

Piotr Lizakowski

Akademia Morska w Gdyni

WPŁYW ODLEGŁOŚCI BOCZNEJ NA MANEWR WYPRZEDZANIA STATKÓW MORSKICH NA AKWENACH OGRANICZONYCH

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

WPROWADZENIE

Prowadzenie żeglugi na morzu obarczone jest ryzykiem, które zależy od rejonu pływania, parametrów statku, osób prowadzących daną jednostkę oraz warunków hydrometeorologicznych. Nawigacja to prowadzenie statku z uwzględnieniem warunków zewnętrznych, określaniem jego położenia, w celu bezpiecznego przeprowadzenia zgodnie z zadaniem transportowym. Do warunków zewnętrznych zalicza się 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 wiele nieprzewidzianych sytuacji. Stały wzrost natężenia ruchu statków oraz ich wielkości powoduje obniżenie bezpieczeństwa w transporcie morskim.

Personel nawigacyjny statków morskich musi 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 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 w trudnych warunkach pogodowych, w których nawigator pod wpływem stresu jest narażony na podjęcie niewłaściwej decyzji w celu uniknięcia zderzenia w trakcie manewru wyprzedzania. Wyposażanie statków w systemy wykrywania obiektów oraz zintegrowane środki łączności jest standardem. Systemy te nie zawierają jednak elementu doradczego, pozwalającego na wypracowanie i wskazanie prawidłowej decyzji, jaką należy podjąć w celu 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.

1. AKWENY OGRANICZONE

Bezpieczna nawigacja w dużym stopniu zależy od rodzaju akwenu, na którym się 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 nawigacja podczas pełnienia wachty morskiej sprowadza się przede wszystkim do unikania kolizji z innymi statkami, a do dyspozycji pozostaje nieograniczona przestrzeń manewrowa.

Zasadniczymi czynnikami pozwalającymi zakwalifikować dany akwen jako ograniczony lub nieograniczony są:

- trudność wykonania manewru,
- bezpieczeństwo wykonania manewru.

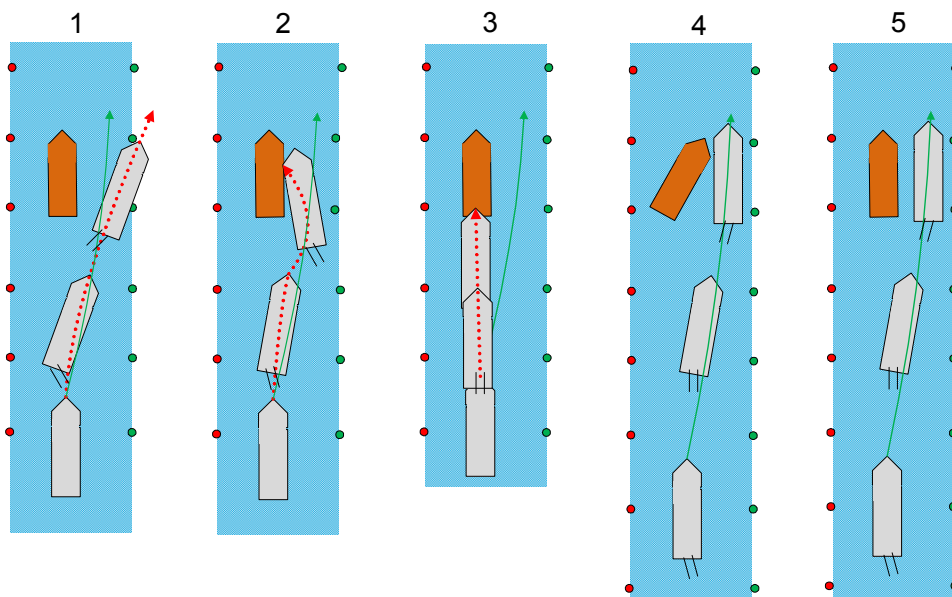
Oba te czynniki są ze sobą powiązane – wraz ze wzrostem trudności wykonania manewru maleje z reguły stopień jego bezpieczeństwa. Na akwenach ograniczonych, ze względu na trudność wykonania manewru, statek prowadzony jest przez bardzo doświadczonego nawigatora. Można zatem sklasyfikować akwen ograniczony jako obszar, 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.

