Scientific Journals
Maritime University of Szczecin

Zeszyty Naukowe
Akademia Morska w Szczecinie

2009, 17(89) pp. 25–31

2009, 17(89) s. 25–31

Ocena mocy elektrycznej siłowni kontenerowca we wstępnym etapie projektowania

Electric power assessment of the container ship in a preliminary design stage

Adam Charchalis, Jerzy Krefft

Akademia Morska w Gdyni, Wydział Mechaniczny
81-225 Gdynia, ul. Morska 83, e-mail: achar@am.gdynia.pl

Słowa kluczowe: Statki kontenerowe, moc elektryczna, prądnice wałowe, zespoły prądotwórcze

Abstrakt
W artykule przedstawiono ocenę mocy elektrycznej współczesnych statków kontenerowych dla całego zakresu stosowanych pojemności kontenerowych. Moc ta została określona 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 są prądnice wałowe i zespoły prądotwórcze oraz jednostki, w których moc elektryczna wytwarzana jest tylko przez spalinowe zespoły prądotwórcze.

Key words: Container vessels, electric power, shaft generators, diesel generators

Abstract
Electric power estimation of contemporary container vessels for whole container capacity range is presented in the paper. The multiple regression model has been used to determine electric power, based on the container ships database created for that reason. During electric power calculations the division into ships with electric power created by shaft and diesel generators and vessels with diesel generators only was done.

Wstęp

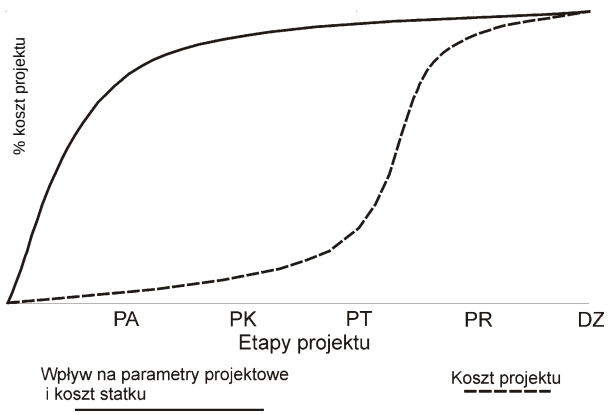
Popularyzacja transportu drogą morską, obserwowana na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat, wpłynęła na znaczny postęp w budowie statków kontenerowych [1, 2]. Odnotowuje się wzrost liczby światowej floty statków kontenerowych, jak i zamówień na nowe kontenerowce. Powstają jednostki o coraz większej nośności. Dla tych największych jednostek pływających istnieje uzasadniona konieczność ograniczania liczby portów, co wynika z wysokich kosztów eksploatacyjnych związanych z dużą prędkością, powyżej 25 węzłów, oraz kosztów operacyjnych dotyczących zwiększonej ładowności. Redukcja kosztownych manewrów i ograniczanie liczby portów wymaga dużej koncentracji kontenerów w portach bazowych. W tej sytuacji istnieje potrzeba rozwoju małych i średnich statków kontenerowych, o większych możliwościach przewozowych. Pojemność kontenerowa dowozowców może zostać zwiększona nawet do 2500 TEU. Prowadzi to do wzrostu zapotrzebowania na moc napędową i elektryczną statku przy jednoczesnym stosowaniu coraz gorszych gatunków paliw. Z uwagi na wysokie ceny paliw nakłady energetyczne mają coraz wyższy udział w kosztach eksploatacji statku. Sytuacja ta narzuciła konieczność poszukiwania metod projektowych dla doboru elektrowni okrętowej, opartych na odmiennych założeniach od dotychczas stosowanych.

Nowe wymagania stawiane statkom kontenerowym oraz potrzeba innego spojrzenia na sprawy energetyczne tych statków powodują, że zachodzi konieczność 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 i jaka powinna być wartość mocy elektrycznej jego siłowni przy odpowiedniej konfiguracji układu energetycznego. Konieczność właściwego doboru mocy elektrycznej obiektów pływających oraz odpowiedniej konfiguracji układu energetycznego potwierdzają dane zaprezentowane w [3], z których wynika, że zespoły prądotwórcze 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 [4, 5] i poszukiwania nowych metod, które pozwolą już we wstępnym etapie projektowania określić zapotrzebowanie na moc elektryczną współczesnych statków kontenerowych.

