

Andrzej ADAMKIEWICZ, Anna ANCZYKOWSKA

# KRYTERIA BEZPIECZEŃSTWA WYKONANIA ZADANIA TRANSPORTOWEGO W TERMINALU LNG W ŚWINOUJŚCIU

W artykule przedstawiono kryteria bezpieczeństwa wykonania zadania transportowego wykonywanego w terminalu LNG w Świnoujściu. Wymieniono kryteria związane z procedurą autoryzacji zbiornikowców LNG, podstawowymi parametrami techniczno – eksploatacyjnymi statku oraz wymaganiami stawianymi przez przepisy o ochronie środowiska. Omówiono efektywność wykonania zadania transportowego przez zbiornikowiec LNG rozpatrywanego jako system w odniesieniu do terminalu LNG w Świnoujściu.

## WSTĘP

Postępujący rozwój transportu skroplonego gazu ziemnego (LNG – ang. Liquefied Natural Gas) drogą morską wpłynął na potrzebę budowy terminalu LNG w rejonie Południowego Bałtyku. Lokalizacja terminalu w porcie Świnoujście umożliwia dywersyfikację dostaw gazu do Polski. W terminalu LNG w Świnoujściu, obecnie, prowadzone są operacje wyładunku i przeładunku skroplonego gazu ziemnego. W przyszłości, może również funkcjonować jako stacja bunkrowania dla statków wykorzystujących LNG jako paliwo.

Wymogi związane z ograniczeniem emisji spalin na akwenach będących strefami ochronnymi, powoduje wzrost liczby jednostek, które wykorzystują skroplony gaz ziemny jako paliwo. Z tego powodu, zwiększa się również zapotrzebowanie na LNG. Wymusi to potrzebę rozbudowy infrastruktury terminalu, umożliwiającą bunkrowanie w relacji statek – statek i statek – ład oraz prowadzenie regazyfikacji gazu dla potrzeb rynku energetycznego i jego reeksportu.

Dlatego też w artykule podjęto próbę syntezy kryteriów bezpieczeństwa wykonania zadania transportowego przez zbiornikowce LNG w terminalu LNG w Świnoujściu. W artykule zawarto procedurę autoryzacji, kryteria techniczno – eksploatacyjne i ekologiczne wraz z wynikami efektywności zbiornikowca LNG. Przeprowadzono procedurę na realnym łańcuchu czynności, z uwzględnieniem bezpieczeństwa wykonania zadania transportowego, jakim jest podróż morska statku z ładunkiem skroplonego gazu ziemnego.

## 1. KRYTERIA FORMALNO – PRAWNE

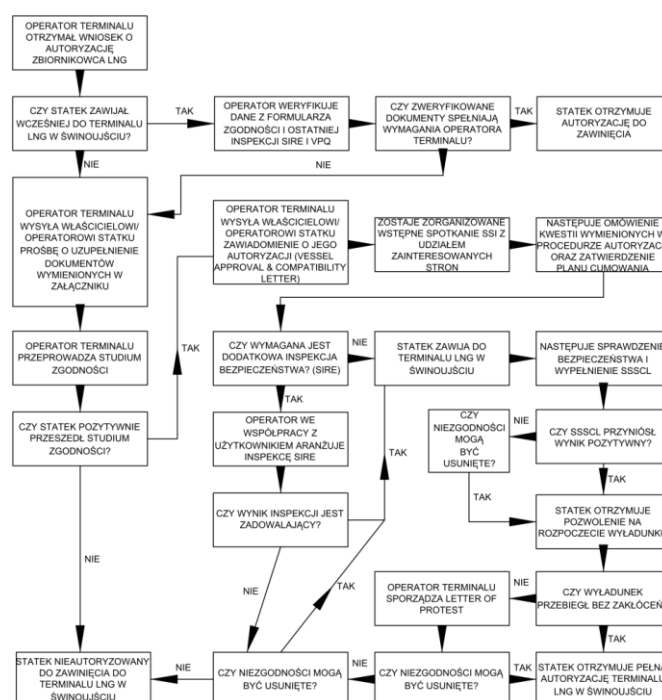
### 1.1. Autoryzacja zbiornikowca LNG

Aspekty bezpieczeństwa wymagają, aby przed zawianiem zbiornikowca do terminalu LNG w Świnoujściu, uzyskał on autoryzację. Procedura autoryzacyjna jest ściśle określona przez operatora terminalu LNG i składa się z 5 kroków:

1. Wstępna wymiana informacji
2. Studium zgodności statek/terminal
3. Inspekcje bezpieczeństwa statku
4. Test wyładunku i autoryzacja statku
5. Kontrola statku po udzieleniu autoryzacji [17]

Schemat procedury przedstawiono na rysunku 1. Każdy z etapów procedury autoryzacji wymaga ścisłej współpracy pomiędzy

operatorem terminalu LNG i armatora, który stara się o uzyskanie autoryzacji.



