

Henryk ŚNIEGOCKI, Marek CZAPCZYK

WARUNKI NIEZBĘDNE DO ZAPEWNIENIA BEZPIECZEŃSTWA ŻEGLUGI NA TORACH PODEJŚCIOWYCH DO PORTU DLA STATKÓW Z ŁADUNKAMI NIEBEZPIECZNYMI

Streszczenie

W artykule przedstawiono czynniki, jakie należy uwzględnić przy projektowaniu toru wodnego dla statków przewożących ładunki niebezpieczne. Omówiono i dokonano obliczeń dla przykładowego statku. Możliwości przejścia w danych warunkach hydro-meteo poparto wynikiem badań symulujących realizowanych dla statku LNG do Świnoujścia..

WSTĘP

Od dziesięcioleci zauważyć można, że ładunki niebezpieczne wożone są na wyspecjalizowanych do tego statkach. W ostatnich latach odnotowujemy wzrost wielkości statków wyposażonych w tego typu ładunki. Największe z nich to tankowce

Wyposażenie mostków statków w bardzo nowoczesny sprzęt, dostępne bardzo dokładne systemy pozycjonowania sprawiły, że do portów często zawijają statki o maksymalnych wymiarach i właśnie szczególnie dla tego typu statków należy określić jakim warunkom powinny odpowiadać tory przejściowe i kanały portowe. Jednym z bardzo niebezpiecznych ładunków jest gaz LNG. Ze względu na ten fakt należy w jego transporcie morskim stworzyć takie warunki, że będzie to najbardziej bezpiecznie przewożony ładunek.

Society of International Gas Tanker i Terminal Operators (SIGTTO) jest organizacją zajmującą się określeniem warunków bezpiecznego przewozu gazu. Organizacja ta zaleca, aby tory wodne prowadzące do portu LNG powinny posiadać jednolitą głębokość w przekrojach poprzecznych oraz szerokość równą, co najmniej 5 szerokości największego mającego nim pływać statku LNG. Według Critical Parameters for LNG Marine Terminal Site Selection – OTC 19658 szerokość dla torów prowadzących do portu powinna wynosić od 6 do 8 szerokości statku do portu LNG. Planowana szerokość toru wodnego zależy od charakterystyk manewrowych statków mających zawijać do portu Świnoujście z uwzględnieniem najgorszych dopuszczalnych warunków operacyjnych wraz z odpowiednią wartością prędkości statku wymaganą dla utrzymania stateczności kursowej statku oraz dla uzyskania wymaganego momentu obrotowego na krzywoliniowych odcinkach toru w punkcie zmiany kąta drogi nad dnem. Należy sprawdzić cały tor wodny wzdłuż i w szerz i ocenić czy zapewnia on wystarczającą przestrzeń do żeglugi o wymaganej głębokości i szerokości.

W tym celu należy uwzględnić:

- prędkość statku, wraz ze zwiększeniem zanurzenia z tytułu zmniejszenia gęstości wody,
- osiadanie zależne od utrzymywanej prędkości przez statek, od głębokości wody i od profilu toru/kanału,
- redukcję rezerwy wody pod stępką w wyniku przechyłów bocznych i wzdłużnych,
- interakcję pomiędzy dnem morskim, a dnem statku, jako konsekwencję przegłębienia statku,
- oddziaływanie na statek boczny wiatru,
- oddziaływanie na statek prądu przecinającego tor wodny,
- oddziaływanie na statek fali,
- dostępność metod określania pozycji nawigacyjnej,
- rodzaj dna morskiego,

- stosunek głębokości akwenu do zanurzenia statku,
- rodzaj przewożonego ładunku.

Tor wodny pomiędzy wejściem z morza na tor a terminalem LNG powinien zostać wyraźnie oznakowany przez znaki nawigacyjne. Szczególnie wyraźnie powinny być oznakowane krańce toru wodnego. Tam gdzie trudno jest ustalić morski koniec toru wodnego należy rozważyć ustawienie pławy bezpiecznej wody systemu IALA, jako pławy podejściowej (fairway buoy) wyposażonej w racon i w AIS.

Oznakowanie może być stałe w postaci staw (szczególnie tam, gdzie działają silne prądy) lub pływające – pławy odpowiednich rozmiarów, kształtu i koloru itp. Znaki powinny mieć wyraźne oznaczenia i rozróżnialne – odmiennie charakterystyki świetlne (jeśli przewiduje się ruch statku w porze zaciemnionej).

Nabieżniki (ze światłem dla nawigacji w nocy lub w czasie ograniczonej widzialności) są bardzo pomocne dla określenia bezpiecznej linii trasy statku (najczęściej wzdłuż linii środkowej) na torze wodnym, szczególnie tam gdzie silne prądy lub duża gęstość ruchu może okresowo przyczynić się do zmiany położenia oznakowania pływającego. Znaki zabudowane na lądowym podłożu są bardziej wiarygodne niż zakotwiczone oznakowania pływające. Użyteczność nabieżnika zależy od odległości pomiędzy stawą przednią, a tylną oraz od odległości obserwatora do pierwszego znaku. Nabieżniki są szczególnie użyteczne podczas długiego podejścia do terminalu, a specjalnie przy żegludze wzdłuż rzek. Przejście statku wzdłuż wymaganej trasy może być wtedy monitorowane w sposób ciągły w czasie żeglugi od jednego nabieżnika do następnego. Równocześnie maksymalna dostępna szerokość wody żeglownej na torze może być oznaczona stawami lub pławami.

Przy projektowaniu końcowego toru podejściowego do nabrzeża ważne jest, aby zachować wystarczającą przestrzeń dla redukcji prędkości statku, przy równoczesnym utrzymaniu stabilnego kursu w trakcie podejścia. Końcowe podejście powinno być możliwe bez sterowania prosto w miejsce zacumowania, jednak przy zachowaniu wystarczającej prędkości postępowej. Tor podejściowy i wejściowy do nabrzeża LNG powinien być maksymalnie prosty z minimalną ilością zakrętów i bez potrzeby wykonywania znacznej zmiany kursu przez statek.