Etap projektu wstępnego

Budowa obiektu pływającego składa się z kilku etapów. Z zależności przedstawionej na rysunku 1 wynika, że skutki decyzji podjętych we wstępnym etapie projektowania mają kardynalne znaczenie dla przyszłego statku, a z punktu widzenia armatora – kosztów jego eksploatacji. Już na tym etapie należy możliwie dokładnie przeprowadzić analizę propozycji mocy elektrycznej kontenerowca. Każdy niewłaściwie dobrany parametr powoduje jego korektę na etapie projektu technicznego PT bądź roboczego PR, co skutkuje dodatkowym nakładem pracy, a docelowo wzrostem kosztów całkowitych. Należy brać pod uwagę reżim czasowy pomiędzy wstępnymi negocjacjami a momentem podpisania kontraktu z oczekiwaniem na krótki czas realizacji budowy jednostki, ponieważ stocznie funkcjonujące w warunkach gospodarki rynkowej nie mogą sobie pozwolić na niewłaściwy dobór parametrów statku.



Rys. 1. Koszt etapów projektowych oraz ich wpływ na charakterystyki i koszt całkowity statku [6]; PA – projekt akwizycyjny, PK – projekt konstrukcyjny, PT – projekt techniczny, PR – projekt roboczy, DZ – dokumentacja zdawcza

Fig. 1. Design phases expenses and their influence on the technical description and total expenses of the ship [6]; PA – canvassing project, PK – construction project, PT – technical project, PR – work project, DZ – delivery documentation

We wstępnym etapie projektowania bardzo ważna jest wiarygodna informacja odnośnie typu urządzenia, jego zapotrzebowania na energię, parametrów roboczych, masy i in. Na tym etapie projektowania pojawia się potrzeba prowadzenia działań zmierzających do uzyskania bardziej wiarygodnej informacji, a przez to lepszego określenia charakterystyki obiektu. W tym celu należy poszukiwać rozwiązań, które pozwolą w odpowiednio krótkim czasie podjąć właściwe decyzje projektowe. Stąd potrzeba ciągłego doskonalenia procesów wstępnego projektowania, które pozwolą na uzyskanie większej dokładności otrzymywanych wartości, skracając przez to czas pracy i ułatwiając analizę wariantów rozwiązań. Jednym z elementów tych rozważań jest właściwy dobór mocy elektrycznej oraz odpowiednia konfiguracja rozwiązania energetycznego siłowni statku. Jest to na tyle ważne, że moc określona we wstępnej fazie projektowania brana jest pod uwagę przy podpisywaniu umowy o wybudowanie jednostki pływającej.

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 i traktując siłownię statku jako obiekt wieloparametryczny, może okazać się, że jest to 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 jako listy statków podobnych w odróżnieniu do metody przedstawionej w [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 [9–14] baza danych składa się ze statków kontenerowych w całym zakresie ich pojemności. Statki te zostały wybudowane w latach 1992–2006 w kraju i za granicą tj. w Polsce, Niemczech, Danii, Norwegii, Korei Południowej, Japonii, 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 rysunku 2. W strukturze bazy zawarte są zarówno jednostki z prądnicą wałową, jak i te, w których do wytwarzania energii elektrycznej wykorzystuje się tylko zespoły prądotwórcze.

W klasie Suezmax, czyli od 10 000 do 12 000 jest tylko jedna jednostka („Emma Maersk"), która może pomieścić do 11 000 kontenerów dwudziestostopowych TEU.