Rys. 1. Schemat procedury autoryzacji zbiornikowca zawijającego do terminalu LNG w Świnoujściu [7, 17]

Procedura autoryzacji rozpoczyna się od wstępnej wymiany informacji. W tym celu, armator, zobowiązany jest do złożenia wypełnionego wniosku o przyznanie autoryzacji wraz z następującymi dokumentami:

1. Schematy ogólnych rozwiązań konstrukcyjnych statku,
2. Certyfikaty oraz wartości dopuszczalnych roboczych obciążeń kluz dla holowników,
3. OCIMF Vessel Particulars Questionnaire,
4. Raport OCIMF TMSA,
5. Raport OCIMF SIRE,
6. Certyfikat Condition Assessment Programme (dla gazowców starszych niż 20 lat),
7. Studium cumowania OPTIMOOR,
8. Formularz gazowy „C”,

9. Krzywe wydajności pomp ładunkowych wraz z maksymalną ratą wyładunkową,
10. Skalowanie zbiorników ładunkowych,
11. Certyfikat CTMS i informacje o jego kalibracji,
12. Survey Class Status Report,
13. Certyfikat wejścia do P&I,
14. Procedury awaryjne i przeciwpożarowe,
15. Procedury bezpieczeństwa,
16. Kopie pełnej dokumentacji z ostatniej inspekcji klasyfikacyjnej, vettingu i kontroli PSC. [7, 17]

Na podstawie dogłębnej analizy dokumentów dostarczanych operatorowi terminala, przeprowadzane jest studium zgodności technicznej statku z terminalem. Wynikiem tego etapu jest jedna z trzech decyzji:

- a) Przyznanie autoryzacji dla statku,
- b) Możliwość przyznania autoryzacji pod warunkiem usunięcia niezgodności,
- c) Brak autoryzacji dla statku [17].

W przypadku, gdy zostaną przyznane autoryzacji warunkowane jest usunięciem niezgodności, na żądanie operatora, organizowane jest spotkanie, w którym uczestniczyć muszą:

- przedstawiciel armatora,
- przedstawiciel użytkownika terminalu,
- przedstawiciel spedytora,
- przedstawiciel Kapitana Portu i stacji pilotów oraz
- przedstawiciel operatora terminalu.

Spotkanie ma na celu wspólną weryfikację parametrów zbiornikowca i terminalu. W trakcie spotkania, uzgodniony zostaje również plan cumowania statku w terminalu LNG. Operator terminalu ma prawo zlecić lustrację statku, celem dalszej weryfikacji zgodności zbiornikowca. Po przeprowadzeniu inspekcji, lista ewentualnych uwag i/lub uchybień przekazywana jest kapitanowi statku oraz załadowcy. Usunięcie uchybień wskazanych po inspekcji warunkuje otrzymanie autoryzacji przez statek.

Po przeprowadzeniu powyższych czynności i uzyskaniu autoryzacji, statek dopuszczany jest do testu wyładunku. Jest to ostateczne sprawdzenie kompatybilności zbiornikowca z terminalem. Po wykonaniu testu wyładunku, operator terminalu może podjąć jedną z trzech decyzji:

1. Nie przyznaniu autoryzacji,
2. Przyznaniu autoryzacji z zastrzeżeniem kolejnych testów i weryfikacji w ciągu trzech lat,
3. Przyznaniu pełnej autoryzacji na okres trzech lat.

Mimo rozbudowanej procedury autoryzacji oraz krótkiej działalności terminalu LNG w Świnoujściu, PLNG, jako operator terminalu przyznało autoryzację 8 zbiornikowcom, których lista wraz z ich operatorami, przedstawiona jest w tabeli 1.

**Tab. 1.** Lista zbiornikowców LNG z autoryzacją PLNG[27]

Lp.	Nazwa zbiornikowca LNG	Numer IMO	Operator (Armator)
1.	Al Nuaman	9431135	Shell Trading and Shipping Company
2.	Al Khattiya	9431111	Shell Trading and Shipping Company
3.	Arctic Princess	9271248	Hoegh LNG Fleet Management
4.	Al Khuwair	9360908	Teekay Shipping Glasgow
5.	Al Gattara	9337705	OSG Shipmanagement UK
6.	Umm Al Amad	9360829	K Line LNG Shipping
7.	Al Huwaila	9360879	Teekay Shipping Glasgow
8.	Al Gharrafa	9337717	OSG Shipmanagement UK

Wśród statków, którym została przyznana autoryzacja, siedem to zbiornikowce typu Q-flex, natomiast jeden, Arctic Princess jest innego typu.

## 2. KRYTERIA TECHNICZNO – EKSPLOATACYJNE

Wśród kryteriów oceny jednostki, największy wpływ na zdolności manewrowe i wykonanie zadania transportowego w terminalu, mają wymiary główne kadłuba zbiornikowca (podwodzia), w korelacji z własnościami głównego układu napędowego.

