

ZALEWSKI Paweł

SYMULACYJNA OCENA RYZYKA MANEWROWANIA STATKIEM Z ASYSTĄ HOLOWNICZĄ NA AKWENIE OGRANICZONYM

Streszczenie

W artykule przedstawiono techniki symulacji asysty holowniczej transportowych jednostek pływających (statków) oraz metodę kwantyfikacji ryzyka manewrowania statkiem z asystą holowniczą na akwenu ograniczonym. Specyfika wzajemnych interakcji holownik – statek holowany prowadzi do konkluzji wskazującej na konieczność prowadzenia badań symulacyjnych w wielozadaniowych symulatorach nawigacyjno-manewrowych z projekcją perspektywiczną wizji otoczenia na kilku mostkach nawigacyjnych (tzw. FMBS). Ocena ryzyka następuje na podstawie wyznaczenia prawdopodobieństwa wypadku nawigacyjnego i jego skutków dla jednostki holowanej, jak i holującej.

WSTĘP

Projektowanie lub modernizacja dróg wodnych wymaga oceny bezpieczeństwa ich użytkowania. Ocena ta od lat 90-tych ubiegłego wieku, zgodnie z przyjętymi zaleceniami międzynarodowymi [7], wykonywana jest głównie na podstawie badań symulacyjnych. W szczególności projektowanie systemu określania pozycji i optymalizacja parametrów dostępnego akwenu żeglugowego, na które składają się: wymogi stawiane systemom nawigacyjnym, systemom wspomagającym (obsługa pilotowa, holownicza, zarządzania ruchem VTS) oraz wyznaczanie bezpiecznych obszarów manewrowych badanych statków na założonym poziomie ufności [4], preferuje się realizować poprzez analizę odpowiednio licznych prób symulacyjnych. Na podstawie danych zarejestrowanych w badaniach symulacyjnych można dokonać kwantyfikacji złożonego kryterium bezpieczeństwa - ryzyka manewrowania na projektowanym akwenu. Zarejestrowane dane będą jednakże cechowały się na tyle wysoką wiarygodnością na ile wierne będą modele jednostek pływających [1] i kompetencje obsługujących je załóg. Czynniki ludzkie, wyrażający się poprzez świadomość sytuacyjną wynikającą z precyzyjnej komunikacji i specyficznej wiedzy manewrowej o fizycznej interakcji dwóch jednostek, nabiera szczególnego znaczenia w symulacji złożonych manewrów z asystą holowników.

1. KWANTYFIKACJA RYZYKA MANEWROWANIA

Prawdopodobieństwo wypadku nawigacyjnego w prowadzonych w Polsce i na świecie analizach [2, 3, 4, 10] określane jest na podstawie niezależnie traktowanych prawdopodobieństw niezawodności poszczególnych składowych systemu jednostki pływającej: człowieka – nawigatora i urządzeń technicznych oraz pozostałych elementów (wpływu otoczenia), które nawet w przypadku sprawnych dwóch pierwszych czynników

także mogą doprowadzić do ocenianego zdarzenia, np. wejścia statku na mieliznę. Podczas manewrowania na ograniczonym jednokierunkowym torze wodnym, w danym miejscu toru (zgodnie z przyjętą dyskretyzacją odległościową), opisuje je iloczyn [4]:

$$P_A = 1 - (1 - P_H)(1 - P_T)(1 - P_E) \quad (1)$$

gdzie:

- P_A – prawdopodobieństwo wypadku,
- P_H – prawdopodobieństwo błędu człowieka – nawigatora,
- P_T – prawdopodobieństwo awarii technicznej,
- P_E – prawdopodobieństwo wypadku w wyniku niesprzyjającego wpływu otoczenia.

Zgodnie z terminologią systemową przyjmowana jest wobec powyższego struktura szeregową zdarzeń (wszystkie składowe muszą być w stanie zdatności, aby system pozostawał w zdatności).

Równanie (1) jest zazwyczaj upraszczane w przypadku analiz symulacyjnych z udziałem człowieka, jako elementu sterującego statkiem, do formy:

$$P_A = 1 - (1 - P_T)(1 - P_N) \quad (2)$$

gdzie:

$$P_N = 1 - (1 - P_H)(1 - P_E) \quad (3)$$

- P_N – prawdopodobieństwo nawigacyjne wypadku – przekroczenia bezpiecznej izobaty lub zderzenia z zewnętrzną infrastrukturą.

