

UWAGI DO EKSPLOATACYJNEGO WSKAŹNIKA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ STATKU

W artykule omówiono powody, dla których wyznacza się eksploatacyjny wskaźnik efektywności energetycznej statku. Podano jego definicję i określono, jakie dane wejściowe muszą być znane, aby można go było wyliczyć. Wskazano, jaki aspekt bierze się pod uwagę, przy wyznaczaniu tego wskaźnika. Podano możliwości obniżenia wartości tego wskaźnika, uzasadniając, które z nich mogą zostać zrealizowane w warunkach eksploatacji statku. Zgłoszone uwagi są oceną wartości porównawczej wskaźnika EEOI w stosunku do oszacowanej wartości tego wskaźnika uzyskanego w fazie projektowej statku EEDI. Ponadto są oceną jakości wskaźnika EEOI – tzn. jaką przedstawia wartość informacyjną.

WSTĘP

Międzynarodowa Organizacja Morska (International Maritime Organization - IMO) zaleciła, aby na wszystkich statkach konwencyjnych (o pojemności brutto powyżej 400) z dniem 1 stycznia 2013 roku, stosować procedury ograniczające emisję dwutlenku węgla (CO₂), które zawarto w przygotowanym wcześniej przez armatorów planie zarządzania efektywnością energetyczną statków (Ship Energy Efficiency Management Plan - SEEMP) [1,8,9].

Głównym źródłem emisji dwutlenku węgla na statkach jest spalanie paliw zawierających pierwiastek węgla.

Podstawowym rozwiązaniem powodującym zmniejszenie emisji dwutlenku węgla jest stosowanie paliw niezawierających węgla lub o jego niskiej zawartości. Jest to jednak niemożliwe do realizacji, stosowane paliwa okrętowe (Tab.1; Podano również wskaźnik emisji CO₂ na ilość spalonego paliwa - c_F.) zawierają jako główny składnik węgla.

Tab. 1. Zawartość węgla w paliwach żeglugowych oraz wskaźnik emisji dwutlenku węgla c_F [5]

Rodzaj paliwa żeglugowego	Odniesienie	Zawartość węgla (uśredniona)	Wskaźnik emisji CO ₂ - c _F [kg CO ₂ /kg paliwa]
Paliwo destylacyjne lub gazowe	ISO 8217, od DMX do DMB	0,8744	3,206
Paliwo pozostałościowe lekkie	ISO 8217, od RMA do RMD	0,8594	3,151
Paliwo pozostałościowe ciężkie	ISO 8217, od RME do RMK	0,8493	3,1144
LPG	Propan	0,8182	3,000
LPG	Butan	0,8284	3,030
LNG, CNG, metan	Metan	0,7500	2,750

Należy zastosować drugą podstawową metodę - zmniejszenie zużycia paliwa przez elementy okrętowego układu energetycznego. Można to uzyskać poprzez:

- zmniejszenie zapotrzebowania na energię mechaniczną ze strony układu napędowego statku, odbiorników energii elektrycznej i energii cieplnej;
- stosowanie urządzeń energetycznych o wysokiej sprawności oraz utrzymywanie ich dobrego stanu technicznego podczas eksploatacji;

- wykorzystanie układów odzyskujących energię odpadową (układy głębokiej utylizacji ciepła strat);
- zmniejszenie prędkości eksploatacyjnej statku (powoduje jednak wydłużenie czasu trwania rejsu, powstają dodatkowe koszty eksploatacji statku i koszty załogi).

1. WSKAŹNIK EKSPLOATACYJNY EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ STATKU

Wskaźnik eksploatacyjny efektywności energetycznej statku (Energy Efficiency Operational Indicator - EEOI) określa się dla statku po zakończonej podróży. Należy wyznaczyć ilość zużytych paliw w czasie podróży przez wszystkie urządzenia energetyczne na statku, drogę, którą statek pokonał oraz efekty przewozowe (ilość ładunku w tonach, liczba kontenerów TEU, liczba pasażerów itp. w zależności od typu statku). Ogólnie, należy wyznaczyć, ilość wyemitowanego dwutlenku węgla w wyniku przewiezienia tony ładunku na odległość jednego kilometra lub mili morskiej (np. [g CO₂/tona*km]) [6,7,9]. Przykładowy wzór na wyznaczenie wskaźnika EEOI:

$EEOI = [\text{ilość zużytego paliwa} * c_F / (\text{masa ładunku} * \text{długość trasy})]$.

