

# BEZPIECZEŃSTWO ZBIORNIKOWCÓW LNG MANEWRUJĄCYCH NA AKWENACH OGRANICZONYCH

## 1.1 WPROWADZENIE

Transport skroplonego gazu ziemnego (LNG – Liquefied Natural Gas) drogą morską, realizowany jest przez zróżnicowaną technologicznie flotę zbiornikowców. Statki te, ze względu na możliwość opalania kotłów gazem odparowującym z ładunku (BOG – Boil Off Gas), dostępnego w ilości 0,1-0,15% ładunku (w zależności od warunków żeglugi, rodzaju i stanu izolacji termicznej zbiorników, stanu załadowania), wyposażano w konwencjonalne parowe napędy turbinowe (CST – Conventional Steam Turbine) [2, 5].

Specyfika przewozu, polegająca na stałej utracie ładunku podczas podróży morskiej, wymusza skrócenie jej czasu do minimum. Fakt ten dyktuje konieczność pokonywania tras z ładunkiem w możliwie najkrótszym czasie, ze stosunkowo dużymi prędkościami, w granicach od 19,5 do 21 węzłów, co wynika głównie z dużych odległości pomiędzy portami załadunku (rejon Zatoki Perskiej) i jego wyładunku (kraje Europy i Japonia). Te dwie przesłanki spowodowały, że idealnym rozwiązaniem, na danym etapie rozwoju technologii okrętownictwa stała się siłownia turboparowa, której dodatkowym atutem jest możliwość spalania podczas podróży paliwa żeglugowego i gazu ziemnego, jak również, w trakcie podróży bez ładunku, taniego żeglugowego paliwa pozostałościowego. Turbinowe siłownie parowe wyróżniają stosunkowo niskie sprawności energetyczne, nie przekraczające 36%, zależnie od parametrów pary świeżej, zasilającej turbiny, stopnia złożoności realizowanego obiegu i zastosowanych zabiegów zwiększenia sprawności siłowni [1].

Dla zbiornikowców LNG, do połowy pierwszej dekady XXI wieku, napęd parowy pozostawał rozwiązaniem jedynym, ze względu na możliwość opalania kotłów zarówno żeglugowym paliwem ciekłym jak i gazowym. Tendencja ta uległa zmianie na przełomie lat 2005-2010 [7, 10, 14]. Wzrost cen gazu ziemnego w latach 2001-2009 zmusił przemysł okrętowy do poszukiwania bardziej ekonomicznych rozwiązań siłowni statków przewożących skroplony gaz ziemny. Stały się nimi układy napędowe z przekładnią elektryczną, w których do napędu prądnic okrętowych stosowane są dwupaliwowe silniki o zapłonie samoczynnym – DFDE (Dual Fuel Diesel Electric), a współcześnie coraz częściej silniki trójpaliwowe TFDE (Triple Fuel Diesel Electric) oraz układy napędowe typu DRL (Diesel

with Reliquefaction Plant) z dwusuwowymi silnikami wolnoobrotowymi, zasilanymi żeglugowym paliwem, z instalacją ponownego skraplania, naturalnie odparowującego gazu.

Spadek cen gazu spowodował zaprzestanie budowy nowych jednostek tego typu oraz prace rozwojowe nad modyfikacją istniejących jednostek, celem przystosowania ich do zasilania układu napędowego statku parami ładunku (BOG). Pierwszy statek poddano modyfikacji w 2015 roku [4, 19]. Równocześnie, w miarę rozwoju technologicznego, zaczęto wprowadzać jednostki z dwupaliwowymi silnikami wolnoobrotowymi firmy MAN, których moc, w zależności od typoszeregu i liczby cylindrów, wynosi 3,5-8,2 MW. Pierwszy zbiornikowiec wyposażony w silnik tego typu ME-GI wprowadzono do eksploatacji w 2016 roku [15, 19].

Przedstawiony rozwój układów napędowych spowodował, iż współczesna flota składa się ze zbiornikowców LNG wyposażonych w parowe napędy turbinowe z kotłami dwupaliwowymi DFSM (DualFuel Steam Turbine Mechanical Propulsion), układy z czterosuwowymi, dwupaliwowymi, średnioobrotowymi silnikami spalinowymi o zapłonie samoczynnym z elektrycznymi silnikami napędu głównego DFDE oraz z napędem bezpośrednim wolnoobrotowymi silnikami o zapłonie samoczynnym z układami ponownego skraplania gazu DRL lub aktualnie, częściej dwupaliwowymi.

Wzrost zapotrzebowania na gaz ziemny przewożony przez jednostkę transportową spowodował, po roku 2006, budowę zbiornikowców o wyjątkowo dużych pojemnościach – od 140 tys. do 269 tys. m<sup>3</sup>, wśród których najliczniejszą grupę stanowią gazowce klas Q-Flex (38 jednostek) o pojemnościach zbiorników gazu 210–216 tys. m<sup>3</sup> i mocach napędu głównego 28–29 MW oraz Q-Max o pojemnościach zbiorników 263–266 tys m<sup>3</sup> oraz mocach napędu głównego do 32–33 MW [3, 11].

Każdy z tych typów zbiornikowców wyróżniają indywidualne właściwości manewrowe, wpływające na bezpieczeństwo żeglugi, w szczególności, na obszarach ograniczonych [6]. Dlatego też, zbiornikowce o tak dużych pojemnościach i wymiarach głównych, nawigujące na akwenach ograniczonych są zobligowane do uzyskania autoryzacji. Procedura ta ma na celu sprawdzenie i weryfikację kompatybilności właściwości terminalu i własności statku również pod kątem zdolności manewrowych [16]. W tab. 1.1 przedstawiono listę zbiornikowców LNG autoryzowanych przez PLNG, rozszerzoną o elementy układów ruchowych. Wśród ośmiu autoryzacji, kryteria procedury spełnia 7 zbiornikowców typu Q-flex z głównymi układami napędowymi typu DRL (ang. Diesel with Reliquefaction Plant) oraz jeden z parowym napędem turbinowym typu DFSM. Zbiornikowiec Clean Ocean został dopuszczony do wyładunku testowego i czeka na decyzję o przyznaniu autoryzacji.

## 1.2 PRZESŁANKI ZAGROŻENIA BEZPIECZEŃSTWA STATKU

Do portu zewnętrznego w Świnoujściu prowadzi droga wodna przechodząca przez Zatokę Pomorską, w której można wydzielić następujące odcinki [3, 9]:

- zachodni tor podejściowy przechodzący przez morze terytorialne Niemiec
- na wschód od Rugii do pławy N-1 (poprzez pławę SWIN-N), o minimalnej naturalnej głębokości akwenu przechodzącego zachodniego toru podejściowego 15,1 m;

- południową część toru podejściowego na Zatoce Pomorskiej, od 15,0 km toru do wschodniej główki portu Świnoujście (0,0 km). Odcinek ten jest pogłębiony, a jego minimalna głębokość wynosi 14,3 m, a szerokość 180 m;
- północną część toru podejściowego wyznaczoną od pławy N-1 (43,175 km) do pławy N-2 i dalej do 15,0 km toru o minimalnej głębokości 14,4 m i szerokości w przedziale 200 – 220 m, za wyjątkiem odcinka od 27,8 km do 31,4 km, który jest pogłębionym torem wodnym oraz położony jest w kierunku północnym od pławy N-3.

**Tab. 1.1 Wykaz zbiorników LNG autoryzowanych przez PLNG**

Nazwa zbiornikowca	Typ układu napędowego	Liczba śrub	Operator (Armator)
Arctic Princess	DFSM	1	Hoegh LNG Fleet Management
Al Nuaman	DRL	2	Shell Trading and Shipping Company
Al Khattiya	DRL	2	Shell Trading and Shipping Company
Al Khuwair	DRL	2	Teekay Shipping Glasgow
Al Gattara	DRL	2	OSG Shipmanagement UK
Umm Al Amad	DRL	2	K Line LNG Shipping
Al Huwaila	DRL	2	Teekay Shipping Glasgow
Al Gharrafa	DRL	2	OSG Shipmanagement UK
Clean Ocean	TFDE	1	Yamal LNG, Cheniere Energy, Inc.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [15]

