

ELECTRIC POWER OF CONTEMPORARY CONTAINER VESSELS IN A PRELIMINARY STAGE

A. Charchalis, J. Krefft

Gdynia Maritime University
Faculty of Marine Engineering
Morska Street 83, 81-225 Gdynia
tel.: +48 58 6901347, fax +48 58 6901399
e-mail: achar@am.gdynia.pl

Abstract

Permanent growth of sea trade demand has contributed to strong expansion of container carriers [5, 6]. The number of the biggest capacity container carriers is growing along with the number of container vessels at sea. The increasing demand for small feeders and feeders with higher trade capacity, meaning more TEU on board and higher en route speed resulting from higher number of large capacity container carriers that will call at a few main seaports, is predictable. Such a developing way of contemporary container vessels have led to the need of research-developing activities with references to design and ship building process, and new view at the electric matters. Approximations in use to determine the container vessels electric power are not accurate any more for the contemporary container carriers. Revision of the electric power relations and searching for the new mathematical models let determine with an essential approximation the electric power demand for contemporary vessels.

The electric power calculations for the contemporary container carriers where the diesel and shaft generators have been used within whole range of container capacities, have been shown in the article. The electric power using multiple regression model has been calculated based on values collected in the container vessels data base. Different electric power relations have been determined for the container vessels with diesel and shaft generators and different for the ships with diesel generators only. Moreover, the diesel generators number and power have been discussed.

Keywords: contemporary ships, container vessels, TEU, multiple regression, electric power

MOC ELEKTRYCZNA SIŁOWNI WSPÓŁCZESNYCH KONTENEROWCÓW W WSTĘPNYM ETAPIE PROJEKTOWANIA

Streszczenie

Znaczący rozwój transportu morskiego doprowadził do silnego rozwoju statków przewożących kontenery [5, 6]. Wraz z progresywnie rosnącą liczbą nowych statków kontenerowych rośnie ich pojemność kontenerowa. Dla rozwoju dużych jednostek kontenerowych przewiduje się wzrost zapotrzebowania na tzw. szybkie dowozowe jednostki kontenerowe o większych niż dotychczas możliwościach przewozowych tj. większej liczbie kontenerów i większych prędkościach eksploatacyjnych. Taki kierunek rozwoju współczesnych kontenerowców doprowadził do potrzeby prowadzenia działań badawczo-rozwojowych w zakresie projektowania i budowy statków kontenerowych oraz konieczność innego spojrzenia na sprawy energetyczne tych jednostek. Stosowane do niedawna przybliżone zależności na określenie mocy elektrycznej kontenerowców coraz bardziej odbiegają od rzeczywistej mocy j instalowanej na współczesnych statkach kontenerowych. Weryfikacja zależności na dobór mocy elektrycznej oraz poszukiwanie nowych modeli matematycznych, pozwoli już we wstępnym etapie projektowania określić z dużym przybliżeniem zapotrzebowanie na moc elektryczną tych statków.

W referacie przedstawiono ocenę mocy elektrycznej współczesnych statków kontenerowych dla całego zakresu stosowanych pojemności kontenerowych, w których do wytworzenia energii elektrycznej wykorzystuje się spalinowe zespoły prądotwórcze oraz prądnice wałową. Moc ta została wyznaczona w oparciu o model regresji wielokrotnej na podstawie analizy parametrów zgromadzonych w formie bazy informacji o kontenerowcach. Przy wyznaczaniu zależności na moc elektryczną dokonano podziału na statki, w których do wytworzenia energii elektrycznej wykorzystywane były prądnice wałowe i spalinowe zespoły prądotwórcze oraz jednostki, w których moc elektryczna wytwarzana była tylko przez spalinowe zespoły prądotwórcze. Jako uzupełnienie rozpatrywanego zagadnienia przedstawiono kwestie, na które należy zwrócić uwagę dobierając liczbę i moc spalinowych zespołów prądotwórczych.