### 2.1. Geometria kształtu kadłuba

Kadłub statku, jego wymiary główne i geometria, mają podstawowy wpływ na charakterystyki oporowe i napędowe jednostki pływającej. Jego własności opisują takie parametry kadłuba jak [8, 19, 26]:

- $L_{PP}$  – długość pomiędzy pionami ( $L_{PP} = 0,96 L_{WL}$ ) [m],
- $L_{WL}$  – długość wodnicy konstrukcyjnej [m],
- $L_{OA}$  – długość całkowita [m],
- $B_{WL}$  – największa szerokość statku na wodnicy konstrukcyjnej [m],
- $D$  – zanurzenie (odległość od wodnicy do najgłębiej położonego punktu) [m],
- $DWT$  – nośność statku ( $DWT = \Delta$  – masa własna statku) [t],
- $\Delta$  – wyporność statku (ciężar wypartej przez zanurzoną część kadłuba wody) [t],

- $\nabla$  objętość podwodzia ( $\nabla = \Delta / \rho_{wm}$ ) [m<sup>3</sup>].

Prawidłowo zaprojektowany kadłub oraz współpracujący z nim pędnik okrętowy decydują o sprawności napędowej układu ruchowego jednostki. Z wykorzystaniem podanych parametrów, własności kształtu kadłuba opisują współczynniki:

- pełnotliwości podwodzia  $C_B$  (odniesiony do długości wodnicy (1) lub długości pomiędzy pionami (2))
- smukłości (3)

$$C_{B,WL} = \frac{\nabla}{L_{WL} B_{WL} D} [-] \quad (1)$$

$$C_{B,PP} = \frac{\nabla}{L_{PP} B_{WL} D} [-] \quad (2)$$

$$C_{LD} = \frac{L_{WL}}{\sqrt[3]{\nabla}} [-] \quad (3)$$

Znajomość charakterystyki oporowej statku potrzebna jest do określenia mocy holowania niezbędnej do doboru śruby okrętowej oraz napędu głównego określonej mocy. Moc napędu głównego może być oszacowana metodą na podstawie listy statków podobnych z wykorzystaniem metody regresji liniowej (metodą najmniejszych kwadratów) [10, 15, 22] lub metodą odwróconego współczynnika admiralacji  $A$  [10, 19, 22, 26], kumulującego własności układu ruchowego statku, a określanego zależnością:

$$A = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} \cdot V^3}{P_e} \quad (4)$$

Zapotrzebowaną moc efektywną  $P_{e\alpha}$  metodą regresji liniowej określa zależność [6, 9]:

$$P_{e\alpha} = \alpha_N \Delta^{\frac{2}{3}} V^3 [kW] \quad (5)$$

gdzie:

$\alpha_N$  – oszacowany współczynnik regresji

$$\alpha_N = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^{\frac{2}{3}} V_i^3 P_{ei}}{\sum_{i=1}^n \Delta_i^{\frac{2}{3}} V_i^6} \quad (6)$$

$\Delta_i$  – wyporność i-tego statku z listy statków podobnych [t],

$V_i$  – prędkość i-tego statku z listy statków podobnych [w].

Stosunkowo duża populacja zbiornikowców LNG upoważnia do potraktowania jako wiarygodnej metody określenia mocy napędu głównego na podstawie związku opracowanego statystycznie, w pracy [10] podanego w postaci wzoru:

$$P_B = (1,34571 \cdot 0,00003091 \cdot \Delta)V^3 [kW] \quad (7)$$

Zależności (1) – (7) zastosowano do porównania efektywności wykonania zadania transportowego przez zbiornikowiec LNG.

## 2.2. Parametry ruchu statku

Poza kryteriami związanymi z geometrią kadłuba zbiornikowca LNG, należy wziąć pod uwagę ograniczenia powiązane z ruchem jednostki po torze wodnym oraz w samym terminalu. Parametry te, to przede wszystkim, maksymalne:

- Długość całkowita,
- Szerokość,
- Zanurzenie oraz
- Prędkość.

Ograniczenia te wynikają z parametrów toru wodnego i terminalu w Świnoujściu oraz zawarte są w Przepisach Portowych. Maksymalne parametry zbiornikowca LNG przedstawiono w tabeli 2.

**Tab. 2. Maksymalne parametry zbiornikowca LNG [24]**

Parametr	Wartość [m]
Długość całkowita	315,00
Szerokość	51,00
Zanurzenie w wodzie słodkiej	12,5

Prędkość zbiornikowca LNG uzależniona jest od odcinka toru wodnego, po którym porusza się jednostka. Wartości te przedstawione są w tabeli 3.

