

MAIN DIMENSIONS SELECTION METHODOLOGY OF THE CONTAINER VESSELS IN A PRELIMINARY STAGE

Adam Charchalis, Jerzy Krefft

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

Abstract

TEU number which the container ship is designed for, directly influences the main hull dimensions that is displacement D , length L , breadth B , draught T , their combinations and block coefficient δ . The main dimensions have a great impact on developing the ships resistant performance. Any change in one of the main dimensions causes change in the value of the block coefficient δ and influences the ship total resistance. Thus, it is really fundamental to establish the correct dimensions of the hull during the design and ship building process. Estimating the shape of the ships hull, that comprises its main dimensions, is one of the basic tasks as part of the preliminary design stage. The most significant decisions determining ships performance, its duration and building costs are made at the beginning of the preliminary stage, before the contract is signed, when the costs are relatively low, up to 4.5% of total costs of technical and working stage. The results of the decision that has been made at the preliminary design stage are significant for the new building ship including its building costs and what is more important, for the ship owner, the ships operational costs.

It is important to limit the total ship resistance, for instance, by lowering the wave ship resistance as much as possible, especially when the operational speed and TEU number carried by one vessel is increasing. That resistance depends on the operational speed expressed by Froude number F_n .

The resistance criteria and the existing hull dimensions limits, resulting from ships route, must be taken into consideration bearing in mind safety conditions such as ships stability and seaworthiness, when the main ships dimensions are being determined.

The main dimensions and their relations concerned with the TEU number of the contemporary container carriers have been presented in the article along with selection methodology of ships main dimensions.

Keywords: contemporary ships, container carriers, main dimensions, hull dimensions, TEU

METODOLOGIA WYBORU GŁÓWNYCH WYMIARÓW STATKÓW KONTENEROWYCH WE WSTĘPNEJ FAZIE PROJEKTOWANIA

Streszczenie

Liczba kontenerów TEU (Twenty foot Equivalent Units) dla której zaprojektowany jest kontenerowiec bezpośrednio wpływa na główne wymiary kadłuba statku, w tym wyporność D , długość L , szerokość B , zanurzenie T , ich kombinacje i współczynnik pełnotliwości kadłuba δ . Główne wymiary mają duży wpływ na opór statku i rozwój jego osiągnięć. Jakakolwiek zmiana w każdym z głównych wymiarów powoduje zmianę współczynnika pełnotliwości kadłuba δ i wpływa na całkowity opór statku. A zatem jest sprawą zasadniczą ustalenie właściwych wymiarów kadłuba w procesie projektowania i budowy statku. Oszacowanie kształtu kadłuba statku, na który składają się jego główne wymiary jest jednym z podstawowych zadań części wstępnej projektu. Najbardziej znaczące decyzje określające osiągi statku, czas budowy i jej koszty są podejmowane na początku etapu wstępnego, przed podpisaniem kontraktu, gdy koszty są jeszcze niskie, dochodzące do 4.5% całkowitych kosztów projektowych i wykonawczych. Rezultaty tej decyzji podjętej w fazie projektu wstępnego są znaczące dla nowobudowanego statku, wliczając w to koszty jego budowy i, co jest ważniejsze dla właściciela statku, jego koszty eksploatacyjne.

Ważnym jest by ograniczyć opór całkowity kadłuba, przykładowo, przez ograniczenie oporu falowego kadłuba jak tylko jest to możliwe, szczególnie gdy prędkość eksploatacyjna i liczba TEU kontenerów zabieranych przez jeden statek rosną. Opór ten jest zależny od prędkości eksploatacyjnej, wyrażonej liczbą Frouda F_n .

Kryterium oporu i istniejące ograniczenia w wielkości kadłuba wynikające z tras rejsów muszą być rozważone przy określaniu głównych wymiarów statku, biorąc pod uwagę warunki bezpieczeństwa takie jak stateczność statku i jego dzielność morską.

Główne wymiary i zależności pomiędzy nimi dotyczące liczby TEU współczesnych kontenerowców zostały przedstawione w artykule, wspólnie z metodologią wyboru głównych wymiarów statku.

Słowa kluczowe: współczesne statki, kontenerowce, główne wymiary, wymiary kadłuba, TEU

1. Wprowadzenie

Wymiary główne to nie tylko długość L, szerokość B i zanurzenie T lecz również inne parametry, charakterystyczne dla projektowanego obiektu pływającego powiązane zależnościami z podstawowymi wymiarami LBT i mającymi na nie wpływ. Te dodatkowe parametry to przede wszystkim wyporność D, nośność DWT, współczynnik pełnotliwości kadłuba δ oraz prędkość v.

Podstawą do wyznaczenia wymiarów głównych statku kontenerowego są założenia projektowe, które określają, co najmniej liczbę kontenerów TEU, wymaganą prędkość statku, ograniczenia dotyczące rejonu pływania. Ograniczenia te są uwzględniane w podziale statków kontenerowych na klasy jak na przykład: statki panamax, post-panamax, suezmax, post-suezmax, mallaca-max, itp.

2. Projektowanie obiektów pływających

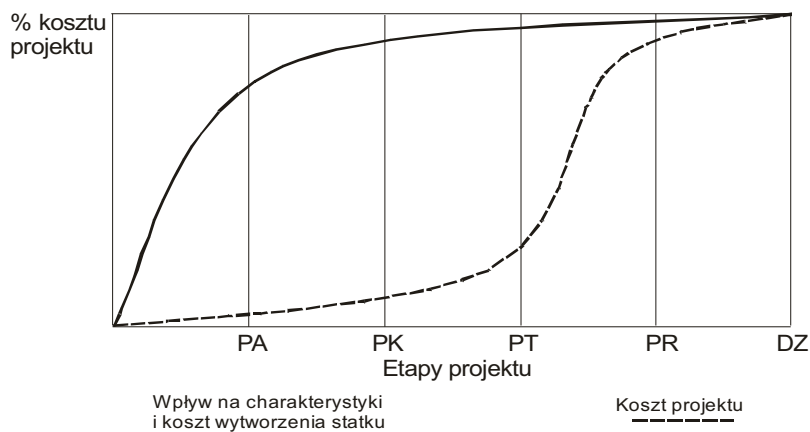
Obiekty pływające projektowane są według zasady ujętej przez Evans'a w kształt spirali projektowej i rozwinięte przez Andrews'a w kształcie powierzchni śrubowej. Istota podejścia przedstawionego na Rys. 1 polega na zbliżaniu się w trakcie projektowania do rozwiązania oczekiwanego, drogą weryfikacji decyzji projektowych z wstępnych etapów projektowania poprzez informacje uzyskane w kolejnych etapach projektu. Stąd ważne jest, by jak najwcześniej, już we wstępnym etapie projektowania, wyznaczyć możliwie dokładnie wymiary główne wpływające na charakterystykę oporową jednostki pływającej.

Najważniejsze decyzje określające charakterystykę statku, jego koszt i czas budowy zapadają na samym początku procesu projektowego w konkurencyjnych warunkach ograniczeń czasowych.



Rys. 1. Spirala projektowa Andrews'a-Evans'a
Fig. 1. Andrews-Evans design helix [1, 7, 9]

Z zależności przedstawionej na Rys. 2 wynika, że waga ustaleń we wstępnym (akwizycyjnym) etapie projektowania PA ma zasadniczy wpływ na charakterystyki projektowanej jednostki pływającej. Z tego względu już na tym etapie należy bardzo dokładnie przeprowadzić analizę propozycji wymiarów głównych statku kontenerowego. Koszt późniejszych etapów budowy statku, a szczególnie projektu technicznego PT i roboczego PR są niewspółmiernie wysokie w porównaniu z etapem wstępnym.



Rys. 2. Koszty faz projektowania i ich wpływ na opis techniczny i całkowite koszty statku [5]

Fig. 2. Design phases expenses and their influence on the technical description and total expenses of the ship [5]

Skutki decyzji podjętych we wstępnym etapie projektowania mają kardynalne znaczenie dla przyszłego statku pod względem nie tylko jego charakterystyk, lecz także kosztów jego wytworzenia a co ważniejsze dla armatora kosztów jego eksploatacji.

3. Metodyka doboru wymiarów głównych współczesnych statków kontenerowych

Ustalając wartości wymiarów głównych statku kontenerowego tj. długość, szerokość i zanurzenie należy uwzględnić zarówno kryteria oporowe jak i te wynikające z warunków stateczności i niezatapialności. Z tego też względu sprecyzowanie głównych wymiarów jednostki pływającej i podstawowych zależności je charakteryzujących jest bardzo istotne w ogólnej całości projektu i budowy obiektu.

Armator zwracając się do stoczni z zapytaniem o wybudowanie statku musi określić w założeniach projektowych rejon jej pływania. O tyle jest to ważne, że wymiary głównego statku muszą uwzględniać z jednej strony zachowanie warunków stateczności i niezatapialności, z drugiej zaś są ograniczone wymiarami śluz, kanałów, położeniem mostów i innymi „wąskimi” przejściami. W Tab. 1 przedstawiono ograniczenia wymiarowe kadłuba statku odpowiednio szerokości B, zanurzenia T i długości L dla wybranych szlaków żeglugowych.

Tab. 1. Wybrane ograniczenia głównych wymiarów statku L, B, T [10-11, 14]

Tab. 1. Selected restrictions of ship main dimensions L, B, T [10-11, 14]

| | B | T | L |
|---------------------|------|-------|-------|
| Kanał Kiloński | 40 | 9,5 | 315 |
| St. Lawrence Seaway | 23 | 7,6 | 222 |
| Cieśnina Mallaca | - | 21 | - |
| Kanał Panamski | 32,2 | 12,04 | 289,5 |
| Kanał Sueski | 55 | 18,29 | - |

3.1 Wyporność statku kontenerowego

Jednym z podstawowych parametrów określających wielkość statku morskiego jest jego wyporność, określana jako objętość podwodnej części kadłuba statku lub masa wypartej przez statek wody przy założonej temperaturze wody.

$$D = \rho V [t], \quad (1)$$

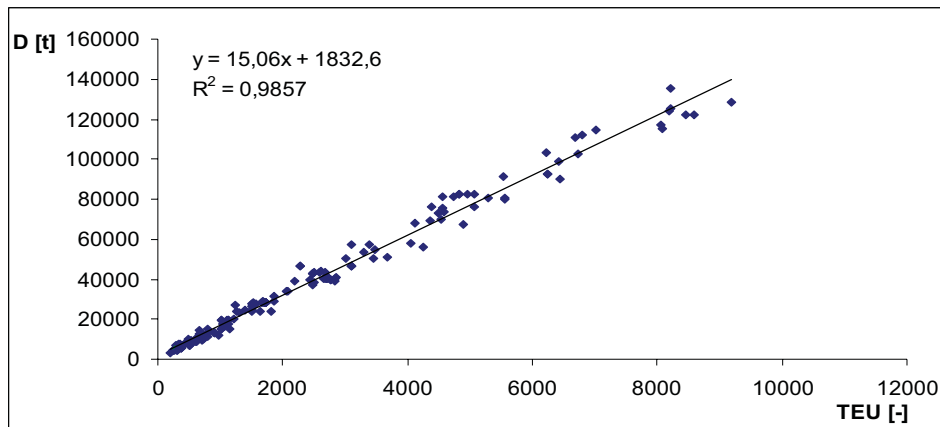
gdzie:

V - objętość podwodnej części kadłuba,

ρ - gęstość wody.

Im więcej kontenerów statek może przewozić tym większa jest jego wyporność, czyli zwiększać się będzie siła oporu hydrodynamicznego statku, a co z tym związane zwiększać się będzie moc niezbędna do napędu statku.

W oparciu o dane zgromadzone w bazie informacji o statkach kontenerowych na podstawie [3, 6, 8, 12-13, 15, 17] i przeprowadzone analizy można określić wyporność kontenerowca. Wyporność ta może być wyznaczona dla zadanej liczby kontenerów TEU z zależności opisanej równaniem liniowym $y = 15,06x + 1832,6$ (Rys. 3). Parametr x w równaniu liniowym jest rozumiany jako liczba kontenerów dwudziestostopowych TEU, na którą projektowane są statki kontenerowe.

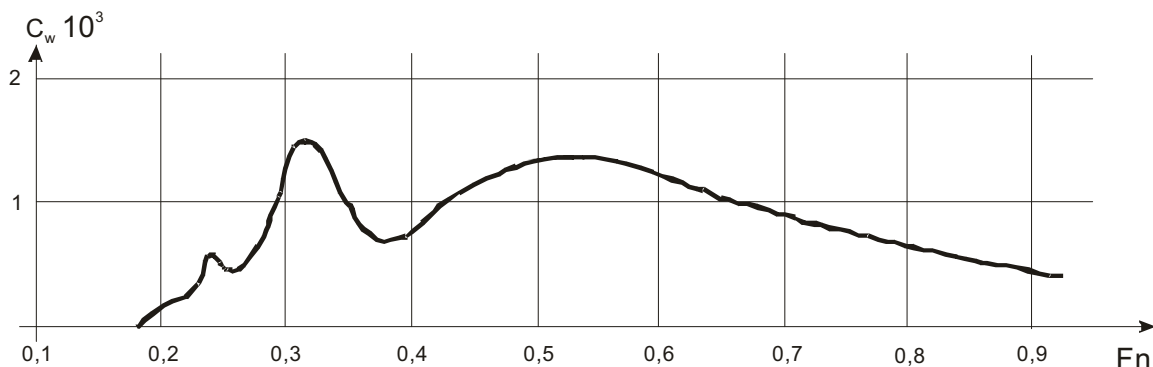


Rys. 3. Regresja liniowa wyporności statków kontenerowych i liczba TEU
Fig. 3. Linear regression of the container ships displacement and the number of TEU

3.2. Długość statku kontenerowego

Dla wyznaczenia długości statku można posłużyć się liczbą Froude'a, co dla założonej prędkości pływania v pozwala stwierdzić, czy dobrana długość statku odpowiada zalecanym liczbom F_n z uwagi na minimalizację oporu falowego. Zgodnie z teorią podobieństwa hydrodynamicznego współczynnik oporu falowego jest zależny od liczby Froude'a. Przyjmuje się, że wartość współczynnika oporu falowego modelu statku wyznaczana w basenie modelowym jest taka sama dla projektowanego obiektu pływającego przy założeniu stałości liczby F_n .

Dla współczesnych statków kontenerowych liczba Froude'a przyjmuje wartości z zakresu 0,24–0,26 czyli omija zakres lokalnego maksimum na charakterystyce współczynnika oporu falowego przedstawionej na Rys. 4.



Rys. 4. Zależność współczynnika oporu falowego i liczby Froude'a [4]
Fig. 4. Wave resistance coefficient and Froude number relation [4]

W Tab. 1 zestawiono średnie wartości liczby Froude'a dla poszczególnych klas współczesnych statków kontenerowych.

Tab. 2. Wartości liczby Froude'a
Tab. 2. Froude number in figures

| klasa | Fn |
|------------|------|
| do 1000 | 0,26 |
| 1001-2500 | 0,25 |
| 2501-5000 | 0,25 |
| 5001-10000 | 0,24 |
| Średnia | 0,25 |

Najwyższa wartość $Fn = 0,26$ przypada dla klasy small feeder czyli najmniejszych kontenerowców o pojemności do 1000 TEU. Najniższą wartość Fn mają obiekty pływające o pojemności od 5000 do 10000 kontenerów w tzw. klasie post-panamax.

Obniżenie oporu falowego projektowanej jednostki obejmuje głównie analizę możliwości obniżenia wartości liczby Froude'a poprzez zwiększenie długości statku tak, żeby ominąć lokalne maksima współczynnika oporu falowego.

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}}, \quad (2)$$

Lokalne maksima współczynnika oporu falowego występują przy $Fn = 0,22-0,24$ i przy $Fn = 0,32$. Natomiast globalne maksimum współczynnika oporu falowego występuje przy $Fn = 0,5$ czyli zakresie nieosiągalnym dla klasycznych statków handlowych [4]. Dla wyższych prędkości v wydłużenie kadłuba w celu zmniejszenia wielkości oporu falowego może być realizowane do granic określonych warunkiem stateczności. Na Rys. 5 przedstawiono zależność długości statków kontenerowych w funkcji liczby kontenerów dwudziestostopowych.

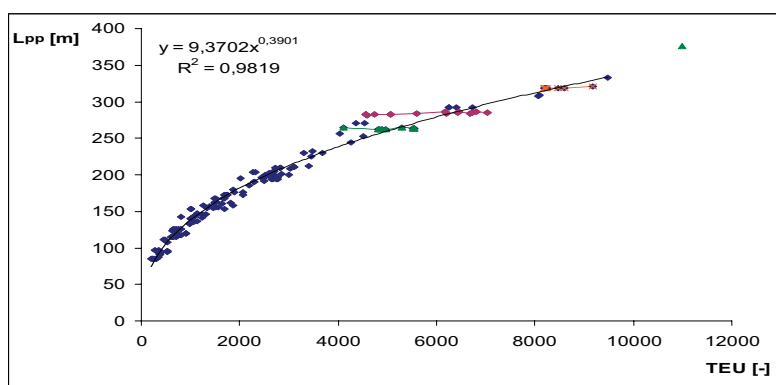


Fig. 5. Zależność długości kadłuba pomiędzy pionami a liczba TEU
Fig. 5. Length between perpendiculars and TEU number relation

Z zależności przedstawionej na Rys. 5 wynika, że do wartości około 5000 TEU ograniczenia szlaków żeglugowych nie mają wpływu na długość kadłuba statku. Dla tego zakresu liczby TEU długość statku można opisać zależnością $y = 9,3702x^{0,3901}$. W przypadku wyższych pojemności kontenerowych projektowanego statku, przy określaniu jego długości, wartość tą należy zweryfikować względem ograniczeń z założeń armatorskich. Przykładowe ograniczenia wynikające z przewidywanej trasy żeglugowej statku zostały podane w Tab. 1.

3.3. Szerokość i zanurzenie statku kontenerowego

W kolejnych etapach doboru wymiarów głównych projektowanego statku kontenerowego wyznacza się odpowiednio szerokość B i zanurzenie T statku.

Szerokość kadłuba obiektu pływającego zależy bezpośrednio od liczby kontenerów dwudziestostopowych, na jaki zaprojektowany jest statek. Zwiększanie szerokości statku

powoduje wzrost oporów kadłuba i w konsekwencji wzrost mocy napędu głównego. Przy braku ograniczeń żeglugowych wartość szerokości statku B wynika z warunku stateczności i może być wyznaczona z zależności przedstawionej na Rys. 6 opisaną równaniem potęgowym $y = 2,6375x^{0,3116}$. Dla większej liczby przewożonych kontenerów, gdy szerokość statku przekracza 30 m, decydującym dla określenia szerokości statku nie jest liczba kontenerów, lecz ograniczenia spowodowane rejonem pływania. Ograniczenie szerokości statku na poziomie około 32 metrów wynika z faktu, iż armatorzy tych statków w założeniach projektowych podali warunek rejonu pływania z wykorzystaniem kanału Panamskiego.

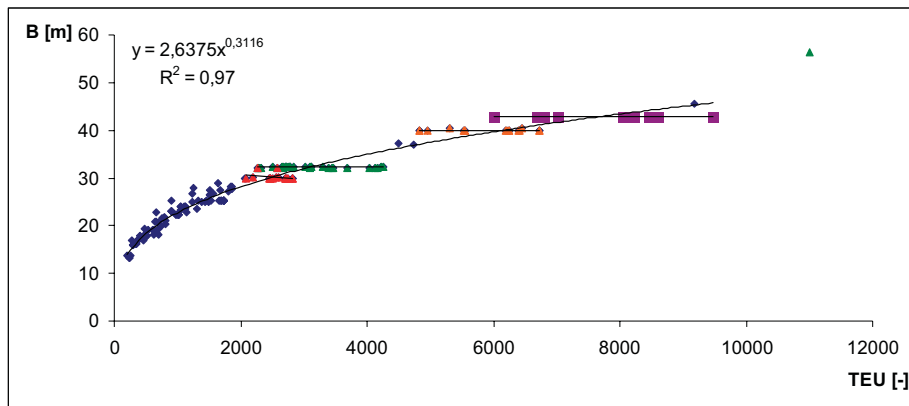
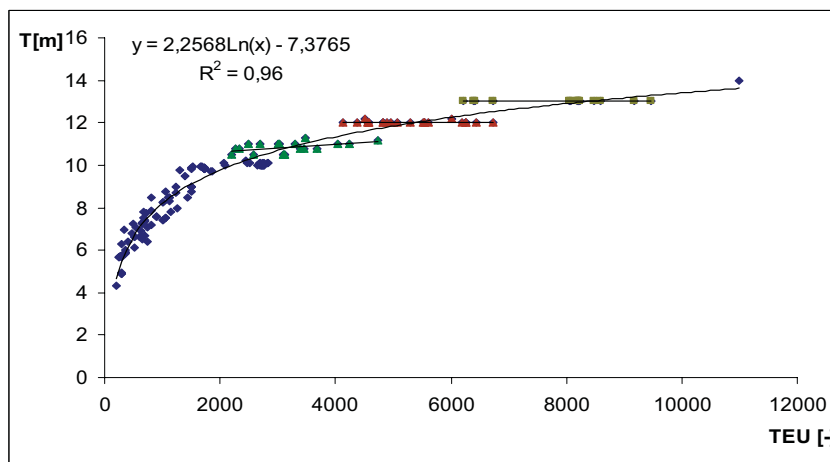


Fig. 6. Zależność wykładnicza pomiędzy szerokością statku i liczbą TEU
Fig. 6. Exponent relation between ship breadth and TEU number

Podobnie jest dla statków o większej pojemności kontenerowej. Obserwuje się, że następne grupy statków mają szerokość wynoszącą odpowiednio 40 i 43 m. Dla kontenerowców o bardzo dużej pojemności, których prekursorem jest statek Emma Maersk o zdolności ładunkowej 11000 kontenerów, nie ma ograniczeń co do szerokości i zanurzenia, ponieważ z założenia jednostki te będą pływać w rejonach o nieograniczonej szerokości i głębokości.

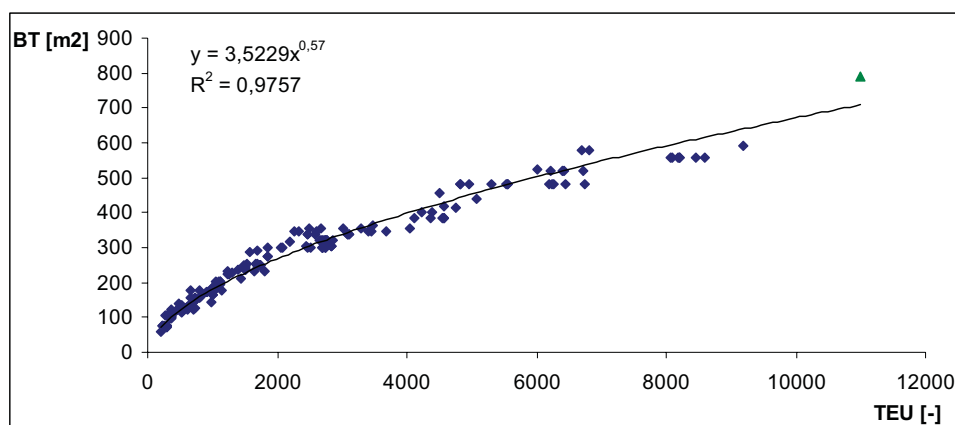
Podobnie jak w przypadku szerokości statku, tak dla zanurzenia istnieją zakresy pojemności kontenerowej, przy których wartość zanurzenia konstrukcyjnego nie ulega zmianie. Stałe zakresy zanurzenia zaczynają się od wartości powyżej 10 m.

Zależność zanurzenia wyrażonego w metrach w funkcji pojemności kontenerowej statku TEU opisana została zależnością logarytmiczną przedstawioną na Rys. 7. Do wartości około 2000 TEU ograniczenia szlaków żeglugowych nie mają wpływu na wartość zanurzenia statku. Dla tego zakresu liczby TEU zanurzenie statku można opisać zależnością $y = 9,3702x^{0,3901}$.



Rys. 7. Zależność pomiędzy zanurzeniem statku i liczbą TEU
Fig. 7. Relation between ship draught and TEU number

Przy nieograniczonej głębokości, zanurzenie T statku rozpatruje się w odniesieniu do szerokości B kadłuba uwzględniając warunek statecznościowy. Z tego względu proponuje się by zanurzenie statku T wyznaczyć z iloczynu BT według zależności $y = 3,5229TEU^{0,57}$ przedstawionej na Rys. 8.



Rys. 8. Zależność iloczynu szerokości B i zanurzenia T i liczby TEU

Fig. 8. Container vessel breadth B and draught T multiplication and TEU number relation

Z punktu widzenia oporów kadłuba i możliwości zainstalowania śrub o dużej średnicy z dostatecznym zapasem zanurzenia, zanurzenie T statku powinno być jak największe.

3.4. Weryfikacja wymiarów głównych

Kształty kadłubów, nawet przy zbliżonych niektórych wymiarach mogą się między sobą znacznie różnić. Z uwagi na istniejące ograniczenia „wymiarowe” kadłuba statku, warunek stateczności i niezatapialności oraz kryteria oporowe, w celu optymalnego doboru kształtu kadłuba, stosowane są różne zależności wymiarowe głównie B/T, L/B oraz współczynnik pełnotliwości kadłuba statku. Właściwy dobór kształtu kadłuba ma wpływ na charakterystyki oporowe, zdolności ruchowe i manewrowe statku. Dopiero przy zestawieniu ilorazów odpowiednich wymiarów widać różnice w kształcie kadłuba.

Operując tymi ilorazami można tak dobrać wymiary kadłuba jednostki, by spełnić przynajmniej większość ograniczeń. Tam, gdzie nie występują ograniczenia szerokości statku B, wartość ta będzie taka, na ile pozwalają obliczenia statecznościowe jednostki. Dla statków smukłych, a takimi są kontenerowce, iloraz B/T przekracza przeważnie wartość 2,4. Dla współczesnych kontenerowców wartość B/T mieści się w zakresie przedstawionym w Tab. 3.

Tab. 3. Iloraz szerokości B i zanurzenia T w liczbach
Tab. 3. Ships breadth B and draught T quotient in figures

| Wartość | B/T |
|-------------|-----|
| Najmniejsza | 2,3 |
| Największa | 3,6 |
| Średnia | 2,9 |

W przeciwieństwie do ilorazu B/T, zależność L/B nie ma tak znaczącego wpływu na stateczność jednostki, jednak silnie wpływa na wielkość oporów stawianych przez kadłub, czyli na prędkość poruszania się obiektu i docelowo na ekonomiczność jednostki pływającej. Dąży się, by ten iloraz był jak największy przy jednoczesnym zachowaniu warunku stateczności i zwrotności statku. Im większa jest wartość L/B tym mniejsze są opory i większa prędkość jednostki.

Wartości długości do szerokości konstrukcyjnej statku L/B dla współczesnych kontenerowców mieszczą się w zakresie 5,3–8,8. Dla statków o mniejszej pojemności kontenerowej TEU iloraz

L/B przyjmuje zróżnicowane wartości. Im jednostka większa tym zależność ta jest określana w węższym przedziale wartości, co zostało przedstawione w Tab. 4.

Tab. 4. Iloraz długości pomiędzy pionami do szerokości dla różnych klas kontenerowców
Tab. 4. Length between perpendiculars and breadth quotient for different container carriers classes

| TEU | Lpp/B |
|------------|---------|
| do 4000 | 5,3-7,2 |
| 4000-6000 | 6,6-8,8 |
| 6000-10000 | 6,6-7,8 |

W ostatnim etapie doboru wymiarów głównych statku kontenerowego przeprowadza się weryfikację wyporności D oraz wymiarów LBT. Do tego celu mogą posłużyć współczynniki pełnotliwości, które są ilorazami określonych objętości i pól [22, 25-26]. Dla obiektów pływających istotny jest współczynnik pełnotliwości kadłuba $\delta = D/LBT$ ze względu na to, że ma on zasadniczy wpływ na prędkość statku. Im smuklejszy kadłub, czyli mniejsza wartość współczynnika pełnotliwości, tym większa może być prędkość jednostki pływającej. Dla współczesnych statków kontenerowych, w całym zakresie pojemnościowym, jego wartość jest na poziomie 0,60–0,69.

4. Podsumowanie

Dla niskich liczb przewożonych kontenerów TEU ograniczenia nie istnieją i dobór wymiarów głównych wynika tylko i wyłącznie z kryteriów oporowych przy uwzględnieniu warunków bezpieczeństwa tj. stateczność i niezatapialność.

Stałe wartości długości, szerokości i zanurzenia kadłuba wynikają z ograniczeń, przyjętych do projektowania, rejonów pływania. Dla kanału Kilońskiego jest to głównie szerokość wynosząca 40 m, dla kanału Panamskiego, gdzie do transportu obiektów pływających wykorzystuje się śluzy, podobnie jak w kanale Kilońskim, jest to głównie szerokość, zanurzenie i długość o wartościach odpowiednio 32 m, 12 m i 290 m. Pozostałe wymiary przekraczające ograniczenia wynikające z rejonu pływania mogą być spowodowane wielkością oporu falowego, warunkami bezpieczeństwa (stateczność i niezatapialność), ograniczeniami parku technologicznego stoczni i instytucji współpracujących przy budowie statku.

Literatura

- [1] Andrews, D. J., *An integrated approach to ship synthesis*, Trans. RINA 1985.
- [2] Buczkowski, L., *Podstawy budownictwa okrętowego Cz. I*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1973.
- [3] Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku, baza danych Polship <http://polship.cto.gda.pl> oraz Intership <http://intership.cto.gda.pl:8080/>.
- [4] Charchalis, A., *Opory okrętów wojennych i pędniki okrętowe*, Gdynia 2001.
- [5] Chądzyński, W., *Elementy współczesnej metodyki projektowania obiektów pływających*, PNPS 563, Szczecin 2001.
- [6] 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.
- [7] Evans, J. H., *Basic Design Concept*, *Naval engineers Journal*, November 1959.
- [8] Hansa, *International Maritime Journal* - 142, No.11, Jahrgang 2005; - 143, No.9 Jahrgang 2006.
- [9] Iza, V., *Solutions - enhancing the ship power supplier strategy*, *Marine news*, Wartsila, 2-2003.

- [10] Jensen, G., Kraus, A., *Deeper draughts for optimum mega container liners?* The Naval architect, March 2004.
- [11] MAN B&W Diesel A/S, *Propulsion Trends in Container Vessels*, www.manbw.com, Denmark 2005.
- [12] Safety at Sea International, Vol. 40, No. 453, November 2006.
- [13] Schiff und Haffen, journal, nr. 01-03 2006, 05, 06 2006, 08-12 2006, 01-03 2007.
- [14] Schneekluth, H., Bertram, V., *Ship design for efficiency and economy*, Butterworth Heinemann, Oxford 1998.
- [15] Significant Ships 2000, 2001, 2003-2006.
- [16] Szarejko, J., Rogulski, R., *Zarys budowy okrętu*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1974.
- [17] The Naval Architect - International journal of The Royal Institution of Naval Architects, April, June, July/August, October 2004.

