

**ANALIZA KONSEKWENCJI ZASTOSOWANIA PALIW GAZOWYCH
DO OPALANIA OKRĘTOWYCH KOTŁÓW POMOCNICZYCH
W ŚWIETLE WSPÓŁCZESNYCH WYMAGAŃ OCHRONY ŚRODOWISKA**

*Andrzej ADAMKIEWICZ
Maritime University of Szczecin
Marek BARTOSZEWSKI
SELFA GE S.A.
Martin KENDRA
University of Zilina*

Streszczenie: W artykule uzasadniono zastosowanie paliw gazowych do zasilania pomocniczych opalanych kotłów okrętowych. Przedstawiono obowiązujące akty prawne w zakresie stref ochrony środowiska morskiego i zdefiniowano ich wymagania. Pokazano chronologię wprowadzania ograniczeń emisji tlenków siarki, azotu oraz progi redukcji emisji dwutlenku węgla wyrażonej wartością projektowego wskaźnika efektywności energetycznej statku (ang. energy efficiency design index-eedi) oraz wskaźnikiem eksploatacyjnej efektywności energetycznej statku (ang. energy efficiency operational indicator – EEOI). Pokazano sposoby zmniejszania wartości EEDI oraz EEOI w zarządzaniu efektywnością energetyczną statku. Szczegółowo rozważono konsekwencje zastąpienia paliw żeglugowych skroplonym gazem ziemnym (Lng) do zasilania opalanych kotłów okrętowych: konsekwencje ekologiczne, konstrukcyjne, eksploatacyjne, proceduralne oraz ograniczenia logistyczne i konsekwencje ekonomiczne. W podsumowaniu wskazano wpływ poszczególnych konsekwencji wprowadzenia LNG do zasilania kotłów na metody utrzymania opalanych kotłów pomocniczych.

Słowa kluczowe: opalane kotły pomocnicze, ochrona środowiska, gaz ziemny, paliwo okrętowe

WSTĘP

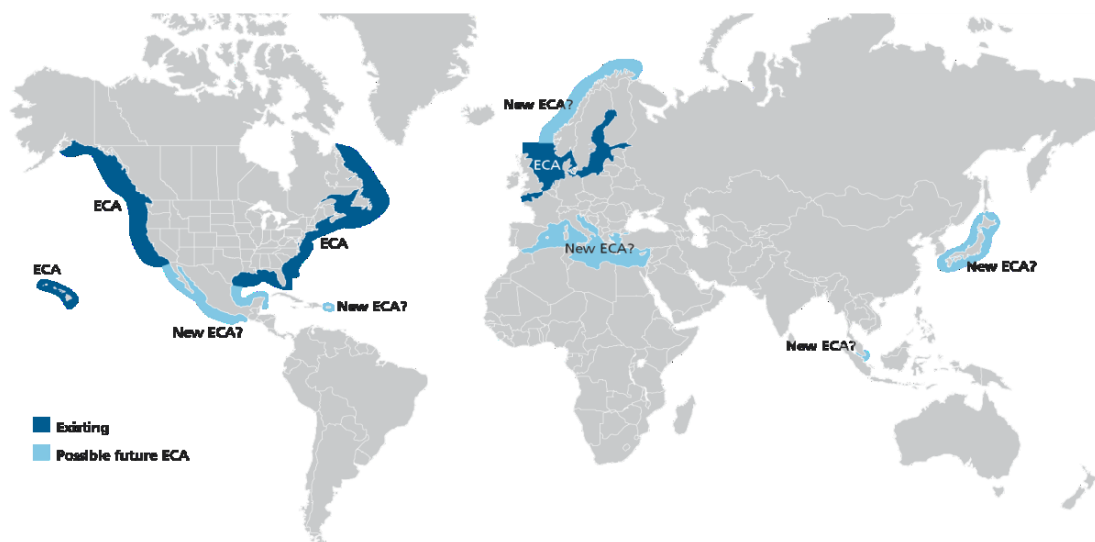
Wraz z rozpowszechnieniem w żegludze napędu mechanicznego rozpoczął się postępujący proces zanieczyszczania środowiska morskiego. Rewolucja przemysłowa XIX wieku doprowadziła do wprowadzenia napędu parowego, tak na statkach towarowych jak i jednostkach militarnych. Z biegiem lat napęd parowy zastąpiono napędem motorowym, a węgiel kamienny paliwami ciekłymi. Wzrost natężenia żeglugi jeszcze bardziej przyczynił się do przyśpieszenia procesu zanieczyszczania środowiska. W drugiej połowie XX wieku zanieczyszczenie atmosfery osiągnęło poziom, wymagający podjęcia działań profilaktycznych zmierzających do zahamowania tego procesu. W rezultacie przyjęto szereg aktów prawnych ograniczających emisję związków szkodliwych oraz wyznaczono strefy ochrony na obszarach najbardziej narażonych na zanieczyszczenia. W ślad za nimi nastąpiły zmiany w technologiach energetycznych okrętownictwa, a przede wszystkim w źródłach i sposobach zasilania energetycznego silników i maszyn okrętowych. Z jednej strony zastosowanie znalazły urządzenia ograniczające emisję szkodliwych substancji do atmosfery generowanych podczas dotychczas spalanych ciekłych paliw żeglugowych, z drugiej

najprostszym rozwiązaniem problemu ochrony środowiska stało się wprowadzenie w charakterze paliwa okrętowego gazu ziemnego.