**Tab. 3. Maksymalne prędkości zbiornikowca LNG na torze podejściowym wpływającego do terminalu LNG w Świnoujściu [24]**

Odcinek	Prędkość [w]
od pławy "N-1" do pary pław "9-10"	10,0
od pary pław "9-10" do pary pław "15-16"	8,0
od pary pław "15-16" i na akwenie portu zewnętrznego	4,0

Wprowadzenie powyższych ograniczeń, ma swoje uzasadnienie w związku z istniejącym torem wodnym. Parametry toru podejściowego oraz basenów portowych determinują maksymalne jednostki, które mogą zawinąć do portu Świnoujście, w tym do terminalu LNG. Aktualnie, maksymalnymi jednostkami, które zawijają do terminalu, są gazowce typu Q-flex. Ma to swoje odzwierciedlenie w przyznanych autoryzacjach – siedem na osiem jednostek stanowią statki typu Q-flex

## 2.3. Parametry funkcjonalne statku – manewrowość

Kryteria bezpieczeństwa zbiornikowców LNG związane są również z ich zdolnościami manewrowymi w odniesieniu do dostępnego bezpiecznego obszaru manewrowego na torze podejściowym i akwenu terminalu. Ograniczenia prędkości maksymalnej dla zbiornikowca LNG wpływającego do terminalu LNG w Świnoujściu, wpływają na konieczność asysty holowniczej. Zgodnie z Przepisami Portowymi, na odcinku od pary pław „15-16” i na akwenu portu zewnętrznego, wymagana jest asysta minimum czterech holowników. Dodatkowo, wymagana jest również asysta statku pożarniczego.

Celem ułatwienia prowadzenia manewrów na torze podejściowym i na akwenu terminalu LNG, Przepisy Portowe określają minimalną odległość, w jakiej mogą znajdować się inne jednostki, w trakcie nawigowania zbiornikowca LNG w obszarze redy lub portu Świnoujście.

Dodatkowymi ograniczeniami, które mają na celu poprawę bezpieczeństwa manewrowania zbiornikowców LNG, są warunki hydrometeorologiczne. Przepisy Portowe jasno określają warunki uzyskania zgody na wejście do terminalu LNG:

- a) prędkość wiatru nie przekracza 10 m/s,
- b) wysokość fali nie przekracza 1,2 m,
- c) widzialność jest nie mniejsza niż 1 Mm,
- d) prędkość prądu na akwenu manewrowym pomiędzy główkami portu a parą pław "15-16" nie przekracza 0,5 węzła,
- e) poziom wody zapewnia odpowiednią wielkość rezerwy wody pod stępką dla prędkości maksymalnej 10 w,
- f) dyspozytor terminalu zgłosi na kanale 12 VHF gotowość do przyjęcia zbiornikowca,
- g) firma holownicza obsługująca zbiornikowiec zgłosi na kanale 12 VHF gotowość, skład jednostek i deklarację sprawności holowników,
- h) prognoza pogody na czas manewru wejścia zbiornikowca do portu, nie przewiduje gwałtownego pogorszenia warunków. [24]

Kryteria techniczno – eksploatacyjne dla zbiornikowców LNG wynikają głównie z parametrów toru podejściowego oraz akwenu terminalu LNG.

Charakter ładunku, jakim jest skroplony gaz ziemny, wymaga zachowania i spełnienia wielu kryteriów bezpieczeństwa. Ma to na celu minimalizację ryzyka wystąpienia wycieku LNG.

## 3. KRYTERIA EKOLOGICZNE

### 3.1. Strefy ECA

Wymagania konwencji MARPOL są przyczyną poszukiwania źródeł energii napędowej oraz wdrażania nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych umożliwiających redukcję ilości emitowanych przez silniki tlenków azotu. Zainteresowanie „czystą” energią powoduje, że coraz częściej można spotkać się ze statkami napędzanymi skroplonym gazem ziemnym. Spalanie LNG, w porównaniu ze współcześnie stosowanymi paliwami, przynosi efekty znacznego zmniejszenia emisji szkodliwych dla atmosfery związków takich jak SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> oraz CO<sub>x</sub> [3]. Innym rozwiązaniem może być stosowanie na statkach urządzeń oczyszczających spaliny ze związków siarki, tzw. scrubberów.

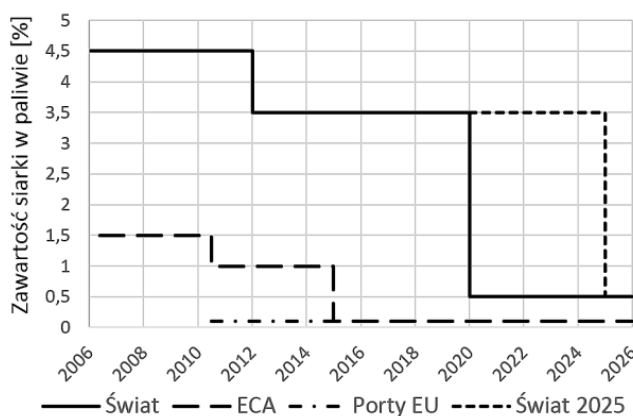
Fakt ten zastał układy napędowe zbiornikowców LNG na ukształtowanym etapie ich rozwoju: od pierwszych rozwiązań – konwencjonalnych napędów turbooparowych z przekładnią redukcyjną, przez układy diesel-electric, ze średnioobrotowymi, czterosuwowymi silnikami dwupaliwowymi, po rozwiązania najnowsze – napędy bezpośrednie z wolnoobrotowymi silnikami jednopaliwowymi o zapłonie samoczynnym z instalacjami ponownego skraplania gazu.

