

**Piotr LIZAKOWSKI**

Akademia Morska w Gdyni  
Wydział Nawigacyjny, Katedra Eksploatacji Statku  
ul. Aleja Jana Pawła II 3, 81-345 Gdynia  
email: piotrliz@poczta.onet.pl

## **ODLEGŁOŚĆ BOCZNA MANEWRU WYPRZEDZANIA STATKÓW MORSKICH NA AKWENACH OGRANICZONYCH**

### **Streszczenie:**

Bezpieczeństwo manewrów wyprzedzania statków morskich jest istotnym elementem podczas realizacji nawigacji na akwenach ograniczonych. Specyfika akwenu ograniczonego redukuje dostępną przestrzeń manewrową. Jednym z elementów decydującym o bezkolizyjnym wykonaniu manewru wyprzedzania jest prawidłowa ocena odległości bocznej pomiędzy statkami w trakcie wykonywania tego manewru. W artykule przedstawiono przyczyny kolizji statków podczas wyprzedzania na akwenach ograniczonych.

Słowa kluczowe: wyprzedzanie, kolizja, odległość boczna.

### **1. WPROWADZENIE**

Prowadzenie żeglugi na morzu związane jest z ryzykiem, które jest kształtowane w zależności od rejonu pływania, parametrów statku, osób prowadzących daną jednostkę oraz warunków hydrometeorologicznych. Nawigacja to prowadzenie statku z uwzględnieniem warunków zewnętrznych, określanie jego położenia, w celu bezpiecznego przeprowadzenia zgodnego z zadaniem transportowym. Do warunków zewnętrznych będziemy zaliczać charakterystykę batymetryczną akwenu wodnego wraz z jego warunkami hydrometeorologicznymi oraz wielkość natężenia ruchu statków. Środowisko, w którym poruszają się statki morskie jest otoczeniem specyficznym, stwarzającym szereg nieprzewidzianych sytuacji. Stały wzrost natężenia ruchu statków ich wielkości powoduje obniżenie bezpieczeństwa w transporcie morskim.

Personel nawigacyjny statków morskich musi realizować nawigację, czyli bezpiecznie przeprowadzić statek z portu wyjścia do portu docelowego, w warunkach, w których prawdopodobieństwo zderzenia z innym obiektem jest wysokie [2, 3]. Konsekwencje takiego zdarzenia obejmują zarówno utratę środków transportu, zagrożenie życia ludzkiego (załoga oraz pasażerowie) i zanieczyszczenie środowiska. Kolizje statków na morzu będą się zdarzały zawsze, szczególnie często w obszarach ograniczonych i trudnych warunkach pogodowych, w których nawigator pod wpływem stresu, jest narażony na podjęcie niewłaściwej decyzji w celu uniknięcia zderzenia w trakcie manewru wyprzedzania. Wyposażenie statków w systemy wykrywania obiektów, wzajemnych środków łączności jest standardem. Jednak systemy te nie zawierają elementu doradczego, pozwalającego na wypracowanie i wskazanie prawidłowej decyzji jaką należy podjąć celem uniknięcia kolizji. Przepisy regulujące wzajemny ruch i obowiązki statków na morzach są nieprecyzyjne w odniesieniu do specyficznych obszarów, jakimi są akweny ograniczone, dlatego też wyznaczenie bezpiecznych parametrów manewrów wyprzedzania statków morskich jest konieczne.

## 2. AKWENY OGRANICZONE

Prowadzenie bezpiecznej nawigacji jest uzależnione w bardzo dużym stopniu od rodzaju akwenu, na którym się ona odbywa. Istnieją dwa rodzaje klasyfikacji akwenów manewrowych: ogólne i szczegółowe [2]. Klasyfikacje ogólne dzielą akweny nawigacyjne na ograniczone i nieograniczone, natomiast szczegółowe na konkretne ich typy, jak na przykład: oceany, morza, akweny przybrzeżne, porty, akweny portowe, cieśniny, kanały, rzeki.

Akweny otwarte charakteryzują się brakiem stałych przeszkód nawigacyjnych. Zatem prowadzenie nawigacji podczas pełnienia wachty morskiej sprowadza się przede wszystkim do unikania kolizji z innymi statkami, mając do dyspozycji nieograniczoną przestrzeń manewrową. Definiując akwen ograniczony można oprzeć się na różnicach, jakie dzielą go od akwenu otwartego. Jako dwa główne czynniki różniące te dwa rodzaje akwenów nawigacyjnych można uznać za dominujące:

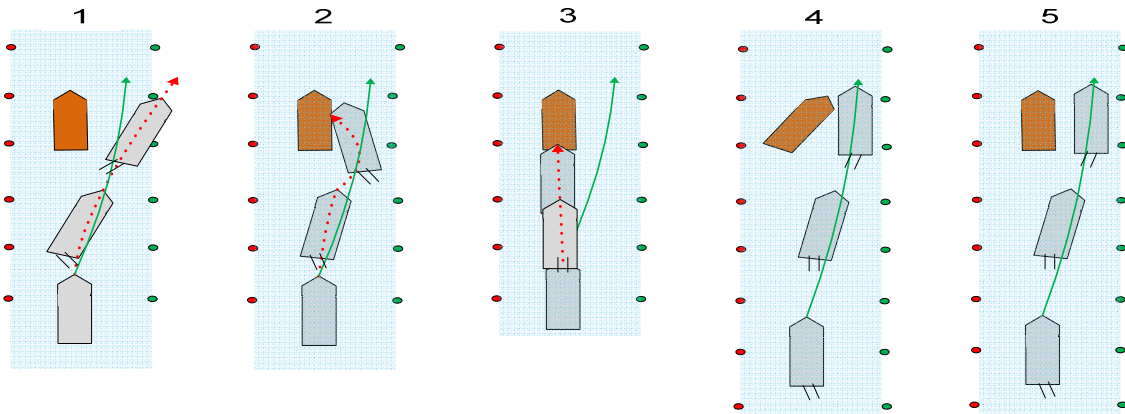
- trudność wykonania manewru,
- bezpieczeństwo wykonania manewru.

Oba te czynniki są ze sobą powiązane i wraz ze wzrostem trudności wykonania manewru maleje z reguły stopień jego bezpieczeństwa. Ze względu na trudność wykonania manewru, statek na akwenach ograniczonych prowadzony jest przez nawigatora mającego duże doświadczenie. Można zatem sklasyfikować akwen ograniczony jako akwen, na którym manewr wykonywany jest przez najbardziej doświadczonego nawigatora na statku. Procentowy udział poszczególnych typów awarii na akwenach ograniczonych i otwartych służy jako wytyczna do klasyfikacji akwenów nawigacyjnych. Przykładowo około 90% wejść na mieliznę [4] występuje na akwenach ograniczonych.

## 3. PROBLEM WYPRZEDZANIA NA AKWENACH OGRANICZONYCH

Obszar ograniczony to środowisko, w obrębie, którego występują liczne niebezpieczeństwa ograniczające manewry antykolizyjne. Charakteryzuje się on przede wszystkim ograniczoną przestrzenią do wykonania manewru. Podstawowym kryterium dla manewru wyprzedzania jest odległość krytyczna wyprzedzania  $S$ . Jest to odległość, w której należy rozpocząć manewr, by bezpiecznie wyprzedzić obiekt przy jednoczesnym utrzymaniu się w granicach obszaru ograniczonego toru wodnego. Odległość krytyczna wyprzedzania  $S$ , w której należy rozpocząć manewr jest jednym z czynników decydujących o skuteczności działania antykolizyjnego. Jeżeli działanie zostanie wykonane dla niewielkiej wartości parametru  $S$ , to można rozpatrywać następujące przypadki:

- spóźniona decyzja o podjęciu manewru wyprzedzania - mała odległość  $S$  od statku wyprzedzanego, lub zbyt duże wychylenie steru, lub zbyt duża prędkość, lub pierwszy, drugi element lub trzeci element jednocześnie,
- spóźniona decyzja o podjęciu manewru wyprzedzania - mała odległość  $S$  od statku wyprzedzanego, lub zbyt duża prędkość, zbyt mała odległość na trawersie statku wyprzedzanego powoduje wystąpienie sił hydrodynamicznych, które powodują zmianę kursu statku wyprzedzanego i spowodowanie kolizji, ze statkiem wyprzedzanym,
- spóźniona decyzja o podjęciu manewru wyprzedzania - mała odległość  $S$  od statku wyprzedzanego lub zbyt duża prędkość,
- awaria statku wyprzedzanego,
- bezpieczny manewr wyprzedzania.