Słowa kluczowe: współczesne statki, kontenerowce, liczba kontenerów TEU, regresja wielokrotna, moc elektryczna

1. Wprowadzenie

Najniższy od lat poziom stawek frachtowych [13] dla kontenerowców oraz wysokie w ostatnich latach ceny paliw zmusiły armatorów statków do poszukiwania oszczędności. Jednym ze sposobów obniżania kosztów transportu drogą morską jest budowa kontenerowców o coraz większej nośności. Jednak do obsługi dużych jednostek kontenerowych potrzebne są małe i średnie statki kontenerowe, o większych, niż dotychczas, możliwościach przewozowych dochodzących do 2800 TEU. Prowadzi to do wzrostu zapotrzebowania na moc napędową i elektryczną kontenerowców przy stosowaniu jednocześnie coraz gorszych gatunków paliw.

Nowe wymagania dla statków kontenerowych powodują konieczność innego spojrzenia na sprawy energetyczne tych statków oraz potrzebę prowadzenia działań badawczo-rozwojowych w zakresie projektowania i budowy kontenerowców. Pomocne w tym zakresie może okazać się gromadzenie danych techniczno-eksploatacyjnych kontenerowców. Dysponując szeroką wiedzą parametryczną jednostek już zbudowanych, a także zależnościami tych parametrów można precyzyjniej określać jaki statek należy zbudować, w tym jaka powinna być wartość mocy elektrycznej siłowni przy odpowiedniej konfiguracji układu energetycznego.

Konieczność właściwego doboru mocy elektrycznej obiektów pływających oraz odpowiedniej konfiguracji układu energetycznego potwierdzają dane zaprezentowane w [4], z których wynika, że zespoły prądowców są eksploatowane przy częściowym obciążeniu na poziomie nawet 30-40% mocy znamionowej prądnicy. Co więcej, z praktyki wynika, że zmniejszenie liczby członków załogi na statkach kontenerowych nawet o 50% nie wpływa na zmianę zapotrzebowania na moc elektryczną. Skłania to do weryfikacji zależności na dobór mocy elektrycznej prezentowanych m. in. w [3, 9] i poszukiwania nowych metod, które pozwolą już we wstępnym etapie projektowania określić zapotrzebowanie na moc elektryczną współczesnych statków kontenerowych.

Metody oparte o modelowanie statystyczne wyznaczone dla określonego typu obiektów pływających, ich nośności (dla kontenerowców jest to liczba kontenerów dwudziestostopowych TEU) oraz wieku statku mogą wydać się bardzo skutecznym narzędziem przy określaniu mocy elektrycznej jednostki pływającej pod warunkiem ich okresowej weryfikacji.

2. Baza informacji o statkach kontenerowych

Właściwy dobór mocy elektrycznej i układu energetycznego statku, uwzględniający zagadnienia eksploatacyjne skłania do coraz szerszego wykorzystania danych rzeczywistych obiektu pływającego. Tworząc bazę informacji o zbudowanych już jednostkach pływających, traktując siłownię statku jako obiekt wieloparametryczny, może okazać się, że jest to właściwy sposób prowadzący do racjonalizacji etapu projektowania wstępnego.

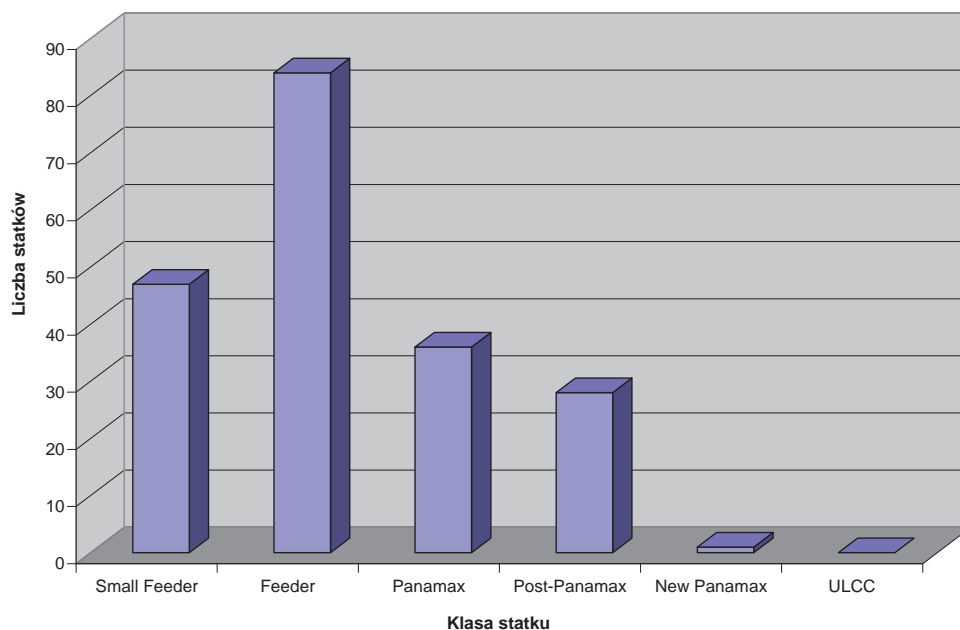
Dla oceny mocy elektrycznej kontenerowców dokonano zestawienia wybranych danych rzeczywistych w postaci bazy informacji, która obejmuje wszystkie klasy statków kontenerowych i której nie należy traktować jak listy statków podobnych w odróżnieniu do [7, 8].

