

PROJEKTOWY WSKAŹNIK EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ EEDI JAKO NARZĘDZIE DO OCENY EFEKTYWNOŚCI NA PRZYKŁADZIE STATKU DO PRZEWOZU KONTENERÓW

THE ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX AS A TOOL TO ASSESS EFFICIENCY – ANALYSIS BASED ON CONTAINER SHIPS

Marcin Szczepanek

Stefan Żmudzki

Akademia Morska w Szczecinie

Wydział Mechaniczny

Instytut Eksploatacji Siłowni Okrętowych

ul. Wały Chrobrego 1-2

70-500 Szczecin

e-mail: m.szczepanek@am.szczecin.pl

e-mail: s.zmudzki@am.szczecin.pl

Abstract: The International Maritime Organisation (IMO), in particular, dedicated to the prevention to marine pollution by ships, adopted in 2007 the provisions implementing the Energy Efficiency Design Index (EEDI). The EEDI was implemented as an amendment to the MARPOL Annex VI. The index specifies the technical standards and norms imposed on shipyards, which shall be intended to improve the energy efficiency of certain categories of new ships and vessels, consequently leading to the reduction of CO₂ emission by around 25-35 percent till 2030. The paper presents the operational factors affecting fuel consumption and energy efficiency indexes of a ship, the algorithm of verification and certification of the EEDI along with exemplary calculations for a container ship.

Keywords: CO₂ emission, EEDI, fuel consumption, container ship.

Wprowadzenie

Dynamika rozwoju przemysłowego na świecie, oprócz korzyści z tego płynących przyniosła również ogólnoświatowy problem w postaci zanieczyszczeń środowiska naturalnego, a zwłaszcza zanieczyszczeń powietrza. Ogromne zagrożenie degradacją atmosfery wynika m.in. z ciągłego rozwoju różnych sektorów transportu. Zacieśnianie się współpracy gospodarczej państw na całym świecie doprowadziło do konieczności przewozu ogromnego tonażu towarów. Odpowiedzią był rozwój sektora transportu wodnego, a w szczególności żeglugi morskiej. Transport morski odpowiada za ponad 80% światowego przewozu towarów, a masa przetransportowanych towarów przez światową flotę statków w 2007 r. osiągnęła wynik 8,02 mld ton [6].

Wzrost liczby jednostek pływających światowej floty wymusza przeciwdziałanie problemowi, jakim jest zanieczyszczenie powietrza wynikające z generowanych przez statki szkodliwych substancji m.in. tlenków azotu (NO_x), tlenków siarki (SO_x) oraz dwutlenku węgla (CO₂). Na podstawie danych Unii Europejskiej zebranych w 2007 r. statki uprawiające żeglugę na wodach europejskich wyemitowały 4,3% całkowitej emisji CO₂, co stanowi 15,3% całkowitej emisji tego gazu do atmo-

sferę przez sektor transportu [1]. Ponadto szacunkowe obliczenia wykazały, że statki odpowiedzialne są za około 7% emisji tlenków siarki oraz około 11-13% tlenków azotu w ogólnym rozrachunku emitowanych do atmosfery zanieczyszczeń [2].

Najbardziej rozpowszechnionym rodzajem silników stosowanych obecnie na jednostkach pływających są silniki wysokoprężne o zapłonie samoczynnym. Silniki tego rodzaju o dużych mocach są wykorzystywane do napędu jednostek, jako silniki główne, natomiast silniki mniejszych mocy przeznaczone są często do napędu zespołów prądowców elektrowni okrętowej oraz jako silniki pomocnicze. Dlatego też można zaobserwować ciągłe dążenia konstruktorów do opracowania silników o dużej niezawodności pozwalających na długi okres eksploatacji oraz zwiększonej ekonomiczności poprzez dobór optymalnych wskaźników mocy i prędkości obrotowej silnika, osiągnięcie niskiego jednostkowego zużycia paliwa i zdolności do zasilania silników różnymi rodzajami paliw - płynnych (pozostałościowe lub destylacyjne) lub gazowych dzięki nowym rozwiązaniom technicznym. Wszystkie te aspekty mają przyczynić się do zwiększenia sprawności silników jak i całej siłowni okrętowej oraz zmniejszenia zużycia

paliwa, a co za tym idzie również ograniczenia emisji produktów spalania paliw do atmosfery [4].

