów pomiaru.

Zatem:

$$\mathbf{H}_v = \nabla h_v = \frac{\partial h}{\partial v} \Big|_{x = \hat{\mathbf{x}}_{(k|k-1)}}, \quad (74)$$

gdzie:

\mathbf{H}_v – pochodna cząstkowa modelu pomiaru względem wektora pomiaru w chwili k .

Zatem:

$$\mathbf{H}_v = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (75)$$

Wariancja pomiaru odległości $\sigma_{N_r}^2$ i namiaru radarowego $\sigma_{N_r}^2$ wyznaczona została w macierzy $\mathbf{R}_{(k)}$.

$$\mathbf{R}_{(k)} = \begin{bmatrix} \sigma_{d_r}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{N_r}^2 \end{bmatrix}. \quad (76)$$

gdzie:

$\sigma_{d_r}^2$ – wariancja pomiaru odległości radarowej do znaku nawigacyjnego (stawa),

$\sigma_{N_r}^2$ – wariancja pomiaru namiaru radarowego do znaku nawigacyjnego (stawa).

Estymowany wektor stanu a priori $\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}$ podlega fazie korekcji na podstawie bieżących błędów pomiaru \mathbf{v}_k do postaci a posteriori estymowanego wektora stanu $\hat{\mathbf{x}}_{k|k}$ zgodnie z następującymi równaniami:

$$\hat{\mathbf{x}}_{(k|k)} = \hat{\mathbf{x}}_{(k|k-1)} + \mathbf{K}_{(k)} \cdot \mathbf{v}_{(k)}, \quad (77)$$

$$\mathbf{K}_{(k)} = \mathbf{P}_{(k|k-1)} \cdot \mathbf{H}_x^T \cdot \mathbf{S}_{(k)}^{-1}, \quad (78)$$

gdzie:

$\mathbf{K}_{(k)}$ – macierz wag,

$\mathbf{P}_{(k)}$ – macierz kowariancji błędów filtracji,

Dzięki tym równaniom na wyjściu otrzymuję $\hat{\mathbf{x}}_{(k|k)}$, $\mathbf{P}_{(k|k)}$.

Macierz $\mathbf{P}_{(k|k-1)}$ kowariancji błędów wektora stanu a priori podlega fazie korekcji do postaci $\mathbf{P}_{(k|k)}$ macierzy kowariancji błędów wektora stanu a posteriori zgodnie z zależnością:

$$\mathbf{P}_{(k|k)} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_{(k)} \cdot \mathbf{H}_x^T) \cdot \mathbf{P}_{(k|k-1)}, \quad (79)$$

gdzie:

\mathbf{I} – macierz jednostkowa,

oraz:

$$\mathbf{P}_{(k|k-1)} = \mathbb{E} \left[(\mathbf{x}_{(k)} - \hat{\mathbf{x}}_{(k|k-1)}) \cdot (\mathbf{x}_{(k)} - \hat{\mathbf{x}}_{(k|k-1)})^T \mid \mathbf{z}^{k-1} \right], \quad (80)$$

oraz

$$\mathbf{P}_{(k|k)} = \mathbb{E} \left[(\mathbf{x}_{(k)} - \hat{\mathbf{x}}_{(k|k)}) \cdot (\mathbf{x}_{(k)} - \hat{\mathbf{x}}_{(k|k)})^T \mid \mathbf{z}^k \right]. \quad (81)$$

Współrzędne wyznaczone trzema modelami procesu śledzenia ruchu statku porównałem ze współzrędnymi wyznaczonymi trajekcją referencyjną w pięciu scenariuszach ruchu obiektu. Model procesu śledzenia ruchu statku z zamiaru i odległości radarowej stosuje pomiar radarowy w chwili k , estymując położenie obiektu we współzrędnym w płaszczyźnie OXY.

Model procesu śledzenia ruchu statku stosujący zliczenie matematyczne drogi MZD wymaga mniej złożonych procesów obliczeniowych i jest oparty na założeniach kinematyki.

Model procesu śledzenia ruchu statku estymowany współzrędnymi systemu GPS symuluje zmianę położenia z miarą rozrzutu $\Delta_x \sim N(0, \sigma_x^2)$, $\Delta_y \sim N(0, \sigma_y^2)$.

Trzy modele śledzenia ruchu statku zastosowałem w pięciu symulowanych, referencyjnych trajekcjach z różnymi parametrami definiującymi dynamikę ruchu statku. W rezultacie, na podstawie obliczeń, model procesu śledzenia ruchu statku z zamiaru i odległości radarowej, model procesu śledzenia ruchu statku ze zliczenia matematycznego drogi MZD, model procesu śledzenia ruchu statku symulujący współzrędnym obiektu odbiornikiem systemu GPS określa poziom wiarygodności strumieni danych dynamicznych AIS, który wskazuje, czy użytkownik AIS może polegać na raportach pozycyjnych AIS, czy nie.

Przyjąłem początkowe położenie obiektu w lokalnym układzie współzrędnym: $x_{s(0)} = 0$, $y_{s(0)} = 0$. Wartość odchylenia standardowego dla pozycji początkowej wynosi:

$$\sigma_{x_{s(0)}} = 0, \quad (82)$$

$$\sigma_{y_{s(0)}} = 0. \quad (83)$$

W modelu ruchu statku stan początkowy zdefiniowałem w następujący sposób:

$$\mathbf{x}_{(0)} = [x_{s(0)} \quad y_{s(0)} \quad HDT_{(0)} \quad STW_{(0)}]^T. \quad (84)$$

Stan początkowy zdefiniowałem współzrędnymi początkowymi $X_{s(0)}(x_{s(0)}, y_{s(0)})$, jako pozycja estymowana w układzie współzrędnym OXY, początkowym $HDT_{(0)}$, początkowym $STW_{(0)}$.

Zmiana wartości HDT_k , ROT_k oraz STW_k charakteryzuje się losowym błędem w rozkładzie normalnym z odchyleniem standardowym σ_{HDT} , σ_{ROT} , σ_{STW} zgodnie z zależnością (85) (86) (87):

$$\Delta HDT_{(k)} \sim N(0, \sigma_{HDT}^2), \quad (85)$$

$$\Delta STW_{(k)} \sim N(0, \sigma_{STW}^2), \quad (86)$$

$$\Delta ROT_{(k)} \sim N(0, \sigma_{ROT}^2). \quad (87)$$

Odległość radarową i namiar radarowy do znaku w fazie inicjacji filtru wyznaczyłem zgodnie z tabelą początkowych parametrów trajektorii ruchu statku.

Oprócz opracowania trzech modeli śledzenia trajektorii ruchu statku głównym celem trzeciego etapu prac badawczych było wyznaczenie wiarygodności strumieni danych dynamicznych AIS.

Czas, w jakim AIS realizuje drogą radiową emisję strumieni danych dynamicznych indeksowanych numerem MMSI, charakteryzuje się wykładniczym rozkładem czasu poprawnej pracy i czasu awarii. Jeżeli proces emisji danych radiowych, którego efektem jest dostarczenie użytkownikowi w dowolnym momencie wiarygodnych danych, jest procesem niezawodnym, można go postrzegać jako funkcjonowanie systemu informacji emitującego niezależne strumienie danych i można go badać metodami znanymi z teorii niezawodności. W związku z powyższym zaproponowałem model oparty na teorii procesów Markowa związanych z eksploatacją obiektów technicznych. Wiadomo, że łańcuch Markowa charakteryzuje się tym, że stan w chwili $k + 1$ zależy tylko od stanu w chwili k i jest niezależny od stanu w chwilach poprzedzających.

Na podstawie powyższego założenia dla odebranego strumienia danych wyznaczyłem stochastyczną macierz prawdopodobieństwa przejść między stanami wiarygodności AIS, umożliwiającą identyfikację źródła niewiarygodnych danych. Macierz stochastyczna prezentuje intensywność przejść między stanami.

Czas, w którym serwis systemu znajduje się w stanie wiarygodności, jest wartością, którą można opisać za pomocą procesów stochastycznych. Dlatego zaproponowałem model wiarygodności serwisu AIS, stosując w tym celu łańcuch Markowa.

Proces stochastyczny S_k oznaczono symbolem zgodnie z zależnością (24). Wartości zmiennych losowych $\{S_k : k = (0, 1, 2, 3, \dots, K)\}$ reprezentują stan wiarygodności serwisu AIS dla wybranej trajektorii ruchu statku. Charakter zmian stanu S można przyjąć jako łańcuch Markowa w zbiorze stanów $\{S_1, S_2\}$ zgodnie z zależnością (25),

gdzie:

S_1 – stan $S_1(k) = 0$ oznacza, że w chwili $(k)T$ dokładność jest niższa niż $2M_{xy}$, system jest w stanie awarii – stan niezdatności strumienia danych indeksowanych nr MMSI,

S_2 – stan $S_2(k) = 1$ oznacza, że w chwili $(k)T$ dokładność jest równa lub wyższa niż $2M_{xy}$, system jest w stanie pracy – stan zdatności strumienia danych indeksowanych nr MMSI,

K – zbiór obserwacji.

Przyjąłem, że intensywność przejść między stanami operacyjnymi serwisu AIS jest zależna od wartości M_{xy} , pierwiastka sumy kwadratów różnicy między położeniem referencyjnym a położeniem wynikającym z modelu procesu śledzenia ruchu statku [Jaskólski et al., 2021].

$$M_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (88)$$

gdzie:

m_x^2 m_y^2 – kwadrat odległości między położeniem referencyjnym a położeniem wynikającym z modelu procesu śledzenia ruchu statku: w płaszczyźnie OXY, na osi OX i na osi OY,

M_{xy} – pierwiastek z sumy kwadratów różnicy między położeniem referencyjnym a położeniem wynikającym z modelu procesu śledzenia ruchu statku: w płaszczyźnie OXY.

Chwile, w których system znajduje się w stanie awarii, są momentami odnowy struktury nawigacyjnej. Zatem macierz stochastyczna określa prawdopodobieństwo przejść między stanami wiarygodności serwisu AIS. Macierz stochastyczna przedstawia intensywność przejść między stanami.

Łańcuch Markowa można zdefiniować, jeśli rozkład początkowy P zgodnie z (30) [Jaskólski et al., 2021] oraz macierz intensywności przejść między stanami są znane.

Zatem macierz intensywności przejść między stanami $P_{\phi_0=i}$ przyjmuje postać zgodnie z (31) [Jaskólski et al., 2021], gdzie prawdopodobieństwo przejść między stanami procesu p_{ij} można zapisać zgodnie z zależnością (28) [Jaskólski et al., 2021].

Zatem macierz stochastyczna określa prawdopodobieństwo przejść między stanami wiarygodności strumieni danych AIS. Macierz stochastyczna przedstawia intensywność przejść między stanami. Zatem p_{ij} oznacza prawdopodobieństwo przejścia ze stanu $i \in S$ do stanu $j \in S$ dla $k+1$ obserwacji. W moim przypadku macierz prawdopodobieństw przejść między stanami procesu przyjmuje postać zgodnie z zależnością (29) [Jaskólski et al., 2021].

W założeniu do badań przyjąłem rozkład początkowy $p_0 = [1, 0]$. Oznacza to, że w stanie początkowym system znajduje się w stanie awarii (stan niezdatności) S_I .

Ważną rolę w badaniu procesów opisywanych przez łańcuchy Markowa odgrywają charakterystyki graniczne, a zwłaszcza prawdopodobieństwa $p_i(k)$ oraz $p_{ij}(k)$ dla $k \rightarrow \infty$. Opisują probabilistyczne zachowanie procesu w długim czasie.

Prawdopodobieństwa graniczne $\lim_{k \rightarrow \infty} p_{ij}(k)$ wyznaczyłem zgodnie z zależnością (30) [Jaskólski et al., 2021]:

Do wyznaczenia prawdopodobieństw przebywania systemu w stanie $S\{s_1, s_2\}$ należy rozwiązać układ równań (35), przy założeniu zdefiniowanym zgodnie z zależnością (31-32) [Jaskólski et al., 2021]. Oznacza to, że suma prawdopodobieństw przebywania obiektu w stanie i jest równa 1. Zatem:

$$p_{00} + p_{01} = 1, \quad (89)$$

oraz:

$$p_{10} + p_{11} = 1, \quad (90)$$

gdzie:

p_{ij} – prawdopodobieństwo intensywności przejść między stanami i, j lub pozostawiania w stanie i .

Prawdopodobieństwa π_0, π_1 jako granice, do których dąży asymptotycznie częstość wystąpień badanej zmiennej, wyznaczają rozkład stacjonarny jednorodnego łańcucha Markowa $\pi_s = [\pi_0, \pi_1]$ z macierzą prawdopodobieństw przejść wyznaczoną zgodnie z zależnością (31) [Jaskólski et al., 2021].

Prawdopodobieństwa π_0, π_1 obliczyłem na podstawie iloczynu macierzy zgodnie z zależnością (34) [Jaskólski et al., 2021].

W rezultacie otrzymałem następujący układ równań:

$$\begin{cases} p_{00}\pi_0 + p_{10}\pi_1 = \pi_0 \\ p_{01}\pi_0 + p_{11}\pi_1 = \pi_1 \end{cases} \quad (91)$$

przy następującym założeniu:

$$\pi_0 + \pi_1 = 1. \quad (92)$$

Szczegółowe informacje dotyczące modelowania wiarygodności strumieni danych systemu przedstawiłem w [Jaskólski, 2013, 2014].

Metodę symulacji zastosowałem do śledzenia trajektorii ruchu statków emitujących strumienie danych dynamicznych AIS w wyznaczonym interwale.

W tym celu modele śledzenia trajektorii ruchu statków mogą być wykorzystane do wykrycia nieprawidłowego zachowania systemu AIS oraz do monitorowania wiarygodności danych dynamicznych AIS.

Na podstawie symulowanych danych zasymulowałem pięć trajektorii. Szczegółowe informacje dotyczące symulowanych trajektorii zawiera **tabela 4**.

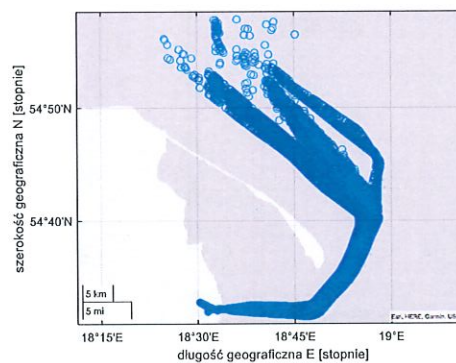
Tabela 4. Symulacje trajektorii ruchu statku

Parametry inicjacji EKF	Trajektoria #1	Trajektoria #2	Trajektoria #3	Trajektoria #4	Trajektoria #5
HDT [°]	000	066	000	270	315
ROT [°/min]	000	005	005	000	015
Zmiana kursu po czasie [min]	0	15	45	0	10
V_L [m/s]	4	4	8	4	8
Δt [s]	10	3,33	2	10	2
Czas symulacji [s]	3600	3600	3600	3600	1800
σ_{GPS} [m]	10	10	10	10	10
σ_{HDT} [°]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
σ_{ROT} [°/min]	0	0	0	0	0
σ_{STW} [% D_L]	0,1% D_L	0,1% D_L	0,1% D_L	0,1% D_L	0,1% D_L
σ_{Nr} [°]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
σ_{dr} [m]	1% d_r	1% d_r	1% d_r	1% d_r	1% d_r
d_r [m]	1500	1850	2800	16000	2600

Liczba obserwacji zależała od liczby raportów pozycyjnych w symulowanych trajektoriach ruchu statku zgodnie z modelem procesu śledzenia obiektu. Symulowane położenie pięciu trajektorii referencyjnych porównałem z danymi symulowanymi z pięciu różnych statków manewrujących na różne sposoby, aby sprawdzić możliwości trzech algorytmów szacujących współrzędne obiektu.

Praktyczne zastosowanie modelu dostępności serwisu AIS na podstawie wieku danych dynamicznych

Badanie dostępności serwisu AIS dla $p = (1...5)$ parametrów nawigacyjnych oraz $m = (1...M)$ strumieni danych indeksowanych numerem MMSI zrealizowałem w rejonie Zatoki Gdańskiej (rysunek 10).

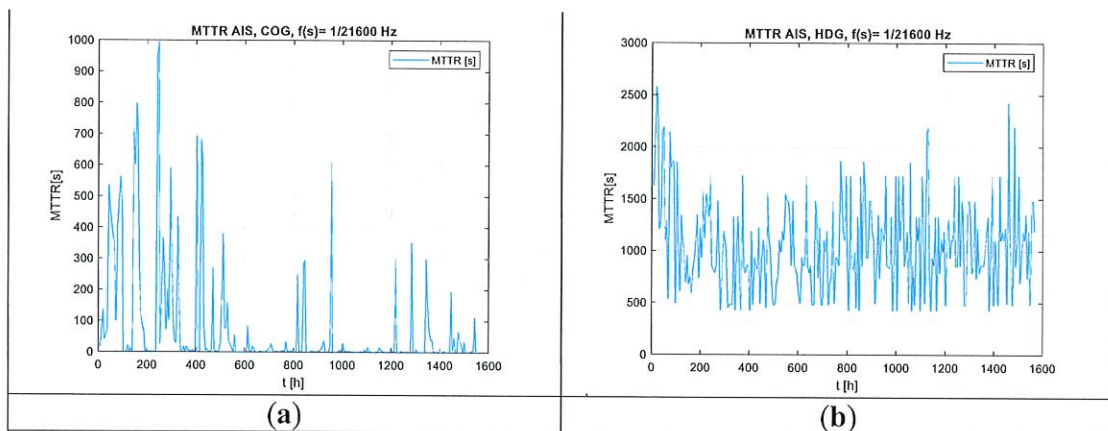


Rysunek 10. Rejon przeprowadzonych prac badawczych – Zatoka Gdańska, strumień danych indeksowany pojedynczym numerem MMSI z 288 godzin pracy systemu AIS

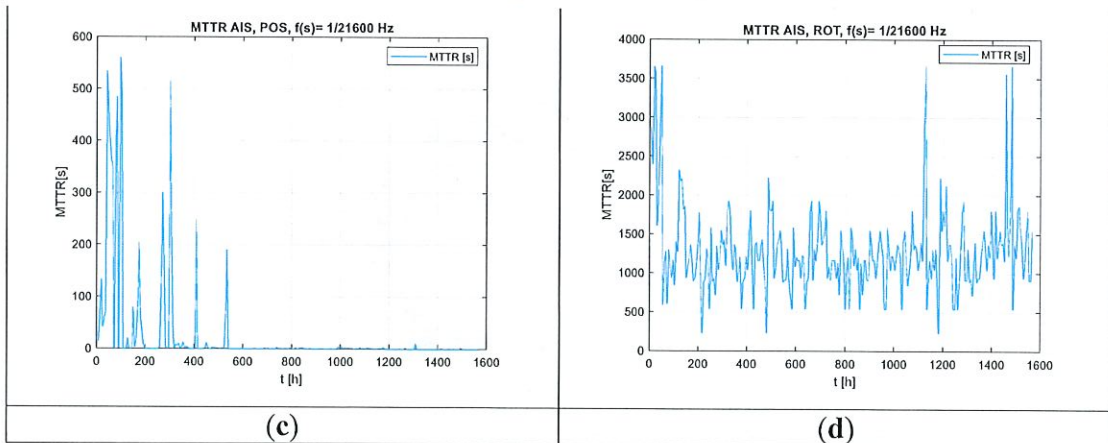
Zapis danych w postaci 261 sześciogodzinnych próbek pozyskałem z okrętu stacjonującego w porcie wojennym w Gdyni. Antena nadawczo-odbiorcza urządzenia AIS umieszczona była na wysokości 14 m n.p.m. Zapis danych przeprowadzono w godzinach 0900-1500 od 2020-01-03, g.0900 CET do 2021-01-04 g.1500 CET. Zarejestrowane dane po dokonaniu enkapsulacji zapisałem w plikach bazodanowych i następnie na podstawie języka SQL wprowadziłem zapytania do bazy w celu odfiltrowania danych i przedstawienia wyników filtracji. Proces wyznaczenia czasu TTR przeprowadziłem na podstawie danych bazodanowych

za pomocą aplikacji IB Expert. Analizę widmową TTR w dziedzinie częstotliwości przeprowadziłem przy użyciu aplikacji MATLAB.

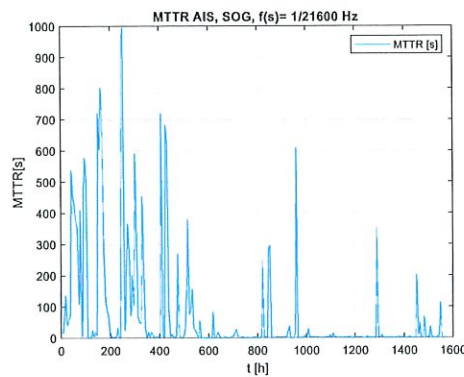
Na podstawie zapisanych i przetworzonych danych: 17.292.899 rekordów oraz 9408 strumieni danych indeksowanych numerem MMSI wyznaczyłem momenty poprawnej pracy oraz awarii serwisu AIS. Średnio odebrano 66256 rekordów oraz $M = 57$ strumieni danych dla każdej z 261 prób z interwałem sześciu godzin pracy urządzenia AIS. Rejestracje danych przeprowadziłem w godzinach 0900-1500 od poniedziałku do piątku, przez 261 dni. Ograniczyłem się tylko do raportów pozycyjnych z urządzeń klasy A, w obszarze wyznaczonym kwadratem ze współrzędnymi wierzchołków: $\varphi = 54^{\circ}25'N$, $\lambda = 018^{\circ}28'E$, $\varphi = 54^{\circ}50'N$, $\lambda = 019^{\circ}00'E$. Jeżeli czas przebywania obiektu w ww. sektorze był krótszy niż 6 godzin, w obliczeniach dostępności serwisu ze strumienia danych indeksowanych MMSI odniesiono się do całkowitego czasu przebywania obiektu w badanym sektorze, który nie powinien być dłuższy niż zadeklarowany w badaniu. Czas do naprawy (TTR) serwisu AIS dla sześciogodzinnych interwałów, dla 5 parametrów nawigacyjnych zaprezentowałem na rysunkach 11, 12 i 13.



