

Piotr Lizakowski
Akademia Morska w Gdyni

BEZPIECZEŃSTWO MANEWRÓW WYPRZEDZANIA STATKÓW NA AKWENACH OGRANICZONYCH

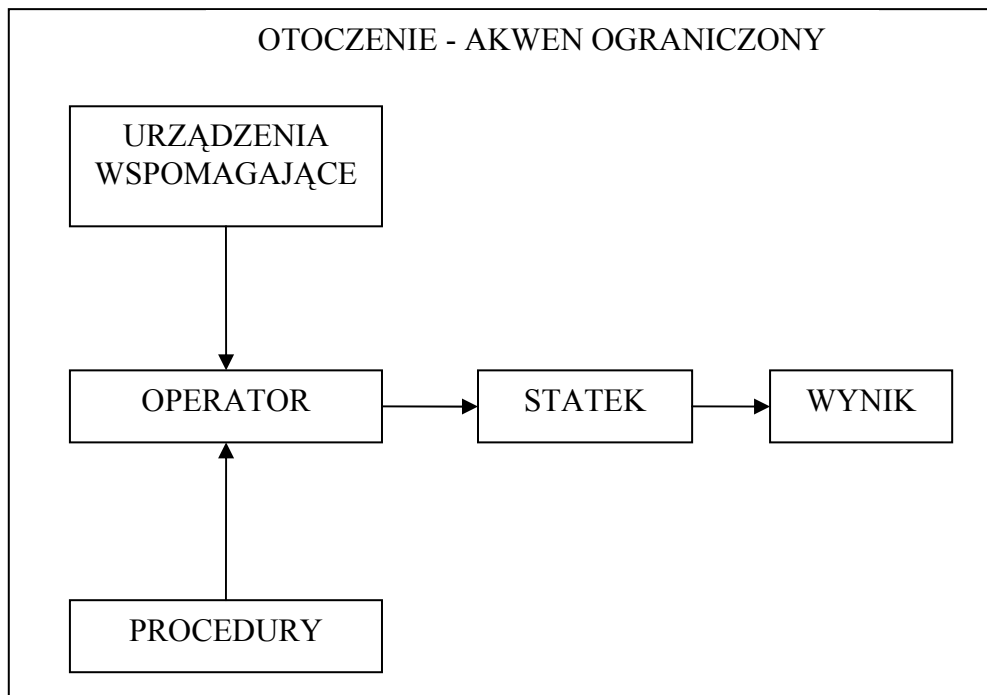
Streszczenie: Bezpieczeństwo manewrów wyprzedzania statków jest istotnym elementem podczas realizacji nawigacji na akwenach ograniczonych. Trudność wykonania prawidłowego manewru jest uwarunkowana licznymi czynnikami redukującymi dostępny akwen manewrowy oraz rodzajem podjętego manewru. W artykule przedstawiono przyczyny kolizji statków podczas wyprzedzania na akwenach ograniczonych. Przedstawiono prawdopodobieństwo wyprzedzenia innego statku w zależności od szerokości toru wodnego i rodzaju podjętego manewru.

Słowa kluczowe: kolizja, wyprzedzanie, akwen ograniczony

1. WPROWADZENIE

Wyprzedzanie statków stanowi istotny problem bezpieczeństwa w transporcie morskim ze względu na wzrost natężenia ruchu statków i wielkości jednostek. Problem bezpiecznego manewrowania i bezkolizyjnej eksploatacji statków dotyczy przede wszystkim akwenów ograniczonych – obszarów, gdzie dostępna przestrzeń manewrowa jest zredukowana między innymi poprzez uwarunkowania związane z lokalnymi przepisami i warunkami batymetrycznymi. Ograniczenia te mają charakter statyczny: cieśniny, kanały, tory wodne. Do ograniczeń o charakterze dynamicznym można zaliczyć inne statki poruszające się na rozpatrywanym akwenu, a także zjawiska hydrometeorologiczne (oddziaływanie fali, wiatru i prądu wody). Na obszarach otwartych, bez ograniczeń związanych z głębokością, szerokością, długością akwenu, wykonywanie manewrów celem uniknięcia zderzenia podczas wyprzedzania jest zagadnieniem pozbawionym czynników redukujących dostępny akwen manewrowy. Dzięki czemu, dostępne systemy antykolizyjne na statkach są wystarczające do uniknięcia sytuacji zderzenia.

