

**WPŁYW ZASILANIA SILNIKÓW OKRĘTOWYCH
PALIWEM GAZOWYM NA WIELKOŚĆ
PROJEKTOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA EFEKTYWNOŚCI
ENERGETYCZNEJ EEDI
NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO KONTENEROWCA**

**INFLUENCE OF SUPPLY OF GAS FUEL MARINE ENGINES
ON VALUE OF ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX
ON THE EXAMPLE OF SELECTED CONTAINER SHIP**

Mariusz Giernalczyk

Uniwersytet Morski w Gdyni, Morska 81-87, 81–225 Gdynia, Wydział Mechaniczny,
Katedra Siłowni Okrętowych, e-mail: m.giernalczyk@wm.am.gdynia.pl,
ORCID 0000-0002-2745-8033

Streszczenie: Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na problem emisji do atmosfery przez statki morskie związków toksycznych, takich jak m.in. NO_x, SO_x, cząstki stałe oraz dwutlenek węgla. Załącznik VI Konwencji MARPOL o zapobieganiu zanieczyszczeniu powietrza przez statki wymusił na armatorach stosowanie rozwiązań zmierzających do ograniczenia emisji do atmosfery tych szkodliwych substancji. Jednym z instrumentów realizacji tych wytycznych jest wprowadzony dla nowo budowanych statków projektowy współczynnik efektywności energetycznej EEDI. W artykule przedstawiono przykłady obliczeń tego współczynnika dla siłowni projektowanego kontenerowca w przypadku zasilania silników paliwem płynnym i gazowym LNG. Wskazano w ten sposób na istotny wpływ rodzaju spalanego paliwa na wielkość współczynnika.

Słowa kluczowe: Konwencja MARPOL 73/78, paliwo pozostałościowe, gaz ziemny, projektowy współczynnik efektywności energetycznej EEDI.

Abstract: The goal of the paper is to pay attention to the problem of emission of toxic compounds e.g. NO_x, SO_x and CO₂ from seagoing ships to environment. The VI Amendment to MARPOL Convention concerning prevention against air pollution by seagoing ships, brought into practice in May 19th 2005, forced ship owners to use means for reduction of environment harmful substances emission to atmosphere. One of tools enabling realisation of above mentioned regulations is compulsory implementation of Energy Efficiency Design Index (EEDI). The paper presents way of its calculation, for propulsion plant of designed container ship, in case of supplying engines with heavy fuel (HFO) and LNG fuel. This way there was underlined important influence of fuel burned on value of the efficiency index, and subsequently on level of pollutants emission.

Keywords: International Convention for the Prevention of Pollution from Ships MARPOL 73/78, heavy fuel oil (HFO), gas fuel (LNG), Energy Efficiency Design Index (EEDI).

1. WSTĘP

Wprowadzony w życie 19 maja 2005 roku Załącznik VI Konwencji MARPOL, dotyczący zapobiegania zanieczyszczeniom powietrza przez statki, wymusił na armatorach stosowanie rozwiązań zmierzających do ograniczenia emisji do atmosfery szkodliwych substancji, takich jak tlenki azotu (NO_x), tlenki siarki (SO_x), tlenki węgla (CO), węglowodory (HC) oraz cząstki stałe PM (ang. *Particulate Matter*).

Załącznik ten początkowo nie obejmował ograniczeń emisji dwutlenku węgla. Jednak zagrożenie efektem cieplarnianym, powodowanym m.in. przez dwutlenek węgla, zostało dostrzeżone przez instytucje międzynarodowe, w tym Międzynarodową Organizację Morską IMO, i w lipcu 2011 roku Załącznik VI Konwencji rozszerzono o rozdział czwarty, ograniczający emisję przez statki gazów wywołujących efekt cieplarniany, w szczególności dwutlenku węgla. Obowiązujące od stycznia 2013 roku przepisy nakładają na armatorów obowiązek wprowadzenia planu efektywnego zarządzania energią podczas eksploatacji statku SEEMP (ang. *Ship Energy Efficiency Management Plan*), a dążąc do zmniejszenia emisji CO_2 , wszystkie nowo budowane statki o pojemności większej niż 400 BRT muszą posiadać Projektowy Współczynnik Efektywności Energetycznej EEDI (ang. *Energy Efficiency Design Index*) o określonej wartości. Ma on posłużyć jako narzędzie kontroli emisji CO_2 przez statki. Wskaźnik EEDI [$\text{g/t}\cdot\text{Mm}$] jest definiowany jako stosunek ilości wyemitowanego CO_2 [g] do ilości przewiezionego ładunku [t] na określonej linii żeglugowej [Mm]. Wartość współczynnika EEDI dla danego rodzaju i wielkości statku, obliczona zgodnie z procedurą zawartą w dokumencie, musi być równa lub mniejsza od wartości wymaganej (referencyjnej) EEDI_{ref} , należącej do linii odniesienia. Linie odniesienia zmieniają się co pewien okres, przeciętnie co pięć lat, a ich przebieg określa zależność:

$$\text{EEDI}_{\text{ref}} = a \cdot (b)^c \quad (1)$$

Zawarte we wzorze (1) współczynniki przyjmują dla każdego typu statku różne wartości i zmieniają się co pewien okres.

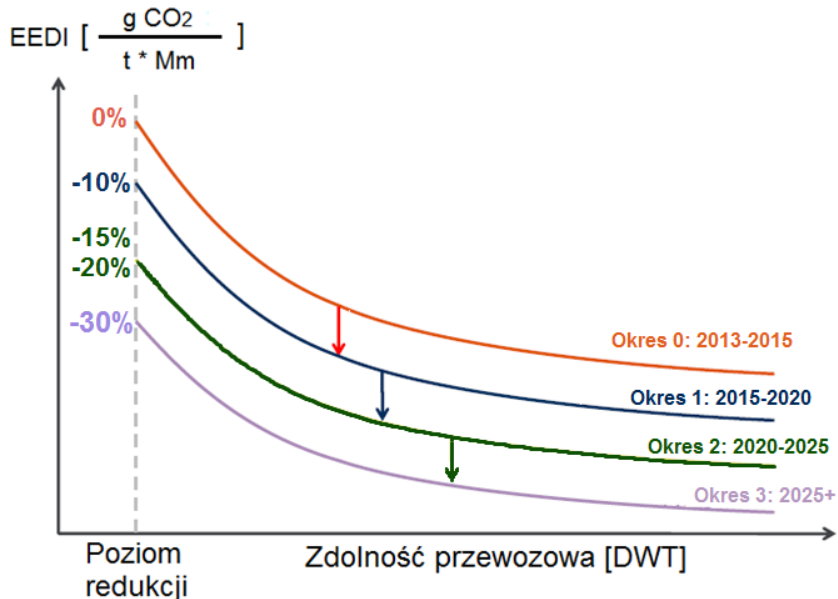
Tabela 1. Współczynniki służące do określenia linii odniesienia [Lloyd's Register 2012]

Table 1. Factors for determining the baseline [Lloyd's Register 2012]

Rodzaj statku	a	b	c
Masowce	961,79	100% nośności	0,477
Gazowce	1120,00	100% nośności	0,456
Zbiornikowce	1218,80	100% nośności	0,488
Kontenerowce	174,22	100% nośności	0,201
Drobnicowce	107,48	100% nośności	0,216
Chłodnicowce	227,01	100% nośności	0,244
Jednostki kombinowane	1219,00	100% nośności	0,488
Promy pasażerskie i ro-ro	Nie wykorzystują linii odniesienia		

Przedstawione w tabeli 1 przykładowe wartości współczynników obowiązują dla aktualnego okresu, tj. od 1.01.2015 do 31.12.2019 roku.

Przykładowy przebieg linii odniesienia dla różnych okresów pokazuje rysunek 1.



Rys. 1. Przebieg linii odniesienia określających graniczne wartości współczynnika EEDI dla kolejnych okresów [Giernalczyk i Lus 2015]

Fig. 1. Reference line behavior defining the limit values of EEDI for subsequent periods [Giernalczyk and Lus 2015]

Wartość Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej EEDI określa zależność:

$$EEDI = \frac{(\prod_{j=1}^n f_j) (\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)})}{f_i \cdot f_c \cdot D \cdot f_w \cdot V_{ref}} + \frac{(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot f_c \cdot D \cdot f_w \cdot V_{ref}} + \frac{((\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)}) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot f_c \cdot D \cdot f_w \cdot V_{ref}} - \frac{(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME})}{f_i \cdot f_c \cdot D \cdot f_w \cdot V_{ref}} \quad (2)$$

Podstawowe parametry występujące we wzorze (2) przedstawia tabela 2.

Ponieważ linie odniesienia oraz wiążące się z nimi wartości graniczne wskaźnika EEDI zmieniają się co pewien okres, stając coraz bardziej restrykcyjne, to prace projektantów zmierzają w kierunku znaczącego ograniczenia emisji CO₂ dla nowo budowanych statków.

Tabela 2. Wykaz podstawowych parametrów do obliczenia wskaźnika EEDI [Giernalczyk i Lus 2015]

Table 2. List of basic parameters for calculating EEDI [Giernalczyk and Lus 2015]

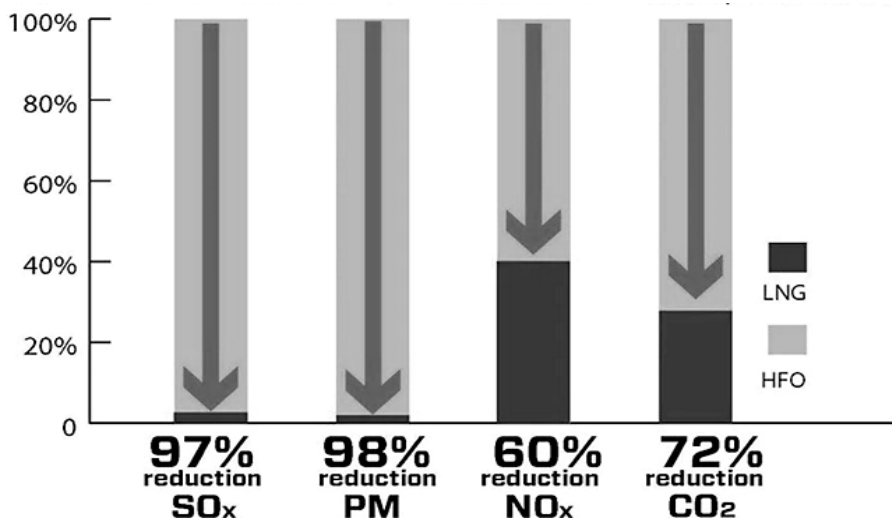
Symbol	Jednostka	Określenie współczynnika
D	[t]	Nośność statku
V_{ref}	[kn]	Prędkość jednostki
C_{FAE}	[gCO ₂ /g paliwa]	Współczynnik zależności jednostkowego zużycia paliwa zespołów prądotwórczych a emisja CO ₂
C_{FME}	[gCO ₂ /g paliwa]	Współczynnik zależności jednostkowego zużycia paliwa silnika głównego a emisja CO ₂
f_{eff}	[-]	Współczynnik technik innowacyjnych
f_i	[-]	Współczynnik wydajności
f_c	[-]	Korekcyjny współczynnik pojemności
f_j	[-]	Współczynnik wydajności
f_w	[-]	Współczynnik zmniejszenia sprawności
n_{eff}	[-]	Liczba technik innowacyjnych
n_{ME}	[-]	Liczba silników głównych
n_{PTI}	[-]	Liczba prądnic wałowych
P_{ME}	[kW]	Moc silników głównych
P_{AE}	[kW]	Moc zespołów prądotwórczych bez uwzględnienia zapotrzebowania energii dla układu napędowego
P_{AEeff}	[kW]	Energia elektryczna wytworzona z użyciem technologii innowacyjnych
P_{eff}	[kW]	Moc napędu wytworzona z użyciem technologii innowacyjnych
P_{PTI}	[kW]	Moc prądnicy wałowej
SFC_{AE}	[g/kWh]	Jednostkowe zużycie paliwa zespołów prądotwórczych
SFC_{ME}	[g/kWh]	Jednostkowe zużycie paliwa silnika głównego

Metody ograniczania emisji CO₂ prowadzące do zmniejszenia wartości współczynnika EEDI można podzielić na cztery grupy [Giernalczyk 2014]:

- **projektowe:**
 - projektowanie statków o większych rozmiarach,
 - optymalizacja hydrodynamiczna kształtu kadłuba,
 - optymalizacja aerodynamiczna części nadwodnej,
 - optymalizacja napędu;
- **technologiczne:**
 - dobór odpowiedniego silnika dla obniżonej prędkości pływania,
 - wykorzystywanie nowoczesnych, bardziej sprawnych silników napędu głównego (zużywających mniej paliwa przy zachowaniu tej samej mocy),

- stosowanie innowacyjnych powłok kadłuba zmniejszających jego obrastanie, co skutkuje mniejszymi oporami tarcia,
- stosowanie innowacyjnych materiałów zmniejszających masę statku (np. bardziej wytrzymałe stale),
- wykorzystywanie energii odnawialnej (energia wiatru, energia słoneczna),
- utylizacja ciepła odpadowego pochodzącego od silnika napędu głównego;
- **eksploatacyjne:**
 - ograniczenie prędkości pływania;
- **paliwowe:**
 - wykorzystywanie paliw niskowęglowych (LNG, biopaliwa).

Jedną z najbardziej skutecznych metod ograniczania emisji do atmosfery CO₂, a także pozostałych szkodliwych substancji, stanowi spalanie w silnikach napędu głównego i zespołów prądowców paliwa gazowego LNG. Efektem spalania gazu naturalnego jest niemalże całkowita redukcja SO_x (97%) i cząstek stałych PM (98%), jak również znacząca redukcja pozostałych związków: NO_x (60%) oraz CO₂ (72%). Obrazuje to rysunek 2.



Rys. 2. Porównanie zawartości szkodliwych substancji w spalinach silnika zasilanego gazem naturalnym LNG oraz paliwem ciężkim HFO [http://gcaptain.com/2015/04/09]

Fig. 2. Comparison of the content of harmful substances in the exhaust gas of an engine powered by natural gas LNG and heavy fuel HFO [http://gcaptain.com/2015/04/09]

Zasilanie silników paliwem gazowym LNG pozwala więc nie tylko osiągnąć wymaganą wartość wskaźnika EEDI, ale także spełnić bardzo restrykcyjne normy z zakresu ograniczenia emisji przez statki NO_x, SO_x i PM, zgodne ze standardami Tier III.

2. WPŁYW ZASILANIA SILNIKÓW PALIWEM GAZOWYM NA WIELKOŚĆ PROJEKTOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ EEDI WYBRANEGO KONTENEROWCA

W celu pokazania korzyści, jakie przynosi zasilanie silników okrętowych paliwem gazowym LNG, przedstawiono obliczenia wskaźnika EEDI, porównując jego wartości osiągane podczas zasilania silników paliwem ciężkim (HFO) i gazem naturalnym (LNG) [Pastuszek 2017].

Do obliczeń przyjęto parametry kontenerowca o nośności 33 300 DWT z napędem głównym dwupaliwowym, wolnoobrotowym silnikiem DF (ang. *Dual Fuel*) firmy MAN typu 8S70ME-GI z możliwością zasilania zarówno paliwem ciekłym, jak i gazowym LNG. Silnik ten w punkcie pracy L_1 osiąga moc nominalną $N_n = 26\,160$ kW przy prędkości obrotowej $n_n = 91$ obr/min.

Elektrownię tego statku stanowią cztery spalinowe zespoły prądotwórcze o zróżnicowanych mocach z silnikami dwupaliwowymi DF firmy MAN typu L28/32DF. Dwa zespoły z silnikami 7L28/32DF osiągają moc czynną elektryczną równą $N_{el} = 1330$ kW każdy, a dwa pozostałe 9L28/32DF osiągają moc czynną elektryczną równą $N_{el} = 1710$ kW każdy. Łączna czynna moc elektrowni to $\Sigma N_{el} = 6080$ kW.

Wytwarzanie pary na cele grzewcze zapewnia kocioł kombinowany firmy Alfa Laval Aalborg typu MISSION OC, posiadający możliwość ogrzewania spalinami podczas podróży lub palnikiem dwupaliwowym DF typu KBOG-E podczas postoju. W trybie pracy kotła utylizacyjnego, przy nominalnej mocy osiągniętej przez silnik napędu głównego, istnieje możliwość produkcji $D_u = 5000$ [kg/h] pary grzewczej, w przypadku zaś opalania paliwem $D_{op} = 3000$ [kg/h].

W pierwszej kolejności zgodnie ze wzorem (1) określono wartość graniczną wskaźnika $EEDI_{ref}$, należącą do linii odniesienia okresu od 1.01.2015 do 31.12.2019 roku. Wykorzystując dane zawarte w tabeli 1 i parametry projektowanego kontenerowca, przyjmie ona wartość:

$$EEDI_{ref} = 174,22 \cdot (33\,300)^{-0,201} = 21,48$$

Obliczenia wartości wskaźnika EEDI dla cytowanego kontenerowca zgodnie ze wzorem (2) przyjmują uproszczoną formę, ze względu na fakt, iż ta jednostka nie posiada innowacyjnych cech konstrukcyjnych kadłuba ani prądnic wałowych. Natomiast niezwykle korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie dwupaliwowych silników napędu głównego i zespołów prądotwórczych.

Wartości podstawowych parametrów, wykorzystanych we wzorze (2) do obliczenia wskaźników EEDI projektowanego kontenerowca, przedstawia tabela 3.

Obliczone na podstawie zależności (2) wskaźniki EEDI wynoszą odpowiednio: przy zasilaniu silników paliwem ciężkim (pozostałościowym) $14,9$ [g/t·Mm],

natomiast przy zasilaniu gazem naturalnym LNG – 12,89 [g/t·Mm] i przyjmują wartość mniejszą od wymaganej (referencyjnej), wynoszącej $EEDI_{ref} = 21,48$. Wprawdzie obie uzyskane wartości dla obowiązującego okresu od 1.01.2015 do 31.12.2019 roku mieszczą się w zakresie dopuszczalnej wartości, poniżej linii odniesienia, jednak w późniejszych okresach po 31.12.2019 roku w przypadku zasilania silników paliwem ciężkim mogą pojawić się problemy z uzyskaniem wymaganych limitów.

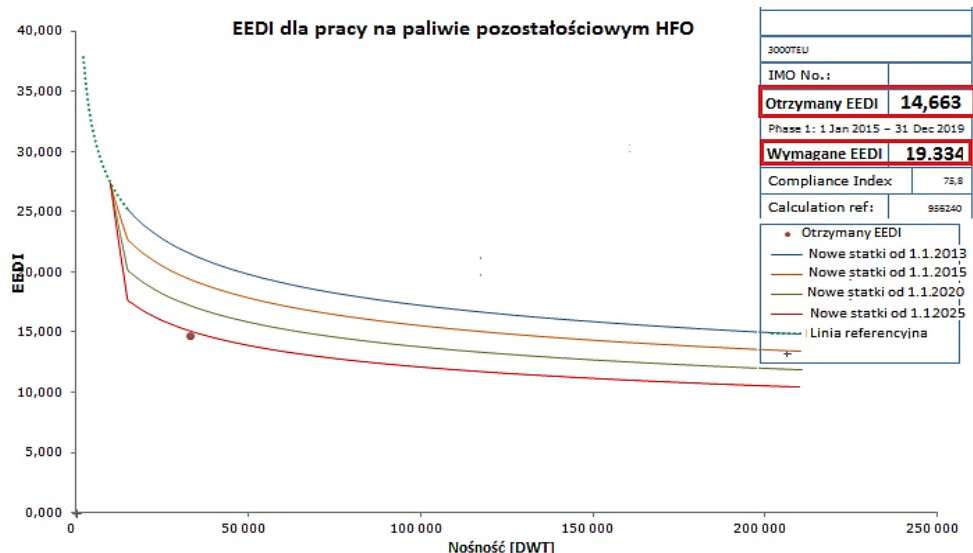
Tabela 3. Podstawowe parametry kontenerowca wykorzystane do obliczeń wskaźnika EEDI

Table 3. Basic container parameters used for calculating EEDI

Parametr	Wartość	Jednostka	Opis
D	33 300	[t]	Nośność statku
MCR _{ME}	26 160	[kW]	Moc silnika głównego
C _F	3,114	[-]	Współczynnik konwersji dla HFO
C _{Fgas}	2,75	[-]	Współczynnik konwersji dla LNG
C _{Fpilot}	3,114	[-]	Współczynnik konwersji dla paliwa pilotującego HFO
SFC _{ME}	169	[g/kWh]	Jednostkowe zużycie paliwa ciężkiego SG
SFC _{AE}	210	[g/kWh]	Jednostkowe zużycie paliwa przez SP
SFC _{MEpilot}	7,6	[g/kWh]	Jednostkowe zużycie paliwa pilotującego SG
SFC _{MEgas}	156,5	[g/kWh]	Jednostkowe zużycie gazu naturalnego SG
SFC _{AEpilot}	8	[g/kWh]	Jednostkowe zużycie paliwa pilotującego SP
SFC _{AEgas}	202	[g/kWh]	Jednostkowe zużycie gazu naturalnego SP
V _{ref}	22	[węzły]	Prędkość statku
P _{ME}	19 620	[kW]	75% mocy MCR
P _{AE}	904	[kW]	Obliczona moc elektrowni

Obliczenia współczynnika EEDI przy wykorzystaniu wzoru (2) są żmudne, pracochłonne i mogą prowadzić do błędów. Celem ich weryfikacji dokonano dodatkowych obliczeń współczynnika EEDI dla projektowanego kontenerowca za pomocą kalkulatora udostępnionego przez towarzystwo BIMCO [Pastuszek 2017].

Rysunek 3 przedstawia obliczony za pomocą kalkulatora [BIMCO EEDI Calculator] współczynnik EEDI wraz z liniami referencyjnymi dla siłowni kontenerowca zasilanej paliwem pozostałościowym.

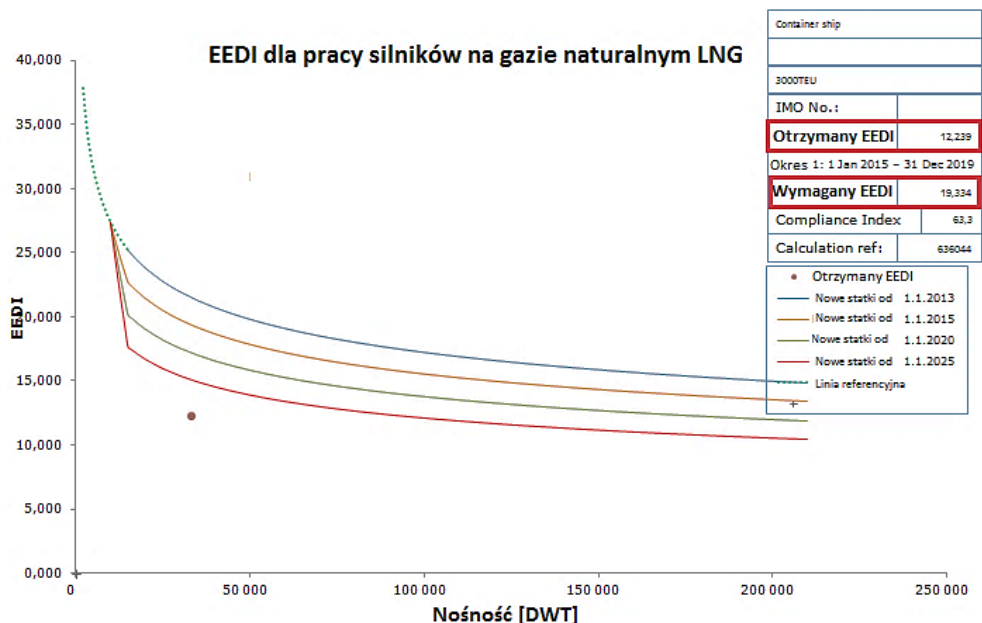


Rys. 3. Obliczony współczynnik EEDI wraz z liniami referencyjnymi dla siłowni kontenerowca zasilanej paliwem pozostałościowym [BIMCO EEDI Calculator]

Fig. 3. Calculated EEDI factor along with reference lines for the container ship powered by residual fuel HFO [BIMCO EEDI Calculator]

Z kolei rysunek 4 przedstawia obliczony za pomocą kalkulatora współczynnik EEDI wraz z liniami referencyjnymi dla siłowni kontenerowca zasilanej paliwem gazowym.

Dokonane za pomocą kalkulatora BIMCO obliczenia są bardzo zbliżone do obliczeń, przeprowadzonych zgodnie ze wzorem (2), i potwierdzają ich poprawność. Jednocześnie występuje obawa, że wartość współczynnika EEDI przy zasilaniu paliwem ciężkim może nie osiągnąć wymaganej wartości dla okresu po 2025 roku, gdyż znajduje się na linii granicznej, co obrazuje rysunek 3.



Rys. 4. Obliczony współczynnik EEDI wraz z liniami referencyjnymi dla siłowni kontenerowca zasilanej gazem naturalnym LNG [BIMCO EEDI Calculator]

Fig. 4. Calculated EEDI factor along with reference lines for the container ship powered by natural gas LNG [BIMCO EEDI Calculator]

3. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie paliwa gazowego LNG do zasilania silników okrętowych stanowi metodę ograniczania emisji szkodliwych substancji do atmosfery, która zyskuje coraz większą popularność wśród armatorów i jest szczególnie przydatna na statkach przewożących skroplony gaz naturalny – zbiornikowcach LNG (ang. *Liquefied Natural Gas Carriers*). Ładunek gazu naturalnego przewożony jest pod ciśnieniem atmosferycznym w temperaturze -163°C . Penetracja ciepła do zbiorników ładunkowych powoduje odparowanie gazu. Odparowany ładunek BOG (ang. *Boil Off Gas*) może być użyty do napędu statku lub skroplony w specjalnej instalacji i skierowany na powrót do zbiorników ładunkowych. Jednak ponowne skroplenie gazu naturalnego LNG wymaga znacznych nakładów energetycznych i jest mało opłacalne, dlatego obecnie na gazowcach LNG sięga się po rozwiązania, polegające na wykorzystaniu odparowanego gazu do spalania w silnikach dwupaliwowych typu DF.

Technologia zasilania *Dual Fuel* najłatwiej daje się zastosować w silnikach czterosuwowych średnioobrotowych i szybkoobrotowych zarówno napędu głównego, jak i zespołów prądowców. Obecnie w eksploatacji znajduje się wiele gazowców LNG z napędem silnikami czterosuwowymi, pracującymi głównie w układach spalinowo-elektrycznych (ang. *Diesel Electric*). Należą do nich m.in. gazowce LNG BONNY II, LNG FINIMA II z pięcioma silnikami Wartsila 8L50DF o mocy 7800 kW każdy [*Significant Ships of 2013–2016*].

Instalacja zasilania gazem silnika wolnoobrotowego jest bardziej skomplikowana, aniżeli silnika średnioobrotowego. Wynika to m.in. z konieczności sprężania gazu do wysokich ciśnień (15–30 MPa), do czego potrzeba niezwykle energochłonnych wielostopniowych sprężarek. Skomplikowany system techniczny z natury rzeczy jest podatny na zakłócenia ruchu i awarie, dlatego też dwupaliwowe wolnoobrotowe dwusuwowe silniki o zapłonie samoczynnym pozostawały przez długi okres w fazie projektowo-doświadczalnej. Jednak w ostatnich latach nastąpił znaczący przełom i oddano do eksploatacji jednostki napędzane takimi silnikami. Należą do nich m.in. gazowce LNG armatora Teekay LNG Partners: „Creole Spirit”, „Oak Spirit”, „Torben Spirit”, każdy z dwoma silnikami MAN D&T typu 5G70ME-GI.

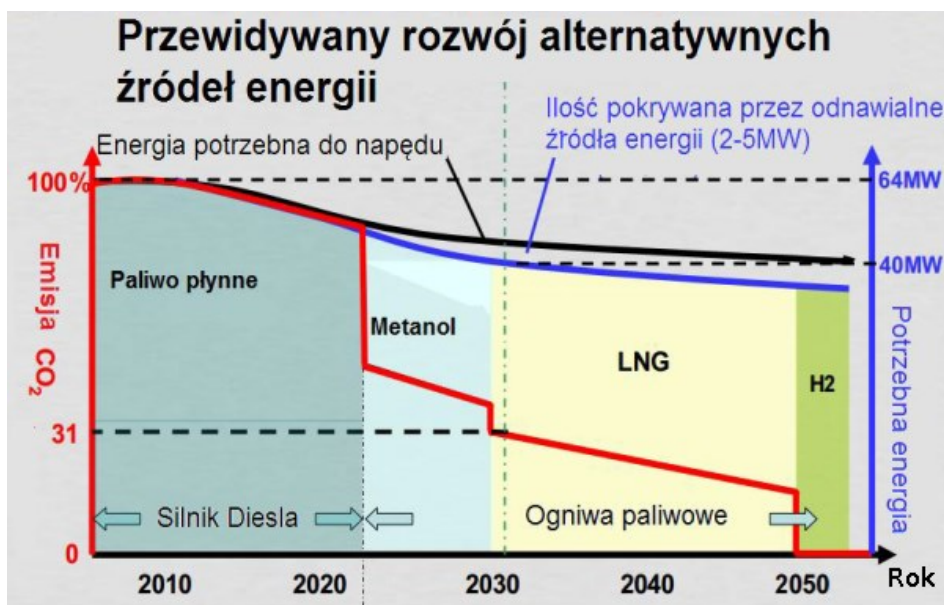
Zasilanie silników okrętowych gazem naturalnym możliwe jest również na innych statkach niż zbiornikowce LNG, takich jak kontenerowce, promy, holowniki czy statki pasażerskie [*Significant Ships of 2013–2016*].

W 2015 roku oddano do eksploatacji dla amerykańskiego armatora TOTE pierwszy na świecie kontenerowiec „Isla Bella”, zasilany gazem LNG. Napęd główny tego statku stanowi dwupaliwowy wolnoobrotowy silnik spalinowy MAN D&T 8L70ME-C8.2 GI o mocy 21 412 kW przy prędkości obrotowej wału 98,5 obr/min, natomiast silniki zespołów prądowców są to trzy dwupaliwowe silniki MAN D&T 9L28/32DF o mocy 1845 kW każdy, przy prędkości obrotowej wału 720 obr/min. Spośród promów z napędem silnikami dwupaliwowymi oddanych do eksploatacji w ostatnich latach wymienić należy „Viking Grace” z czterema silnikami Wartsila 8L50DF o mocy 7400 kW każdy, czy należący do Fincantieri F.A. „Gauthier” z czterema silnikami Wartsila 12V34DF o mocy 5220 kW przy prędkości obrotowej 720 obr/min każdy.

Jak dotąd, liczba jednostek zasilanych paliwem LNG jest wciąż niewielka. Jedną z przyczyn jest niewystarczająca liczba portów z możliwością bunkrowania LNG. Potrzebą więc staje się budowa takich terminali. Ponadto koszty budowy i eksploatacji statków, wyposażonych w silniki dwupaliwowe, są znacznie wyższe niż dla jednostek wyposażonych w silniki konwencjonalne. Do obniżenia tych kosztów mogłoby się przyczynić wprowadzenie w miejsce silników dwupaliwowych z zapłonem samoczynnym silników z zapłonem iskrowym, zasilanych wyłącznie gazem bez konieczności stosowania pilotowej dawki paliwa płynnego. System paliwowy statku uległby wówczas znacznemu uproszczeniu, ograniczając się tylko do zbiorników oraz instalacji gazowych.

Prognozując trendy rozwojowe napędów okrętowych w przyszłości można stwierdzić, że gaz naturalny będzie powszechnie stosowanym paliwem okrętowym zwłaszcza na obszarach specjalnych podlegających bardzo restrykcyjnym przepisom z zakresu redukcji emisji do atmosfery szkodliwych substancji. Dlatego już dzisiaj wielu armatorów, uznając to rozwiązanie za najkorzystniejsze ekonomicznie, rozważa możliwość dostosowania już eksploatowanych silników wysokoprężnych do spalania w nich gazu naturalnego, natomiast na coraz większej liczbie nowo budowanych jednostek instaluje się silniki dwupaliwowe.

Rysunek 5 przedstawia prognozę zapotrzebowania energii do napędu statku w nadchodzących dekadach na przykładzie kontenerowca o zdolności przewozowej 8000 TEU. Wynika z niej, że w niedalekiej perspektywie dominował będzie napęd silnikami zasilanymi LNG. Ponadto rysunek 5 pokazuje, jak ekologicznym paliwem, z niskim poziomem emisji CO₂, jest gaz naturalny.



Rys. 5. Poziom emisji CO₂ przy stosowaniu różnych rodzajów paliw i przewidywany rozwój alternatywnych źródeł energii na przykładzie kontenerowca o zdolności przewozowej 8000 TEU [<http://www.no.emb-japan.go.jp>]

Fig. 5. CO₂ emissions for different fuels and the expected development of alternative energy sources on the example of a container ship with a capacity of 8000 TEUs [<http://www.no.emb-japan.go.jp>]

LITERATURA

- Giernalczyk, M., 2014, *Metody redukcji emisji do atmosfery związków toksycznych oraz CO₂ przez statki morskie*, Logistyka, nr 4.
- Giernalczyk, M., Górski, Z., 2013, *Methods of Reduction of Fuel Consumption as Means for CO₂ Emitted by Seagoing Ships Minimizing*, Journal of KONES Powertrain and Transport, European Science Society of Powertrain and Transport Publication, vol. 20, no. 4, s. 85–91.
- Giernalczyk, M., Lus, M., 2015, *Wpływ utylizacji ciepła odpadowego silnika napędu głównego na wielkość projektowego współczynnika efektywności energetycznej EEDI na przykładzie wybranego kontenerowca*, Logistyka, nr 3.
- Lloyd's Register, 2012, *Implementing the Energy Efficiency Design Index Version 3.0*, December 2012, www.lr.org/eedi.
- Pastuszek, R., 2017, *Projekt wstępny głównego układu napędowego elektrowni oraz kotłowni kontenerowca o zdolności przewozowej 3000 TEU z uwzględnieniem projektowego współczynnika efektywności energetycznej EEDI*, praca magisterska, Akademia Morska w Gdyni, Wydział Mechaniczny, Gdynia.
- Significant Ships of 2013–2016. A publication of the Royal Institution of Naval Architects.*
- Źródła internetowe
- BIMCO EEDI Calculator, <https://www.bimco.org/Products/EEDI.aspx>.
- <http://gcaptain.com/2015/04/19/isla-bella-worlds-first-lng-powered-containership-launched-at-nassco>.
- <http://www.no.emb-japan.go.jp/Japanese/KouhoBunka/NTNUHoriuchi.pdf>.