

Optimalizacja parametrów portu zewnętrznego w Świnoujściu (Gazoport) – docelowa rozbudowa

Prof. dr hab. inż. kpt. ż.w. Stanisław Gućma, dr hab. inż. st. of. Maciej Gućma
Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny

Istniejące prognozy wykonane w większości przez instytucje klasyfikacyjne określają, że zapotrzebowanie na LNG przez statki napędzane tym paliwem na Bałtyku w 2020 roku wyniesie około 6 mln m³ LNG/rocznie, a w 2030 roku około 20 mln m³ LNG/rocznie.

Terminal LNG zlokalizowany w porcie zewnętrznym w Świnoujściu może być największym na Bałtyku terminalem importowym, który po rozbudowie spełniałby rolę terminalu redystrybucyjnego do 10 mln m³ LNG/rocznie. Planowane wydajności transportowe Terminalu LNG w Świnoujściu (rozładunek LNG, gazyfikacja, przesyłanie gazu do sieci krajowej) to w I etapie 5 mld m³ gazu rocznie (8 mln m³ LNG). Możliwości rozładunkowe Terminalu LNG w Świnoujściu są znacznie większe 22 mln m³ LNG w roku (rozładunek dwóch gazowców typu Q-Flex na tydzień). Przewidywana nadwyżka zdolności przeładunkowych (rozładunku) Terminalu LNG w stosunku do zapotrzebowania Polski na gaz pozwalałaby na wykorzystanie tego terminalu i portu zewnętrznego w Świnoujściu do przesyłania (dystrybucji) gazu skroplonego LNG drogą morską do różnych odbiorców w rejonie morza Bałtyckiego (polskich i zagranicznych). Takimi odbiorcami mogą być:

- małe morskie terminale LNG zlokalizowane na wybrzeżu Bałtyku,
- małe terminale LNG na Odrze,
- stacje bunkrowe LNG (lądowe i pływające) przeładujące gaz na statki napędzane LNG i cysterny samochodowe,
- bunkierki zaopatrujące statki napędzane LNG.

Obecnie istniejące w świnoujskim porcie zewnętrznym stanowisko rozładunkowe LNG może rozładowywać gazowce o pojemności ładunkowej 120 000 ÷ 220 000 m³ czyli o długości całkowitej $L_C = 270 \div 320$ m z możliwością jego modernizacji i przystosowania do rozładunku gazowców LNG o pojemności ładunkowej od 65 000 m³ ($L_C \approx 215$ m).

Planowana rozbudowa terminalu LNG w porcie zewnętrznym w Świnoujściu zakłada budowę:

- uniwersalnego stanowiska przeładunkowego gazowców i bunkierek LNG,
- stanowiska postojowego bunkierek LNG,
- stanowiska postojowego jednostek pomocniczych i jednostek Straży Granicznej,

przy zachowaniu perspektywicznej lokalizacji budowy drugiego stanowiska rozładunkowego dużych gazowców LNG [1 ÷ 6].

Uniwersalne stanowisko przeładunkowe bunkierek, feederów i gazowców LNG umożliwi rozładunek i załadunek tych jednostek w bardzo dużym zakresie pojemności ładunkowej (od 500 do 220 000 m³). Warunek ten doprowadził do opracowania specjalnej symulacyjnej metody określania optymalnych parametrów stanowisk przeładunkowych o dużym zakresie wielkości obsługiwanych gazowców [6, 11].

Stanowisko postojowe jednostek pomocniczych przeznaczone jest do postoju czterech holowników i statku pożarniczego obsługujących gazowce LNG w terminalu przy obecnych i planowanych stanowiskach przeładunkowych oraz do postoju jednostek Straży Granicznej. Lokalizację tego stanowiska oraz stanowiska postojowego bunkierki LNG określono analizując bezpieczne obszary manewrowe gazowców oraz strefy zagrożenia w porcie zewnętrznym Świnoujście [3, 4, 5].

OPTIMALIZACJA LOKALIZACJI UNIWERSALNEGO STANOWISKA PRZEŁADUNKOWEGO LNG W PORCIE ZEWNĘTRZNYM ŚWINOUJŚCIE

Uniwersalne stanowisko przeładunkowe LNG w porcie zewnętrznym Świnoujście będzie przeładowywać gazowce, feedery i bunkierki LNG w zakresie pojemności ładunkowej od 500 do 220 000 m³. Założenie takie oraz ograniczenia dotyczące systemu załadunkowego tych jednostek doprowadziły do określenia koncepcji uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG w porcie zewnętrznym w Świnoujściu. Stanowisko to składać się będzie z dwóch nabrzeży:

- nabrzeża przeładunkowego gazowców i feederów LNG o długości całkowitej $L_C = 110 \div 320$ m, zanurzeniu do $T = 12,5$ m (jednostek o pojemności ładunkowej od około 7 500 do 220 000 m³) – nabrzeże 1,
- nabrzeża załadunkowego bunkierek LNG o długości $L_C = 50 \div 110$ m i zanurzeniu do $T = 6,0$ m (jednostek o pojemności ładunkowej od około 500 do około 7 500 m³) – nabrzeże 2.

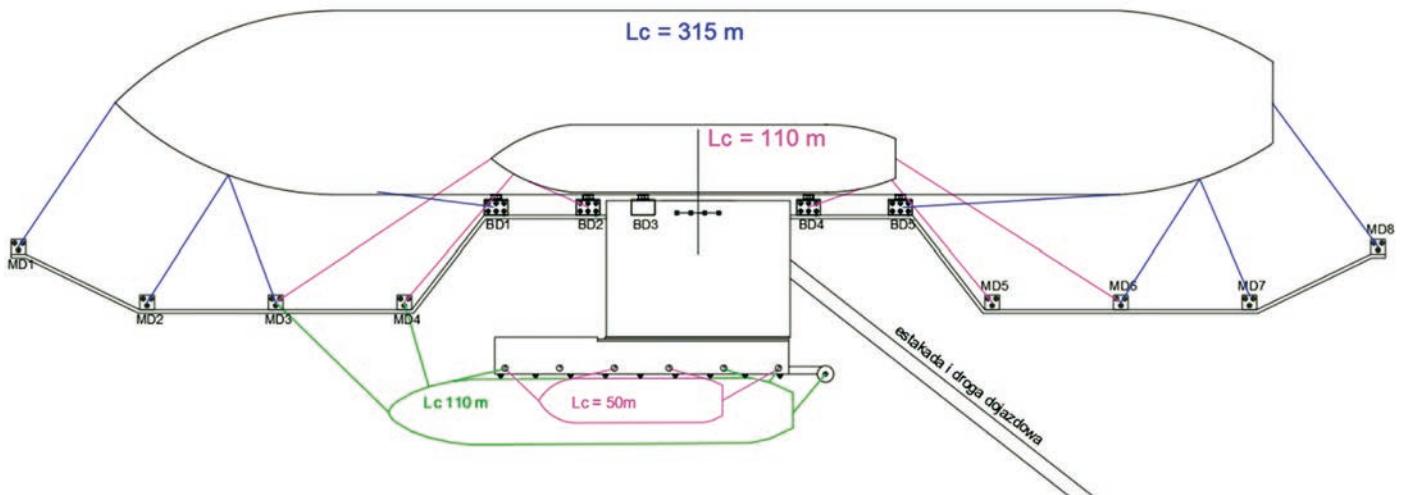
Warunki bezpiecznej eksploatacji stanowiska przeładunkowego LNG i jego nabrzeży oraz zasady projektowania systemów ładunkowych, odbojowych i cumowniczych pozwoliły na określenie parametrów dwunabrzeżowego stanowiska przeładunkowego LNG w porcie Świnoujście. Schemat tego dwunabrzeżowego stanowiska przeładunkowego z cumującymi maksymalnymi i minimalnymi gazowcami LNG przedstawiono na rys. 1 [6, 11].