Obliczony eksploatacyjny wskaźnik efektywności energetycznej statku określa efektywność wykorzystania statku do przewozu ładunku wraz z odpowiednim wykorzystaniem okrętowych urządzeń energetycznych [2,3,4]. Cel do osiągnięcia: minimalizacja wartości tego wskaźnika.

Na wartość osiągniętego wskaźnika ma wpływ wiele czynników, często niezależnych od załogi i armatora, m.in.:

- Wykorzystanie zdolności przewozowej statku zależne od koniunktury na rynku, dostępności towaru itp.;
- Przestoje statku w oczekiwaniu na ładunek i opóźnienia w jego załadunku i rozładunku;
- Warunki pogodowe, w tym konieczność zmiany trasy podróży (ominięcie obszarów sztormowych);
- Przejście przez obszary o zagrożeniu pirackim lub terrorystycznym.

Należy jednak podjąć działania możliwe do wykonania przez załogę statku i armatora, aby minimalizować wartość tego wskaźnika.

2. PRZYKŁADY DZIAŁAŃ ZAŁOGI STATKU MAJĄCE WPŁYW NA WARTOŚĆ WSKAŹNIKA EEOI

Załoga statku ze względu na możliwość podejmowania końcowych decyzji odnośnie rzeczywistej trasy rejsu, prędkości statku, stanu kadłuba, sposobu załadowania i rozmieszczenia ładunku, ilości wód balastowych (czyli zanurzenia statku i jego trymu), wykorzystania elementów układu energetycznego statku, rodzaju spalnego paliwa, podziału obciążeń między elementy układu energetycznego pracujących równolegle itd., ma istotny wpływ na końcową wartość wskaźnika EEOI [1,5,10].

Oznacza to możliwość racjonalizacji wykorzystania środka transportowego jakim jest statek.

Wskazane jest podjęcie działań przez załogę statku jeszcze przed rozpoczęciem podróży. Planowanie rejsu winno obejmować szereg czynności, m.in.:

- Optymalizacja trasy rejsu z wykorzystaniem pływów, prądów morskich, kierunku wiatru, które zwiększą uzyskiwaną prędkość statku;
- Uwzględnienie dokładnej prognozy pogody, wykorzystanie dobrych warunków pogodowych w czasie planowanego rejsu;
- Dobre warunki pogodowe umożliwiają bezpieczną żeglugę przy mniejszej wysokości metacentrycznej, co pozwala na uzyskanie mniejszego zanurzenia w wyniku mniejszego dobalastowania statku;
- Właściwe rozmieszczenie ładunku winno zapewnić odpowiedni trym statku, co pozwoli na zmniejszenie oporu całkowitego kadłuba;
- Rozważyć potrzebę oczyszczenia podwodnej części kadłuba i śruby napędowej (np. przez nurka) w celu zmniejszenia oporu kadłuba;
- Okresy przechodzenia na paliwa ciężkie i z powrotem na paliwa niskosiarkowe lub lekkie, aby ograniczyć czas pracy na droższych gatunkach paliw;
- Oszacować wymaganą średnią prędkość statku w czasie rejsu, a następnie zmodyfikować prędkość statku na poszczególnych odcinkach, aby zachować planowany czas podróży morskiej przy zmniejszeniu sumarycznego zużycia paliwa;
- Wykorzystać postój statku w porcie w czasie za- lub rozładunku, aby w tym czasie przeprowadzić bunkrowanie. Pozwoli to na wydłużenie dopuszczalnego czasu rejsu, a zarazem zmniejszy średnią prędkość statku i zużycie paliwa;
- Dopłynięcie do portu przeznaczenia w czasie, w którym ryzyko postoju lub przestoju będzie najmniejsze;
- Przygotować i wykonać wszystkie operacje na statku, aby dopływając do portu przeznaczenia, statek był gotowy do operacji ładunkowych;
- Potwierdzać z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym wejście do portu, potrzebę skorzystania z usług pilotowych lub holowniczych;
- Upewnić się w czasie podróży, czy w planowanym czasie będzie możliwe wejście do portu, do właściwego nabrzeża;
- Ograniczać liczbę przeholowań w porcie. Dodatkowe manewry, zmiany położenia statku przerywają operacje przeładunkowe i wydłużają czas pobytu w porcie;
- Uwzględnić informacje o rozkładzie dni pracy w danym porcie, aby ograniczyć ryzyko postoju w czasie dni wolnych, świąt a nawet planowanych strajkach;
- Utrzymywać statek w dobrym stanie technicznym, z uwzględnieniem wymagań administracji morskiej w danym porcie, aby ograniczyć ryzyko, że w czasie inspekcji inspektorów Państwa Portu (Port State Control – PSC) dojdzie do wykrycia zaniedbań, których usunięcie będzie skutkowało zatrzymaniem statku w porcie;