Granice toru powinny być wyraźnie oznaczone znakami nawigacyjnymi. Nabieżniki świetlne powinny wyznaczać oś prowadzącą statek bezpiecznie do zasłoniętego od fali basenu portowego.

Rozróżnia się dwa główne typy torów wodnych prowadzących do portu:

- tor zewnętrzny – przebiega na otwartym morzu,
- tor wewnętrzny – przebiega przez wody wewnętrzne osłonięte (wewnątrz portów, na rzekach).

Tor zewnętrzny – otwarte morze/akwen nieosłonięty od wiatru i fali. Zalecana minimalna rezerwa wody pod stępką (UKC – Under Keel Clearance) nie mniej niż 20% zanurzenia statku. Rezerwę tą należy zwiększyć w razie potrzeby z uwzględnieniem aktualnych warunków falowania. Nominalna stosowana szerokość toru/kanalu zewnętrznego dla manewrującego gazowca LNG to 6-8 szerokości statku.

Tor wewnętrzny – wody wewnętrzne osłonięte (np. w porcie lub na rzece). Zalecana minimalna rezerwa wody pod stępką (UKC) nie mniej niż 10% zanurzenia statku (przy obracaniu statku na obrotnicy wewnętrznej należy tę wartość zwiększyć). Nominalna stosowana szerokość toru/kanalu wewnętrznego dla manewrującego gazowca LNG to 5-6 szerokości statku.

Występowanie poprzecznego w stosunku do osi toru, kierunku działania silnego wiatru, fal i prądu może wymagać zwiększenia szerokości toru. Jeżeli brak jest możliwości poszerzenia lub pogłębienia torów to pozostaje ograniczenie rozmiarów i dopuszczanego zanurzenia statku.

1.1. Wstępne parametry badawcze:

Statek docelowy



Statek projektowy- zbiornikowiec, gazowiec LNG

Dane statku LNG przyjęte do obliczeń

- LOA – 315,16 m długość całkowita
- L_{pp} – 303,00 m długość pomiędzy pionami
- B – 50,00 m szerokość całkowita,
- T_{SD} – 12,50/12,00 m zanurzenie do letniej linii ładunkowej/zanurzenie symulacyjne,
- T_B – 9,60 m zanurzenie w stanie balastowym,
- T_A – 53,00 m air draft (maksymalna wysokość nadwodna),
- H_b – 30,50 m wysokość boczna statku w stanie balastowym,
- H_Z – 27,60 m wysokość boczna statku w stanie załadowanym,
- Prędkości na torze 10-3węzłów
- Średnica cyrkulacji: około 6kabli
- Ładunek: skroplony gaz ziemny LNG (gaz łatwopalny) to ładunek niebezpieczny (IMO Class 2.1, UN no 1972/1971)
- Gęstość ruchu : przyjęto że statek będzie sam na torze w trakcie podejścia do portu oraz w trakcie wyjścia z portu

Tor wodny

- Rodzaj dna: tor prowadzący od pławy nr1 do główek wejściowych portu zewnętrznego w Świnoujściu: osady podlegające przemieszczaniu to drobny piasek, muł, występują też muszle oraz możliwość wystąpienia kamieni.
- Głębokości: akwen, przez który przebiega tor wodny posiada głębokości od 17-10 m; tor wodny głębokość na torze gwarantowana przez lokalne władze morskie to 14,3m
- Prądy kierunki i prędkości ujście rzeki Świny:
 - Wiatr z East: Prąd kierunek zachodni
 - Wiatr z South silny: prąd wypływający 2-4 węzłów
 - Wiatr z North silny: prąd wpływający 2 węzły
- Wiatr kierunki i prędkości:

- najczęściej wieją wiatry z sektora West-North-East
- z prędkością od 4-16 m/s
- Wysokości fal: **0,5-4m**
- Pomoce nawigacyjne i pilotaż: tor wodny wyposażony w oznakowanie nawigacyjne pływające
- Ulegające uszkodzeniu w porze zimowej

Studia elementów projektu:

Wykorzystano istniejące materiały dotyczące : statków do przewozu LNG, właściwości ładunku LNG, budowy i konstrukcji torów wodnych prowadzących do terminali LNG; opracowania związane z ruchem innych statków w tym rejonie.

Poziomy wody:

Średni obserwowany poziom wody na podejściu do portu Świnoujście wynosi 500 cm i stanowi poziom odniesienia dla szacowania głębokości. Silne sztormy północno-wschodnie powodują spiętrzenie poziomu wody o 1,86 m powyżej średniego poziomu wody, a wiatry południowo-zachodnie powodują obniżenie poziomu wody o około 1,3 m w stosunku do poziomu średniego. Wahania średnie wynoszą około 0,6 m w stosunku do stanu średniego. Łaty wodokaszowe znajdują się przy nabrzeżu GPK, nabrzeżu Rozładunkowym na Wybrzeżu Władysława IV i przy drugiej ostrodze falochronu wschodniego Świnoujścia.

1.2. Szerokość toru wodnego

Całkowita szerokość rynny toru wodnego mierzona jest od podnóża lewej skarpy do podnóża prawej skarpy

Dla założonej głębokości wyrażona wzorem:

$$B_k = B_p + R_b \quad (1)$$

Gdzie:

- B_k – Całkowita szerokość w dnie kanału
- B_p – Szerokość projektowana /pas ruchu statku/
- R_b – Rezerwa szerokości

Pas ruchu statku

To pas szerokość toru potrzebny przy uwzględnieniu myśzkowania i bocznym przesuwie statku jako efekt pracy steru i ludzkiej reakcji podczas sterowania.

Dodatkowy pas szerokości toru z uwagi na właściwości manewrowe statku [15]

Statek	Własności manewrowe	Współczynnik manewrowości	Szerokość pasa manewrowania
Tankowce	dobrze	1.5	1,5B

B – szerokość statku projektowego

Pas Interakcji hydrodynamicznej

Pas szerokości toru, w którym zachodzi oddziaływanie kadłubów dwóch statków obok siebie przechodzących.