Rysunek 11. Średni czas do naprawy serwisu AIS dla parametrów nawigacyjnych (a) COG, (b) HDG [Jaskólski, 2022b]



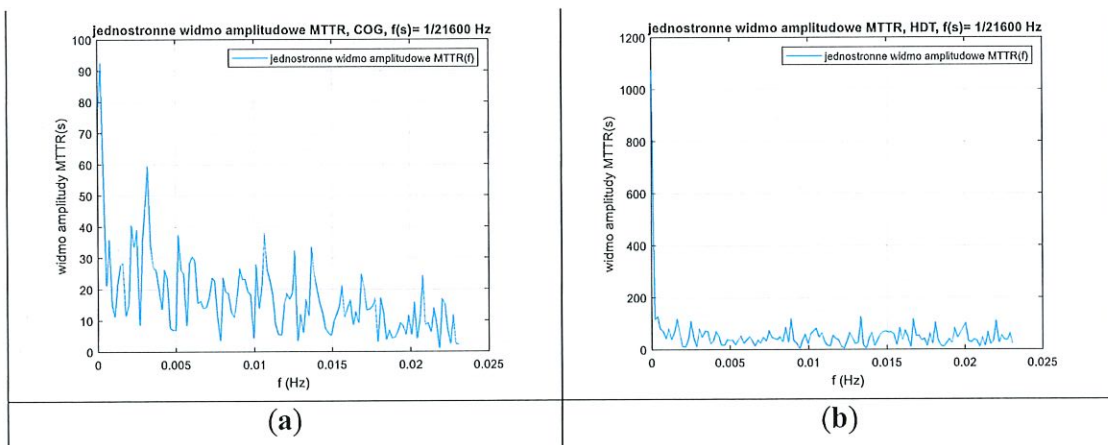
Rysunek 12. Średni czas do naprawy serwisu AIS dla pięciu parametrów nawigacyjnych (c) POS, (d) ROT [Jaskólski, 2022b]



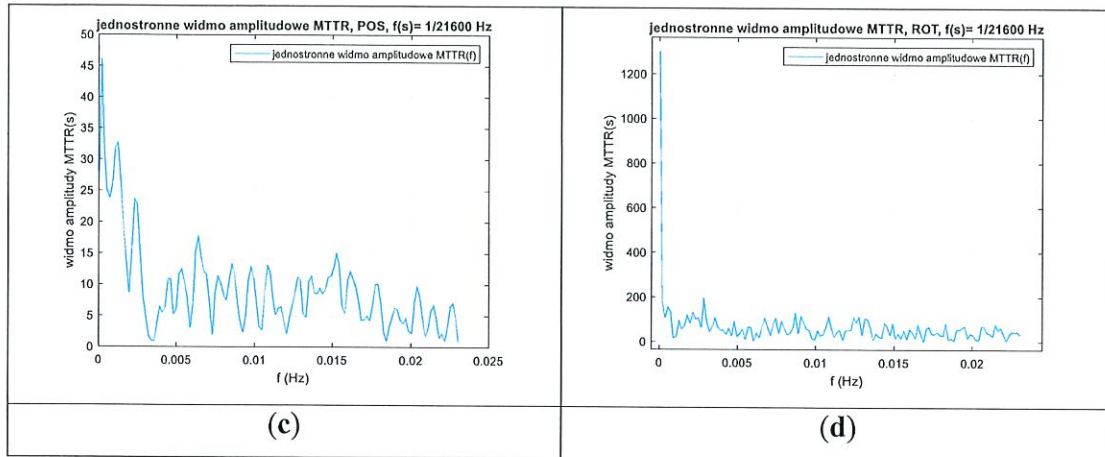
Rysunek 13. Średni czas do naprawy serwisu AIS dla parametru nawigacyjnego *SOG* [Jaskólski, 2022b]

Średni czas między uszkodzeniami jest wartością oczekiwaną czasu przebywania serwisu AIS w stanie uszkodzenia dla każdego p parametru nawigacyjnego. Obliczony TTR stanowi wartość niezbędną do wyznaczenia dostępności serwisu AIS dla p parametru nawigacyjnego. Wartości $MTTR$ wyznaczone dla parametru *COG*, *SOG* nie przekraczają 1000 sekund dla 21 600 sekundowych (6 godzin) próbek. W przypadku parametru *POS* (długość i szerokość geograficzna) wartość $MTTR$ nie przekracza 600 sekund. Wartości najwyższe zaobserwowałem w początkowym procesie rejestracji danych AIS. Powyższa teza dotyczy również pozostałych parametrów, tj. *ROT* i *HDT*. Jednakże w tym przypadku zaobserwowałem wartość minimalną $TTR = 480$ sekund dla parametru *HDT* oraz $TTR = 360$ sekund dla parametru *ROT*. Dla dwóch ostatnich parametrów, tj. *ROT* i *HDT*, maksymalny TTR jest 3,5 razy wyższy niż dla pozostałych parametrów. Serwis systemu AIS dla parametrów nawigacyjnych *COG*, *SOG*, *POS* po 1000 godzin rejestracji charakteryzuje niska uszkodzalność w porównaniu z początkowym okresem kampanii pomiarowych. Efekt ten nie został zaobserwowany dla parametrów *HDT* i *ROT*, gdzie uszkodzalność serwisu jest na stałym poziomie.

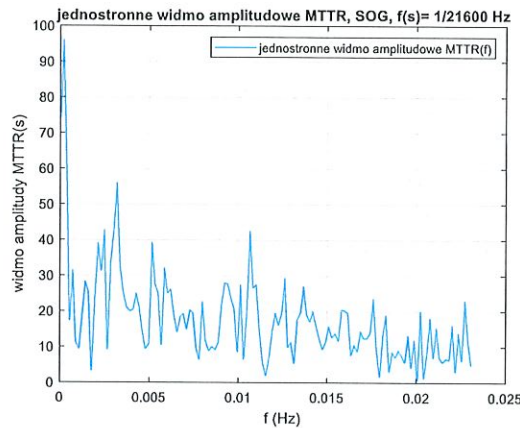
Do zaprezentowania częstości występowania wyniku $MTTR$ w sześciogodzinnych próbkach zastosowałem szybką transformację Fouriera (FFT) (rysunki 14, 15, 16).



Rysunek 14. Widmo amplitudowe w dziedzinie częstotliwości dla średniego czasu do naprawy serwisu AIS, dla parametrów nawigacyjnych (a) *COG*, (b) *HDT*



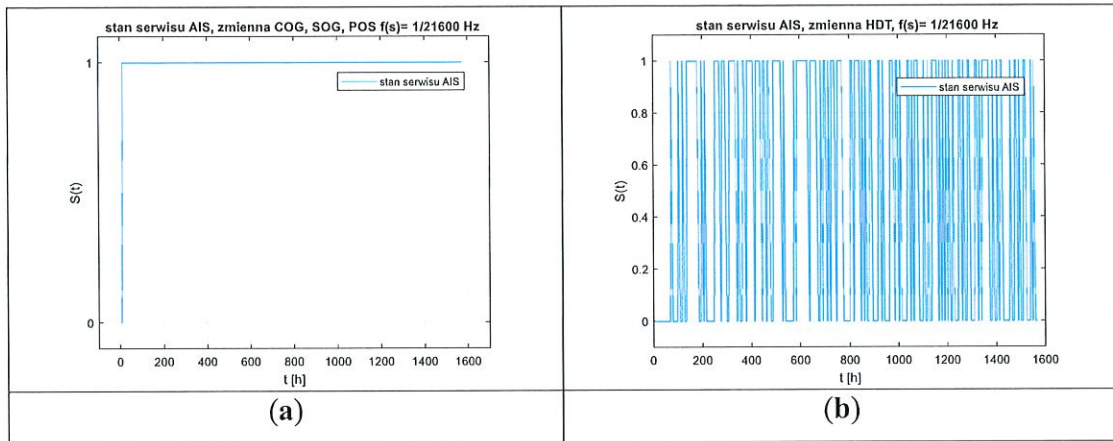
Rysunek 15. Widmo amplitudowe w dziedzinie częstotliwości dla średniego czasu do naprawy serwisu AIS



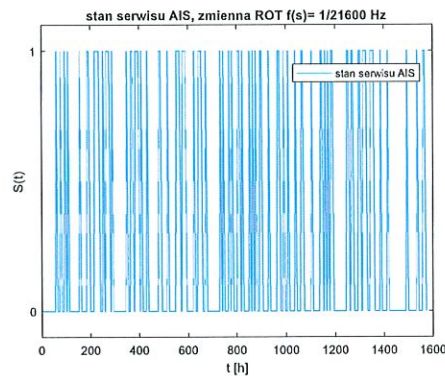
Rysunek 16. Widmo amplitudowe w dziedzinie częstotliwości dla średniego czasu do naprawy serwisu AIS, dla parametru nawigacyjnego SOG

Widmo amplitudy w dziedzinie częstotliwości dla parametrów *COG*, *POS*, *SOG* charakteryzuje się częstymi zmianami *MTTR*. Powyższe parametry nawigacyjne generowane są przez pokładowe odbiorniki systemu pozycjonowania, gdzie na ich nieuszkodzalność ma wpływ dostępność serwisu GPS/ GNSS. Zakłócenia transmisji kodu pseudolosowego w relacji satelita–statek ograniczają dostępność serwisu GPS/ GNSS i zwiększają jednocześnie *TTR* dla wspomnianych wyżej trzech parametrów nawigacyjnych systemu AIS. Błędy wynikające z przypadkowych zakłóceń serwisu GPS obniżają jakość serwisu AIS. Składowe harmoniczne z maksymalną amplitudą od 45 sekund do 95 sekund *MTTR* występują dla niskich częstotliwości z zakresu (0,001–0,003 Hz). Wartości te świadczą o niskiej częstości pojawiania się wieku danych charakterystycznych dla głównej składowej harmonicznej rozpatrywanego parametru nawigacyjnego, tj. *SOG*, *COG*, *POS*. Duże oscylacje amplitudy, od 10 sekund do 180 sekund, zaobserwowałem dla parametrów nawigacyjnych *HDT*, *ROT*. Maksymalny *MTTR* przekracza odpowiednio 1100, 1300 sekund. Wartości odstające dla głównych składowych harmonicznych odfiltrowałem, stosując środkowozaporowy filtr ze skończoną odpowiedzią impulsową (FIR) [Jaskólski, 2022b].

Na podstawie wyznaczonych *MTTR* i *MTBF* dla p parametrów nawigacyjnych i m strumieni danych wyznaczyłem dostępność serwisu dla każdego parametru nawigacyjnego, a następnie, na podstawie procesu kwantyzacji *TTR*, zaszerego wałem serwis systemu do określonego stanu ze zbioru S_i (rysunki 17, 18).



Rysunek 17. Stan serwisu AIS wyznaczony dla p parametrów nawigacyjnych
(a) COG , POS , SOG (b) HDT



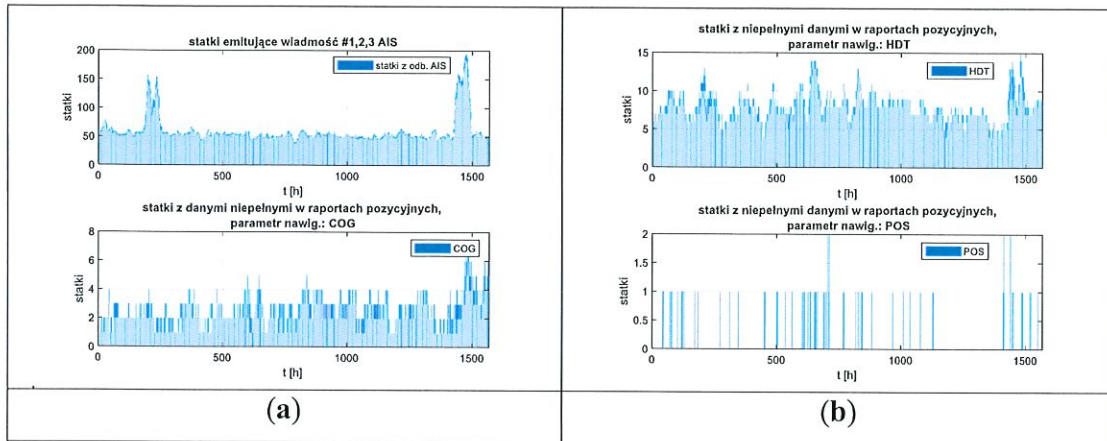
Rysunek 18. Stan serwisu AIS wyznaczony dla p parametru nawigacyjnego ROT

Szczegółowe wyniki procesu kwantowania serwisu dla p parametrów nawigacyjnych ze wskazaniem sumarycznej liczby przejść między poszczególnymi stanami serwisu zaprezentowałem w tabeli 5.

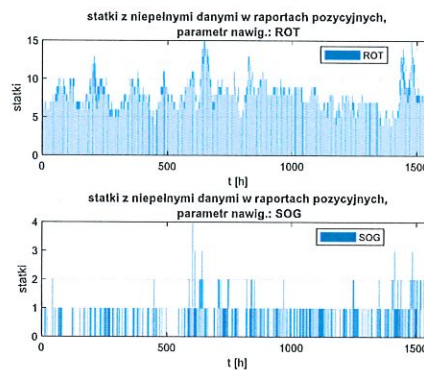
Tabela 5. Wyniki zaszeregowania sytemu do stanu ze zbioru $S(t)$ oraz prawdopodobieństwo przebywania w stanie 1 dla poszczególnych parametrów nawigacyjnych

Parametr nawigacyjny	Liczba przejść ze stanu 0 do stanu 0	Liczba przejść ze stanu 0 do stanu 1	Liczba przejść ze stanu 1 do stanu 1	Liczba przejść ze stanu 1 do stanu 0	$P_{\Phi_{p,m}(S_t=1)}$
COG	0	1	260	0	0,996
POS	0	1	260	0	0,996
SOG	0	1	260	0	0,996
HDT	66	61	73	61	0,513
ROT	125	53	53	30	0,318

Za stan serwisu AIS pod względem liczby danych niepełnych emitowanych w raportach pozycyjnych odpowiadają statki, które nadają raporty pozycyjne indeksowane numerem MMSI z pustymi polami dla pięciu parametrów nawigacyjnych. Liczbę statków odpowiedzialnych za stan dostępności serwisu z podziałem na wybrany parametr nawigacyjny zaprezentowałem na rysunkach 19 i 20.



Rysunek 19. Statki emitujące raporty pozycyjne w strefie działania odbiornika z rejestratorem AIS (a) oraz statki odpowiadające za ograniczony stan dostępności serwisu AIS z podziałem na wybrany parametr nawigacyjny: (a) COG, (b) HDT, POS



Rysunek 20. Statki odpowiedzialne za ograniczony stan dostępności serwisu AIS z podziałem na wybrany parametr nawigacyjny: ROT, SOG

Za ograniczenia związane z dostępnością serwisu AIS w interwałach sześciogodzinnych odpowiadały statki emitujące raport pozycyjny z niepełnymi danymi AIS. Raport pozycyjny emitowały 1~4 statki, w którym parametr nawigacyjny COG przekracza próg alarmu wieku danych dynamicznych (**rysunek 19**). Niższą częstość przekroczenia progu alarmu wieku danych dynamicznych zaobserwowałem dla parametru SOG (**rysunek 20**). Zaobserwowałem sporadyczną emisję raportów pozycyjnych przez 1 statek dla interwału sześciogodzinnego, w którym parametr nawigacyjny długości i szerokości geograficznej przekracza próg alarmu wieku danych dynamicznych (**rysunek 19**).

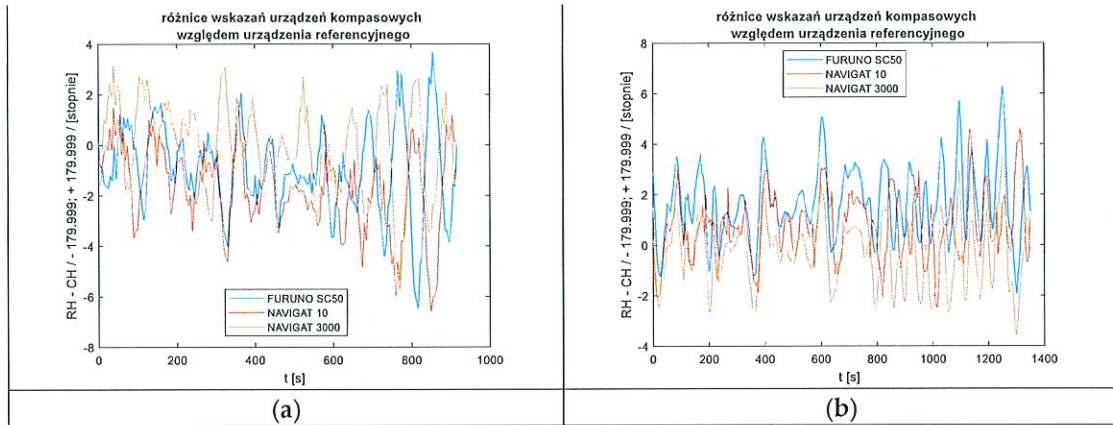
Dodatnią korelację zaobserwowałem w przypadku parametru HDT i ROT. Stan ten reprezentowany jest przez 5~10 statków emitujących niepełny raport pozycyjny, którego źródłem pochodzenia jest przeważnie kompas żyroskopowy (**rysunki 19, 20**).

Praktyczne zastosowanie modelu wiarygodności i dokładności strumieni danych z urządzeń kompasowych

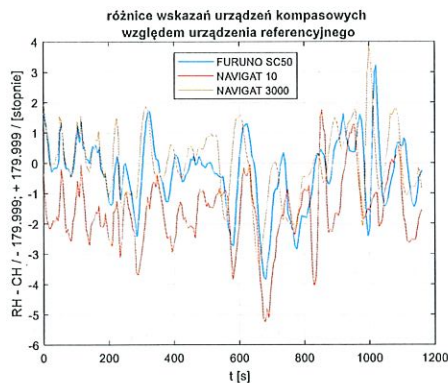
Badanie dokładności kompasów zrealizowałem na podstawie wybranych trzech prób (testów) składających się z n obserwacji. Na potrzeby prac badawczych przetworzyłem dane, korzystając z metody postprocessingu. Dodatkowo przeanalizowałem dynamiczny charakter zmian kursu okrętu w trakcie manewrowania po profilach hydrograficznych oraz dokładność trzech kompasów i występujących dewiacji dynamicznych urządzeń żyroskopowych. W dalszych pracach związanych z modelowaniem dokładności urządzeń kompasowych zastosowałem metody filtracji pasmowo-zaporowej w celu wyeliminowania wyżej

wymienionych oscylacji kompasu. W tym celu zastosowałem metodę analizy widmowej sygnału.

Na podstawie zarejestrowanych danych z urządzeń okrętowych wyznaczyłem różnice wskazań testowanych 3 kompasów z urządzeniem referencyjnym zgodnie z zależnością (20). Wartości oscylacji kursu w dziedzinie czasu pomniejszonej o wartości uzyskane z urządzenia referencyjnego POS MV Ocean Master Applanix Trimble przedstawiłem na **rysunkach 21 i 22**.

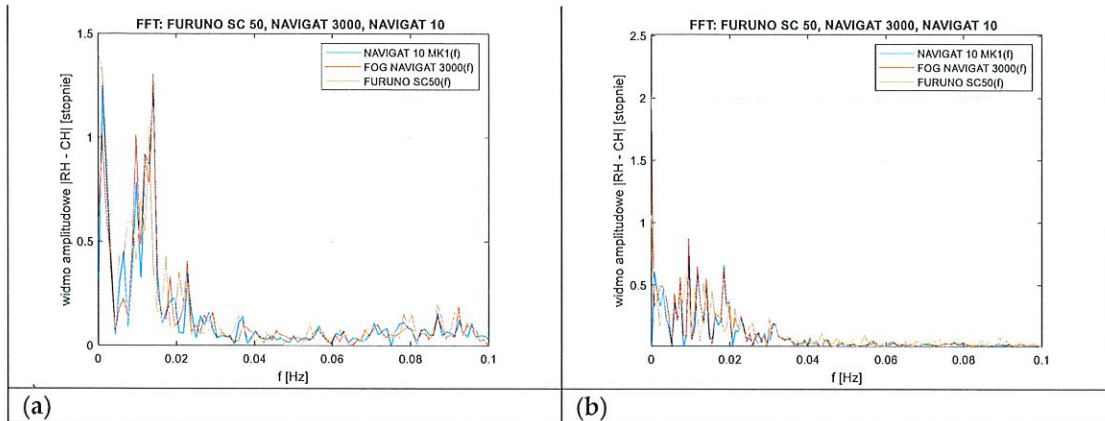


Rysunek 21. Zapisy z obserwacji kursu: (a) test #1, (b) test #2. Różnice wskazań urządzeń kompasowych względem wskazania urządzenia referencyjnego w dziedzinie czasu

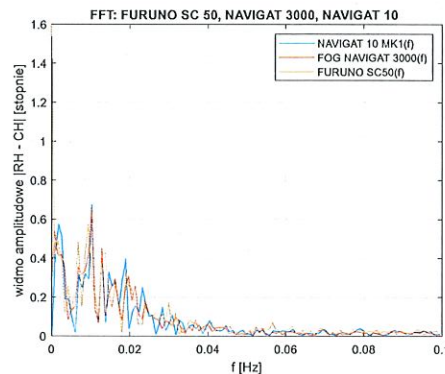


Rysunek 22. Zapisy z obserwacji kursu: test #3. Różnice wskazań urządzeń kompasowych względem wskazania urządzenia referencyjnego w dziedzinie czasu

Analizę widma sygnału w dziedzinie częstotliwości zrealizowałem na podstawie wartości amplitudy składowych harmonicznych dla oscylacji kompasu występujących w paśmie niskich częstotliwości. Rozkład amplitudy oscylacji kompasu satelitarnego oraz kompasów FOG i klasycznych kompasów żyroskopowych jest podobny, co wskazuje na podatność urządzeń na błędy dynamiczne. Widmo amplitudowe błędów kompasu w dziedzinie częstotliwości przedstawiłem na **rysunkach 23 oraz 24**.



Rysunek 23. Jednostronne widmo amplitudowe błędów względnego kompasu w dziedzinie częstotliwości: (a) test #1, (b) test #2



Rysunek 24. Jednostronne widmo amplitudowe błędów względnego kompasu w dziedzinie częstotliwości: test #3

Widmo amplitudowe przedstawiłem dla składowej harmonicznej z częstotliwością 0,015 Hz oraz dla maksymalnej amplitudy błędów kompasu $1,3^\circ$. Wartości te determinowane są długookresowymi oscylacjami błędów kompasu oraz właściwościami inercyjnymi okrętu. Odmienne wyniki uzyskano w trakcie analizy testu #2. Zaprezentowałem je na **rysunku 23b**.

Jednostronne widmo amplitudowe błędów kompasu reprezentuje składowa harmoniczna z amplitudą $0,9^\circ$ przedstawiona na **rysunku 23b**. Podobnie jak w teście #1 największe oscylacje wystąpiły dla składowej harmonicznej z częstotliwością 0,01 Hz. Przyczyną błędów kompasu była dewiacja środowiskowa kompasu żyroskopowego jako efekt falowania [Jaskólski, 2016]. Moment bezwładności powoduje precesję osi X żyroskopu, wskutek czego oś X zwiększa azymut w kierunku zachodnim, wówczas kompas żyroskopowy zaczyna wskazywać kurs z błędem [Jaskólski, 2016].