P_H jest więc składową prawdopodobieństwa P_N . Podobnie należy przyjąć, iż prawdopodobieństwo błędu człowieka, jako elementu personelu maszynowego, obsługi pokładowych urządzeń kotwicznych, holowniczych, cumowniczych, itd. jest składową prawdopodobieństwa P_T [10]. Stosując zależność (2) przyjmowane jest założenie, iż P_N obejmuje zarówno prawdopodobieństwo przekroczenia bezpiecznej izobaty w przypadku zaistnienia awarii technicznej, jak i w przypadku braku awarii technicznej, natomiast awaria techniczna zawsze przyczynia się do wypadku nawigacyjnego z prawdopodobieństwem P_T . Jednakże, uściślając problem zgodnie z teorią Bayesa dla prawdopodobieństw zdarzeń wykluczających się, wypadkowe prawdopodobieństwo wyjścia poza bezpieczne granice toru wodnego jest sumą prawdopodobieństw przekroczenia bezpiecznej izobaty po zaistnieniu awarii technicznej $P_N(N|T)$ oraz jej przekroczenia bez zaistnienia awarii technicznej $P_N(N|0)$. Równanie (2) przyjmuje więc formę:

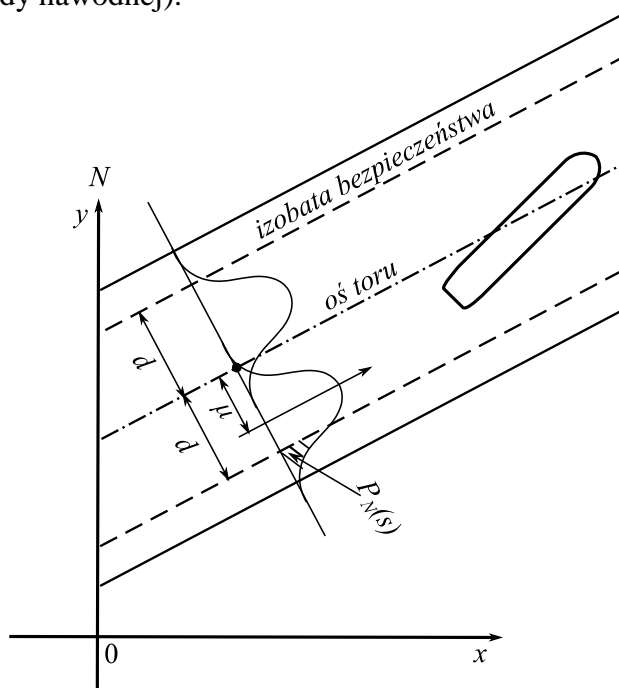
$$P_A = P_N(N|T) \cdot P_T + P_N(N|0) \quad (4)$$

Prowadząc analizę symulacyjną bezpieczeństwa nawigacji, prawdopodobieństwo $P_A(N|0)$ zostanie określone na podstawie statystycznie istotnej próby symulowanych „manewrów” sprawnym statkiem, a $P_N(N|T)$ na podstawie statystycznie istotnej próby symulowanych „manewrów” niesprawnym statkiem, przyjmując określone miejsce toru wodnego za miejsce wystąpienia awarii technicznej mogącej przynieść najgorsze skutki. Sumaryczna wartość obu prawdopodobieństw wyznaczonych w danym punkcie toru wodnego będzie prawdopodobieństwem wypadku wyjścia poza granicę bezpiecznej izobaty. W celu wyznaczenia obu prawdopodobieństw określone muszą zostać ich funkcje gęstości (a tym samym statystyki rozkładów) na podstawie zarejestrowanych serii „manewrów” symulacyjnych statku w obu wariantach. Zgodnie z wynikami badań zespołu inżynierii ruchu morskiego Akademii Morskiej w Szczecinie [2] przyjmowany jest rozkład normalny zmiennej losowej odległości skrajnego punktu kadłuba od przyjętej osi lub punktu odniesienia. Stąd geometryczne prawdopodobieństwo (rys. 1):

$$P_N(s = d) = \int_d^{\infty} f(s)ds = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{d - \mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad (5)$$

gdzie:

- $P_N(s)$ – prawdopodobieństwo przekroczenia bezpiecznej izobaty,
- erf – funkcja „błędu” dla standaryzowanego rozkładu normalnego wyznaczana całkowaniem numerycznym krzywej gęstości prawdopodobieństwa tego rozkładu,
- s – zmienna odległości zarejestrowanych skrajnych punktów obwiedni kadłuba statku (umownej wodnicy) od osi toru wodnego (odniesienia),
- μ – wartość oczekiwana – średnia odległość zarejestrowanych skrajnych punktów obwiedni kadłuba statku od osi toru wodnego,
- σ^2 – wariancja odległości zarejestrowanych skrajnych punktów obwiedni kadłuba statku od osi toru wodnego,
- d – odległość od osi toru (odniesienia) do granicy bezpieczeństwa (izobaty lub przeszkody nawodnej).



Rys. 1. Ilustracja metody wyznaczenia prawdopodobieństwa przekroczenia bezpiecznej izobaty

Przyjmując wartość ryzyka akceptowalnego R_i otrzymuje się kryterium [4]:

$$P_{Ai} \leq \frac{R_i}{C_i I_R} \quad (6)$$

gdzie:

- i – liczba porządkowa jednostki biorącej udział w manewrze,
- P_{Ai} – prawdopodobieństwo przekroczenia bezpiecznej izobaty przez jednostkę i ,
- C_i – skutki jakie spowoduje przekroczenie bezpiecznej izobaty przez jednostkę i ,
- I_R – średnia roczna intensywność (częstość) wykonywania danego manewru [rok^{-1}].