Statek poruszający się w środowisku akwenu ograniczonego stanowi system antropotechniczny (rys. 1), w którego skład wchodzi zbiory elementów technicznych oraz zbiory działań podjętych przez człowieka (operatora systemu) na elementach technicznych [2].



Rys. 1. Schemat ideowy interakcji w systemie człowiek – statek - otoczenie [2]

Przez wiele lat działania podejmowane na statkach w celu uniknięcia kolizji opierały się przede wszystkim na przepisach regulujących ruch statków oraz dostępnych urządzeniach elektronicznych, które ulegały ciągłej modyfikacji wymuszonej wzrostem liczby statków oraz ich wielkości.

Unikanie kolizji jest zasadniczym problemem we współczesnej żegludze morskiej. W celu ułatwienia podejmowania decyzji przez nawigatora, szczególnie na akwenach o dużym natężeniu ruchu i przy ograniczonej widzialności, wprowadzono radary wyposażone w systemy automatycznego określenia parametrów ruchu echa, z automatycznym śledzeniem echa - ARPA.

Teoria i możliwość implementacji systemów odnosząca się do zwiększenia bezpieczeństwa ruchu statków wygenerowały pojęcie domeny, wykorzystywane jako kryterium bezpieczeństwa w analizie sytuacji nawigacyjnej. Zgodnie z definicją domena statku to obszar wokół statku, który nawigator statku musi utrzymać jako wolny od innych jednostek i obiektów. Kształt i wielkość domeny statku uzależnione są od wielu czynników, co powoduje trudności w jej wyznaczeniu. Rozszerzeniem teorii domeny było wprowadzenie pojęcia domeny rozmytej, czyli obszaru wokół statku, którego wielkość i kształt są uzależnione od przyjętego poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego, rozumianego jako stopień przynależności sytuacji nawigacyjnej do zbioru rozmytego - „niebezpieczna nawigacja” [3]. Rozmyta domena statku uwzględnia następujące czynniki: wielkość i typ statku, akwen, po którym porusza się jednostka, prędkość statku i prędkość względna statków, intensywność ruchu na danym akwencie, dokładność wyznaczenia pozycji, stopień wyszkolenia, wiedza i doświadczenie nawigatorów. Rozmyta domena uwzględnia wyżej wymienione czynniki, które decydują o jej kształcie i wielkości.

Podstawą do wyznaczenia domeny rozmytej jest pozyskanie i reprezentacja wiedzy nawigatorów, niezbędnej do przeprowadzenia identyfikacji i oceny sytuacji nawigacyjnej. Uzyskuje się to poprzez wykorzystanie narzędzi sztucznej inteligencji: sieci neuronowych i systemów rozmytych.

Stosowane elektroniczne metody prowadzenia nawigacji oraz wykorzystywane domeny nie uwzględniają jednak specyfiki akwenu ograniczonego środowiska morskiego (ograniczenie w płaszczyźnie poziomej i pionowej) podczas manewrów wyprzedzania, dodatkowo nie przedstawiają i nie weryfikują rodzajów wykonanych działań celem uniknięcia zderzenia podczas manewru wyprzedzania. Określenie granicznych parametrów manewru wyprzedzania pozwoli wypełnić tę lukę. Miarą skuteczności wykonania bezpiecznego manewru wyprzedzania na akwenach ograniczonych jest prawdopodobieństwo sukcesu. Jest ono miarą uwzględniającą tylko prawdopodobieństwo bezkolizyjnego wyprzedzenia innego statku oraz prawdopodobieństwo utrzymania się statku na akwencie ograniczonym podczas wykonywania tego manewru.