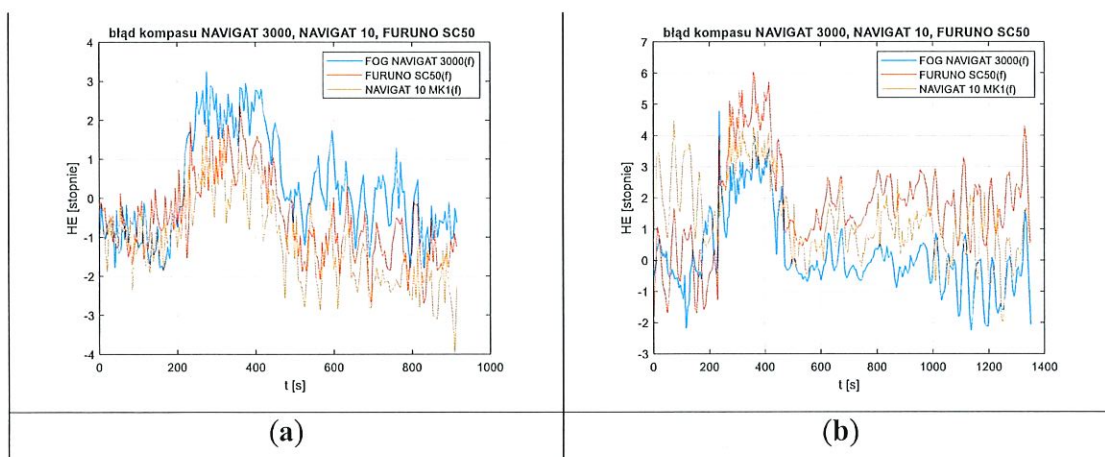
Podobne wyniki badań błędów kompasu w dziedzinie częstotliwości odnotowałem dla testu #3. W tym przypadku składowa harmoniczna przyjmuje wartość z częstotliwością 0,01 Hz, podczas gdy maksymalna amplituda widma to $0,68^\circ$. Błędy niskiej częstotliwości, poniżej 0,02 Hz, są zjawiskiem oscylacji wskazań kompasu. Zjawisko to jest wywołane okresem Schulera i powoduje błąd kompasu, którego składowa harmoniczna występuje z częstotliwością 0,0018 Hz, co zaprezentowałem na **rysunku 23a**, **rysunku 23b** oraz na **rysunku 24**. Zjawisko to powoduje błąd we wskazaniach klasycznego żyrokompasu NAVIGAT 10 MK1, gdzie błąd wynosi od $0,7^\circ$ do $1,3^\circ$. Błąd kompasu to sumaryczna wartość błędów wywołanych dynamiką ruchu okrętu po profilach hydrograficznych oraz dewiacja środowiskowa kompasu żyroskopowego [Jaskólski, 2016]. Przypadkowe błędy wskazania kompasu satelitarnego w testach z częstotliwością poniżej 0,001 Hz oraz amplitudą widma w przedziale $1,6^\circ$ – $1,8^\circ$ pominąłem w analizie wyników.

Jednym ze sposobów redukcji błędów kompasu dla niskich częstotliwości jest zastosowanie filtrów FIR oraz IIR. Na potrzeby prac badawczych zastosowałem cztery warianty filtracji cyfrowej z pasmem zaporowym i pasmem górnoprzepustowym. Wyniki redukcji błędów kompasu na podstawie zastosowanego filtra FIR lub IIR przedstawiłem na **rysunkach 25-32**. Obliczony pierwiastek średniokwadratowego błędu kompasu na podstawie zarejestrowanych obserwacji z próby oraz po zastosowaniu filtra FIR z pasmem zaporowym 0,005–0,015 Hz, pasmem przepustowym 0,02 Hz filtra FIR, pasmem zaporowym 0,005–0,015 Hz filtra IIR, pasmem przepustowym 0,02 Hz filtra IIR zaprezentowałem w **tabeli 6**.

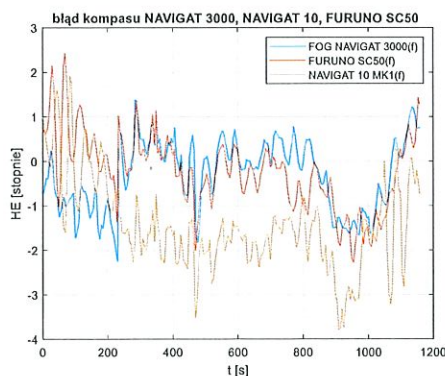
Tabela 6. Pierwiastek średniokwadratowego błędu kompasu z zapisanych prób składających się z n obserwacji oraz po zastosowaniu cyfrowej filtracji [Jaskólski, 2022a]

Typ kompasu	Zapis z próby z K obserwacji [°]	pasmo-zaporowy FIR 0,005–0,015 [Hz]	górnoprzepustowy FIR 0,02 [Hz]	pasmo-zaporowy IIR 0,005–0,015 [Hz]	górnoprzepustowy IIR 0,02 [Hz]
NAVIGAT FOG 3000	1,31	1,01	0,31	0,59	0,32
FURUNO SC 50	1,20	0,86	0,34	0,92	0,35
NAVIGAT 10 MK1	1,22	0,94	0,39	0,62	0,40

Wariant 1: filtr pasmowo-zaporowy FIR, pasmo zaporowe 0,005–0,015 Hz, częstotliwość próbkowania 0,2 Hz (**rysunek 25**).

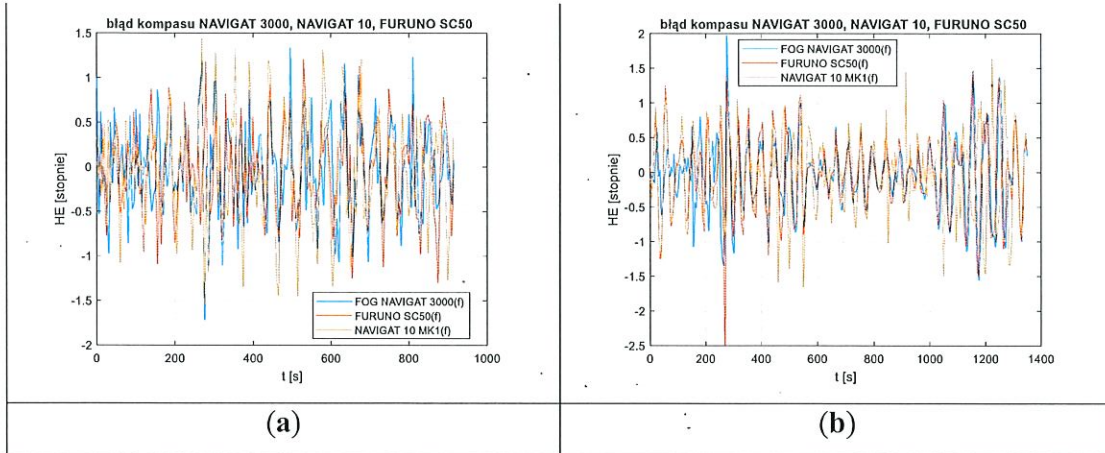


Rysunek 25. Błędy kompasu FOG 3000, FURUNO SC50 oraz NAVIGAT 10 MK1 w dziedzinie czasu po zastosowaniu filtracji cyfrowej FIR, pasmo zaporowe 0,005–0,015 Hz, (a) test #1, (b) test #2

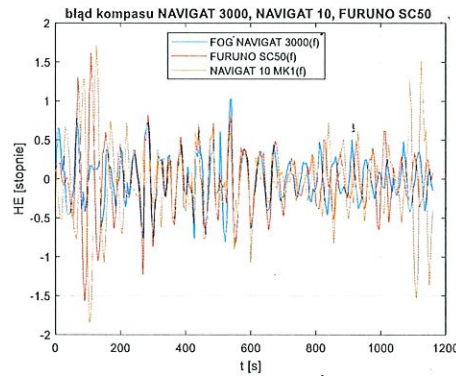


Rysunek 26. Błędy kompasu FOG 3000, FURUNO SC50 oraz NAVIGAT 10 MK1 w dziedzinie czasu po zastosowaniu filtracji cyfrowej FIR, pasmo zaporowe 0,005–0,015 Hz: test #3

Wariant 2: filtr górnoprzepustowy FIR, pasmo przepustowe 0,02 Hz, częstotliwość próbkowania 0,2 Hz.

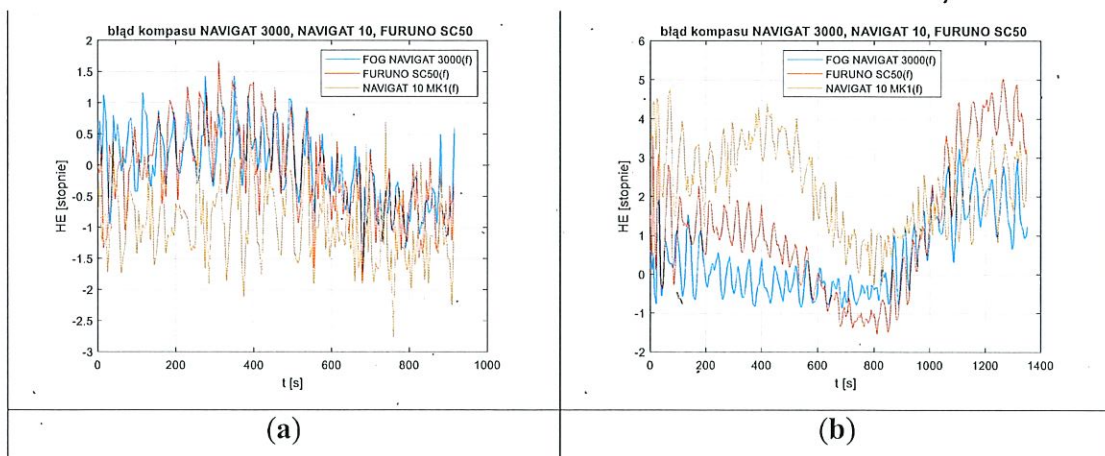


Rysunek 27. Błędy kompasu FOG 3000, FURUNO SC50 oraz NAVIGAT X MK1 po zastosowaniu filtracji górnoprzepustowej FIR, pasmo przepustowe 0,02 Hz, (a) test #1, (b) test #2

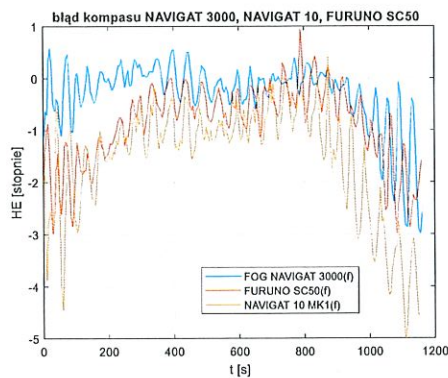


Rysunek 28. Błędy kompasu FOG 3000, FURUNO SC50 oraz NAVIGAT X MK1 po zastosowaniu filtracji górnoprzepustowej FIR, pasmo przepustowe 0,02 Hz: test #3

Wariant 3: filtr pasmowo-zaporowy IIR Butterworth, pasmo zaporowe 0,005–0,015 Hz, częstotliwość próbkowania 0,2 Hz.

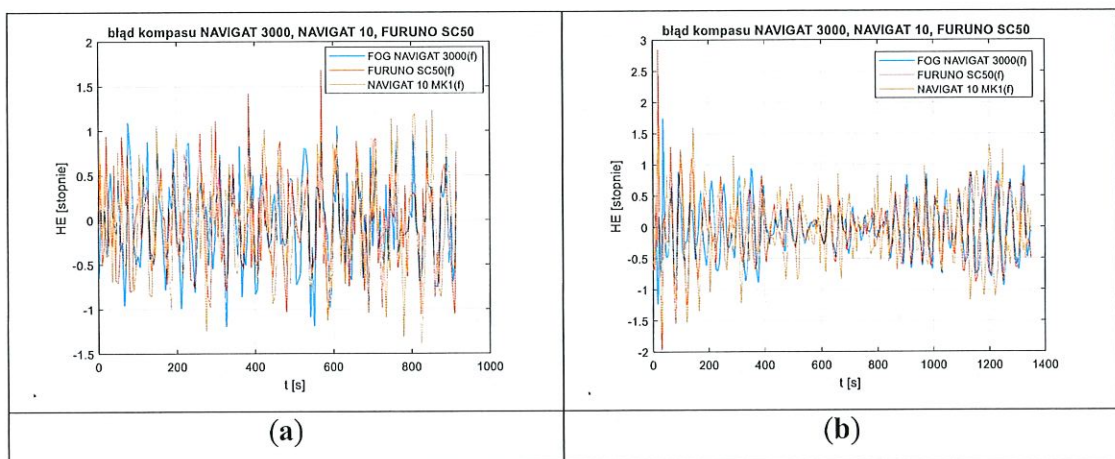


Rysunek 29. Błędy kompasu FOG 3000, FURUNO SC50 oraz NAVIGAT 10 MK1 po zastosowaniu filtracji pasmowo-zaporowej IIR w paśmie 0,005–0,015 Hz, (a) test #1, (b) test #2 [Jaskólski, 2022a]

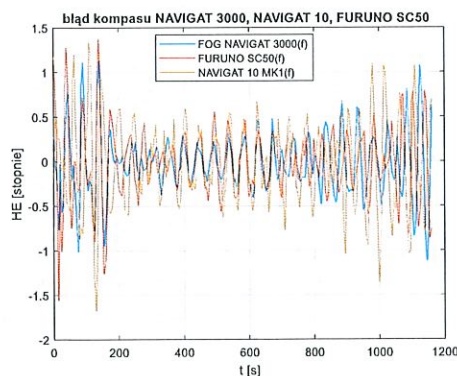


Rysunek 30. Błędy kompasu FOG 3000, FURUNO SC50 oraz NAVIGAT 10 MK1 po zastosowaniu filtracji pasmowo-zaporowej IIR w paśmie 0,005–0,015 Hz: test #3 [Jaskólski, 2022a]

Wariant 4: Filtr górnoprzepustowy IIR Butterworth, pasmo przepustowe 0,02 Hz, częstotliwość próbkowania 0,2 Hz.



Rysunek 31. Błędy kompasu FOG 3000, FURUNO SC50 oraz NAVIGAT X MK1 po zastosowaniu filtracji cyfrowej IIR z pasmem przepustowym 0,02 Hz, (a) test #1, (b) test #2



Rysunek 32. Błędy kompasu FOG 3000, FURUNO SC50 oraz NAVIGAT X MK1 po zastosowaniu filtracji cyfrowej IIR z pasmem przepustowym 0,02 Hz: test #3

Podsumowując, omówione pomiary poddałem filtracji z zastosowaniem filtrów FIR i IIR w wariacie pasmowo-zaporowym i górnoprzepustowym w celu wyeliminowania błędów kompasu zgodnie z założeniami przedstawionymi dla czterech wariantów. Filtry zastosowałem w celu usunięcia błędów kompasu dla niskich częstotliwości, spowodowanych dynamiką ruchu okrętu oraz dewiacją środowiskową. Trudno jest zmierzyć bezpośrednio częstotliwość błędów

związanych z dynamiką ruchu okrętu, dlatego parametry filtracji cyfrowej zostały wyznaczone na podstawie jednostronnego spektrum amplitudowego błędów kompasu w dziedzinie częstotliwości. Po zastosowaniu czterech proponowanych wariantów filtracji błędów kompasowych odfiltrowałem składowe harmoniczne wynikające z długoterminowych oscylacji kursu, spowodowanych właściwościami inercyjnymi okrętu. Zgodnie z wynikami badań przedstawionymi na **rysunkach 25-32** amplitudę błędów kompasowych zredukowałem przy użyciu filtrów FIR i IIR w wariancie pasmowo-zaporowym i górnoprzepustowym. Znacznie lepsze wyniki filtracji uzyskałem w przypadku zastosowania wariantu górnoprzepustowego z pasmem przepustowym 0,02 Hz w porównaniu z wariantem pasmowo-zaporowym z zakresem częstotliwości tłumienia 0,005–0,015 Hz. Po porównaniu danych zarejestrowanych z obserwacji z danymi po zastosowaniu filtracji cyfrowej największą redukcję błędów uzyskałem dla kompasu NAVIGAT FOG 3000.

Zgodnie z wcześniej przyjętym modelem wiarygodności strumieni danych pochodzących z urządzeń kompasowych macierz prawdopodobieństw przejścia między stanami systemu wyznaczyłem na podstawie zależności (29) i (34-35). Wyznaczyłem liczbę przejść między poszczególnymi stanami dla testów #1, #2 i #3 (**tabela 7**).

Tabela 7. Wyniki kwantowania stanu operacyjnego urządzeń kompasowych, sumaryczna wartość obserwacji dla testu: #1, #2, #3 [Jaskólski, 2022a]

Typ filtracji	Pasma zaporowe, częstotliwość przepustowa [Hz]	Typ kompasu	Nr testu	$S_0 \rightarrow S_0$	$S_0 \rightarrow S_1$	$S_1 \rightarrow S_0$	$S_1 \rightarrow S_1$	Liczba obserwacji (k) zbioru K
-	-	FOG	1, 2, 3	180	52	50	406	688
-	-	SC	1, 2, 3	151	43	40	454	688
-	-	MK1	1, 2, 3	137	57	54	440	688
FIR	0,005-0,015	FOG	1, 2, 3	61	40	38	549	688
FIR	0,005-0,015	SC	1, 2, 3	87	27	25	549	688
FIR	0,005-0,015	MK1	1, 2, 3	59	43	41	545	688
IIR	0,005-0,015	FOG	1, 2, 3	6	12	9	661	688
IIR	0,005-0,015	SC	1, 2, 3	120	43	40	485	688
IIR	0,005-0,015	MK1	1, 2, 3	32	21	21	612	688
FIR	0,02	FOG	1, 2, 3	0	5	2	681	688
FIR	0,02	SC	1, 2, 3	1	6	3	678	688
FIR	0,02	MK1	1, 2, 3	4	11	8	665	688
IIR	0,02	FOG	1, 2, 3	0	3	0	685	688
IIR	0,02	SC	1, 2, 3	0	5	2	681	688
IIR	0,02	MK1	1, 2, 3	0	3	0	685	688

Zgodnie z założeniami modelowania wiarygodności urządzenia przyjąłem, że każdy kompas może znajdować się w jednym z dwóch stanów operacyjnych: w stanie awarii, $S = 0$, oraz w stanie pracy, $S = 1$. Wyniki badań wiarygodności dotyczą danych zapisanych z k obserwacji w próbach oraz po zastosowaniu czterech wariantów cyfrowej filtracji sygnałów z użyciem filtrów FIR oraz IIR w wariancie pasmowo-zaporowym i górnoprzepustowym.

W **tabeli 7** zawarte są wyniki modelowania wiarygodności urządzeń kompasowych oraz wyjaśnienia, ile razy urządzenie zmieniło swój stan wiarygodności w zależności od zastosowanego wariantu cyfrowej filtracji. Zbliżone wyniki uzyskałem dla wariantu z pasmem przepustowym 0,02 Hz cyfrowej filtracji FIR, dla wariantu z pasmem zaporowym 0,005–0,015 Hz cyfrowej filtracji IIR, dla wariantu z częstotliwością przepustową 0,02 Hz filtracji cyfrowej IIR, gdzie system z zastosowanym kryterium wiarygodności znajdował się w stanie pracy przez cały okres eksploatacji. Duże różnice odnotowałem dla wariantu z pasmem zaporowym 0,005–0,015 Hz cyfrowej filtracji FIR. Lepsze wyniki filtrowania danych uzyskałem, stosując filtr górnoprzepustowy 0,02 Hz cyfrowej filtracji FIR oraz IIR.

Elementy macierzy intensywności przejść między stanami dla trzech kompasów, czterech wariantów cyfrowej filtracji oraz granice prawdopodobieństw π_i przedstawiłem w **tabeli 8**.

Tabela 8. Elementy macierzy intensywności przejść między stanami operacyjnymi urządzeń oraz granice prawdopodobieństw $\pi(i)$ dla wszystkich obserwacji z próby #1 #2 #3 [Jaskólski, 2022a]

Typ filtracji	Pasma zaporowe, częstotliwość przepustowa [Hz]	Typ kompasu	Nr testu	p_{00}	p_{01}	p_{10}	p_{11}	π_1	π_2
–	–	FOG	1, 2, 3	0,780	0,220	0,114	0,886	0,340	0,660
–	–	SC	1, 2, 3	0,748	0,252	0,088	0,912	0,277	0,723
–	–	MK1	1, 2, 3	0,694	0,305	0,118	0,882	0,292	0,707
FIR	0,005–0,015	FOG	1, 2, 3	0,576	0,427	0,072	0,928	0,151	0,849
FIR	0,005–0,015	SC	1, 2, 3	0,476	0,524	0,045	0,955	0,144	0,856
FIR	0,005–0,015	MK1	1, 2, 3	0,523	0,476	0,072	0,928	0,147	0,853
IIR	0,005–0,015	FOG	1, 2, 3	0,250	0,750	0,012	0,987	0,024	0,976
IIR	0,005–0,015	SC	1, 2, 3	0,630	0,370	0,081	0,918	0,224	0,776
IIR	0,005–0,015	MK1	1, 2, 3	0,324	0,676	0,031	0,969	0,069	0,930
FIR	0,02	FOG	1, 2, 3	0,000	1,000	0,002	0,998	0,007	0,993
FIR	0,02	SC	1, 2, 3	0,111	0,889	0,004	0,996	0,009	0,991
FIR	0,02	MK1	1, 2, 3	0,121	0,879	0,011	0,989	0,021	0,979
IIR	0,02	FOG	1, 2, 3	0,000	1,000	0,000	1,000	0,004	0,996
IIR	0,02	SC	1, 2, 3	0,000	1,000	0,002	0,998	0,007	0,993
IIR	0,02	MK1	1, 2, 3	0,000	1,000	0,000	1,000	0,004	0,996

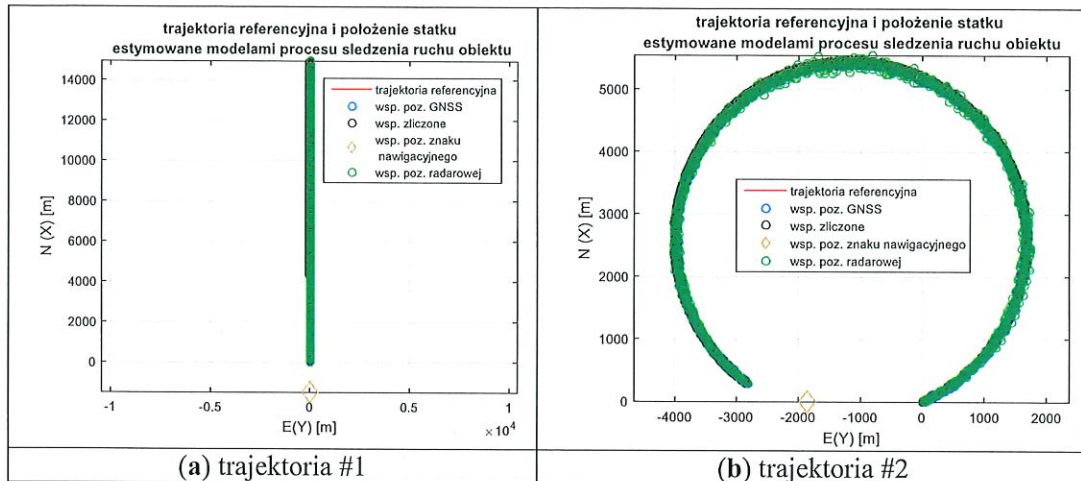
Elementy macierzy intensywności przejść między stanami określają prawdopodobieństwo, przebywania urządzenia w stanie pracy lub awarii oraz prawdopodobieństwo przejścia między poszczególnymi stanami. Zgodnie z założeniem przyjętym, że układ może znajdować się w jednym z dwóch stanów procesu. Jeśli błąd kompasu jest większy niż $1,5^\circ$ urządzenie znajdzie się w stanie awarii. Dwie ostatnie kolumny (π_1 , π_2) to prawdopodobieństwa graniczne przebywania urządzenia w stanie awarii i w stanie pracy. Zaobserwowałem, że pasmo przepustowe 0,02 Hz daje lepsze wyniki filtracji błędów kompasu niż pasmo zaporowe 0,005–0,015 Hz. Wiąże się to z pojawieniem się dewiacji inercyjnej drugiego rodzaju w końcowej fazie manewrowania, zgodnie z kierunkiem profili hydrograficznych. Dewiacja inercyjna II rodzaju przyjmuje maksymalne wartości od 3° do 5° w ciągu jednej czwartej okresu wahań, czyli po 20–22 minutach od momentu zmiany kursu. Dlatego w przyszłości warto manewrować na danym profilu zgodnie z czasem będącym wielokrotnością okresu Shullera = 84,3 minuty.