Utrudnieniem przy tworzeniu takiej bazy informacji jest fakt, że w publikacjach krajowych i zagranicznych często brakuje podstawowych danych o liczbie członków załogi, mocy steru strumieniowego i in. Poza tym informacje zamieszczone w publikacjach nie powinny być przyjmowane bezkrytycznie, gdyż mogą stanowić formę reklamy firmy, być nieprecyzyjne i zawierać nieprawdziwe dane. Dodatkowo ograniczenia w trakcie budowy jednostki, wynikające choćby z możliwości technologicznych stoczni i kooperantów nie są powszechnie znane i publikowane razem z charakterystyką jednostki pływającej.

Zbudowana na podstawie [10, 11, 12, 16-18] baza danych składa się ze statków kontenerowych w całym zakresie ich pojemności. Statki te zostały wybudowane w latach 1992-2006 w Polsce i za granicą tj. Niemcy, Dania, Norwegia, Korea Południowa, Japonia, USA i in. Najmniejsza jednostka o nominalnej mocy elektrycznej na poziomie 460 kW posiada pojemność 205

kontenerów TEU. Baza została tak zbudowana, aby nie było w niej statków kontenerowych o nietypowych rozwiązaniach oraz jednostek do przewozu specjalistycznych ładunków. W sytuacji, gdy stocznia buduje kilkanaście takich samych jednostek, w bazie informacji jest tylko jeden przedstawiciel całej serii.

Udział liczbowy statków kontenerowych w stworzonej bazie informacji z podziałem na klasy został przedstawiony na Rys. 1. W strukturze bazy zawarte są zarówno jednostki z prądnicą wałową jak i te, w których do wytworzenia energii elektrycznej wykorzystuje się tylko spalinowe zespoły prądotwórcze.



Rys. 1. Struktura bazy danych z podziałem na klasy [10-12, 16-18]
Fig. 1. Data base structure with container carriers classification [10-12, 16-18]

Największy udział w bazie informacji stanowią małe i średnie kontenerowce. Dla statków o mniejszej nośności kontenerowej ograniczenia technologiczne stoczni i kooperantów oraz rejonu pływania budowanej jednostki praktycznie nie istnieją. Stąd uzasadnionym jest, że największy udział w bazie danych o kontenerowcach należy do jednostek o pojemności do 2800 TEU przeznaczonych dla przewozu ładunku przez kanał Kiloński i szlak morski St. Lawrence oraz statków do 5100 TEU dla podróży przez kanał Panamski. W klasach statków o wyższej pojemności ładunkowej np. New Panamax czyli od 10000 do 14500 jest tylko jedna jednostka, która zaprojektowana została do przewozu 11000 kontenerów dwudziestostopowych TEU. Statki tej klasy będą mogły przepływać przez Kanał Panamski dopiero w roku 2014 po ukończeniu budowy trzeciej śluzy. Statki z klasy Ultra Large Container Carrier ULCC nie mają swoich przedstawicieli w stworzonej bazie informacji o kontenerowcach z uwagi, iż jednostki tego typu są w fazie projektowania.

