



Tadeusz SZELANGIEWICZ, Katarzyna ŻELAZNY

PROJEKTOWY WSKAŹNIK EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ (EEDI) – CZY JEST MOŻLIWA REDUKCJA EMISJI CO₂ NA STATKACH MORSKICH

Streszczenie

Od 2013 roku ma obowiązywać projektowy wskaźnik efektywności energetycznej (EEDI) dla nowych statków. Statki spełniające normy emisji CO₂ będą uzyskiwały certyfikat energetyczny dopuszczający je do eksploatacji. W artykule przedstawiono aktualną postać wskaźnika EEDI, procedurę przyznawania Certyfikatu oraz planowaną na następne lata redukcję emisji CO₂. Większość obecnie eksploatowanych statków spełnia normy emisji CO₂ ustalone na 2012 r. ale dalsze obniżanie tych norm wymagać będzie poważnych zmian w projektowaniu i budowie nowych statków. Przedstawione zostały potencjalne możliwości obniżania emisji CO₂ oraz przykładowe obliczenia wpływu tych możliwości na obniżenie wartości EEDI dla statku transportowego.

WSTĘP

Dążenie jako ograniczenia emisji tzw. gazów cieplarnianych, a w tym CO₂, spowodowało wprowadzenie nowych kryteriów, norm, m. in. w projektowaniu silników spalinowych lub też kompletnych środków transportowych. Także dla morskich środków transportowych (statków) Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) opracowała projektowy wskaźnik efektywności energetycznej (EEDI), który ma obowiązywać od 2013 r. dla nowoprojektowanych i budowanych statków. Wskaźnik ten ogólnie definiuje się jako:

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{\text{transport work}} \quad (1)$$

i wyraża emisję CO₂ w gramach /1 tonomile transportowanego ładunku.

Wprowadzenie tego wskaźnika ma wymusić takie projektowanie i eksploatację statku (w tym i jego napędu) aby ograniczać emisję CO₂ (redukcja CO₂ w latach następnych ma być coraz większa).

Wprawdzie nadrzędnym celem wskaźnika EEDI jest ograniczenie emisji CO₂, to struktura tego wskaźnika pozwala na wykorzystanie go, jako kolejne kryterium w projektowaniu, a także jako pewnego rodzaju miarę efektywności transportowej. Prawidłowe wykorzystanie wskaźnika EEDI w procesie projektowania statku może z jednej strony zredukować emisję CO₂ a z drugiej strony doprowadzić do bardziej optymalnego

doboru parametrów techniczno-eksploatacyjnych statku maksymalizujących efekty ekonomiczne armatora.

1. PROJEKTOWY WSKAŹNIK EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

Prace nad wskaźnikiem EEDI trwają już od dłuższego czasu. Punktem wyjścia było założenie, że transport ładunku drogą morską jest też związany z emisją CO₂ co zostało zdefiniowane w postaci wyrażenia [12]:

$$Attained\ design\ CO_2\ index = \frac{C_F \cdot SFC \cdot P}{Capacity \cdot V_{ref}}, \quad (2)$$

gdzie:

- C_F - poziom emisji CO₂ dla danego rodzaju paliwa,
- SFC - jednostkowe zużycie paliwa przez silnik,
- P - 75% wartości znamionowej zainstalowanej mocy,
- $Capacity$ - nośność statku,
- V_{ref} - prędkość statku dla zadanej nośności, na wodzie spokojnej.

