

CHORAB Paweł

STATECZNOŚĆ STATKU W CZASIE WYMIANY WÓD BALASTOWYCH METODĄ SEKWENCYJNĄ

Streszczenie

W pracy przedstawiono aktualne podejście do oceny stateczności statku w czasie wymiany wód balastowych metodą sekwencyjną. Przedstawiono zagrożenia wpływające na stateczność statku w czasie tego procesu. Omówione zostały zmiany wybranych parametrów eksploatacyjnych statku na skutek opróżniania i napełniania kolejnych zbiorników wodą balastową. W analizie wzięto pod uwagę ocenę stateczności statku w rzeczywistych warunkach pogodowych tj. na fali. Dokonano obliczeń początkowej wysokości metacentrycznej i ramienia prostującego statku w położeniu na grzbiecie fali. Obliczeń tych dokonano dla różnych stanów załadowania. W obliczeniach przedstawiono jak zmiana kształtu wodnicy pływania statku, objętości podwodnej części kadłuba w zależności od położenia fali jej parametrów i przegłębienia statku wpływa na zmianę ramienia prostującego i początkowej wysokości metacentrycznej statku.

WSTĘP

Ocena stateczności statku w czasie eksploatacji należy do najważniejszych czynności pozwalających oceniać bezpieczeństwo statku. Ocena stateczności statku w czasie wymiany wód balastowych opiera się na standardach wynikających z kodeksu stateczności statków w stanie nieuszkodzonym *IS Code 2008*. Zawarte w nim kryteria służą do oceny stateczności statków na wodzie spokojnej bez uwzględnianie wpływu falowania na stateczność statku. Są one również podstawą do przygotowania dla statku tzw. planu wymiany wód balastowych *BWM Plan (Ballast Water Management Plan)*.

Pływanie statku pod balastem oraz wymiana wód balastowych są sytuacjami często spotykanymi w eksploatacji statków morskich różnych typów. Ze względów ekonomicznych i ekologicznych wymiana wód balastowych odbywa się najczęściej w trakcie podróży statku na otwartym morzu w różnych warunkach pogodowych. Znaczna masa wód balastowych oraz organiczna wydajność pomp balastowych powodują, że jest to operacja trwająca wiele godzin. W praktyce często występuje konieczność przeprowadzenia tej operacji w niekorzystnych z punktu widzenia bezpieczeństwa statku warunkach pogodowych. Samo pływanie statku w stanie balastowym w złych warunkach pogodowych jest już zagrożeniem dla jego bezpieczeństwa. Zagrożenie to ulega znacznemu zwiększeniu podczas skomplikowanego procesu opróżniania i napełniania zbiorników. Wraz ze zmianą stanu załadowania statku (opróżnienie lub napełnienie zbiornika balastowego) wpływ na parametry statecznościowe ma także położenie kadłuba statku względem fali (na jej szczycie lub w dolinie) co znacznie wpływa na wartości ramienia prostującego GZ i początkowej wysokości metacentrycznej statku GM . [4], [8], [15].

1. BEZPIECZEŃSTWO STATECZNOŚCIOWE STATKU W CZASIE WYMIANY WÓD BALASTOWYCH

Zagrożenia dotyczące bezpieczeństwa statku w czasie procesu wymiany wód balastowych metodą sekwencyjną zostały wymienione w m.in. w publikacjach [4], [7], [8], [9], [15].

Do najważniejszych można zaliczyć:

- zbyt długi czas wymiany balastów,
- zła kolejność (sekwencja) opróżniania i napełniania zbiorników,
- niesprzyjające warunki pogodowe (wiatr, wysoka fala),
natomiast z powstających różnych zagrożeń, za najbardziej niebezpieczne, pod względem eksploatacyjnym, uznaje się:
 - **utratę lub duże pogorszenie stateczności statku,**
 - wzrost kołysań statku, szczególnie bocznych,
 - wynurzanie się śruby, przy zbyt małym zanurzeniu rufy, co prowadzi do pogorszenia właściwości napędowych i manewrowych,
 - wynurzanie się dziobu, co prowadzi do powstawania slemingu i pogorszenia widoczności z mostku nawigacyjnego (powstawania tzw. sektora martwego przed dziobem statku).