3. Ocena mocy elektrycznej

Zapotrzebowanie na moc elektryczną oceniane jest dla różnych stanów eksploatacyjnych statku, a mianowicie:

- statek w morzu,
- statek w morzu z kontenerami chłodzonymi,
- manewry z użyciem sterów strumieniowych,
- statek w porcie z prowadzonymi pracami wyładunkowymi,
- statek w porcie bez prowadzonych prac wyładunkowych.

Z przeanalizowanych, wybranych bilansów energetycznych statków kontenerowych [11] wynika, że największe obciążenie mocą elektryczną występuje w trakcie manewrów. W tym stanie eksploatacyjnym wytwarzanie energii za pomocą prądnicy wałowej jest ograniczone, a dodatkowo wzrasta zapotrzebowanie na energię elektryczną z tytułu bezpieczeństwa statku i otoczenia, pracy urządzeń manewrowych tj. wind cumowniczych i kotwicznych, zdublowanej pracy urządzeń sterowych itp. Przy założeniu, że statek posiada własne urządzenia wyładunkowe, a prądnica wałowa jest wyłączona, również w porcie istnieje znaczne zapotrzebowanie na energię elektryczną.

Przy sporządzaniu bilansu energetycznego statku kontenerowego istotne jest określenie wartości mocy elektrycznej kontenera chłodzonego. Według ogólnych zasad, dla dwudziesto i czterdziestostopowego kontenera chłodzonego przyjmuje się moc odpowiednio 8,6 kW i 12,6 kW. Przykład wyznaczania mocy dla czterdziestostopowego kontenera chłodzonego RU według zależności opracowanej przez Germanischer Lloyds [15] przedstawiono zależnością (1).

$$12,6 * kc * kj = ...kW, \quad (1)$$

Ze wzoru (1) wynika, że moc jednego kontenera chłodzonego, wyrażona w kW, zależy od rodzaju ładunku chłodzonego kc oraz współczynnika jednoczesności kj . Współczynnik kj wyraża liczbę pracujących jednocześnie kontenerów chłodzonych i często przyjmuje się go na poziomie 0,9. Przy założeniu, że 80% ładunku będzie stanowić produkt głęboko zmrożony a 20% ładunek chłodzony współczynnik $kc = 0,61$.

4. Metodyka i wyniki badań

Zależność na moc elektryczną statku kontenerowego wyznaczano dla dwóch rodzajów siłowni tj. kontenerowców z prądnicą wałową oraz statków, w których moc elektryczna wytwarzana jest tylko przy pomocy spalinowych zespołów prądotwórczych.

Wychodząc z założenia, że badane zmienne parametryczne kontenerowców mają rozkład normalny oraz opierając się na centralnym twierdzeniu granicznym, wyznaczono zależność na moc elektryczną kontenerowca korzystając z modelu regresji wielokrotnej. Do analizy statystycznej przyjęto model z wyrazem wolnym. Wyraz ten ujmuje parametry, które mogą mieć wpływ na ostateczną postać równania, a nie zostały uwzględnione w procesie modelowania statystycznego. Z uwagi na różne miana zmiennych niezależnych, oprócz poziomu istotności p , w analizie statystycznej przedstawiono również standaryzowany współczynnik regresji BETA dla każdej zmiennej niezależnej. Jako zmienne niezależne uwzględniano parametry tj. liczba kontenerów TEU, liczba kontenerów chłodzonych RU, prędkość statku, moc silnika głównego, liczba członków załogi (oficerowie i załoga podstawowa), moc steru strumieniowego oraz moc prądnicy wałowej.

Dla tych zmiennych dokonano podstawowej oceny, której główne kryterium stanowił poziom istotności p . Przyjęto, że wartość graniczna $p \leq 0,05$. Poniżej tej wartości otrzymane wyniki oceniano jako statystycznie istotne.

4.1. Układy energetyczne z prądnicą wałową

W tego typu rozwiązaniach energetycznych moc elektrowni rozdzielona jest na moc elektryczną spalinowych zespołów prądotwórczych i moc elektryczną dostarczaną przez prądnicę wałową.