- Wyznaczyć konieczną ilość paliwa i innych mediów (np. wody pitnej), aby z marginesem bezpieczeństwa dopłynąć do portu przeznaczenia, nie posiadając zbyt dużych zapasów.

Należy rozpocząć podróż w planowanym czasie i starać się zachować przyjęte założenia na czas rejsu. Przyjęty plan podróży może ulegać modyfikacji wraz z dodatkowymi uzyskanymi informacjami w czasie rejsu (aktualizować założenia przyjęte w czasie planowania). Wymagana jest pełna współpraca między działem pokładowym a maszynowym, w szczególności między kapitanem, a starszym mechanikiem.

Zapewnić wymagane zapotrzebowanie na poszczególne rodzaje energii, ale pracujące urządzenia energetyczne winny pracować na obciążeniach, które zapewniają ich największą sprawność, czyli najmniejsze jednostkowe zużycie paliwa. Zapewnić bezpieczny zapas mocy elektrycznej w prądnicach w celu ograniczenia ryzyka zaniku napięcia w okrętowej sieci elektroenergetycznej. W miarę możliwości korzystać z prądnic podwieszonych do wału silnika głównego lub prądnic wałowych. Silnik o większej mocy jest najczęściej silnikiem o większej sprawności. Dociążenie silnika głównego może być korzystne. Może pracować na obciążeniach 80-90% mocy nominalnej, co zapewnia jego największą sprawność. Dodatkowo dociążenie stałym poborem mocy przez prądnicę często stabilizuje jego sumaryczne obciążenie.

Podstawowym zadaniem załogi statku jest ograniczanie zapotrzebowania na energię, czyli oszczędzanie. Dotyczy to również działań związanych ze zmniejszeniem oporów kadłuba. Niewłaściwa obsługa steru (zbyt duże wychylenia steru powodujące myśkowanie statku) powoduje nie tylko wydłużenie drogi statku, ale wzrost oporów kadłuba. Tylko z tego powodu zwiększa się obciążenie silnika głównego, obniżając zarazem prędkość statku od 0,5 do 2 węzłów. Po wszechnie korzysta się z usług tzw. automatycznego pilota, ale warto zadbać o jego poprawną regulację.

W obszarach morskich o dużym natężeniu ruchu konieczna będzie niekiedy korekta prędkości statku (w celu zmniejszenia ryzyka ruchu kolizyjnego), aby w odpowiedniej odległości mogło dojść do minięcia się statków, wyprzedzenia, przepuszczenia statku z pierwszeństwem drogi itd. Należy manewry statkiem prowadzić w sposób czytelny dla innych statków, z zachowaniem zasad bezpieczeństwa. W sytuacjach wątpliwych należy wywołać drogą radiową statek, co do którego zachowań mamy niejasności, uściślić i uzgodnić wspólne zachowanie. Im korekta prędkości i/lub drogi będzie mniejsza, tym mniej czasu stracimy na dodatkowe manewry.

Większość ważnych urządzeń dla bezpieczeństwa statku jest dublowana (w niektórych przypadkach występują nawet rozwiązania potrójne). W warunkach normalnej eksploatacji statku winno pracować tylko jedno z nich, np. tylko jedna pompa hydrauliczna maszyny sterowej. Urządzenie zapasowe jest wyłączone, ale zostawia się je w pozycji gotowości, z możliwością najczęściej automatycznego załączenia. Utrzymywanie pracy urządzeń nadmiarowych generuje dodatkowe zapotrzebowanie na energię nie podnosząc w sposób istotny poziomu bezpieczeństwa eksploatacji statku.