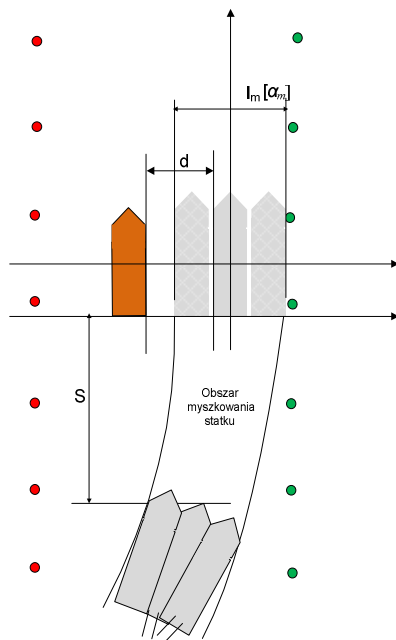


Rys. 1. Siły oddziaływania pomiędzy statkami dla stałych prędkości statków.

Źródło: opracowanie własne.

Ostatni przypadek dotyczy sytuacji, gdy manewr jest całkowicie efektywny i zakończony sukcesem, brak kolizji i wejścia na mieliznę jako końcowy efekt wyprzedzania. Pierwsze trzy sytuacje odnoszą się do zbyt późnej reakcji nawigatora, gdzie rezultatem podjętego działania jest uniknięcie zderzenia, lub wyjście poza granice obszaru ograniczonego, jednak zbyt gwałtowna zmiana kursu statku prowadzi do przekroczenia granic toru wodnego.

Odległość krytyczna  $S$  prezentowana w literaturze [1, 5] kształtuje wielkość przedniej części domeny statku wyprzedzającego. Wielkości te oparte są na przede wszystkim na badaniach symulacyjnych i na wiedzy eksperckiej, tym samym nie podlegają weryfikacji



Rys. 2. Manewr wyprzedzania na akwenu ograniczonym.

Źródło: opracowanie własne.

w warunkach rzeczywistych. Wielkości domen obecnie stosowane zawierają duży margines bezpieczeństwa dla parametru  $S$  i większości przypadków nie odpowiadają granicy krytycznej, w jakiej należy wykonać efektywne wyprzedzanie. Poza tym, dla dużych wartości parametru  $S$  wyznaczającego przednią część domeny, stosowane metody nie precyzują jaki manewr – wartość wychylenia płetwy steru  $\alpha$ , należy wykonać by spełnić warunki pierwszego przypadku. Drugim parametrem rozważanym dla manewru wyprzedzania jest odległość boczna minięcia się statków  $d$ . Jest to odległość między jednostkami w trakcie wykonywania manewru. Powinna ona być taka, aby statki pod wpływem działania sił hydrodynamicznych nie uległy wzajemnemu przyssaniu. Zbyt mała odległość boczna  $d$  spowoduje zetknięcie się jednostek, co wyklucza skuteczność podjętego działania. Nadmierna wartość  $d$  może doprowadzić do drugiego przedstawionego powyżej przypadku, czyli uniknięcia zderzenia przy jednoczesnym przekroczeniu granic akwenu ograniczonego.

Znajomość dopuszczalnych wartości parametru  $d$  pozwala na predykcję wykonywanych manewrów i ocenę czy takie skuteczne działanie jest w ogóle możliwe. Trzecim parametrem definiującym efektywność wyprzedzania jest wartość wychylenia płetwy steru  $\alpha$ . Wartość ta nierozdzielnie jest połączona dwoma wcześniej opisanymi parametrami. Nie należy stosować

maksymalnych wychyleń płetwy steru, zwłaszcza przy dużych prędkościach, ponieważ może to doprowadzić do awarii technicznej statku.

Na skutek podjęcia decyzji o manewrze wyprzedzania w zależności od  $S$ , kąt wychylenia steru, prędkości statku oraz działaniu wiatru i prądu odległość boczna na trawersie będzie ulegała zmianom. Dodatkowo myszgowanie 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  $\alpha_m$  jest błędem losowym wynikającym z doświadczenia, wiedzy i praktyki sternika. Błąd sterowania  $\alpha_m$  można opisać rozkładem normalnym  $N(0, \sigma)$ , gdzie  $\sigma$  zawiera się w przedziale  $\langle 2^\circ, 4^\circ \rangle$ . Odległość boczną  $d$  można określić wzorem [1]:

$$f_d(u) = \frac{S}{\sqrt{2\pi}\sigma \left( \left( u + \frac{B_1 + B_2}{2} \right)^2 + S^2 \right)} e^{-\frac{\left( \arctg \left( \frac{u + \frac{B_1 + B_2}{2}}{S} \right) - \alpha_0 \right)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

gdzie:

- $S$  – odległość rozpoczęcia wyprzedzania [m],
- $B_1, B_2$  – szerokości statków [m],
- $\alpha_0$  – zadany kąt sterowania [°].



Rys. 3. Zastosowanie sieci bayesowskiej w ocenie bezpieczeństwa manewru wyprzedzania.

Źródło: opracowanie własne.

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

Prawdopodobieństwo  $p(u)$  znalezienia się statku wyprzedzającego w odległości  $u$  od statku wyprzedzanego wynosi:

$$p(u) = \int_{u_1}^{u_2} f_d(u) du \quad (2)$$

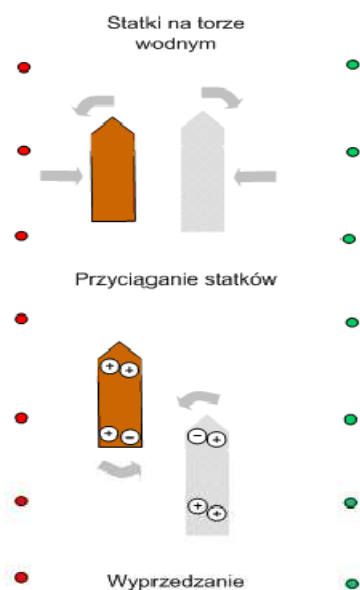
gdzie:

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

Do oceny bezpieczeństwa wykonanego manewru wyprzedzania na akwenu ograniczonym można wykorzystać sieć bayesowską, dla której stworzono możliwe scenariusze zdarzeń i wynikających konsekwencji. Pozwala to określić prawdopodobieństwo wystąpienia danego zdarzenia (wypadek morski lub manewr bezpieczny) przy założeniu, że poszczególne etapy zaistniały z określonym prawdopodobieństwem.

#### 4. SIŁY HYDRODYNAMICZNE W MANEWRZE WYPRZEDZANIA

Szczególnie ważnym obowiązkiem statku wyprzedzającego jest zachowanie wystarczającej odległości i boczego odstępu od statku wyprzedzanego. Wymaganie to podyktowane jest wieloma względami. Zbyt bliskie przechodzenie obok statku wyprzedzanego może spowodować szkodliwe dla niego uderzenie fali powstałej od



Rys. 4. Występowanie sił hydrodynamicznych podczas manewru wyprzedzania.

Źródło: opracowanie własne.

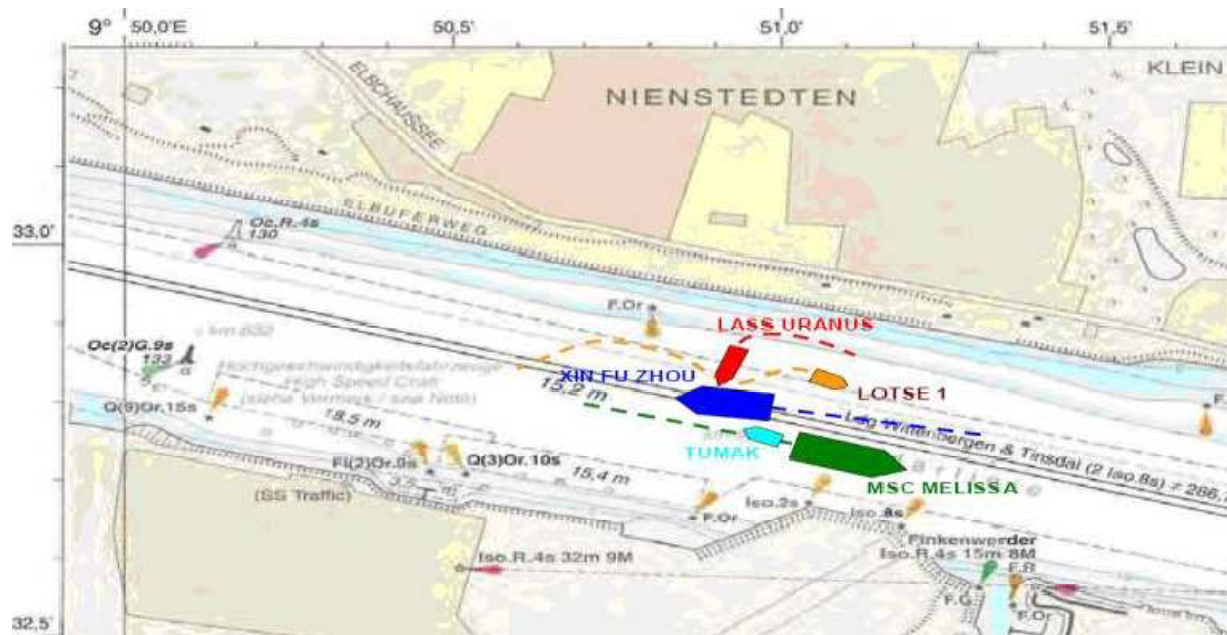
przechodzenia dużego statku wyprzedzającego. Może ono wywołać u prowadzącego statek wyprzedzany obawę, że istnieje niebezpieczeństwo zderzenia i skłonić go do wykonania nieprzemyślnych i błędnych manewrów prowadzących do zderzenia lub wejścia na mieliznę. Ta sytuacja dotyczy również statku wyprzedzającego, który zbliżając się na niewielką odległość może wykonać działanie nieprzemyślane, doprowadzając do katastrofy. Może też wystąpić zjawisko przysiania polegające na wzajemnym przyciąganiu się statków, spowodowane różnicą ciśnień wody po obu burtach statku przy bliskim przechodzeniu obok siebie, w trakcie wyprzedzania. Zjawisko to najczęściej występuje na płytkiej wodzie przy dużej prędkości obu statków (wyprzedzanego i wyprzedzającego) oraz małej różnicy ich prędkości, zwłaszcza, gdy duży statek wyprzedza mniejszy. Statek płynący ze znaczną szybkością powoduje powstanie zjawisk hydrodynamicznych, objawiających się zwiększonym ciśnieniem wody przy dziobie i rufie statku. Natomiast przy śródkręciu tworzy się różnica obniżonego ciśnienia wody. Podczas manewru wyprzedzania, gdy dziób statku wyprzedzającego zrówna się z rufą statku wyprzedzanego obserwuje się sumowanie działania sił odpychających dziób od rufy. W momencie, w którym dziób statku wyprzedzającego mija rufową część statku wyprzedzanego zauważalna jest tendencja do zwrotu w kierunku statku wyprzedzanego w wyniku działania sił



przyciągających do burty statku wyprzedzanego. W dalszym okresie trwania manewru następuje wyrównanie sił, moment ten charakteryzuje największy wzrost oporów, wyrażający się zmniejszeniem prędkości obu jednostek. Moment, w którym dziób statku wyprzedzającego będzie w pozycji przed dziobem statku wyprzedzanego, charakteryzuje się wzrostem sił przyciągających. Osiągają one maksymalną wartość wówczas, gdy śródkręcie statku wyprzedzającego minie dziób statku wyprzedzanego, dziób jest przyciągany do śródkręcia w wyniku obniżenia powierzchni wody w tej części oraz działania trzech sił: przyciągającej do rufy statku wyprzedzanego oraz dwóch sił wywołanych własną asymetrią opływu. Wzajemne oddziaływanie sił hydrodynamicznych pomiędzy statkami zanika, gdy rufa statku wyprzedzającego minie dziób statku wyprzedzanego.

## 5. KOLIZJE STATKÓW PODCZAS MANEWRU WYPRZEDZANIA

Przedstawiona miara oceny prawidłowego manewru wyprzedzania na akwenu ograniczonym nie uwzględnia wpływu sił hydrodynamicznych, oddziałujących pomiędzy statkami. Określenie wpływu tych sił wymaga zastosowania zaawansowanych technik pomiarowych oraz dużych modeli fizycznych na akwenu otwartym, w celu ograniczenia wpływu efektu skali. Wyznaczenie granicznych parametrów manewru dla statku wyprzedzającego pozwoli na predykcję pozycji statku i realizację optymalnego sterowania statkiem podczas wyprzedzania. Opracowane modele mogą być zastosowane w systemach zarządzania bezpieczeństwem, systemach antykolizyjnych oraz systemach wspomaganie decyzji dla statkowych systemów nawigacyjnych i lądowych systemów kontroli ruchu. Proces prowadzenia statku na akwenu ograniczonym jest ściśle związany z podjęciem działań mających na celu uniknięcie sytuacji kolizyjnej, tym samym efektywnym wykonaniem manewru, tak aby uniknąć zderzenia z innym obiektem i jednocześnie utrzymać się w granicach dostępnej przestrzeni manewrowej, której przekroczenie wiąże się z zagrożeniem dla statku i środowiska naturalnego. Możliwość dokładnego przewidywania zachowania się statku umożliwia proaktywne podejście do oceny bezpieczeństwa manewru wyprzedzania.