Badając wpływ zmiennych niezależnych na moc elektryczną kontenerowca przeprowadzono analizę reszt w celu weryfikacji różnic między wartościami przewidywanymi, a wartościami obserwowanymi w stosunku do pozostałych przypadków. Duże wartości odstające mogą istotnie wpłynąć na ostateczną postać równania regresji wielokrotnej.

W Tab.1 zestawiono równanie oraz wyniki regresji wielokrotnej odpowiednio dla standaryzowanego współczynnika regresji BETA, współczynnika regresji wielokrotnej B oraz poziomu istotności p po usunięciu wartości odstających.

Tab. 1. Wyniki analizy statystycznej regresji wielokrotnej mocy elektrycznej kontenerowców z prądnicą wałową
 Tab. 1. Statistic analysis results of multiple regression for electric power of container carriers with shaft generator

Nazwa	Symbol	BETA	B	p
Wyraz wolny	-	-	4223,66	0,02
Liczba TEU	TEU	0,66	1,05	0,00
Liczba kontenerów chłodzonych	RU	0,49	8,75	0,00
Prędkość statku	v	-0,25	-251,20	0,02
Równanie regresji wielokrotnej	ME	ME = 1,05 TEU + 8,75 RU – 251,20 v + 4223,66		

Z przeprowadzonej analizy statystycznej dla kontenerowców z siłownią wyposażoną w prądnicę wałową wynika, że istotne statystycznie są trzy parametry tj. liczba kontenerów TEU, liczba kontenerów chłodzonych RU oraz prędkość statku v.

Wartość standaryzowana współczynnika regresji BETA na poziomie 0,66 potwierdza największą relatywnie predykcję liczby kontenerów TEU w wartości szacowanej mocy elektrycznej.

Pozostałe współczynniki modelowania statystycznego dla wartości przedstawionych w Tab. 1 przyjmują stałe wartości i wynoszą odpowiednio: współczynnik korelacji $R = 0,92$, współczynnik determinacji $R^2 = 0,85$ oraz błąd estymacji 1271,00.

4.2. Kontenerowce bez prądnicy wałowej

Przy wyznaczaniu równania regresji wielokrotnej dla mocy elektrycznej siłowni bez prądnicy wałowej korzystano z tych samych zmiennych niezależnych, co w przypadku statków kontenerowych z prądnicą wałową. Z przeprowadzonej analizy wynika, że poziom istotności wyrazu wolnego i prędkości statku jest na poziomie 5%. Z tego względu w ostatecznej postaci równania regresji wielokrotnej dla kontenerowców bez prądnicy wałowej uwzględniono tylko dwa parametry, a mianowicie liczbę kontenerów chłodzonych oraz moc silnika głównego.

Przy użyciu wykresu reszt dla przypadków, przebadano reszty standaryzowane w celu identyfikacji obserwacji odstających. Wyniki analizy statystycznej po usunięciu przypadków odstających przedstawiono w Tab. 2.

Tab. 2. Wyniki analizy statystycznej regresji wielokrotnej mocy elektrycznej kontenerowców bez prądnicy wałowej
 Tab. 2. Statistic analysis results of multiple regression for electric power of container carriers without shaft generator