Najwięcej możliwych do podjęcia działań w celu ograniczenia zużycia paliwa (i zmniejszenia wartości wskaźnika EEOI) ma załoga maszynowa. Przykładowe działania, które winna ona rozważyć, ocenić skutki i je podjąć:

- Wybór rodzaju paliwa dostarczanego bezpośrednio do urządzeń energetycznych. Zasadniczo będzie to wybór paliwa najtańszego, o ile można je używać na danym obszarze morza. Zalecenia armatora, które obniżają koszty eksploatacji statku (w tym przypadku paliwa), są spełniane w pierwszej kolejności. Często prowadzi to również do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla, ale jest to efekt wtórny.

- Stany awaryjne układów energetycznych wymuszają działania ograniczające pobór energii. Ze względów bezpieczeństwa statku i załogi jest to sytuacja zaliczana do awaryjnych, ale z punktu widzenia wartości wskaźnika EEOI może to być korzystne.
 - Wytwarzanie energii winno odbywać się w urządzeniach, które są w dobrym stanie technicznym. Rodzaj i liczba pracujących urządzeń winna być odpowiednia do zapotrzebowania na energię, aby pracowały one na obciążeniach ekonomicznych.
 - Na statkach spotyka się coraz bardziej rozbudowane układy, które mają możliwości odzyskiwania (utylizacji) energii odpadowej. Dotyczy to głównie energii zawartej w spalinach z silników głównych i pomocniczych, energii cieplnej uzyskanej w wyniku chłodzenia powietrza doładowującego, wody chłodzącej silniki oraz olejów smarowych. Energię odpadową odzyskuje się w kotłach utylizacyjnych produkując parę grzewczą i/lub parę energetyczną na turbopoprężnice, stosuje się niekiedy turbiny gazowe mocy (utylicacyjne na spaliny z silników wysokoprężnych), wytwarza się wodę techniczną (jako destylat z wody morskiej) w wyparownikach korzystając z energii cieplnej z układów chłodzenia silników, itd. W siłowniach dużej mocy (powyżej 40 MW) mogą być zainstalowane układy tzw. głębokiej utylizacji ciepła odpadowego. Powstaje szereg dodatkowych problemów dla załogi maszynowej. Większość urządzeń utylizacyjnych można uruchomić dopiero po zakończeniu manewrów wyjścia z portu (z wód przybrzeżnych) kiedy ustabilizują się obciążenia na silniku głównym. Wymaga to szeregu dodatkowych czynności obsługowych, na które ograniczona liczebnie załoga maszynowa może nie mieć czasu.
 - Jeśli statek przebywa w obszarach o kontrolowanej emisji szkodliwych substancji do atmosfery z silników okrętowych (obszary ECA) w pierwszej kolejności muszą być spełnione wymagania pozwalające na przebywanie statku w tych strefach np. przejście na paliwa niskosiarkowe, uruchomienie płuczek spalin itd. Dopiero w drugiej kolejności podejmuje się działania (o ile są możliwości techniczne i czasowe) związane z odzyskiwaniem ciepła odpadowego.
 - Uruchomienie niektórych systemów może odbywać się po konsultacjach kapitana i starszego mechanika, np. systemu klimatyzacji na statku. Ze względu na jego energochłonność mogą być one załączane dopiero po uzyskaniu zgody. W czasie pracy systemu klimatyzacji należy przestrzegać szeregu zasad ograniczających obciążenie tego układu, np. zamknięcie okien, bulajów i drzwi zewnętrznych na statku.
 - Podział obciążenia między urządzenia energetyczne pracujące równolegle winien zapewniać ich właściwe obciążenia, który zapewni m.in. ich minimalne sumaryczne zużycie paliwa.
- Ogólnie można powiedzieć, że załoga maszynowa winna zapewnić pracę odpowiednich urządzeń energetycznych dostarczających wymagane ilości poszczególnych rodzajów energii, przy minimalnym sumarycznym zużyciu paliwa. Mniejsze zużycia paliwa przekłada się na mniejszą emisję dwutlenku węgla do atmosfery.