Zastosowanie pasma zaporowego 0,005–0,015 Hz poprawia wyniki filtracji o ponad 20%. Oznacza to, że wiarygodność strumienia danych jest o 20% wyższa w stosunku do danych kompasu, w których nie zastosowano cyfrowej filtracji. Zastosowanie pasma przepustowego 0,02 Hz eliminuje ponad 95% błędów kompasu, w tym dewiacji środowiskowej i dewiacji inercyjnej drugiego rzędu obserwowanej w strumieniu danych kompasu NAVIGAT 10 MK1.

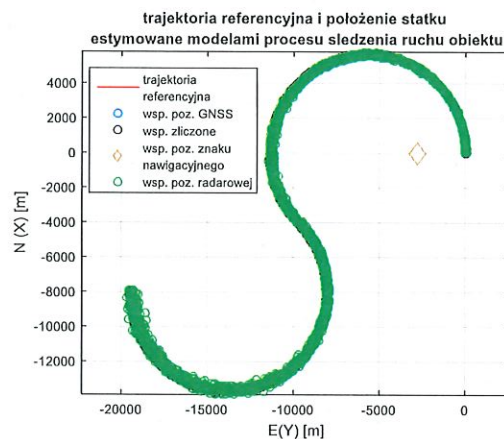
Oprócz dewiacji dynamicznej kompasu żyroskopowego istnieje również dewiacja statyczna jako błąd systematyczny. Wartość błędu systematycznego po odfiltrowaniu błędów dynamicznych filtrem FIR, IIR wynosi od $0,02^\circ$ do $0,38^\circ+$. Wartości te można zaobserwować na podstawie analizy widma amplitudowego błędów kompasu (rysunek 18). Wartość tego błędu to sumaryczna wartość dewiacji czułości układu śledzącego, dewiacja środowiskowa (falowanie), dewiacja montażu. Szczegółowe informacje na temat dewiacji statycznej kompasu żyroskopowego zawarto w [Jaskólski, 2016].

Praktyczne zastosowanie modelu wiarygodności danych pozycyjnych systemu AIS

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiłem na rysunkach 33 i 34 oddzielnie, zgodnie z numerem trajektorii ruchu statku.



Rysunek 33. Wyniki modelowania trasy obiektu oraz symulacji trajektorii ruchu obiektu estymowanego modelem GPS, MZD i RADAR: (a) trajektoria #1; (b) trajektoria #2

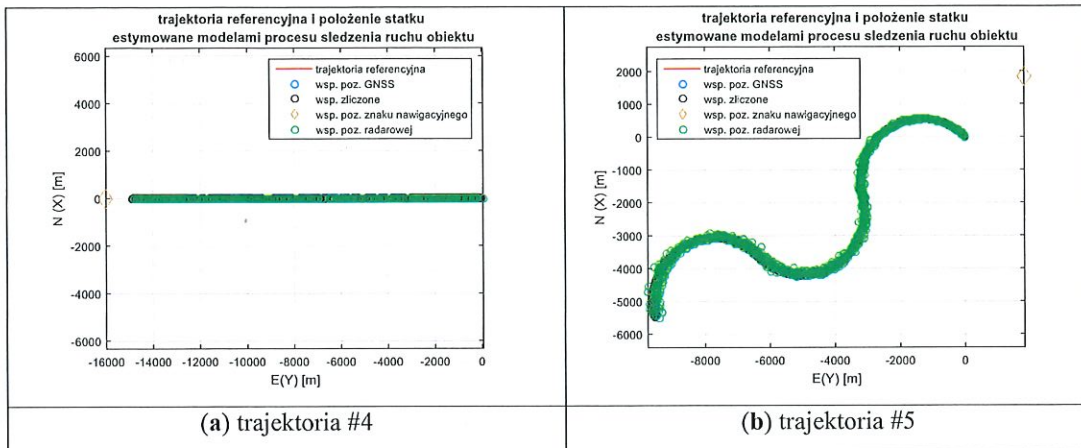


Rysunek 34. Wyniki modelowania trasy obiektu oraz symulacji trajektorii ruchu obiektu estymowanego modelem GPS, MZD i RADAR: trajektoria #3

Modelowanie trasy obiektu wyznaczone scenariuszem ruchu statku oznaczyłem ciągłą linią, w kolorze **czerwonym**. Położenie stałego oznakowania nawigacyjnego (stawa) zaprezentowałem na rysunku w postaci rombu, w kolorze **brązowym**. Położenie obiektu wyznaczone modelami procesu śledzenia trajektorii ruchu statku oznaczyłem okręgami w kolorach:

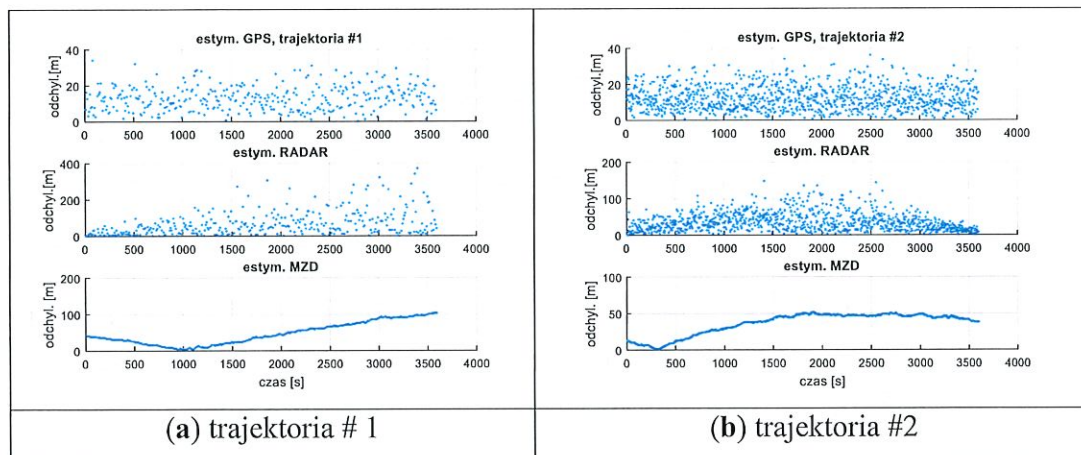
- **niebieskim** – współrzędne będące wynikiem modelowania procesu śledzenia ruchu statku za pomocą odbiornika systemu GPS;
- **czarnym** – współrzędne będące wynikiem modelowania procesu śledzenia ruchu statku za pomocą zliczenia matematycznego;
- **zielonym** – współrzędne będące wynikiem modelowania procesu śledzenia ruchu statku z namiaru i odległości radarowej estymowane filtrem EKF;

Wiarygodność i dokładność położenia obiektu w modelu ruchu statku zależą między innymi od odległości radarowej do znaku nawigacyjnego (stawa) oraz od całkowitego czasu symulowanej trajektorii.



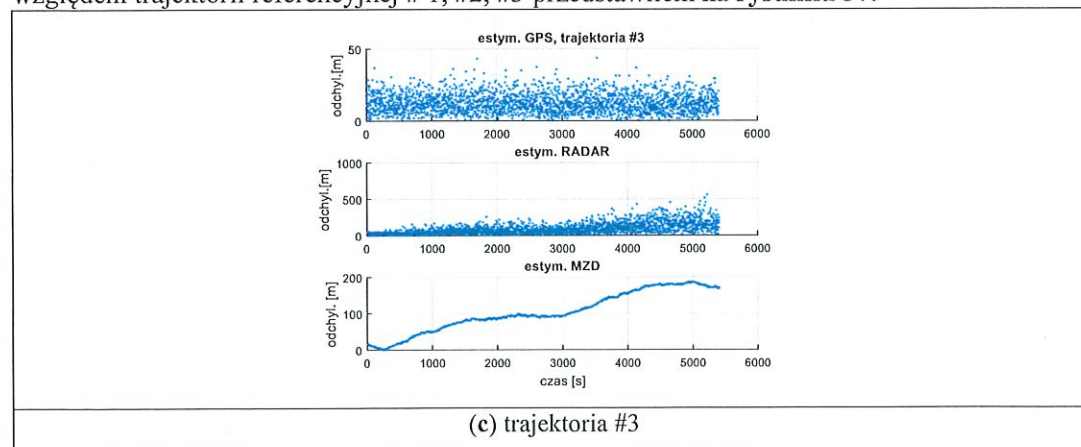
Rysunek 35. Wyniki modelowania trasy obiektu oraz symulacji trajektorii obiektu estymowanego modelem GPS, MZD i RADAR (a) trajektoria #4; (b) trajektoria #5

Odchylenia położenia obiektu symulowanego modelem GPS, RADAR oraz MZD względem trajektorii referencyjnej # 1, #2, #3 przedstawiłem na **rysunkach 36 i 37**.



Rysunek 36. Odchylenia położenia obiektu względem trajektorii referencyjnej w dziedzinie czasu wyznaczonego modelem MZD, RADAR, GPS: (a) trajektoria #1; (b) trajektoria #2

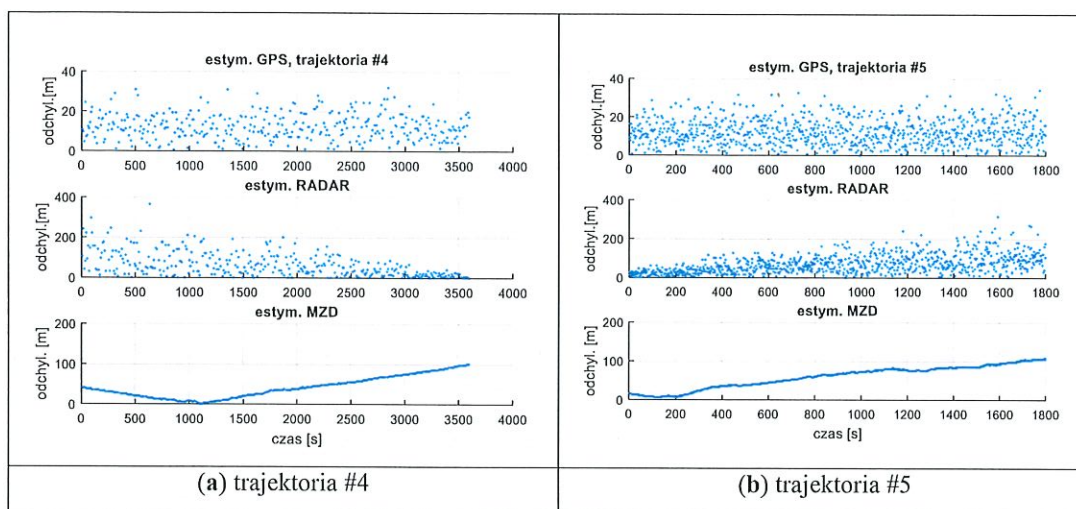
Odchylenia położenia obiektu symulowanego modelem GPS, RADAR oraz MZD względem trajektorii referencyjnej # 1, #2, #3 przedstawiłem na **rysunku 37**.



Rysunek 37. Odchylenia położenia obiektu względem trajektorii referencyjnej w dziedzinie czasu wyznaczonego modelem MZD, RADAR, GPS: trajektoria #3

Odchylenia położenia obiektu symulowanego modelem GPS, RADAR oraz MZD względem trajektorii referencyjnej dla trajektorii # 4, #5 przedstawilem na **rysunku 38**.

Na **rysunkach 36, 37** oraz **38** zawarte są wartości błędów pozycji statku w funkcji czasu.



Rysunek 38. Odchylenia położenia obiektu względem trajektorii referencyjnej w dziedzinie czasu wyznaczone modelem MZD, RADAR, GPS względem trajektorii referencyjnej: (a) trajektoria #4; (b) trajektoria #5

Odchylenia położenia obiektu symulowanego modelem GPS, RADAR oraz MZD względem trajektorii referencyjnej dla trajektorii #1, #2, #3, #4, #5 przedstawilem w **tabeli 9**.

Tabela 9. Pierwiastek średniokwadratowy błędu położenia obiektu wyznaczonego modelem: MZD, RADAR i GPS

Model trasy	$M_{GPS\ xy}$ [m]	$M_{RADAR\ xy}$ [m]	$M_{MZD\ xy}$ [m]
trajektoria #1	13,1	65,4	47,1
trajektoria #2	12,4	38,6	29,7
trajektoria #3	12,7	39,4	32,5
trajektoria #4	12,5	66,0	41,9
trajektoria #5	12,9	144,2	72,1

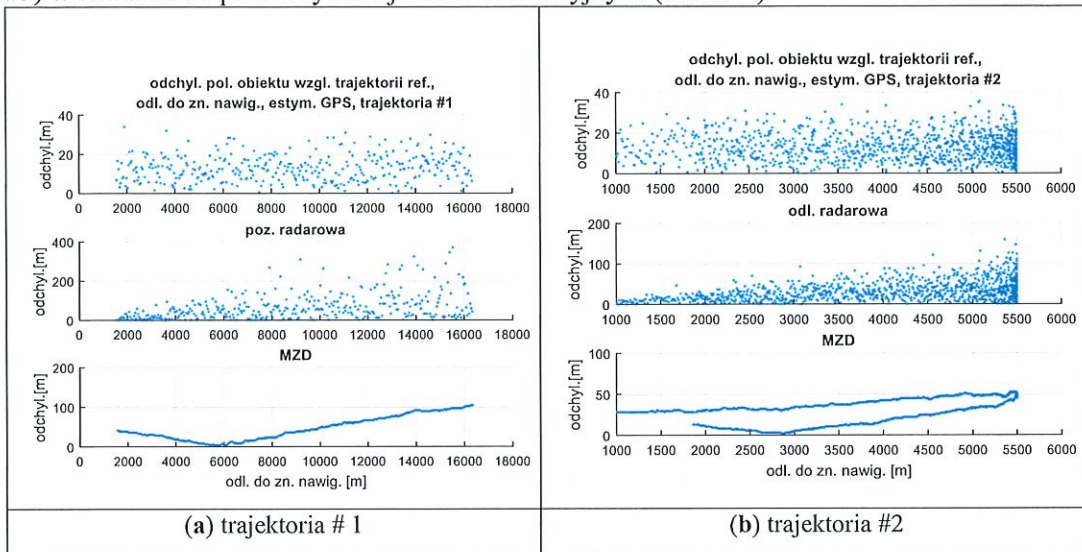
Zatem **trzy modele ruchu statków mogą być stosowane zamiennie w zależności od rodzaju prowadzonej nawigacji oraz dostępności serwisu GPS.**

Wybór odpowiedniego modelu ułatwia **tabela 9**, w której zaprezentowałem wyniki pierwiastka średniokwadratowego błędu pozycji M_{xy} dla trzech modeli ruchu statku. Duża odległość znaku nawigacyjnego oraz niska prędkość zwrotu powodują w trakcie cyrkulacji (trajektoria nr 3) liniowy wzrost M_{xy} w funkcji czasu. W takiej sytuacji najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie modelu GPS z wartością błędu M_{xy} , wyznaczonego zgodnie z rozkładem normalnym lub jednego z trzech modeli, odpowiednio do symulowanych warunków, aby zminimalizować M_{xy} .

Na **rysunkach 39, 40** oraz **41** przedstawilem odchylenia położenia obiektu generowane trzema modelami procesu względem trajektorii referencyjnej, w funkcji odległości do znaku nawigacyjnego (stawa).

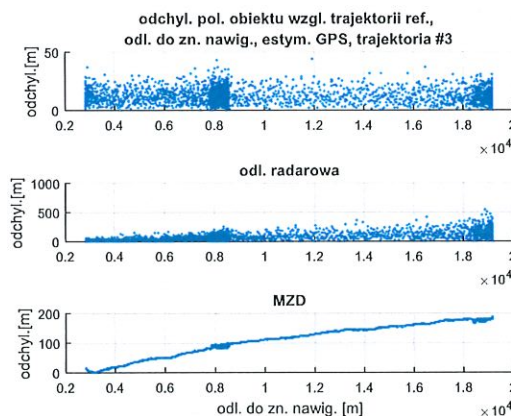
Dokładność pozycji statku nadawanej w raportach pozycyjnych AIS z wyznaczonym interwałem zależy m.in. od odległości do znaku nawigacyjnego dla modelu procesu śledzenia ruchu statku z zamiaru i odległości radarowej. W przypadku modelu procesu śledzenia trajektorii ruchu statku opartego na symulacjach GPS i MZD odległość do znaku nawigacyjnego nie ma znaczenia. Zaobserwowano wzrost błędu pozycji dla modelu MZD przy

wykonywaniu częstych zwrotów statkiem oraz wyższej wartości parametru ROT (trajektoria #5) w stosunku do pozostałych trajektorii referencyjnych (tabela 9).



Rysunek 39. Odchylenia położenia obiektu względem trajektorii referencyjnej w funkcji odległości do oznakowania nawigacyjnego, wyznaczonego modelem MZD, RADAR, GPS: (a) trajektoria #1; (b) trajektoria #2

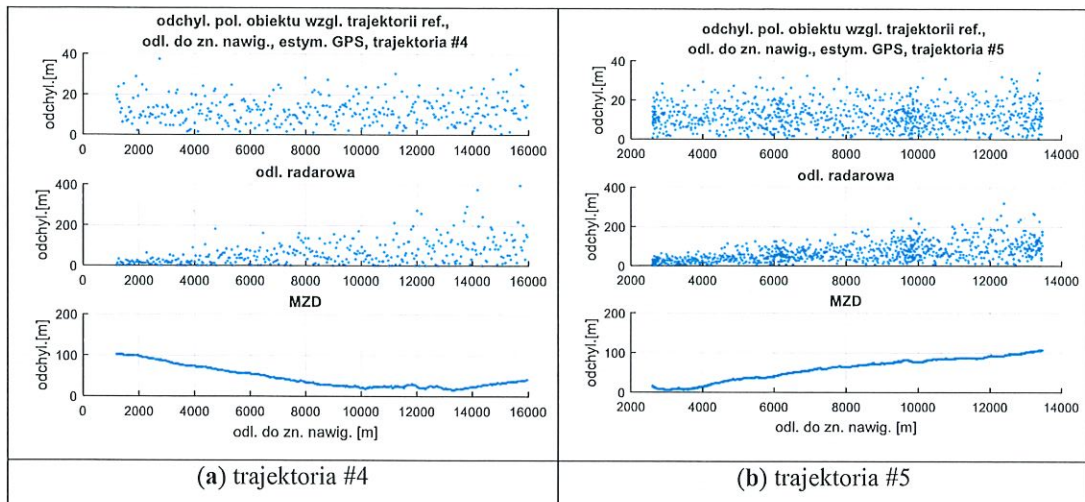
Model MZD dostarczył dokładnych wyników estymacji położenia obiektu dla ruchu prostoliniowego w przypadku krótkich czasów symulacji w trakcie wykonywania cyrkulacji, statkiem na sterburtę (trajektoria #2). Niski ROT (trajektoria #3) generuje niższe odchylenia względem trajektorii referencyjnej w trakcie cyrkulacji statku.



Rysunek 40. Odchylenia położenia obiektu względem trajektorii referencyjnej w funkcji odległości do oznakowania nawigacyjnego, wyznaczonego modelem MZD, RADAR, GPS: trajektoria #3

W trakcie cyrkulacji wielkość błędu pozycji statku wzrasta liniowo w funkcji czasu (trajektoria #2), (trajektoria #3).

W przypadku wyznaczenia pozycji z odległości radarowej, gdy statek zmniejsza odległość do znaku nawigacyjnego (trajektoria #5), wartość odchylenia pozycji względem trajektorii referencyjnej ulega zmniejszeniu. Odchylenia od położenia referencyjnego dla modelu MZD (trajektoria #5) mają charakter narastający, jak w przypadku trajektorii #1.



Rysunek 41. Odchylenia położenia obiektu względem trajektorii referencyjnej w funkcji odległości do oznakowania nawigacyjnego wyznaczonego modelem MZD, RADAR, GPS: (a) trajektoria #4; (b) trajektoria #5

Model wiarygodności wykorzystuje pięć strumieni danych z symulowanymi trasami referencyjnymi opracowanymi na potrzeby prac badawczych.

Danymi wejściowymi do określenia stanu wiarygodności serwisu AIS są zarejestrowane dane z urządzeń symulujących, tj.:

- współrzędne statku — odbiornik GPS,
- namiar i odległość radarowa – radar nawigacyjny.

Model MZD opiera się na znanych z kinematyki równaniach ruchu. Dane z urządzeń filtrowano z interwałami 2, 3,33 i 10 s. Istnieje możliwość regulacji interwału generowanych raportów pozycyjnych.

Statek porusza się po trajektorii referencyjnej zaplanowanej w aplikacji symulującej ruch obiektu.

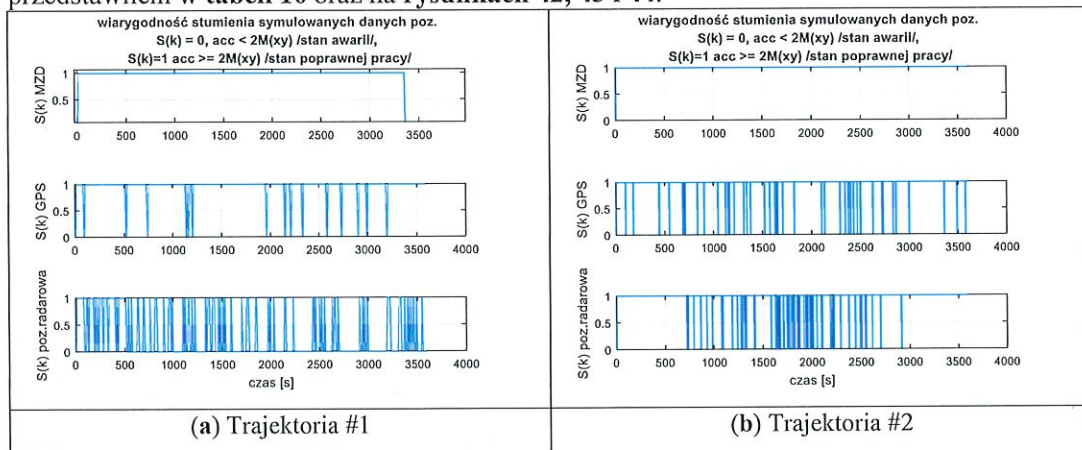
Wiarygodność symulowanych danych z symulowanych pięciu tras ruchu statku została określona na podstawie obliczonego M_{xy} pozycji dla trzech modeli procesu śledzenia ruchu statku. Założyłem, że wiarygodność strumieni danych dynamicznych AIS może być zachowana przy użyciu jednego z trzech modeli procesu śledzenia ruchu statku. Każdy z modeli generuje współrzędne obiektu podczas ruchu po określonej trajektorii. W przypadku modelu procesu śledzenia ruchu za pomocą namiaru i odległości radarowej do estymacji współrzędnych zastosowałem rozszerzony filtr Kalmana. W przypadku modelu GPS dane o położeniu obiektu zasymulowałem odbiornikiem systemu GPS. Dodatkowo dane z urządzenia symulującego AIS zostały zapisane w postaci raportów pozycyjnych. Dane te pokrywały się z pozycjami z odbiornika GPS zgodnie z interwałem komunikatów generowanych przez urządzenie AIS. Opóźnienia czasowe danych AIS w stosunku do pozycji GPS nie miały miejsca ze względu na zastosowane dane z aplikacji symulującej ruch statku po zadanej trajektorii. Dane z symulatora zapisywano do plików txt w celu wyznaczenia M_{xy} pozycji. Wyznaczone M_{xy} pozycji były podstawą do opracowania kryterium stanu operacyjnego systemu AIS. W procesie kwantyzacji stanu systemu przekroczenie dwukrotnej wartości pierwiastka średniokwadratowego błędu pozycji ($2M_{xy}$) oznaczało przejście ze stanu poprawnej pracy do stanu awarii systemu.