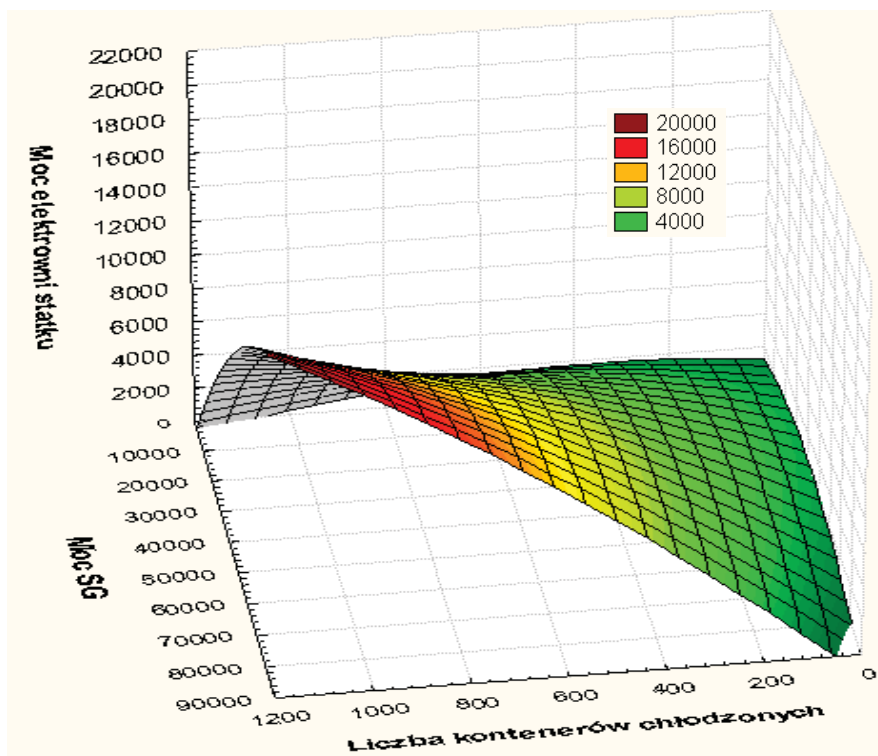
Nazwa	Symbol	BETA	B	p
Wyraz wolny	-	-	515,23	0,02
Liczba kontenerów chłodzonych	RU	0,49	6,87	0,00
Moc silnika głównego	SMCR	0,54	0,08	0,00
Równanie regresji wielokrotnej	ME	ME = 6,87 RU + 0,08 SMCR + 515,23		

Wartość współczynnika BETA=0,49 świadczy, że liczba kontenerów chłodzonych ma porównywalny wpływ na wartość mocy elektrycznej kontenerowca w stosunku do mocy silnika głównego SMCR. Wartości poziomu istotności p uzyskane dla parametrów z Tab. 2 podkreślają wysoką istotność statystyczną uzyskanego równania regresji wielokrotnej.

Pozostałe współczynniki analizy statystycznej przyjmują stałe wartości i wynoszą

odpowiednio: współczynnik korelacji $R = 0,95$, współczynnik determinacji $R^2 = 0,90$ oraz błąd estymacji 970,63.

Na Rys. 2 w formie graficznej przedstawiono otrzymaną postać równania regresji wielokrotnej dla kontenerowców bez prądnicy wałowej wykorzystując dopasowanie kwadratowe w ten sposób, że do punktów na wykresie rozrzutu dopasowano funkcję wielomianową drugiego stopnia.



Rys. 2. Wykres powierzchniowy mocy elektrycznej statku względem mocy silnika głównego SMCR i liczby kontenerów chłodzonych RU dla kontenerowców bez prądnicy wałowej

Fig. 2. Surface diagram for electric power of container carriers regarding main engine output and number of reefer containers for container carriers without shaft generator

5. Dobór zespołów prądotwórczych

W sytuacji, gdy moc elektryczna statku kontenerowego została określona, kolejnym krokiem jest odpowiedni dobór zespołów prądotwórczych.

Najczęściej spotykanym rozwiązaniem dla analizowanej grupy statków kontenerowych (41%) jest elektrownia składająca się z 4. spalinyowych zespołów prądotwórczych (w zakresie 900-9200 TEU). Zespoły te występują głównie w dwóch konfiguracjach tj. dwa zespoły o tej samej, większej wartości mocy i dwa zespoły o tej samej, niższej mocy lub wszystkie 4 zespoły prądotwórcze o tej samej mocy. 33% statków kontenerowych w analizowanej bazie informacji, w zakresie 620-6500 TEU, wyposażonych było w trzy niezależne zespoły prądotwórcze, a 21% kontenerowców z przedziału 200-4400 TEU posiadało dwa zespoły prądotwórcze. Z pięcioma zespołami prądotwórczymi jest zaledwie 4% analizowanych statków o pojemności kontenerowej 4500-9500 TEU. Dla całej populacji kontenerowców średnia liczba spalinyowych zespołów prądotwórczych wyniosła 3,5.