2. WYPRZEDZANIE NA AKWENACH OGRANICZONYCH

Manewr wyprzedzania na akwenach ograniczonych wiąże się z uwzględnieniem przez nawigatora szeregu czynników ograniczających, które wyznaczają bezpieczną przestrzeń manewrową i ich analizą [2]:

- a) czynniki zewnętrzne (CZ):
 - natężenie ruchu statków, rozkład występowania statków różnych typów i wielkości,
 - parametry toru wodnego (szerokość, głębokość, długość),
 - warunki hydro-meteorologiczne (działanie wiatru i fali, stan morza, widzialność),
 - pora dnia,
- b) czynniki techniczne statku własnego i obcego (CW):
 - statek własny (charakterystyki manewrowe, wielkość jednostki – długość, szerokość, zanurzenie, prędkość, stan załadowania),
 - wyposażenie nawigacyjne statku własnego,
 - parametry statku wyprzedzanego (kurs, prędkość, wielkość jednostki - długość, szerokość, zanurzenie),
- c) czynnik ludzki osoby wykonującej manewr (CL):
 - doświadczenie,
 - wykształcenie, wiedza,
 - stres,
 - czas pracy – przemęczenie.

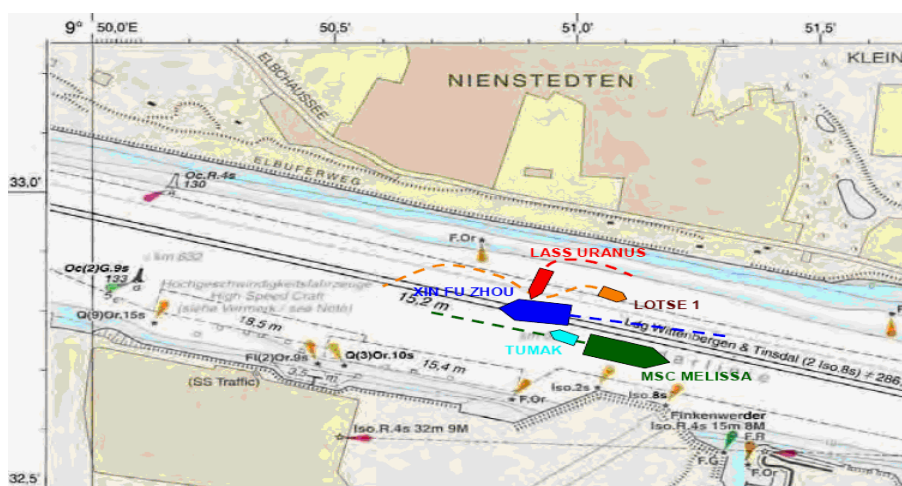
Wyprzedzanie statków na akwenach ograniczonych jest funkcją zmiennych, które będą decydowały o bezpiecznej odległości rozpoczęcia wykonania tego manewru.

Aby statek mógł wyprzedzić bezpiecznie inną jednostkę znajdującą się na torze wodnym należy określić minimalną odległość rozpoczęcia wykonania tego manewru S , a także wartość zmiany kursu. Wykonanie manewru wyprzedzania determinują głównie

czynniki zewnętrzne – parametry toru wodnego (długość, szerokość, głębokość) oraz status innych statków.

Podczas manewru wyprzedzania należy ocenić czy minimalna odległość boczna d między statkami w trakcie wykonywania manewru jest bezpieczna ze względu na działanie sił hydrodynamicznych, ponieważ odległość ta definiuje strefę zabronioną dla manewru wyprzedzania. Każde działanie podjęte po osiągnięciu tych granicznych wartości zakończy się albo kolizją z obiektem wyprzedzanym, albo wyjściem poza tor wodny w trakcie wykonywania manewru. Działanie zakończone sukcesem w tym wypadku nie jest możliwe.