2. PROBLEM WYPRZEDZANIA NA AKWENACH OGRANICZONYCH

Obszar ograniczony to środowisko, w którego obrębie występują liczne niebezpieczeństwa ograniczające manewry bezkolizyjne. 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 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, zbyt duże wychylenie steru, zbyt duża prędkość lub dwa albo trzy elementy 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 skutkują zmianą kursu statku wyprzedzanego i kolizją 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.

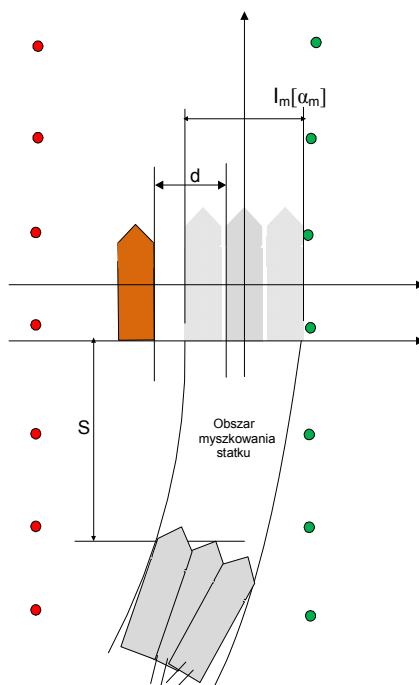


Rys. 1. Siły oddziaływania pomiędzy statkami dla stałych prędkości statków

Ostatni przypadek dotyczy sytuacji, gdy manewr jest całkowicie efektywny – uniknięcie kolizji i wejścia na mieliznę. Pierwsze trzy sytuacje odnoszą się do zbyt późnej reakcji nawigatora – 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 przede wszystkim na badaniach symulacyjnych i na wiedzy eksperckiej, tym samym nie podlegają weryfikacji w warunkach rzeczywistych. Obecnie stosowane wielkości

domen zawierają duży margines bezpieczeństwa dla parametru S i w większości przypadków nie odpowiadają granicy krytycznej, w jakiej należy wykonać efektywne wyprzedzanie. Poza tym, dla dużych wartości parametru S wyznaczającego przednią część domeny wykorzystywane metody nie precyzują, jaki manewr – wartość wychylenia płetwy steru α , należy wykonać, by spełnić warunki pierwszego przypadku.



Rys. 2. Manewr wyprzedzania na akwenu ograniczonym

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 α . Wartość ta nierozwrotnie wiąże się z dwoma wcześniej opisanymi parametrami. Nie należy stosować maksymalnych wychyleń płetwy steru, zwłaszcza przy dużych prędkościach, ponieważ może to doprowadzić do awarii technicznej statku.

Przy wykonywaniu manewru wyprzedzania – w zależności od S , kąta wychylenia steru, prędkości statku oraz działania 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 B . Ponieważ w czasie wykonywania manewru wyprzedzania nieznane są w danej chwili błędy sterowania (oddziaływanie warunków zewnętrznych), 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. Błąd sterowania α_m można opisać rozkładem normalnym $N(0, \sigma)$, gdzie σ 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],
- α_0 – zadany kąt sterowania $[\circ]$.

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

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

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

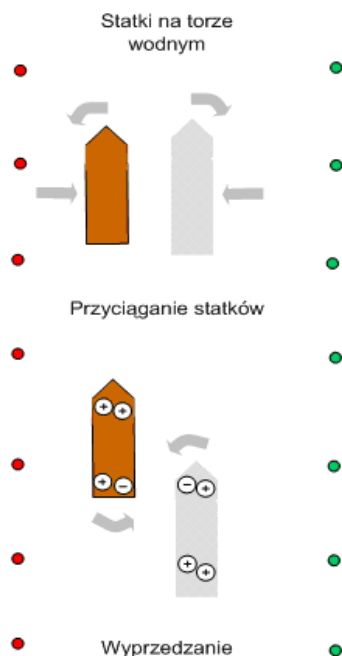
gdzie:

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

3. INTERAKCJE HYDRODYNAMICZNE WYSTĘPUJĄCE W MANEWRZE WYPRZEDZANIA

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

stałej od 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.