Dla manewrów z asystą holowniczą zależność (6) wyznaczana jest dla jednostki holowanej $i=1$ oraz każdego z holowników: $i=2\dots5$.

2. SYMULACJA ASYSTY HOLOWNICZEJ W SYMULATORZE NAWIGACYJNO-MANEWROWYM

Symulacja asysty holowniczej w wielozadaniowych symulatorach nawigacyjno-manewrowych, z projekcją perspektywiczną wizji otoczenia na kilku mostkach nawigacyjnych, może być prowadzona w trzech wariantach. Pierwszy wariant zakłada

sterowanie wymuszeniami holowniczymi poprzez aplikację instruktora (osoby nadzorującej proces symulacyjny), drugi zakłada bezpośrednią interakcję statków symulowanych równolegle na kilku mostkach nawigacyjnych, trzeci kombinację obu technik symulacji (np. dwa holowniki symulowane na mostkach i dwa przez instruktora). Pod względem realizmu zarówno fizycznego, jak i współpracy załóg ewidentną przewagę mają sposoby drugi i trzeci. Wykorzystują one faktyczne modele hydrodynamiczne wszystkich jednostek biorących udział w asyście lub przynajmniej modele jednostek ciągnących linami w wariacie kombinowanym.

W celu symulacji holowania liną model hydrodynamiczny statku uwzględnia wymuszenia pochodzące od doczepionych do kadłubów w określonych miejscach (pozycjach pachołków, wind holowniczych, kluz) cum i lin holowniczych. Połączenia te mogą być albo sztywne („na mocno”), albo o regulowanym naprężeniu i długości liny poprzez windę wydającego hol statku. Parametrami modelu są maksymalna długość, siła zrywająca, sprężystość i gęstość liny holowniczej oraz moc, maksymalna prędkość windy i prędkość windy w funkcji obciążenia – naprężenia liny. Podczas procesu holowania (rys. 2) ruch jednostki holowanej będzie uzależniony od:

- sił środowiska (wiatru i wody), sił wynikających z oporów hydrodynamicznych zależnych od prędkości, sił wewnętrznych od pędników, sterów, windy holowniczej;
- względnych kątów orientacji holownika w stosunku do liny holowniczej i orientacji statku holowanego w stosunku do liny holowniczej,
- pozycji punktów zamocowania liny na obu jednostkach.

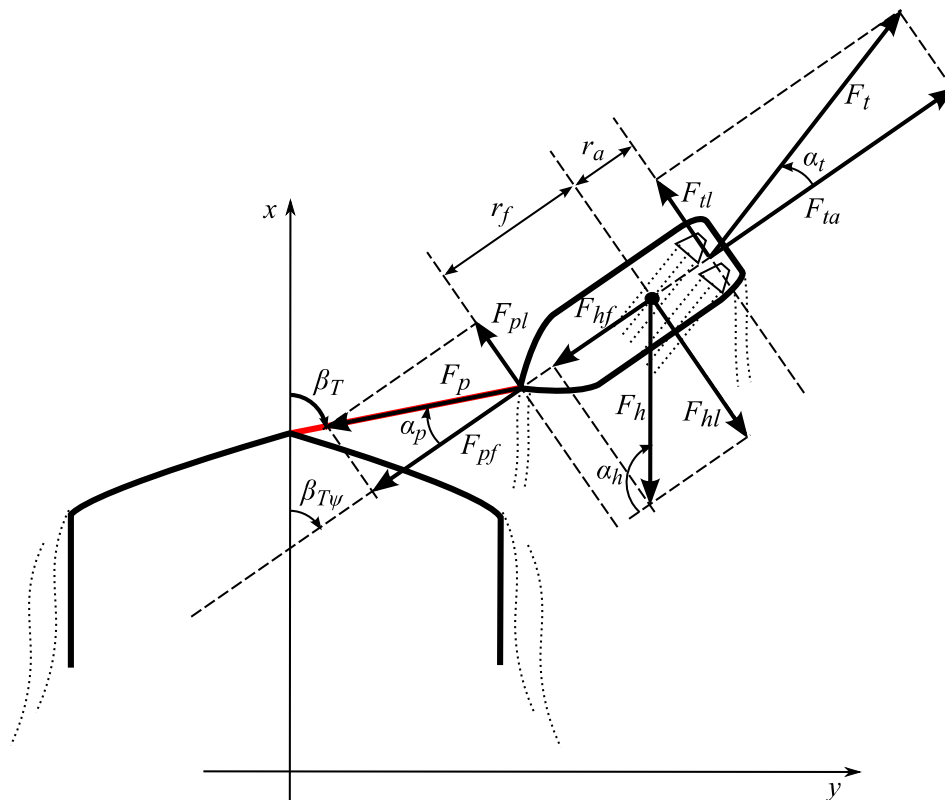


Rys. 2. Aktywna asysta holowników na linach podczas żeglugi torem wodnym
Źródło: Buksér og Berging AS

Na rys. 4 przedstawiono rozkład sił podczas aktywnej asysty holownika ASD (z napędem azymutalnym – rys. 3) na linie od dziobu holownika do dziobu statku, w układzie współrzędnych kartezyjskich dowiązanym do jednostki holowanej.