Ograniczenia wprowadzane przez międzynarodowe konwencje wyznaczają kierunki rozwoju środków transportu LNG drogą morską, obejmującego większą część rynku tego paliwa [23]. Ukończona budowa terminalu LNG w Świnoujściu powoduje, że problematyka emisji spalin przez statki transportujące gaz ziemny, dotyczy ich żeglugi w rejonie Południowego Bałtyku, objętego strefą ochronną ECA (ang. Emission Control Area).

Zadania terminalu polegające na rozładunku i regazyfikacji LNG, jak również na jego przeladunku na mniejsze jednostki [20], generuje potrzebę analizy układów napędowych gazowców jako potencjalnych środków transportu do przewozu ciekłego gazu.

Powinny one umożliwiać bezpieczny, szybki, tani i zgodny z obecnymi oraz przyszłymi wymaganiami, dotyczącymi emisji związków zanieczyszczających atmosferę w rejonie Bałtyku, transport skroplonego gazu.

Od początku 2015 roku zaczęły obowiązywać zmodyfikowane, bardziej restrykcyjne, wymagania dotyczące zawartości siarki w paliwach spalanych na statkach morskich. Konwencja MARPOL wyznacza na chwilę obecną dwa dozwolone poziomy zawartości siarki w paliwie, zależne od rejonu pływania statku. Dla stref ECA wartość ta wynosi 0,1%, natomiast dla pozostałych akwenów świata jest to 3,5%. Międzynarodowa Organizacja Morska planuje wprowadzenie w 2020 roku globalnego limitu 0,5%. Ta zmiana ma być tematem rozważań w roku 2018 i w zależności od dostępności odpowiednich paliw może ona być przesunięta do roku 2025. Obowiązujące i planowane limity określone przez konwencję MARPOL oraz Dyrektywę 2005/33/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, przedstawiono na rysunku 2.



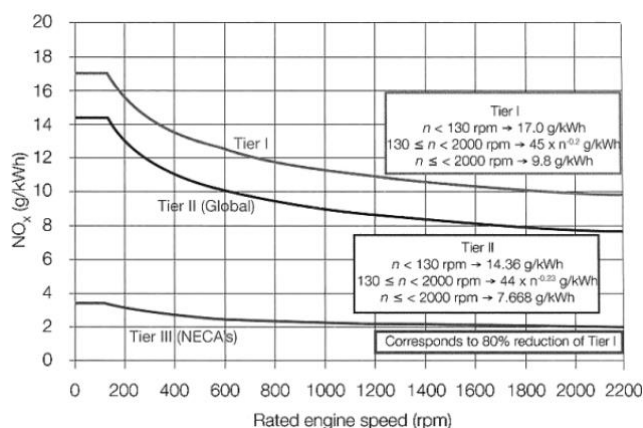
Rys. 2. Dopuszczalna zawartość siarki w paliwie wg. MARPOL i Dyrektywy 2005/33/WE [7, 9, 18]

Instalowanie płuczek pozwalających na odsiarczenie spalin okazało się jedną z najpopularniejszych metod radzenia sobie z nowymi realiami po zaostrzeniu przepisów dotyczących poziomu emisji. Nieliczni, aby sprostać nowym wymaganiom, zdecydowali się na inwestycję w nowe promy (m.in.: Fjord Line, Viking Line), które napędzane są paliwem LNG, czyli gazem ziemnym w postaci ciekłej, co pozwala na całkowitą eliminację emisji siarki. Niektóre firmy eksperymentują z wykorzystaniem paliw alternatywnych, np. biopaliw lub metanolu (Stena Line), które nie zawierają siarki bądź posiadają jej śladowe ilości.

Powoduje to, iż zawartość tlenków siarki będzie równoważna z efektami spalania paliwa niskosiarkowego [13, 16].

Potencjalne objęcie Morza Bałtyckiego strefą NECA skutkować będzie koniecznością spełnienia wymagań Tier III, ograniczających emisję tlenków azotu (NOx). Dotyczyć to będzie jednak statków zbudowanych po terminie określonym przy wprowadzeniu nowej strefy NECA. [21]. Limity emisji NOx, określone zapisami konwencji MARPOL, pokazano na rysunku 3. W konwencji wprowadzono trzy poziomy dopuszczalnej emisji (Tier). Dwa pierwsze poziomy obowiązują na obszarach wszystkich mórz i oceanów, a poziom Tier III ma zastosowanie dla statków przebywających w strefie NECA:

- Tier I – dla statków zbudowanych po 1 stycznia 2000,
- Tier II – dla statków zbudowanych po 1 stycznia 2011,
- Tier III – obowiązuje od 1 stycznia 2016 roku w obszarach NECA.