Zgodnie z aktami prawnymi obowiązującymi dla akwenu toru podejściowego, głębokość techniczna Północnego Toru podejściowego na długości od 35,6 km (licząc od główek falochronu) do pławy N-2 wynosi 14,3 m, natomiast szerokości w dnie kształtują się następująco [3, 9]:

- 180 m, od 0,0 km do 16,3 km;
- 200 m, od 16,3 km do 26,8 km;
- 220 m, od 26,8 km do 35,6 km.

Maksymalna szerokość wejściowego toru wodnego w dnie wynosi 240 m, a minimalna 220 m, natomiast basen portowy terminala LNG w Świnoujściu jest pogłębiony do 14,5 m [3, 9]. Negatywny wpływ na bezpieczeństwo eksploatacji zbiornikowców LNG na torze podejściowym i w porcie zewnętrznym wywierają wiatry silne i bardzo silne, powodujące, iż wymagana jest asysta holowników. Liczba i sposób asysty holowników zbiornikowca LNG wchodzącego do terminalu przedstawiono na rys. 1.1 [11]. Przedstawione ograniczenia wynikają z powodu potencjalnie możliwego wystąpienia zagrożenia.

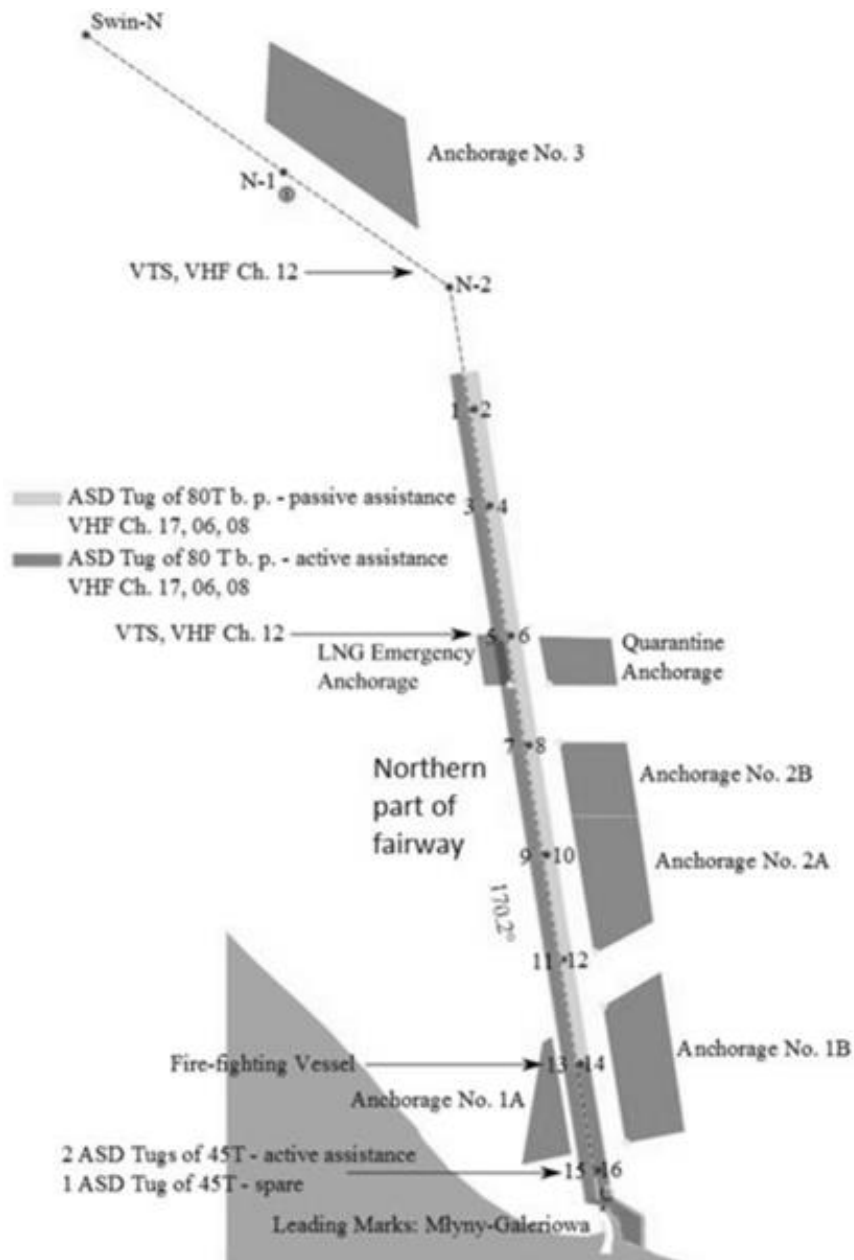
### 1.3. SPECYFIKA ŻEGLUGI ZBIORNIKOWCÓW LNG NA AKWENIE TERMINALU

Na bezpieczeństwo manewrowania na akwenach ograniczonych, jakimi jest tor podejściowy i port zewnętrzny w Świnoujściu, mają wpływ [14, 17, 18]:

- własności konstrukcyjne układów ruchowych zbiornikowców (wymiary główne,

rodzaj, dane techniczne i właściwości głównego układu napędowego, liczba pędników, osiągnięte prędkości, cechy pływalności i stateczności statku);

- właściwości manewrowe;
- właściwości toru wodnego (dostępna głębokość, szerokość akwenu);
- warunki żeglugi (warunki hydrometeorologiczne, falowanie morza, prądy morskie).



**Rys. 1.1 Wymagana asysta holowników zbiornikowca LNG wpływającego do terminalu LNG w Świnoujściu**

Źródło: [11]

Własności manewrowe statku determinuje: sterowność oraz zdolność przyśpieszania i hamowania statku. Sterowność statku rozumiana jest jako zdolność poruszania się statku po wyznaczonej drodze. Jest związana przede wszystkim z jego statecznością kur-

sową, która opisuje zdolność statku do zachowania kursu przy minimalnych wychyleniach steru lub bez jego udziału oraz zwrotnością, rozumianą jako zdolność do zmiany kursu o dowolny kąt, przy jak najmniejszym wychyleniu steru na jak najmniejszej przestrzeni przy określonej prędkości statku. Zdolność przyśpieszania i do hamowania statku, określającą możliwość zatrzymania statku na możliwie najkrótszej drodze, z jak najmniejszym odchyleniem od kursu [17].

W trakcie zawijania zbiornikowca LNG do terminalu w Świnoujściu statek ze zmniejszoną prędkością, utrzymywany jest w osi toru podejściowego. Wykonywany jest szereg manewrów: zmiana kursu od pary pław „15-16”, celem wprowadzenia zbiornikowca na akwen terminalu LNG, utrzymywanie prędkości statku poniżej 4 w, zatrzymanie jednostki przed obrotnicą, z użyciem nastawy do pół wstecz, obrót o 180° na obrotnicy, a następnie cumowanie prawą burtą, z wykorzystaniem holowników dopychających.

Wyjście z portu zbiornikowca wykonywane jest bez obrotu statku, z wykorzystaniem holowników. W trakcie manewrów na wejściu i wyjściu statku z akwenu terminalu LNG, istotnym czynnikiem, wpływającym na bezpieczeństwo, jest wiatr. Ma on szczególne znaczenie podczas wyjścia statku z portu, ponieważ zbiornikowiec LNG ma wówczas większą powierzchnię nawiewu, z powodu mniejszego zanurzenia.

Przy zdeterminowanych właściwościach wymienionych w punktach (1-3) i losowych (4), zasadniczy wpływ na bezpieczeństwo żeglugi zbiornikowca, na akwenach ograniczonych, w trakcie manewrowania na torze podejściowym oraz w porcie zewnętrznym Świnoujście mają właściwości manewrowe.

#### **1.4 WPLYW CECH UKŁADU RUCHOWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI MANEWROWE ZBIORNIKOWCA**

Wykonanie zadania transportowego, jakim jest transport skroplonego gazu ziemnego drogą morską przez zbiornikowiec LNG, wiąże się z zapewnieniem odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa na każdym etapie wykonywania tego zadania. Zachowanie bezpieczeństwa manewrowania w akwenu portu zewnętrznego Świnoujście wymaga spełnienia kryteriów związanych z dynamiką układu napędowego/zdolnością manewrowania oraz dopuszczalnymi: wymiarami głównymi zbiornikowców LNG oraz warunkami hydro-meteorologicznymi. Ograniczenia związane z maksymalnymi wymiarami statków wchodzących do terminalu LNG dotyczą pojemności ładunkowej (120 – 217 tys. m<sup>3</sup>), długości całkowitej i szerokości statku odpowiednio: do 315,16 m i do 50 m. Do dodatkowych ograniczeń należy: maksymalne zanurzenie statku w wodzie słodkiej wynoszące 12,5 m, maksymalna prędkość poprzeczna zbiornikowca w trakcie podejścia do nabrzeża – 0,05 m/s oraz maksymalny kąt podejścia do nabrzeża – 2° [11, 16].

Uzyskanie zgody na wejście do portu przez zbiornikowiec LNG zależne jest od warunków hydrometeorologicznych. Podczas wejścia lub wyjścia statku z portu, maksymalna prędkość wiatru nie powinna przekraczać 10 m/s, wysokość fali 1,2 m, widzialność większa od 1 Mm, a prędkość prądu nie przekracza 0,5 węzła (między główkami portu i parą pław „15-16”) lub 1,5 w (na torze wodnym Świnoujście – Szczecin na wysokości Nabrzeża GPK) [11].

Do właściwości manewrowych zbiornikowca LNG, zależnych od cech ich głównych układów napędowych, zaliczyć należy: zmiany prędkości pływania statku, moment ruszania z miejsca (zacumowania i postoju statku), manewr hamowania (biernego i czynnego) i zatrzymania statku, zmniejszenia prędkości pływania, przejścia statku w ruch o przeciwnym kierunku. Dynamika pracy układu napędowego jest ściśle związana z kadłubem statku. Z tego powodu, rozpatrywanie właściwości manewrowych, powinno uwzględniać dynamikę całego układu ruchowego.

W eksploatacji układu ruchowego, występują dwa podstawowe procesy pracy: ustalone (parametry procesu pozostają stałe w czasie) i nieustalone (parametry pracy i wskaźniki procesów są zmienne w czasie). Ze względu na charakter środowiska statku, na kadłub oraz jego układ napędowy, zawsze, oddziałują zakłócenia zewnętrzne. Od układu ruchowego wymaga się zdolności przeciwdziałania zakłóceniom żeglugi, celem przywracania stanu ustalonego [17, 18].

Objęcie strefą ograniczonej emisji tlenków siarki SECA (Sulphur Emission Control Area) takich obszarów jak: Kanał La Manche, Morze Północne i Bałtyckie, przez konwencję MARPOL, spowodowało wymóg stosowania podczas podróży na tych akwenach paliwa niskosiarkowego, w przypadku spalania przez silniki układu napędowego paliw ciekłych. Wymóg ten znacząco podnosi koszty eksploatacji statków, ze względu na wyższe ceny paliw niskosiarkowych. Zgodnie z wymogami konwencji MARPOL, od początku 2015 roku, statki nawigujące w strefach SECA mają narzuconą konieczność spalania paliwa o zawartości siarki nie przekraczającej 0,1%.

Do czasu utrzymywania się wysokich cen gazu ziemnego z ekonomicznego punktu widzenia bardziej korzystne było wykorzystanie zbiornikowców LNG z napędem dwupaliwowym – DFSM, DFDE lub DRL z silnikami dwupaliwowymi firmy MAN typu ME-GI.

## 1.5 WSKAŹNIKI BEZPIECZEŃSTWA

Warunkiem zachowania bezpieczeństwa żeglugi zbiornikowca jest zachowanie jego prędkości niezbędnej do utrzymania sterowności, droga przejścia od zaistnienia zmiany parametrów ruchu oraz czas wykonania zadania.

Miarą bezpieczeństwa statku jest ryzyko lub jego poziom. Ocenę ryzyka (RA, QRA) przeprowadza się stosując kryteria akceptacji ryzyka (RAC) w postaci macierzy ryzyka lub koncepcji ALARP. Inna metoda, oparta jest na określeniu [8, 13]:

- jakie zatopienie pod względem jego położenia i wielkości (określanej na podstawie ilości wody jaka może się dostać do wnętrza kadłuba przez uszkodzenie w poszyciu kadłuba statku), statek jest w stanie przetrwać;
- czasu zatapiania i możliwości powrotu uszkodzonego statku do portu.

Metody te trudno zastosować do oceny bezpieczeństwa gazowców. Wynika to między innymi z faktu, że funkcjonują one na etapie projektowania, a niektóre ich elementy mają charakter semi-probabilistyczny lub deterministyczny. Na etapie eksploatacji do oceny bezpieczeństwa zbiornikowców stosowane mogą być wskaźniki o różnym stopniu informacyjności. Do zbioru ważniejszych, systemowych, należą wskaźniki opisujące zasadnicze cechy bezpieczeństwa manewrowania zbiornikowca.

Są nimi charakterystyki probabilistyczne zmiennej losowej, którą jest czas funkcjonowania statku do chwili jego przejścia do stanu zawodności bezpieczeństwa, a także charakterystyki probabilistyczne zawodności, dyspozycyjności, zaistnienia kolizji z obiektem oceanotechnicznym lub hydrotechnicznym. W przypadku rozpatrywania bezpieczeństwa manewrowania zbiornikowców LNG na obszarze ograniczonym, wykluczono możliwość zaistnienia zdarzenia terminalnego [8, 12, 13].

Wskaźnikami uzupełniającymi są charakterystyki probabilistyczne czasu przebywania w poszczególnych stanach bezpieczeństwa oraz charakterystyki probabilistyczne opisujące przejścia między stanami bezpieczeństwa zbiornikowca jako systemu. Wskaźniki te zwykle ujmują tylko wybrane aspekty bezpieczeństwa statku i są wykorzystywane do wyznaczania ważniejszych wskaźników, systemowych. Do ważniejszych wskaźników bezpieczeństwa obok wskaźnika zawodności bezpieczeństwa  $Q_B$  i niezawodności bezpieczeństwa  $R_B$ , zalicza się [12]:

- wskaźnik intensywności przejść zawodności bezpieczeństwa  $\lambda_B$  definiowany jako:

$$\lambda_B = \frac{dQ_B(t)}{d(t)} \cdot \frac{1}{1 - Q_B} \quad (1.1)$$

z którego można uzyskać postać wskaźnika bezpieczeństwa  $R_B$  (ze wzoru (1.1)):

$$R_B(t) = R_B(t_0) \exp \left[ - \int_0^t \lambda_B(\tau) d\tau \right] \quad (1.2)$$

- funkcję wiodącą rozkładu zawodności bezpieczeństwa:

$$\Lambda_B(t) = \int_0^t \lambda_B(\tau) d\tau \quad (1.3)$$

- wartość oczekiwaną czasu eksploatacji systemu do chwili jego przejścia do stanu zawodności bezpieczeństwa:

$$E(T_B) = \int_0^{\infty} R_B(\tau) d\tau \quad (1.4)$$

gdzie:  $T_B$  – jest zmienną losową czasu funkcjonowania statku do chwili jego przejścia do stanu zawodności bezpieczeństwa.

Dla gazowców dopuszczono do rozważań porażalność, wyrażającą prawdopodobieństwo zniszczenia zbiornikowca lub co najmniej zmiany jego funkcji działania [13]. Porażalność jest to oddziaływanie na system niekorzystnych zdarzeń doprowadzających do porażenia systemu, za które uznano:

- uszkodzenie technicznej części systemu;
- błąd załogi statku, holownika lub operatora terminala;
- błąd w zarządzaniu manewrowaniem zbiornikowcem jako systemem;
- losowe oddziaływanie niekorzystnych warunków środowiska morskiego (pogorszenie warunków hydrometeorologicznych, opady atmosferyczne, mgła, wiatr).

Można opracować procedurę zarządzania bezpieczeństwem statku w czasie kolizji na morzu, która oparta jest na zarządzaniu ryzykiem zdarzenia i na ocenie ryzyka. Proponuje się dla zbiornikowców zastosowanie wybranych metod zarządzania ryzykiem, przeznaczonych do podejmowania decyzji.

## PODSUMOWANIE

Uzyskanie autoryzacji Polskiego LNG, głównie przez dwa rodzaje zbiornikowców światowej floty gazowców, otwiera dyskusję oceny jakości wykonania zadania transportowego przez rozpatrywane rodzaje zbiornikowców LNG. Występowanie w zbiorze autoryzowanych dwóch rozwiązań gazowców nasuwa pytanie o wybór bardziej dogodnego i bezpiecznego napędu zbiornikowca do transportu LNG do Polski, z dostępem przeładunkowym do portu w Świnoujściu. Fakt ten wymaga rozpoznania ewentualnych zagrożeń dla bezpieczeństwa manewrowania gazowcem na ograniczonej drodze wodnej, jakim jest podejściowy tor wodny do terminalu i akwen portu zewnętrznego w Świnoujściu. Wytypowane, przez autoryzację, układy ruchowe okazały się determinującymi właściwościami manewrowe zbiornikowców. Dla ich cech zdefiniowano miary w postaci wskaźników bezpieczeństwa.

Dla zbiornikowców LNG stosowane muszą być bardziej zaawansowane metody oceny bezpieczeństwa niż w przypadku ogólnie pojętego okrętownictwa. Większość z nich oparta jest na zastosowaniu probabilistycznej oceny bezpieczeństwa PSA (Probabilistic Safety Assessment), oceny zachowania się obiektów PA (Performance Assessment) lub oceny ryzyka wypadku RA (Risk Assessment). Wybór metody oceny bezpieczeństwa gazowców może być oparty jest na Przypadku Bezpieczeństwa (Safety Case) – przypadek katastrofy platformy Piper Alpha.

## PODZIĘKOWANIA

Artykuł jest wynikiem badań realizowanych w Katedrze Diagnostyki i Remontów Maszyn Wydziału Mechanicznego i powstał w ramach pracy finansowanej w ramach dotacji podmiotowej na utrzymanie potencjału badawczego wydziału 1/S/KDiRM/14 pt. Efektywność, trwałość oraz ryzyko techniczne w technologiach konwersji energii obiektów oceanotechnicznych oraz w ramach 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.

## LITERATURA

1. A. Adamkiewicz, S. Grzesiak. „Ewolucja efektywności energetycznej turbinowych napędów parowych współczesnych zbiornikowców LNG.” *Rynek Energii*, nr 3(130), czerwiec 2017, KAPRINT Lublin, s. 67-76.
2. N. Alan. *“Campion Marine Technical Notes no 1/12 May 2012 Imarest.*



3. A. Anczykowska, W. Ślęczka. "Dimensioning the approach to the Liquefied Natural Gas terminal in Świnoujście using analytical and simulation methods." *Scientific Journals of Maritime University of Szczecin*, Poland, issue 45 (117), s. 101 – 107, 2016.
4. Auke Visser's Renewed Historical Tankers Site. Pobrano z: <http://www.aukevisser.nl/supertankers/gas-1/> [Dostęp: 07.12.2016].
5. C. Behrendt, A. Adamkiewicz. „Ocena pracy układów energetycznych zbiornikowców LNG przy zasilaniu naturalnie odparowanym gazem ładunkowym.” *Rynek Energii* 2012, nr 3 s. 71-75.
6. J. Cydejko, A. Adamkiewicz. „Wybór układów napędowych zbiornikowców LNG z możliwością przeładunku w terminalu Świnoujście.” *Autobusy* 2016, nr 12/2016 s. 566-572.
7. *Dokumentacja techniczno – ruchowa zbiornikowca LNG o pojemności 138 tyś. m3.*
8. M. Gerigk. „Ocena ryzyka i zarządzanie bezpieczeństwem w czasie katastrofy obiektu oceanotechnicznego lub statku na morzu.” *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, Poland, issue 82, s. 25 – 40, 2012.
9. S. Gucma et al. *Projekt systemów zapewniających bezpieczną nawigację i obsługę statków LNG na podejściu i w porcie zewnętrznym w Świnoujściu.* Poland, 2012.
10. IGU World LNG Report – 2016 Edition <http://www.igu.org> [Dostęp: 05.12.2016].
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 15.04.2017].
12. J. Jaźwinski, K. Ważyńska-Fiok. *Bezpieczeństwo systemów.* Warsaw: PWN, 1993.
13. J. Lewitowicz, W. Gołębiowski, K. Kustron. "Safety of operation and maintenance systems of aircraft fleet." *Journal of KONBiN*, Poland, issue 4 (7), s. 41 – 53, 2008.
14. J.P. Michalski. *Podstawy teorii projektowania okrętów.* Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Poland, 2013.
15. Polskie LNG. Pobrano z: <http://www.polskielng.pl> [Dostęp: 14.04.2017].
16. *Procedura autoryzacji zbiornikowca zawijającego do terminalu LNG w Świnoujściu PE-PP-10-1-6.* Pobrano z: [www.polskielng.pl](http://www.polskielng.pl) [Dostęp: 20.03.2017].
17. W. Wełnicki. *Mechanika ruchu okrętu.* Politechnika Gdańska, Poland, 1989.
18. W. Wojnowski. *Okrętowe siłownie spalinowe cz. I.* Gdynia: Akademia Marynarki Wojennej, 1998.
19. *World Maritime News.* Pobrano z: <http://worldmaritimenews.com/> [Dostęp: 05.12.-2016].

## BEZPIECZEŃSTWO ZBIORNIKOWCÓW LNG MANEWRUJĄCYCH NA AKWENACH OGRANICZONYCH

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono stan floty zbiornikowców LNG przewidywanych do obsługi terminala LNG, w tym z uwzględnieniem autoryzacji gazowca dla zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi na obszarach ograniczonych. Rozpoznano przesłanki zagrożenia bezpieczeństwa statku na ograniczonej drodze wodnej, właściwości żeglugi zbiornikowców na akwenu terminalu oraz wpływ rodzaju głównego układu napędowego na cechy funkcjonalne gazowca. Na takim tle zdefiniowano wskaźniki bezpieczeństwa eksploatacji zbiornikowców jako narzędzi do oceny rodzaju napędu statku w aspekcie bezpiecznego wykonania zadania transportowego.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo, zbiornikowiec, układ napędowy, manewrowanie, terminal LNG

## SAFETY OF LNG CARRIERS MANOUVERING IN LIMITED AREAS

**Abstract:** The paper presents status of the LNG carrier fleet envisaged for serving an LNG terminal and it includes LNG carrier authorization to ensure sailing safety in restricted areas. It studies potential safety risks for ships in a restricted waterway, characteristics of LNG carrier sailing in terminal water areas and the influence of the main power system type on functional properties of an LNG carrier. With that background safety indicators for safe LNG tanker operation have been defined as a tool to evaluate the type of ship power system in the aspect of its safe transportation task performance.

**Key words:** safety, LNG carrier, power system, maneuvering, LNG terminal

Dr hab. inż. Andrzej ADAMKIEWICZ, prof. AM  
Akademia Morska w Szczecinie  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Diagnostyki i Remontów Maszyn  
ul. Willowa 2-4, 72-240 Szczecin  
e-mail: A.Adamkiewicz@am.szczecin.pl

Mgr inż. Anna ANCZYKOWSKA  
Akademia Morska w Szczecinie  
Wydział Nawigacyjny  
Centrum Naukowo – Badawcze  
Analizy Ryzyka Eksploatacji Statków  
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin  
e-mail: A.Anczykowska@am.szczecin.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 02.07.2017  
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 31.07.2017