Wskaźniki energetyczne statków

Podczas eksploatacji statku istnieje nierozłączna zależność pomiędzy ilością zużywanego paliwa a emisją szkodliwych substancji oraz dwutlenku węgla do atmosfery. Komitet Międzynarodowej Organizacji Morskiej do Spraw Ochrony Środowiska Morskiego MEPC opracował narzędzia kontroli emisji dwutlenku węgla zawartego w gazach wylotowych na jednostkę efektywności przewozowej statku. Zwiększenie potencjału technologicznego stoczni i coraz to nowocześniejsze rozwiązania techniczne stosowane na statkach, pozwalają na odpowiedni dobór urządzeń i określenie efektywności statku już na poziomie jego projektowania. Służy do tego Projektowy Wskaźnik Efektywności Energetycznej Statku EEDI (ang. Energy Efficiency Design Index).

Czynniki eksploatacyjne wpływające na zużycie paliwa i wskaźniki efektywności energetycznej statku

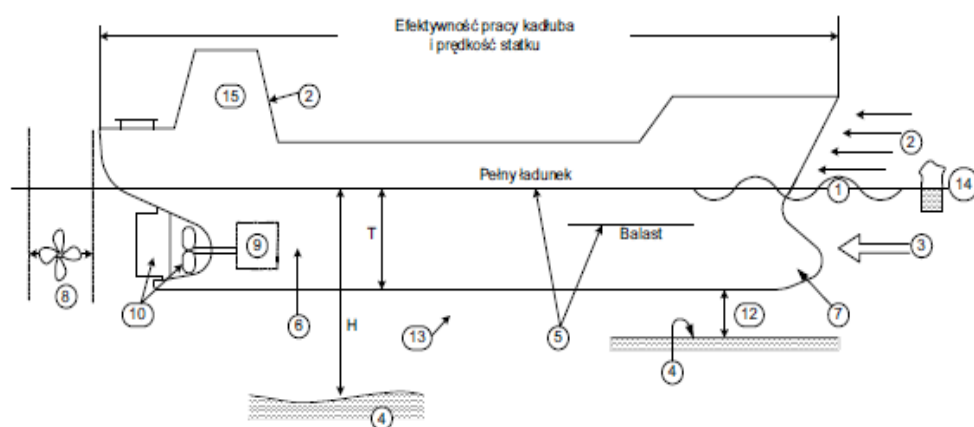
Statki handlowe przystosowane do przewozu różnych rodzajów towaru w zależności od swojej wielkości,

stopnia zaawansowania rozbudowy układu energetycznego i co z tym związane odpowiedniego doboru mocy i liczby maszyn i urządzeń, zużywają zróżnicowaną ilość paliwa niezbędnego do ich zasilania w celu zapewnienia prawidłowej eksploatacji statku [7]. Na ilość zużywanego paliwa przez dany statek składa się szereg czynników za to odpowiedzialnych mających wpływ na charakter efektywności i ekonomiczności eksploatacji jednostki. Czynniki te można podzielić na:

- wewnętrzne, związane ze stanem technicznym statku, częstotliwością remontów stoczniowych (np. remonty kadłuba) i serwisowych (np. remonty silników głównych i pomocniczych) oraz jakością obsługi i eksploatacji statku przez załogę;

- zewnętrzne dotyczące oddziaływania czynników mających wpływ na zakłócenie ruchu statku związanych z warunkami pogodowymi i akwenem pływania.

Rys. 1 obrazuje oddziaływanie poszczególnych czynników na kadłub statku mających wpływ na ilość zużywanego paliwa a tym samym również emisję CO₂ do atmosfery.



Rys.1. Czynniki mające wpływ na zużycie paliwa oraz emisję CO₂ do atmosfery [3]: 1 - falowanie morza związane z amplitudą fal oraz ich częstotliwością dotyczącą odstępów czasu pomiędzy kolejnymi uderzeniami fal o kadłub statku; 2 - wiatr, - siła naporu oraz kierunek; 3 - prądy morskie, - kierunek i siła oddziaływania na kadłub statku związana z jego prędkością; 4 - rodzaj dna (profil dna) - ukształtowanie powierzchni dna (występowanie uskoków, rowów, wzniesień itp.), co ma wpływ na wysokość spiętrzenia się fali; 5 - stan załadunku statku (przegłębienie), - odpowiednie wybalastowanie statku oraz poprawnie dobrana wartość trymu; 6 - stan gładkości zanurzonej powłoki dna kadłuba, - chropowatość i związany z tym stan (gładkość) naniesionych powłok ochronnych oraz ilość porostów przyczepionych do kadłuba zwiększających jego opór podczas żeglugi; 7 - system działania napowietrzania zanurzonej części kadłuba stosowany w celu wprowadzenia pod kadłub pęcherzyków powietrza w celu oddzielenia powierzchni kadłuba statku od cząsteczek wody i tym samym zmniejszenie oporu kadłuba; 8 - uciąg śruby, stan gładkości płatów śruby - gładkości powłoki płatów i stopnia pokrycia jej przez porosty oraz stan techniczny płatów- brak ubytków np. spowodowanych działaniem zjawiska kawitacji; 9 - efektywność pracy śruby, - odpowiedni dobór w korelacji z silnikiem głównym i jeżeli występuje również z przekładnią; 10 - efektywność pracy pędnika w układzie ster-śruby, - odpowiedni dobór powierzchni płetwy steru względem zainstalowanej śruby napędowej; 11 - rodzaj paliwa, - ilość zużywanego poszczególnego rodzaju paliwa na statku, i związane z tym zastosowanie odpowiedniego współczynnika konwersji pomiędzy zużyciem paliwa a emisją CO₂; 12 - zapas wody pod stępką (H/T) - najmniejsza ilość wody znajdującej się pod stępką kadłuba, co umożliwia bezpieczną żeglugę statku; 13 - temperatura wody - dynamiczność zjawiska porostania kadłuba przez porosty; 14 - zlodzenie powierzchni morza, -wzrost oporu kadłuba podczas żeglugi związanego z oddziaływaniem tafli lodu lub kry; 15 - proces prowadzenia nawigacji, optymalizacja drogi statku oraz sterowanie silnikiem prowadzone z mostka.

Wskaźniki efektywności energetycznej dla wybranego kontenerowca

Projektowy Wskaźnik Efektywności Energetycznej Statku (EEDI) wyznaczony został dla jednostki przystosowanej do przewozu kontenerów, na podstawie danych przedstawionych przez producenta oraz informacji zebranych podczas przeprowadzenia symulacji wykonanej na symulatorze siłowni okrętowej ERS Sulzer 12RTA84C Kongsberg Maritime.

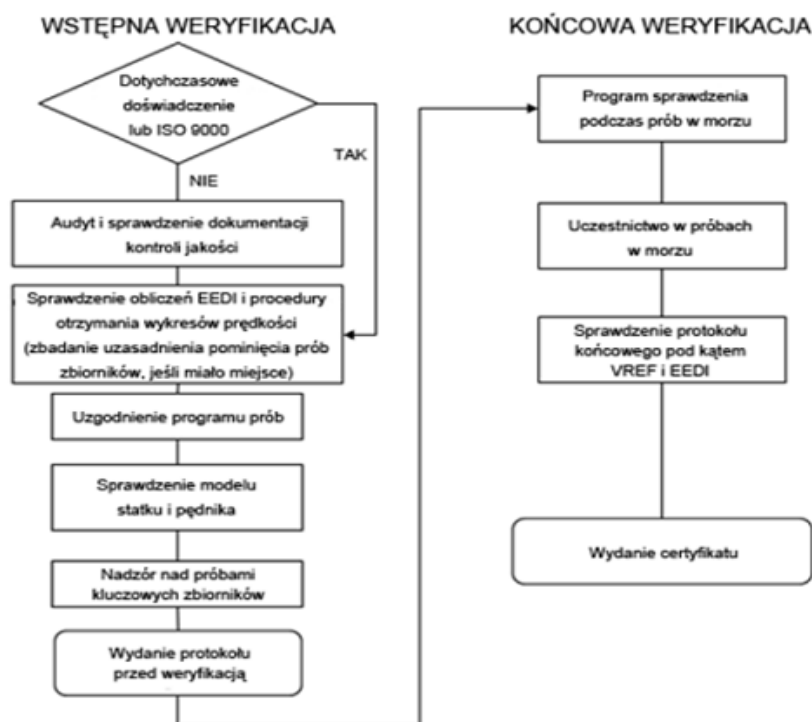
Na podstawie danych projektowych kadłuba kontenerowca oraz urządzeń na nim zainstalowanych, przedstawionych w instrukcji opracowanej przez producenta na potrzeby symulatora zostały wyznaczone poszczególne wartości:

- Wartość Osiągniętego Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej Statku;
- Szacunkowa wartość Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej Statku;
- Wymagana wartość Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej Statku.

Ponadto zasymulowana została podróż morska składająca się z kilku etapów z uwzględnieniem zmieniających się warunków pogodowych (siła i kierunek wiatru, stan morza), ilości przewożonych kontenerów oraz przebytego dystansu i związanego z tymi aspektami zużytego paliwa.

Wyznaczanie wskaźnika eedi dla wybranego kontenerowca

Wykaz wartości parametrów wejściowych, które są niezbędne do wyznaczenia wskaźnika EEDI zgodnie z obowiązującymi przepisami, powinien zostać przedstawiony w Kartotece technicznej EEDI, którą należy złożyć weryfikatorowi. Kartoteka ta jest określona w *Wytycznych weryfikacji IMO*. Algorytm weryfikacji i certyfikacji wskaźnika EEDI podczas projektowania oraz prób w morzu w warunkach rzeczywistych przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Algorytm weryfikacji i certyfikacji wskaźnika EEDI przez weryfikatora [8].

Wartości parametrów niezbędnych do obliczenia wskaźnika EEDI dla kontenerowca zaprojektowanego na

symulatorze siłowni okrętowej ERS Sulzer 12RTA84C oraz obliczenia pośrednie przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry wejściowe i obliczenia pośrednie niezbędne do wyznaczenia wskaźnika EEDI.

Wielkość do obliczenia EEDI	Wartość	Uwagi
C_{FME}	3,206	Do prób silnika głównego u producenta założono, że stosowane było paliwo destylacyjne
P_{ME}	36 450 kW	Brak zainstalowanego generatora wałowego ($P_{PTO} = 0$) Moc silników głównych odpowiada wartości 75% mocy znamionowej MCR. Dla silnika Sulzer 12RTA84C moc znamionowa MCR wynosi 48 600 kW, a zatem: $P_{ME} = 0,75 \cdot 48\ 600\ kW = 36\ 450\ kW$
SFC_{ME}	171 g/kWh	Wartość przyjęta na podstawie instrukcji symulatora siłowni okrętowej ERS Sulzer 12RTA84C
CF_{AE}	3,206	Do prób silników pomocniczych założono, że stosowane było paliwo destylacyjne
P_{PTI}	0	Brak zainstalowanego generatora wałowego pracującego w trybie silnikowym
P_{AE}	2×2300 kW 2×1700 kW	Moc znamionowa silnika Sulzer 12RTA84C wynosi 48 600 kW, czyli jest $\geq 10\ 000$ kW, a zatem przy określaniu wartości P_{AE} należy skorzystać ze wzoru: $P_{AE(\sum MCR_{ME(i)} \geq 10000kW)} = 0,025 \left(\sum_{i=1}^{n_{ME}} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI}}{0,75} \right) + 250 \quad (1)$ a zatem: $P_{AE} = 0,025 \cdot 48\ 600 + 250 = 1465\ kW$. Ze względu na zbyt ogólną strukturę wzór ten w przypadku rozpatrywanego kontenerowca nie ma zastosowania. W tym przypadku przyjęto rzeczywiste wartości, które zostały dobrane przez projektantów symulatora.
SFC_{AE}	180,0 g/kWh 170,0 g/kWh	Wartości jednostkowego zużycia paliwa dla agregatów prądotwórczych poszczególnych mocy są wartościami rzeczywistymi. Wartości te zostały przyjęte dla przypadku zasilania agregatów prądotwórczych paliwem destylacyjnym
P_{eff}	0	Na statku nie zainstalowano mechanicznych urządzeń zwiększających efektywność energetyczną.
$P_{AE\ eff}$	0	Moc silników pomocniczych nie została zmniejszona
f_{eff}	0	Brak zainstalowanych na statku rozwiązań innowacyjnych technologii zapewniających efektywność energetyczną.
f_j	1,0	Rozpatrywany statek jest kontenerowcem bez klasy lodowej
f_i	1,0	Statek nie posiada klasy lodowej: $f_{iCE} = 1,0$ Rozpatrywany statek nie posiada dobrowolnych wzmocnień: $f_{iVSE} = 1,0$ Rozpatrywany statek jest kontenerowcem nieposiadającym w symbolu klasy znaku CSR: $f_{iCSR} = 1,0$ Współczynnik pojemności f_i dla rozpatrywanego kontenerowca przyjmie wartość równą: $f_i = 1,0$
f_w	1,0	Dla osiągniętego wskaźnika EEDI zgodnie z przepisami 20 i 21 Załącznika VI do Konwencji MARPOL współczynnik pogody wynosi $f_w = 1,0$
f_c	1,0	Rozpatrywany statek jest kontenerowcem $f_c = 1,0$
Pojemność	38 500 t	Dla kontenerowców przyjmowana wartość pojemności odpowiada wartości 70% nośności statku. Nośność rozpatrywanego kontenerowca wynosi DWT = 55 000 t: Pojemność = $0,7 \cdot 55\ 000\ t = 38\ 500\ t$
V_{ref}	25 w	Wartość przyjęta na podstawie instrukcji symulatora siłowni okrętowej ERS Sulzer 12RTA84C