Optymalizację lokalizacji i optymalizację parametrów podejściowych dróg wodnych do nabrzeży uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG przeprowadzono wykorzystując specjalnie opracowaną dwuetapową symulacyjną metodę optymalizacji. Funkcję celu tego rodzaju zadania można zapisać w postaci:

$$Z = \sum_{i=1}^n (A_i + N_i + G + S_i) \rightarrow \min$$

przy ograniczeniach:

1. Bezpieczeństwa manewrowania gazowca podchodzącego do i -tego omawianego nabrzeża stanowiska przeładunkowego LNG



Rys. 1. Schemat cumowania gazowców LNG długość $L_c = 315$ m i $L_c = 110$ m przy nabrzeżu 1 oraz bunkierek LNG o długości $L_c = 110$ m i $L_c = 50$ m przy nabrzeżu 2 uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG w Świnoujściu

- warunek bezpieczeństwa nawigacji:

$$\left. \begin{array}{l} \text{d}_{ikz(1-\alpha)} \subset \mathbf{D}_i(t) \\ h_{xyi} \geq T_{ik} + \Delta_{ik(1-\alpha)} \end{array} \right\} p(x, y) \in \mathbf{D}_i(t)$$

2. Bezpieczeństwa manewrowania statków w basenie portowym

- warunek bezpieczeństwa nawigacji manewrowania wszystkich statków wchodzących do basenu portowego i cumujących przy j -tym wskazanym nabrzeżu tego basenu:

$$\mathbf{d}_{jz(1-\alpha)} \not\subset \mathbf{F}_j$$

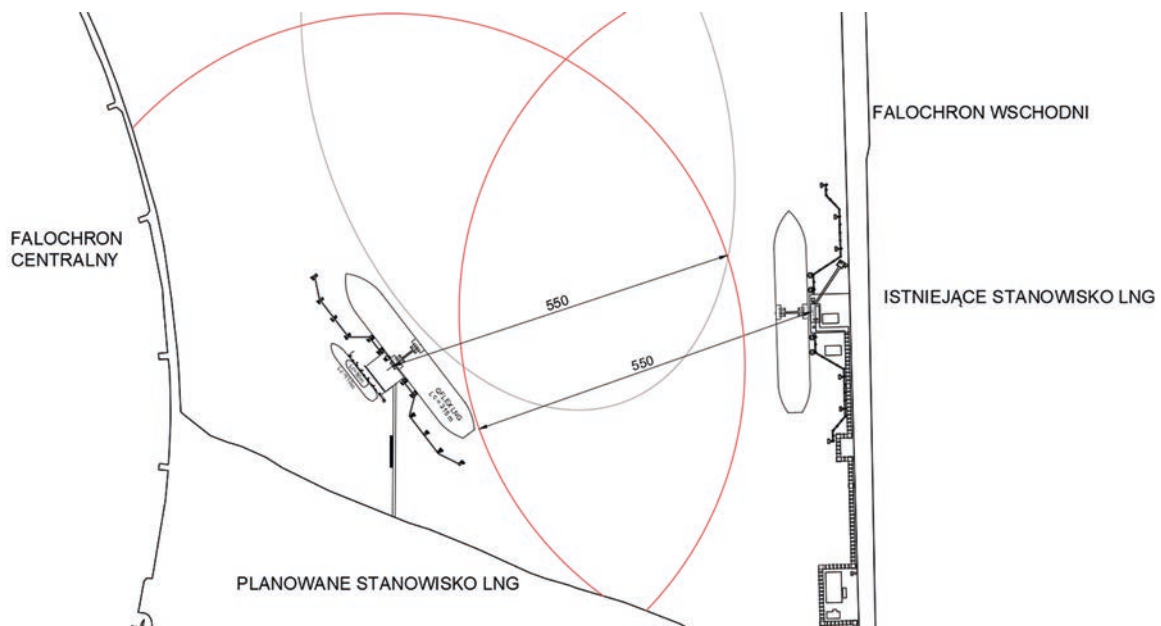
3. Bezpieczeństwa postoju statków w basenie portowym

- warunek bezpieczeństwa wynikający z zagrożenia związanego z operacjami przeładunkowymi LNG dla innych użytkowników basenu portowego:

$$\mathbf{B}_j \not\subset \mathbf{F}_j$$

gdzie:

- Z – koszt budowy i eksploatacji uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG,
- A_i – koszt budowy podejściowych dróg wodnych do i -tego nabrzeża,
- N_i – koszt budowy podsystemów określania położenia statku i prędkości podejścia do i -tego nabrzeża (systemów nawigacyjnych),
- G – koszt budowy rurociągów LNG do stanowiska przeładunkowego,
- S_i – koszty eksploatacji statku związane z podejściem do i -tego nabrzeża uwzględniający czas oczekiwania statku na wejście i czas przejścia podejściowym torem wodnym,
- $\mathbf{d}_{ikz(1-\alpha)}$ – bezpieczny obszar manewrowy k -tego „gazowca maksymalnego” podchodzącego do i -tego nabrzeża uniwersalnego stanowiska przeładunkowego w z -tych warunkach nawigacyjnych określony na poziomie ufności $(1 - \alpha)$,
- $\mathbf{D}_i(t)$ – dostępny akwen żeglugowy do i -tego nabrzeża (spełniony warunek bezpiecznej głębokości w momencie t),
- h_{xyi} – głębokość akwenu w punkcie (x, y) na podejściu do i -tego nabrzeża;
- T_{ik} – zanurzenie k -tego „gazowca maksymalnego” podchodzącego do i -tego nabrzeża;

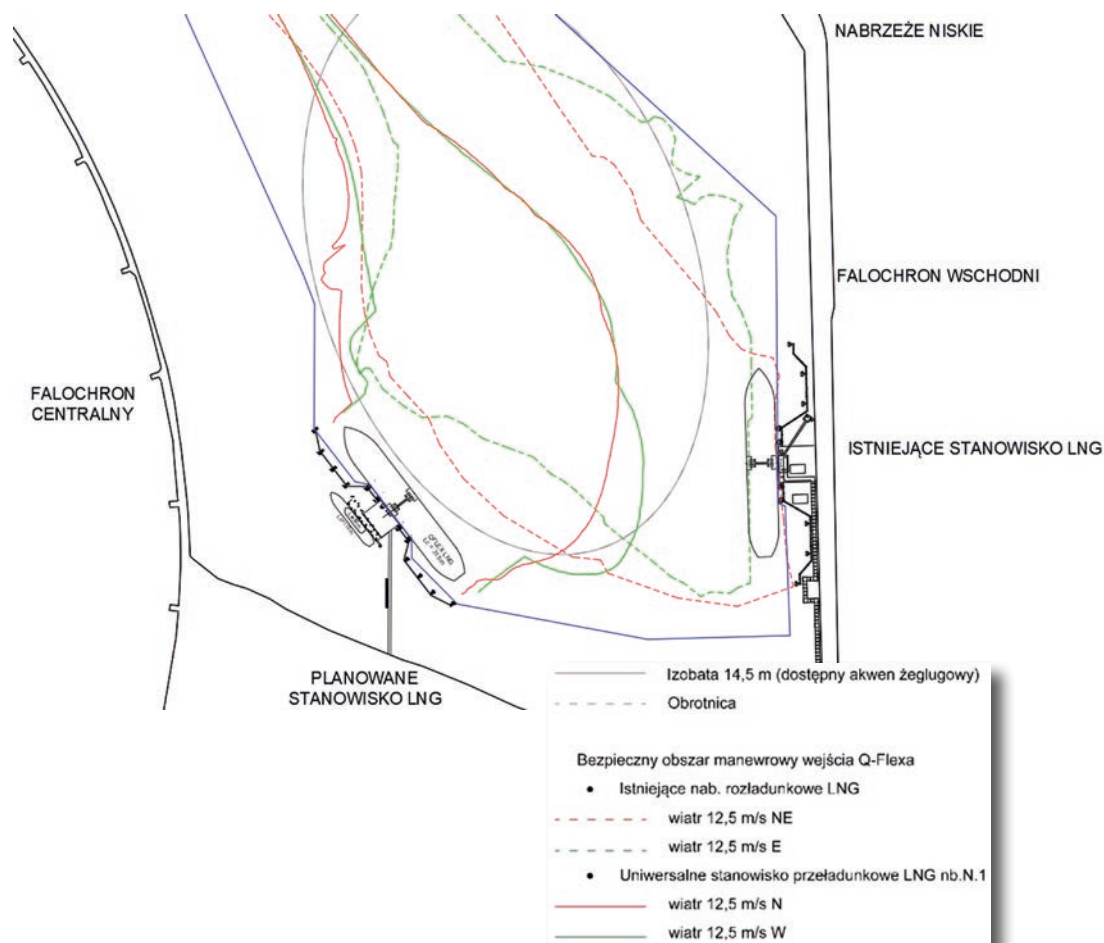


Rys. 2. Wstępna lokalizacja uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG w stosunku do istniejącego stanowiska rozładunkowego LNG w porcie zewnętrznym w Świnoujściu

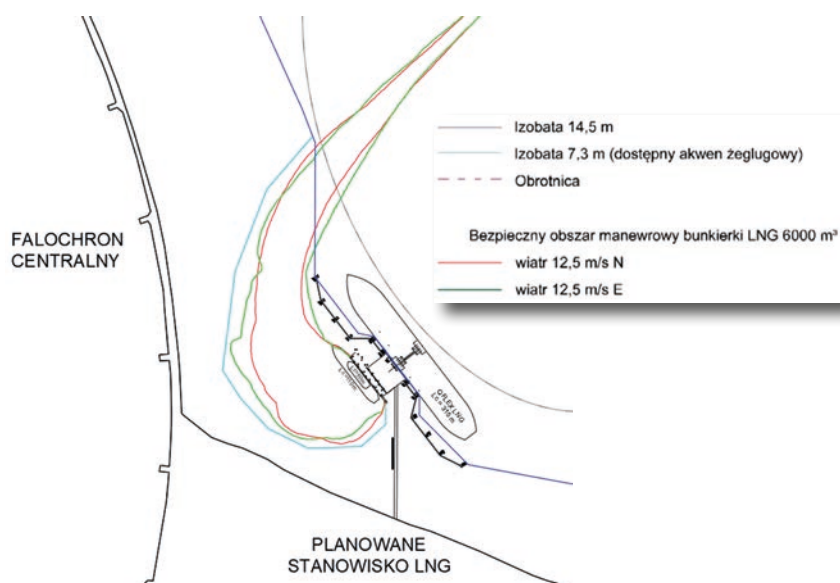
- $\Delta_{ik(1-\alpha)}$ – rezerwa wody pod stępką k -tego „gazowca maksymalnego” podchodzącego do i -tego nabrzeża, określana na poziomie ufności $(1 - \alpha)$,
- $d_{j(1-\alpha)}$ – bezpieczny obszar manewrowy „statku maksymalnego” podchodzącego do j -tego nabrzeża basenu portowego w z -tych warunkach nawigacyjnych,
- F_j – obszar zajmowany przez kadłub „statku maksymalnego” stojącego przy j -tym nabrzeżu basenu portowego,

- B_j – strefa zagrożenia związana z operacjami przeładunkowymi LNG dla statku stojącego przy j -tym nabrzeżu basenu portowego.

Symulacyjna metoda optymalizacji wielonabrzeżowych stanowisk przeładunkowych LNG o dużym zakresie wielkości obsługiwanych gazowców przeprowadzana jest w dwóch etapach [9, 16]:



Rys. 3. Dostępny akwen żeglugowy (izobata 14,5 m) oraz bezpieczne obszary manewrowe gazowców typu Q-Flex podchodzących do istniejącego stanowiska rozładunkowego LNG oraz nabrzeża 1 projektowanego uniwersalnego stanowiska przeładunkowego określone na poziomie ufności $(1 - \alpha) = 0,95$



Rys. 4. Dostępny akwen żeglugowy (izobata 7,3 m) oraz bezpieczny obszar manewrowy bunkierki LNG 6000 m³ podchodzących do nabrzeża 2 projektowanego uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG określone na poziomie ufności $(1 - \alpha) = 0,95$

- etap I (wstępny) realizowany przy wykorzystaniu metod empirycznych inżynierii ruchu morskiego;
- etap II (szczegółowy) realizowany przy wykorzystaniu metod symulacji komputerowej ruchu statków.

Parametry badanego systemu dróg wodnych określone w I etapie będą wykorzystane jako wstępne na etapie badań symulacyjnych (II etap).

W etapie I funkcja celu ograniczona jest do minimalizacji kosztów budowy podejściowych dróg wodnych i rurociągów transportowych LNG. Koszty te zależą od wielkości akwenu żeglugowego ($\mathbf{D}_i$), bezpiecznych głębokości tych akwenów (h_i) oraz długości rurociągów LNG (g):

$$Z = \sum_{i=2}^n F(\mathbf{D}_i, h_i, g) \rightarrow \min$$

przy ograniczeniach 2 i 3.

Najkorzystniejsza lokalizacja uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG w porcie zewnętrznym Świnoujście określona jest metodą graficzną (rys. 2) przy wykorzystaniu:

- parametrów tego stanowiska;
- bezpiecznych obszarów manewrowych gazowców podchodzących do stanowiska przeładunkowego LNG i innych statków manewrujących w basenie portowym ($\mathbf{d}_{jk}$) określonych metodami empirycznymi stosowanymi w inżynierii ruchu morskiego [1, 2, 11];
- promienia strefy zagrożenia związanej z operacjami przeładunkowymi LNG, przyjmując dopuszczalną gęstość promieniowania termicznego równą 5 kW/m², która na morzu wynosi około 550 m [7, 17].

W etapie II funkcja celu zapisywana jest w postaci:

$$Z = \sum_{i=1}^n F(\mathbf{D}_i) \rightarrow \min$$

przy ograniczeniach:

- bezpieczeństwa manewrowania gazowca LNG (warunek bezpieczeństwa nawigacji)

$$\mathbf{d}_{ikz(1-\alpha)} \subset \mathbf{D}_i$$

- bezpieczeństwa manewrowania gazowców podchodzących do stanowiska LNG w basenie portowym (w stosunku do innych statków stojących w basenie portowym)

$$\mathbf{D}_i \not\subset \mathbf{F}_j$$

Przy realizacji etapu II bezpieczne obszary manewrowe „gazowców maksymalnych” podchodzących do obu nabrzeży uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG ($\mathbf{d}_{ikz(1-\alpha)}$) wyznacza się na podstawie wyników badań symulacyjnych przeprowadzanych na symulatorach manewrowych typu FMBS. Wynikiem tych badań było określenie bezpiecznych obszarów manewrowych „gazowców maksymalnych” podchodzących do nabrzeża 1 i 2 w najmniej korzystnych warunkach nawigacyjnych ($\mathbf{d}_{ikz(1-\alpha)}$) w oparciu o które wyznaczany był dostępny akwen żeglugowy danego nabrzeża ($\mathbf{D}_i$).

W badaniach wykorzystano metodę symulacji ruchu w czasie rzeczywistym (RTS), stosując modele nieautonomiczne, w których ruchem statku kieruje człowiek (pilot, kapitan) [12, 13]. Badania symulacyjne przeprowadzono na wielomostko-

wym symulatorze manewrowym typu Polaris firmy Konsberg Maritime AS z wizualizacją typu projekcyjnego 3D. Jest to symulator typu FMBS (*Full Mission Bridge Simulation*) znajdujący się w Centrum Inżynierii Ruchu Morskiego Akademii Morskiej w Szczecinie.

Zbudowano i zweryfikowano dwa symulacyjne modele ruchu statków, na których przeprowadzono badania symulacyjne manewrów wejścia do portu i cumowania. Są to: gazowiec typu Q-Flex ($L_C = 320$ m) i bunkierka LNG 6 000 m³ $L_C = 104$ m. Przejazdy symulacyjne wykonywali piloci. Liczebność w serii dla określonego kierunku wiatru wynosiła 12 manewrów symulacyjnych.

Optymalny dostępny akwen żeglugowy (izobata 14,5 m) określono, wykorzystując bezpieczne obszary manewrowe gazowców typu Q-Flex podchodzących do projektowanego uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG (nabrzeże 1) i istniejącego stanowiska rozładunkowego LNG przy najmniej korzystnych kierunkach wiatru o prędkości $V_w = 12,5$ m/s (rys. 3).

Optymalny dostępny akwen żeglugowy (izobata 7,3 m) określono, wykorzystując bezpieczne obszary manewrowe bunkierki LNG 6 000 m³ podchodzącej do nabrzeża 2 uniwersalnego stanowiska przeładunkowego przy najmniej korzystnych kierunkach wiatru o prędkości $V_w = 12,5$ m/s (rys. 4).

LOKALIZACJA STANOWISK POSTOJOWYCH BUNKIEREK LNG, JEDNOSTEK POMOCNICZYCH I JEDNOSTEK STRAŻY GRANICZNEJ

W porcie zewnętrznym w Świnoujściu oprócz istniejącego stanowiska rozładunkowego LNG oraz projektowanego uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG niezbędna jest budowa odpowiednio wyposażonych i spełniających warunki bezpiecznej eksploatacji następujących stanowisk:

- stanowisko postojowe bunkierek LNG,
- stanowisko postojowe czterech holowników i statku pożarniczego,
- stanowisko postojowe jednostek pływających Straży Granicznej.

Stanowisko postojowe bunkierek LNG przeznaczone jest do cumowania jednej bunkierki o pojemności ładunkowej w zakresie 500 ÷ 7 500 m³ oczekującej na załadunek przy nabrzeżu 2 uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG. Parametry minimalnej i maksymalnej bunkierki LNG cumującej przy tym stanowisku można określić następująco [3]:

- pojemność ładunkowa 500 m³ – $L_C = 50$ m, $B = 10$ m, $T = 3,0$ m
- pojemność ładunkowa 7 500 m³ – $L_C = 110$ m, $B = 20$ m, $T = 6,0$ m

Postój przy tym stanowisku powinien być bezpieczny przy ekstremalnych warunkach hydrologicznych (wiatr do 25 m/s).

Stanowisko postojowe dla jednostek pomocniczych przeznaczone jest do cumowania 4 holowników obsługujących gazowce LNG wchodzące do portu zewnętrznego w Świnoujściu oraz statku pożarniczego. Parametry jednostek cumujących przy tym stanowisku można określić następująco [5]:

- holowniki o maksymalnym uciagu 80 t – $L_C = 40$ m, $B = 14$ m, $T = 6,5$ m
- statek pożarniczy STRAŻAK 26 – $L_C = 32,5$ m, $B = 11,7$ m, $T = 4,9$ m.

Stanowisko postojowe (nabrzeże) musi zapewnić bezpieczny postój w najmniej korzystnych warunkach hydrometeorologicznych (wiatr 25 m/s) statku pożarniczego cumującego burtą do nabrzeża i 4 holowników o uciagu $60 \div 80$ t cumujących burtą do nabrzeża (alongside 2×2) lub w reżimie natychmiastowej gotowości rufą do nabrzeża.

Metodą analityczną [10] określono parametry bezpiecznego obszaru manewrowego podjęcia tych jednostek do nabrzeża postojowego:

- długość bezpiecznego obszaru manewrowego w zależności od metody cumowania holowników $l = 120 \div 180$ m (odpowiednio cumowanie rufą i burtą),
- szerokość bezpiecznego obszaru manewrowego $b = 60$ m,
- minimalna głębokość $h = 8,5$ m.

Stanowisko postojowe jednostek pływających Straży Granicznej przeznaczone jest do cumowania jednostek Straży Granicznej typu [4]:

- SG – 200 o parametrach – $L_C = 16$ m, $B = 4,0$ m, $T = 2,8$ m,
- SG RIB o parametrach – $L_C = 10,5$ m, $B = 3,5$ m, $T = 0,6$ m,
- SG Grifon o parametrach – $L_C = 12,7$ m, $B = 6,1$ m, $T = 0,3$ m.

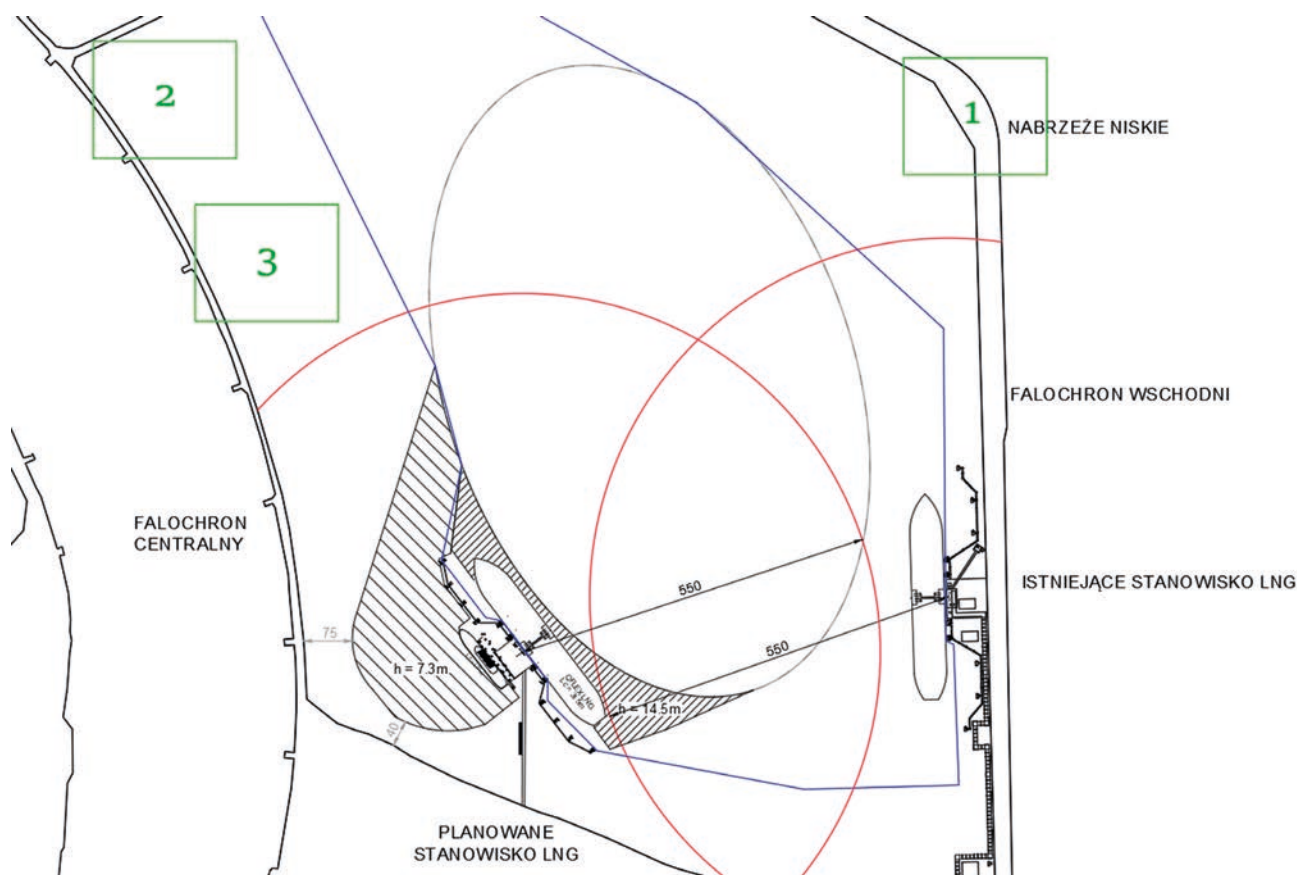
Stanowisko postojowe musi zapewnić bezpieczny postój jednostek Straży Granicznej w najmniej korzystnych warunkach hydrometeorologicznych (wiatr 25 m/s) oraz lokalizację kontenera mieszkalnego i sanitarnego dla załóg tych jednostek.

Przy określaniu możliwych bezpiecznych lokalizacji tych stanowisk postojowych posłużono się następującymi warunkami bezpieczeństwa:

1. Wszystkie trzy stanowiska postojowe muszą znajdować się poza strefami zagrożeń istniejącego stanowiska rozładunkowego LNG i planowanego uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG (rys. 5).
2. Stanowisko postojowe bunkierek LNG nie może być zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie stanowisk postojowych jednostek pomocniczych i jednostek pływających Straży Granicznej.

Uwzględniając powyższe warunki bezpieczeństwa, określono trzy realne warianty lokalizacji tych stanowisk (rys. 5):

- wariant 1 zlokalizowany przy nabrzeżu niskim w załamaniu falochronu wschodniego;
- wariant 2 zlokalizowany poniżej ostrogi falochronu centralnego i połączenia z lądem poprzez istniejącą drogę na falochronie centralnym po jego zachodniej stronie bądź nowo projektowaną drogą po jego wschodniej stronie;
- wariant 3 zlokalizowany jako nabrzeże dalbowe przy falochronie centralnym pomiędzy wariantem 2 lokalizacji stanowisk a strefą zagrożenia uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG.



Rys. 5. Strefy zagrożenia w porcie zewnętrznym Świnoujście wraz z wariantami lokalizacji

Wariant 1 należy wykluczyć z następujących powodów:

- wejście w strefę zagrożeń planowanego stanowiska rozładunkowego LNG przy falochronie wschodnim (na północ od istniejącego stanowiska rozładunkowego),
- brak dostępu od strony terminalu LNG (szczególnie podczas postoju i rozładunku gazowców LNG),
- utrudnione podejście bunkierek LNG od strony portu zewnętrznego (uniwersalnego stanowiska przeładunkowego).

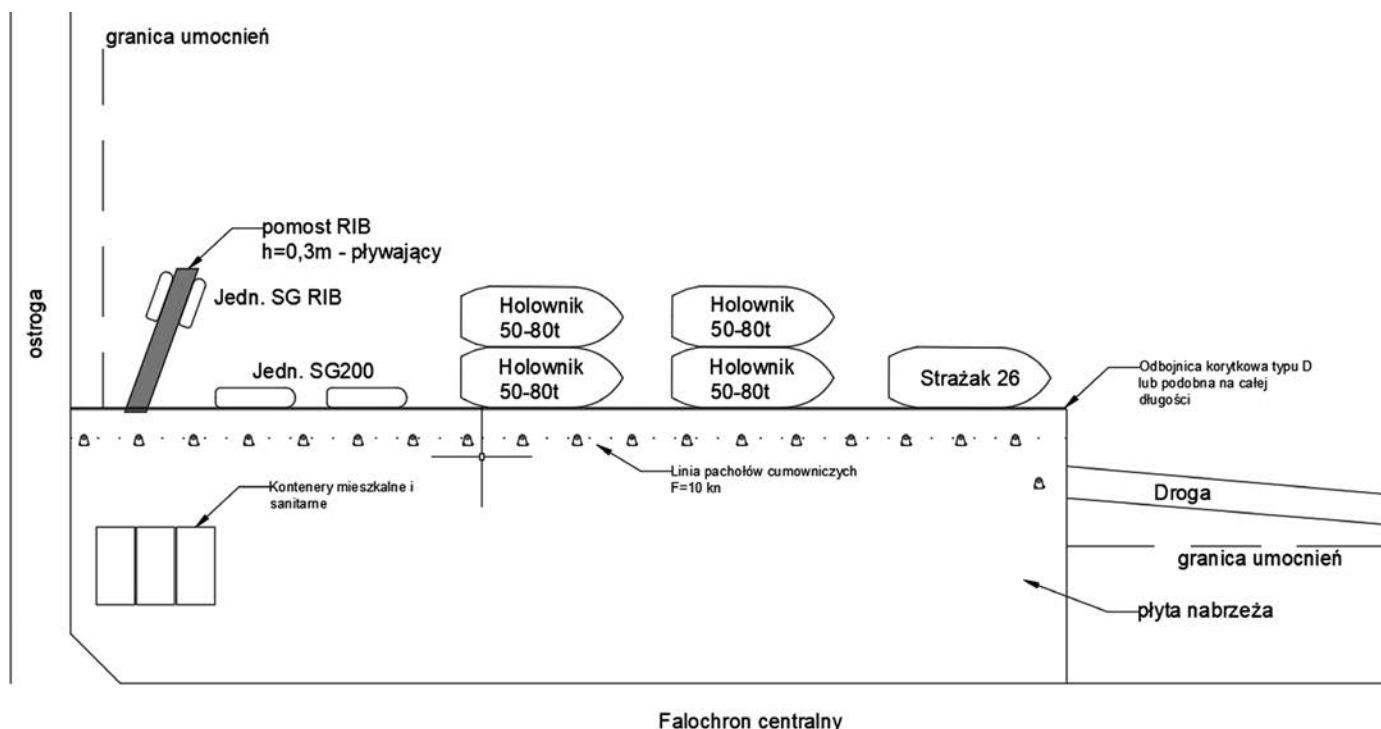
Biorąc pod uwagę powyższe ograniczenia oraz wymagania dotyczące bezpiecznej eksploatacji tych stanowisk związane z warunkami podejścia i cumowania poszczególnych jednostek [14], najkorzystniejszym rozwiązaniem jest:

- lokalizacja stanowiska postojowego jednostek pomocniczych i jednostek pływających Straży Granicznej przy ostrodze falochronu centralnego (wariant 2),

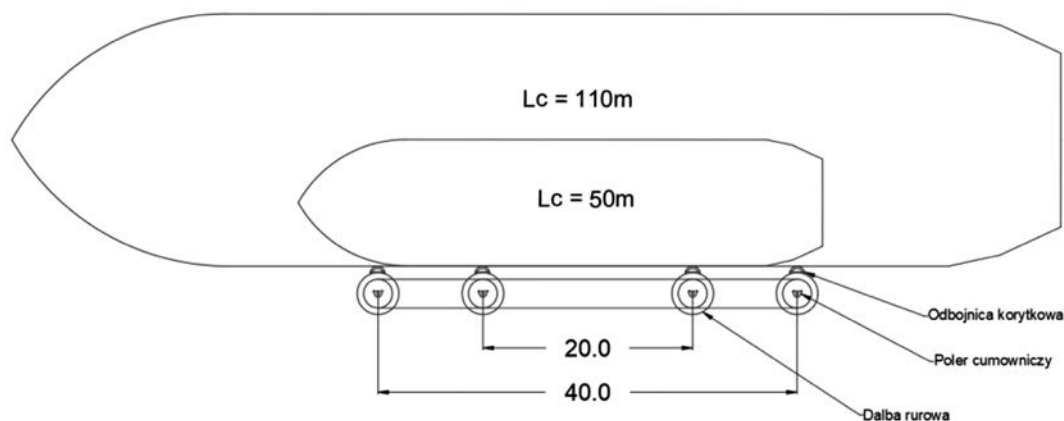
- lokalizacja stanowiska postojowego bunkierek LNG na nabrzeżu dalbowym przy falochronie centralnym (wariant 3).

Projektowane stanowisko postojowe (nabrzeże) jednostek pomocniczych (4 holowniki i statek pożarniczy) oraz jednostek Straży Granicznej (rys. 6) będzie mieć następujące parametry:

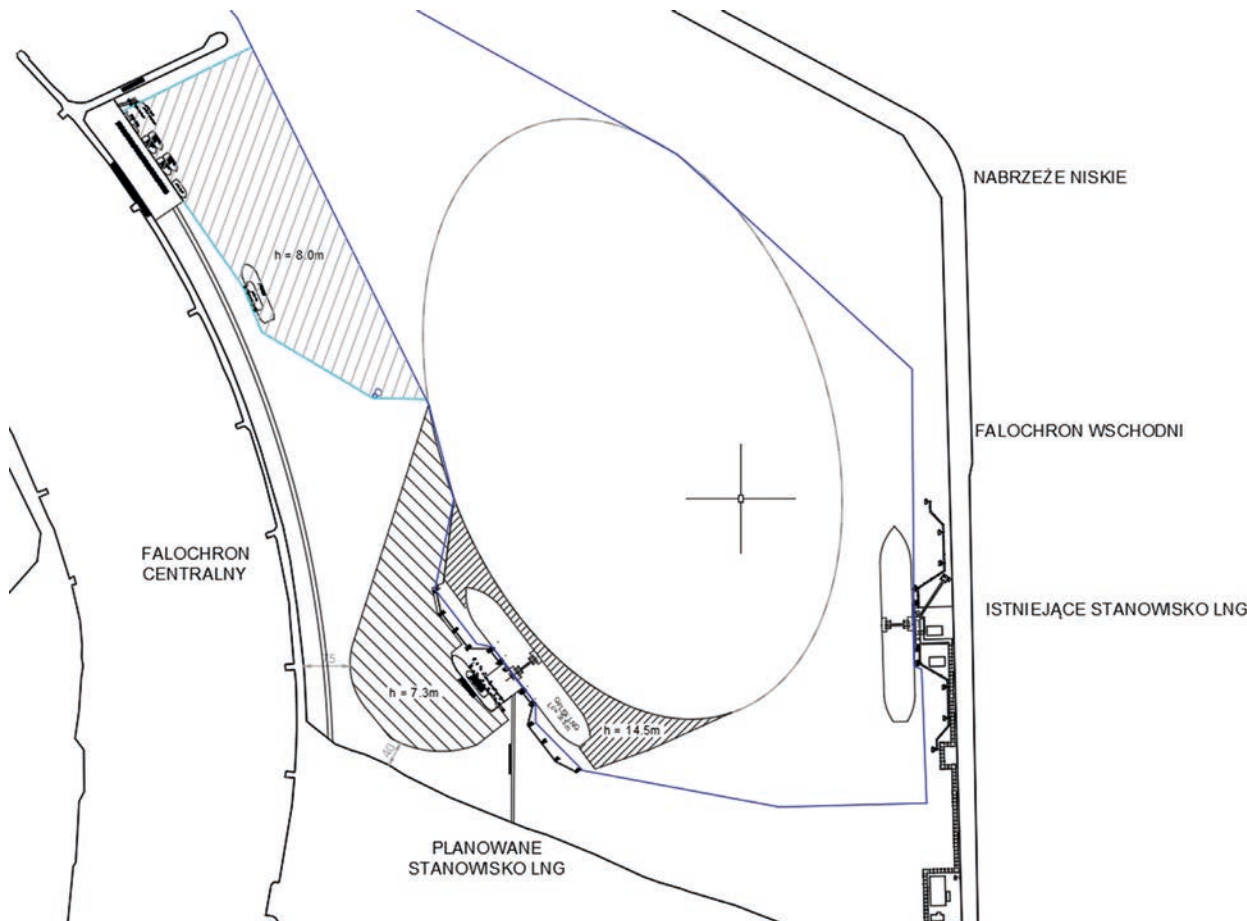
- umiejscowienie nowego nabrzeża w narożniku ostrogi i falochronu centralnego od południa (ochrona przed falą),
- załadowiony obszar o wymiarze około 200×50 m, zamknięty ścianką szczelną,
- zwieńczone płytą betonową o nośności dostosowanej do przewidywanych parametrów eksploatacji,
- wysokość nabrzeża – $1,3 \div 2$ m nad poziomem odniesienia,
- połączone drogą ze stałym lądem.



Rys. 6. Przykładowy układ postoju jednostek przy nabrzeżu dla jednostek pomocniczych



Rys. 7. Koncepcja budowy nabrzeża dla jednostek pomocniczych



Rys. 8. Optymalna koncepcja rozbudowy portu zewnętrznego w Świnoujściu (Gazoport)

Nabrzeże powinno być wyposażone w demontowany pomost pływający o wysokości 0,3 m do cumowania małych jednostek Straży Granicznej typu RIB. Koncepcję budowy takiego nabrzeża z jego wyposażeniem przedstawiono na rys. 6.

Koncepcję budowy stanowiska postojowego bunkierek LNG przedstawiono na rys. 7, a jego parametry można określić następująco [15]:

- cztery dalby rurowe wyposażone w odbojnice i polery cumownicze (odległości pomiędzy dalbami 10 m – 20 m – 10 m),
- pomost cumowniczy oparty na dalbach,
- kładka łącząca pomost z falochronem centralnym (droga).

Optymalna koncepcja docelowej rozbudowy portu zewnętrznego w Świnoujściu uwzględniająca budowę: uniwersalnego stanowiska przeladunkowego LNG, stanowiska postojowego bunkierek LNG oraz stanowiska postojowego jednostek pomocniczych i jednostek pływających Straży Granicznej przedstawiono na rys. 8.

WARUNKI BEZPIECZNEJ EKSPLOATACJI

Warunki bezpiecznej eksploatacji portu zewnętrznego w Świnoujściu można sprowadzić do warunków bezpieczeń-

stwa „maksymalnych” i „minimalnych” statków podchodzących do istniejącego stanowiska rozładunkowego LNG oraz do dwóch nabrzeży projektowanego uniwersalnego stanowiska przeladunkowego.

Warunki bezpiecznej eksploatacji statków „maksymalnych” i „minimalnych” podchodzących do określonego nabrzeża można zapisać w postaci zbioru [8]:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}^{\max} \\ \mathbf{W}^{\min} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_c^{\max}, B^{\max}, T^{\max}, V^{\max}, V_w^{\max}, C^{\max} \\ L_c^{\min}, B^{\min}, T^{\min}, V^{\min}, V_w^{\min}, C^{\min} \end{bmatrix}$$

gdzie:

- $\mathbf{M}$ – warunki bezpiecznej eksploatacji statków podchodzących do danego nabrzeża,
- $\mathbf{W}^{\max}, \mathbf{W}^{\min}$ – warunki bezpiecznej eksploatacji statku „maksymalnego” i „minimalnego” podchodzącego do danego nabrzeża,
- L_c, B, T – długość całkowita, szerokość i zanurzenie statku,
- V – dopuszczalna prędkość statku w porcie,
- V_w – dopuszczalna prędkość wiatru;
- C – asysta holownicza, którą określają trzy parametry:
- n – liczba asystujących holowników,
- Σc – minimalny bezpieczny sumaryczny uciąg holowników,
- c – minimalny uciąg asystującego holownika.

Stosując powyższy układ, warunki bezpiecznej eksploatacji portu zewnętrznego w Świnoujściu można zapisać w postaci zbiorów:

- istniejące stanowisko rozładunkowe LNG

$$\mathbf{M}_{ist} = \begin{bmatrix} 320 \text{ m}, & 50 \text{ m}, & 12,5 \text{ m}, & 4 \text{ wezły}, & 12,5 \text{ m/s}, & n = 4, & \Sigma c = 190 \text{ ton}, & c = 40 \text{ ton} \\ 270 \text{ m}, & 40 \text{ m}, & 11,0 \text{ m}, & 4 \text{ wezły}, & 12,5 \text{ m/s}, & n = 4, & \Sigma c = 170 \text{ ton}, & c = 30 \text{ ton} \end{bmatrix}$$

- projektowane uniwersalne stanowisko przeładunkowe LNG – nabrzeże 1

$$\mathbf{M}_{nab1} = \begin{bmatrix} 320 \text{ m}, & 50 \text{ m}, & 12,5 \text{ m}, & 4 \text{ wezły}, & 12,5 \text{ m/s}, & n = 4, & \Sigma c = 190 \text{ ton}, & c = 40 \text{ ton} \\ 110 \text{ m}, & 20 \text{ m}, & 6,0 \text{ m}, & 4 \text{ wezły}, & 12,5 \text{ m/s}, & n = 1, & & c = 15 \text{ ton} \end{bmatrix}$$

- projektowane uniwersalne stanowisko przeładunkowe LNG – nabrzeże 2

$$\mathbf{M}_{nab2} = \begin{bmatrix} 110 \text{ m}, & 20 \text{ m}, & 6,0 \text{ m}, & 5 \text{ węzłów}, & 10,0 \text{ m/s}, & n = 1, & c = 15 \text{ ton} \\ 50 \text{ m}, & 10 \text{ m}, & 3,0 \text{ m}, & 5 \text{ węzłów}, & 10,0 \text{ m/s}, & n = 0 & & \end{bmatrix}$$

przy czym wszystkie bunkierki LNG wchodzące do portu zewnętrznego i podchodzące do nabrzeża 2 są wyposażone w dziobowe stery strumieniowe.

Należy przy tym zaznaczyć, że w porcie zewnętrznym w Świnoujściu może jednocześnie manewrować tylko jeden statek (gazowiec lub bunkierka) niezależnie od zajętości pozostałych nabrzeży.

PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano koncepcję rozbudowy portu zewnętrznego w Świnoujściu (Gazoport), optymalizując parametry projektowanego uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG oraz wybierając najkorzystniejszą lokalizację stanowiska postojowego bunkier LNG oraz stanowiska postojowego jednostek pomocniczych i jednostek pływających Straży Granicznej.

Optymalizację lokalizacji i optymalizację parametrów podejściowych dróg wodnych do uniwersalnego stanowiska przeładunkowego LNG określono przy wykorzystaniu specjalnej opracowanej dwuetapowej symulacyjnej metody optymalizacji.

Przy lokalizacji stanowisk postojowych bunkierów LNG oraz jednostek pomocniczych i jednostek pływających Straży Granicznej uwzględniono warunki ich bezpiecznej eksploatacji oraz strefy zagrożeń związanych z przeładunkami LNG. Bezpieczny obszary manewrowe jednostek eksploatowanych na tych stanowiskach określono wykorzystując metody empiryczne stosowane w inżynierii ruchu morskiego.

LITERATURA

1. Analiza nawigacyjna budowy drugiego stanowiska przeładunkowego LNG w porcie zewnętrznym w Świnoujściu. Praca naukowo-badawcza. Akademia Morska w Szczecinie, 2017.
2. Analiza nawigacyjna portu zewnętrznego w Świnoujściu. Praca naukowo-badawcza Instytutu Inżynierii Ruchu Morskiego, Akademia Morska w Szczecinie, 2008.
3. Budowa stanowiska postojowego dla bunkierów w porcie zewnętrznym w Świnoujściu (analiza nawigacyjna). Praca naukowo-badawcza. Akademia Morska w Szczecinie, 2018.
4. Budowa stanowiska postojowego dla jednostek pływających Straży Granicznej w porcie zewnętrznym w Świnoujściu (analiza nawigacyjna). Praca naukowo-badawcza. Akademia Morska w Szczecinie, 2018.

5. Budowa stanowiska postojowego dla statku pożarniczego Strażak – 26 w porcie zewnętrznym w Świnoujściu (analiza nawigacyjna). Praca naukowo-badawcza. Akademia Morska w Szczecinie, 2018.
6. Budowa uniwersalnego stanowiska przeładunkowego gazowców i bunkierów LNG w porcie zewnętrznym w Świnoujściu – projektowanie wstępne wykonane metodami empirycznymi. Praca naukowo-badawcza, Akademia Morska w Szczecinie. 2018.
7. Gucma S.: A system approach for optimizing of parameters of the proposed maritime container port in Świnoujście, Journal of KONBiN 43, 2017.
8. Gucma S.: Conditions of safes ship operation in seaports – optimization of port waterway parameters, Polish Maritime Research – w druku, 2018.
9. Gucma S. i inni: Morskie drogi wodne – projektowanie i eksploatacja w ujęciu inżynierii ruchu morskiego. Fundacja Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk, 2015.
10. Gucma S. i inni: Inżynieria ruchu morskiego. Wytyczne do projektowania morskich dróg wodnych i portów oraz warunków ich bezpiecznej eksploatacji. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2017.
11. Gucma S. i inni: Warunki lokalizacji uniwersalnego stanowiska przeładunkowego gazowców LNG projektowanego w porcie Świnoujście, 2018.
12. Gucma S., Gucma L., Zalewski P.: Symulacyjne metody badań w inżynierii ruchu morskiego. Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2008.
13. Gutenbaum J.: Modelowanie matematyczne systemów. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2003.
14. Mazurkiewicz B.: Encyklopedia Inżynierii Morskiej. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2009.
15. Morning Equipment Guideline (3rd Edition) OCIMF 2013.
16. PIANC: Harbour Approach Channels Design Guidelines. PIANC Report PIANC Secretariat General. Bruksela 2014.
17. SANDIA: Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water, 2004.