Rys. 3. Pędniki ASD firmy Schottel w holowniku „Uran” ze Swinoujścia
Źródło: Fairplay Towage Polska Sp. z o.o.



Rys. 4. Rozkład sił działających w płaszczyźnie poziomej na ciągnący holownik ASD – aktywna asysta „dziób – dziób”

Upraszczając rozważania wypadkową siłę hydrodynamiczną F_h przyłożono w centrum oporu powietrza i wody równemu środkowi obrotu jednostki, przyjmując pomijalny wpływ oddziaływania otoczenia w wyniku prądu, wiatru, falowania – tzw. „warunki zerowe”.

Aby holownik ASD ciągnący statek był w stanie równowagi statycznej względem holowanego statku muszą być spełnione dwa warunki równowagi sił (rys. 4):

$$F_{ta} = F_{pf} + F_{hf} = F_t \cos \alpha_t \quad (7)$$

i:

$$F_{hl} = F_{pl} + F_{tl} = F_h \sin \alpha_h \quad (8)$$

oraz jeden warunek równowagi momentów sił:

$$F_{pl}r_f = F_{il}r_a \quad (9)$$

w których F reprezentuje cechę wartości siły (wielkość liczbowa nieujemna).

Dla przedstawionej na rys. 4 aktywnej asysty, chwilową siłę uciągu F_p dla pierwszego warunku równowagi (7) można wyrazić zależnością:

$$F_p = \frac{F_t \cos \alpha_t - F_{hf}}{\cos \alpha_p} \quad (10)$$

gdzie kąt kursowy liny holowniczej α_p podczas analizy sytuacji z pokładu statku holowanego, dowodzącego operacją:

$$\alpha_p = \beta_T - \beta_{T\psi} \quad (11)$$

$$F_{hf} = -F_h \cos \alpha_h \quad (12)$$

skąd:

$$F_p = \frac{F_t \cos \alpha_t + F_h \cos \alpha_h}{\cos(\beta_T - \beta_{T\psi})} \quad (13)$$

Odpowiednio dla drugiego warunku równowagi (8) po podstawieniu zależności trygonometrycznych analogicznych do (10) i (12) siła uciągu wyniesie:

$$F_p = \frac{-F_t \sin \alpha_t + F_h \sin \alpha_h}{\sin(\beta_T - \beta_{T\psi})} \quad (14)$$

A warunek równowagi momentów sił (9):

$$F_p r_f \sin(\beta_T - \beta_{T\psi}) = F_t r_a \sin \alpha_t \quad (15)$$

Szyper holownika, aby utrzymać linę holowniczą pod odpowiednim kątem β_T i z odpowiednim uciągami F_p , zadanymi przez kapitana lub pilota statku holowanego, nie zmieniając pozycji holownika względem statku, musi poprzez nastawy pędników ciągle doprowadzać do zrównania (13) z (14) oraz utrzymania (15), czyli realizować złożoną funkcję celu (optymalizacji) o przykładowej postaci sumy kwadratów:

$$g = n_1 \left(\frac{F_t \sin(\beta_T - \beta_{T\psi} + \alpha_t) + F_h \sin(\beta_T - \beta_{T\psi} - \alpha_h)}{\sin(\beta_T - \beta_{T\psi}) \cos(\beta_T - \beta_{T\psi})} \right)^2 + \quad (16)$$

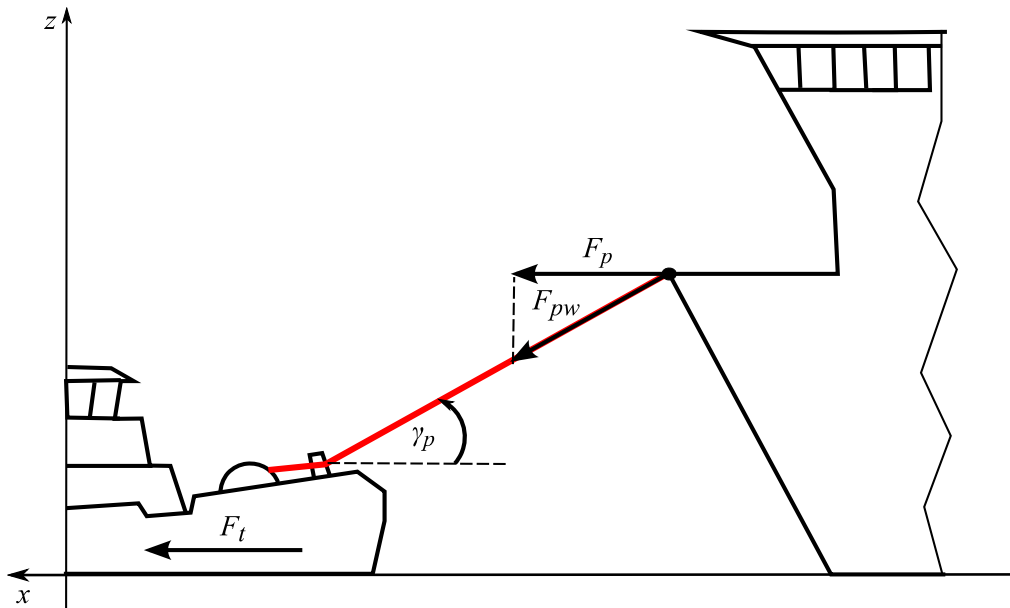
$$+ n_2 (F_p r_f \sin(\beta_T - \beta_{T\psi}) - F_t r_a \sin \alpha_t)^2 \rightarrow \min$$