Sposób doboru liczby i mocy zespołów prądotwórczych został szeroko omówiony w [1] i [2]. Przy podejmowaniu decyzji dotyczącej liczby zespołów prądotwórczych należy uwzględnić szereg zadań. Oprócz trwałości i zużycia współpracujących elementów, należy rozpatrzyć bezpieczeństwo statku, automatyczny system zarządzania mocą, wymogi towarzystw klasyfikacyjnych itp. Ze względów eksploatacyjno ekonomicznych wskazane jest jak najwyższe obciążanie zespołów

prądotwórczych. Podyktowane jest to wysoką sprawnością prądnicy przy wyższych obciążeniach i względnie niskim jednostkowym zużyciem paliwa. Z uwagi na konieczność załączania odbiorników mniejszej mocy w celu właściwego funkcjonowania systemów pomocniczych na statkach, dąży się by pracujące zespoły prądotwórcze zapewniały niezbędną rezerwę na poziomie około 15%. Wartość ta mieści się w zakresie najczęściej występujących przyrostów obciążeń tj. $\Delta N = 3-15\%$ za [2].

Zarządzanie pracą zespołów prądotwórczych wspomagane jest tzw. układami o pełnej automatyce lub o ciągłym zasilaniu. Ich celem jest bezpieczne i ekonomiczne zarządzanie dostępną mocą elektryczną. By pogodzić bezpieczeństwo i ekonomiczne zarządzanie dostępną mocą elektryczną stosowane są różne rozwiązania układu automatyki sterujący pracą zespołów prądotwórczych. Mogą one być załączane lub wyłączane przy różnych obciążeniach silnika dla różnych wariantów sterowania mocą elektryczną siłowni. Obciążenie zespołów prądotwórczych może być regulowane, zależnie od przyjętego rozwiązania, symetrycznie lub asymetrycznie. Istnieje taka możliwość nastaw systemu zarządzania energią elektryczną by zespoły obciążane były równomiernie taką samą wartością mocy elektrycznej. Dla obciążenia asymetrycznego, opcja "Unbalancing Load" pozwala na podział obciążenia zespołów w taki sposób, że nadrzędny zespół prądotwórczy jest obciążany wartością równą 85% swojego obciążenia nominalnego, natomiast zespół podrzędny przejmuje pozostałe obciążenie. Oprócz tego w układach automatyki wyróżnić można układy z zachowaniem bezwzględnej rezerwy mocy oraz układy ze stałą rezerwą mocy. Niezależnie od liczby pracujących zespołów prądotwórczych w metodzie bezwzględnej rezerwy mocy kolejny zespół jest załączany w momencie przekroczenia wartości 85% mocy znamionowej każdego z nich. Dla dwóch zespołów pracujących równolegle sumaryczny zapas mocy wynosi 30%. Z kolei w układzie automatyki ze stałą rezerwą mocy dla dwóch pracujących zespołów prądotwórczych sumaryczny zapas mocy wynosi 15%. Kolejny zespół prądotwórczy zostanie włączony przy przekroczeniu obciążenia dwóch pozostałych na poziomie 92,5%. Przy zastosowaniu układu ze stałą rezerwą mocy zespoły prądotwórcze są wyłączane przy odpowiednio wyższych obciążeniach niż w metodzie z bezwzględną rezerwą mocy.

6. Wnioski

Przeprowadzona analiza wykazała, że statystycznie istotnymi predyktorami mocy elektrycznej kontenerowców w równaniu regresji wielokrotnej są cztery parametry: liczba kontenerów TEU, liczba kontenerów chłodzonych RU, prędkość statku i moc silnika głównego SMCR (która jest zależna od poprzednich wartości). Liczba członków załogi, moc steru strumieniowego, a w przypadku kontenerowców z prądnicą wałową moc tej prądnicy są statystycznie nieistotne i nie zostały uwzględnione w równaniach regresji wielokrotnej dla współczesnych kontenerowców.

Wysokie wartości współczynników korelacji, determinacji oraz poziomu istotności potwierdzają, że wyznaczone równania metodą regresji wielokrotnej mogą być przydatne przy ocenie mocy elektrycznej we wstępnym etapie projektowania.