3. MOŻLIWE DZIAŁANIA ARMATORA LUB CZARTERUJĄCEGO

Armator lub czarterujący winien być zainteresowany optymalizacją kosztów eksploatacji statku. Koszty paliwa stanowią ponad 50% kosztów ogólnych. Oznacza to duże zainteresowanie sposobami i metodami mogącymi skutkować obniżeniem zużycia paliwa przez urządzenia energetyczne na statku. Osobą, która winna współpracować z załogą statku w tych sprawach, jest inspektor techniczny (intendant, superintendent) armatora. Wskazane jest, aby była to osoba

o wykształceniu technicznym, najlepiej starszy oficer mechanik okrętowy lub kapitan. Pozwala to na określenie metod eksploatacji statku skutkujących jego poprawną eksploatacją, zachowaniem dobrego stanu technicznego (poprzez dbałość o przeprowadzanie wymaganych przeglądów, napraw, sprawne i szybkie usuwanie uszkodzeń, co wymaga dostępu do części zamiennych). Można wypracować procedury, które będą umożliwiały bezbłędne (bez naruszania procedur) i sprawne ich wykonanie, co ujednolici stosowane metody na statkach danego armatora i przypisze zakres obowiązków poszczególnym członkom załogi statku [1,2,5].

Do inspektora technicznego spływają raporty (obecnie najczęściej już codziennie) z eksploatacji statku, w tym zużycia paliwa, środków smarnych i innych. W rezultacie armator na bieżąco zna sytuację na statku. Ponadto zgodnie z kodeksem bezpiecznego zarządzania statkiem (kodeks ISM), armator musi desygnować osobę z biura armatora, która będzie miała łączność całodobową ze statkiem, będzie dostępna 24 godziny na dobę i w razie potrzeby będzie pośredniczyła w imieniu armatora w poszukiwaniu osoby lub serwisu, która będzie mogła udzielić informacji lub wejść na statek w celu udzielenia mu pomocy.

Najprostszym sposobem zmniejszenia wartości wskaźnika EEOI jest obniżenie wymaganej prędkości statku, poniżej określonej w projekcie statku prędkości eksploatacyjnej. Powoduje to wydłużenie czasu trwania rejsu i zwiększenie wielu innych kosztów. Przy typowych kadłubach statków handlowych (pływanie wypornościowe) zapotrzebowanie na moc silnika głównego aproksymuje się wg wzoru charakterystyki śrubowej:

$$N_{SG} = k \times v_{statku}^x \quad (1)$$

przy czym:

- N_{SG} - moc silnika głównego;
- k - współczynnik proporcjonalności;
- v_{statku} - prędkość statku;
- x - wykładnik potęgi w równaniu (1).

Wykładnik potęgi x w równaniu przyjmuje wartości z przedziału (2,7÷4,5). Dla analiz wstępnych przyjmuje się powszechnie, że: $x = 3$.

Z podanej zależności wynika, że w wyniku zmniejszenia prędkości statku o 20% tj. gdy:

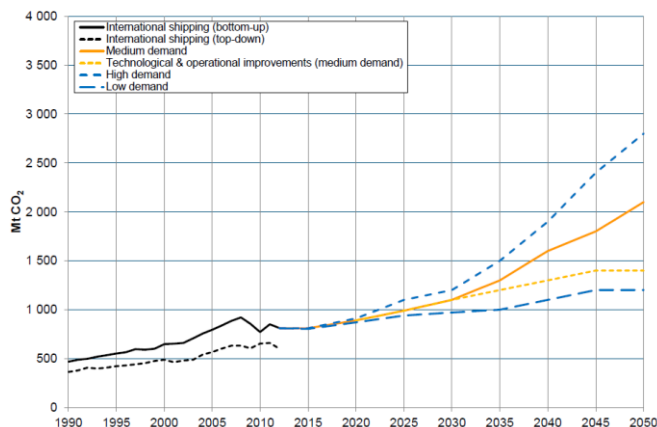
$$v_{statku1} = 0,8 \times v_{statku} \quad (2)$$