Początkowy wzór (2) był rozbudowywany i uzupełniany o dodatkowe współczynniki. Łącznie było kilkanaście poprawek i uzupełnień wnoszonych głównie przez Danię, Japonię, Stany Zjednoczone. Aktualna wersja, przeznaczona do dalszych badań i analiz oraz zalecana do stosowania w projektowaniu statków ma postać [2]:

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} C_{FAE} SFC_{AE}) + \left(\prod_{j=1}^M f_j \left(\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{AEeff(i)} \right) C_{FAE} SFC_{AE} \right)}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w} - \frac{\left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME} SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}, \quad (3)$$

gdzie:

- $C_{FME(i)}$ - bezwymiarowy współczynnik przetwarzania między zużyciem paliwa, określonym w gramach, oraz emisją CO₂, również mierzona w gramach na podstawie zawartości węgla, [2],
- $SFC_{ME(i)}$ - jednostkowe zużycie paliwa silnika głównego (silników), zapisane w Certyfikacie EIAPP dla danego silnika,
- $P_{ME(i)}$ - 75% maksymalnej mocy ciągłej (MCR) SG,
- C_{FAE} - bezwymiarowy współczynnik przetwarzania taki jak $C_{FME(i)}$ odnoszący się do mocy urządzeń pomocniczych,
- SFC_{AE} - jednostkowe zużycie paliwa silnika pomocniczego,
- P_{AE} - moc urządzeń pomocniczych, IMO MEPC określa się ją odrębnie według mocy MCR dla statków o mocy do 10 tys. kW i powyżej 10 tys. kW,
- $P_{PTI(i)}$ - 75% zapotrzebowanej mocy prądnicy wałowej,
- $P_{AEeff(i)}$ - moc elektryczna odzyskiwana z ciepła odpadowego przy $P_{ME(i)}$,
- $f_{eff(i)}$ - współczynnik innowacji (przy zastosowaniu energetycznych urządzeń innowacyjnych),
- $P_{eff(i)}$ - zmniejszenie mocy SG z powodu zastosowania urządzeń innowacyjnych,
- V_{ref} - prędkość statku w warunkach prób na mili pomiarowej dla maksymalnego dopuszczalnego przepisami stanu załadowania, uzyskanego z zatwierdzonej

- informacji o stateczności,
- Capacity* - nośność dla wszystkich typów statków transportowych i pojemność brutto dla statków pasażerskich,
- f_i - współczynnik odnoszący się do *Capacity*, jeżeli w jakiś sposób normatywnie jest ograniczona nośność lub pojemność brutto,
- f_w - bezwymiarowy współczynnik określający ogólnie spadek prędkości statku wskutek warunków pogodowych: fali i wiatru,
- f_j - ogólna poprawka na szczególną specyfikę projektu statku.

Wzór na EEDI został opracowany głównie dla napędów spalinowych i nie musi być stosowany do napędów: spalinowo-elektrycznych, turbinowych lub hybrydowych.

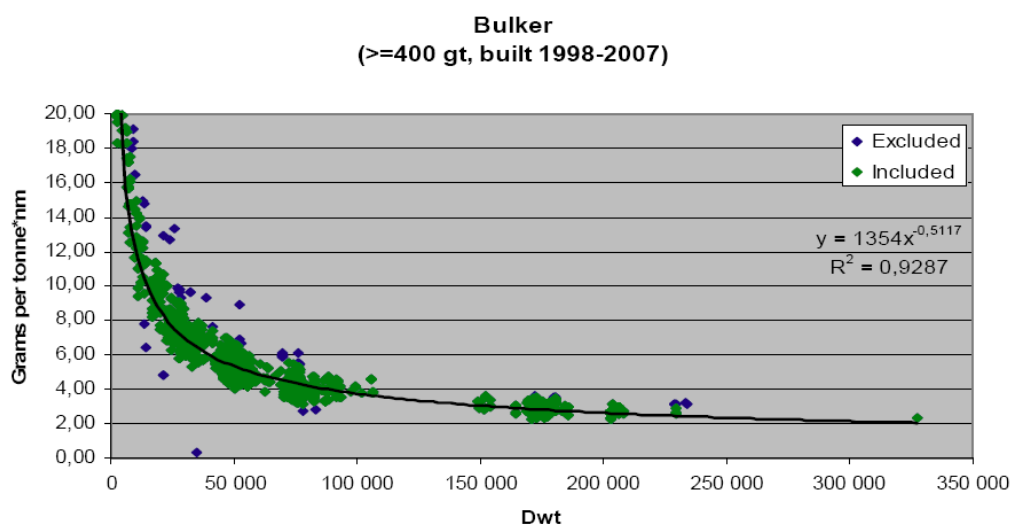
Wzór na EEDI ma dość złożoną strukturę ale można wyróżnić dwie podstawowe grupy parametrów:

dotyczących siłowni okrętowej, czyli mocy silnika (ów) głównych i pomocniczych, jednostkowe zużycie paliwa, współczynniki przeliczające zużycie paliwa na emisję CO₂, moc urządzeń wykorzystujących ciepło odpadowe, parametry określające zastosowanie i wykorzystanie innowacyjnych urządzeń – parametry te są w liczniku wzoru (3), eksploatacyjnych statku, tj. nośność, prędkość na wodzie spokojnej, spadek prędkości w rzeczywistych warunkach pogodowych, które znajdują się w mianowniku oraz parametr znajdujący się w liczniku określający typ i specyficzne warunki pracy np. pływanie w lodach.

Aktualnie obowiązujący wzór na EEDI nie jest zapewne ostateczny mimo, że ma obowiązywać od 2013 roku. Cały czas trwa dyskusja oraz proponowane są różne zmiany np. co do wartości lub sposobu obliczania niektórych wielkości (moc, prędkość, nośność) lub też współczynników (np. spadek prędkości statku podczas pływania po sfalowanej wodzie).

2. LINIA REFERENCYJNA

Aby ustalić oczekiwaną redukcję CO₂ opracowano linię referencyjną dla różnych wielkości i typów statków, która ma obowiązywać od 2013 r. Dla każdego nowego statku będą wykonywane obliczenia wskaźnika EEDI i porównywane z odpowiednią dla tego statku linią referencyjną. Jeżeli wartość EEDI będzie mniejsza lub równa wartości wynikającej z linii referencyjnej to taki statek uzyska certyfikat efektywności energetycznej i zostanie dopuszczony do eksploatacji. Przykładową linię referencyjną na 2013 r. przedstawiono na rys. 1 [1].



Rys. 1. Linia referencyjna dla masowców [1]

Metodologię określenia linii referencyjnej jako pierwsza zaproponowała Dania. Do określenia linii referencyjnej (bazowej) wykorzystano dane statków zbudowanych, zgromadzone w bazie Lloyd's Register Fairplay (LRFP). Dane te są niekompletne, stąd też wprowadzono pewne uproszczenia lub też niektóre dane uzupełniano na podstawie statków podobnych wykorzystując zależności regresyjne. Dla wszystkich wykorzystanych statków przyjęto stałe jednostkowe zużycie tego samego paliwa niezależnie jaki rzeczywisty silnik był zainstalowany na statku. W obliczeniach nie uwzględniono ewentualnych prądnic wałowych, mimo że mogły być na niektórych statkach zainstalowane. Stąd też, co jest widoczne na rys. 1, wskaźniki EEDI dla wielu statków są powyżej linii referencyjnej co wcale nie musi odpowiadać rzeczywistości. Prowadzone są więc dalsze prace badawcze nad ewentualną korektą przebiegu linii referencyjnej, szczególnie dla niektórych typów statków o dużej nośności.