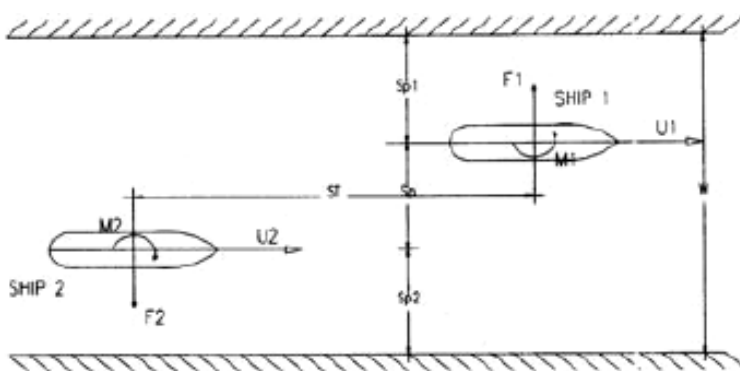


Rys. 3. Występowanie sił hydrodynamicznych podczas manewru wyprzedzania

Ta sytuacja dotyczy również statku wyprzedzającego, który zbliżając się na niewielką odległość, może wykonać działanie nieprzemyślane, doprowadzając do katastrofy. Może też wystąpić zjawisko przyssania polegające na wzajemnym przyciąganiu się statków, spowodowane różnicą ciśnień wody po obu burtach statku przy bliskim przechodzeniu obok siebie. 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. Podczas wyprzedzania statków wyróżnia się siły poprzeczne oraz moment poprzeczny dla obydwu jednostek.



Rys. 4. Układ współrzędnych dla manewru wyprzedzania [7]

Bezwymiarowe siły i momenty poprzeczne można wyrazić następująco [7]:

$$F_i(t) = -h_i \int_{-\frac{L_i}{2}}^{\frac{L_i}{2}} \Delta P(x_i, t) dx_i \quad (3)$$

$$M_i(t) = -h_i \int_{-\frac{L_i}{2}}^{\frac{L_i}{2}} x_i \Delta P(x_i, t) dx_i$$

$$C_{F_i} = \frac{F_i}{\frac{1}{2} \rho L_i d_i U_i^2} \quad (4)$$

$$C_{M_i} = \frac{M_i}{\frac{1}{2} \rho L_i^2 d_i U_i^2}$$

gdzie:

- L_i – długość statku [m],
- h_i – głębokość akwenu [m],
- ΔP – różnica ciśnień wzdłuż kierunku ruchu statku,
- d_i – zanurzenie statku [m],
- C_{Fi} – siła poprzeczna oddziaływania hydrodynamicznego,
- C_{Mi} – moment poprzeczny oddziaływania hydrodynamicznego,
- ρ – gęstość wody.

Na podstawie badań numerycznych [7] określono, że maksymalne odchylenie poprzeczne statku wyprzedzanego występuje w sytuacji, gdy stosunek prędkości obydwu jednostek wynosi 1:2. Maksymalne momenty i siły poprzeczne obserwuje się dla wolniejszych i mniejszych statków oraz wraz ze zmniejszaniem się głębokości akwenu. Badania numeryczne [7] nie zostały zweryfikowane na modelach fizycznych statków. Nie są ujęciem holistycznym opisującym wyprzedzanie. Dotyczą tylko i wyłącznie analizy odległości bocznej manewru, bez uwzględnienia i wzajemnego powiązania z początkowym etapem wyprzedzania, czyli odległością, w której statek rozpoczyna wyprzedzanie, oraz ze zmianą kursu dla realizacji manewru.

4. KOLIZJE STATKÓW PODCZAS MANEWRU WYPRZEDZANIA

Przedstawiona miara oceny prawidłowego manewru wyprzedzania na akwencie ograniczonym nie uwzględnia wpływu sił hydrodynamicznych, oddziaływających pomiędzy statkami. Określenie wpływu tych sił wymaga zastosowania zaawansowanych technik pomiarowych oraz dużych modeli fizycznych na akwencie otwartym, w celu ograniczenia wpływu efektu skali. Wyznaczenie granicznych parametrów manewru dla statku wyprzedzającego pozwoli na predykcję pozycji statku i optymalne sterowanie statkiem podczas wyprzedzania. Opracowane modele mogą być zastosowane w systemach zarządzania bezpieczeństwem, systemach antykolizyjnych oraz systemach wspomagania decyzji dla statkowych systemów nawigacyjnych i lądowych systemów kontroli ruchu. Proces prowadzenia statku na akwencie ograniczonym jest ściśle związany z podjęciem działań mających na celu uniknięcie sytuacji kolizyjnej, a tym samym z 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 pozwala na prewencyjne podejście do oceny bezpieczeństwa manewru wyprzedzania. 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.