moc pobierana z silnika głównego obniży się do 51,2%. Spowoduje to zarazem wydłużenie czasu pokonania danej trasy o 25%. Przy podanej zmniejszonej prędkości statku sprawność ogólna napędu nie ulegnie istotnej zmianie (ulegnie nieznacznemu pogorszeniu). Z wielu względów nie należy pracować na obciążeniu silnika głównego poniżej 50% obciążenia nominalnego. Oznacza to ograniczenie możliwości obniżenia prędkości statku poniżej pewnej wartości (szacunkowo 80% prędkości eksploatacyjnej) Można przyjąć, że zużycie paliwa będzie proporcjonalne do obciążenia silnika głównego i czasu jego pracy. Pozwala to oszacować, że na pokonanie tej samej drogi przez statek, przy mniejszej prędkości zużyje on około 64% paliwa w stosunku do prędkości początkowej ($51,2\% \times 1,25 = 64\%$). Oznacza to, że eksploatacyjny wskaźnik efektywności energetycznej statku EEOI, zmniejszy się również o około 36% (w rozważaniach pominięto zmianę zużycia paliwa przez inne urządzenia energetyczne na statku, które można uznać, że ulegnie zwiększeniu proporcjonalnemu do wydłużenia czasu podróży). Ze względu na udział zapotrzebowania energii mechanicznej do napędu statku na poziomie 70-85%

całkowitego zapotrzebowania na wszystkie rodzaje energii, przyjmując, że udział ten wynosi 75%, natomiast zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepłą jest stałe (bez uwzględniania możliwej utylizacji ciepła odpadowego), zmniejszenie wskaźnika EEOI wyniesie około 27% ($36\% \times 75\% = 27\%$).

4. POZIOM EMISJI DWUTLENKU WĘGLA ZE STATKÓW

Poziom emisji dwutlenku węgla ze statków stanowi około 3% emisji światowej. W ciągu ostatnich 20 lat wzrost globalny emisji wyniósł średnio ok. 1,3% rocznie, natomiast ze statków wzrost wyniósł ok. 3%. Oznacza to wzrost udziału emisji dwutlenku węgla z żeglugi. Szacuje się, że osiągnie on co najmniej udział 5% w 2050 roku i wzrośnie o ok. 150% (Rys.1 – medium demand).



Rys. 1. Emisja globalna dwutlenku węgla (w Megatonach CO₂) z żeglugi wraz z prognozami emisji do roku 2050 [2]

Ze względu na działania rządów i organizacji międzynarodowych mających na celu ograniczenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery jako gazu cieplarnianego, powodującego podnoszenie się średniej temperatury na Ziemi i poważne zmiany klimatyczne, problem emisji CO₂ dotyczy również żeglugi. Należy spodziewać się dalszych działań organizacji międzynarodowych jak: Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) czy Europejska Agencja Bezpieczeństwa Morskiego (EMSA), które będą prowadzić do ograniczania poziomu emisji CO₂ ze statków poprzez międzynarodowe konwencje (np. załącznik VI Międzynarodowej konwencji o zapobieganiu zanieczyszczenia morza przez statki – MARPOL 73/78, ogranicza ilość emitowanych szkodliwych substancji do atmosfery z silników, może w przyszłości służyć ograniczaniu emisji CO₂). Komisja Europejska zobowiązała się do publikowania rocznych raportów (od 2018 roku) na temat emisji gazów cieplarnianych w sektorze transportu morskiego i dokonywać oceny pod kątem efektywności energetycznej urządzeń okrętowych i wpływu na zmiany klimatu.

5. MOŻLIWOŚCI ISTOTNEGO ZMNIEJSZENIA POZIOMU EMISJI CO₂ Z TRANSPORTU MORSKIEGO

Podstawowym sposobem zmniejszenia emisji CO₂ jest przejście na paliwa niezawierające węgla, np. wodór, energia cieplna reakcji jądrowych. Ze względu na szereg niedogodności (wad) te źródła energii do napędu statków nie upowszechnią się w najbliższym czasie.

Kolejnym jest stosowanie paliw o niższej zawartości węgla, np. metanu (w postaci LNG lub CNG) (Tab.1), które charakteryzują się większą wartością opałową. Uwzględnienie mniejszej zawartości węgla (około 88%) i większej wartości opałowej metanu (około 130%) w stosunku do paliw ciężkich powoduje, że emisja CO₂ przy spalaniu

metanu zmniejszy się do około 67,7%. Oznacza to zmniejszenie emisji o około 1/3. Dostępne są już od wielu lat silniki okrętowe przystosowane do spalania paliw ciekłych i gazowych. Występuje jednak szereg problemów w upowszechnieniu ich stosowania lub przejściu tylko na paliwa gazowe.