gdzie:

- n_1 - stała normalizacji dla kwadratu różnicy sił [$1/N^2$] lub [$1/T^2$],
- n_2 - stała normalizacji kwadratu różnicy momentów [$(Nm)^{-2}$] lub [$(Tm)^{-2}$].

Jest to proces wymagający sporego doświadczenia praktycznego [5, 6], w szczególności biorąc pod uwagę brak bezpośredniej dostępności pomiarów F_h oraz F_p , znaczną ich zmienność wraz z kątem naporu wiatru i wody, zmienność położenia środka obrotu wraz z prędkością oraz pominięcie w (16) wpływu warunków hydrometeorologicznych odbiegających zwykle od „zerowych”. W nowszych jednostkach holowniczych stosuje się w związku z powyższym pomiar siły F_w - naprężenia liny na windzie holowniczej.

W symulatorze za pomiar naprężenia na windzie holowniczej odpowiada model hydrodynamiczny uwzględniający przedstawione na rys. 4 i 5 geometryczne zależności oddziaływań pomiędzy połączonymi liną jednostkami. Należy podkreślić, iż zgodnie z badaniami amerykańskimi [8] siła zmierzona na windzie F_w odpowiada z tolerancją około 10 procent sile naprężenia liny F_{pw} (F_w jest nieco mniejsza od naprężenia liny ze względu na występujące tarcia w kluzach).



Rys. 5. Rozkład sił działających na ciągnięty statek w płaszczyźnie pionowej

Przykładowo:

- przy kątach: $\alpha_p=0^\circ$, $\gamma_p=30^\circ$ siły: $F_p=F_t$, $F_{pw}=109\%F_w$, $F_p=93\%F_w$, $F_w=108\%F_p$,
 - przy kątach: $\alpha_p=0^\circ$, $\gamma_p=60^\circ$ siły: $F_p=F_t$, $F_{pw}=112\%F_w$, $F_p=56\%F_w$, $F_w=177\%F_p$,
- gdyż:

$$F_{pw} = \frac{F_p}{\cos \gamma_p} \quad (17)$$

Szyper holownika musi wobec powyższego brać pod uwagę możliwość zerwania liny, w szczególności przy krótkich holach (<50m), gdy $\gamma_p > 30^\circ$. Siła uciągu F_t może w takiej sytuacji wynosić np. 60T, na windzie 106T, a naprężenia liny 120T (zgodnie z (17)). Monitoring F_w , w szczególności przy maksymalnym uciągu (maksymalne nastawy pędników) oraz tzw. holowaniu pośrednim, jest więc bardzo pomocny. Nie znając wartości naprężenia liny szyper może jedynie w przybliżony sposób oceniać siłę uciągu pędników, która ulega znacznym zmianom podczas ruchu holownika w stosunku do prób statycznych.

W końcowym etapie cumowania i podczas obrotu nieprzemieszczającego się liniowo statku holowanie mogą dodatkowo wspomóc holowniki pchające, oddziałujące siłą F_p na kadłub jednostki pchanej w miejscu styczności (rys. 6).



Rys. 6. Asysta holowników dopychających przy terminalu LNG w gazoporcie w Świnoujściu
Źródło: Symulator Centrum Inżynierii Ruchu Morskiego, AM w Szczecinie

Analiza prób symulacyjnych z bezpośrednią interakcją załóg statków, pilota jednostki transportowej i szyprów holowników, daje możliwość budowy uproszczonego modelu mentalnego zmiany siły F_p i kąta β_T w czasie dla nadzorującego proces symulacji w wariancie sterowania instruktorskiego. Instruktor posiadający duże praktyczne doświadczenie w pracy z holownikami może dość wiernie dostosowywać F_p i β_T do prędkości postępowej jednostki holowanej i informować o zadaniu niewykonalnych poleceń pilota. Jednakże jego percepcja otoczenia zawsze będzie odmienna od percepcji otoczenia na mostku nawigacyjnym, gdzie szyper buduje swoją świadomość sytuacyjną przede wszystkim według obrazu za bulajem, a nie według mapy elektronicznej (rys. 7).