Ocena mocy elektrycznej za pomocą wyznaczonych równań regresji wielokrotnej stanowi podstawę doboru odpowiedniej konfiguracji rozwiązania energetycznego siłowni statku kontenerowego. Przykład optymalizacji układu energetycznego stanowi siłownia kontenerowca Emma Maersk. Do wytworzenia mocy elektrycznej zainstalowano 3 spalinowe zespoły prądotwórcze, jeden gazowo-parowy zespół turbinowy oraz silnik/prądnicę wałową o łącznej mocy powyżej 30 000 kW.

Właściwy dobór liczby i mocy poszczególnych zespołów prądotwórczych jest elementem kompromisu wielu determinantów. Z jednej strony należy spełnić aspekty ekonomiczne statku i jego siłowni na etapie budowy i przyszłej eksploatacji, z drugiej zaś zapewnić bezpieczny transport ładunku.

Literatura

- [1] Balcerski, A., *Modele probabilistyczne w teorii projektowania i eksploatacji spalinowych siłowni okrętowych*, Gdańsk 2007.
- [2] Balcerski, A., *Niektóre problemy właściwego doboru okrętowych zespołów prądotwórczych*, Referaty na IV sympozjum siłowni okrętowych, Szczecin 1981.
- [3] Balcerski, A., *Siłownie okrętowe, Podstawy termodynamiki, silniki i napędy główne, urządzenia pomocnicze, instalacje*, Gdańsk 1990.
- [4] Blacho, M., Krefft, J., *Wpływ warunków eksploatacyjnych okrętowych zespołów prądotwórczych na stopień zanieczyszczenia kanału przepływowego spalin turbosprężarki*, XXVIII Sympozjum Siłowni Okrętowych, Gdynia 2007.
- [5] Charchalis, A., Krefft, J., *Development trends in contemporary container vessels designs*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 15, No. 4, Warsaw 2008.
- [6] Charchalis, A., Krefft, J., *Main dimensions selection methodology of the container vessels in a preliminary stage*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 15, No. 4, Warsaw 2008.
- [7] Cwilewicz, R., Giernalczyk, M., Krzyżanowski, J., *Analiza energetyczna siłowni z uwzględnieniem układu napędu statku, układu wytwarzania energii elektrycznej i układu wytwarzania energii cieplnej na przykładzie współczesnych kontenerowców*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Morskiej, Nr 41, 2001.
- [8] Giernalczyk, M., Górski, Z., *Method for determination of energy demand for main propulsion, electric Power production and heating purposes for modern container vessels by means of statistics*, Marine Technology Transactions, Vol. 15, pp. 363-370, Gdańsk 2004.
- [9] Michalski, R., *Siłownie okrętowe. Obliczenia wstępne oraz ogólne zasady doboru mechanizmów i urządzeń pomocniczych instalacji siłowni motorowych*, Szczecin 1987.
- [10] Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku, baza danych Polship <http://polship.cto.gda.pl> oraz Intership <http://intership.cto.gda.pl:8080/>.
- [11] Dokumentacja techniczna statków Grupy Stocznia Gdynia SA: 8125-PK/0050-001, PT8138/12, 8184-PK/0680-001, PT8184/6, 818415-PK/0050-001, 8229-PK/0050-001, 8234-PK/0050-001X1, 8276-PK/0050-001.
- [12] Hansa, International Maritime Journal-142, No. 11, Jahrgang 2005; No. 9 Jahrgang 2006.
- [13] Marine propulsion and auxiliary machinery, the journal of ship's engineering systems, Vol. 31, Is. 1, man, 2009.
- [14] Propulsion trends in container vessels, Man Diesel SE, Denmark 2008.
- [15] Rules & guidelines 2008, Germanischer Lloyds GL operating 24/7, I- Ship technology, Part 1- Seagoing ships, Charter 3-Electrical installations, Section 3- Power supply installations, B- Main electrical power supply, edition 2008.
- [16] Safety at Sea International, Vol. 40, No. 453, 2006.
- [17] Schiff und Haffen, Journal, No. 01-03 2006, 05, 06 2006, 08-12 2006, 01-03 2007.
- [18] Significant Ships 2000, 2001, 2003-2006.