Macierz tranzycyjna stosowana w łańcuchach Markowa zawiera prawdopodobieństwa przejść do poszczególnych stanów oraz prawdopodobieństwa pozostawania w jednym ze stanów. Wyniki intensywności przejść między stanami operacyjnymi systemu zaprezentowałem w tabeli 10.

Tabela 10. Wyniki intensywności przejść ze stanu $i \in S$ do stanu $j \in S$ strumieni danych dynamicznych AIS w chwili kT

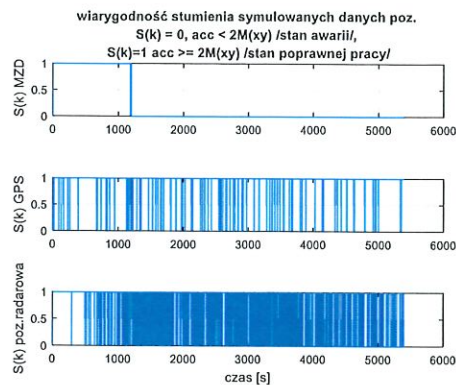
Model procesu	Numer trajektorii	$S_0 \rightarrow S_0$	$S_0 \rightarrow S_1$	$S_1 \rightarrow S_0$	$S_1 \rightarrow S_1$	Liczba obserwacji
MZD	1	24	1	1	334	360
GPS	1	0	16	15	329	360
RADAR	1	185	61	61	53	360
MZD	2	0	1	0	1079	1080
GPS	2	3	44	43	990	1080
RADAR	2	11	58	57	954	1080
MZD	3	2099	3	3	595	2700
GPS	3	3	94	93	2510	2700
RADAR	3	734	465	465	1036	2700
MZD	4	35	1	1	323	360
GPS	4	19	19	18	323	360
RADAR	4	18	41	40	261	360
MZD	5	0	1	0	1799	1800
GPS	5	3	32	31	1734	1800
RADAR	5	355	144	143	1158	1800

Szczegółowy rozkład przejść systemu do poszczególnych stanów wiarygodności przedstawiłem w tabeli 10 oraz na rysunkach 42, 43 i 44.



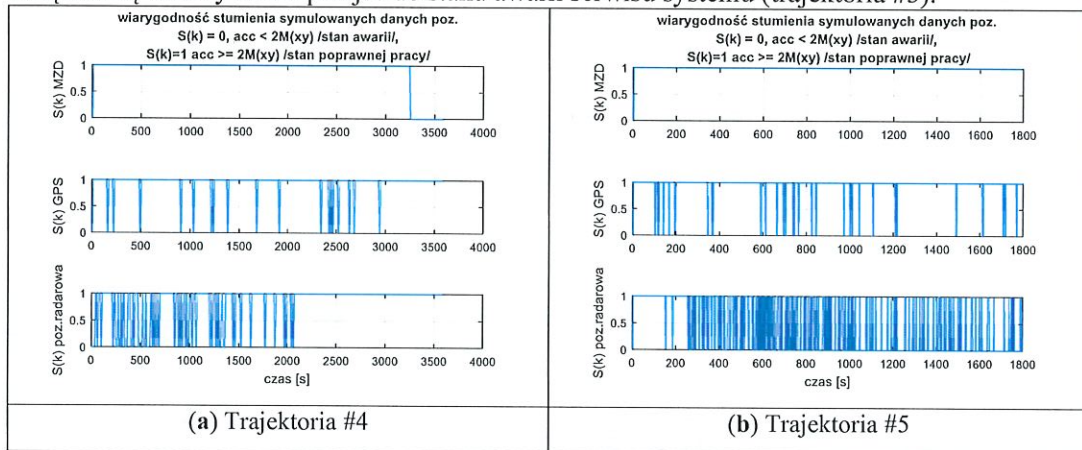
Rysunek 42. Intensywność przejść między stanami procesu: (a) trajektoria #1; (b) trajektoria #2; (c) trajektoria #3

Wyniki wskazują na wysoki poziom wiarygodności strumieni danych dynamicznych dla pięciu symulowanych trajektorii. Zgodnie z wynikami zawartymi w tabeli 10 zastosowanie modelu ruchu statku MZD, GPS, RADAR daje różne rezultaty w intensywności przejść między stanami operacyjnymi. W przypadku modelu EKF, którego dokładność zależy od odległości do znaku nawigacyjnego, zaobserwowałem przebywanie w stanie awarii w 734 przypadkach (trajektoria #3).



Rysunek 43. Intensywność przejść między stanami procesu: trajektoria #3

Oznacza to, że w 1199 przypadkach na 2700 iteracji model zwrócił dokładność pozycji mniejszą niż $2M_{xy}$ (w zależności od modelu ruchu statku). Przy zwiększonej prędkości zwrotu oraz zwiększonej liczbie wykonanych manewrów na prawą i lewą burtę zaobserwowałem zwiększoną intensywność przejść do stanu awarii serwisu systemu (trajektoria #5).



Rysunek 44. Intensywność przejść między stanami procesu: (a) trajektoria #4; (b) trajektoria #5 [Jaskólski et al., 2021]

Szczegółowe informacje na temat prawdopodobieństw granicznych przebywania systemu w określonym stanie przedstawiłem w tabeli 11.

Tabela 11. Prawdopodobieństwa graniczne stanu awarii π_0 oraz stanu pracy π_1 dla modeli procesu GPS, RADAR oraz MZD estymacji współrzędnych

Model procesu	MZD	GPS	RADAR
trajektoria #1	$\pi_0 = 0,069, \pi_1 = 0,931$	$\pi_0 = 0,044, \pi_1 = 0,956$	$\pi_0 = 0,683, \pi_1 = 0,317$
trajektoria #2	$\pi_0 = 0,001, \pi_1 = 0,999$	$\pi_0 = 0,044, \pi_1 = 0,956$	$\pi_0 = 0,064, \pi_1 = 0,936$
trajektoria #3	$\pi_0 = 0,779, \pi_1 = 0,221$	$\pi_0 = 0,036, \pi_1 = 0,964$	$\pi_0 = 0,444, \pi_1 = 0,556$
trajektoria #4	$\pi_0 = 0,100, \pi_1 = 0,900$	$\pi_0 = 0,053, \pi_1 = 0,947$	$\pi_0 = 0,164, \pi_1 = 0,836$
trajektoria #5	$\pi_0 = 0,001, \pi_1 = 0,999$	$\pi_0 = 0,002, \pi_1 = 0,981$	$\pi_0 = 0,277, \pi_1 = 0,723$

Wykres intensywności przejść pomiędzy różnymi stanami procesu przedstawiłem na rysunkach 42–44. Poprzez kwantyzację dla każdego $2M_{xy}$ w dziedzinie czasu przypisałem wartość binarną odpowiadającą stanowi wiarygodności strumienia danych dynamicznych, tj.:

$S_{(k)} = 0$ – stan awarii,

$S_{(k)} = 1$ – stan pracy.

Zgodnie z zależnościami (31)–(39) oraz (92)–(95) prawdopodobieństwa π_0 , π_1 wyznaczyłem i zaprezentowałem w **tabeli 11**.

Na **rysunkach 42–44** przedstawiłem graficzne prezentacje intensywności przejść pomiędzy stanami wiarygodności strumieni danych w zależności od zastosowanego modelu ruchu statku. Rysunki odzwierciedlają dane zawarte w **tabeli 10**. W **tabeli 11** prezentuję prawdopodobieństwo przebywania systemu w stanie awarii i poprawnej pracy przy założonym modelu ruchu statku. Odmienne wyniki prawdopodobieństw dla modelu MZD w porównaniu z modelem GPS RADAR zaobserwowałem w przypadku trajektorii #3 (**tabela 11**). Wynikało to z czasu rejestracji, interwału między raportami pozycyjnymi, odległości do znaku nawigacyjnego, a także od wykonanej cyrkulacji na prawą i lewą burtę przez statek.

Podsumowując, realizacja zadań wynikających z określonych celów badawczych i celów cząstkowych zaowocowała kompleksowym opisem struktury dostępności, wiarygodności i dokładności serwisów systemów i urządzeń nawigacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem systemu AIS. Opis niezawodności struktury nawigacyjnej systemu zrealizowałem na podstawie pojęć i teorii niezawodności. W tym celu opracowałem model dostępności serwisu AIS na podstawie wyznaczonego średniego czasu występowania niepełnych wartości parametrów nawigacyjnych w depeszach danych AIS oraz przedstawiłem wyniki badań w dziedzinie czasu i częstotliwości z wykorzystaniem aparatu matematycznego – szybkiej transformacji Fouriera. W ramach eksperymentu zaobserwowałem przerwy w regularnym dopływie danych z urządzeń nawigacyjnych. W efekcie dokonałem opisu zależności funkcyjnej na podstawie analizy widmowej częstości pojawiających się czasów między naprawą serwisu (TTR) i zaproponowałem zastosowanie modelu do badań innych zmiennych. Wyniki moich badań w tym zakresie obejmują intensywność przejść między stanami dla serwisu systemu nawigacyjnego oraz wyznaczenie prawdopodobieństwa przebywania serwisu systemu w stanie awarii. Bardzo ważnym elementem w procesie badań było zastosowanie przeze mnie aparatu matematycznego FFT do przeprowadzenia analizy częstości zmian wyznaczonych TTR dla wybranego parametru nawigacyjnego.

Zakładając, że uszkodzenia elementów struktury systemu są niezależne, wyznaczyłem prawdopodobieństwo odbioru niepełnych danych w depeszy raportu pozycyjnego serwisu AIS dla p parametrów nawigacyjnych oraz dla m strumieni danych indeksowanych numerem MMSI.

Metoda FFT posłużyła mi również do analizy zmian dokładności wskazań urządzeń kompasowych.

Istotnym wkładem monografii w rozwój dyscypliny naukowej **inżynieria lądowa, geodezja i transport** jest zastosowanie przeze mnie funkcji splotu wraz z filtrem górnoprzepustowym (0,02 Hz) i środkowozaporowym (0,005–0,015 Hz) w celu eliminacji błędów kompasu charakteryzujących się niską częstotliwością występowania. W efekcie uzyskałem dobre rezultaty estymacji kursu statku przy zastosowaniu funkcji splotu sygnałów. Stosując zaproponowane cztery warianty filtracji kursu, odfiltrowałem składowe harmoniczne wynikające z długoterminowych oscylacji kursu wywołanych właściwościami inercyjnymi okrętu. Etapem kończącym proces badawczy w zastosowanej metodyce jest zastosowanie przeze mnie dyskretnych w stanach i w czasie procesów Markowa, których zadaniem jest wyznaczenie macierzy intensywności przejść między stanami poszczególnych urządzeń kompasowych.

Zatem informacje w raporcie pozycyjnym, które generowane są przez odbiorniki GPS/GNSS, są dostępne, natomiast te, których źródłem jest żyrokompas powodują ograniczenia w dostępności serwisu AIS.

Praktyczne możliwości zastosowania w praktyce opracowanych i przedstawionych w monografii metod modelowania charakterystyk eksploatacyjnych serwisu systemu nawigacyjnego oraz badania dokładności serwisu urządzeń kompasowych przy zastosowaniu funkcji splotu oraz metody FFT można podzielić na zastosowanie:

- a) **na etapie projektowania lub planowania struktury systemu radionawigacyjnego, radiokomunikacyjnego lub urządzenia nawigacyjnego,**
- b) **na etapie monitorowania funkcjonującego systemu zarządzania statkiem autonomicznym, systemu radionawigacyjnego, radiokomunikacyjnego lub urządzenia nawigacyjnego w czasie rzeczywistym.**

Na etapie projektowania lub planowania struktury systemu radionawigacyjnego, radiokomunikacyjnego lub urządzenia nawigacyjnego przedstawione w cyklu publikacji metody dają możliwość projektowania struktury nawigacyjnej systemu [Felski et al., 2015; Jaskólski, 2015, 2022b], prowadzenia analiz i symulacji dotyczących poszukiwania momentów przebywania systemu w stanie awarii oraz eliminowania słabych punktów systemu [Jaskólski et al., 2021], a także przeciwdziałania występującym sytuacjom zagrożeń związanych z brakiem dostępności, wiarygodności systemu [Jaskólski et al., 2021] na etapie symulacji i testowania prototypów urządzeń nawigacyjnych z wyznaczeniem częstości pojawiania się błędów oraz możliwości ich odfiltrowania na etapie projektu [Jaskólski et al., 2019; Jaskólski, 2022a]. Tym samym możliwe jest opracowanie struktury nawigacyjnej systemu radionawigacyjnego lub urządzenia nawigacyjnego odpornego na działanie czynników niepożądanych wywołujących ograniczenia dostępności, wiarygodności i dokładności serwisu [Jaskólski, 2016, 2022a, 2022b; Jaskólski et al., 2019]. Takie podejście badawcze minimalizuje koszty związane z modernizacją struktury nawigacyjnej systemu lub urządzenia nawigacyjnego.

Na etapie monitorowania funkcjonującego systemu radionawigacyjnego, radiokomunikacyjnego lub urządzenia nawigacyjnego w czasie rzeczywistym zaproponowane metody badań w cyklu publikacji dają możliwość identyfikacji niesprawności oraz wyznaczenia momentu przejścia do stanu awarii i czasu przebywania systemu w stanie awarii. Taka informacja pozwoli użytkownikom na szybkie podjęcie decyzji w przypadku wystąpienia zdarzenia niepożądanego w przypadku niesprawności serwisu systemu nawigacyjnego lub urządzenia nawigacyjnego.

Odniesienie w cyklu publikacji rezultatów do dotychczasowego stanu wiedzy pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- a) Nowość i oryginalność zaproponowanych w cyklu publikacji narzędzi stanowiących wkład w rozwój metod modelowania dostępności, wiarygodności serwisu systemu nawigacyjnego, ze szczególnym uwzględnieniem systemu AIS, polegają na:
 - opracowaniu modelu dostępności serwisu AIS na podstawie wieku danych dynamicznych;
 - zdefiniowaniu obiektu badań na podstawie struktury dostępności serwisu AIS;
 - wyznaczeniu częstości występowania uszkodzeń serwisu w próbkach za pomocą szybkiej transformacji Fouriera oraz przedstawieniu wyników prac, stosując w tym celu widmo amplitudowe średniego czasu do naprawy (MTTR) w dziedzinie częstotliwości;
 - zaszerzegowaniu serwisu systemu do określonego stanu;
 - wyznaczeniu prawdopodobieństwa występowania serwisu w stanie awarii i w stanie poprawnej pracy;
 - opracowaniu modelu symulacji ruchu statku na podstawie wybranych parametrów nawigacyjnych na podstawie anomalii w dostępności serwisu danych dynamicznych AIS;
 - zasympulowaniu trajektorii ruchu obiektu z zastosowaniem modelu EKF, MZD, GPS;
 - opracowaniu założeń wstępnych do budowy modelu wiarygodności serwisu AIS;
 - opracowaniu modelu wiarygodności serwisu AIS dla strumieni danych indeksowanych numerem MMSI.
- b) Nowość i oryginalność zaproponowanych w cyklu publikacji narzędzi stanowiących wkład w rozwój metod badania dokładności urządzeń kompasowych polegają na:
 - modelowaniu dokładności urządzeń kompasowych na podstawie analizy widmowej błędów wskazania urządzeń kompasowych;
 - zastosowaniu pasmowo-zaporowego modelu oraz pasmowo-przepustowego modelu cyfrowej filtracji sygnału typu FIR i IIR do eliminacji błędów charakteryzujących się niską częstotliwością ich występowania;
 - sprecyzowaniu częstotliwości krańcowych poszczególnych pasm i częstotliwości próbkowania oraz podania wartości tłumienia w paśmie przepustowym i zaporowym;
 - modelowaniu wiarygodności informacji pochodzącej z kompasów na podstawie teorii niezawodności – dyskretne w stanach i w czasie procesy Markowa;

- analizie wyników badań spektrum błędów kompasów w dziedzinie czasu i częstotliwości przy zastosowaniu czterech wariantów filtracji pasmowo-zaporowej i przepustowej.
- c) Weryfikacja opracowanych narzędzi zastała przeprowadzona z wykorzystaniem metody postprocessingu, czyli rejestracji danych z urządzeń i systemów nawigacyjnych i późniejszym zastosowaniu ich w dalszych obliczeniach. Uzyskane wyniki badań wskazują na ograniczenia dostępności serwisu AIS w przypadku dwóch parametrów nawigacyjnych, tj. HDT oraz ROT.

W badaniu dokładności żyrokompasów zaobserwowałem występowanie dewiacji inercjalnej II-go rodzaju po czasie odpowiadającej $\frac{1}{4}$ okresu wahań niegasnących (okres Schulera), którą za pomocą metod filtrujących błędy wyeliminowałem z dalszych badań dokładności. Poprawność funkcjonowania systemów i urządzeń nawigacyjnych zweryfikowałem z wykorzystaniem zaproponowanych metod i narzędzi znanych z teorii niezawodności oraz cyfrowego przetwarzania sygnałów. Oznacza to, że zrealizowałem cel prac badawczych i udowodniłem postawione tezy badawcze, a opracowane w monografii metody w znaczny sposób rozszerzają dotychczasowe możliwości modelowania i analizy charakterystyk eksploatacyjnych urządzeń i systemów nawigacyjnych.

Zaproponowane metody mogą być pomocne w analizie wiarygodności i dostępności urządzeń nawigacyjnych na etapie projektowania struktury systemu.

Zaproponowanie funkcji splotu znacznie rozszerza możliwości analizy spektrum sygnału w dziedzinie częstotliwości w przypadku badania dokładności wskazania urządzeń kompasowych i pozwala wyeliminować błędy przypadkowe o niskiej częstotliwości występowania.

Monografia dostarcza wniosków wzbogacających dotychczasowy stan wiedzy dotyczący metod modelowania dostępności i wiarygodności serwisu systemu nawigacyjnego. Metody badań mogą być wykorzystywane w fazie projektowania systemu oraz na etapie eksploatacji istniejącego systemu, urządzenia nawigacyjnego.

Monografia prezentująca osiągnięcie naukowe ujęta została w punkcie 4.1 i zamieszczona w załączniku 5.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych i organizacyjnych

Wykaz osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych i organizacyjnych zamieszczono w załączniku 4.

5.1. Działalność naukowo-badawcza, dydaktyczna i organizacyjna prowadzona przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych (lata 2010–2013)

W okresie poprzedzającym uzyskanie stopnia doktora nauk technicznych moja praca naukowa dotyczyła zagadnień modelowania wiarygodności i dostępności informacji statycznej i dynamicznej systemu AIS. Do 2013 roku, do momentu obrony rozprawy doktorskiej, jako autor lub współautor opublikowałem łącznie **siedem artykułów** z listy A i B MEiN.

W ramach działalności dydaktycznej prowadziłem ćwiczenia, zajęcia laboratoryjne oraz wykłady z przedmiotu urządzenia nawigacyjne na kierunku nawigacja.

W ramach działalności organizacyjnej byłem w 2011 roku opiekunem studentów I roku studiów WNIUO.

Od 2010 roku jestem członkiem Polskiego Forum Nawigacyjnego.

5.2. Działalność naukowo-badawcza, dydaktyczna i organizacyjna prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych (lata 2013 – do chwili obecnej)

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych całkowita liczba publikacji obejmuje łącznie **31**, w tym **11** pozycji z listy A oraz **2** monografie, których jestem autorem, i **2** podręczniki akademickie, których jestem współautorem (**stan na dzień 03.07.2023**).

Ponadto w tym czasie brałem udział w projektach badawczych w charakterze wykonawcy:

- a) Udział w pracach badawczych, w charakterze wykonawcy w ramach grantu NCBR oraz PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., nr POIR.04.01.01-00-0017/17, pt. Opracowanie innowacyjnej metody wyznaczania precyzyjnej trajektorii pojazdu szynowego (InnoSatTrack), finansowanego w ramach projektu „BRIK I” (NCBR) (**załącznik nr 6.1**).
- b) Udział w pracach badawczych w charakterze wykonawcy w ramach projektu realizowanego ze środków własnych pt. Laserowy System Pomiaru Objętości Ładunku (LBM) (**załącznik nr 6.2**).
- c) Udział w pracach badawczych w charakterze wykonawcy w ramach projektu „SZYBKĄ ŚCIEŻKĄ” (NCBR), nr POIR 01.01.01-00-1122/20, pt. Uniwersalny System Pomiaru Objętości Ładunku (UBMS) (**załącznik nr 6.2**) (**stan na dzień 03.07.2023**).

W ramach dorobku dydaktyczno-popularyzatorskiego od 2014 roku jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Nautologicznego.

Od 2016 roku jestem członkiem Rady Bibliotecznej Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. W latach 2016–2020 byłem przewodniczącym komisji dyscyplinarnej studentów w Akademii Marynarki Wojennej.

W ramach działalności eksperckiej pełnię lub pełniłem następujące funkcje:

- a) ławnik Odwoławczej Izby Morskiej przy Sądzie Okręgowym w Gdańsku od 2022 roku;
- b) członek CMKE (Centralnej Morskiej Komisji Egzaminacyjnej) powołanej zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju, od 2014 roku;
- c) członek komisji odwoławczej do spraw oceny nauczycieli akademickich w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni od 2021 roku;
- d) członek podkomitetu Polskiego Rejestru Statków (PRS) ds. IMO (Statkowych Systemów i Wyposażenia (SSE) w Gdańsku od 2022 roku.

Wielokrotnie popularyzowałem wyniki badań naukowych na konferencjach:

- a) Konferencja naukowo-techniczna NAVSUP organizowana przez Akademię Marynarki Wojennej w Gdyni w latach, 2008, 2010, 2014, 2016, 2018, 2022;
- b) Konferencja Morska MTE organizowana przez Politechnikę Morską w Szczecinie 27. 09 - 28.09.2018, Berlin, 12-14.10.2022, Kołobrzeg;
- c) Międzynarodowa Konferencja ENC PNF EUGIN Gdańsk 25.04.–27.04.2012.
- d) Konferencja naukowo-techniczna TRANSNAV organizowana przez Uniwersytet Morski w Gdyni. 19-21.06.2013, 21-23.06.2023 (**stan na dzień 03.07.2023**)

Prowadzę zajęcia dydaktyczne na I i II stopniu studiów dziennych i zaocznych na kierunku nawigacja i hydrografia, navigation z przedmiotów:

- a) urządzenia nawigacyjne (wykłady i laboratoria);
- b) nawigacja (wykłady i laboratoria z kompasów magnetycznych);
- c) navigation instruments (wykłady, laboratoria, ćwiczenia);
- d) urządzenia nawigacyjne i radionawigacja (wykłady, ćwiczenia, laboratoria) – w ramach praktyk astronomiczno-nawigacyjnych na okręcie szkolnym.

Prowadzę zajęcia dydaktyczne na kursach kwalifikacyjnych STCW dla oficerów pokładowych na poziomie operacyjnym, zarządzania, szypers I i II klasy z przedmiotów:

- a) dewiacja (kompasu magnetycznego);

- b) urządzenia elektronawigacyjne;
- c) urządzenia nawigacyjne.

Promotor **26** prac inżynierskich i magisterskich. Recenzent **32** prac inżynierskich i magisterskich (**stan na dzień 19.01.2023**).

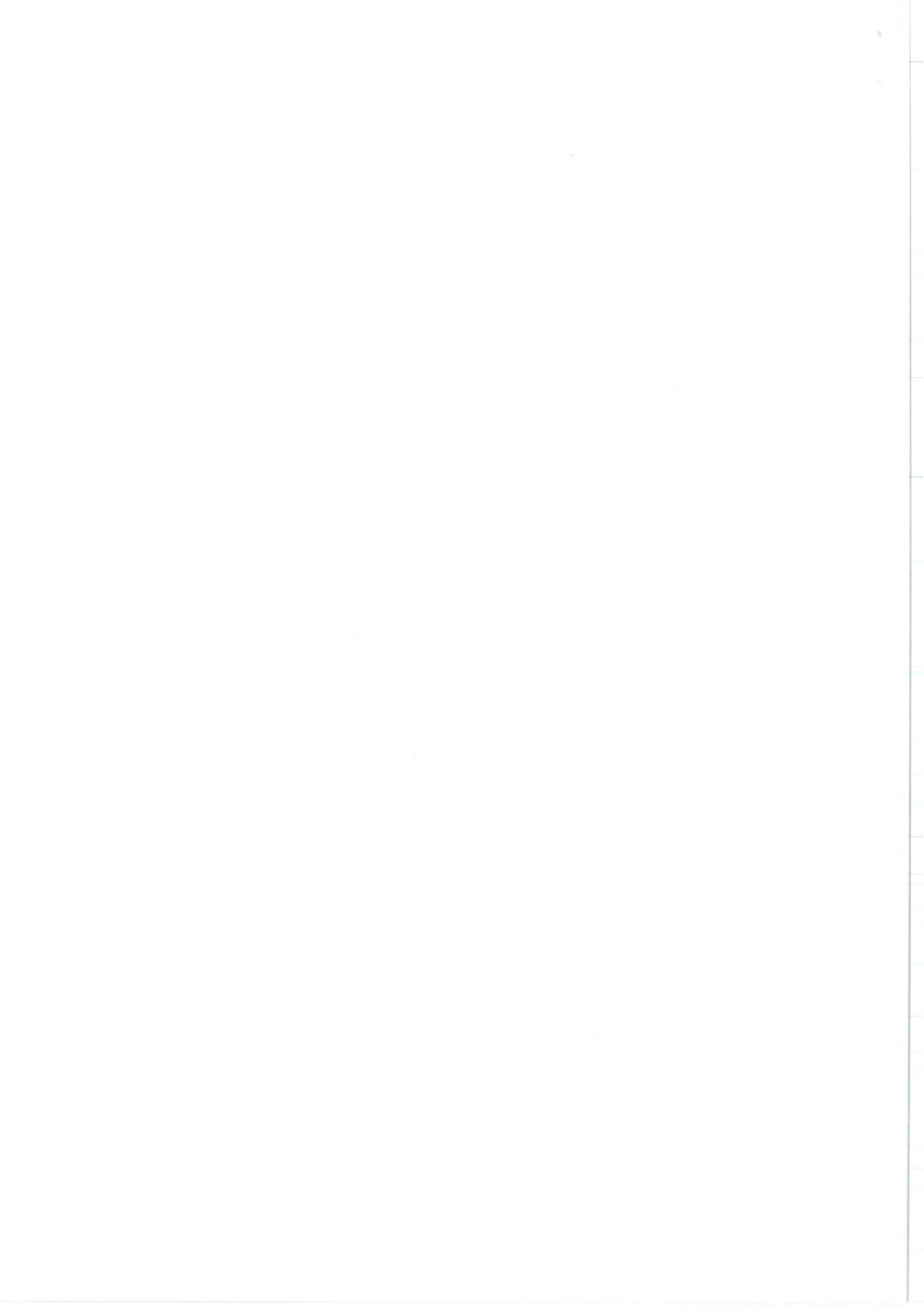


.....
(podpis wnioskodawcy)

6. Bibliografia

- Abba, S.I., Gaya, M.S., Yakubu, M.L., Zango, M.U., Abdulkadir, R.A., Saleh, M.A., Hamza, A.N., Abubakar, U., Tukur, A.I., Wahab, N.A. (2019). Modelling of Uncertain System: A comparison study of Linear and Non-Linear Approaches. In Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), Selangor, Malaysia, 29 June, 1–6.
- Banys, P., Noack, T., Gewies, S. (2012). Assessment of AIS vessel position report under the aspect of data reliability. *Annual of Navigation*. DOI:10.2478/v10367-012-0001-0.
- Chang, Y., Chen, C. (2020). A Kullback-Leibler information control chart for linear profiles monitoring. *Qual. Reliab. Eng. Int.*, 36, 2225–2248.
- Dąbrowski, P., Specht, C., Felski, A., Jaskólski, K., Koc, W., Wilk, A., Czaplewski, K., Karwowski, K., Specht, M. (2020). The Accuracy of a Marine Satellite Compass under Terrestrial Urban Conditions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(1). DOI: 10.3390/jmse8010018.
- Department of Defense *Federal Radionavigation Plan* 1999; Springfield, Virginia.
- Department of Defense *Federal Radionavigation Plan* 2005; Springfield, Virginia.
- Department of Defense *Federal Radionavigation Plan* 2019; Springfield, Virginia.
- Emel'yantsev, G., Stepanov, O., Stepanov, A., Blazhnov, B., Dranitsyna, E., Evstifeev, M. Eliseev, D., Volynskiy, D. (2020). Integrated GNSS/IMU-Gyrocompass with Rotating IMU. Development and Test Results. *Remote Sens*, 12, 3736.
- Felski, A. (2010). Exploitative properties of different types of satellite compasses. *Annu. Navig.*, 16, 33–40.
- Felski, A., Jaskólski, K., Banyś, P. (2015). Comprehensive Assessment of Automatic Identification System (AIS). Data Application to Antiollision Manoeuvring. *J. Navig.*, 68, 697–717. <https://doi:10.1017/S0373463314000897>.
- Felski, A., Jaskólski, K., Zwolak, K., Piskur, P. (2020). Analysis of Satellite Compass Error's Spectrum. *Sensors*, 20(15), 4067. DOI: 10.3390/s20154067.
- Fossen, S., Fossen, T.I. (2018). Extended Kalman Filter Design and Motion Prediction of Ships Using Live Automatic Identification System (AIS) Data. In Proceedings of the 2018 2nd European Conference on Electrical Engineering and Computer Science (EECS), Bern, Switzerland, 20–22 December, 464–470.
- Guo, S., Zhang, X., Zheng, Y., Du, Y. (2020). An Autonomous Path Planning Model for Unmanned Ships Based on Deep Reinforcement Learning. *Sensors*, 20, 426.
- Harati-Mokhtari, A., Wall, A., Brooks, P., Wang, J. (2007). Automatic Identification System (AIS): Data Reliability and Human Error Implications. *J. Navig.*, 60, 373–389.
- IALA (1989). Guide to the Availability and Reliability of Aids to Navigation, International Association of Lighthouse and Aids to Navigation Authorities.
- International Maritime Organization (2001). Resolution A.915(22), Revised maritime Policy and Requirements for a Future Global Navigation Satellite System (GNSS).
- International Telecommunication Union (2014). Technical Characteristics for an Automatic Identification System Using Time Division Multiple Access in the VHF Maritime Mobile Band (Recommendation ITU-R M.1371-4). International Telecommunication Union: Geneva, Switzerland.
- Jakubowski, B. (2003). Niezawodnościowe Aspekty Przetwarzania Informacji w Zintegrowanym Systemie Nawigacyjnym (Reliability-Based Aspects of Data Processing in an Integrated Navigational System). Polish Naval Academy: Gdynia, Poland.
- Jaskólski, K. (2013). Zastosowanie łańcuchów Markowa w badaniu potencjalnych możliwości wykorzystania informacji automatycznego systemu identyfikacji (AIS) w aplikacjach antykolizyjnych. *Zesz. Nauk. Akad. Mar. Wojennej*, 195, 51–72.
- Jaskólski, K. (2014). Availability and Integrity Model of Automatic Identification System (AIS) Information. GRIN Publishing GmbH: Munich, Germany, ISBN 9783656707899.

- Jaskólski, K. (2015). Maritime Safety in Terms of the Availability for the AIS class B Binary Data Transmission, Based on Static Measurements, Performed on the VTS Zatoka Gdańska. *Annu. Navig.*, 22, 49–64.
- Jaskólski, K. (2016). Application for simulating gyro-compass behavior. *Annual of Navigation*, 23, 159–172. DOI: 10.1515/aon-2016-0011.
- Jaskólski, K. (2022a). Methodology for Verifying the Indication Correctness of a Vessel Compass Based on the Spectral Analysis of Heading Errors and Reliability Theory. *Sensors*, 22(7), 2530. DOI: 10.3390/s22072530.
- Jaskólski, K. (2022b). Availability of the Automatic Identification System (AIS) based on the spectral analysis of the mean time to repair (MTTR) determined from the dynamic data age. *Remote Sens.*, 14(15), 3692. DOI: 10.3390/rs14153692.
- Jaskólski, K., Felski, A., Piskur, P. (2019). The Compass Error Comparison of an Onboard Standard Gyrocompass, Fiber-Optic Gyrocompass (FOG) and Satellite Compass. *Sensors*, 19(8), 1942. DOI: 10.3390/s19081942.
- Jaskólski, K., Marchel, Ł., Felski, A., Jaskólski, M., Specht, M. (2021). Automatic Identification System (AIS) Dynamic Data Integrity Monitoring and Trajectory Tracking Based on the Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Process Model. *Sensors*, 21(24), 8430. DOI: 10.3390/s21248430.
- Kaniewski, P. (2010). Structures, Models and Algorithms in Integrated Positioning and Navigation Systems (Struktury, modele i algorytmy w zintegrowanych systemach pozycjonujących i nawigacyjnych). Military University of Technology: Warsaw, Poland.
- Konatowski, S., Kaniewski, P., Matuszewski, J. (2016). Comparison of Estimation Accuracy of EKF, UKF and PF Filters. *Annu. Navig.*, 23, 69–87.
- Lushnikov, E., Pleskacz, K. (2012). The precision of compass error observation using parallel lines option in radar. *Sci. Journals Marit. Univ. Szczecin*, 29, 126–129.
- Marchel, Ł., Naus, K., Specht, M. (2020). Optimisation of the Position of Navigational Aids for the Purposes of SLAM technology for Accuracy of Vessel Positioning. *J. Navig.*, 73, 282–295.
- Matlab (2021). *Matlab – Signal processing toolbox, User's Guide R2021a*. MathWorks: Natick, USA.
- Sang, L., Wall, A., Mao, Z., Yan, X., Wang, J. (2015). A novel method for restoring the trajectory of the inland waterway ship by using AIS data. *Ocean. Eng.*, 110, 183–194.
- Särkkä, S., Tamminen, T., Vehtari, A., Lampinen, J. (2004). Probabilistic Methods in Multiple Target Tracking – Review and Bibliography. Aalto University: Espoo, Finland.
- Siegert, G., Banys, P., Martinez, C.S., Heymann, F. (2016). EKF based trajectory tracking and integrity monitoring of AIS data. In Proceedings of the 2016 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS); Savannah, GA, USA, 11–14 April, 887–897.
- Specht, C. (2007). System GPS, Wydawnictwo Bernardinum, Pelplin.
- Specht, C. (2003). Availability, Reliability and Continuity Model of Differential GPS Transmission. Polish Academy of Sciences, *Annual of Navigation*, 5.
- Department of Defense (1993). Global Positioning System (GPS) Standard Positioning Service (SPS) Signal Specification. Defence Pentagon, Washington.
- Wang, J., Zhu, C., Zhou, Y., Zhang, W. (2017). Vessel Spatio-temporal Knowledge Discovery with AIS Trajectories Using Co-clustering. *J. Navig.*, 70, 1383–1400.
- Xu, T., Liu, X., Yang, X. (2011). Ship Trajectory Online Prediction Based on BP Neural Network Algorithm. In Proceedings of the 2011 International Conference of Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences, Nanjing, China, 24–25 September, 103–106.
- Yang, F., Qiao, Y., Wei, W., Wang, X., Wan, D., Damaševičius, R., Woźniak, M. (2020). DDTree: A Hybrid Deep Learning Model for Real-Time Waterway Depth Prediction and Smart Navigation. *Appl. Sci.* 10, 2770.



kmdr por. dr inż. Krzysztof JASKÓLSKI
Katedra Nawigacji i Hydrografii Morskiej
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
im. Bohaterów Westerplatte

WYKAZ
osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny
inżynieria lądowa, geodezja i transport

Gdynia 2023

I. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1 PKT 2 USTAWY

1. Monografia naukowa, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2a Ustawy

Jaskólski, K. (2023). Modele dostępności, wiarygodności i dokładności okrętowych systemów i urządzeń nawigacyjnych – wybrane zagadnienia. *Wydawnictwo Akademickie AMW*, Gdynia. ISBN: 978-83-966280-6-0. Punktacja MEiN: **80,000**.

2. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2b Ustawy

(–)

3. Wykaz zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych lub artystycznych, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2c Ustawy

(–)

II. INFORMACJA O AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ

1. **Wykaz opublikowanych monografii naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.1)**

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

- a) **Jaskólski, K. (2014).** Availability and integrity model of Automatic Identification System (AIS) Information. *GRIN Verlag*, München. ISBN: 3656710597, 9783656710592.

Punktacja MEiN: **25,000**.

2. **Wykaz opublikowanych książek autorskich (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.1)**

- a) Felski, A., **Jaskólski, K. (2016).** Okrętowe Urządzenia Nawigacyjne: zbiór przewodników do zajęć laboratoryjnych. Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia, *Wydawnictwo Akademickie AMW*. ISBN: 9788360278956.

Punktacja MEiN: **25,000**. Punktacja uwzględniająca mój udział: **22,500**.

Mój wkład w opracowanie tej monografii polegał na opracowaniu przewodników do zajęć laboratoryjnych. Jestem autorem koncepcji przewodników laboratoryjnych. Byłem odpowiedzialny za część edycyjną oraz złożenie publikacji do recenzji i odpowiedź na recenzje recenzentów. Jestem autorem rysunków zawartych w publikacji z wyłączeniem rysunków cytowanych w publikacji.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 90%.

- b) Felski, A., **Jaskólski, K. (2018).** Navigational instruments: a collection of guidelines for laboratory classes. Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia, *Wydawnictwo Akademickie AMW*, ISBN: 9788394886097.

Punktacja MEiN: **80,000**. Punktacja uwzględniająca mój udział: **72,000**.

Mój wkład w opracowanie tej monografii polegał na opracowaniu przewodników do zajęć laboratoryjnych oraz przetłumaczeniu przewodników na język angielski. Jestem autorem koncepcji przewodników laboratoryjnych. Byłem odpowiedzialny za część edycyjną oraz złożenie publikacji do recenzji oraz odpowiedź na recenzje recenzentów. Jestem autorem rysunków zawartych w publikacji z wyłączeniem rysunków cytowanych w publikacji.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 90%.

3. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych

3.1. Rozdziały w monografiach naukowych opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

BRAK

3.2. Rozdziały w monografiach naukowych opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

BRAK

4. Informacja o członkostwie w redakcjach naukowych monografii

BRAK

5. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.2)

5.1. Artykuły w czasopismach naukowych opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

Artykuły opublikowane w czasopismach naukowych z aktualnego wykazu od roku 2019

5.1.1. **Jaskólski, K., Felski, A., Piskur, P. (2019).** The Compass Error Comparison of an Onboard Standard Gyrocompass, Fiber-Optic Gyrocompass (FOG) and Satellite Compass. *Sensors*, 19(8), 1942. DOI: 10.3390/s19081942.

IF: 3,275. Punktacja MEiN: **100,000.**

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na autorstwie streszczenia artykułu, współautorstwie rozdziału Introduction, związanych z ograniczeniami urządzeń kompasowych na podstawie rejestrowanych oscylacji kursu, autorstwie podrozdziału 2.1 Background na podstawie samodzielnie zamontowanej aparatury pomiarowej w postaci dwóch typów kompasu na okręcie hydrograficznym oraz podłączeniu do kompasu okrętowego rejestratora danych, na opisie warunków początkowych przed rozpoczęciem rejestracji danych, na autorstwie modelu matematycznego do wyznaczenia częstości pojawiających się dewiacji kompasowych oraz zastosowaniu koncepcji analizy widmowej do oszacowania częstości pojawiania się dewiacji kompasów na podstawie szybkiej transformaty Fouriera, na autorstwie podrozdziału 2.2 Scope of Research, w którym zaprezentowałem kurs okrętu pozyskany z trzech urządzeń kompasowych w dziedzinie czasu, na autorstwie rozdziału 3 Results, w którym zaprezentowałem oscylacje dewiacji kompasowych w dziedzinie czasu, model dokładności urządzeń kompasowych oraz widmo amplitudowe dewiacji kompasu w dziedzinie częstotliwości, model filtracji dewiacji kompasu niskich częstotliwości ich występowania z wykorzystaniem filtracji środkowo-zaporowej funkcją splotu typu FIR, na prezentacji wyników badań dewiacji kompasu przed i po zastosowaniu funkcji FIR, na wyznaczeniu średnich błędów kompasu, współautorstwie rozdziału Discussion i Conclusion, na współautorstwie skryptu do wyznaczenia charakterystyk częstotliwościowych dewiacji kompasu z wykorzystaniem oprogramowania MATLAB oraz na współautorstwie odpowiedzi do recenzentów, korespondencji z redaktorem czasopisma.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 70%.

- 5.1.2. Dąbrowski, P.S., Specht, C., Felski, A., Koc, W., Wilk, A., Czaplewski, K., Karwowski, K., **Jaskólski, K.**, Specht, M., Chrostowski, P., Szmagliński, J. (2019). The Accuracy of a Marine Satellite Compass under Terrestrial Urban Conditions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(1), 18. DOI: 10.3390/jmse8010018.

IF: **2,458**. Punktacja MEiN: **40,000**. Punktacja uwzględniająca mój udział: **2,000**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na przygotowaniu platformy pomiarowej do rejestracji danych w trakcie przejazdu pojazdem szynowym.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 5%.

- 5.1.3. Felski, A., **Jaskólski, K.**, Piskur, P., Zwolak, K. (2020). Analysis of Satellite Compass Error's Spectrum. *Sensors*, 20(15), 4067. DOI: 10.3390/s20154067.

IF: 3,576. Punktacja MEiN: **100,000**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na przygotowaniu aparatury pomiarowej oraz zamontowaniu aparatury na pojeździe, rejestracji danych z kompasów, obróbce danych, opracowaniu modelu badań dokładności kompasów, przygotowaniu skryptu za pomocą aplikacji MATLAB do przeprowadzenia analizy częstotliwościowej błędów kompasu, na współautorstwie rozdziału 2.1 Background, w którym zaprezentowałem wyniki pomiarów kursu trzema urządzeniami kompasowymi, oraz na prezentacji widma amplitudowego błędów kompasu w dziedzinie częstotliwości, na porównaniu parametrów technicznych kompasów satelitarnych zaprezentowanych w rozdziale 2.2. Devices, przeprowadzeniu i obróbce danych z dobowej rejestracji pochodzących z trzech kompasów satelitarnych i prezentacji wyników w rozdziale 2.3 oraz na przeprowadzeniu testów dynamicznych urządzeń kompasowych, na prezentacji wysokości topocentrycznych satelitów oraz widoczności satelitów w miejscu wykonywania pomiarów terenowych w rozdziale 2.3.1, na prezentacji wyników widma amplitudowego dewiacji kompasów z uwzględnieniem prędkości poruszającej się platformy pomiarowej, na prezentacji oraz analizie wyników badań z prac badawczych przeprowadzonych na platformie pomiarowej zamontowanej na pojeździe szynowym zaprezentowanych w rozdziałach 2.3.2, 2.3.3, na współautorstwie rezultatów badań w rozdziale 3, współautorstwie rozdziału 4 Discussion i rozdziału 5 Conclusion.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 40%.

- 5.1.4. Piskur, P., Szymak, P., **Jaskólski, K.**, Flis, L., Gąsiorowski, M. (2020). Hydroacoustic System in a Biomimetic Underwater Vehicle to Avoid Collision with Vessels with Low-Speed Propellers in a Controlled Environment. *Sensors*, 20(4), 968. DOI: 10.3390/s20040968.

IF: **3,576**. Punktacja MEiN: **100,000**. Punktacja uwzględniająca mój udział: **5,000**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na wstępnej obróbce danych (postprocessing).

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 5%.

- 5.1.5. **Jaskólski, K.**, Marchel, Ł., Felski, A., Jaskólski, M., Specht, M. (2021). Automatic Identification System (AIS) Dynamic Data Integrity Monitoring and Trajectory Tracking Based on the Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Process Model. *Sensors*, 21(24), 8430. DOI: 10.3390/s21248430.

IF: 3,847. Punktacja MEiN: **100,000**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na autorstwie treści streszczenia: Abstract, na współautorstwie rozdziału 1 Introduction, w tym na opisie metod badań wiarygodności serwisu AIS, na autorstwie rozdziału 2.1, dotyczącego symulacji danych dynamicznych systemu AIS, na autorstwie rozdziału 2.2, dotyczącego modelu procesu śledzenia ruchu statków, autorstwie rozdziału 2.2.1 Dead Reckoning, związanego z modelem zliczenia matematycznego ruchu statku, na współautorstwie rozdziału 2.2.2, dotyczącego modelu procesu śledzenia ruchu statku na podstawie estymacji położenia obiektu z namiaru i odległości do znaku nawigacyjnego, na współautorstwie treści rozdziału 2.2.3 Motion Model, związanego

z modelem ruchu statku, na współautorstwie rozdziału 2.2.4 *Measurement Model*, autorstwie rozdziału *Integrity Model*, na autorstwie rozdziału 2.3 *Simulated Trajectories* z prezentacją danych wejściowych do symulacji, autorstwie prezentacji wyników badań dokładności pozycji statku na zaplanowanej trajektorii, autorstwie wyników badań wiarygodności danych pozycyjnych pochodzących z pięciu modeli procesu śledzenia ruchu statku po zaplanowanej trajektorii, na autorstwie rozdziału 4 *Discussion* oraz rozdziału 5 *Conclusions*, na korespondencji z redaktorem czasopisma, przygotowaniu odpowiedzi na recenzje oraz złożeniu artykułu do recenzji.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 50%.

- 5.1.6. Piskur, P., Szymak, P., Przybylski, M., Naus, K., **Jaskólski, K.**, Żokowski, M. (2021). Innovative Energy-Saving Propulsion System for Low-Speed Biomimetic Underwater Vehicles. *Energies*, 14(24), 8418. DOI: 10.3390/en14248418.

IF: 3,252. Punktacja MEiN: 140,000. Punktacja uwzględniająca mój udział: 7,000.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na opracowaniu redakcyjnym artykułu.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 5%.

- 5.1.7. **Jaskólski, K.** (2022). Methodology for Verifying the Indication Correctness of a Vessel Compass Based on the Spectral Analysis of Heading Errors and Reliability Theory. *Sensors*, 22(7), 2530. DOI: 10.3390/s22072530.

IF: 3,847. Punktacja MEiN: 100,000.

- 5.1.8. **Jaskólski, K.** (2022). Availability of Automatic Identification System (AIS) Based on Spectral Analysis of Mean Time to Repair (MTTR) Determined from Dynamic Data Age. *Remote Sensing*, (22)15, 3692. DOI: 10.3390/rs14153692.

IF: 5,349. Punktacja MEiN: 100,000.

- 5.1.9. Felski, A., **Jaskólski, K.** (2023). The Properties of a Ship's Compass in the Context of Ship Manoeuvrability. *Sensors*, 23(3), 1254. DOI: 10.3390/s23031254.

IF: 3,847. Punktacja MEiN: 100,000. Punktacja uwzględniająca mój udział: 40,000.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na sporządzeniu wyników prac badawczych na podstawie zarejestrowanych obserwacji z urządzeń nawigacyjnych. W tym celu zastosowałem przekształcenie Fouriera do przeprowadzenia analizy widmowej błędów urządzeń kompasowych w dziedzinie częstotliwości. Jestem współautorem koncepcji prac badawczych. Jestem autorem skryptu opracowanego za pomocą aplikacji MATLAB do przeprowadzenia cyfrowej analizy sygnałów, autorem rysunków i zdjęć załączonych w tekście artykułu. Byłem odpowiedzialny za kontakt z redaktorem czasopisma oraz złożenie artykułu do recenzji. Byłem współautorem odpowiedzi na recenzje artykułu.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 40%.

Artykuły opublikowane w czasopismach naukowych z aktualnego wykazu do roku 2018

- 5.1.10. **Jaskólski, K.** (2013). Zastosowanie łańcuchów Markowa w badaniu potencjalnych możliwości wykorzystania informacji automatycznego systemu identyfikacji (AIS) w aplikacjach antykolizyjnych. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 54(4), 51–72. DOI: 10.5604/0860889X/1097964.

IF: 0,000. Punktacja MEiN: 4,000.

- 5.1.11. Felski, A., **Jaskólski, K.** (2013). The Integrity of Information Received by Means of AIS During Anti-collision Manoeuvring. *TransNav-International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 7(1). DOI: 10.12716/1001.07.01.12.

IF: 0,000. Punktacja MEiN: 7,000. Punktacja uwzględniająca mój udział: 6,300.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na zarejestrowaniu danych z aparatury służącej do zapisu informacji pochodzących z odbiornika AIS, enkapsulacji danych na podstawie autorskiego narzędzia przystosowanego do dekompresji informacji pochodzących z odbiornika AIS, opracowaniu modelu dostępności i wiarygodności serwisu AIS, wyznaczeniu wartości granicznych dostępności i wiarygodności wybranych parametrów nawigacyjnych zawartych w raportach pozycyjnych, na opracowaniu 5 rozdziałów oraz wstępu i zakończenia artykułu, w tym graficznej prezentacji wyników badań wraz z opisem statystycznym, zdefiniowaniu pojęcia wiarygodności serwisu systemu AIS, na opracowaniu kryterium badania na podstawie liczby statków i liczby zarejestrowanych wierszy AIVDM wskazujących na ograniczenia dostępności i wiarygodności serwisu AIS. Jestem autorem koncepcji artykułu, autorem metodyki prac badawczych, autorem oprogramowania niezbędnego do przeprowadzenia badań. Byłem odpowiedzialny za złożenie artykułu do recenzji i przygotowanie oraz wysłanie odpowiedzi do recenzentów.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 90%.

5.1.12. **Jaskólski, K. (2013).** Availability of AIS binary data transmission based on dynamic measurements performed on the Southern Baltic and the Danish Straits. *Annual of Navigation*, 25–36. DOI: 10.2478/aon-2013-0002.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **5,000**.

5.1.13. **Jaskólski, K. (2014).** The availability of Automatic Identification System (AIS) based on latency position reports in the Gulf of Gdansk. *Annual of Navigation*, 59–74. DOI: 10.1515/aon-2015-0005.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **5,000**.

5.1.14. Felski, A., **Jaskólski, K.**, Banyś, P. (2015). Comprehensive Assessment of Automatic Identification System (AIS) Data Application to Anti-collision Manoeuvring. *The Journal of Navigation*, 68(4), 697-717. DOI: 10.1017/S0373463314000897.

IF: **1,63**. Punktacja MEiN: **30,000**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na przygotowaniu streszczenia artykułu, autorstwie rozdziału *Background*, współautorstwie rozdziału *Analysis of AIS as a source of additional information from a collision avoidance point of view*, współautorstwie rozdziału *Preliminary discussion of integrity and completeness of AIS information*, autorstwie rozdziału *The study of AIS information quality as a potential source of supplementary ARPA information*, autorstwie rozdziału *Summary*, przygotowaniu wersji edytowalnej oraz przygotowaniu odpowiedzi na recenzje, korespondencji z redaktorem *Journal of Navigation*. Dodatkowo mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na zarejestrowaniu danych z aparatury służącej do zapisu informacji pochodzących z odbiornika AIS, enkapsulacji danych na podstawie autorskiego narzędzia przystosowanego do dekompresji informacji pochodzących z odbiornika AIS w obszarze Zatoki Gdańskiej, na opracowaniu modelu danych niepełnych i wiarygodności serwisu AIS z uwzględnieniem kryterium wierszy odnoszących się do liczby wierszy AIVDM z niekompletnymi depeszami AIS w raportach pozycyjnych oraz kryterium statki odnoszącego się do liczby jednostek pływających wyposażonych w odbiornik AIS odpowiadających za stan dostępności i wiarygodności informacji dynamicznej AIS, na opracowaniu wyników badań dostępności (kompletności) i wiarygodności serwisu AIS.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 60%.

5.1.15. **Jaskólski, K. (2015).** Maritime safety in terms of the Availability for the AIS class B binary data transmission, based on static measurements, performed on the VTS Zatoka Gdanska. *Annual of Navigation*, 22/2015, 45-60. DOI: 10.1515/aon-2015-0020.

IF: **0,000**, Punktacja MEiN: **13,000**.

5.1.16. **Jaskólski, K. (2016).** Application for simulating gyro-compass behavior. *Annual of Navigation*, 23, 159-172. DOI: 10.1515/aon-2016-0011.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **13,000**.

- 5.1.17. **Jaskólski, K. (2017).** Automatic Identification System (AIS) Dynamic Data Estimation Based on Discrete Kalman Filter (KF) Algorithm. *Maritime Technical Journal*, 211(4) 71-87. DOI: 10.5604/01.3001.0010.6747.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **7,000**.

- 5.1.18. **Jaskólski, K. (2017).** Two-dimensional coordinate estimation for missing automatic identification system (AIS) signals based on the discrete Kalman filter algorithm and universal transverse mercator (UTM) projection. *Scientific Journals Maritime University of Szczecin, Zeszyty Naukowe Akademia Morska w Szczecinie*, 52(124), 82–89. DOI: 10.17402/248.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **8,000**.

Artykuły opublikowane w czasopismach naukowych spoza wykazu czasopism

- 5.1.19. Felski, A., **Jaskólski, K. (2014).** The experience in exploitation of AIS in the context of the safety at sea. Proceedings of International Symposium on Advanced Intelligent Maritime Safety and Technology, 1, 77-85. ISSN: 2289-067X.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **0,000**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na zarejestrowaniu danych z aparatury służącej do zapisu informacji pochodzących z odbiornika AIS, enkapsulacji danych na podstawie autorskiego narzędzia przystosowanego do dekompresji informacji pochodzących z odbiornika AIS, wyznaczeniu momentów dostępności, wiarygodności serwisu systemu AIS, na opracowaniu kryterium badania wiarygodności serwisu AIS na podstawie informacji zawartych w liczbie zarejestrowanych wierszy AIVDM (kryterium wiersze) oraz liczby statków odpowiedzialnych za stan serwisu (kryterium statki). na opracowaniu treści artykułu w postaci prezentacji wyników badań oraz przeprowadzeniu analizy i syntezy otrzymanych wyników. Jestem autorem koncepcji artykułu, metodyki prac badawczych, autorem oprogramowania niezbędnego do przeprowadzenia analiz dostępności i wiarygodności serwisu AIS.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 50%.

- 5.1.20. Felski, A., **Jaskólski, K. (2014).** Application of AIS Position Report to determinate Reliability Positioning Information of DGPS in area of the VTS „Gulf of Gdansk”. *European Journal of Navigation*, 1, 4–10.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **0,000**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na zarejestrowaniu danych z aparatury służącej do zapisu informacji pochodzących z odbiornika AIS, enkapsulacji danych na podstawie autorskiego narzędzia przystosowanego do dekompresji informacji pochodzących z odbiornika AIS, wyznaczeniu momentów odbioru poprawek ze stacji referencyjnych serwisu GBAS zawartych w raportach pozycyjnych systemu AIS, opracowaniu kryterium badania dostępności serwisu GBAS na podstawie informacji zawartych w liczbie zarejestrowanych wierszy AIVDM, na opracowaniu wyników badań dostępności serwisu na podstawie zaproponowanej metodyki. Jestem również autorem wstępu, analizy wyników badań oraz podsumowania. Jestem autorem koncepcji artykułu, metodyki prac badawczych oraz autorem oprogramowania niezbędnego do przeprowadzenia analiz niezawodności systemu.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 80%.

5.2. Artykuły opublikowane w czasopismach naukowych przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

Artykuły opublikowane w czasopismach naukowych z aktualnego wykazu do roku 2018

5.2.1. Felski, A., **Jaskólski, K.** (2010). Problem niezdatności informacyjnej systemu AIS. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 51(4), 77–87.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **6,000**. Punktacja uwzględniająca mój udział: **5,400**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na zarejestrowaniu danych z aparatury służącej do zapisu informacji pochodzących z odbiornika AIS, enkapsulacji danych na podstawie autorskiego narzędzia przystosowanego do dekompresji informacji pochodzących z odbiornika AIS, na opracowaniu modelu dostępności i wiarygodności serwisu AIS z uwzględnieniem kryterium wierszy odnoszących się do liczby wierszy AIVDM z niekompletnymi depezsami AIS w raportach pozycyjnych i informacji statycznej oraz kryterium statki odnoszącego się do liczby jednostek pływających wyposażonych w odbiornik AIS odpowiadających za stan dostępności i wiarygodności informacji AIS, na opracowaniu wyników badań dostępności (kompletności) i wiarygodności serwisu AIS. Jestem również autorem części wstępnej, opisu wyników badań oraz zakończenia artykułu w postaci wniosków. Jestem autorem koncepcji artykułu, metodyki prac badawczych, autorem oprogramowania niezbędnego do przeprowadzenia analiz wiarygodności serwisu AIS. Byłem odpowiedzialny za zgłoszenie artykułu do recenzji oraz przygotowanie odpowiedzi dla recenzentów.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 90%.

5.2.2. Felski, A., **Jaskólski, K.** (2011). Analiza dostępności systemu AIS. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 52(3), 15–25.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **4,000**. Punktacja uwzględniająca mój udział: **3,600**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na zarejestrowaniu danych z aparatury służącej do zapisu informacji pochodzących z odbiornika AIS, enkapsulacji danych na podstawie autorskiego narzędzia przystosowanego do dekompresji informacji pochodzących z odbiornika AIS, na opracowaniu modelu dostępności serwisu AIS na podstawie wieku danych pochodzących ze stacji bazowych systemu AIS, na opracowaniu wyników badań dostępności serwisu AIS. Jestem również autorem części wstępnej, opisu wyników badań oraz zakończenia artykułu w postaci wniosków. Jestem autorem koncepcji artykułu, metodyki prac badawczych, autorem oprogramowania niezbędnego do przeprowadzenia analiz wiarygodności serwisu AIS. Byłem odpowiedzialny za zgłoszenie artykułu do recenzji oraz przygotowanie odpowiedzi dla recenzentów.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 90%.

5.2.3. **Jaskólski, K.** (2011). Application of Markov Chains to analyse the AIS availability. *Annual of Navigation* 2011, 18, 5–12.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **5,000**.

5.2.4. Felski, A. **Jaskólski, K.** (2012). Information unfitness as a factor constraining Automatic Identification System (AIS) application to anti-collision manoeuvring. *Polish Maritime Research*, 19(3), 60-64. DOI: 10.2478/v10012-012-0032-4.

IF: **0,324**. Punktacja MEiN: **20,000**. Punktacja uwzględniająca mój udział: **16,000**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na zarejestrowaniu danych z aparatury służącej do zapisu informacji pochodzących z odbiornika AIS, enkapsulacji danych na podstawie autorskiego narzędzia przystosowanego do dekompresji informacji pochodzących z odbiornika AIS, na opracowaniu modelu dostępności i wiarygodności serwisu AIS z uwzględnieniem kryterium wierszy odnoszących się do liczby wierszy AIVDM z niekompletnymi depezsami AIS w raportach pozycyjnych i informacji statycznej oraz

kryterium statki odnoszącego się do liczby jednostek pływających wyposażonych w odbiornik AIS odpowiadających za stan dostępności i wiarygodności informacji AIS, na opracowaniu wyników badań dostępności (kompletności) i wiarygodności serwisu AIS. Jestem również autorem części wstępnej, opisu wyników badań oraz zakończenia artykułu w postaci wniosków. Jestem autorem koncepcji artykułu, metodyki prac badawczych, autorem oprogramowania niezbędnego do przeprowadzenia analiz wiarygodności serwisu AIS. Byłem odpowiedzialny za przygotowanie odpowiedzi dla recenzentów.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 80%.

5.2.5. Felski, A., **Jaskólski, K.** (2012). Information unfitness of AIS. *Annual of Navigation* 2012, 19, part 1, 17–24. DOI: 10.2478/v10367-012-0002-z.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **5,000**. Punktacja uwzględniająca mój udział: **4,000**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na zarejestrowaniu danych z aparatury służącej do zapisu informacji pochodzących z odbiornika AIS, enkapsulacji danych na podstawie autorskiego narzędzia przystosowanego do dekompresji informacji pochodzących z odbiornika AIS, na opracowaniu modelu dostępności i wiarygodności serwisu AIS z uwzględnieniem kryterium wierszy odnoszących się do liczby wierszy AIVDM z niekompletnymi depezsami AIS w raportach pozycyjnych i informacji statycznej oraz kryterium statki odnoszącego się do liczby jednostek pływających wyposażonych w odbiornik AIS odpowiadających za stan dostępności i wiarygodności informacji AIS, na opracowaniu wyników badań dostępności (kompletności) i wiarygodności serwisu AIS. Jestem również autorem części wstępnej, opisu wyników badań oraz zakończenia artykułu w postaci wniosków.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 80%.

Artykuły opublikowane w czasopismach naukowych spoza wykazu czasopism

5.2.6. Felski, A., **Jaskólski, K.** (2012). Analysis of AIS availability. *European Journal of Navigation* 2012, 10(1), 39–43. p-ISSN: 1571-473-X.

IF: **0,000**. Punktacja MEiN: **0,000**.

Mój wkład w opracowanie tego artykułu polegał na zarejestrowaniu danych z aparatury służącej do zapisu informacji pochodzących z odbiornika AIS, enkapsulacji danych na podstawie autorskiego narzędzia przystosowanego do dekompresji informacji pochodzących z odbiornika AIS, wyznaczeniu momentów dostępności, serwisu systemu AIS na podstawie depezs zarejestrowanych ze stacji bazowych systemu AIS, na opracowaniu kryterium badania dostępności serwisu AIS na podstawie wieku danych dynamicznych pochodzących ze stacji bazowych AIS w rejonie Zatoki Gdańskiej odpowiedzialnych za stan serwisu, na opracowaniu treści artykułu w postaci prezentacji wyników badań oraz przeprowadzeniu analizy i syntezy otrzymanych wyników. Jestem autorem koncepcji artykułu, metodyki prac badawczych, autorem oprogramowania niezbędnego do przeprowadzenia analiz wiarygodności serwisu AIS. Byłem odpowiedzialny za zgłoszenie artykułu do recenzji oraz przygotowanie odpowiedzi dla recenzentów.

Mój wkład procentowy w powstanie tej pracy szacuję na 80%.

6. Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3)

- 6.1. Udział w opracowaniu międzynarodowego projektu naukowo-badawczego realizowanego w Europejskiej Agencji Obrony nt. „Systemu do Inteligentnego Monitoringu Morskiego”, kr. SIMMO (System for Intelligent Maritime Monitoring). Poznań, czerwiec 2016.
- 6.2. Udział w pracach badawczych Automatyzacja nawigacji bezzałogowego nawodnego obiektu pływającego. Praca badawcza 30/12/2017. Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni. Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej. Gdynia 2017.

7. Informacja o wystąpieniach na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych

7.1. Wystąpienia na konferencjach krajowych

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

Jaskólski, K. (2017). Zastosowanie metod estymacji współrzędnych pozycji obiektu w celu minimalizacji ograniczeń dostępności serwisu AIS. Seminarium Wydziału Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. 16.11.2016.

Jaskólski, K. (2023). Modele dostępności, wiarygodności i dokładności okrętowych urządzeń nawigacyjnych. Seminarium Wydziału Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Morskiej w Szczecinie. 06.02.2023.

Przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

Jaskólski, K. (2011). Model wiarygodności serwisu automatycznego systemu identyfikacji (AIS). Seminarium Wydziału Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. 23.11.2011.

7.2. Wystąpienia na konferencjach międzynarodowych

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

7.2.1. **Jaskólski, K. (2014).** The availability of automatic identification system (AIS) based on latency position reports in the Gulf of Gdansk. Międzynarodowa Konferencja Morska NAVSUP 2014. Gdynia, 25.09 – 26.09.2014.

7.2.2. **Jaskólski, K. (2016).** The gyrocompass laboratory responsible for device simulation during different conditions. Międzynarodowa Konferencja Morska NAVSUP 2016. Jastrzębia Góra, 8.11 – 9.11.2016.

7.2.3. **Jaskólski, K. (2017).** AIS dynamic data estimation based on Kalman Filter, Seminarium HELCOM, Katajanokanlaituri 6 B. Helsinki, Finland, 09.05.2017.

7.2.4. **Jaskólski, K. (2018).** The use of extended Kalman filtering to improve the availability of Automatic Identification System (AIS) positioning. International Symposium Information on Ships & Marine Traffic Engineering Conference. Berlin, Germany 27.09 – 28.09.2018.

7.2.5. **Jaskólski, K. (2018).** Zastosowanie rozszerzonego filtru Kalmana w celu poprawy dostępności serwisu automatycznego systemu identyfikacji jednostek pływających (AIS). Międzynarodowa Konferencja Morska NAVSUP 2018. Gdynia, 15.11 – 16.11.2018.

7.2.6. **Jaskólski, K. (2022).** Dostępność serwisu Automatycznego Systemu Identyfikacji (AIS) na podstawie analizy widmowej średniego czasu między naprawami (MTTR) wyznaczonego w oparciu o wiek danych dynamicznych. Międzynarodowa Konferencja Morska NAVSUP 2022. Gdynia, 28.06 – 29.06.2022.

7.2.7. **Jaskólski, K., Felski, A., (2022).** Short-term characteristics of the automatic identification system (AIS) availability. Międzynarodowa Konferencja Morska Marine Traffic Engineering Conference MTE 2022. Kołobrzeg, 12–14.10.2022.

7.2.8. **Jaskólski, K., Felski, A., Tomczak, A., (2023).** Amplitude Spectrum of Dynamic Oscillations of Compass Errors. 15th Jubilee International Conference on Marine

Navigation and Safety of Sea Transportation TRANSNAV 2023. Gdynia 21-23.06.2023

Stan na dzień 30.06.2023 r.

Przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

- 7.2.9. Felski, A., **Jaskólski, K.** (2008). The reliability of the navigation information received by means of AIS. Międzynarodowa Konferencja NAVSUP 2008. Gdynia, Karlskrona 22.10 – 24.10.2008.
- 7.2.10. **Jaskólski, K.** (2010). Unfitness of AIS information. Międzynarodowa Konferencja NAVSUP 2010. Gdynia, 23.09 – 25.09.2010.
- 7.2.11. **Jaskólski, K.** (2012). Information unfitness as a factor constraining Automatic Identification System (AIS) application to anti-collision manoeuvring. Międzynarodowa Konferencja ENC PNF EUGIN. Gdańsk 25.04. – 27.04.2012.

Stan na dzień 30.06.2023 r.

8. Informacja o udziale w komitetach organizacyjnych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

8.1. Udział w komitetach organizacyjnych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

- 8.1.1. Europejska Konferencja Nawigacyjna ENC 2012. 25.04 – 27.04.2012. Członek komitetu organizacyjnego.
- 8.1.2. Międzynarodowa Konferencja Morska NAVSUP 2014. Gdynia, 25.09 – 26.09.2014. Członek komitetu organizacyjnego.

8.2. Udział w komitetach naukowych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

BRAK

9. Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych i zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach tych procesów

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

- 9.1. Udział w charakterze wykonawcy w pracy zespołu badawczego realizującego projekt finansowany w drodze konkursu grant NCBR oraz PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. (Nr POIR.04.01.01-00-0017/17) finansowany w ramach programu BRIK I, opracowanie innowacyjnej metody wyznaczania precyzyjnej trajektorii pojazdu szynowego, kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Cezary Specht, Uniwersytet Morski w Gdyni. Mój udział polegał na zamontowaniu aparatury pomiarowej na platformie szynowej oraz rejestracji danych kompasem satelitarnym FURUNO SC50. Efektem prac była m.in. publikacja:

Dąbrowski, P., Specht, C., Felski, A., Koc, W., Wilk, A., Czaplewski, K., Karwowski, K., **Jaskólski, K.**, Specht, M., Chrostowski, P., Szmagliński, J. (2020). The Accuracy of a Marine Satellite Compass under Terrestrial Urban Conditions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 1, 1-18. DOI: 10.3390/jmse8010018.

IF:2,458. Punktacja MEiN: 40,000. Punktacja uwzględniająca mój udział: 2,000.

(Załącznik nr 6.1: Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych i zagranicznych)

- 9.2. Udział w pracach badawczych w charakterze wykonawcy w ramach projektu „SZYBKĄ ŚCIEŻKĄ” (NCBR), nr POIR 01.01.01-00-1122/20 pt. „Uniwersalny System Pomiaru Objętości Ładunku (UBMS)”. Celem projektu była budowa prototypów systemów do automatycznego, dokładnego pomiaru objętości ładunków różnych typów przenoszonych na różnych platformach transportowych. W ramach projektu realizowane były zadania badawcze pt. „Precyzyjne określanie parametrów ruchu platformy transportowej z wykorzystaniem urządzeń satelitarnych, INS i metod teledetekcyjnych”. Celem projektu było opracowanie innowacyjnej metody wyznaczania trajektorii ruchu środka transportu za pomocą metod fotogrametrycznych, GNSS, INS, skaningu laserowego oraz opracowanie metod dokładniejszego określania wektora stanu środka transportu z wykorzystaniem systemów GNSS/INS.

W ramach projektu badawczego przeprowadziłem kilka kampanii pomiarowych, w których brałem czynny udział w charakterze specjalisty ds. systemów satelitarnych i urządzeń nawigacyjnych. Odpowiadałem za całość przedsięwzięć badawczych związanych z wykorzystaniem odbiorników GNSS, kompasów satelitarnych i kompasów okrętowych do określania wektora stanu środka transportu. Przeprowadziłem badania dokładności wskazań urządzeń kompasowych, jak również dokonałem analizy widmowej błędów wskazań w dziedzinie czasu i częstotliwości. Efektem prac badawczych była ocena przydatności wybranych metod do realizacji celów projektu.. Uzyskane wyniki badań dokładności satelitarnych urządzeń kompasowych w dziedzinie czasu i częstotliwości zaprezentowano m.in. w artykule:

Felski, A., Jaskólski, K., Piskur, P., Zwolak, K. (2020). Analysis of Satellite Compass Error's Spectrum. *Sensors*, 15, 4067. DOI: 10.3390/s20154067.

IF: 3,576. Punktacja MEiN: 100,000. Punktacja uwzględniająca mój udział: 40,000.

(Załącznik nr 6.2: Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych i zagranicznych)

Stan na dzień 19.01.2023 r.

10. Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach**10.1. Rady naukowe**

Rada Naukowa Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Federacji Akademii Wojskowych. Od 2020 r. do chwili obecnej. Członek.

10.2. Organizacje i towarzystwa naukowe krajowe przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

Polskie Forum Nawigacyjne (PNF), Gdynia. Członek. Od 2010 r. do chwili obecnej.

10.3. Organizacje i towarzystwa naukowe krajowe po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

Polskie Towarzystwo Nautologiczne (PTN). Gdynia. Członek. Od 2014 r. do chwili obecnej.

11. Informacja o stażach odbytych w instytucjach naukowych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru

- 11.1. Służba na okręcie rozpoznania elektronicznego na stanowiskach pionu rozpoznania od 9.08.2004 r. do 30.09.2010 r. Realizacja zadań związanych z rozpoznaniem radiowym

okrętów na stanowisku oficera operacyjnego rozpoznania. Pełnienie wachty nawigacyjnej w charakterze oficera wachtowego w rejsach bojowo-rozpoznawczych na okrętach ORP NAWIGATOR, ORP HYDROGRAF.

- 11.2.** Staż naukowy zrealizowany na Politechnice Morskiej w Szczecinie, na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji, kierowanym przez Pana Profesora dr. hab. inż. Zbigniewa PIETRZYKOWSKIEGO, oraz w Katedrze Elektroniki i Telekomunikacji, kierowanej przez Pana dr. hab. inż. Janusza URIASZA, prof. PM, w okresie od 1.02.2023 r. do 31.03.2023 r. (2 miesiące). Realizacja badań naukowych związanych z niezawodnością łącza transmisyjnego na podstawie emisji strumieni danych emitowanych drogą radiową na statku, dokładnością wskazań urządzeń kompasowych, z dostępnością serwisu AIS na podstawie wieku danych dynamicznych, oraz związanych z opóźnieniem czasowym danych dynamicznych AIS zarejestrowanych przez stacje bazowe w Kołobrzegu, Świnoujściu i Szczecinie.

(Załącznik nr 6.3: Informacja o stażach odbytych w instytucjach naukowych)

- 12. Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej itp.)**

BRAK

- 13. Informacja o recenzowanych pracach naukowych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych**

- 13.1. Prace naukowe w j. angielskim recenzowane po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych**

- 13.1.1. Maneuverability-Based Critical Time for Preventing Close-Quarters Situations. (2016) *Journal of Navigation*. Cambridge University Press.
- 13.1.2. Estimating Vertical Profile Irregularities from Vehicle Dynamics Measurements. (2019) *IEEE Sensors Journal*. ScholarOne Manuscripts.
- 13.1.3. A Combination Oriental Compass based on the Information of Polarized Skylight/Geomagnetic/MIMU. (2019) IEEE Access. ScholarOne Manuscripts.
- 13.1.4. A Novel Method for Risk Assessment and Simulation of collision Avoidance for Vessels Based on AIS. (2018) *Algorithms*. MDPI.
- 13.1.5. Integrating island spatial information and integer optimization for locating maritime search and rescue bases: A case study in the South China Sea. (2019) *IJGI*. MDPI.
- 13.1.6. A decision-making algorithm for maritime search and rescue plan. (2019) *Sustainability*. MDPI.
- 13.1.7. Comparing structural casualties of the Ro-Ro vessel accounting for straight and oblique collision incidents on the car deck. *JMSE*. MDPI
- 13.1.8. Maturity of Automatic Identification Systems (AIS) and its implications for innovation. (2019) *JMSE*. MDPI.
- 13.1.9. Research and Verification of Trajectory Tracking Control of a Quadrotor Carrying a Load. (2022) *Applied Sciences*. MDPI.
- 13.1.10. Parameters Influencing GNSS Signals under the Forest Canopy—a Long-Term Study. *Remote Sensing*. MDPI.
- 13.1.11. Research on Improving Satellite Positioning Accuracy Based on Multi-frequency navigation signal. (2022) *Sensors*. MDPI.

13.1.12. A Shrink-Branch-Bound algorithm for eLoran Pseudorange Positioning Initialization. (2022) *Remote Sensing*. MDPI.

13.1.13. A real-time AIS data cleaning and indicator analysis algorithm based on stream computing. (2022) *JMSE*. MDPI.

14. Informacja o uczestnictwie w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

14.1. Projekt SIMMO System for Intelligent Maritime Monitoring. Udział w charakterze doradczym (2015). Projekt EDA.

15. Informacja o udziale w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt II.9.

15.1. Granty dziekańskie przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

BRAK

15.2. Granty dziekańskie po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

BRAK

15.3. Prace statutowe przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

Lp.	Rodzaj pracy	Kryptonim	Temat	Kierownik	Termin	Instytut	Rodzaj badań
1	badawcze, statutowe	SPIEWAK	Badania ruchu statków z wykorzystaniem systemu automatycznej identyfikacji	kmdr dr hab. inż. Artur Makar, prof. AMW	1.03.2011 – 31.12.2013	INiHM	podstawowe
2	badawcze, statutowe	SIEWKA	Badanie problemów integracji czujników klasy MEMS w systemach nawigacyjnych	prof. dr hab. inż. A. FELSKI	1.03.2012 – 31.12.2014	INiHM	stosowane
3	zlecone	REMIZ	Pomiary korytowe przekrojów poprzecznych mokrych dorzecza Górnej Odry	kmdr dr hab. inż. A. Makar, prof. AMW	1.03.2012 – 30.11.2012	INiHM	podstawowe

15.4. Prace statutowe po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

Lp.	Rodzaj pracy	Kryptonim	Temat	Kierownik	Termin	Instytut	Rodzaj badań
1	badawcze, statutowe	MAGURA	Automatyzacja nawigacji bezzałogowego nawodnego obiektu pływającego	prof. dr hab. inż. Andrzej FELSKI	30.04.2015 – 31.12.2017	INiHM	stosowane
2	projekty badawcze-granty	ANCHOR	System asystujący kapitanowi w nawigacji podczas operacji w porcie	prof. dr hab. inż. Andrzej FELSKI	1.04.2014 – 28.02.2016	INiHM	BONUS-INNO NCBiR
4	badawcze, statutowe	WEZOWNIK	Synchroniczna sieć radarowa	kmdr dr hab. inż. Mariusz WAŻ, prof. AMW	1.05.2016 – 31.12.2018	INiHM	stosowane
6	badawcze, statutowe	N-3-1-1-008/2018 KALAN	Automatyzacja i autonomia procesów nawigacyjnych oraz rozwój systemów, urządzeń i technologii nawigacyjno-hydrograficznych	kmdr dr hab. inż. Mariusz WAŻ, prof. AMW	10.10.2018 – 31.12.2020	INiHM	stosowane
7	badawczy	SEKSTANT	Projekt badawczy	dr hab. inż.	15.03.2022	KNiHM	podstawowe

			finansowany z wydzielonej części subwencji	Waldemar MIRONIUK, prof. AMW	– 31.12.2022		
--	--	--	--	------------------------------	-----------------	--	--

16. Informacja o uczestnictwie w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny

BRAK

17. Nagrody i wyróżnienia za działalność naukową

- 17.1.** Wyróżnienie Polskiego Towarzystwa Nautologicznego, nagroda im. Prof. Józefa Urbańskiego za badania nad wiarygodnością informacji dynamicznej Automatycznego Systemu Identyfikacji (2013)
- 17.2.** Nagroda Rektora Komendanta III stopnia za obronę rozprawy doktorskiej przedłożonej Radzie Wydziału Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego (2013).
- 17.3.** Stypendium naukowe z tytułu działalności publikacyjnej dla pracowników AMW nadane przez prorektora do spraw nauki Akademii Marynarki Wojennej (2023).
- 17.4.** Wyróżnienie Prezydenta Federacji Akademii Wojskowych za całokształt dorobku naukowego w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport w okresie ewaluacji naukowej za lata 2017–2021 (2023).

18. Opieka nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego

BRAK

III. INFORMACJA O WSPÓŁPRACY Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM i GOSPODARCZYM

1. Wykaz dorobku technologicznego

BRAK

2. Informacja o współpracy z sektorem gospodarczym

- 2.1. Członek podkomitetu Sekcji ds. Statkowych Systemów i Wyposażenia (SSE) powołanej do współpracy z Podkomitetem IMO (Sub-Committee on Ship Systems and Equipment). Ośrodek ds. IMO przy Polskim Rejestrze Statków S.A.
- 2.2. Udział w pracach projektu MIECZNIK Ministerstwa Obrony Narodowej.
- 2.3. Ławnik Odwoławczej Izby Morskiej przy Sądzie Okręgowym w Gdańsku.
3. Uzyskane prawa własności przemysłowej, w tym uzyskane patenty, krajowe lub międzynarodowe

BRAK

4. Informacje o wdrożonych technologiach

BRAK

5. Informacje o wykonanych ekspertyzach lub innych opracowaniach wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorstw
- 5.1. Ekspertyzy i inne opracowania wykonane na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorstw po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych.
 - 5.1.1. Opinia normy obronnej pr. NO-02-A055 INFORMATYKA pt. „Format wymiany danych dla światowego systemu określania pozycji (GPS) – Wymagania (2020).
 - 5.1.2. Opinia normy obronnej pr. NO-06-A062-1_A1 2015 Urządzenia i systemy nawigacji i radiokomunikacji morskiej – Wyposażenie morskie do pomiaru prędkości i przebytej drogi (SDME) (2021), Okrętowy system obrazowania elektronicznej mapy i informacji nawigacyjnej.

6. Informacja o udziale w zespołach eksperckich lub konkursowych

- 6.1. Członek podkomitetu Sekcji ds. Statkowych Systemów i Wyposażenia (SSE) powołanej do współpracy z Podkomitetem IMO (Sub-Committee on Ship Systems and Equipment). Ośrodek ds. IMO przy Polskim Rejestrze Statków S.A.
- 6.2. Udział w pracach projektu MIECZNIK Ministerstwa Obrony Narodowej.
- 6.3. Ławnik Odwoławczej Izby Morskiej przy Sądzie Okręgowym w Gdańsku.

7. Informacja o projektach artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi

BRAK

IV. INFORMACJE NAUKOMETRYCZNE

1. Informacja o punktacji Impact Factor

IF (sumaryczny): 34,925

IF (pięć lat): 31,081

2. Informacja o liczbie cytowań publikacji wnioskodawcy z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań

Tabela 2. Informacja o liczbie cytowań publikacji (data aktualizacji: 2022.09.08)

Baza	Liczba cytowań	
	sumarycznie	z wykluczeniem autocytowań
Web of Science Core Collection	104	90
Scopus	78	69
Google Scholar	202	165

3. Informacja o posiadanym indeksie Hirscha

Tabela 3. Informacja o posiadanym indeksie Hirscha (data aktualizacji: 2023.02.08)

Baza	Indeks Hirscha	
	sumarycznie	z wykluczeniem autocytowań
Web of Science Core Collection	5	5
Scopus	6	6
Google Scholar	9	–

4. Informacja o liczbie punktów MEiN

Tabela 4. Informacja o liczbie punktów MEiN (data aktualizacji: 2023.03.31)

Lp.	Rodzaj pracy	Liczba	Punkty MEiN		sumaryczny IF. (rok publikacji) / IF (5 lat)
			całość	uwzględniające mój udział	
Przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych					
1	Artykuły w czasopismach naukowych z wykazu do 2018 roku (suma/samodzielnie)	5/1	40	34	0,324
2	Artykuły naukowe spoza wykazu czasopism (suma/samodzielnie)	2/0	–	–	–
Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych					
1	Monografie naukowe (suma/samodzielnie)	2/2	105	105	–
2	Książki autorskie (suma/samodzielnie)	2/0	105	94,5	–
3	Artykuły w czasopismach naukowych z aktualnego wykazu (od 2019 roku) (suma/samodzielnie)	9/2	880	434	33,027
4	Artykuły w czasopismach naukowych z wykazu do 2018 roku (suma/samodzielnie)	9/7	116	95,8	–
5	Artykuły naukowe spoza wykazu czasopism (suma/samodzielnie)	2/–	0	–	–
	Razem:	31/12	1246	770,3	34,981

.....
(podpis wnioskodawcy)



PODPIS ZAUFANY

KRZYSZTOF
JASKÓLSKI
05.07.2023 22:31:34 [GMT+2]
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

kmdr por. dr inż. Krzysztof JASKÓLSKI
Katedra Nawigacji i Hydrografii Morskiej
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
im. Bohaterów Westerplatte

ZASWIADCZENIA

Gdynia 2023

Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych i zagranicznych

prof. dr hab. inż. Cezary SPECHT
Kierownik Zakładu

Zakład Geodezji i Oceanografii
Wydział Nawigacyjny
Uniwersytet Morski w Gdyni
ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia

dr inż. Krzysztof JASKÓLSKI
Zakład Urządzeń i Systemów Nawigacyjnych
Katedra Nawigacji i Hydrografii Morskiej
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
ul. Śmidowicza 69, 81-127 Gdynia

ZAŚWIADCZENIE

Dotyczy: potwierdzenia udziału w pracach badawczych, w charakterze wykonawcy, grant NCBR oraz PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. (Nr POIR.04.01.01-00-0017/17) finansowany w ramach programu BRIK I.

Krzysztof Jaskólski (dr. inż.) jako pracownik badawczo-dydaktyczny, zatrudniony w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Katedra Nawigacji i Hydrografii Morskiej brał czynny udział w pracach badawczych, w charakterze wykonawcy, w ramach grantu NCBR oraz PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. (Nr POIR.04.01.01-00-0017/17).

Celem projektu badawczego pt. „Opracowanie innowacyjnej metody wyznaczania precyzyjnej trajektorii pojazdu szynowego” (InnoSatTrack), finansowanego w ramach programu BRIK I (NCBR), było opracowanie innowacyjnej metody wyznaczania trajektorii osi toru kolejowego z wykorzystaniem mobilnych metod fotogrametrycznych, GNSS, INS i skaningu laserowego 3D. Uzyskano wyniki posłużyły do efektywnego odtworzenia współrzędnych istniejącej infrastruktury torów kolejowych. Kolejnym celem było opracowanie metod dokładniejszego pozycjonowania/lokalizacji pojazdów szynowych w czasie rzeczywistym (położenie i prędkość) z wykorzystaniem systemów GNSS/INS. Ostatnim celem projektu było opracowanie systemu akwizycji i przetwarzania danych ze wszystkich systemów pomiarowych.

W ramach projektu badawczego InnoSatTrack przeprowadzono kolejową kampanię pomiarową w dniach: 28-29 listopada 2018 r w której Krzysztof Jaskólski był odpowiedzialny za zamontowanie na metalowej konstrukcji wsporczej, znajdującej się na mobilnej platformie pomiarowej kompasu satelitarnego FURUNO SC50 oraz rejestrację i późniejszą obróbkę danych metodą post-processing. Przeprowadził badania dokładności wskazań urządzenia kompasowego FURUNO SC50 oraz dokonał analizy widmowej błędów wskazania urządzenia w dziedzinie czasu i częstotliwości. Efektem prac badawczych była ocena przydatności urządzenia na potrzeby zastosowań w transporcie kolejowym. Wykazano niską przydatność morskiego kompasu satelitarnego, która zależy od rodzaju przeszkód terenowych występujących na badanym obszarze. Efektem prac był również wspólny artykuł.

Dąbrowski, P.S.; Specht, C.; Felski, A.; Koc, W.; Wilk, A.; Czaplowski, K.; Karwowski, K.; Jaskólski, K.; Specht, M.; Chrostowski, P.; Szmagliński, J. The Accuracy of a Marine Satellite Compass under Terrestrial Urban Conditions. Journal of Marine Science and Engineering 2020, 8(1), 18, doi:10.3390/jmse8010018, IF=2.033, 40 pkt MEIN, udział własny 5%.

Kierownik Projektu
Zakład Geodezji i Oceanografii
prof. dr hab. inż. Cezary SPECHT
prof. dr hab. inż. Cezary Specht

Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych i zagranicznych



Basic Solution Sp. z o.o.
ul. Myśliwska 125/36
80-175 Gdańsk
tel.: +48 883 911 654

www.basicsolution.eu
office@basicsolution.eu
NIP: 587-170-66-68
REGON: 354427452

Gdańsk, dnia 14 grudnia 2022 r.

dr inż. Krzysztof JASKÓLSKI
Zakład Urządzeń i Systemów Nawigacyjnych
Katedra Nawigacji i Hydrografii Morskiej
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
ul. Śmidowicza 69, 81-127 Gdynia

Z A Ś W I A D C Z E N I E

O udziale w charakterze wykonawcy w pracach badawczych realizowanych przez Basic Solution Sp. z o.o. w ramach projektów B+R współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Krzysztof Jaskólski (dr. inż.) jako pracownik badawczo-dydaktyczny, zatrudniony w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Katedra Nawigacji i Hydrografii Morskiej brał czynny udział w pracach badawczych, w charakterze wykonawcy, w ramach projektów:

- 1) *Laserowy System Pomiaru Objętości Ładunku (LBM)* – projekt realizowany ze środków własnych
- 2) *Uniwersalny System Pomiaru Objętości Ładunku (UBMS)* – projekt nr POIR.01.01.01-00-1122/20 realizowany w ramach konkursu „Szybka ścieżka” Narodowego Centrum Badań i Rozwoju

Celem powyższych projektów była budowa prototypów systemów do automatycznego, dokładnego pomiaru objętości ładunków różnych typów, przenoszonych na szerokiej gamie platform transportowych. W ramach obu projektów realizowane były zadania badawcze pt. „Precyzyjne określanie parametrów ruchu platformy transportowej z wykorzystaniem urządzeń satelitarnych, INS i metod teledetekcyjnych”. Ich celem było opracowanie innowacyjnej metody wyznaczania trajektorii ruchu środka transportu za pomocą metod fotogrametrycznych, GNSS, INS i skaningu laserowego oraz opracowanie metod dokładniejszego określenia wektora stanu środka transportu z wykorzystaniem systemów GNSS/INS.

W ramach w/w projektów badawczych przeprowadzono kilka kampanii pomiarowych, w których Krzysztof Jaskólski brał czynny udział w charakterze specjalisty ds. systemów satelitarnych i urządzeń nawigacyjnych. Odpowiadał za całość przedsięwzięć badawczych związanych z wykorzystaniem odbiorników GNSS, kompasów satelitarnych i kompasów okrętowych do określenia wektora stanu środka



Basic Solution Sp. z o.o.
ul. Myśliwska 125/36
80-175 Gdańsk
tel.: +48 883 911 654

www.basicsolution.eu
office@basicsolution.eu
NIP: 587-170-66-68
REGON: 354427452

transportu. Przeprowadził badania dokładności wskazań urządzeń kompasowych oraz dokonał analizy widmowej błędów wskazań w dziedzinie czasu i częstotliwości. Efektem prac badawczych była ocena przydatności wybranych metod do realizacji celów projektów. Uzyskane wyniki badań dokładności satelitarnych urządzeń kompasowych w dziedzinie czasu i częstotliwości zaprezentowano m.in. w artykule naukowym:

Felski A, Jaskólski K, Zwolak K, Piskur P. Analysis of Satellite Compass Error's Spectrum. Sensors 2020, 20(15), 4067; <https://doi.org/10.3390/s20154067>,

Opisano w nim metodę wykorzystującą analizę spektrum amplitudowego oscylacji błędów kompasu w dziedzinie częstotliwości. Dodatkowo, przeprowadzono eksperyment zagłuszania (jamming) pracy satelitarnych urządzeń kompasowych.

Kierownik B+R Projektu

dr inż. Aleksander NOWAK

Współwłaściciel i członek zarządu Basic Solution Sp. z o.o.



80-175 GDANSK
UL. MYŚLIWSKA 125/36
office@basicsolution.eu
+48 883 911 654
+48 884 626 568
www.basicsolution.eu

NIP: 5871706668 REGON: 354427452 KRS: 0000617444

Informacja o stażach odbytych w instytucjach naukowych



Wydział Informatyki i Telekomunikacji
ul. Waly Chrobrego 1-2 70-500 Szczecin
tel. (+48 91) 48 09 894 www.pm.szczecin.pl
e-mail: di@pm.szczecin.pl

POLITECHNIKA MORSKA SZCZECIN POLITECHNIKA MORSKA SZCZECIN POLITECHNIKA MORSKA SZCZECIN

Szczecin, 31.03.2023r.

Zaświadczenie o odbyciu stażu naukowego

Niniejszym zaświadcza się, iż kmdr. por. dr inż. Krzysztof Jaskółski odbył w okresie 1.02.2023r. – 31.03.2023r. staż naukowy.

Staż odbyty został w Politechnice Morskiej w Szczecinie, Wydział Informatyki i Telekomunikacji, Katedra Elektroniki i Telekomunikacji. Podczas stażu naukowego Pan kmdr. por. dr inż. Krzysztof Jaskółski badał charakterystykę widmowych oscylacji zmian wybranych parametrów urządzeń oraz zapoznał się z:

- bazą dydaktyczną,
- bazą naukową,
- rodzajem i zakresem badań prowadzonych w PM,
- przedstawił swój dorobek i zainteresowania naukowe,
- uczestniczył w gromadzeniu i analizie strumieni danych nawigacyjnych emitowanych drogą radiową ze statków poprzez system AIS,
- odbył rejs badawczy statkiem Nawigator XXI.

DZIEKAN
Wydziału Informatyki i Telekomunikacji
prof. dr hab. inż. Zbigniew Pietrzykowski

KIEROWNIK
Katedry Elektroniki i Telekomunikacji
dr hab. i.ż. Jacek Ułasz, prof. PM



PODPIS ZAUFANY

KRZYSZTOF
JASKÓLSKI

05.07.2023 22:54:42 (GMT+2)

Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