Aby ułatwić ocenę EEDI dla nowego statku i stwierdzić czy spełnia on normy emisji CO₂ linia referencyjna została także aproksymowana wyrażeniem [3]:

$$L_{ref} = a \cdot b^{(-c)} \quad , \quad (4)$$

gdzie a , b , c są parametrami, których wartości dla poszczególnych typów statków przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry do określenia linii referencyjnej dla różnych typów statków [3]

Ship type defined in regulation 2	a	b	c
2,25 Dry bulk carrier	1354,0	DWT of the ship	0,5117
2,26 Gas carrier	1252,60	DWT of the ship	0,4597
2,27 Tanker	1950,70	DWT of the ship	0,5337
2,28 Container ship	139,38	DWT of the ship	0,2166
2,29 General cargo ship	290,28	DWT of the ship	0,3300
2,30 Refrigerated cargo carrier	227,01	DWT of the ship	0,244
2,31 Combination carrier	1219,00	DWT of the ship	0,488

Ponieważ w latach następnych mają być dokonywane kolejne redukcje emisji CO₂, stąd linia referencyjna będzie zmieniać swoją wartość. Prognozowane redukcje CO₂ (wyrażone w procentach w stosunku do wyjściowej, z 2013 r., linii referencyjnej) przedstawia tabela 2.

Tab. 2. Współczynniki redukcyjne (w procentach) dla EEDI względem linii referencyjnej EEDI [3]

Ship Type	Size	Phase 0 1 Jan 2013 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 31 Dec 2024	Phase 3 1 Jan 2025 and onwards
Bulk carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Gas carrier	10,000 DWT and above	0	10	20	30
	2,000 – 10,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Tanker	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Container ship	15,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

General cargo ship	15,000 DWT and above	0	10	20	30
	3,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Refrigerated cargo carrier	5,000 DWT and above	0	10	20	30
	3,000 – 5,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Combination carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

* współczynnik EEDI liniowo interpolowany między wartościami w zależności od nośności statku

3. CERTYFIKAT EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ STATKU

Obliczenia wartości EEDI i certyfikat efektywności energetycznej dla nowego statku będzie wydawany przez Administrację Morską państwa, pod którego banderą pływa statek, na podstawie zatwierdzonej dokumentacji projektowej statku. Oznacza to, że późniejsza eksploatacja statku oraz zmienne warunki pływania (trasy żeglugi, pogoda itp.) nie będą miały już wpływu na wartość EEDI.

Certyfikat EEDI jest więc ważny przez cały okres eksploatacji statku ([3]), chyba że zostanie poddany gruntownej przebudowie i jest wtedy traktowany jako nowy statek. Certyfikat traci ważność, gdy statek zostanie wycofany z eksploatacji lub przechodzi pod banderę innego państwa (sprzedaż, dzierżawa). Możliwe jest też, że Administracje Morskie obu państw dojdą do porozumienia i kopie dokumentów, na podstawie których wydany został Certyfikat, zostaną przekazane nowemu armatorowi. W takim przypadku Certyfikat zachowuje swoją ważność.

W niektórych dokumentach i opracowaniach podkreśla się, że w celu obniżenia emisji CO₂ należy optymalizować trasę żeglugi statku lub w trakcie eksploatacji zredukować prędkość lub też stosować lepszej jakości paliwa. Według aktualnie obowiązujących przepisów takie działania, wprawdzie korzystne dla środowiska, nie będą miały wpływu na obliczoną wcześniej wartość wskaźnika EEDI, a tym samym na fakt spełniania norm i uzyskanie Certyfikatu.

4. WSKAŹNIK EEDI W PROJEKTOWANIU STATKU

Przedstawiona na rys. 1 linia referencyjna powstała w wyniku analizy statystycznej obliczonych wartości EEDI dla różnych wielkości (nośności) istniejących statków tego samego typu, zbudowanych w różnych latach.

Wprawdzie linie referencyjne powstały na podstawie obliczonych wartości EEDI w sposób przybliżony to jednak, przy dokładnych obliczeniach EEDI, będą statki, dla których wartości EEDI będą powyżej linii referencyjnej. Jak pokazuje tabela 2 w latach następnych ma być wymagana coraz większa redukcja emisji CO₂ dla nowych statków. Już więc obecnie wskazuje się jakie są możliwości osiągnięcia mniejszej wartości EEDI a tym samym poprawę efektywności energetycznej statków.