Rys. 7. Stanowisko instruktorskie i mostek nawigacyjny w symulatorze nawigacyjno-manewrowym
Źródło: Symulator Centrum Inżynierii Ruchu Morskiego, AM w Szczecinie

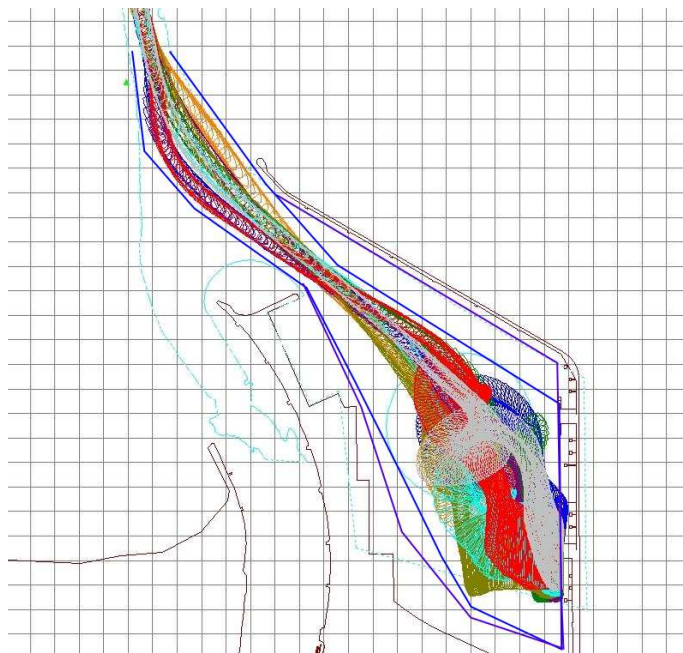
3. WYKORZYSTANIE SYMULACJI DO OCENY RYZYKA MANEWROWANIA STATKIEM Z ASYSTĄ HOLOWNICZĄ

Ocena ryzyka manewrowania (nawigacyjnego) dokonywana jest zgodnie z zależnością (6) na podstawie rejestracji parametrów wektorów stanu symulowanych jednostek pływających, w szczególności ich położenia, kursu i prędkości. Ocena ryzyka jest przeprowadzana dwuwariantowo w zależności od rodzaju wypadku [3]:

- wypadki lekkie oraz wypadki ciężkie niepociągające za sobą ofiar śmiertelnych: $C_i \approx 1$, $R_i = 7 \cdot 10^{-3}$ rocznie
- wypadki ciężkie, w których istnieje wysokie prawdopodobieństwo ofiar śmiertelnych: $C_i > 1$ w zależności od ilości ofiar, $R_i = 10^{-4} \div 10^{-8}$ rocznie.

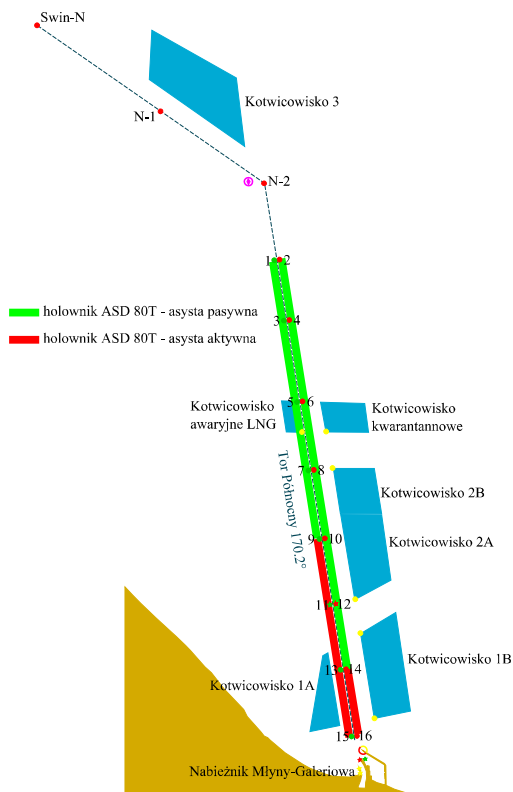
Na rys. 8 przedstawiono przykładowy bezpieczny obszar manewrowy statku LNG typu QFlex (315m długości, 12,5m zanurzenia) w gazoporcie Świnoujście, uzyskany na podstawie rejestracji 15 prób symulacyjnych w wielozadaniowym symulatorze nawigacyjno-manewrowym Kongsberg-Polaris w Centrum Inżynierii Ruchu Morskiego AM w Szczecinie. Obszar obejmuje pogłębienie akwenu do 14,5m oznaczone kolorem ciemnoniebieskim, oraz do 6m oznaczone kolorem fioletowym, dla wstępnego projektu dwóch terminali LNG. Izobata 6m ogranicza bezpieczny akwen manewrowy holowników ASD o zanurzeniu 5m.

Wykonane badania symulacyjne prowadzą do finalnego projektu akwenu, w tym wymogów stawianych asyście holowniczej. Rezultaty badań symulacyjnych gazoportu w Świnoujściu [3] zostały już wdrożone w postaci zakończonej budowy falochronów i terminalu, pogłębienia obszaru manewrowego do 14,5m, ustawienia oznakowania nawigacyjnego i przyjęcia wymagań usług portowych [9] opracowanych przez zespół inżynierii ruchu morskiego AM w Szczecinie.



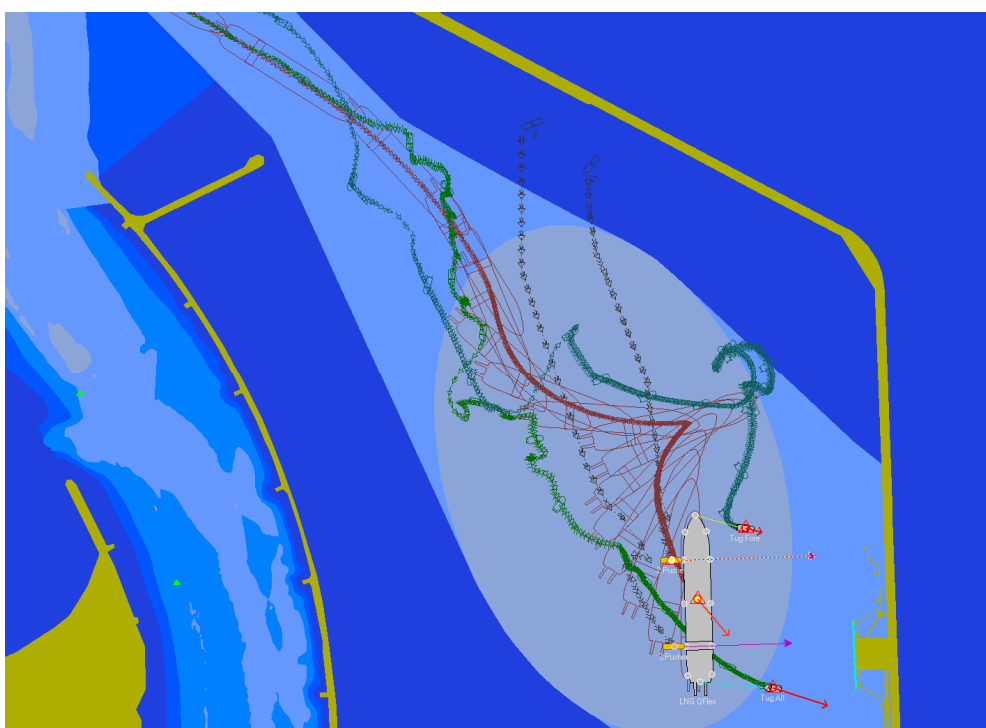
Rys. 8. Obszar manewrowy wyznaczony z kryterium ryzyka akceptowalnego w symulatorze Centrum Inżynierii Ruchu Morskiego AM w Szczecinie

Na rys. 9 przedstawiono syntezę graficzną wymagań stawianych ilości, mocy i rodzaju pracy asysty holowniczej na torze wodnym prowadzącym do Świnoujścia. Za asystę aktywną przyjęto pracę holowników na linii rufowej i dziobowej, a za asystę pasywną pracę holowników towarzyszących, niezamocowanych trwale do gazowca LNG. W przypadku jednego holownika asystującego aktywnie będzie to holownik rufowy, ze względu na lepsze własności dynamiczne i sterowe wynikające z przesunięcia środka obrotu gazowca do przodu (w ruchu postępowym) oraz bezpieczeństwo holownika przy dopuszczalnej, relatywnie dużej prędkości 8w.



Rys. 9. Asysta holowników przy wejściu załadowanego gazowca LNG do Świnoujścia

Badania i rozpoczynające się szkolenia symulacyjne z udziałem szyprów holowników wykazują także konieczność ustanowienia wspomagającego holowniki oznakowania nawigacyjnego wewnątrz akwenu portowego w okresie początkowej eksploatacji gazoportu. Zgodnie ze specyfiką asysty holowniczej przedstawioną w rozdziale 2, dla szypra holownika krytyczne znaczenie może mieć świadomość ograniczeń głębokościowych własnej jednostki. Na przykładzie gazoportu w Świnoujściu można stwierdzić, iż ograniczenia pionowe akwenu nie mają znaczenia dla holowników operujących na torze podejściowym, jednakże muszą być brane pod uwagę wewnątrz portu (za główkami falochronów – rys. 10). Najciemniejszym kolorem oznaczono głębokości poniżej 10m, które po zachodniej stronie gazoportu zmniejszają się zaraz za skarpą obrotnicy do 2m, ze względu na planowaną w przyszłości zabudowę. Oznakowanie pławami wewnątrz portu izobaty 14,5m umożliwi szyptom holowników bieżący monitoring wizualny swojej pozycji w stosunku do ograniczenia głębokościowego bez potrzeby koncentracji wzrokowej na systemie mapy elektronicznej lub PNS (pilotowy system nawigacyjny).