Rys. 3. Dopuszczalne wartości emisji tlenków azotu w zależności od prędkości obrotowej silnika dla trzech poziomów Tier [2, 7, 13, 14]

Utworzenie nowych stref tego typu w znacznym stopniu pogorszyłyby warunki eksploatacji gazowców w transporcie zarówno krótko-, jak i długodystansowym. Objęcie morza Śródziemnego specjalną strefą ochrony, spowodowałoby, że przez większą część podróży z np. Ras Laffan w Katarze, do polskiego terminalu w Świnoujściu, statek transportujący gaz znajdowałby się w strefie ECA powodując konieczność rozważenia ekonomiczności transportu gazu tą trasą, wykorzystania paliwa niskosiarkowego, lub instalacji urządzeń do wtórnego oczyszczania spalin.

Być może fakt ten spowodowałoby, że bardziej ekonomiczne stałoby się wykorzystanie zbiornikowców LNG z napędem dual-fuel (DFSM lub DFDE), które mogą spełnić wymagania tych stref poprzez zasilanie silników napędu głównego paliwem pochodzącym ze zbiorników ładunkowych, np. LNG [2].

## 4. ZBIORNIKOWIEC JAKO SYSTEM TRANSPORTOWY I JEGO EFEKTYWNOŚĆ

Transport ładunku drogą morską, ze względów ekonomicznych powinien odbywać się z jak najmniejszym kosztem własnym, zwiększając w ten sposób zysk z wykonania usługi transportowej. Największy udział w kosztach eksploatacji statku morskiego mają koszty paliwa, sięgające 76% wszystkich kosztów ponoszonych przez eksploatatora jednostki pływającej [12, 20]. Statek eksploatowany, w rejonie, w którym możliwe jest spalanie taniego paliwa niskiej jakości, będzie wykazywał mniejszy udział kosztów paliwa w całkowitych kosztach eksploatacji, niż ten sam statek eksploatowany w rejonie SECA. Można założyć, że pozostałe koszty eksploatacji są z zasady stałe i w przypadku normalnej eksploatacji statku (bez sytuacji awaryjnych, remontów doraźnych), stanowią niezmienną część zmniejszającą zyski wynikające z transportu ładunku.

Z powyższego wynika, że jedyną metodą zwiększenia zysków jest obniżenie kosztów paliwa zużywanego przez statek, a tym samym zwiększenie sprawności energetycznej siłowni okrętowych poprzez odzysk energii odpadowej, stosowanie nowszych, bardziej sprawnych rozwiązań technologicznych, lub zmniejszenie prędkości transportu ładunku czyli tzw. slow steaming. Ponieważ w przypadku zbiornikowców LNG, zmniejszenie prędkości transportu ładunku nie jest dopuszczalne, jedyną metodą zwiększenia zysków z transportu jest tylko zwiększanie efektywności siłowni okrętowej.

W celu porównania różnych układów napędowych zbiornikowców LNG pod względem efektywności wykorzystania paliwa do transportu skroplonego gazu, zaproponowano wskaźnik efektywno-

ści wykonania zadania transportowego  $\eta_T$  przez gazowic wyrażony zależnością:

$$\eta_T = \frac{\sum_j FC_j \cdot W_{dj}}{m_{cargo,r} \cdot D} \left[ \frac{kJ}{t \cdot nm} \right] \quad (8)$$

gdzie:

$FC_j$  – zużycie j-tego rodzaju paliwa (dotyczy ME, AE, kotłów oraz spalarek) [t],

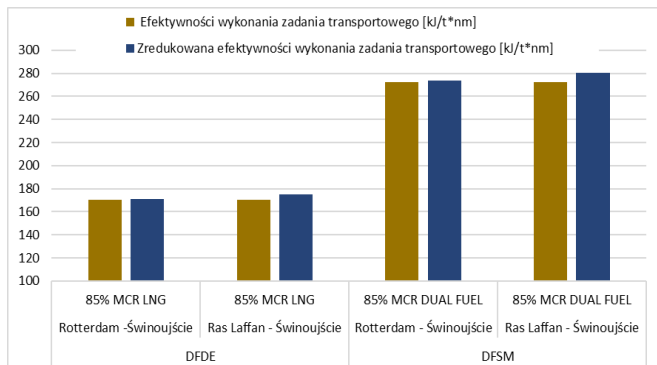
$W_{dj}$  – wartość opałowa dolna j-tego rodzaju paliwa [kJ/kg]

$m_{cargo,r}$  – masa ładunku pomniejszona o masę odparowanego ładunku wynikającą z naturalnego, jak i wymuszonego odparowania gazu ładunkowego [t];

D – przebyta droga statku [Nm].

Do innych wskaźników eksploatacyjno-ekonomicznych gazowców można zaliczyć czas podróży, całkowite zużycie paliwa podczas podróży oraz zredukowana masa ładunku. Są to więc wielkości niosące bezpośrednią informację o własnościach jednostki pływającej pod względem kosztów ponoszonych przez jej operatora.

Na rysunku 4 porównano graficzne wyniki obliczeń wartości wskaźników wykonania zadania transportowego przez analizowane gazowce. W najbardziej niekorzystnym przypadku (długa podróż, duża strata ładunku) wskaźnik ten przyjmuje dla gazowca z napędem DFDE wartość około 175 kJ na tonomilę pracy transportowej. W tych samych warunkach eksploatacji, dla gazowca napędzanego turbiną parową wartość ta jest 1,6-krotnie większa i wynosi około 280 kJ na tonomilę.

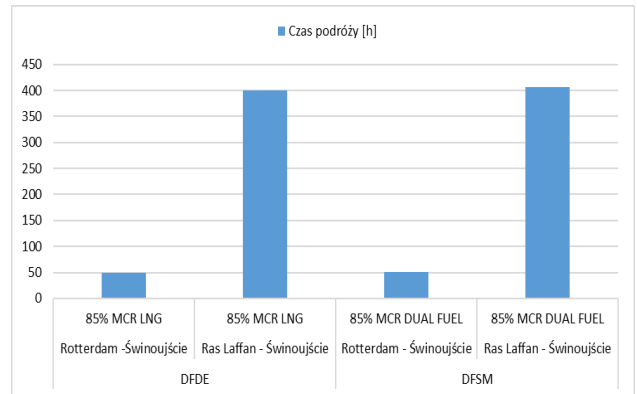


Rys. 4. Zależność wskaźników efektywności wykonania zadania transportowego od typu napędu głównego i trasy podróży

Przedstawione wyniki obliczeń wykazują bardziej dogodną ekonomicznie i ekologicznie eksploatację gazowca napędzanego dwupaliwowymi silnikami tłokowymi. Tego rodzaju zbiornikowiec LNG uzyskuje korzystniejszą wartości wskaźników kryterialnych porównania. Z analizy pozostałych stanów eksploatacyjnych można wywnioskować, że układ ten będzie utrzymywał podobne parametry również podczas podróży pod balastem.

Na rysunku 5 porównano czasy podróży morskich gazowców na wytypowanych trasach [5].

Czasy podróży obydwu typów gazowców jest porównywalny. Ich układy napędowe zapewniają uzyskanie zbliżonych prędkości pływania przy zachowaniu obciążenia 85% MCR (maksymalne ciągle obciążenie, ang. Maximum Continuous Rate). Podczas podróży z Rotterdamu różnica nie przekracza jednej godziny, a dla podróży z Ras Laffan wynosi ona około 7 godzin na korzyść układu DFDE.



Rys. 5. Porównanie czasów podróży morskich obu typu gazowców na różnych trasach

Przedstawione wskaźniki mogą być wyznacznikiem efektywności wykonania zadania transportowego, jakim jest transport skroplonego gazu ziemnego z portu załadunkowego do portu wyładunku. Do badań wzięto pod uwagę dwa typy układów napędowych – DFDE oraz DFSM, które są najczęściej wykorzystywane na gazowcach typu Q-flex.

## PODSUMOWANIE

W artykule dokonano próby syntezy problemów wykonania zadania transportowego w terminalu LNG w Świnoujściu. Wskazano pierwsze pozytywne wyniki autoryzacji zbiornikowców LNG oraz omówiono kryteria wpływające globalnie na bezpieczeństwo jednostek.

Kryteria techniczno – eksploatacyjne przedstawione w artykule, wynikają z Przepisów Portowych i są związane z procedurą autoryzacji terminalu LNG. Mają one na celu zapewnienie, jak najwyższego poziomu bezpieczeństwa zbiornikowców LNG.

Kryteria ekologiczne, w szczególności, związane z emisją związków chemicznych do atmosfery przez statki prowadzące nawigację w rejonie Południowego Bałtyku, mają na celu ochronę środowiska naturalnego.

W trakcie podróży morskiej, zbiornikowce LNG, powinny być rozpatrywane jako system transportowy, który powinien uzyskiwać, jak największą efektywność. Zaproponowane wskaźniki, uwzględniają efektywność w oparciu o zużycie paliwa oraz czas trwania podróży,

w zależności od napędu zastosowanego na statku. W aspekcie tych dwóch wskaźników, efektywność gazowca z napędem DFDE jest wyższa w porównaniu do napędu wykorzystującego turbinę parową.

Przedstawione kryteria bezpieczeństwa wykonania zadania transportowego przez zbiornikowce LNG są istotne, jednak należy pamiętać o wpływie czynnika ludzkiego. Dlatego też, szkolenia pod kątem bezpieczeństwa dla załóg statków oraz personelu terminalu LNG wraz z wprowadzaniem procedur wykonywania zadań może pozytywnie wpłynąć na redukcję ryzyka wystąpienia sytuacji niebezpiecznych.