Tymi propozycjami są:

- lepszy projekt kadłuba, zmierzający do wyższej sprawności napędowej,
- bardziej wydajny silnik napędowy – niższe jednostkowe zużycie paliwa,
- lepsza jakość paliwa,
- stosowanie nowych technologii, lepsze odzyskiwanie ciepła odpadowego,
- budowa większych statków (większa nośność),
- zmniejszenie prędkości statku,

- optymalizacja trasy żeglugi.

5. ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW PROJEKTOWO-KONSTRUKCYJNYCH STATKU NA WARTOŚĆ WSKAŹNIKA EEDI

Wymienione możliwości obniżenia wartości EEDI dla nowoprojektowanych i budowanych statków mogą mieć różny wpływ nie tylko na sam wskaźnik ale także na koszt budowy statku i jego walory eksploatacyjne. Wstępna analiza możliwości została wykonana dla jednego ze statków zbudowanych (B 573) w Stoczni Szczecińskiej i aktualnie eksploatowanego.

Lepszy projekt kadłuba statku i śruby napędowej

Pod tym pojęciem rozumie się taką modyfikację czy wręcz optymalizację parametrów geometrycznych kadłuba statku, śruby napędowej a także steru płetwowego umieszczonego za śrubą aby przy zadanej nośności i prędkości statku uzyskać:

mniejszy opór kadłuba statku a tym samym mniejszą moc silnika napędowego,

lepszy rozkład strumienia nadążającego za kadłubem statku co pozwala zwiększyć sprawność śruby napędowej,

dodatkową wyższą sprawność śruby napędowej w wyniku optymalizacji geometrii steru płetwowego i odpowiedniego położenia steru względem śruby.

Aby stwierdzić jakie są możliwości podwyższenia sprawności napędowej poprzez modyfikacje kadłuba, śruby i steru przeprowadzono obliczenia dla statku B 573. Kadłub tego statku był modyfikowany – badano 19 wersji kadłuba, 2 wersje śruby napędowej oraz 5 wersji steru płetwowego. Obliczenia oporu, prędkości strumienia nadążającego, efektywności steru płetwowego oraz sprawności śruby napędowej wykonano za pomocą komputerowego programu FLUENT. Ostatecznie, dla najlepszego wariantu, udało się uzyskać sprawność napędową wyższą o 8,5% w stosunku do statku zbudowanego, a wartość wskaźnika EEDI obniżyć o 8%. Pełny opis wykonanych badań zamieszczono w [4], [5]÷[10].

Prędkość statku

Prędkość statku V_{ref} (we wzorze (3) jest to prędkość kontraktowa – na wodzie spokojnej) ma bardzo duży wpływ na wartość wskaźnika EEDI. Wprawdzie prędkość V_{ref} jest w mianowniku wzoru (3) to ponieważ moc napędu (która zależy od 3 potęgi V_{ref}) jest w liczniku, każde zmniejszenie prędkości V_{ref} skutkuje zmniejszeniem wartości EEDI [13].

Dla statku B 573, dla którego $V_{ref} = 14,5$ węzła, zmniejszenie tej prędkości o 1 węzeł powoduje zmniejszenie EEDI o 12%.

Zmniejszenie prędkości V_{ref} statku, poza wydłużeniem czasu rejsu powoduje także: pogorszenie właściwości manewrowych, szczególnie gdy statek, oprócz steru płetwowego nie posiada innych urządzeń np. tunelowych sterów strumieniowych, poważne zagrożenie bezpieczeństwa statku podczas pływania na fali sztormowej przeciwnej lub skośnej do kierunku ruchu statku.

Stąd też Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) wydała zalecenie, że ewentualne zmniejszenie prędkości statku ze względu na EEDI nie może doprowadzić do pogorszenia bezpieczeństwa statku.