Dodatkowy pas szerokości toru z uwagi na właściwości interakcji statków [15]

Natężenie ruchu	Wymagany dodatkowy pas manewrowy
Małe (0-1 statek/1 godzinę)	0.0B
Średnie (1-3 statków/1 godzinę)	0.2B
Duże (>3 statków /1 godzinę)	0.4B

Na torze do portu zewnętrznego Świnoujście - statek LNG będzie manewrował sam na torze.

Efekt działania wiatru i prądu

Efekt działania wiatru i prądu działającego pod kątem innym niż 0° lub 180° jest boczny dryf statku.

Dodatkowy pas szerokości toru z uwagi na działanie wiatru w burtę statku, kąt kursowy 90° [15]

Prędkość wiatru	Dodatkowy pas (stan balastowy) przy właściwościach manewrowych statku:		
	Bardzo dobre	Dobre	Złe
< 15w	0,0B	0,0B	0,0B
15-33w	0,3B	0,4B	0,5B
>33w	0,6B	0,8B	1,0B

Dodatkowy pas szerokości toru z uwagi na działanie prądu w burtę statku, kął kursowy 90° [15]

Prędkość prądu	Dodatkowy pas (stan balastowy) przy właściwościach manewrowych statku:		
	Bardzo dobre	Dobre	Złe
<0,2 w	0,0B	0,0B	0,0B
0,2-0,5w	0,1B	0,2B	0,3B
0,5-1,5w	0,5B	0,7B	1,0B
>1,5w	0,7B	1,0B	1,3B

Efekt oddziaływania dna skarpy toru

Efekt ten to funkcja odległości statku od skarpy, jego prędkości rodzaju dna skarpy oraz prędkości wiatru i prądu.

Dodatkowy pas szerokości toru z uwagi na oddziaływania skarpy (siły przylegania) [15]

Właściwościach manewrowe statku:	Dodatkowy pas przy własnościach oddziałujących skarpy:		
	Słabe	Średnie	Silne
Bardzo dobre	0,5B	0,75B	1,0B
Dobre	0,75B	1,0B	1,25B
Złe	1,0B	1,25B	1,5B

Wymagania co do wyposażenia nawigacyjnego

Stan nawigacyjnej infrastruktury lądowej i pływającej wymaga uwzględnienia przy obliczaniu szerokości toru wodnego.

Dodatkowy pas szerokości toru z uwagi na wyposażenie nawigacyjne akwenu [15]

Wyposażenie nawigacyjne	Dodatkowy pas:
Bardzo dobre	0,0B
Dobre	0,1B
Umiarkowane - z rzadko występującą mgłą	0,2B
Umiarkowane - z często występującą mgłą	0,5B

Pozostałe wymagania

Ładunek statku

Czynnikiem wpływającym na parametry toru wodnego jest także rodzaj ładunku przewożonego przez statek.

Dodatkowy pas szerokości toru z uwagi rodzaj ładunku [15]

Ryzyko z uwagi na ładunek	Dodatkowy pas:
Niskie	0,0B
Średnie	0,5B
Duże	1,0B

Stosunek głębokości akwenu do zanurzenia statku projektowego

Głębokość akwenu na torze podejściowym powinna odpowiadać rezerwie wody pod stępką około 20%

W różnych źródłach jako wartość rezerwy pod stępką podawane są wartości od 10% do 30% zanurzenia.

Dodatkowy pas szerokości toru uwagi na stosunek głębokość / zanurzenie statku [15]

Stosunek: Głębokość/zanurzenie statku	Dodatkowy pas:
>1,50	0,0B
1,15-1,50	0,2B
<1,15	0,4B

1.3. Głębokość

Ustalenie wymaganej głębokości na torze wodnym obejmuje analizę następujących czynników:

- Statyczne zanurzenie statku
- Przegłębienie statku
- Czynniki zjawiska pływu
- Osiadanie
- Rezerwa na czynniki hydrologiczno- meteorologiczne

- Rezerwa na zmianę gęstości wody morskiej
- Rezerwa na rodzaj osadów dennych
- Rezerwa głębokości dla wykonania manewru
- Rezerwa na zamulanie
- Raptowny uskok dna akwenu i zmiana głębokości

2. WYMOGI I ZALECENIA ORGANIZACJI MIĘDZYNARODOWYCH DLA REJONU PORTU LNG, KTÓRE NALEŻY UWZGLĘDNIĆ PRZY PLANOWANIU BEZPIECZEŃSTWA RUCHU I MANEWROWANIA NA TORACH PODEJŚCIOWYCH

W celu kompleksowego zrealizowania projektu wykorzystano oprócz wymienionych w poprzednim rozdziale czynników, także m.in.:

1. istniejące materiały dotyczące budowy nowego portu gazowego LNG w Świnoujściu,
2. dodatkowe wymagania i zalecenia, które należy uwzględnić przy konstrukcji portu dla operacji LNG zawarte w publikacjach ujętych w spisie literatury

Rozróżnia się dwa główne typy torów wodnych prowadzących do portu:

- Tor zewnętrzny – przebiega na otwartym morzu,
- Tor wewnętrzny – przebiega przez wody wewnętrzne osłonięte (wewnątrz portów, na rzekach).

Tor zewnętrzny – otwarte morze-akwen nieosłonięty od wiatru i fali. Zalecana minimalna rezerwa wody pod stępką (UKC – *Under Keel Clearance*) nie mniej niż 20% zanurzenia statku. Rezerwę tą należy zwiększyć w razie potrzeby z uwzględnieniem aktualnych warunków falowania. Nominalna stosowana szerokość toru/kanału zewnętrznego, dla manewrującego gazowca LNG to 6-8 szerokości statku.

Tor wewnętrzny - wody wewnętrzne osłonięte (np. w porcie lub na rzece). Zalecana minimalna rezerwa wody pod stępką (UKC) nie mniej niż 10% zanurzenia statku (przy obracaniu statku na obrotnicy wewnętrznej należy tą wartość zwiększyć). Nominalna stosowana szerokość toru/kanału wewnętrznego dla manewrującego gazowca LNG to 5 - 6 szerokości statku.

Występowanie poprzecznego w stosunku do osi toru, kierunku działania silnego wiatru, fali i prądu może wymagać znacznego zwiększenia szerokości toru. Jeżeli brak jest możliwości poszerzenia lub pogłębienia torów, to pozostaje ograniczenie rozmiarów i dopuszczalne zanurzenia statku.

Obrotnica

Obrotnica powinna mieć minimalną średnicę równą co najmniej dwukrotnej długości, planowanego do obracania największego statku, tam gdzie działanie prądu jest minimalne. Tam gdzie obrotnice sytuowane są na akwenu o silnym prądzie, średnica powinna być powiększona o przewidywany znoś statku.

Obrotnica dla statków LNG - dla obracania przed zacumowaniem lub po odcumowaniu, powinna mieć rozmiar odpowiadający możliwościom manewrowania statkiem w najgorszych dopuszczalnych warunkach hydro-meteorologicznych dla prowadzenia operacji cumowniczych przy pomocy holowników. Łagodniejsze warunki hydro-meteorologiczne pozwalają na ustalenie mniejszych jej rozmiarów. Im silniejsze przewidywane wiatry i prądy tym większe powinny być rozmiary obrotnicy. Płytki basen portowy pogarsza właściwości manewrowe statku podczas jego obracania. Jeśli w wyniku pracy śrub holowników osady denne dostaną się do układu chłodzenia silnika statku, to mogą zablokować pracę silnika gazowca LNG.

System Rozgraniczenia Ruchu statków – SRR

Prawidłowo zaprojektowany System Rozgraniczenia Ruchu – SRR (TSS – Traffic Separation Scheme) tworząc uporządkowane strumienie statków w sposób efektywny reguluje ruch na podejściu oraz w porcie. Prawidłowo ustanowiony SRR w znacznym stopniu redukuje ryzyko powstania groźnych w skutkach spotkań pomiędzy poruszającymi się na danym akwenie statkami, i pomoże utrzymać je w granicach bezpiecznych akwenów żeglownych. Przydatność i efektywność SRR jest szczególnie cenna w eliminacji spotkań statków poruszających się na tym samym torze wodnym lecz kursami przeciwnymi „dziób w dziób”, które często mają miejsce na wodach ograniczonych lub na akwenach o dużym natężeniu ruchu. VTS w połączeniu z SRR/TSS jest szczególnie przydatny do kontroli ruchu w pobliżu przechodzącego gazowca. Operatorzy VTS mogą się porozumiewać z gazowcem i z innymi statkami w pobliżu, jeżeli przewidują rozwój sytuacji niebezpiecznej np. wykryty ruch statku, naruszający przepisy MPZZM/COLREG oraz. wtedy, kiedy statek nie stosuje się do zasad ruchu w systemie SRR/TSS. Dla zapewnienia bezpieczeństwa gazowca oraz bezpieczeństwa w rejonie portu stosuje się wstrzymanie ruchu innych statków na torze wodnym w trakcie przejścia gazowca do/i z portu oraz asystę statku patrolowego.

Wymagane ograniczenia prędkości

Na obszarach podejścia do portu, gdzie występuje ryzyko kolizji lub ryzyko wejścia na mieliznę należy ustanowić ograniczenia prędkości. Te ograniczenia powinny się odnosić nie tylko do gazowców, ale także i do innych statków na danym akwenie.

3. SYMULACJE

Badania symulacyjne zostały przeprowadzone w laboratoriach Katedry Nawigacji Akademii Morskiej w Gdyni przy wykorzystaniu symulatora nawigacyjno–manewrowego *NaviTrainer 5000 Professional*, symulatora map elektronicznych i systemów *ECDIS Navi-Sailor 4000* oraz aplikacji *Model Wizard (v. 5,0)*. użytym modelem statku był model gazowca membranowego LNG o parametrach w stanie załadowania $L = 315\text{ m}$, $B = 50\text{ m}$, $T = 12\text{ m}$.

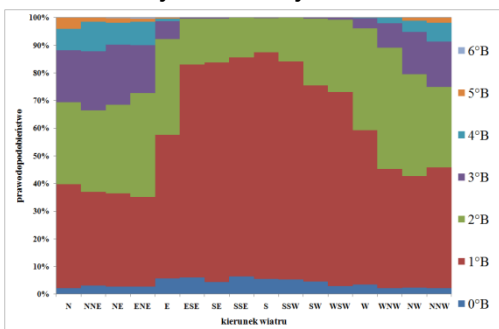
Dane dotyczące działania wiatru i falowania przyjęto na podstawie analizy dostępnych źródeł i badań własnych zespołu.

3.1. Wstępna analiza wymaganej rezerwy wody pod stępką

W poniższej tabeli przedstawiono obliczone wartości całkowitej rezerwy wody pod stępką oraz wymaganej głębokości. Dla statku o zanurzeniu 12,0m wykorzystano modele dostępne w źródłach krajowych.

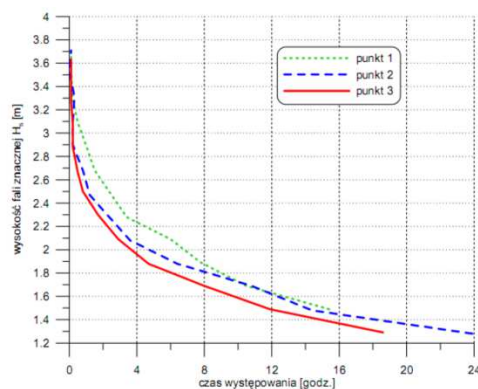
3.2. Symulacja ruchu statku na torze

Rozkład wiatru w rejonie Świnoujścia:



Częstość wystąpienia wiatrów o różnej sile z danego kierunku w Świnoujściu w latach 2001 – 2010 r

Falowanie w rejonie Świnoujścia:



Wysokość fali znacznej w punktach przy wiatrach z kierunków NNE w średnim roku statystycznym wg. danych: Instytut Morski w Gdańsku, Zakład Hydrotechniki Morskiej

Średnie parametry generowanego falowania wyznaczono dla wiatrów (bez szkwałów) o prędkości 6, 9, 12, 15 oraz 15,1-18,0 m/s co 0,1 m/s. Wyznaczając parametry falowania dla potrzeb symulacji, w szczególności wysokość fali wiatrowej w odniesieniu do prędkości wiatru, uwzględniono co do zasady metodę Kryłowa oraz Titova.

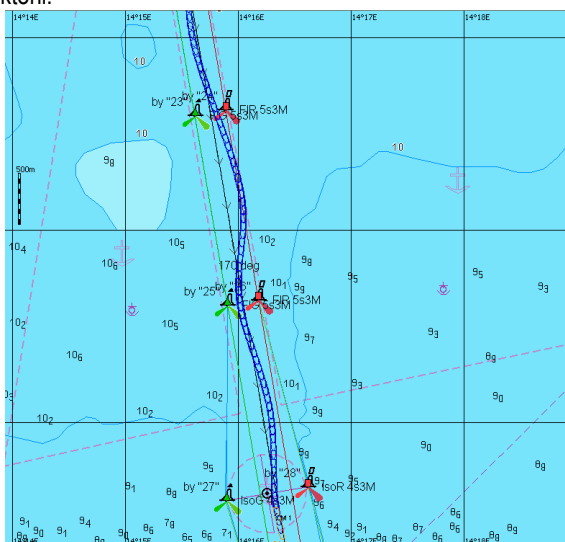
Poszukując na podstawie badań symulacyjnych warunków brzegowych celem określenia granic bezpieczeństwa ruchu gazowca LNG uwzględniono również warunki hydrometeorologiczne charakteryzujące się niskim prawdopodobieństwem wystąpienia według analizy statystycznej zebranych danych historycznych. Niemniej jednak uzyskane z symulacji wnioski mogą stanowić cenne źródło informacji na temat przewidywanego zachowania statku w sytuacji rzeczywistego wystąpienia takich warunków.

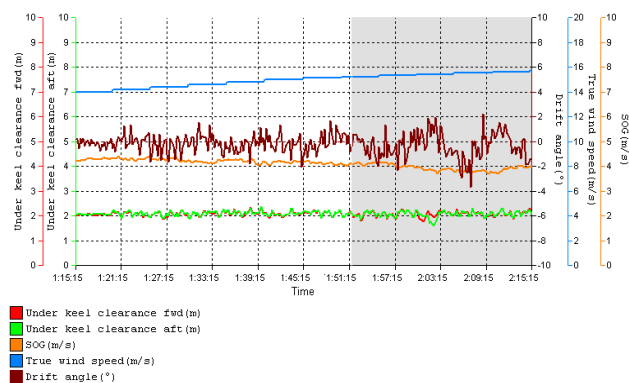
Próby przeprowadzono dla prędkości statku 8 i 6 węzłów oraz badano możliwość utrzymania się statku na pasie toru wodnego o szerokości 180 m, 240 m oraz 300 m.

Model matematyczny położenia statku na torze

Wyjście poza tor wodny.

Bezpieczna żegluga wymaga znajomości pełnego obrazu sytuacji nawigacyjnej, hydrometeorologicznej oraz manewrowej statku. Istotnym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo statku jest prawidłowe wykonanie manewrów na torze podejściowym. Przykładowy zrzut z zapisaną trajektorią ruchu wraz z wykresem zmian parametrów podczas przejścia torem w warunkach: wiatr N, prędkość wiatru $V_w = 15,6\text{--}16\text{ m/s}$ przedstawia Rys.5. Kolorem szarym na wykresie oznaczony został okres dla przedstawionej na mapie trajektorii.





Przykładowy zrzut z zapisaną trajektorią.

Przejście statku: Wiatr i fala wiatrowa przy prędkościach statku 8 i 6 węzłów

Według powyższej tabeli oraz na podstawie analizy przeprowadzonych prób manewrowych i obliczeń statystycznych dla gazowca LNG na torze podejściowym do portu stwierdzono co następuje:

- Przy prędkości statku 8kn,
 - dla wiatru o prędkości do 12 m/s statek nie wyszedł poza tor 180 m,
 - prawdopodobieństwo wyjścia poza tor o szerokości 180 m wynosi 6,85% dla wiatru o prędkości do 14 m/s,
 - dla wiatrów o prędkości powyżej 14 m/s nastąpiło wyjście poza tor o szerokości 180 m z prawdopodobieństwem 48,21%, a wyjście poza tor o szerokości 300 m z prawdopodobieństwem 7,41%.
- Przy prędkości statku 6kn,
 - szanse wyjścia poza tor o szerokości 180 metrów są 8,28% dla wiatru o prędkości do 12 m/s i 18,03% dla wiatru o prędkości do 14 m/s,
 - z prawdopodobieństwem 1,3% dla wiatru o prędkości do 12 m/s i 0,97% dla wiatru o prędkości do 14 m/s, nastąpiło wyjście poza tor o szerokości 300 m.

Przejście statku: Fala martwa (ang. swell) przy prędkościach statku 8 i 6 węzłów

Symulacja zachowania się statku na torze tylko przy zakłóceniu w postaci fali martwej. Brak wpływu fali wiatrowej i wiatru.

Na podstawie przeprowadzonych prób manewrowych gazowca LNG na torze podejściowym do portu można wyciągnąć następujące wnioski:

- Przy prędkości 6kn
 - dla kierunku N statek mieścił się na torze o szerokości 100 m;
 - dla kierunku NE z prawdopodobieństwem 22,41% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 8,46% poza tor o szerokości 240m;
 - dla kierunku E z prawdopodobieństwem 16,22% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 4,25% poza tor o szerokości 240m;
 - dla kierunku NW z prawdopodobieństwem 35,7% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, z prawdopodobieństwem 21,52% poza tor o szerokości 240m i z prawdopodobieństwem 8,71% nastąpiło wyjście poza tor o szerokości 300 m.
- Przy prędkości 8kn
 - dla kierunku N, NE, NW statek mieścił się na torze o szerokości 150 m;
 - dla kierunku E statek mieścił się na torze o szerokości 180 m.

Przejście statku: Wiatr, fala wiatrowa i fala martwa przy prędkościach statku 8 i 6 węzłów

Symulacje zachowania się modelu gazowca LNG na torze przy wpływie zakłóceń: wiatr, fala wiatrowa oraz fala martwa o parametrach:

- kierunek NE,
- okres: 9 s,
- wysokość fali martwej: 1,5 m.

Na podstawie przeprowadzonych prób manewrowych gazowca LNG na torze podejściowym do portu można wyciągnąć następujące wnioski:

- Przy prędkości 6kn
 - dla kierunku N statek mieścił się na torze o szerokości 120 m,
 - dla kierunku NE z prawdopodobieństwem 34,55% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 11,55% poza tor o szerokości 240 m,
 - dla kierunku E z prawdopodobieństwem 24,84% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 12,55% poza tor o szerokości 240 m;
 - dla kierunku SE z prawdopodobieństwem 31,91% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 19,13% poza tor o szerokości 240m,
 - dla kierunku S z prawdopodobieństwem 5,65% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 3,79% poza tor o szerokości 240 m i z prawdopodobieństwem 2,45% poza tor o szerokości 300 m,
 - dla kierunku SW z prawdopodobieństwem 32,18% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 26,97% poza tor o szerokości 240m i z prawdopodobieństwem 15,88% poza tor o szerokości 300m,
 - dla kierunku W z prawdopodobieństwem 50% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 37,29% poza tor o szerokości 240 m i z prawdopodobieństwem 20,05% poza tor o szerokości 300 m,
 - dla kierunku NW z prawdopodobieństwem 22,04% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, z prawdopodobieństwem 3,75% poza tor o szerokości 240 m.
- Przy prędkości 8kn
 - dla kierunku N z prawdopodobieństwem 5,86% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, z prawdopodobieństwem 1,52% poza tor o szerokości 240m i z prawdopodobieństwem 1,02% poza tor o szerokości 300 m,
 - dla kierunku NE z prawdopodobieństwem 4,2% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 2,83% poza tor o szerokości 240m i z prawdopodobieństwem 1,73% poza tor o szerokości 300 m,
 - dla kierunku E z prawdopodobieństwem 18,46% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 6,73% poza tor o szerokości 240 m;
 - dla kierunku SE z prawdopodobieństwem 23,34% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 6,29% poza tor o szerokości 240 m,
 - dla kierunku S z prawdopodobieństwem 30,51% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 1,13% poza tor o szerokości 240 m i z prawdopodobieństwem 0,84% poza tor o szerokości 300 m,
 - dla kierunku SW z prawdopodobieństwem 46,23% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem 27,72% poza tor o szerokości 240 m i z prawdopodobieństwem 12,66% poza tor o szerokości 300 m,
 - dla kierunku W z prawdopodobieństwem 38,08% statek wyszedł poza tor o szerokości 180 m, a z prawdopodobieństwem

stwem 28,78% poza tor o szerokości 240m i z prawdopodobieństwem 17,82% poza tor o szerokości 300 m,

- dla kierunku NW statek mieścił się na torze o szerokości 180 m.

Analiza końcowa tego przypadku nasuwa dla tego kompleksowego przypadku następujące wnioski:

- Przy prędkości statku 8 w,
 - prawdopodobieństwo wyjścia poza tor o szerokości 180 metrów wynosi 11% dla wiatru o prędkości do 14 m/s,
 - z prawdopodobieństwem mniejszym niż 0,01% dla wiatru o prędkości do 12 m/s i 1,53% dla wiatru o prędkości do 14 m/s, nastąpiło wyjście poza tor o szerokości 300 m,
- Przy prędkości statku 6 w,
 - szanse wyjścia poza tor o szerokości 180 metrów są 14,02% dla wiatru o prędkości do 12 m/s i 19,3% dla wiatru o prędkości do 14 m/s,
 - z prawdopodobieństwem mniejszym niż 1,9% dla wiatru o prędkości do 12 m/s i mniejszym niż 4% dla wiatru o prędkości do 14 m/s, nastąpiło wyjście poza tor o szerokości 300 m.

Na podstawie przeprowadzonych symulacji można stwierdzić że dla wiatrów o prędkości do 12 m/s jak i do 14 m/s prędkość nominalna modelu gazowca LNG na torze równa 8 węzłów implikuje większe prawdopodobieństwo utrzymania się na torze o szerokości 180 m jak i 240 m w porównaniu z prędkością modelu równą 6 w.

Dodatkowo wszystkie powyżej przedstawione rozważania sugerują wypełnienie wymagań co do poszerzenia toru wodnego oraz uzupełnienia jego oznakowania nawigacyjnego.

4. PROPOZYCJA NOWEJ ORGANIZACJI REJONU PODEJŚCIOWEGO DO PORTU ZEWNĘTRZNEGO ŚWINOUJŚCIE

4.1. Tory wodne i kanały podejściowe

Zachodni tor prowadzący do Portu Zewnętrznego Świnoujście biegnie od pławy Arkona do pławy „N-1”. Tor ten przebiega nad rosyjsko-niemieckim gazociągiem Nord Stream. Jego minimalna odległość pomiędzy osią toru a brzegiem to około 2,5 Mm. Tor ten rekomendowany jest przez HELCOM, dla statków płynących do Świnoujścia i Szczecina.

Drugi tor – północny przebiega od pławy Reda bezpośrednio na południe do pławy „N-1”. Na swojej trasie posiada rozległe splecenia około 11,5 m uniemożliwiające korzystanie z tego toru gazowcom o planowanych maksymalnych zanurzeniach. Z uwagi na sytuację prawną odcinka trasy od pławy „Arkona” do pławy „N-1” proponuje się rozważenie pogłębienia północnego toru wodnego przebiegającego na zewnątrz niemieckich wód terytorialnych na odcinku od pławy „REDA” do pławy „N-1” do wymaganych wartości głębokości. Podejściowy odcinek toru wodnego rozpoczyna się przy obecnym kotwiczowisku nr 3 dla gazowców LNG, przy pławie „N-1”.

Dla istniejącego toru wodnego przepisy Dyrektora Urzędu Morskiego zezwalają na ruch statków o długości 270 m i szerokości 42 m, a tym samym nie dopuszczają na nim możliwości ruchu przewidywanych gazowców długości 315 m i szerokości 50 m. Dodatkowo istniejący tor wodny prowadzący do Terminala LNG składa się z długich odcinków i przekracza 20 Mm. Na takiej długości toru ryzyko wystąpienia sytuacji awaryjnych jest znacznie większe niż na odcinkach krótkich. Wąski tor wodny nie daje możliwości bezpiecznego wycofania gazowca na akwen o dostępnych dla niego głębokościach. Warunki naturalne nie pozwalają na zwiększenie liczby kotwiczowisk awaryjnych.

Organizacje międzynarodowe rekomendują, aby dla planowanych maksymalnych wielkości statków szerokość kanału stanowiła nawet 8-krotność jego szerokości. Tor wodny powinien mieć taką szerokość aby statek w ekstremalnie dopuszczalnych warunkach mógł się na nim zatrzymać w przypadku wystąpienia awarii (awaria steru, silnika głównego itp.). Z przeprowadzonych symulacji dla gazowca LNG dwuśrubowego o długości 315 m i szerokości 50m wynika, że w sytuacji awaryjnej (zacięcie się steru) dwa asystujące holowniki o mocy 77 ton każdy są w stanie utrzymać statek na torze o szerokości 300 m.

Jest to sześciokrotność szerokości statków zawijających do Portu Zewnętrznego Świnoujście. Przy planowaniu zawinięcia tej wielkości statków trzeba mieć także na względzie ryzyka z tym związane, jak i bezpieczeństwo ekologiczne obszaru podejściowego.



Propozycja zmian w układzie toru podejściowego do Portu Zewnętrznego Świnoujście (zdjęcie z symulatora)

W związku z powyższym od pławy „N-1” proponuje się przebudowę i zmodernizowanie toru do Portu Zewnętrznego Świnoujście (Rys..). Szerokość toru powinna mieć, co najmniej 300 m (po 150 m po lewej i po prawej stronie linii środkowej).

Propozycja zmian podejściowego toru wodnego i jego oznakowania:

- obecnie proponowany kierunek trasy pomiędzy pławą „N-1”, a parą pław „1-2”¹ w przyszłości może zostać zastąpiony przez pas toru wodnego o szerokości minimum 300 m,
- od planowanej pary pław „1-2” do pary pław „3-4” proponuje się wprowadzenie strefy stopniowanego zwrotu,
- od pary pław „3-4” do pary pław „25-26” tor powinien posiadać szerokość 300 m,

¹Nowe proponowane oznakowanie toru wodnego

- od pary pław „25-26” do pary pław „27-28” proponuje się poszerzyć tor tak, aby w okolicy pary pław „27-28” zawierał obrotnicę o średnicy 750 m,
- od pary pław „27-28” do główek Portu Zewnętrznego Świnoujście tor wodny stopniowo zwężałby się do około 300 m w okolicy główek.

Tor podejściowy na całej długości i szerokości od pławy „N-1” do główek Portu Zewnętrznego Świnoujście powinien posiadać głębokość nie mniejszą niż 14,3 m, docelowo po przeprowadzeniu kompleksowych prac pogłębiarsko-czerpalnych może osiągnąć głębokość powyżej 15,5 m.²

Dla akwenu toru i kotwicowisk od pławy „Reda” do pławy „N-1” oraz do główek Portu Zewnętrznego Świnoujście należy zlecić opracowanie kalendarza prac sondażowych i czerpalnych. Odstęp czasowy pomiędzy kolejnymi sondażami i pracami czerpalnymi należy tak ustalić, aby w tym okresie nie doszło do wypadku nawigacyjnego. W razie konieczności przed wejściem gazowca należy wykonać sondaż kontrolny na odpowiedniej długości toru.

Oś pierwszego odcinka pomiędzy pławą „N-1” a bramką pław „1-2” wyznacza kierunek $KDd = 124^\circ$. Ten odcinek prowadzi do pozycji w pobliżu bramki „1-2”. Na tej pozycji następuje zmiana na $KDd = 148^\circ$ i tor biegnie do bramki „3-4”. W pobliżu środka bramki „3-4” następuje zmiana na $KDd = 170,2^\circ$. W rejonie stopniowanego zwrotu pomiędzy bramką „1-2”, a bramką „3-4” tor wodny powinien zostać poszerzony z uwagi na właściwości manewrowe statku LNG. W okolicy bramki „27-28” statek LNG będzie podchodził do punktu zwrotu kierującego go do Portu Zewnętrznego Świnoujście. Pomiedzy bramką „27-28” a pławą „A-1” przewidziano wyraźne rozdzielanie torów wodnych prowadzących w lewo do Portu Zewnętrznego Świnoujście i w prawo do Świnoujścia.

Główki wejściowe do Portu Zewnętrznego Świnoujście powinny być wyposażone w odpowiedniej klasy specjalistyczne odbijacze, zdolne do ochrony falochronu przed ewentualnym uderzeniem gazowca, a jednocześnie chroniące burty gazowca przed uszkodzeniem i przebiciem przez betonowe elementy falochronu.

Głębokości według obecnych danych dla całego toru w linii środkowej to 14,3 m. Ta głębokość powinna zostać ustanowiona na całej szerokości i długości toru, co obecnie przy zalecanej rezerwie 20% dla toru zewnętrznego ogranicza zanurzenie dopuszczalne gazowca do 12 m i to przy wystąpieniu warunków średnich, bez ekstremalnego falowania. Docelowa głębokość 15,5 m stwarza możliwości zwiększenia zanurzenia gazowca.

Przeszkody na dnie na podstawie dostępnych map nawigacyjnych

W dostępnych publikacjach nautycznych stwierdzono brak dokładnych danych odnośnie rodzaju dna. Na podstawie analizy map akwenu otaczającego tor podejściowy możemy przypuszczać, że dno akwenu stanowi piasek, muszle, ale możliwe są także kamienie oraz inne przeszkody denne.

Należy także upewnić się, że na torach, kotwicowiskach i w porcie nie ma przeszkód dennych wraków, min, amunicji, skał oraz kamieni, które mogły by przebić kadłub gazowca.

Przeszkody stwarzające zagrożenie należy usunąć (szczególnie materiały wybuchowe). Gdyby nie udało się usunąć przeszkód takich jak duże kamienie, to należy zmniejszyć dopuszczalne zanurzenie dla gazowców.

4.2. Rezerwa wody pod stępką – UKC

Rezerwa wody pod stępką powinna wynosić co najmniej 20% zanurzenia gazowca od pławy „N-1” do główek wejściowych Portu Zewnętrznego Świnoujście. Od główek Portu Zewnętrznego Świnoujście do nabrzeża z uwzględnieniem obrotnicy (gdzie UKC powinno wynosić nie mniej niż 2 m), co najmniej 15% zanurzenia gazowca, co zapewni planowana głębokość basenu portowego 14,5 m. W przypadku braku wymaganej głębokości pozostaje możliwość zmniejszenia dopuszczalnego zanurzenia gazowca. Wymagana rezerwa wody pod stępką (UKA) oraz stan wody muszą być stale monitorowana i w razie potrzeby modyfikowana.

PODSUMOWANIE

Na podstawie powyższych rozważań nasuwają się wnioski:

Przeprowadzanie statku o planowanych maksymalnych wymiarach przez istniejący tor jest możliwe, jest to jednak przejście niestandardowe wymagające przeprowadzenia dokładnej analizy ryzyka i szczegółów takiego przejścia m.in. ilość i praca holowników, warunki hydrometeorologiczne i inne.

Docelowo ze względu na bezpieczeństwo żeglugi, układ toru wodnego powinien podlegać nowelizacji z uwagi na szczególne wymagania dla statków przewożących LNG.

Rozważeniu powinno podlegać zarówno poszerzenie toru jak i jego pogłębienie.

Ograniczeniu powinna podlegać prędkość statku na torze podejściowym.

Niekorzystne warunki pogodowe powinny dla władz administracyjnych stanowić kryterium wstrzymania przejścia statku w rejon Portu Zewnętrznego Świnoujście.

Proponowana prędkość statku LNG na torze wodnym o zmodyfikowanym oznakowaniu nawigacyjnym:

- Od stacji pilotowej pława „N-1” do zacumowania w Porcie Zewnętrznym Świnoujście:
- Od pławy „N-1” do bramki „15-16” 1: 8 w
- Od bramki „15-16” do bramki „27-28” 2: 6 w
- Od bramki „27-28” do główek Portu Zewnętrznego Świnoujście: 3 w
- Od główek do nabrzeża: poniżej 2 w

BIBLIOGRAFIA

1. Wyznaczenie zasad zarządzania bezpieczeństwem na obszarze Zatoki Pomorskiej w aspekcie budowy Portu Zewnętrznego ze szczególnym uwzględnieniem ruchu statków LNG-Praca naukowo-badawcza, Akademia Morska, Gdynia 2011
2. *A Guide and in Port Approaches*, 3rd Ed, ICS, 1999
3. *A Guide to good practice on port Marine Operation-* prepared in conjunction with the Port Marine Safety Code, 2009
4. *Analiza nawigacyjna budowy stanowiska rozładunkowego LNG w porcie zewnętrznym w Świnoujściu*, Akademia Morska w Szczecinie, Instytut Inżynierii Ruchu Morskiego
5. *Critical parameters for LNG Marine Terminal Site Selection* (OTC 19658 Offshore Technology Conference, Houston 2008)
6. *Dziennik Ustaw z 1998 r. poz. 98,101.645 Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 01.06.1998 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać morskie budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie*
7. Gucma S., *Minimalne wymagane parametry podejściowych torów wodnych do Portu Świnoujście*, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 2/2011

² S. Gucma, Minimalne wymagane parametry podejściowych torów wodnych do Portu Świnoujście, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 2/2011

8. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, *Warunki środowiskowe Polskiej Strefy Południowego Bałtyku w 2001 roku*, Gdynia 2004
9. Jurdziński M., *Ocena zapasu wody pod stępką w żegludze morskiej*, Studium Doskonalenia Kadr Akademii Morskiej w Gdyni, 2003
10. LNG Operations in Port Areas (SIGTTO London 2003 r), *Recommendations for the Management of Operational Risk Attaching to Liquefied Gas Tanker and Terminal Operations in Port Area*
11. Nowicki A., *Wiedza o manewrowaniu statkami morskimi*, Wydawnictwo Trademar - Gdynia 1999 r.
12. PIANC (1985), *Under Keel Clearance for Large Ships In Maritime Fairways with Hard Bottom*, International Navigation Association
13. PIANC (1997), *Approach Channels – A Guide for Design*”, International Navigation Association
14. *Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej z 23.10.2006 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania oraz szczegółowego zakresu kontroli morskich budowli hydrotechnicznych*
15. *Safe Waterways (A Users Guide to the Design, Maintenance and Safe Use of Waterway)*, Part 1, Canada

CRITERIA AND ELEMENTS NECESSARY FOR ENSURING SAFETY OF SHIPPING DURING DESIGNING OF APPROACH FAIRWAY FOR LNG VESSEL

Abstract

Paper contain abbreviated procedure for projecting the port fairway. Basis for consideration was construction of LNG terminal and possible updating of approach channel to Outer Port in Świnoujście .

In the paper introduced major factors influencing the project procedure, including the LNG ship simulation.

This method allow for more reliable detailed results necessary for establishing limiting values of fairway dimension and discovering ships manoeuvring capabilities and limitations.

Autorzy:

dr hab. inż. kpt. ż.w. **Henryk Śniegocki**, prof. nadzw. – Akademia Morska Gdynia

mgr inż. kpt. ż.w. **Marek Czapczyk** – Akademia Morska Gdynia