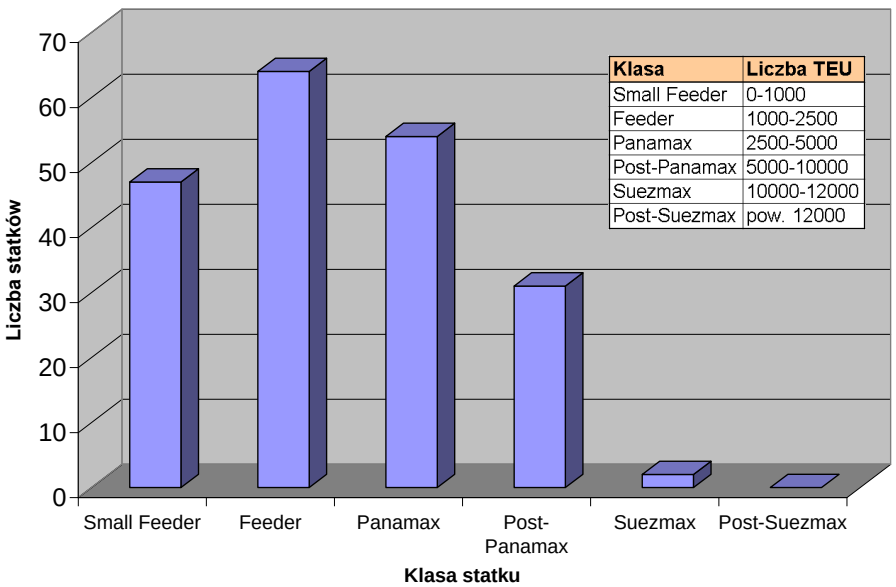
Największy udział w bazie informacji stanowią małe i średnie kontenerowce. Dla statków o mniejszej nośności kontenerowej ograniczenia technologiczne stoczni i kooperantów oraz rejonu pływania budowanej jednostki praktycznie nie istnieją. Stąd wydaje się zasadne, by najwięcej danych w bazie kontenerowców należało do jednostek o mniejszej pojemności TEU tj. do 2500 TEU dla Kanału Kilońskiego i szlaku morskiego St. Lawrence oraz do 5000 TEU dla Kanału Panamskiego, czyniąc bazę bardziej obiektywną.

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 [9] 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

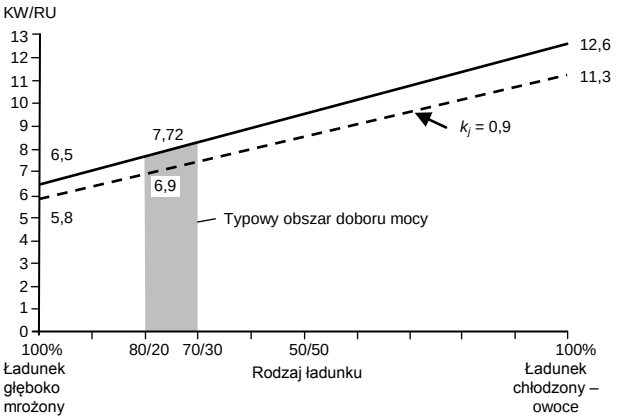


Rys. 2. Struktura bazy danych z podziałem na klasy [9–14]
Fig. 2. Data base structure with container carriers classification [9–14]

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 na rysunku 3.



Rys. 3. Zapotrzebowanie na moc elektryczną czterdziestostopowego kontenera chłodzonego [15]
Fig. 3. Power demand for reefer FEU [15]

Zgodnie z zależnością mocy jednego kontenera chłodzonego, wyrażoną w kW, z funkcji rodzaju ładunku chłodzonego k_c wynika, że im niższa temperatura ładunku chłodzonego, tym niższa moc może być przyjęta w bilansie energetycznym dla jednego kontenera chłodzonego. Dla przypadku, w którym kontener chłodzony wypełniony jest tylko ładunkiem owoców, przyjmuje się od 11,3 do 12,6 kW na jeden kontener. Z kolei dla kontenera wypełnionego ładunkiem głęboko zmrożonym np. rybami, moc ta wynosi 5,8 do 6,5 kW. Górny i dolny zakres mocy dla danego rodzaju ładunku chłodzonego wynika z przyjętego współczynnika jednoczesności k_j, czyli określenia, jaka liczba kontenerów chłodzonych pracuje jednocześnie.

Zależności na dobór mocy kontenera chłodzonego przedstawiają formuły (1) i (2). Często przyjmuje się wartość współczynnika $k_j = 0{,}9$ i wtedy można korzystać bezpośrednio z drugiego równania:

$$12{,}6 \cdot k_c \cdot k_j = 6{,}9\,\text{kW} \qquad (1)$$

lub

$$11{,}3 \cdot k_c = 6{,}9\,\text{kW} \qquad (2)$$

gdzie:
$k_c = 7{,}72 / 12{,}6 = 0{,}61$;
$k_j = 0{,}9$.

Dla produktów mocno zmrożonych współczynnik k_j może przyjmować niższe wartości.

Metodyka i wyniki badań

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

Wychodząc z założenia, że badane zmienne 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 analizy statystycznej. 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 uwzględniono szereg parametrów tj. liczbę kontenerów TEU, liczbę kontenerów chłodzonych RU, prędkość statku, moc silnika głównego, liczbę 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.

Kontenerowce z prądnicą wałową

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

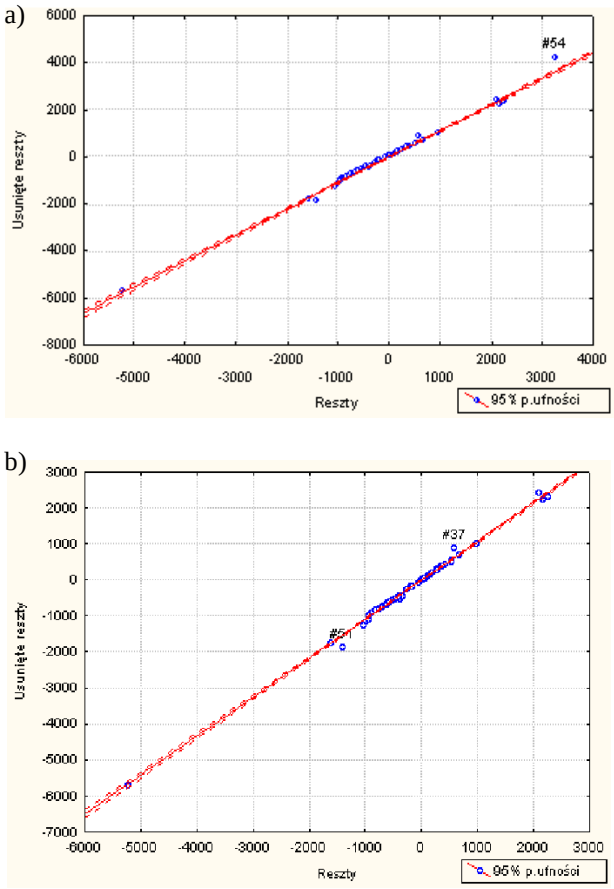
Analizując wpływ zmiennych niezależnych na moc elektryczną, otrzymano wyniki regresji wielokrotnej odpowiednio dla standaryzowanego współczynnika regresji BETA, współczynnika regresji wielokrotnej B oraz poziomu istotności p. Wartości te podano w tabeli 1.

Duże różnice między wartościami przewidywanymi a wartościami obserwowanymi w stosunku do pozostałych przypadków, czyli wartości odstające, mogą istotnie wpłynąć na ostateczną postać równania regresji wielokrotnej. Z tego powodu kolejnym

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

	BETA	B	*p*
Wyraz wolny	–	3873,09	0,03
Liczba TEU	0,71	1,121	0,00
Gniazda kontenerów chłodzonych	0,43	7,712	0,00
Prędkość statku	–0,24	–233,15	0,03

etapem przy wyznaczaniu równania regresji wielokrotnej jest analiza reszt. Przy użyciu wykresu reszt dla przypadków pozostałych, przebadano reszty surowe. Na rysunku 4 przedstawiono sposób identyfikacji przypadków odstających dla zmiennej zależnej z zaznaczonymi przypadkami najbardziej odstającymi.



Rys. 4. Weryfikacja obserwacji odstających: a) zaznaczony przypadek nr 54, b) po usunięciu przypadku nr 54
Fig. 4. Residue values revision: a) with no. 54 marked, b) no. 54 removed

Rysunek 4b obrazuje zależność usuniętych reszt względem reszt, po usunięciu przypadku nr 54 i zaznaczonymi kolejnymi punktami najbardziej odstającymi. Usunięta wartość resztowa to reszta dla danej obserwacji, obliczana tak, jakby ten przypadek nie był włączony do analizy regresji. Jeśli usunięta reszta różni się znacznie od reszty standaryzowanej, wówczas można sądzić, że dany przypadek jest przypadkiem odstającym, ponieważ jego usunięcie znacznie zmieniło równanie regresji. Z analizy wynika, że usunięcie kolejnych przypadków nie wpływa statystycznie istotnie na wartość współczynników równania regresji.