Bardziej wydajne silniki napędowe, lepszej jakości paliwa

Producenci okrętowych silników napędowych od wielu lat doskonalą ich konstrukcje oraz podwyższają wydajność (zmniejszają zużycie paliwa na jednostkę mocy). Te zmiany są jednak bardzo małe i na podstawie dotychczasowych doświadczeń raczej nie należy spodziewać się dużej poprawy w tym zakresie w następnych latach. Także paliwa, bazujące na ropie naftowej, nie będą zawierały mniej węgla, gdyż każda poprawa jakości wywoła bardzo duży wzrost ich ceny, co w przypadku ogromnego ich zużycia do napędu statków

podnosiłoby bardzo koszty transportu. Stosowane na statkach głównie silniki wolnoobrotowe spalają najgorszej jakości paliwa, co wynika z chęci do obniżenia kosztów eksploatacji statku.

Stosowanie nowych technologii

Dotyczy to głównie projektu i wyposażenia całej siłowni i ma na celu np. lepsze odzyskiwanie ciepła odpadowego co może zmniejszyć zużycie paliwa dla innych odbiorów okrętowych niż napęd główny statku. W tym zakresie są jeszcze duże rezerwy.

Budowa większych statków (o większej nośności)

Od dawna wiadomo, że im większa nośność statku tym mniejszy jednostkowy koszt transportu, a także łatwiej przy dużych statkach zmniejszyć wartość wskaźnika EEDI. W historii transportu morskiego, największe były budowane zbiornikowce i masowce a ostatnio kontenerowce. Jednak bardzo duże statki wymagają odpowiednio dużych portów. Liczba takich portów i ich lokalizacja na świecie jest ograniczona i stąd nie należy się spodziewać, że będzie bardzo rosła liczba dużych statków.

Optymalizacja trasy żeglugi

Przez optymalizację trasy żeglugi statku, szczególnie w trudnych warunkach pogodowych, można zmniejszyć zużycie paliwa a tym samym emisję CO₂. Poprzez optymalizację trasy żeglugi można także zwiększyć wartość współczynnika f_w (mianownik wzoru (3)) co też korzystnie wpływa na wartość EEDI – wyniki takich badań przedstawiono w [11]. Jednak aktualna procedura określania EEDI i przyznawania certyfikatu energetycznego statku nie przewiduje uwzględnienia optymalizacji trasy żeglugi w ustalaniu wartości EEDI.

PODSUMOWANIE

Wskaźnik EEDI, który wprawdzie ma obowiązywać od 2013 roku, wymaga jeszcze pewnej dyskusji, aby uzyskanie Certyfikatu dla nowego statku nie odbywało się poprzez pogorszenie bezpieczeństwa lub też wykorzystywanie w sposób nieuczciwy pewnych nieścisłości.

Spełnienie norm dotyczących emisji CO₂ dla obecnie projektowanych i budowanych statków oraz uzyskanie Certyfikatu nie jest trudne.

Spełnienie norm dotyczących emisji CO₂ w latach następnych będzie już trudniejsze i będzie wymagało zdecydowanie lepszych projektów statku w zakresie właściwości oporowo-napędowych jak i w zakresie silników napędowych i całej gospodarki energetycznej na statku.

Jest kilka potencjalnych możliwości doskonalenia kadłuba statku i jego napędu w celu spełnienia w przyszłości norm na emisję CO₂.

W zakresie silników okrętowych i paliw stosowanych na statkach barierą do ich poprawy mogą być duże koszty eksploatacji.

Nie wymagają dużych kosztów prace związane z doskonaleniem projektu kształtu kadłuba statku, śruby napędowej i steru płetwowego mające na celu zmniejszenie oporu i podwyższenie sprawności napędowej.

Niektóre możliwości obniżenia emisji CO₂ w trakcie eksploatacji statku nie mają obecnie praktycznego znaczenia na uzyskanie certyfikatu energetycznego, ponieważ nie są ujęte we wzorze na EEDI.

ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI) – IS IT POSSIBLE TO REDUCE CO₂ EMISSION ON VESSELS

Abstract

Since 2013 onwards EEDI for newly built ships will become mandatory. Ships meeting the CO₂ emission standards will be granted International Energy Certificate necessary for exploitation. The article presents the current version of EEDI, certification procedure as well as reduction in CO₂ emission planned for subsequent years. The majority of ships currently in service, meet the CO₂ emission standards for 2012, however further reduction in these standards will require major changes in ship design. The article presents possible ways to reduce CO₂ emissions as well as sample calculations to estimate EEDI value reduction for a transport ship.

BIBLIOGRAFIA

1. GHG-WG 2/2/7 – *Consideration of the energy efficiency design index for new ships*, 2010.
2. MEPC.1/Circ.681 (2009) – *Interim Guidelines on the Method of Calculation of the Energy Efficiency Design Index for New Ship's*.
3. MEPC 62/24/Add. 1, Annex19, Resolution MEPC.203(62), 2011.
4. Raport końcowy z projektu badawczego rozwojowego nr 0430/R/2/T02/06/01: *Numeryczne badania współdziałania steru, śruby i rufy statku zmierzające do poprawy właściwości napędowych i manewrowych statku transportowego*, kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Tadeusz Szelangiewicz, Szczecin 2009.
5. Szelangiewicz, T., Abramowski, T., *Numerical analysis of influence of ship hull form modification on ship resistance and propulsion characteristics, Part I: Influence of hull form modification on ship resistance characteristics*, Polish Maritime Research, No. 4(62), Vol. 16, Gdańsk 2009, pp. 3 ÷ 8.
6. Szelangiewicz, T., Abramowski, T., *Numerical analysis of influence of ship hull form modification on ship resistance and propulsion characteristics, Part II: Influence of hull form modification on wake current behind the ship*, Polish Maritime Research, No. 1(63), Vol. 17, Gdańsk 2010, pp. 3 ÷ 9.
7. Szelangiewicz, T., Abramowski, T., Żelazny, K., *Numerical analysis of influence of ship hull form modification on ship resistance and propulsion characteristics, Part III: Influence of modifications on screw propeller efficiency*, Polish Maritime Research, No. 1(63), Vol. 17, Gdańsk 2010, pp. 10 ÷ 13.
8. Szelangiewicz T., Abramowski T., Handke: *Numerical analysis influence of streamline rudder on screw propeller efficiency*, Polish Maritime Research, No. 2(65), Vol. 17, Gdańsk 2010, pp. 18 ÷ 22.
9. Szelangiewicz, T., Abramowski, T. *Numerical analysis of influence of selected elements on effectiveness of streamline rudder*, Polish Maritime Research, No. 3(66), Vol. 17, Gdańsk 2010, pp. 3 ÷ 7.
10. Szelangiewicz, T., Abramowski, T., Żelazny, K., *Numerical analysis of effect of asymmetric stern of ship on its screw propeller efficiency*, Polish Maritime Research, No. 4(67), Vol. 17, Gdańsk 2010, pp. 13 ÷ 16.
11. Szelangiewicz, T., Żelazny, K., *Calculation method of the f_w coefficient – decrease in a ship speed according to the EEDI formula*, 5th International Conference on Maritime Transport, Technological Innovations and Research, Barcelona 2012.

12. Yoshi Ozaki, John Larkin, Kirsi Tikka, Keith Michel, *An Evaluation of the Energy Efficiency Design Index (EEDI) Baseline for Tankers, Containership, and LNG Carriers*, ABS 2010.
13. Yoshi Ozaki, John Larkin, Kirsi Tikka, Keith Michel, *Influence of Design Parameters on the Energy Efficiency Design Index (EEDI)*, ABS 2010.

Autorzy:

prof. dr hab. inż. Tadeusz SZELANGIEWICZ – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

dr inż. Katarzyna ŻELAZNY – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie