

PIETRZYKOWSKI Zbigniew<sup>1</sup>

### WIEDZA EKSPERTÓW W ANALIZIE I OCENIE BEZPIECZEŃSTWA ŻEGLUGI NA AKWENIE OGRANICZONYM

*W artykule przedstawiono wybrane możliwości pozyskania i wykorzystania wiedzy nawigatorów do analizy i oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego na akwenach ograniczonych. Reprezentacja pozyskanej wiedzy w tym zakresie umożliwia implementację kryteriów oceny bezpieczeństwa w nawigacyjnych systemach informatycznych. Pozwala to na pełniejsze uwzględnienie czynnika ludzkiego w procesach wspomagania podejmowania decyzji nawigacyjnych.*

### EXPERT KNOWLEDGE IN THE ASSESSMENT OF NAVIGATIONAL SAFETY IN RESTRICTED AREAS

*Some possibilities of using the knowledge of navigators for the analysis and assessment of navigational safety in restricted areas are presented. The representation of acquired knowledge in this field enables implementation of safety assessment criteria in navigational information systems. This, in turn, allows to better take into consideration the human factor in navigational decision support processes.*

#### 1. WSTĘP

Zapewnienie bezpieczeństwa ludzi, statku, ładunku i środowiska przy wzrastającej intensywności ruchu statków jest jednym z podstawowych zadań zarówno nawigatorów prowadzących statki jak i ośrodków lądowych nadzorujących i zarządzających ruchem statków. Dużo uwagi poświęca się statkom przewożącym ładunki niebezpieczne (tankowce, gazowce, chemikaliowce), szczególnie na akwenach ograniczonych, w tym obszarach podejściowych do portów, torach wodnych i obszarach portowych. Złożoność sytuacji nawigacyjnych i liczba informacji z tym związanych stanowią potencjalne źródło błędów ludzkich, skutkujących wypadkami morskimi.

Podstawą zarówno bezpiecznego prowadzenia statku jak i zarządzania ruchem statków jest prawidłowa analiza i ocena sytuacji nawigacyjnej w czasie rzeczywistym (online). Ocena bezpieczeństwa nawigacyjnego istotna jest również w analizach i pracach projektowych dotyczących budowy i modernizacji dróg wodnych (off line). Dąży się przy tym do wykorzystania w coraz szerszym zakresie wiedzy i doświadczenia ekspertów

---

<sup>1</sup> Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Instytut Technologii Morskich; 70-500 Szczecin;  
ul. Wały Chrobrego 1-2. Tel: +48 91 480 94 96, e-mail: z.pietrzykowski@am.szczecin.pl

nawigatorów, m.in. stosowanych przez nich kryteriów oceny sytuacji nawigacyjnej. Służą temu rozwijane systematycznie w ramach inżynierii wiedzy metody i narzędzia pozyskiwania i reprezentacji wiedzy.

## 2. KRYTERIA ANALIZY I OCENY SYTUACJI NAWIGACYJNEJ NA AKWENIE OGRANICZONYM

Akwen ograniczony jest definiowany najczęściej jako obszar wód, na którym występują zakłócenia układu falowego wytwarzanego przez poruszający się z pełną prędkością statek. Charakteryzuje się brakiem swobodnego wyboru drogi oraz koniecznością przestrzegania zasad bezpieczeństwa z uwzględnieniem lokalnych warunków (ograniczoność jednego z trzech wymiarów określających odległość statku od innych obiektów).

Manewry na akwenu ograniczonym są związane z rodzajem drogi wodnej, na której są wykonywane [5]: tor wodny (odcinek prostoliniowy, zakole), wejście do portu; kotwicowisko; obrotnica; basen portowy z nabrzeżami; śluza. Manewrami wykonywanymi na wymienionych rodzajach dróg wodnych są: przejście torem wodnym, kotwiczenie, obracanie, cumowanie/odcumowanie, wejście/wyjście do/ze śluzy. Sposób wykonania manewru i wybór trajektorii ruchu statku zależy od parametrów akwenu i statku, istniejących warunków hydrometeorologicznych jak również od kwalifikacji (wiedzy, doświadczenia i umiejętności) nawigatora sterującego ruchem statku.

Przejście statku torem wodnym wymaga uwzględnienia ruchu innych jednostek pływających oraz występujących na akwenu niebezpieczeństw hydrograficznych (kształt akwenu, formy ukształtowania dna morskiego, budowle hydrotechniczne, wraki, itp.). W sytuacjach spotkań statków są realizowane manewry mijania, wyprzedzania, przecięcia kursu, podążania za innym statkiem, mijania statku zacumowanego lub zakotwiczonego.