## BIBLIOGRAFIA

- Adamkiewicz A., Behrendt C.: Technologiczne uwarunkowania ewolucji układów napędowych zbiornikowców LNG. Rynek Energii, Nr 3(106) – 2013, str. 71-79.
- Adamkiewicz A., Cydejko J., Analiza układów napędowych zbiornikowców LNG w aspekcie spełnienia wymagań strefy kontroli emisji spalin. Rynek Energii 2015, nr 3(118) str. 80-86.
- Adamkiewicz A., Zeńczak W.: LNG As An Ecological Fuel For Sea-Going Vessels. Paper 20. Symposium Nutzung Regenera-

- tiver Energiequellen Und Wasserstofftechnik Stralsund 2013, Fachhochschule, Stralsund, nr 7. –9. November 2013, str. 8-13.
4. Baltic Sea Clean Shipping Guide 2016, HELCOM, dostępne na [www.helcom.fi](http://www.helcom.fi) (dostęp z dnia: 20.03.2017).
  5. Cydejko J., Praca inżynierska pt. „Porównanie cech napędu głównego zbiornikowca LNG z tłokowym silnikiem dwupaliwowym lub turbiną parową” opiekun naukowy: Adamkiewicz, A. Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2016.
  6. Cydejko J., Adamkiewicz A., Wielokryterialna ocena układów napędowych zbiornikowców LNG, Problemy eksploatacji siłowni okrętowych, Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2016.
  7. Cydejko J., Adamkiewicz A., Wybór układów napędowych zbiornikowców LNG z możliwością przeładunku w terminalu Świnoujście, Autobusy 2016, nr 12/2016 str. 566-572.
  8. Dudziak J., Teoria Okrętu. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2008.
  9. Dyrektywa 2005/33/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lipca 2005 r., Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej.
  10. Górski Z., Giernalczyk M., Siłownie okrętowe, Część I, Podstawy napędu i energetyki okrętowej. Akademia Morska w Gdyni, Gdynia 2014.
  11. Instrukcja Eksploatacji Terminalu – Morskie Procedury Eksploatacyjne i Bezpiecznego Postoju Zbiornikowca LNG Nr : PE-PP-10-1 dostępne na [www.polskielng.pl](http://www.polskielng.pl) (dostęp z dnia: 20.09.2016).
  12. Jurdziński M., Metody zmniejszania zużycia paliwa w procesie eksploatacji statku. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni 2010, nr. 67 str. 11-25.
  13. MARPOL How To Do It 2013 Edition, International Maritime Organization, London 2013.
  14. Mattila T., LNG As A Fuel For Shipping, Gasum 12.6.2013 1EL
  15. Michalski R., Siłownie okrętowe. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1987.
  16. Mundt T, Köpke M.: MEPC 62: Energy Efficiency Design Index verabschiedet, Schiff & Hafen, 9/2011, pp 12-15MEPC.
  17. Procedura autoryzacji zbiornikowca zawijającego do terminalu LNG w Świnoujściu PE-PP-10-1-6 dostępne na [www.polskielng.pl](http://www.polskielng.pl) (dostęp z dnia: 20.03.2017).
  18. Revised MARPOL Annex VI: Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships and NOx Technical Code 2008, International Maritime Organization.
  19. Staliński J., Teoria okrętu. Wydawnictwo Morskie Gdynia, Gdynia 1961.
  20. Woodyard D.: 3. Exhaust Emissions and Control, w Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines (9th Edition). Elsevier, 2009, s. 61-86.
  21. Wojnowski W., Okrętowe siłownie spalinowe, Część 1. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1991.
  22. Wojnowski W., Okrętowe siłownie spalinowe, Część 3. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1992.
  23. World LNG Report - 2014 Edition. International Gas Union.
  24. Zarządzenie Nr 3 Dyrektora Urzędu Morskiego w Szczecinie z dnia 26 lipca 2013 r. PRZEPISY PORTOWE
  25. Zeńczak W.: Poprawa sprawności eksploatacyjnej kutrów rybackich poprzez wykorzystanie energii promieniowania słonecznego. Logistyka, nr 3/2015.
  26. Basic Principles of Ship Propulsion, MAN Diesel & Turbo, dostępne na [www.marine.man.eu](http://www.marine.man.eu) (dostęp z dnia: 20.03.2017)
  27. [www.polskielng.pl](http://www.polskielng.pl) (dostęp z dnia: 21.03.2017).
  28. [www.imo.org](http://www.imo.org) (dostęp z dnia: 20.03.2017).

## The safety criteria of transport task's implementation in LNG terminal in Swinoujście

*This article presents the safety criteria of the transport task that executes in LNG terminal in Swinoujście. List the criteria associated with the procedure of authorization of LNG tankers, basic and operational parameters of vessel and requirements by the provisions on the protection of the environment. Discusses the efficiency of transport by LNG tanker as concerned in respect of the LNG terminal in Swinoujście.*

Autorzy:

dr hab. inż. **Andrzej Adamkiewicz**, prof. nadzw. AM – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Mechaniczny  
mgr inż. **Anna Anczykowska** – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Centrum Naukowo – Badawcze Analizy Ryzyka Eksploatacji Statków, [a.anczykowska@am.szczecin.pl](mailto:a.anczykowska@am.szczecin.pl)

Wyniki badań powstałe w ramach realizacji pracy badawczej pt. Metoda integracji danych w celu zbudowania modelu szacowania ryzyka manewrowania statku w czasie rzeczywistym, nr 1/MN/INM/16 finansowanej z dotacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na finansowanie działalności statutowej.