Rys. 5. Kolizja statków na podejściowym torze wodnym do portu Hamburg

Źródło: opracowanie własne.

Rozwiązanie tego zagadnienia jest szczególnie istotne ze względu na zagęszczenie ruchu dużych statków na akwenach ograniczonych i brak wiedzy w zakresie miar bezpieczeństwa dla manewru wyprzedzania. Obecnie możemy zaobserwować wiele sytuacji, w których przyczyną wypadków morskich jest błąd człowieka. Przykładami przedstawiającymi niebezpieczeństwo manewru wyprzedzania na obszarze ograniczonym są zdarzenia, które miały miejsce na rzece Elbie (podejściowy tor wodny do portu w Hamburgu. W 2006 roku doszło do zderzenia dwóch statków (masowiec m/v „Lass Uranus” oraz kontenerowiec m/v „Xiu Fu Zhou”) podczas manewru wyprzedzania. Pomimo dobrych warunków pogodowych panujących na akwenie oraz prowadzenia statków przez doświadczonych pilotów niemieckich, zbyt późno rozpoczęto wyprzedzanie, wartość zmiany kursu statku wyprzedzającego była niewystarczająca. Kolizja statków na podejściowym torze wodnym do portu Hamburg. Nie uzyskano dostatecznej wartości odległości bocznej wyprzedzania i wystąpiło wzajemne przyssanie statków, jako efekt działania sił hydrodynamicznych. Konsekwencją tego zdarzenia było uszkodzenie statków i czasowe zablokowanie toru wodnego (rys. 5).

### WNIOSKI

Statki pomimo wyposażenia w systemy wspomaganie nawigacji takie jak: ARPA, ECDIS, AIS nie unikają sytuacji kolizyjnych. Nawet najbardziej zaawansowane i niezawodne systemy nie mogą być stosowane na akwenach ograniczonych i w miejscach gdzie występuje duże natężenie ruchu. Są to rejony, gdzie najczęściej dochodzi do kolizji statków. Możliwość modyfikacji i rozbudowy tych systemów o dodatkowe moduły przyczyni się do rozwoju systemów wspomaganie decyzji umożliwiającymi wypracowanie prawidłowych decyzji antykolizyjnych dla statków płynących w bliskiej odległości. Badania pozwalające na określenie wpływu sił hydrodynamicznych na odległość boczną wyprzedzania i powiązanie ich z parametrami manewru umożliwią opracowanie modelu losowego, który będzie wykorzystany jako narzędzie w procesie decyzyjnym podczas wyprzedzania statku.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Burciu Z., Lizakowski P.: Analiza ryzyka manewru wyprzedzania w oparciu o sieci bayesa, Problemy eksploatacji, Radom 2009.
- [2] Gucma L.: Modelowanie czynników ryzyka zderzenia jednostek pływających z konstrukcjami portowymi i pełnomorskimi, Akademia Morska w Szczecinie, Studia nr 44, Szczecin 2005.
- [3] Gucma L., Smalko Z.: Selected problems and Methods of Navigational Risk Assessment, Proc. 12<sup>th</sup> International Congress IMAM Lisbon 2005, vol. 1.
- [4] Gucma S.: Inżynieria ruchu morskiego. Wydawnictwo Okrętownictwo i Żegluga, Gdańsk 2001.
- [5] Lizakowski P.: System antropotechniczny człowiek statek – efektywność manewru wyprzedzania w ograniczonej przestrzeni, XXXVII Zimowa Szkoła Niezawodności Szczyrk 2009.

### SAFE DISTANCE OF OVERTAKING MANEUVER IN RESTRICTED AREAS

#### Abstract:

Safety of overtaking maneuvers is an essential point of navigation carried out in restricted areas.

The specificity of such areas causes reduce of maneuvering available space. One of the elements determining no collision overtaking maneuver is the correct evaluation of the lateral distance between two ships during the action. The paper presents the causes of vessel collision during overtaking in restricted areas.

Key words: overtaking, collision, lateral distance.