Istnieje wiele sytuacji, w których przyczyną wypadków morskich jest błąd człowieka. Przykładem ilustrującym niebezpieczeństwo manewru wyprzedzania na obszarze ograniczonym są zdarzenia, które miały miejsce na rzece Elbie (podej-

ściowy tor wodny do portu w Hamburgu). W marcu 2004 roku doszło do zderzenia dwóch kontenerowców (m/v „P&O Nedlloyd Finland” oraz m/v „Cosco Hamburg”) podczas manewru wyprzedzania [5]. Pomimo dobrych warunków pogodowych panujących na akwenie oraz prowadzenia statków przez doświadczonych pilotów niemieckich zbyt późno rozpoczęto wyprzedzanie, a wartość zmiany kursu statku wyprzedzającego była niewystarczająca. Dodatkowo błędnie oceniono odległość boczną mijania się statków, co doprowadziło do wystąpienia interakcji hydrodynamicznych pomiędzy statkami, a w efekcie końcowym do kolizji. Oprócz zderzenia konsekwencją tego wypadku było wypadnięcie jednego z członków załogi za burtę w wyniku przechyłu, jaki uzyskał statek wyprzedzany pod wpływem oddziaływania sił hydrodynamicznych (rys. 5).



Rys. 5. Kolizja podczas wyprzedzania na torze wodnym [5]

WNIOSKI

Pomimo wyposażenia statków w systemy wspomagania nawigacji, takie jak: ARPA, ECDIS, AIS, nie można uniknąć 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, w których najczęściej dochodzi do kolizji statków. Modyfikacja i rozbudowa tych systemów o dodatkowe moduły przyczyni się do rozwoju systemów wspomagania decyzji umożliwiających 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. Obecnie prowadzone badania nad wpływem sił hydrodynamicznych opierają się na symulacjach komputerowych. Ponadto nie uwzględniają one powiązania odległości bocznej z odległością rozpoczęcia manewru i wyborem zmiany kursu w celu uniknięcia kolizji.

LITERATURA

1. Burciu Z., Lizakowski P., *Analiza ryzyka manewru wyprzedzania w oparciu o sieci Bayesa*, Problemy Eksploatacji, 2009, nr 4.
2. Gucma L., *Modelowanie czynników ryzyka zderzenia jednostek pływających z konstrukcjami portowymi i pełnomorskimi*, Studia / Akademia Morska w Szczecinie, 2005, nr 44,.
3. Gucma L., Smalko Z., *Selected problems and methods of Navigational Risk Assessment*, Proc. 12th International Congress IMAM Lisbon 2005, vol. 1.
4. Gucma S., *Inżynieria ruchu morskiego*, Wydawnictwo Okrętownictwo i Żegluga, Gdańsk 2001.
5. *Investigation Report 45/04 Collision between CMV Cosco Hamburg and CMV P&O Nedlloyd Finland on 01 March 2004 on the Lower Elbe/off Buoy 91 with the Heath of one seaman*, Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung, Hamburg 2006.
6. Lizakowski P., *System antropotechniczny człowiek statek – efektywność manewru wyprzedzania w ograniczonej przestrzeni*, XXXVII Zimowa Szkoła Niezawodności Szczyrk 2009.
7. Varyani K., Krishnankutty P., *New generic mathematical model to predict hydrodynamic interaction effects for overtaking maneuvers in simulators*, Journal of Marine Science and Technology, 2004, 9.

SAFE DISTANCE OF OVERTAKING MANOEUVRE IN RESTRICTED AREAS

Summary

Safety of overtaking manoeuvres is an essential point of navigation carried out in restricted areas. The specificity of such areas causes reduce of manoeuvring available space. One of the elements determining no collision overtaking manoeuvre is the correct evaluation of the lateral distance between two ships during the action. The paper presentss the causes of vessel collision during overtaking in restricted areas.