Podjęto próby wspomagania napędu głównego statku poprzez wypuszczenie na linie żagla jako latawca (ang. skysails) (Rys.2). Przy korzystnych kierunkach wiatru i odpowiednio umieszczonym żaglu można zmniejszyć obciążenie silnika głównego (a zarazem zużycie paliwa) o 5-15%.



Rys.2. Wspomaganie napędu statku żaglami w postaci latawców [źródło: <http://www.skysails.info/english/skysails-marine/skysails-propulsion-for-cargo-ships/>]

Stosowanie ogniw (paneli) słonecznych na statku w celu wytwarzania energii elektrycznej, a w rezultacie zmniejszenie ilości energii elektrycznej wytwarzanej w tradycyjny sposób, stanowi pole do popisu dla projektanta współczesnych statków handlowych (Rys.3).



Rys.3. Wykorzystanie paneli słonecznych i żagla do zmniejszenia zapotrzebowania na energię przez statek [źródło: <https://forums.sufficientvelocity.com/threads/sailing-ships-for-the-information-age-environmentally-friendly-transport-methods.22161/>]

Stosowanie paneli słonecznych wytwarzających energię elektryczną na potrzeby łodzi lub jachtów jest już często podejmowane. Zbudowano i sprawdzono w działaniu samolot i łódź z taką formą pozyskiwania energii, które okrążyły Ziemię korzystając tylko z energii słonecznej.

Można planować wykorzystanie korzystnych dla kursu statku prądów i pływów morskich. Ma to istotne znaczenie w sytuacji, w której kierunek pływów lub prądów ulega zmianie (odwróceniu). Wejście na dany akwen morski może w nieodpowiednim czasie zmniejszać prędkość statku, we właściwym go zwiększać. Przy prędkości prądów 0,5-3 węzłów i prędkości statku 15 węzłów, stanowi to zmianę prędkości statku od 3 do 20%, zmianę obciążenia silnika głównego i zmianę zużycia paliwa.

6. INNE PROPOZYCJE ZMNIEJSZENIA POZIOMU EMISJI CO₂ Z TRANSPORTU MORSKIEGO

Poszukuje się różnych metod i sposobów, które pozwolą na zmniejszenie zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla z transportu morskiego.

Można wyróżnić następujące działania:

- Optymalizację kształtu kadłuba w celu zmniejszenia sumarycznego oporu. Ograniczenie zanurzenia statku T i jego szerokości B poprzez zwiększenie jego długości L skutkuje zmniejszeniem oporu kadłuba (mniejszy przekrój poprzeczny statku na owężu poniżej linii wodnej proporcjonalny do iloczynu $B \times T$).
- Stosowanie gruszek dziobowych i innych elementów zmniejszających opór falowy kadłuba;
- Stosowanie dysz na kadłubie poniżej linii wodnej przez które wpływa sprężone powietrze. Powoduje to zmniejszenie gęstości ośrodka wokół kadłuba, a w rezultacie zmniejszenie oporu tarcia kadłuba (ogólnie oporu hydrodynamicznego);
- Stosowanie skutecznych farb antyporostowych na podwodną część kadłuba statku. Niestety skuteczna farba antyporostowa stwarza zagrożenie dla środowiska morskiego. Większość znanych skutecznych związków (np. związki organiczne cyny) zostały prawnie zakazane do stosowania. Po pewnym czasie nowe związki chemiczne wprowadzone do farb o działaniu antyporostowym trafiają na listę zakazanych do ich stosowania. Pozostaje wspomniana już kłopotliwa i czasochłonna metoda mechanicznego oczyszczania kadłuba;
- Zwiększenie wielkości kadłuba powoduje zwiększenie zdolności przewozowej statku. Znacznie wolniej wzrasta (lub pozostaje bez zmian) minimalna liczba członków załogi statku, którzy mają posiadać minimalne (lecz określone przez administrację) kwalifikacje morskie zapewniające bezpieczną eksploatację tego statku w danym stanie technicznym, na określonym akwenu przy transporcie określonych ładunków. Znacznie wolniej w stosunku do wzrostu zdolności przewozowej wzrasta wymagana moc silnika głównego oraz zużycie paliwa (dobrym przykładem jest wzrost zdolności przewozowej kontenerowców). Powoduje to, że wskaźnik EEOI ulega zmniejszeniu. Uwzględniono to w regulacjach Międzynarodowej Organizacji Morskiej, które wymagają dla większych statków mniejszego projektowego wskaźnika efektywności energetycznej statku (EEDI) [5,6,11].

PODSUMOWANIE

Eksploatacyjny wskaźnik efektywności energetycznej statku EEOI może stać się głównym parametrem porównawczym służącym do oceny poprawności eksploatacji statku jako środka transportu i potwierdzającym wykorzystanie wszystkich dostępnych metod na statku w celu ograniczenia tego wskaźnika po wykonaniu działań korekcyjnych.

Wykazano, że wpływ na niego może mieć wiele czynników zewnętrznych niezależnych od działań załogi i armatora.

Dominujący wpływ na możliwą do osiągnięcia wartość EEOI ma planowana prędkość statku. Nie można jednak bazować tylko na tej metodzie mającej wiele dodatkowych wad.

Parametrem porównawczym może być przygotowany w fazie projektowej statku projektowy wskaźnik efektywności energetycznej statku EEDI. Uwzględnia on szereg ważnych parametrów, m.in. typ i wielkość statku, typ i rodzaj urządzeń energetycznych, rejon pływania itd. [5]. Porównując wskaźnik EEOI do wskaźnika EEDI mamy punkt odniesienia. Po uwzględnieniu czynników zewnętrznych (korekcji wpływu) można dokonać oceny działań załogi i armatora pod kątem

zmniejszenia sumarycznego zużycia paliwa (energii pierwotnej) i osiągniętej wartości wskaźnika EEOI.

Minimalizacja wskaźnika EEOI nie może być jednak głównym celem działań załogi i armatora, a efektem innych wymaganych działań, które powodują jego obniżenie.

BIBLIOGRAFIA

1. Jurdziński M., *Planowanie efektywności energetycznej statków morskich*, Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, nr 28, str. 5-10, Gdynia 2013.
2. *Understanding the Energy Efficiency Operational Indicator*, UCL Energy Institute, Final Report and Appendices, Royal Belgium Shipowners' Association, May 2015.
3. Acomi N., i inni, *The Energy Efficiency Operational Index- An instrument for the marine pollution control*, Recent Advances in Energy, Environment, Economics and Technological Innovation, str. 177-180, DECO, Paryż, 2013.
4. Acomi N., Acomi O.C., *The influence of different types of marine fuel over the energy efficiency operational index*, Energy Procedia, 59 (2014), str. 243-248.
5. Herdzik J., *Modyfikacja wskaźników efektywności energetycznej statków różnych typów i konstrukcji*, Logistyka 6/2014, str. 706-711.
6. Herdzik J., *Remarks on Implementation of Ship Energy Efficiency Management Plan*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni 3/2014 str. 81-88.
7. IMO, *Guidelines for voluntary use of ship energy efficiency operational indicator, EEOI*, MEPC.1/Circ.684, 2009.
8. IMO, *Guidance for the development of a ship energy efficiency management plan, SEEMP*, MEPC 59/24/Add.1, Annex 19, 2012.
9. *Przepisy, Wytyczne dotyczące efektywności energetycznej statków*, Polski Rejestr Statków, Publikacja nr 103/P, 2014.
10. Elliot B., *The Energy Efficiency Operational Index and Voluntary Measures for Improving Energy Efficiency*, EMSA, 2009.
11. Szelangiewicz T., Żelazny K., *Poziom emisji CO₂ jako kryterium projektowe współczesnych statków transportowych*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport., 98/2013 str. 625-635.

Remarks about ship's energy efficiency operational indicator

Paper discussed the reasons for assigning the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) for ships. The definition of EEOI was determined and needed data for its calculating. It was indicated the aspects taken into consideration during its calculating. The possibilities for decreasing value of the indicator were passed with justification which ones may be realized during ship operation and exploitation process. Notified remarks are the assessment for comparison the EEOI with EEDI (Energy Efficiency Design Index). Additionally they are the assessment of its quality and what is the information value of EEOI.

Autorzy:

dr hab. inż. **Jerzy Herdzik** prof. nadzw. AM w Gdyni, starszy oficer mechanik okrętowy – Akademia Morska w Gdyni, Katedra Siłowni Okrętowych, j.herdzik@wm.am.gdynia.pl