Dla rozpatrywanego kontenerowca wartości poszczególnych wskaźników, obliczone na podstawie wartości parametrów zawartych w tabeli 1, wynoszą odpowiednio:

- *Osiągnięty Projektowy Wskaźnik Efektywności Energetycznej EEDI*

Osiągnięty wskaźnik EEDI dla mocy silników pomocniczych określonej na podstawie wzoru (1) i przy założeniu wartości jednostkowego zużycia paliwa agregatów prądotwórczych równej 200,0 g/kWh:

$$\text{Osiągnięty } EEDI_{\text{teoretyczny}} = \frac{(36450 \cdot 3,206 \cdot 171,0) + (1465,0 \cdot 3,206 \cdot 200,0)}{2940 \cdot 25} \approx 284,66 \frac{\text{gCO}_2}{\text{TEU} \cdot \text{Mm}}$$

Osiągnięty wskaźnik EEDI dla mocy silników pomocniczych określony na podstawie stanu rzeczywistego:

$$\text{Osiągnięty } EEDI_{\text{rzeczywisty}} = (36450 \cdot 3,206 \cdot 171,0) + (2300 \cdot 3,206 \cdot 180,0) + (1700 \cdot 3,206 \cdot 170)$$

- Szacunkowa wartość Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej EEDI
Szacunkowa wartość wskaźnika EEDI dla mocy silników pomocniczych określonej na podstawie wzoru (1):

$$\text{Szacunkowa wartość } EEDI_{\text{teoretyczny}} \approx 306,80 \frac{\text{gCO}_2}{\text{TEU} \cdot \text{Mm}}$$

Szacunkowa wartość wskaźnika EEDI dla mocy silników pomocniczych określonej na podstawie stanu rzeczywistego:

$$\text{Szacunkowa wartość } EEDI_{\text{rzeczywisty}} = 3,1144 \frac{190 \cdot 36450 + 215 \cdot (2300 + 1700)}{2940 \cdot 25} \approx 329,89 \frac{\text{gCO}_2}{\text{TEU} \cdot \text{Mm}}$$

- *Wymagana wartość Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej EEDI*
Założono iż rozpatrywany statek został zbudowany pomiędzy 01.01.2013 r. a 31.12.2014 r. Oznacza to, że na podstawie tabeli 2 procentowy współczynnik redukcji

EEDI względem linii odniesienia „X” będzie Przyjmował wartość równą 0.

Parametry „a”, „b” i „c” dla kontenerowców dobrane na podstawie tabeli 3 będą wynosiły a= 174,22; b= 4200; c=0,201.

Tabela 2. Procentowe współczynniki redukcji EEDI względem linii odniesienia EEDI [5].

TYP STATKU	WIELKOŚĆ STATKU	ETAP 0 01.01.2013- 31.12.2014	ETAP 1 01.01.2015- 31.12.2019	ETAP 2 01.01.2020- 31.12.2024	ETAP 3 01.01.2025 I PO TEJ DACIE
KONTENEROWIEC	15 000 DWT I WIĘCEJ	0	10	20	30
	10 000 – 15 000 DWT	NIE DOTYCZY	0 - 10*	0 - 20*	0 - 30*

Tabela 3. Parametry do wyznaczenia wartości linii odniesienia dla różnych typów statków [5].

TYP STATKU OKREŚLONY W PRAWIDLE 2	A	B	C
KONTENEROWIEC	174,22	DWT STATKU	0,201

Zatem zgodnie ze wzorem wymagana wartość $EEDI = \left(1 - \frac{X}{100}\right) \cdot a \cdot 100 \% \text{ nośność}^c \frac{\text{gCO}_2}{\text{TEU} \cdot \text{Mm}}$ (2) wymagana wartość wskaźnika EEDI będzie wynosić:
 $\approx 32,57 \frac{\text{gCO}_2}{\text{TEU} \cdot \text{Mm}}$

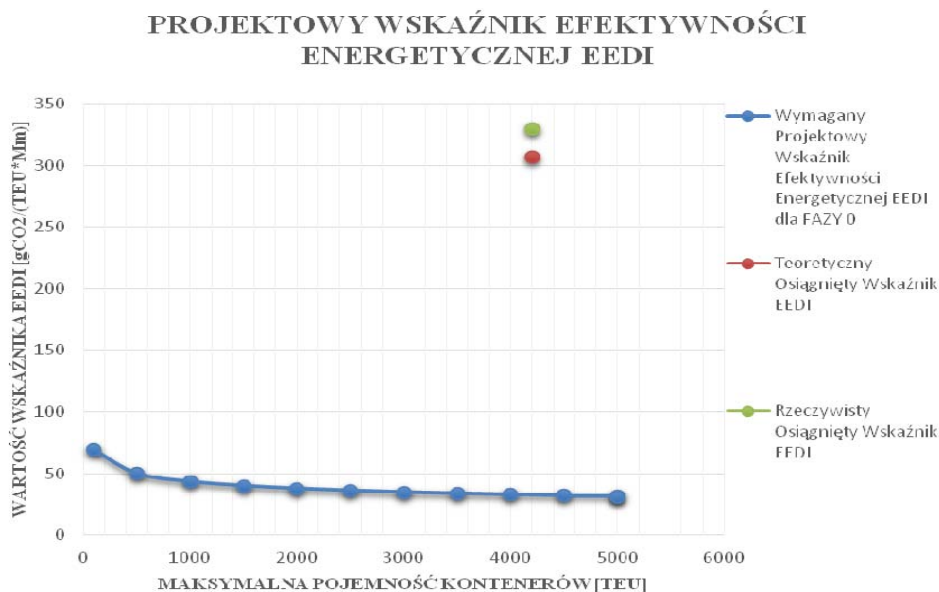
W celu zobrazowania położenia teoretycznej oraz rzeczywistej osiągniętej wartości wskaźnika EEDI względem linii odniesienia, zostały wyznaczone wymagane wartości wskaźnika EEDI dla poszczególnych nośności statku, co przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wymagane wartości wskaźnika EEDI dla poszczególnych nośności kontenerowców wybudowanych pomiędzy 01.01.2013 r. a 31.12.2014 r. (FAZA O).

Lp.	Maksymalna pojemność kontenerów [TEU]	Wymagana wartość wskaźnika EEDI [g CO ₂ /(TEU×Mm)]
1.	100	69,03
2.	500	49,96
3.	1 000	43,46
4.	1 500	40,06
5.	2 000	37,81
6.	2 500	36,15
7.	3 000	34,84
8.	3 500	33,79
9.	4 000	32,89
10.	4 500	32,12
11.	5 000	31,45
12.	5 500	30,85

Na podstawie otrzymanych wartości teoretycznej i rzeczywistej Osiągniętego Wskaźnika EEDI obliczonych dla rozpatrywanego kontenerowca oraz wartości wymaganych Wskaźnika EEDI dla poszczególnych pojemności statku wyrażonych w TEU, obliczonych na

podstawie wzoru (2) (wyniki obliczeń przedstawia tabela 4) został sporządzony wykres wartości Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej EEDI, co obrazuje rys. 3.



Rys. 3. Wykres wartości wymaganych wskaźnika EEDI oraz osiągnięta wartość teoretyczna i rzeczywista wskaźnika EEDI.

Rys. 3 przedstawia wyznaczoną linię odniesienia wartości wymaganych Wskaźnika EEDI dla poszczególnych pojemności kontenerowców. Linię odniesienia wyznaczono na podstawie wyników obliczeń przedstawionych w tabeli 4. Na wykresie (rys. 3) zostały również naniesione obliczone wartości - teoretyczna i rzeczywista Osiągniętego Wskaźnika EEDI, wyznaczone dla rozpatrywanego

kontenerowca w celu porównania ich położenia względem linii odniesienia.

Podsumowanie

Obliczenia Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej EEDI dla wybranego kontenerowca zostały wyznaczone zgodnie z przepisami Polskiego

Rejestru Statków na podstawie założeń teoretycznych (co głównie związane było z wyznaczeniem i doбором mocy agregatów prądowców) oraz stanu rzeczywistego przedstawionego na symulatorze siłowni okrętowej ERS Sulzer 12RTA84C.

Wartość Osiągniętego Wskaźnika EEDI na podstawie założeń teoretycznych wyniosła 284,66 gCO₂/TEU·Mm, jednak przyjęte założenia teoretyczne nie znalazłyby odzwierciedlenia w stanie rzeczywistym ze względu na ich zbyt ogólny charakter. Wyznaczona wartość mocy agregatów prądowców (przy założeniu jednostkowego zużycia paliwa równego 200 g/kWh) na podstawie wzoru (16) wyniosła 1465 kW. Konstrukcja rozpatrywanego kontenerowca umożliwia przewóz 600 kontenerów chłodzonych. Przy założeniu, że każdy chłodzony kontener pobiera moc elektryczną równą 5 kW, suma poboru mocy przez wszystkie kontenery wyniosłaby 3000 kW. Oznacza to, że podczas podróży morskiej, aby pokryć pobór mocy przez kontenery chłodzone, musiałyby być załączone na szyny 3 agregaty o mocy 1465 kW. Dołączając pobór mocy przez elektryczne urządzenia pomocnicze zapewniające prawidłową pracę systemów siłowni, po zainstalowaniu czterech agregatów prądowców o jednakowej mocy 1465 kW, okazałoby się że wartość dostępnej mocy elektrycznej jest zbyt mała, co uniemożliwiłoby prawidłową pracę urządzeń elektrycznych i ryzyko stworzenia sytuacji awaryjnej zwanej „blackout'em”.

Wartość Osiągniętego Wskaźnika EEDI wyznaczona na podstawie rzeczywistych danych technicznych kontenerowca i podstawieniu do wzoru mocy agregatów prądowców (2×2300 kW przy rzeczywistej wartości jednostkowego zużycia paliwa wynoszącej 180 g/kWh oraz 2×1700 kW przy rzeczywistej wartości jednostkowego zużycia paliwa wynoszącej 170 g/kWh) określonych przez projektantów firmy Kongsberg Maritime wyniosła 302,54 gCO₂/TEU·Mm. Dobór mocy agregatów oraz ich liczby pokrywa całkowite zapotrzebowanie na moc elektryczną pobieraną przez elektryczne urządzenia pomocnicze oraz kontenery chłodzone. Oznacza to, że wartość Osiągniętego Wskaźnika EEDI dla stanu rzeczywistego rozpatrywanego kontenerowca jest wartością wiążącą przy analizie porównawczej z wartością wymaganą wskaźnika EEDI.