Przykładem przedstawiającymi niebezpieczeństwo manewru wyprzedzania na akwenu ograniczonym jest zdarzenie, które miało miejsce na rzece Elbie (podejściowy tor wodny do portu w Hamburgu). 12. 06. 2006 roku doszło do zderzenia dwóch statków (masowiec m/v „Lass Uranus” oraz kontenerowiec m/v „Xiu Fu Zhou” – rys. 2) podczas manewru wyprzedzania [4]. Pomimo dobrych warunków pogodowych panujących na akwenu oraz prowadzenia statków przez doświadczonych pilotów niemieckich, zbyt późno rozpoczęto wyprzedzanie (zbyt mała wartość odległości S), dodatkowo wartość zmiany kursu α statku wyprzedzającego była niewystarczająca.



Rys. 2. Kolizja statków na podejściowym torze wodnym do portu Hamburg [4]

W wyniku czego nie uzyskano dostatecznej wartości odległości bocznej wyprzedzania d , tym samym wystąpiło wzajemne przyssanie statków jako efekt działania sił hydrodynamicznych. Konsekwencją tego zdarzenia było uszkodzenie statków i czasowe zablokowanie toru wodnego.

3. MODEL PROBABILISTYCZNY ODLEGŁOŚCI BOCZNEJ WYPRZEDZANIA

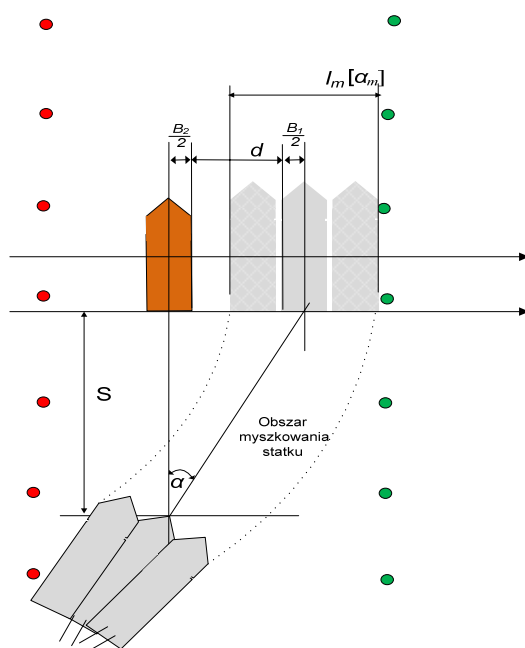
Na skutek podjęcia decyzji o manewrze wyprzedzania w zależności od odległości S rozpoczęcia manewru wyprzedzania, kąta wychylenia steru, prędkości statku oraz

działaniu wiatru i prądu odległość boczna na trawersie będzie ulegała zmianom. Dodatkowo myszkowanie statku na kursie powoduje, że statek będzie zajmował obszar o szerokości większej od własnej szerokości statku B . Ponieważ w momencie wykonywania manewru wyprzedzania nieznane są w danej chwili błędy sterowania (oddziaływanie warunków zewnętrznych), dlatego należy przyjąć, że jest to parametr losowy. Wprowadza to losowe zaburzenie przyrostu szerokości pasa ruchu statku. Błąd sterowania α_m jest błędem losowym wynikającym z doświadczenia, wiedzy i praktyki sternika [1]. Błąd sterowania α_m można opisać rozkładem normalnym $N(0, \sigma)$, gdzie σ zawiera się w przedziale $\langle 2^\circ, 4^\circ \rangle$. Kąt sterowania statku można określić wzorem:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_m \quad (1)$$

gdzie:

- α – kąt sterowania [$^\circ$],
- α_0 – zadany kąt sterowania [$^\circ$],
- α_m – błąd sterowania [$^\circ$].



Rys. 3. Wyprzedzanie z uwzględnieniem czynników losowych [1]

Z rysunku 3 wynika, że:

$$d = S \cdot \operatorname{tg}(\alpha) - \frac{B_1 + B_2}{2} \quad (2)$$

gdzie:

- d – odległość boczna wyprzedzania [m],
- B_1, B_2 – szerokości statków wyprzedzającego i wyprzedzanego [m].

$$\begin{aligned}
F_d(u) &= P(d < u) = P\left(S \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{B_1 + B_2}{2} < u\right) \\
&= F_\alpha \left(\operatorname{arctg} \left(\frac{u + \frac{B_1 + B_2}{2}}{S} \right) \right)
\end{aligned} \tag{3}$$

Zatem należy znaleźć rozkład zmiennej losowej d przy założeniu, że α można opisać rozkładem normalnym $N(\alpha_0, \sigma)$.