Ostatecznie równanie regresji wielokrotnej określone zostało dla wartości zestawionych w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki analizy statystycznej regresji wielokrotnej mocy elektrycznej kontenerowców z prądnicą wałową
Table 2. 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 kontenerów 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 gniazd dla kontenerów chłodzonych RU oraz prędkość statku *v*.

Wartość standaryzowana współczynnika regresji BETA na poziomie 0,66 świadczy, iż liczba kontenerów TEU ma relatywnie największą predykcję na wartość szacowanej mocy elektrycznej.

Pozostałe współczynniki analizy statystycznej dla wartości przedstawionych w tabeli 2 przyjmują stałe wartości i wynoszą odpowiednio: współczynnik korelacji $R = 0{,}92$, współczynnik determinacji $R^2 = 0{,}85$ oraz błąd estymacji 1271,00.

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 wynosi powyżej 4%. Z tego względu w ostatecznej postaci równania regresji wielokrotnej dla kontenerowca 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. Skala użyta w tym wykresie podana jest w jednostkach odchylenia standardowego reszt σ. Na rysunku 5 przedstawiono dwa przypadki, które w sposób statystycznie istotny mogą wpłynąć na jakość wyniku zmiennej zależnej, tj. mocy elektrycznej statku. Ich wartości przekraczają statystyczną granicę $\pm 3\sigma$.

	Reszty standaryzowane						
Nazwa przypadku	-5.	-4.	-3.	±2.	3.	4.	5.
8,000000	.	.	.	.	.	.	*
18,000000	.	.	.	.*	.	.	.

Rys. 5. Weryfikacja przypadków odstających dla reszt standaryzowanych
Fig. 5. Residue values revision for standardized residues

Wyniki analizy statystycznej po usunięciu przypadków odstających przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki analizy statystycznej regresji wielokrotnej mocy elektrycznej kontenerowców bez prądnicy wałowej
Table 3. 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 tabeli 3 podkreślają 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.

Z uwagi, że w równaniu regresji na moc elektryczną dla statków bez prądnicy wałowej występują dwie zmienne niezależne, tj. liczba kontenerów chłodzonych RU oraz moc silnika głównego SMCR, dokonano weryfikacji równania dla kontenerowców z prądnicą wałową. Liczbę przewożonych kontenerów TEU i prędkość statku *v* zastąpiono mocą silnika głównego SMCR.

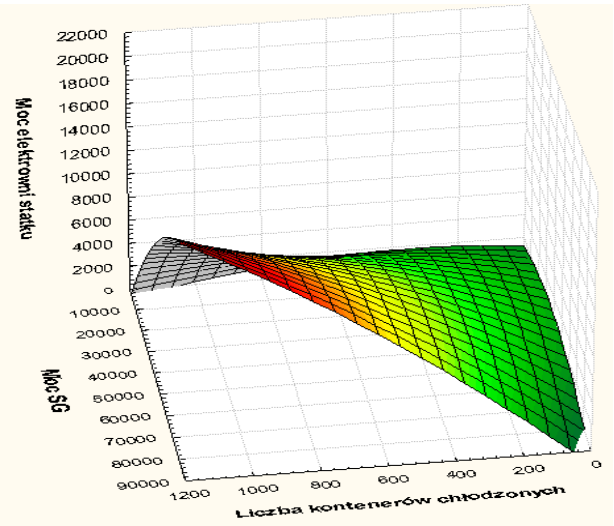
Równanie regresji wielokrotnej mocy elektrycznej kontenerowca z prądnicą wałową w funkcji liczby kontenerów chłodzonych i mocy silnika głównego określono zależnością:

$$ME = 6{,}6407\ RU + 0{,}1013\ SMCR + 106{,}3111 \quad (3)$$

Moc elektryczna kontenerowca dla siłowni z prądnicą wałową nie może być wyznaczona w funkcji liczby kontenerów chłodzonych oraz mocy silnika głównego według zależności (3), jak ma to miejsce dla kontenerowców bez prądnicy wałowej. Poziom istotności *p* wyrazu wolnego tego równania osiąga wartość 0,58 i powoduje, że jest on statystycznie nieistotny.