Rys. 10. Trajektorie ruchu załadowanego gazowca LNG i holowników podczas symulacji wejścia do Świnoujścia

PODSUMOWANIE

Analiza cech systemów symulacyjnych używanych w badaniach prowadzących do oceny ryzyka nawigacyjnego jednostek pływających z asystą holowniczą wskazuje na konieczność wykorzystania systemów „Full Mission” (FMBS). Są to wielozadaniowe symulatory nawigacyjno-manewrowe z projekcją perspektywiczną wizji otoczenia na kilku zintegrowanych sieciowo mostkach nawigacyjnych. Taka konfiguracja umożliwia odwzorowanie rzeczywistych procesów zarówno z wysoką wiernością modeli hydrodynamicznych, jak i wysoką wiernością tzw. „czynnika ludzkiego” poprzez zaangażowanie operatorów jednostki holowanej (nawigatorów, pilotów) oraz holującej (szyprów) i możliwość ich wzajemnych interakcji.

Na podstawie parametrów wektorów stanu jednostek pływających zarejestrowanych w takim środowisku symulacyjnym można dokonać wiarygodnej kwantyfikacji złożonego

kryterium bezpieczeństwa - ryzyka manewrowania na projektowanym akwenu. W przypadku oceny ryzyka wyjścia poza akwen o bezpiecznej głębokości wyliczane jest wypadkowe prawdopodobieństwo wyjścia poza bezpieczne granice toru wodnego, jako suma prawdopodobieństw przekroczenia bezpiecznej izobaty po zaistnieniu awarii technicznej oraz jej przekroczenia bez zaistnienia awarii technicznej oraz przyjmowane są skutki takiego wypadku. Na tej podstawie może być wyznaczone nowe położenie izobaty spełniające warunek ryzyka akceptowalnego.

Badania symulacyjne w symulatorach FMBS o minimum trzech mostkach nawigacyjnych prowadzą do określenia bezpiecznego akwenu manewrowego, spełniającego warunek ryzyka akceptowalnego, zarówno dla holowanego statku, jak i asystujących holowników.

BIBLIOGRAFIA

1. Artyszuk J., *Modelowanie i symulacja ruchu jednostek pływających w zagadnieniach bezpieczeństwa i efektywności manewrowania*. Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2013.
2. Gucma S. (red.), Gucma L., Zalewski P.: *Symulacyjne metody badań w inżynierii ruchu morskiego*. Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2008.
3. Gucma S. (red.), Artyszuk J., Gucma L., Gucma M., Ślęczka W., Zalewski P.: *Projektowanie i eksploatacja terminali LNG w aspekcie bezpieczeństwa nawigacji*. Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2009.
4. Gucma S. (red.), Ślęczka W., Zalewski P., *Parametry torów wodnych i systemów nawigacyjnych wyznaczone przy wykorzystaniu kryteriów bezpieczeństwa nawigacji*, Szczecin 2013.
5. Hajduk J., *Cumowanie statku z wykorzystaniem holowników*. Technika Transportu Szynowego 12/2012, EMI-PRESS, Łódź 2012.
6. Hensen H., *Bow Tug Operations with Azimuth Stern Drive Tugs, Risks and Effectiveness*. The Nautical Institute, London 2006.
7. PIANC, *Approach Channels. A Guide for Design*. PTC II-30, Final report of the joint Working Group PIANC and IAPH in cooperation with IMPA and IALA, Supplement to Bulletin no. 95, 1997.
8. Slesinger J., *ASD Tugs: Thrust and Azimuth, Learning to Drive a Z-drive*. Shiffer Publishing Ltd., Atglen 2010.
9. Urząd Morski w Szczecinie, *Zarządzenie nr 3 Dyrektora Urzędu Morskiego w Szczecinie z dnia 26 lipca 2013 r. – Przepisy Portowe*, Szczecin 2013.
10. Zalewski P., *Systemy autonomiczne w procesie oceny bezpieczeństwa jednostek pływających*. Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2013.

SIMULATION LEADING TO ESTIMATION OF MANOEUVRING RISK OF SHIP WITH TUG ASSISTANCE IN THE RESTRICTED WATERS

Abstract

The paper presents simulation techniques of tugs assistance and method of manoeuvring risk quantification of the vessel with tugs assistance in the restricted waters. The specificity of interaction between the tug and the towed vessel leads to the conclusion of necessary simulation research in Full Mission Bridge Simulators (FMBS). The risk assessment is based on the likelihood of a navigation accident and its consequences both for the vessel being towed and the towing vessel.

Autor:

dr inż. **Paweł Zalewski** – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Centrum Inżynierii Ruchu Morskiego, <http://cirm.am.szczecin.pl>, p.zalewski@am.szczecin.pl