Obecnie w eksploatacji podczas przygotowywania planu wymiany wód balastowych lub w czasie tego procesu można posłużyć się następującymi dokumentami:

- Res. MSC.1/Circ.1228 „Znowelizowane wytyczne dla kapitana w zakresie unikania niebezpiecznych sytuacji w niesprzyjających warunkach pogodowych i stanie morza” z dnia 11.01.2007 r
- Res. MSC/Circ. 1145 “*Precautionary advise to masters when undertaking ballast water exchange operations*”, IMO, London 13 Dec. 2004

Są to jednak zalecenia ogólne nie uwzględniające rzeczywistych warunków pogodowych (parametry falowania) oraz parametrów konstrukcyjnych danego statku (np. liczba zbiorników, instalacja balastowa, geometria kadłuba itp.).

Biorąc powyższe pod uwagę (ogólne wytyczne, dotychczasową analizę w przygotowanych planach dla statku na wodzie spokojnej) przeprowadzono analizę zmian w parametrach statecznościowych dla statku na fali.

Podczas pływania statku po sfalowanej wodzie, powstające kołysania mają istotny wpływ na bezpieczeństwo statecznościowe. Pogorszenie się stateczności można rozpatrywać w dwóch aspektach:

- pogorszenie stateczności w wyniku kołysań bocznych statku,
- pogorszenie stateczności w wyniku zmniejszenia się wysokości metacentrycznej oraz zakresu krzywej ramion prostujących, spowodowanych ruchami względnymi.

W rzeczywistości oba te zjawiska zachodzą równocześnie, z tym że intensywność tych zjawisk (zagrożenie bezpieczeństwa statecznościowego) zależy od wielu czynników, głównie od wysokości i kierunku fali względem statku. Intensywność tych zjawisk jest potęgowana dodatkowo podczas wymiany balastów, ponieważ występuje zmiana położenia środka masy statku a także środka wyporu i innych parametrów charakteryzujących geometrię podwodnej części kadłuba statku – zmiany tych parametrów (tj. zanurzeń wynikających z zmian środka ciężkości i wyporu statku zmiennych przy opróżnianiu i napełnianiu zbiorników) przedstawiono m.in. w pracach [7], [8], [9].

2. OCENA STATECZNOŚCI STATKU NA FALI

Istotą stateczności statku jest zdolność do przeciwstawiania się przez statek zewnętrznym momentom przechylającym, poprzez powstający podczas przechylania moment prostujący. Na wodzie spokojnej moment prostujący wynika z ciśnień hydrostatycznych działających na

zwilżoną powierzchnię kadłuba przechylonego okrętu (dla danego kąta przechyłu moment prostujący na wodzie spokojnej jest niezależny od czasu). Natomiast na sfalowanej wodzie dodatkowo pojawiają się ciśnienia hydrodynamiczne od fali niezakłóconej i od zaburzeń, jakie wprowadza statek do fali. Podczas pływania po sfalowanej wodzie powstają odkołysań także ruchy względne statku a tym samym chwilowe zmiany objętości i kształtu zwilżonej części kadłuba statku oraz zmiany charakterystyk geometrycznych, od których zależy moment prostujący. Czynniki te powodują, że podczas pływania statku na fali moment prostujący zależy dodatkowo od czasu. W przybliżeniu można przedstawić go jako sumę momentu prostującego na wodzie spokojnej i poprawek wynikających z oddziaływania fali [11], [16]:

$$M_R(\Phi, t) = M_{R0}(\Phi) + \delta M_{R1}(\Phi, t) + \delta M_{R2}(\Phi, t) + \delta M_{R3}(\Phi, t), \quad (1)$$

gdzie:

$\delta M_{R0}(\Phi, t)$ – moment prostujący na wodzie spokojnej,

$\delta M_{R1}(\Phi, t)$ – poprawka wynikająca z uwzględnienia sił odśrodkowych, które występują na skutek udziału statku w ruchu orbitalnym cząstek wody w fali,

$\delta M_{R2}(\Phi, t)$ – poprawka uwzględniająca wpływ zmian objętości podwodzia wywołanych względnymi kołysaniami (w szczególności nurzaniem),

$\delta M_{R3}(\Phi, t)$ – poprawka wynikająca ze zmian kształtu podwodzia wywołanego falowaniem (zmiana kształtu podwodzia powoduje zmianę bezwzględnej wartości ramion prostujących),

Φ – kąt przechyłu statku, (na fali jest to kąt wynikający z kołysań bocznych),

t – czas.