Dystrybuanta F_d zmiennej losowej u , gdzie $d < u$, po standaryzacji ma postać:

$$F_d(u) = \phi_{N(0,1)} \left(\frac{\operatorname{arctg} \left(\frac{u + \frac{B_1 + B_2}{2}}{S} \right) - \alpha_0}{\sigma} \right) \tag{4}$$

Korzystając z równości

$$f_d(u) = F'_d(u) \tag{5}$$

otrzymano:

$$f_d(u) = \frac{S}{\sqrt{2\pi}\sigma \left(\left(u + \frac{B_1 + B_2}{2} \right)^2 + S^2 \right)} e^{-\frac{\left(\operatorname{arctg} \left(\frac{u + \frac{B_1 + B_2}{2}}{S} \right) - \alpha_0 \right)^2}{2\sigma^2}} \tag{6}$$

Odległość boczna d mijania się statków będzie zależała od czynnika losowego wynikającego z błędów sterowania i wpływu czynników zakłócających (wiatr, prąd).

Prawdopodobieństwo wykonania prawidłowego manewru $p(C)$ – minięcia się w bezpiecznej odległości d i utrzymania się statku w granicach toru wynosi:

$$p(C) = \int_{u_1}^{u_2} f_d(u) du, \quad 0 < u_1 < u_2 \tag{7}$$

gdzie:

$P(C)$ – prawdopodobieństwo wyprzedzenia statku w danej odległości,

u_1 – minimalna odległość boczna minięcia się jednostek [m],
 u_2 – szerokość toru wodnego [m].

4. WNIOSKI

Zaproponowany model pozwala predykcynie weryfikować antykolizyjny manewr i poprzez to może być miernikiem bezpieczeństwa manewru wyprzedzania statków na akwenu ograniczonym. Zaproponowany model pozwala uwzględniać ograniczenia szerokości dowolnego prostoliniowego toru wodnego oraz rodzaj (zmiana kursu) podjętego działania. Opracowana metoda może być zastosowana w systemach wspomaganie decyzji i zarządzania ruchem statków. Wpłynie na podniesienie poziomu bezpieczeństwa ruchu statków w ograniczonej przestrzeni. Zagadnienia i opis sił hydrodynamicznych jest bardzo złożony. Interakcje występujące w czasie wyprzedzania pomiędzy jednostkami generują zależności o dużym stopniu komplikacji. W związku z tym niezbędne jest prowadzenie dalszych badań doskonalących zastosowany model.

Bibliografia

1. Burciu Z., Lizakowski P.: Analiza ryzyka manewru wyprzedzania w oparciu o sieci Bayesa. Problemy eksploatacji 4/2009.
2. Lizakowski P.: System antropotechniczny człowiek – statek – efektywność manewru wyprzedzania w ograniczonej przestrzeni. XXXVII Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk 2009.
3. Pietrzykowski Z.: Bezpieczeństwo nawigacji na akwenu ograniczonym – domena rozmyta statków różnej wielkości. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna Explo – Ship 2006, Szczecin, 2006.
4. Investigation Report 305/06. Collision between m/v Lass Uranus and m/v Xin Fu Zhou on 12 July 2006 on the Elbe River. Federal Bureau of Maritime Causality Investigation, 2 May 2008.

SAFETY OF SHIPS OVERTAKING MANOEUVERS IN RESTRICTED AREAS

Abstract: Safety of overtaking manoeuvres in restricted areas is essential point of navigation, when carried out in such areas. Officers have difficulty with correct manoeuvre, it depends on numerous factors that cause reduce of accessible maneuvering space. In the paper causes of collision in restricted areas were presented. The paper contains the probability of collision during overtaking.

Keywords: collision, overtaking, restricted area