Na rysunku 6 przedstawiono w formie graficznej otrzymaną postać równania regresji wielokrotnej dla kontenerowców bez prądnicy wałowej, wykorzystując dopasowanie kwadratowe w ten sposób, że do punktów na wykresie rozrzutu dostosowano funkcję wielomianową drugiego stopnia opisaną równaniem:

$$\begin{aligned} ME = &-1{,}158E-6\,SMCR^2 + \\ &+0{,}0002\,RU\,SMCR - 0{,}0036\,RU^2 + \\ &+0{,}0768\,SMCR + 2{,}4928\,RU + 1293{,}6268 \end{aligned} \quad (4)$$



Rys. 6 Wykres powierzchniowy mocy elektrycznej statku względem mocy silnika głównego SMCR i liczby kontenerów chłodzonych RU dla kontenerowców bez prądnicy wałowej
Fig. 6. Surface diagram for electric power of container carriers regarding main engine output and number of reefer containers for container carriers without shaft generator

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.

W zależności od nośności statku moc steru strumieniowego przyjmuje stałe wartości dla odpowiednich zakresów pojemności kontenerowej i mieści się w zakresie 200–3000 kW dla badanej grupy statków. W wielu przypadkach do wytworzenia mocy elektrycznej nie wykorzystuje się prądnicy wałowej. Fakt ten może wynikać z przeznaczenia statków na konkretne obszary pływania, gdzie czas podróży między portami za- i wyładunkowymi statków jest bardzo krótki. Potwierdzeniem tego może być duża liczba tzw. kontenerowców dowozowych w klasie do 2500 TEU w strukturze bazy danych. Niewielka liczba prądnic wałowych zainstalowanych na statkach kontenerowych może również wynikać z indywidualnych doświadczeń i preferencji armatora budowanej jednostki pływającej oraz ponoszenia dodatkowych kosztów w procesie budowy i eksploatacji statku.

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", gdzie 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.

Bibliografia

1. CHARCHALIS A., KREFFT J.: Main dimensions selection methodology of the container vessels in a preliminary stage. KONES, Jurnal of Powertrain and Transport Vol. 15, No. 4, Warsaw 2008.
2. CHARCHALIS A., KREFFT J.: Development trends in contemporary container vessels designs. KONES, Jurnal of Powertrain and Transport Vol. 15, No. 4, Warsaw 2008.
3. BLACHO M., KREFFT J.: Wpływ warunków eksploatacyjnych okrętowych zespołów prądotwórczych na stopień zanieczyszczania kanału przepływowego spalin turbosprężarki. XXVIII Sympozjum Siłowni Okrętowych, Gdynia 2007.
4. MICHALSKI R.: Siłownie okrętowe. Obliczenia wstępne oraz ogólne zasady doboru mechanizmów i urządzeń pomocniczych instalacji siłowni motorowych. Szczecin 1987.
5. BALCERSKI A.: Siłownie okrętowe. Podstawy termodynamiki, silniki i napędy główne, urządzenia pomocnicze, instalacje. Gdańsk 1990.
6. CHĄDZYŃSKI W.: Elementy współczesnej metodyki projektowania obiektów pływających. PNPS 563, Szczecin 2001.
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, Szczecin 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, Gdańsk 2004, 363–370.
9. 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.
10. Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku, baza danych Polship http://polship.cto.gda.pl oraz Intership http://intership.cto.gda.pl:8080/.
11. Hansa, International Maritime Journal-142, No. 11, Jahrgang 2005; No. 9 Jahrgang 2006.
12. Safety at Sea International, November 2006, vol. 40, no. 453.
13. Schiff und Haffen, journal, nr 01–03 2006, 05, 06 2006, 08–12 2006, 01–03 2007.
14. Significant Ships 2000, 2001, 2003–2006.
15. Rules and Guidelines 2008, GL operating 24/7, Chapter 3 – Electrical instalations I-1-3.

Recenzent:
dr hab. inż. Cezary Behrendt
profesor Akademii Morskiej w Szczecinie