WSPÓLCZEŚNIE OBOWIĄZUJĄCE AKTY PRAWNE OKREŚLAJĄCE WYMAGANIA OCHRONY ŚRODOWISKA

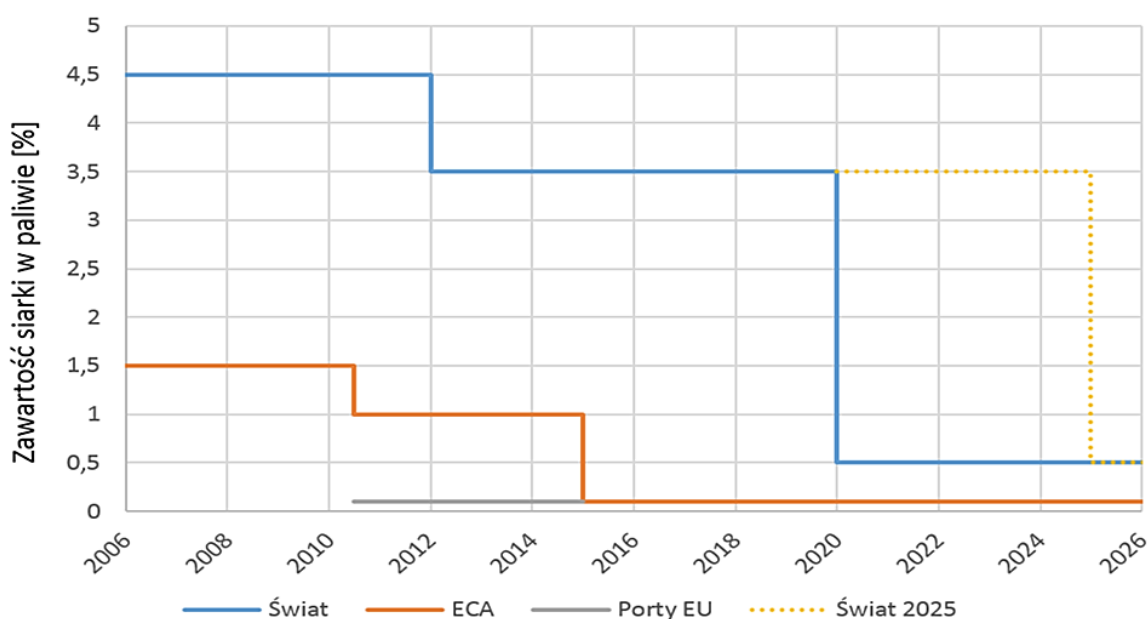
W celu ograniczenia emisji substancji szkodliwych dla środowiska, na przestrzeni lat uchwalono i przyjęto szereg aktów prawnych mających za zadanie realizację założeń dotyczących ochrony środowiska morskiego. Pierwsze przepisy dotyczące tego zagadnienia zawarto w konwencji MARPOL 73/78, w Aneksie VI. Aneks ten dodano do konwencji w 1997 roku, a same przepisy zaczęły obowiązywać 19 maja 2005 roku. Konwencja dotyczy ograniczeń emisji szkodliwych dla środowiska takich substancji jak tlenki azotu (NO_x), tlenki siarki (SO_x), cząstki stałe (PM) oraz lotne związki organiczne (VOC) [11]. Ich dopuszczalna emisja jest ograniczona poprzez wprowadzenie limitu zawartości siarki w paliwie. W obszarach kontroli SO_x (SECA – SO_x Emissions Control Areas), do których należy między innymi Morze Bałtyckie, od 01.01.2015 obowiązuje dopuszczalny limit 0,1%. Kraje Unii Europejskiej kierują się generalnie przepisami IMO z tym, że zaostrzone przepisy dotyczące emisji tlenków siarki w portach zaczęły obowiązywać wcześniej, bo już od 1 stycznia 2010 roku. Obowiązują one na akwenach portowych całej wspólnoty i nakazują stosowanie paliw o zawartości siarki nieprzekraczającej 0,1% dla statków żeglugi morskiej i śródlądowej podczas postoju w porcie [2, 3].

Regulacje te wiązały się z wprowadzeniem przez Międzynarodową Organizację Morską (IMO) stref kontroli związków toksycznych ECA – Emission Control Areas. Strefy ECA wyznaczono w rejonach szczególnie narażonych na zanieczyszczenia spowodowane wzmogoną żeglugą statków. Zgodnie z regulacjami, ECA oznacza obszar, na którym przyjęto specjalne, obowiązkowe wymogi, w celu zapobiegania, redukcji i kontroli zanieczyszczenia spowodowanego emisją NO_x , SO_x oraz gazów cieplarnianych z uwagi na ich negatywny wpływ na zdrowie ludzkie i środowisko naturalne [17, 19, 22]. Obowiązujące i planowane strefy ECA przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1 Rozmieszczenie obowiązujących i planowanych stref ECA

Od dnia 1 stycznia 2015 roku wewnątrz stref ECA dopuszczalny poziom zawartości siarki w paliwie ograniczono do 0,1%. IMO dopuszcza również stosowanie technologii redukcji emisji związków toksycznych do atmosfery dających zbliżone rezultaty do stosowania paliwa o zredukowanej zawartości siarki. Jedną z takich technologii jest stosowanie skroplonego gazu ziemnego jako paliwa. Instalacje tego typu buduje się w taki sposób, aby gaz mógł zasilać wszystkie urządzenia zarówno silniki spalinowe jak i kotły. Zastosowanie gazu skroplonego jako paliwa do opalania tych urządzeń pozwala spełnić wymagania stawiane przez IMO w zakresie tlenków siarki, azotu, gazów cieplarnianych i cząstek stałych. Chronologię zaostrzania wymagań dotyczących zawartości siarki w paliwie wewnątrz stref ECA przedstawiono na rysunku 2.



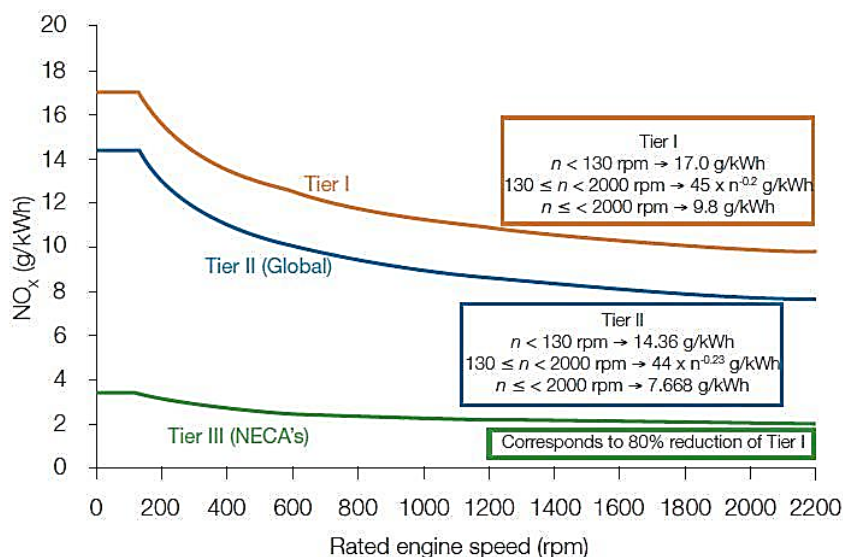
Rys. 2 Limity zawartości siarki w paliwach żeglugowych stosowanych wewnątrz ECA

Źródło: [23]

Wyznaczono trzy progi redukcji emisji tlenków azotu. Aktualnie w ujęciu globalnym obowiązuje poziom drugi, natomiast wewnątrz stref ECA obowiązującym jest poziom trzeci [21, 24]. Dopuszczalne poziomy emisji tlenków azotu do atmosfery przedstawiono na rysunku 3.

Współcześnie nie istnieją żadne prawne ograniczenia w zakresie emisji NO_x z okrętowych kotłów pomocniczych. Regulacje ustanawiane przez IMO odnoszą się jedynie do spalin silników o zapłonie samoczynnym, a kotły ze względu na mały udział w emisji globalnej w regulacjach prawnych pominięto.

W lipcu 2011 roku, na podstawie rezolucji MEPC 203(62) do konwencji MARPOL, w aneksie VI włączono dodatkowy rozdział 4 zatytułowany „Regulation on energy efficiency for ships”, w którym określono obowiązek wyznaczania na nowych statkach Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej (Energy Efficiency Design Index-EEDI), stosowania indeksu EEDI obliczanego dla danego typu i wielkości statku, zaś wszystkie statki nowe i wybudowane wcześniej objęto Planem Zarządzania Efektywnością Energetyczną Statku (Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP) zapewniającym efektywną eksploatację statku [1, 2, 3].

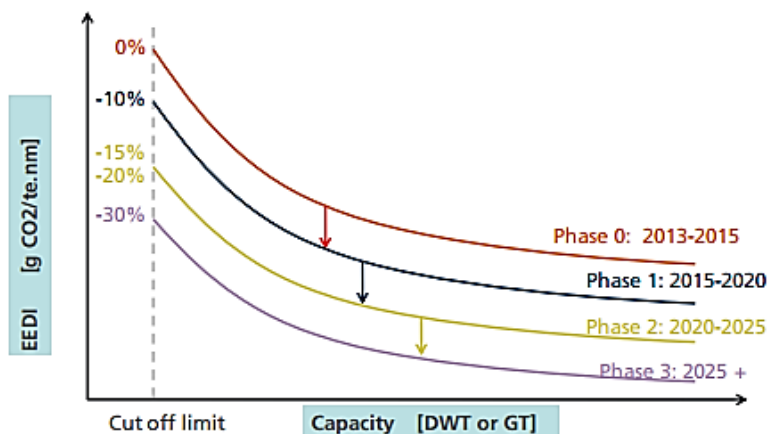


Rys. 3 Progi redukcji emisji tlenków azotu

Źródło: [1, 9, 10]

Do bieżącej oceny efektywności transportowej statku dobrowolnie stosuje się wskaźnik efektywności eksploatacyjnej (Energy Efficiency Operational Indicator – EEOI) który jest uzupełnieniem dla SEEMP [1, 3, 9].

Do tego zagadnienia odnosi się prawo 21, które znajduje zastosowanie dla statków o pojemności 400GT i większej. Przepisy te weszły w życie 1 stycznia 2013 roku, natomiast w rezolucji MEPC. XXX(63) z marca 2012 roku, zawarto Wytyczne dla przepisów o efektywności energetycznej statków [21, 24]. Progi redukcji emisji dwutlenku węgla wyrażonej indeksem EEDI przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4 Progi redukcji emisji dwutlenku węgla

Źródło: [20]

Możliwość zastosowania w układach napędowych statków pływających w strefach ochronnych, dwupaliwowych silników o zapłonie samoczynnym, zasilanych różnymi paliwami, a w tym zasilanych gazem ziemnym stworzyła warunki do osiągnięcia większych/korzystniejszych wartości Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej Statku (EEDI) jak i Eksploatacyjnej (EEOI).

Wskaźniki te oraz Plan Zarządzania Efektywnością Energetyczną Statku są narzędziami systemowej kontroli przewidywanego/projektowego i eksploatacyjnego zanieczyszczenia powietrza w wyniku spalania paliwa przez silniki główne, pomocnicze, kotły oraz spalarkę statku. Zmniejszanie wartości EEOI oraz EEOI jest możliwe poprzez:

- ograniczanie zużycia paliwa żeglugowego,
- stosowanie drogiej paliw o niskiej zawartości siarki,
- instalowanie porównywalnie drogich systemów do oczyszczania spalin ze związków siarki tzw. scrubberów,
- wykorzystanie ciepła odpadowego ze spalin (i energii ze źródeł odnawialnych),
- lub stosowanie LNG jako paliwa zamiast paliw kopalnych, przez wszystkie urządzenia składowe układu energetycznego statku.

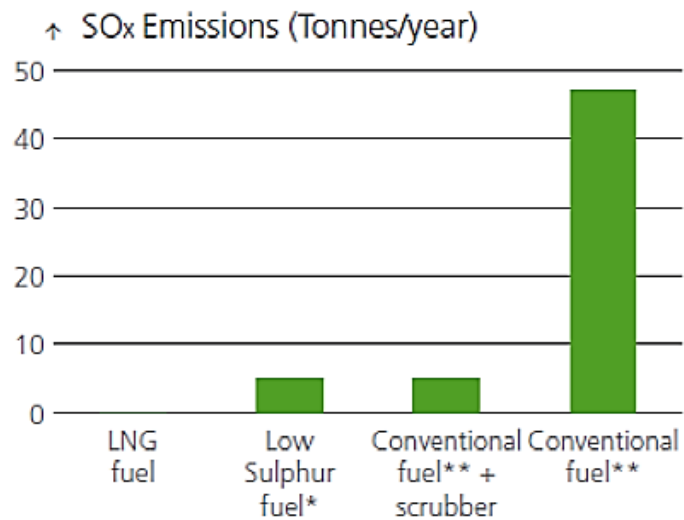
Zastosowanie gazu ziemnego, jako jedyne źródła energii chemicznej na statku, gwarantuje spełnienie wymagań stref ochronnych ECA [1, 3, 9].

KONSEKWENCJE WPROWADZENIA SKROPLONEGO GAZU ZIEMNEGO DO OPALANIA OKRĘTOWYCH KOTŁÓW POMOCNICZYCH

Zmiany w regulacjach prawnych dotyczących dopuszczalnego poziomu emisji toksycznych produktów spalania paliw okrętowych do atmosfery wprowadzono z uwagi na konieczność ograniczenia postępującej degradacji środowiska. Wprowadzenie przez Międzynarodową Organizację Morską (IMO) stref kontroli emisji (ECA) oraz wymagania ograniczonej emisji związków toksycznych w portach Unii Europejskiej, stanowią aktualnie dla żeglugi jedno z najpoważniejszych wyzwań technicznych i logistycznych. Nowe limity wywołały zmiany w wielu gałęziach przemysłu okrętowego nawet w tych, nie związanych bezpośrednio z eksploatacją urządzeń emitujących szkodliwe substancje.

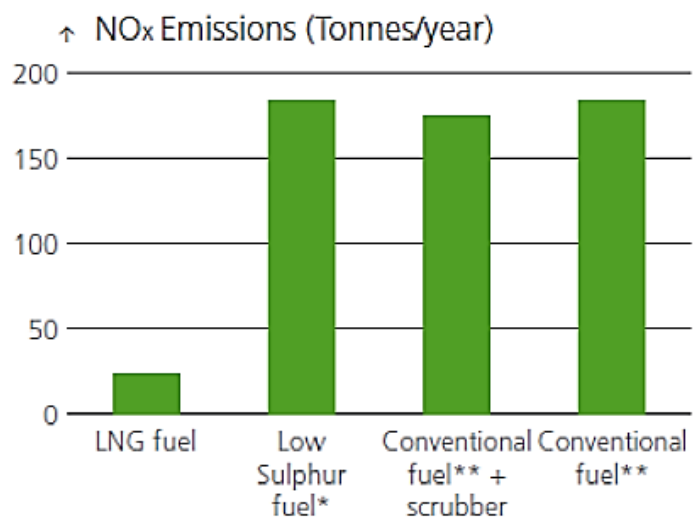
Konsekwencje ekologiczne

Sprostanie coraz bardziej restrykcyjnym wymaganiom ochrony środowiska stanowi dla armatorów szczególne wyzwanie. Podstawowym problemem dla armatorów jest zachowanie dopuszczalnego limitu emisji tlenków siarki SO_x w spalinach emitowanych z silników i kotłów okrętowych. W tym zakresie LNG jest dobrą alternatywą dla paliw konwencjonalnych ciekłych paliw nieodnawialnych. Proces skroplenia gazu ziemnego wiąże się z bardzo dokładnym jego oczyszczeniem, przede wszystkim z dwutlenku węgla i wody. W wyniku skroplenia powstaje bezwonne, bardzo czyste paliwo, bezbarwne, bez właściwości toksycznych lub korozyjnych. W trakcie spalania LNG znacznie zredukowana jest emisja tlenków siarki (ok. 100%), azotu (ok. 85-90%) i dwutlenku węgla (ok. 15-25%), w porównaniu z emisją w spalinach paliwa żeglugowego MDO (Marine Diesel Oil). Poziom emisji produktów spalania dla wykorzystania różnych metod jej redukcji przedstawiono na rysunkach 5-8. Rysunki przedstawiają poziom emisji kolejno tlenków siarki, tlenków azotu, dwutlenku węgla oraz cząstek stałych przez statek charakterystyczny dla regionu Morza Bałtyckiego [13].



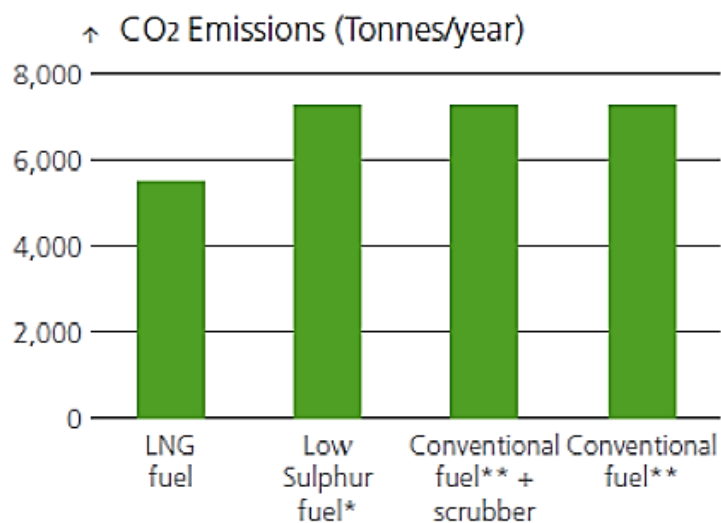
Rys. 5 Porównanie emisji tlenków siarki dla różnych paliwach/metod ich redukcji

Źródło: [13]



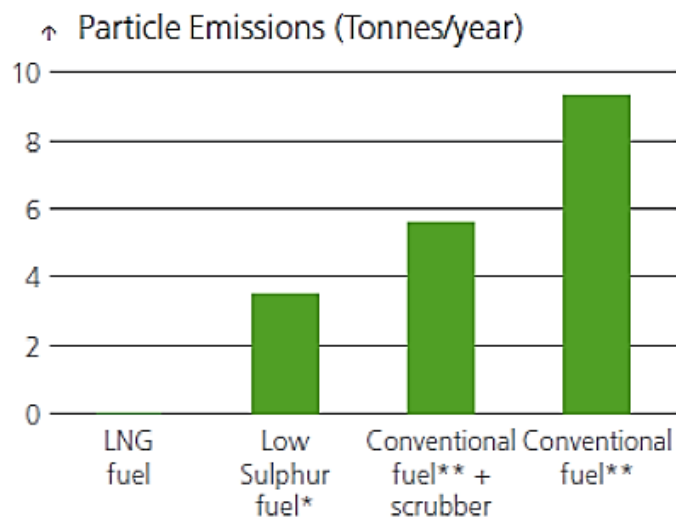
Rys. 6. Porównanie emisji tlenków azotu przy różnych paliwach/metodach jego redukcji

Źródło: [13]



Rys. 7 Porównanie emisji dwutlenku węgla przy różnych paliwach/metodach jego redukcji

Źródło: [13]



Rys. 8 Porównanie emisji cząstek stałych przy różnych paliwach/metodach ich redukcji

Źródło: [13]

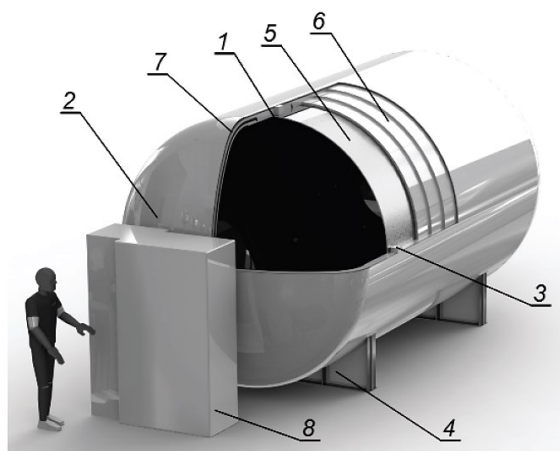
Konsekwencje konstrukcyjne i eksploatacyjne

Zmiana stosowanego paliwa z ciekłego na gazowe niesie za sobą szereg konsekwencji technologicznych zarówno dla konstrukcji statku i jego instalacji, jak i dla załogi i zakresu jej obowiązków.

ZMIANY KONSTRUKCYJNE

Zmiany te wynikają przede wszystkim z konieczności zainstalowania dodatkowych urządzeń (rozbudowana instalacja paliwowa oraz dodatkowe systemy zabezpieczeń). Konieczność zastosowania tych urządzeń nie tylko wiąże się z dużymi kosztami inwestycyjnymi, ale również z dodatkowymi szkoleniami załóg niezbędnymi do prawidłowej i bezpiecznej eksploatacji tych urządzeń.

Kluczowym elementem instalacji paliwowej LNG jest zbiornik kriogeniczny wraz z instalacją sprężania i odparowania gazu. Konstrukcję zbiornika kriogenicznego przedstawiono na rysunku 9 [5].

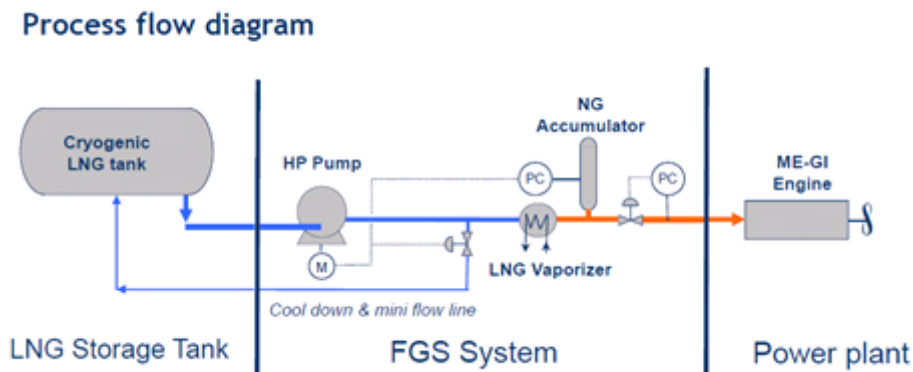


Rys. 9 Konstrukcja zbiornika kriogenicznego

1 – zbiornik wewnętrzny; 2 – zbiornik zewnętrzny; 3 – wsporniki wewnętrzne; 4 – wsporniki zewnętrzne; 5 – izolacja; 6 – osłony przed promieniowaniem; 7 – warstwa próżni; 8 – przyłącza

Źródło: [5]

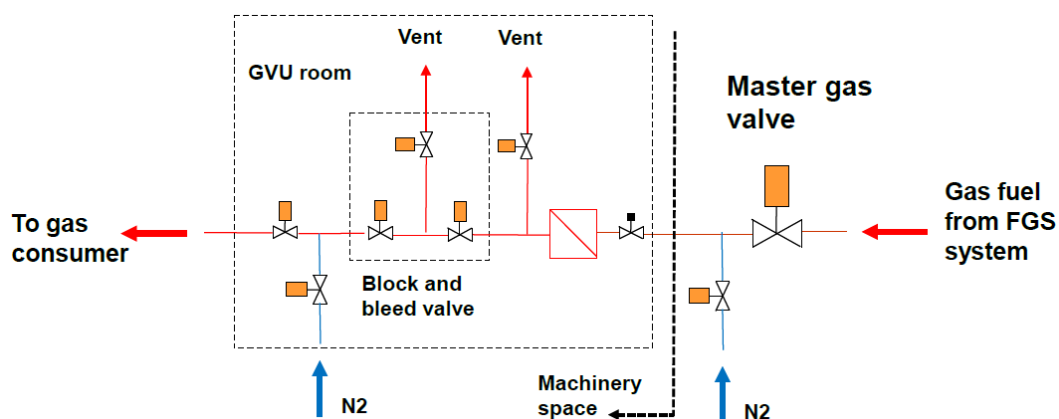
Schemat instalacji i organizacja przygotowania instalacji gazu różnią się między sobą w zależności od typu zbiornikowca LNG, rodzaju jego układu napędowego i sposobu zagospodarowania BOG. Przykładowy schemat takiej instalacji przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10 Schemat przykładowej instalacji LNG

Źródło: [4, 18]

Wszystkie instalacje posiadają jednak kluczowe elementy umożliwiające realizację określonych procedur zmian własności gazu: sprężanie oraz podgrzanie gazu, np. w turboparowych układach napędowych, poza podstawowymi zabezpieczeniami kotłów takimi jak: kontrola poziomu wody w kotle, zabezpieczenia przeciwwybuchowe czy kontrola ciśnienia i temperatury paliwa, niezbędne jest zastosowanie dodatkowych zabezpieczeń dedykowanych instalacji LNG. Zależnie od konstrukcji instalacji zasilania gazem urządzeń takich jak dwupaliwowe silniki o zapłonie samoczynnym czy dwupaliwowe kotły parowe, kluczowym zagadnieniem jest lokalizacja gazowego bloku zaworowego (ang. gas valve unit). Jest to zespół zaworów odpowiedzialny za dostarczanie gazu do silnika spalinowego lub kotła oraz za zabezpieczanie instalacji w przypadku wykrycia wycieku gazu. Gazowy blok zaworowy (przedstawiony na rysunku 11) zamykany jest w przypadku wykrycia: gazu w przestrzeni gazowej bloku zaworowego, wycieku gazu wewnątrz rur podwójnych w instalacjach z podwójnym rurociągiem, gazu w kontenerach lub w siłowni w instalacjach z rurociągiem pojedynczym oraz utraty wentylacji (blokada któregoś z wentylatorów) [6, 11, 16].

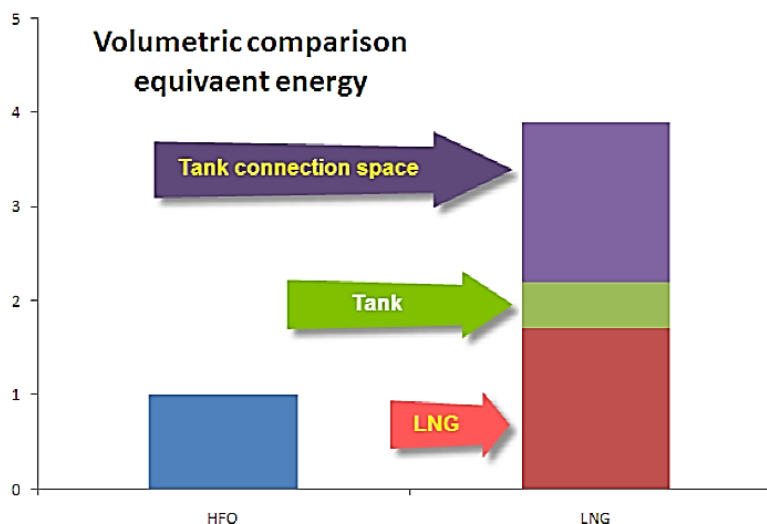


Rys. 11 Schemat instalacji gazowego bloku zaworowego

Źródło: [6]

Zmiany eksploatacyjne

Dla LNG wymagany jest zbiornik o objętości 1,6 krotnie większej niż w przypadku paliwa żeglugowego (ciekłego), np. MDO (ang. Marine Diesel Oil) lub paliw pozostałościowych RFO (ang. Residual Fuel Oil) lub HFO (ang. Heavy Fuel Oil), aby uzyskać taką samą ilość energii zawartej w porównywanych paliwach. Ponadto w przypadku LNG potrzebne jest dodatkowe miejsce na instalację przygotowania gazu [6]. Na rysunku 12 porównano objętość HFO do łącznej objętości paliwa, zbiornika i instalacji w przypadku LNG.

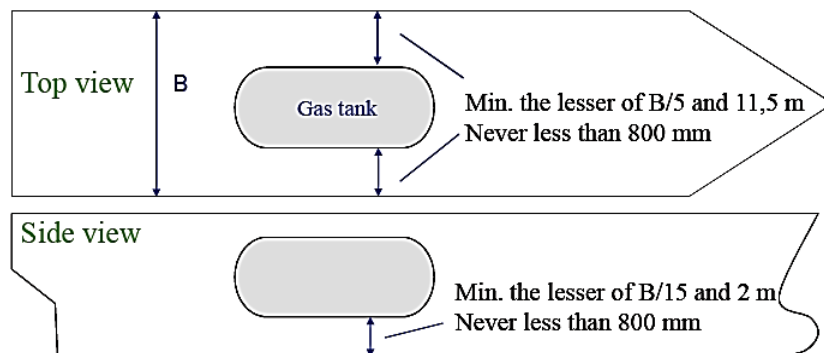


Rys. 12 Porównanie zajmowanej objętości przez tę samą wartość energetyczną paliw żeglugowych MDO i LNG

Źródło: [6]

Instalacja zasilania LNG w porównaniu ze zbiornikami i instalacją paliw żeglugowych zajmując znacznie więcej miejsca zmniejsza przestrzeń ładunkową statku oraz wymusza konieczność reorganizacji przestrzeni statkowych.

Skomplikowanym konstrukcyjnie zagadnieniem jest również lokalizacja zbiornika na statku. Zbiornik musi być umieszczony w określonej odległości od burt i dna statku, aby uchronić zbiornik przed uszkodzeniem w przypadku ewentualnej kolizji lub wpłynięcia statku na mieliznę. Wymagania dotyczące lokalizacji zbiorników z LNG, przedstawione graficznie na rysunku 13 reguluje Kod Gazowców (IGC) [12, 17].



Rys. 13 Wymagania lokalizacji zbiornika z gazem ziemnym na zbiornikowcu

Źródło: [12]

Umieszczenie zbiorników gazu zgodnie z wytycznymi Kodu Gazowców często jest niezwykle kłopotliwe, zwłaszcza na statkach pierwotnie nie zaprojektowanych do wykorzystywania LNG w charakterze paliwa. Dlatego na wielu jednostkach zbiorniki z LNG umieszczane są na otwartym pokładzie lub w niektórych przypadkach wmontowywane w segment kadłuba z zainstalowaną instalacją LNG [14].

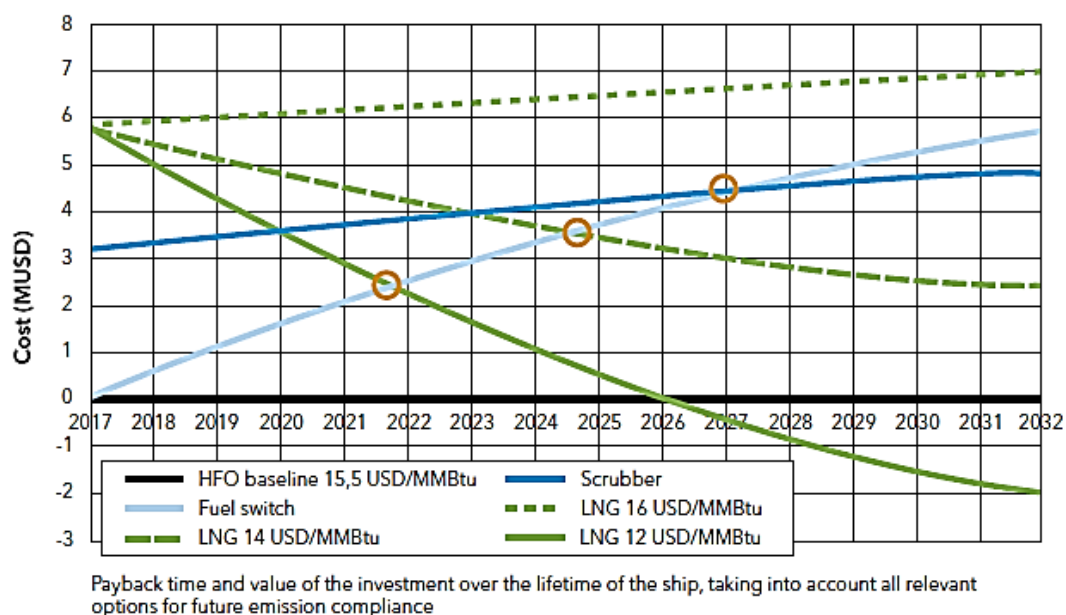
Niezbędnym elementem modernizacji konstrukcji jest również wyposażenie instalacji LNG w specjalne urządzenia ochronne, której konfiguracja jest regulowana przez Kod Gazowców (IGC).

Równocześnie przy wszystkich tych zmianach niezbędna jest modyfikacja strategii eksploatacji urządzeń układu energetycznego (siłowni okrętowej) wraz ze zmianą procedur obsługowych dostosowujących je do paliwa gazowego. Często nie ma możliwości bezpośredniej adaptacji już istniejących strategii eksploatacji urządzeń, ze względu na ciągły brak precyzyjnych wyników doświadczeń eksploatacji siłowni gazowych. Dopiero doświadczenia ich długotrwałej eksploatacji umożliwią pozyskanie wiedzy i doświadczeń w eksploatacji układów tego typu z pomocą eksperckich systemów nadzoru.

Konsekwencje ekonomiczne

Na rysunku 14 przedstawiono porównanie zmian w czasie kosztów dostępnych technologii redukcji emisji związków toksycznych do atmosfery. Kluczowym kryterium wyboru technologii ograniczenia emisji związków toksycznych do atmosfery była cena paliwa jest.

Zestawienie sporządzono dla zbiornikowca o nośności 50000 DWT, pływającego na trasie Rotterdam-Nowy Jork-Houston. Statek przez 30% czasu przebywa wewnątrz strefy ECA. Wybór metody redukcji emisji należy oparto na przewidywanym koszcie paliwa [7, 15].



Rys. 14 Porównanie kosztów technologii redukcji emisji

Źródło: [14]

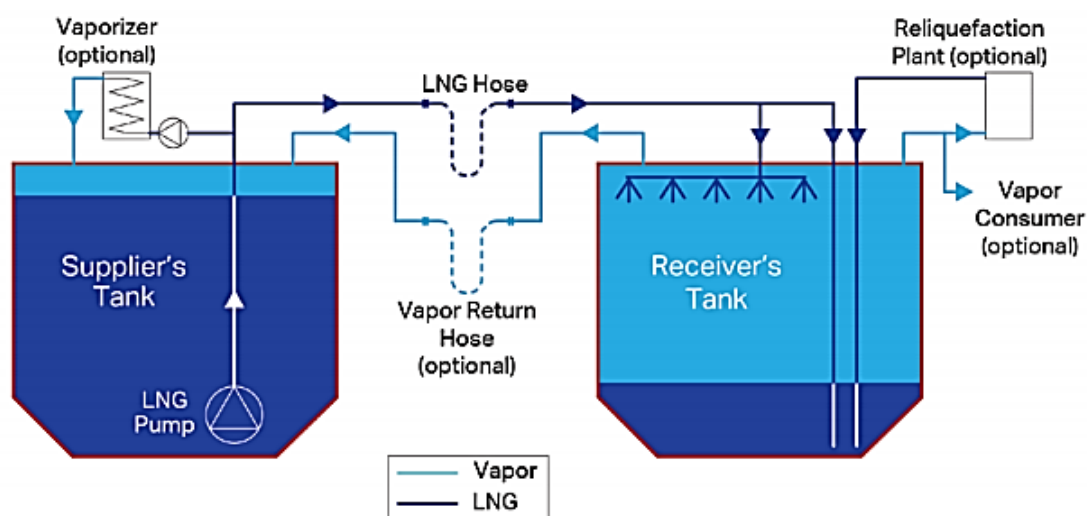
Na konsekwencje zastosowania gazu skroplonego do napędu statku składają się zarówno koszty inwestycyjne jak i eksploatacyjne, natomiast koszty inwestycji wynikają z kosztów zakupu zbiorników LNG, instalacji paliwowej LNG, modernizacji urządzeń spalających gaz, modyfikacji urządzeń siłowni okrętowej, wyznaczenia stref zagrożenia i szczelnego odizolowania urządzeń spalających gaz od przestrzeni siłowni [14]. Bezspornie najkorzystniejszym jest zastosowanie LNG jako paliwa okrętowego, jednak zależy on istotnie od jego ceny.

Konsekwencje inne

Zastosowanie LNG w charakterze paliwa generuje również zmiany w procedurach eksploatacji statku, ograniczenia logistyczne oraz między innymi konsekwencje ekonomiczne.

ZMIANY W PROCEDURACH STATKOWYCH

Konsekwencją zmiany paliwa na LNG jest również zmiana procedury bunkrowania paliwa. Ze względu na właściwości fizykochemiczne gazu ziemnego, wymaga on wykonywania dodatkowych czynności w procesie bunkrowania, jak również zachowane być muszą szczególne środki ostrożności. Największym problemem podczas bunkrowania jest zagospodarowanie naturalnie odparowanego gazu. Aby wypełnić przestrzeń po wypompowanym gazie należy zastosować jedną z dwóch możliwości. Pierwsza z nich to skierowanie odparowanego gazu drugim przewodem bunkrowym s powrotem do zbiornika bunkrowego statku, druga natomiast przewiduje zastosowanie parownika na statku bunkrowym, do którego kierowana jest część ładunku płynnego, a następnie odparowywana i kierowana do zbiornika. W drugim przypadku na statku bunkrowanym stosowana jest instalacja skraplania gazu, aby nadmiar odparowanego gazu skraplać i pompować do zbiornika. O ile pierwsza możliwość jest dużo prostsza, to powoduje zmniejszenie się ilości przewożonego ładunku, ponieważ część ładunku trafia ponownie do zbiornika. Druga możliwość wymaga zainstalowania parownika gazu oraz skomplikowanej instalacji skraplania gazu [7, 8]. Obydwa przypadki przedstawiono schematycznie na rysunku 15.



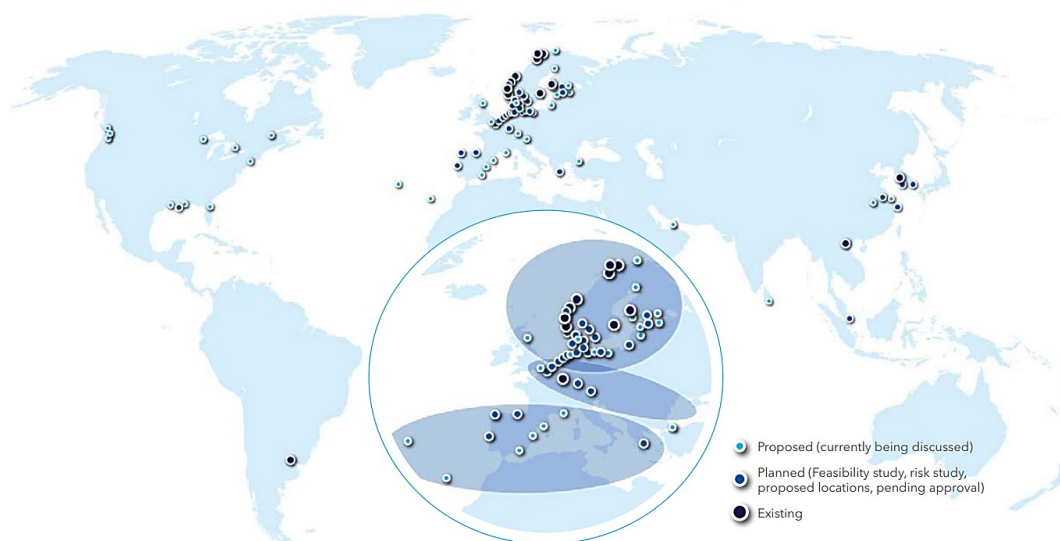
Rys. 15 Metody podłączenia przewodów bunkrowych

Zmianie ulega również sama procedura pompowania bunkrowanego paliwa. W pierwszej kolejności należy wypełnić przewody bunkrowe gazem obojętnym, aby wykluczyć możliwość kontaktu powietrza atmosferycznego z gazem ziemnym i możliwość powstania mieszaniny wybuchowej. Następnie stopniowo schładzane są przewody bunkrowe odparowanym gazem ziemnym, aby przygotować instalację do pompowania skroplonego gazu. Dopiero po takim przygotowaniu instalacji można rozpocząć proces pompowania gazu skroplonego. Po zakończeniu operacji pompowania, skroplony gaz z przewodów bunkrowych musi być wyparty przez odparowany gaz, a następnie opary gazu ziemnego są wypierane przez gaz obojętny. Dopiero po zrealizowaniu wymienionych operacji przygotowaną instalację bunkrową można rozłączyć. Zmiany w procedurach, będące skutkiem różnych właściwości fizyko-chemicznych paliw gazowych, determinują konieczność rozbudowania instalacji portowych o elementy dostosowane do transportu skroplonego gazu ziemnego.

OGRANICZENIA LOGISTYCZNE

Ze względu na rosnący popyt na gaz ziemny głównym zadaniem, jakiemu musi sprostać przemysł okrętowy jest rozwinięcie niezbędnej infrastruktury bunkrowania LNG. Obecnie liderem w tym zakresie jest Europa, gdzie zbudowano i planuje się zbudować najwięcej terminali bunkrowych LNG [14, 15]. Rozmieszczenie zbudowanych i planowanych na rok 2015 instalacji bunkrowania LNG przedstawiono na rysunku 16.

Współczesne rozmieszczenie instalacji bunkrowania LNG wyznacza rejon żeglugi statków zasilanych tym paliwem i jest kluczowe w planowaniu logistycznym tras żeglugowych tych statków.



Rys. 16 Rozmieszczenie infrastruktury bunkrowej LNG

Źródło: [14]

PODSUMOWANIE

Stosowanie LNG do zasilania urządzeń takich jak silniki o zapłonie samoczynnym i kotły opalane jest jednym z rozwiązań, które pozwala na sprostanie restrykcyjnym wymaganiom IMO w zakresie ochrony środowiska. Wybór LNG jako metody redukcji

związków toksycznych wiąże się z dużymi nakładami inwestycyjnymi. Jednak w perspektywie czasu ich koszty zwracają się szybciej w porównaniu z kosztami innych metod. Stosowanie gazu ziemnego poza konsekwencjami ekonomicznymi niesie za sobą również konsekwencje eksploatacyjne. Instalacje tego typu składają się z wielu dodatkowych urządzeń, które muszą być zastosowane w siłowni, a muszą być obsługiwane i remontowane przez załogę statku. Zmianie ulegają również procedury obsługi urządzeń oraz strategia ich eksploatacji. W przypadku stosowania LNG jako paliwa problematyczna jest również jego dostępność. Współcześnie ilość portów oferujących LNG jest mocno ograniczona, co jest głównym czynnikiem decydującym o wyborze trasy statku i rejonu żeglugi. Odmierna i bardziej skomplikowana jest również procedura bunkrowania LNG w porównaniu z ciekłymi paliwami żeglugowymi.

LITERATURA

1. A. Adamkiewicz and M. Przybyła. „Wpływ rodzaju paliwa spalane w okrętowych silnikach dwupaliwowych na wielkość powierzchni wymiany ciepła odzyskaniowego podgrzewacza wody”, in *VI Konferencja Naukowo-Techniczna Energetyka Gazowa 2016*, Zawiercie, Poland, 2016, pp. 107-120.
2. A. Adamkiewicz and J.P. Cydejko. „Analiza układów napędowych zbiornikowców LNG w aspekcie spełnienia wymagań strefy kontroli emisji spalin”, in *Rynek Energii*, vol. 118(3), 2015, pp. 80-86.
3. A. Adamkiewicz and W. Zeńczak. „LNG as an Ecological Fuel For Sea-Going Vessels”, in *Symposium Nutzung Regenerativer Energiequellen Und Wasserstofftechnik*, Stralsund, Germany, 2013, pp. 8-13.
4. M. Bartoszewski. „Analiza konsekwencji wprowadzenia paliw gazowych do opalania okrętowych kotłów pomocniczych w świetle współczesnych wymagań ochrony środowiska”, M.S. thesis, Faculty of Marine Engineering, Maritime University of Szczecin, Szczecin, Poland, 2015.
5. E. Lisowski and W. Czyżycki. „Transport and storage of LNG in container tanks”, in *Journal of KONES*, vol. 18(3), 2011, pp. 193-201.
6. *LNG Fuel Systems: Certification & Approval*, ABS, 2012.
7. *LNG Bunkering: Technical and Operational Advisory*, ABS.
8. *LNG Ship to Ship bunkering procedure*, Swedish Marine Technology Forum.
9. *MARPOL How To Do It 2013 Edition*, International Maritime Organization, London, 2013.
10. „MARPOL Annex VI: Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships and NOx”, in *Technical Code 2008*, International Maritime Organization, 2009.
11. *Międzynarodowy Kodeks Budowy i Wyposażenia Statków przewożących skroplone gazy luzem (Kodeks IGC)*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk, 2001.
12. *Gas as a ship fuel. Safety rules and regulations, status of IGF code*, DNV GL, 2013.
13. *LNG – an energy source and a new fuel for shipping in Northern Europe*, Baltic Ports Organization’s LNG Seminar, DNV GL, 2011.
14. *LNG as Ship Fuel*, DNV GL, 2014.
15. *LNG: Straight Ahead to safe LNG bunker supply*, InFocus, GL, 2013.
16. *LNG Fuel Systems Design & Requirements*, Hellenic Register of Shipping, 2014.

17. *Outline of Liquefied Gas Carriers*, Nippon Kaiji Kyokai, 2002.
18. *Shipping 2020. Technology investments in the new market reality*, DNV GL, 2013.
19. *Process flow diagram*, [Online]. Available: http://www.lngbunkering.org/lng/sites/default/files/processflow2_0.png
20. T. Sinha. *EEDI – The Future of Green Shipping*, [Online]. Available: <http://lshipdesign.blogspot.com/2014/03/eedi-future-of-green-shipping.html>
21. International Maritime Organization [Online]. Available: <http://www.imo.org>
22. *10 Reasons Why Ship Operators Should be Nervous About the 2015 ECA Regulations*, [Online]. Available: <http://maritimecyprus.com/2014/11/19/10-reasons-why-ship-operators-should-be-nervous-about-the-2015-eca-regulations/>
23. *International: IMO Marine Engine Regulations*, [Online]. Available: <http://www.dieselnets.com/standards/inter/imo.php>
24. Polski Rejestr Statków [Online]. Available: <http://www.prs.pl>

dr hab. inż. Andrzej Adamkiewicz, prof. AM
Maritime University of Szczecin
Faculty of Mechanical Engineering
Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, Poland
e-mail: a.adamkiewicz@am.szczecin.pl

mgr inż. Marek Bartoszewski
SELFA GE S.A.
ul. Bieszczadzka 14, 71-042 Szczecin, Poland
e-mail: butchbutchi@gmail.com

doc. Ing. Martin Kendra, PhD
University of Zilina, Department of Railway Transport
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia
e-mail: martin.kendra@fpedas.uniza.sk

Data przesłania artykułu do Redakcji: 04.2016
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 07.2016