Wymagana wartość Wskaźnika EEDI przy założeniu, że dany kontenerowiec został zbudowany w okresie pomiędzy 01.01.2013r a 31.12.2014r, a następnie doboru współczynnika redukcji EEDI względem linii odniesienia oznaczonego symbolem „X” na podstawie tabeli 3 oraz doboru parametrów „a” „b” i „c” na podstawie tabeli 2, wyniosła 32,57 gCO₂/TEU·Mm. Porównując tą wartość z wartością Osiągniętego Wskaźnika EEDI wynoszącą 302,54 gCO₂/TEU·Mm należy zauważyć, że rozpatrywany kontenerowiec nie spełnia wymogów dotyczących emisji dwutlenku węgla (CO₂) zawartych w przepisach Prawidła 21 Załącznika VI Konwencji MARPOL oraz przepisach towarzystwa klasyfikacyjnego Polskiego Rejestru Statków, ponieważ osiągnięta wartość Wskaźnika EEDI jest około 10-krotnie większa od wartości wymaganej. Oznacza to, że aby statek spełniał kryteria emisji dwutlenku węgla musiałyby zostać podjęte kroki na etapie projektowania mające na celu polepszenie wartości Wskaźnika EEDI np.:

- zmiana wymiarów i kształtów kadłuba statku,
- zmiana pojemności liczby przewożonych kontenerów (zwiększenie pojemności liczby kontenerów pozwoliłoby na podniesienie ekonomiczności transportu pod względem emisji CO₂ i przewożonych kontenerów w przeliczeniu na pokonywany dystans mil morskich lub też zmniejszenie liczby gniazd umożliwiających podłączenie kontenerów chłodzonych co pozwoliłoby na zmniejszenie poboru mocy a tym samym na zmniejszenie zużycia paliwa przez agregaty prądowce lub doboru agregatów prądowców o mniejszych mocach,
- dobór silnika głównego jak i silników pomocniczych o większej ekonomiczności pod względem jednostkowego zużycia paliwa,
- zaprojektowanie jednostki przy założeniu, że statek będzie poruszał się z prędkością eksploatacyjną mniejszą niż obecna (25w),
- zastosowanie innowacyjnych technologii lub nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych,
- szacunkowe wartości Wskaźnika EEDI mogą posłużyć jedynie do oszacowania przybliżonej wartości wskaźnika. Porównując osiągniętą wartość Wskaźnika EEDI wynoszącą 302,54 gCO₂/TEU·Mm z wartością szacunkową wynoszącą 329,89 gCO₂/TEU·Mm procentowa, przybliżona wartość błędu w tym przypadku wynosi 8,3%.

Literatura

1. Badyda, A.J., Zagrożenia środowiskowe ze strony transportu, *Nauka*, 2010, 4, s. 115-125.
2. Borkowski, T., Emisja spalin przez silniki okrętowe- zagadnienia podstawowe, Notatki z wykładów dla studiów dziennych i zaocznych, Fundacja Rozwoju Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie, Szczecin, 1999.
3. Jurdziński, M., Ocena metod i możliwości zmniejszenia zużycia paliwa oraz emisji gazów na statkach morskich, Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, Nr 26, Gdynia, 2011.
4. Kniaziewicz, T., Piaseczny, J., Identyfikacja Obciążenia okrętowych silników spalinowych w aspekcie oceny emisji toksycznych składników spalin, *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 2011, 4, s. 45-60.
5. Międzynarodowa Konwencja o Zapobieganiu Zanieczyszczeniu Morza przez Statki, 1973/1978, MARPOL.
6. Opracowanie IBnGR na podstawie danych Konferencji Narodów Zjednoczonych ds. Handlu i Rozwoju (UNCTAD).

7. Pawlak, M., Modelowanie emisji szkodliwych składników spalin morskich silników okrętowych w celu oceny wpływu emitowanych zanieczyszczeń na jakość powietrza atmosferycznego, *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, 2011, 69, s. 81-94.
8. Polski Rejestr Statków, Przepisy nadzoru konwencyjnego statków morskich, Cz. IX, Ochrona środowiska, Gdańsk, 2015.