Do czynników uwzględnianych w analizie i ocenie sytuacji nawigacyjnej zaliczyć można między innymi wielkość i własności manewrowe statku, parametry akwenu, po którym porusza się statek, warunki hydrologiczno meteorologiczne, prędkość statku i prędkości względne innych statków, intensywność ruchu statków na danym akwenu, dokładność wyznaczenia pozycji, stopień wyszkolenia, wiedza i doświadczenie nawigatorów.

Stosowanie kryteriów analizy i oceny sytuacji nawigacyjnej wymaga wprowadzenia miar i wskaźników ilościowych lub jakościowych (odległość, czas, energia uderzenia, wskaźniki poziomu bezpieczeństwa). Są nimi m.in. odległość od innych obiektów, odległość największego zbliżenia (CPA) i czas do jej osiągnięcia (TCPA), wskaźniki poziomu bezpieczeństwa/niebezpieczeństwa, domena statku. O ile przepisy nie stanowią inaczej, kryteria określa nawigator.

Ograniczoność akwenu manewrowego powoduje, że kryterium odległości największego zbliżenia CPA, stosowane w systemach antykolizyjnych, jest w większości wypadków trudne do zastosowania. W ogólnym przypadku określenie poziomu bezpieczeństwa żeglugi wiąże się z wyznaczeniem wskaźnika bezpieczeństwa żeglugi. Wskaźnik ten można przedstawić w postaci funkcjonału P [5]:

$$P = F(B, R, S, M) \quad (1)$$

gdzie  $B$  – parametry akwenu,

- R* – parametry obiektu pływającego,
- S* – parametry systemu określania pozycji,
- M* – parametry hydrometeorologiczne.

Jako kryterium oceny przyjmuje się najczęściej określoną minimalną wartość wymienionego wskaźnika. Podstawowy problem stanowią trudności w analitycznym opisie funkcjonau.

Alternatywą dla kryterium odległości największego zbliżenia jest kryterium domeny statku. W procesie prowadzenia statku nawigator dąży do zachowania określonego obszaru wokół statku wolnego od innych obiektów nawigacyjnych. - domeny statku. Obecność obiektu obcego w obszarze domeny interpretowane jest jako zagrożenie bezpieczeństwa nawigacyjnego. Poszerzeniem i uogólnieniem domeny statku jest rozmyta domena statku [8], tj. obszar wokół statku, który nawigator statku powinien utrzymać wolny od innych jednostek i obiektów, którego kształt i wielkość są uzależnione od przyjętego poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego. Zarówno w przypadku domeny jak i domeny rozmytej podstawowym problemem jest określenie granicy (granic) domeny.

Wśród metod wyznaczania domeny statku wyróżnić można trzy grupy: metody statystyczne, analityczne i sztucznej inteligencji. Dla wszystkich wymienionych metod charakterystyczne jest dążenie do wykorzystania wiedzy nawigatorów, zarówno proceduralnej jak i deklaratywnej. Ma ona różną postać: faktów (metody statystyczne), teorii z różnych dziedzin (metody analityczne), reguł, drzew decyzyjnych, systemów wnioskowania rozmytego czy sztucznych sieci neuronowych uczonych na podstawie zgromadzonych faktów (metody sztucznej inteligencji).

### 3. ŹRÓDŁA I METODY POZYSKIWANIA WIEDZY NAWIGACYJNEJ

Przyjmuje się, że wiedza to ogół wiadomości o rzeczywistości wraz z umiejętnością ich wykorzystania. Poprzez wiedzę nawigacyjną należy rozumieć zbiór danych, faktów, reguł, procedur, strategii postępowania oraz teorii wraz z umiejętnością ich interpretacji i wnioskowania [15]. Umożliwia ona nawigatorowi realizację podstawowego zadania nawigacji morskiej, jakim jest bezpieczne przeprowadzenie statku pomiędzy punktami drogi w każdej sytuacji. Dotyczy to także przypadków, gdy nawigator dysponuje informacją niepełną bądź niepewną.

Źródłami wiedzy z zakresu analizy i oceny sytuacji nawigacyjnej są teorie naukowe oraz wiedza deklaratywna nawigatorów, nabywana przez nich w ramach studiów, szkoleń, kursów oraz praktyki morskiej. Stanowią one jednocześnie podstawę dla opracowywanych usystematyzowanych zasad postępowania w postaci przepisów, zaleceń i procedur (wiedza proceduralna).

Z punktu widzenia możliwości implementacji wiedzy w nawigacyjnych systemach informatycznych szczególnie przydatna jest wiedza proceduralna. Jednak złożoność systemów i procesów rzeczywistych oraz występujące nieprecyzyjności bądź niedokładności w ich opisie powodują, że konieczne jest uwzględnienie wiedzy wynikającej z doświadczenia nawigatorów (wiedza deklaratywna). Ma ona najczęściej charakter opisowy, często wyraża się poprzez zbiory faktów (przesłanek i implikacji). W tym przypadku jej głównym źródłem są fakty dotyczące określonego zagadnienia. Uzyskuje się je za pomocą różnych metod badawczych w ramach badań [5]:

- rzeczywistych:
  - obserwacji (bierne),
  - eksperymentów (czynne),
- modelowych:
  - fizycznych (opartych na modelach materialnych),
  - matematycznych.

Rozwój technologii informacyjnych pozwala na coraz szersze pozyskiwanie danych o rzeczywistym ruchu statków w ramach badań rzeczywistych biernych. Przykładem są dane pozyskiwane z systemów automatycznej identyfikacji statków (AIS - Automatic Identification System), w tym gromadzone i udostępniane w tworzonych dla tych celów bazach danych (np. bazy danych Helcom) oraz dane rejestrowane w statkowych rejestratorach podróży (VDR - Voyage Data Recorder). Analiza statystyczna wymienionych danych umożliwia identyfikację rzeczywistych zachowań nawigatorów. Do tej grupy metod zalicza się również badania ekspertowe, prowadzone najczęściej w formie badań ankietowych. Uzyskane tą drogą fakty stanowią jakościowy opis badanych zjawisk, w tym kryteriów analizy i oceny sytuacji nawigacyjnych stosowanych przez nawigatorów. Badania rzeczywiste czynne stosowane są w ograniczonym zakresie ze względu na wysokie koszty badań oraz ryzyko związane z ich prowadzeniem i dotyczą głównie identyfikacji parametrów ruchu statków w oparciu o przeprowadzane próby manewrowe [5].

Szczególne znaczenie w procesie pozyskiwania wiedzy nawigatorów mają badania modelowe. Duże możliwości stwarzają badania modelowe realizowane w oparciu o modele fizyczne statków sterowane przez człowieka w treningowych ośrodkach manewrowych. Ograniczeniami są, obok kosztów prowadzenia badań, zmiany skali czasu, prędkości, warunków zewnętrznych, w tym akwenu manewrowego i warunków hydrologiczno meteorologicznych. Znacznie szerzej stosowane w procesie pozyskiwania wiedzy są badania modelowe oparte na modelach matematycznych, głównie modelach symulacyjnych [5, 6, 16, 17]. Dotyczy to w szczególności modeli nieautonomicznych. Są to modele interaktywne, sterowane przez człowieka i pracujące w czasie rzeczywistym, wyposażone w specjalistyczne moduły zobrazowania informacji, symulacji ruchu statku oraz sterowania jego ruchem. Umożliwiają symulację warunków rzeczywistych, realizację różnych scenariuszy sytuacji nawigacyjnych, istotnych z punktu widzenia prowadzonych badań, oraz rejestrację przebiegu eksperymentów (faktów). Badania prowadzone z wykorzystaniem modeli nieautonomicznych mogą być uzupełniane badaniami ekspertowymi [1, 3, 7]. Modele autonomiczne z zaimplementowanym modułem sterującym, symulującym proces sterowania statkiem przez nawigatora, wykorzystują wcześniej pozyskaną wiedzę ekspertów. Stosowane są głównie w badaniach wymagających wykonania wielu eksperymentów dla celów późniejszych analiz, np. badań wpływu parametrów statków, akwenów, warunków hydrologiczno meteorologicznych, parametrów systemów regulacji ruchu na bezpieczeństwo żeglugi. Wyniki badań prowadzonych z wykorzystaniem modeli autonomicznych mogą służyć także weryfikacji i aktualizacji zaimplementowanej wiedzy.

#### **4. REPREZENTACJA WIEDZY NAWIGATORÓW**

Wykorzystanie wiedzy nawigatorów w nawigacyjnych systemach informatycznych wymaga jej przetworzenia do postaci możliwej do zaimplementowania w tego typu

systemach. Proces ten określa się mianem odkrywania wiedzy i obejmuje szereg etapów: gromadzenia, integracji, selekcji, konsolidacji danych, eksploracji danych oraz reprezentacji odkrytych prawidłowości. Szczególne znaczenie mają:

- eksploracja danych, polegająca na automatycznym odkrywaniu prawidłowości w zgromadzonych danych: nietrywialnych, dotychczas nieznanach, potencjalnie użytecznych reguł, zależności, wzorców schematów, podobieństw lub trendów.
- reprezentacja wiedzy, umożliwiająca wykorzystanie jej (wiedzy) m. in. do interpretacji faktów, wnioskowania w analizowanym zakresie.

Podstawowymi metodami eksploracji danych są grupowanie, odkrywanie asocjacji (związków) pomiędzy grupami elementów, odkrywanie wzorców sekwencji (zależności pomiędzy występowaniem określonych zdarzeń w czasie) oraz odkrywanie charakterystyk (związanych opisów analizowanego zbioru danych, znajdowaniu lub zależności funkcyjnych pomiędzy zmiennymi opisującymi zbiór danych). Najczęściej stosowanymi w tym zakresie są metody statystyczne i metody sztucznej inteligencji, a wśród ostatnio wymienionych uczenie maszynowe, sztuczne sieci neuronowe, logika rozmyta. Stosowane w nich metody i techniki przetwarzania różnią się zakresem zastosowań, stosowanymi algorytmami rozwiązań oraz sposobem prezentacji wyników (reprezentacja wiedzy).

Jedną z możliwości jest zastosowanie algorytmów uczenia maszynowego do wyznaczenia drzew decyzyjnych i reguł wnioskowania dla celów analizy i oceny sytuacji nawigacyjnej na akwenu ograniczonym. Umożliwiają one klasyfikację sytuacji do ustalonych grup, w najprostszym przypadku sytuacji bezpiecznej lub sytuacji niebezpiecznej. Przykładem są algorytmy FOIL oraz C4.5 [9]. Danymi dla wymienionych algorytmów są fakty zgromadzone na podstawie badań symulacyjnych (modele nieautonomiczne), uzupełnione badaniami ekspertowymi.

```

dy <= -32.04 :
| dfi <= 2.2 : 1 (35.0/1.4)
| dfi > 2.2 :
| | dy <= -41.81 : 1 (9.0/1.3)
| | dy > -41.81 :
| | | dfi <= 3.8 : 1 (4.0/2.2)
| | | dfi > 3.8 : 0 (8.0/1.3)
dy > -32.04 :
| dy <= 29.86 : 0 (164.0/18.3)
| dy > 29.86 :
| | dfi > -2.4 : 1 (19.0/3.7)
| | dfi <= -2.4 :
| | | dy <= 34.21 : 0 (6.0/1.2)
| | | dy > 34.21 :
| | | | omega <= -7.8 : 0 (4.0/2.2)

```

Rys. 1. Drzewo decyzyjne oceny sytuacji nawigacyjnej dla podziału na sytuacje: 0 – bezpieczna; 1 – niebezpieczna; dy – zejście statku i z osi toru wodnego [m], dfi – odchylenie statku od zadanego kursu [°]; omega – prędkość kątowna statku [°/min] (algorytm C4.5).

Źródło: [9]

Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If dy>-32.04 and dy<=11.4 and dfi>-2.4.  
 Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If dfi<=-2.5 and dfi>-10.2 and dy<=34.21 and dy>-25.52.  
 Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If dy>-39.64 and dfi>4 and omega>-17.1 and dy<=20.09.  
 Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If dy>-32.04 and dy<=29.86 and dfi<=-3.1 and dfi>-7.  
 Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If dy<=29.86 and dy>23.35 and omega>-9.7.  
 Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If dy>35.29 and dy<=36.38 and omega>-14.9.  
 Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If dfi<=0.5 and omega<=-25.5.  
 Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If omega<=-13.4 and omega>-17.1 and dy<=28.78.  
 Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If dfi<=-3.8 and dfi>-4.6 and dy<=37.47.  
 Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If dfi<=-8.2 and dfi>-11.8 and dy>-24.43.  
 Safe\_situation(dy,dfi,omega) : If omega<=-20.1 and omega>-21.7.

Rys. 2. Reguły oceny sytuacji nawigacyjnej dla podziału na sytuacje: 0 – bezpieczna; 1 – niebezpieczna; reguły dla klasy 1 – sytuacja bezpieczna; dy – zejście statku z osi toru wodnego [m]; dfi – odchylenie statku od zadanego kursu [°]; omega – prędkość kątowna statku [%/min] (algorytm FOIL)

Źródło: [9]

Wiedza w tej postaci - wygenerowane drzewa decyzyjne i reguły wnioskowania (wiedza symboliczna) - spełnia warunek czytelności (przejrzystości), jest możliwa do bezpośredniej implementacji w systemach informatycznych oraz, co istotne, umożliwia objaśnianie generowanych wniosków o stanie (poziomie) bezpieczeństwa nawigacyjnego.

Ograniczeniem wymienionych metod jest ograniczona liczba grup, do których klasyfikowane są sytuacje (w rozpatrywanym przypadku – 2. W pracy [7] zaproponowano metodę wyznaczania poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego opartą na reprezentacji wiedzy ekspertów nawigatorów z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych z logiką rozmytą. Sieci te, po przeprowadzeniu procesu uczenia, umożliwiają ocenę sytuacji wg kryteriów stosowanych przez nawigatorów. Dane uczące stanowią fakty zgromadzone w ramach badań symulacyjnych i ekspertowych. Są nimi parametry charakteryzujące sytuację nawigacyjną (między innymi parametry wektora stanu statku) oraz oceny poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego rejestrowanych sytuacji, dokonane przez nawigatorów w trakcie symulacji. Zadaniem sieci jest realizacja odwzorowania:

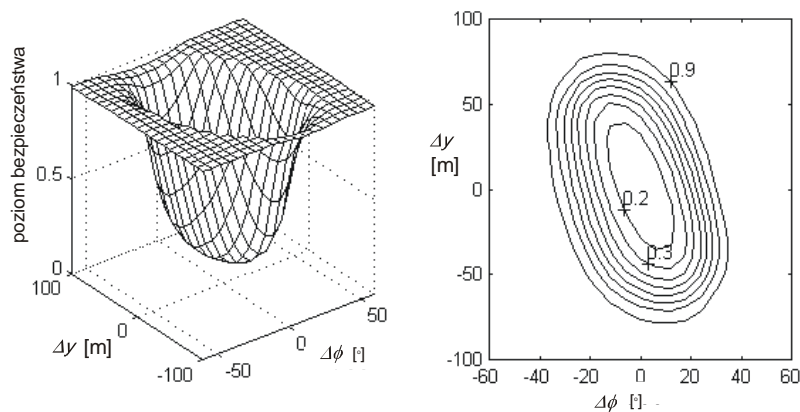
$$\gamma = f(\Delta y, \Delta \phi, \omega) \quad (2)$$

gdzie  $\Delta y$  – zejście z osi toru,

$\Delta \phi$  – odchylenie od kursu zalecanego;

$\omega$  – prędkość kątowna

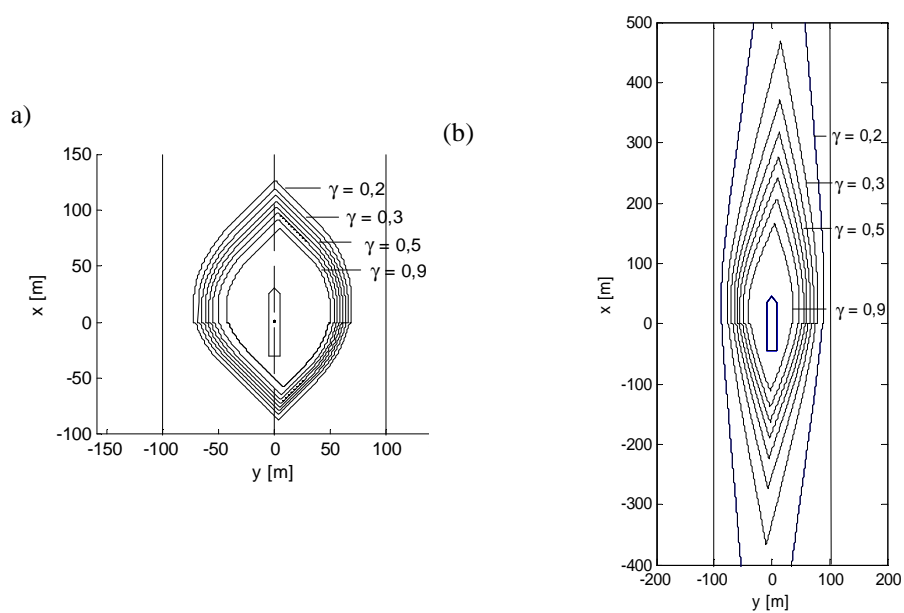
W przeciwieństwie do drzew decyzyjnych i reguł wnioskowania sztuczne sieci neuronowe są przykładem niesymbolicznej reprezentacji wiedzy (wiedza zawarta w strukturze połączeń oraz wagach i funkcjach aktywacji sztucznych neuronów), co utrudnia interpretację i uzasadnienie (objaśnianie) odpowiedzi sieci. Mogą być wykorzystane do wyznaczenia obszarów o zadanym poziomie bezpieczeństwa nawigacyjnego - domeny statku, w szczególności domeny rozmytej [8, 10, 11].



Rys. 3. Wartości poziomu bezpieczeństwa dla statku o długości 95 [m], szerokości 18[m] i zanurzeniu 5,5 [m] ( $\omega = -8$  [°/min]);  $\Delta\phi$  – odchylenie od osi toru;  $\Delta y$  – zejście z osi toru. Odpowiedzi sieci nauczonej na podstawie średnich ocen kapitanów

Źródło: [11]

Na rys. 5 przedstawiono przykłady domen statków wyznaczonych na podstawie odpowiedzi sieci [13].



Rys. 5. Domena rozmyta statku na torze wodnym o szerokości 200 [m]: a) statek długości 60,33 [m], szerokości 10,5 [m] i zanurzeniu 3,5 [m]; b) statek długości 95 [m], szerokości 18[m] i zanurzeniu 5,5 [m]

Źródło: [13]

Analiza i ocena sytuacji nawigacyjnej jest również niezbędna do planowania, realizacji i kontroli wykonywanych manewrów. Prowadząc statek po akwenu ograniczonym nawigator musi zachować bezpieczną odległość od innych obiektów a jednocześnie uwzględnić obowiązujące przepisy, specyfikę akwenu i aktualną sytuację w ruchu na tym akwenu. Brak swobodnego wyboru drogi, wynikający z ukształtowania akwenu ograniczonego, często wzmożonego ruchu statków i konieczność realizacji manewrów: mijania, wyprzedzania, przecięcia kursu, podążania za innym statkiem, mijanie statku zacumowanego lub zakotwiczonego i innych, wymaga zachowania szczególnej ostrożności. Kryteriami, które stosuje, są [12]:

- kryteria bezpiecznej odległości mijania, wyprzedzania, przecięcia kursów innych statków lub obiektów,
- kryterium widocznej, dopuszczalnej, zmiany kursu,
- kryterium (o ile dotyczy) sterowania wzdłuż wyznaczonej osi toru, lub trajektorii rekomendowanej,
- kryteria ekonomiczne: straty czasu, straty drogi, zużycia paliwa itp..

Kryteria te można wyznaczyć m.in. na podstawie badań ekspertowych. Do ich identyfikacji i reprezentacji w pracy [11] zaproponowano aparat teorii zbiorów rozmytych. Przykładowo, są to zbiory rozmyte przesunięcia trajektorii względem trajektorii rekomendowanej (osi toru), widocznej dopuszczalnej zmiany kursu, jeżeli występują, bezpiecznej odległości od zacumowanego bądź kotwiczonego statku, opisane odpowiednimi funkcjami przynależności.

## 5. IMPLEMENTACJA WIEDZY NAWIGATORÓW

Podstawą każdej decyzji w sterowaniu ruchem statku jest analiza i ocena sytuacji. Implementacja wiedzy nawigatorów z tego zakresu w systemach nawigacyjnych pozwala uwzględnić kryteria stosowane przez nawigatorów. Zadanie to w przypadku akwenów ograniczonych jest jednak dużo bardziej złożone aniżeli dla akwenów otwartych. Głównym powodem jest większa liczba czynników, które należy uwzględnić. Wynika to ze specyfiki akwenu, w tym ograniczeń w wyborze drogi czy manewru. Stąd też badania w zakresie pozyskiwania, reprezentacji i implementacji wiedzy nawigatorów dotyczą wybranych akwenów, statków i manewrów przez nich wykonywanych.

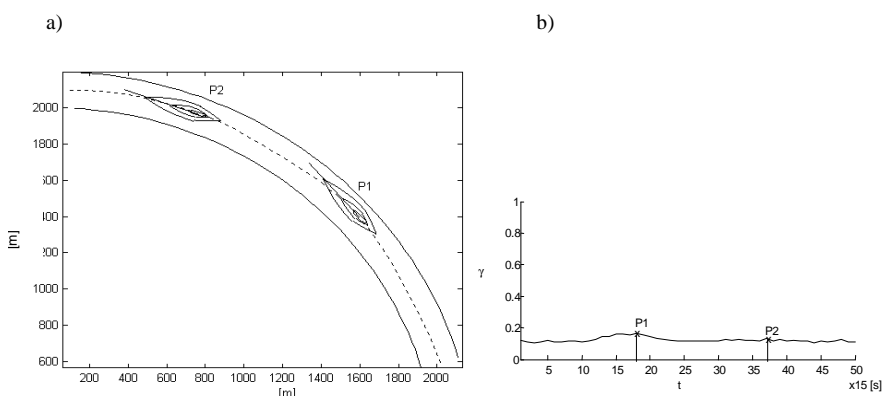
Zaimplementowana wiedza nawigatorów może stanowić istotny element nawigacyjnych systemów wspomagania decyzji na statkach jak i w lądowych ośrodkach nadzoru i zarządzania ruchem statków. Może być również wykorzystana w do późniejszych analiz rzeczywistych procesów ruchu. Ważnym obszarem zastosowań są również modele symulacyjne zarówno autonomiczne (moduł sterowania ruchem statku), wykorzystywane głównie w badaniach naukowych, jak i nieautonomiczne (wspomaganie decyzji, np. w procesie szkolenia).

Przykładami są m. in. implementacja kryterium rozmytej domeny statku do analizy i oceny sytuacji nawigacyjnej na akwenach ograniczonych - torach wodnych (odcinki prostoliniowe, łuki) oraz implementacja kryteriów wyboru drogi do planowania manewrów w sytuacjach spotkań statków.

Na rys. 5 i 6 przedstawiono przykład implementacji kryterium rozmytej domeny statku do oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego w ruchu statku (długość 95 [m], szerokość 18

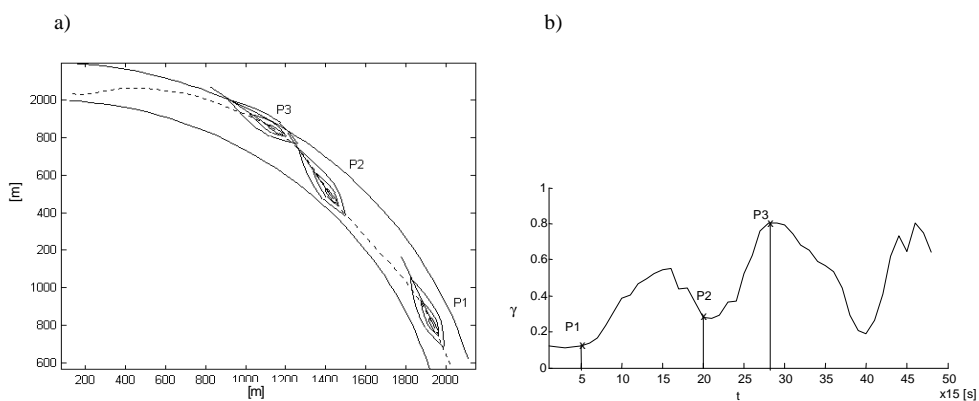


[m]) na łuku toru wodnego o szerokości 200 [m] Zobrazowano trajektorie ruchu statku oraz rejestrowane w trakcie eksperymentu wartości poziomu bezpieczeństwa [1].



Rys. 6. Analiza i ocena sytuacji nawigacyjnej w ruchu statku po łuku toru wodnego - przejazd bezpieczny statku na łuku toru wodnego: a) trajektoria ruchu; b) poziom bezpieczeństwa nawigacyjnego  $\gamma$

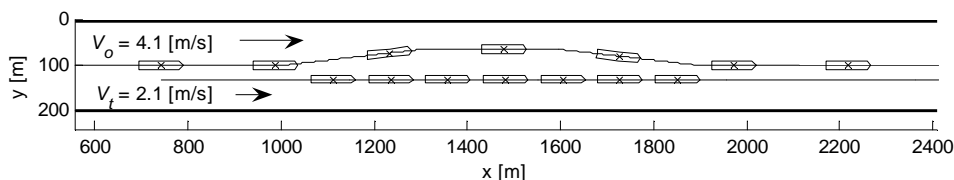
Źródło: [1]



Rys. 6. Analiza i ocena sytuacji nawigacyjnej w ruchu statku po łuku toru wodnego - przejazd niebezpieczny: a) trajektoria ruchu; b) poziom bezpieczeństwa nawigacyjnego  $\gamma$

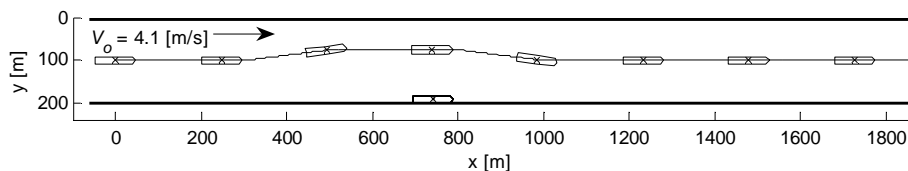
Źródło: [1]

Rys. 7 i 8 przedstawiają przykład implementacji kryteriów wyboru drogi do planowania manewrów w sytuacjach spotkań statków (długość 95 [m], szerokość 18 [m]) na torze wodnym o szerokości 200 [m] [12].



Rys.7. Trajektorie ruchu statków na akwenu ograniczonym; manewr wyprzedzania; pozycje statków ( $x$ ) w odstępach czasowych 60 [s]

Źródło: [12]



Rys.8. Trajektorie ruchu statków na akwenu ograniczonym; manewr minięcia zacumowanego statku; pozycje statku ( $x$ ) w odstępach czasowych 60 [s]

Źródło: [12]

## 6. WNIOSKI

Podejmowanie decyzji w sterowaniu ruchem statku wymaga od nawigatora wcześniejszego przeprowadzenia analizy i oceny sytuacji nawigacyjnej. Pozyskanie, reprezentacja wiedzy nawigatorów z tego zakresu umożliwia implementację stosowanych przez nich kryteriów we współczesnych systemach nawigacyjnych.

Liczba i złożoność czynników wpływających na analizę i ocenę sytuacji nawigacyjnej na akwenach ograniczonych powoduje, że badania w zakresie pozyskiwania, reprezentacji i implementacji wiedzy nawigatorów dotyczą wybranych akwenów, statków i manewrów przez nich wykonywanych.

Zaimplementowana wiedza nawigatorów może stanowić istotną składową nawigacyjnych systemów wspomaganie decyzji zarówno na statkach jak i w lądowych ośrodkach nadzoru i zarządzania ruchem statków, zarówno w trybie on line jak i off line do późniejszych analiz rzeczywistych procesów ruchu.

Ważnymi obszarami zastosowań są również modele symulacyjne zarówno autonomiczne (moduł sterowania ruchem statku) jak i nieautonomiczne, wykorzystywane w badaniach naukowych oraz w procesach szkolenia nawigatorów.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dziedzic T, Pietrzykowski Z., Uriasz J. Knowledge-based System for Evaluation of Ship's Navigational Safety. In: V. Bertram (Ed.): *Proc. of 1st Conf. COMPIT 2000*. Potsdam, 2000, str. 132-140

- [2] Goodwin E.M. 1975, A statistical study of ship domains, *Journal of Navigation* 28 (1975), str. 328-344
- [3] L. Gucma, Z. Pietrzykowski, *Ship Manoeuvring in Restricted Areas: An Attempt to Quantify Dangerous Situations Using a Probabilistic-Fuzzy Method*, The Journal of Navigation (2006), 59, The Royal Institute of Navigation, str. 251-262.
- [4] Gucma S., *Inżynieria ruchu morskiego*, Gdańsk: Okrętownictwo i Żegluga Gdańsk, 2001.
- [5] Gucma S., *Inżynieria ruchu morskiego*, Gdańsk: Okrętownictwo i Żegluga Gdańsk, 2001.
- [6] Gucma S., *Nawigacja pilotażowa*, Gdańsk: Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, 2004.
- [7] Pietrzykowski, Z. Applications of neuro-fuzzy networks for identifications of distress situations in vessel traffic in restricted areas. *II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-techniczna Inżynierii Ruchu Morskiego*, WSM Szczecin 1997, str. 131-142.
- [8] Pietrzykowski Z., Rozmyta domena statku w ocenie bezpieczeństwa nawigacyjnego na akwenie ograniczonym. *III Sympozjum Nawigacyjne*, WSM w Gdyni, Gdynia 1999, tom I, str. 253-264.
- [9] Pietrzykowski Z., Richards B.: Acquisition and representation of knowledge for decision-supporting systems in marine navigation. *6th International Conference Methods and Models in Automation and Robotics*, Szczecin-Międzyzdroje 2000, str. 437-442.
- [10] Pietrzykowski Z., The analysis of a ship fuzzy domain in a restricted area. In: R. Katebi (Ed.): *IFAC Conference Computer Applications in Marine Systems CAMS'2001*, Kidlington, Oxford: Elsevier Science Ltd, 2002, str. 45-50.
- [11] Pietrzykowski Z., *Modelowanie procesów decyzyjnych w sterowaniu ruchem statków morskich*, Seria studia Nr 49, Szczecin: Akademia Morska w Szczecinie, 2004.
- [12] Pietrzykowski Z., Modelling of navigators' behaviour in restricted area navigation, *Journal of KONBIN* No 2 (2006), Warszawa, 2006, str. 27-34.
- [13] Pietrzykowski Z., *Bezpieczeństwo nawigacji na akwenie ograniczonym – domena rozmyta statków różnej wielkości*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, nr 11(83), Szczecin 2006, str. 223-232.
- [14] Pietrzykowski Z., *Ship's Fuzzy Domain – a Criterion for Navigational Safety in Narrow Fairways*, The Journal of Navigation (2008), 61, The Royal Institute of Navigation, Cambridge, str. 501-514.
- [15] Pietrzykowski Z., Uriasz J., *Knowledge representation in a ship's navigational decision support system*, Monograph Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Ed. A. Weintrit, CRC Press/Balkema, 2009, str. 45-50.
- [16] Projektowanie i eksploatacja terminali LNG w aspekcie bezpieczeństwa nawigacji, praca pod redakcją S. Gucmy, Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2009.
- [17] Symulacyjne metody badań w inżynierii ruchu morskiego, praca pod redakcją S. Gucmy, Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2008.