Siła odśrodkowa powoduje zmianę zanurzenia statku (zanurzenie statku w dolinie fali i wynurzenie na grzbiecie). Na regularnej fali bocznej poprawka δM_{R1} może być aproksymowana wyrażeniem:

$$\delta M_{R1} \approx W \cdot l(\Phi) \cdot \frac{\delta_1 h_0}{h_0}, \quad (2)$$

gdzie:

$$\delta_1 h_0 = h_0 \alpha_A \cos(\omega_E t), \quad (3)$$

W – wypór statku,

$l(\Phi)$ – ramię prostujące na wodzie spokojnej przy kącie przechyłu Φ ,

h_0 – początkowa, poprzeczna wysokość metacentryczna na wodzie spokojnej,

α_A – amplituda kąta skłonu fali regularnej,

ω_E – częstość spotkaniowa na fali regularnej

Zmiany objętości podwodzia, wywołane względnymi kołysaniami statku można aproksymować wyrażeniem:

$$\delta M_{R2} \approx \frac{\delta(W \cdot h_0)}{h_0} l(\Phi) = \frac{W \delta_2 h_0 + h_0 \delta W}{h_0} l(\Phi), \quad (4)$$

gdzie:

$\delta_2 h_0$ – zmiany początkowej wysokości metacentrycznej wywołane zmianami małego promienia metacentrycznego i zmianami rzędnej środka wyporu,

δW – zmiany wyporu wywołane względnymi kołysaniami.

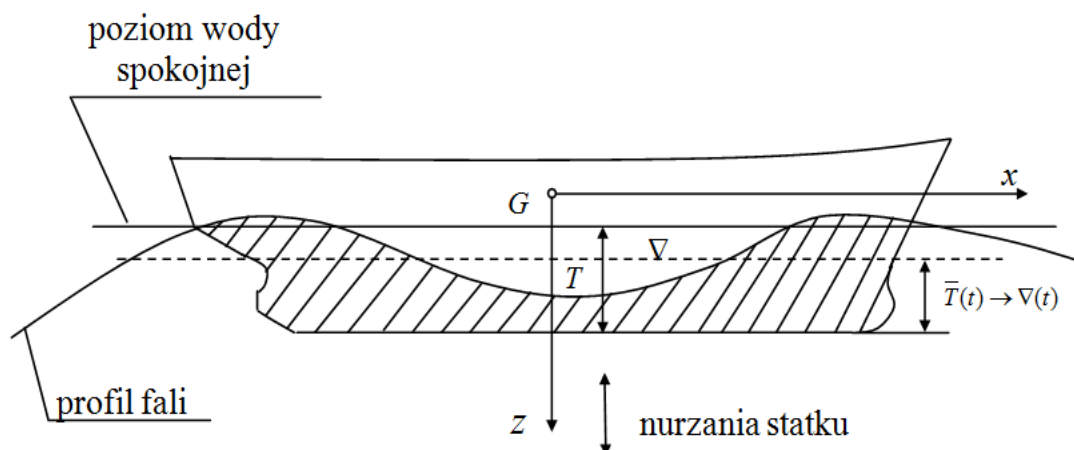
Zmiana momentu prostującego, wywołana zmianami kształtu podwodzia statku, na fali wzdłużnej może być aproksymowana wyrażeniem:

$$\delta M_{R3} \approx -Wh_{A0} \Phi \cos(\omega_E t + \varepsilon_h), \quad (5)$$

gdzie:

h_{A0} – amplituda zmian początkowej wysokości metacentrycznej,

ε_h – przesunięcie fazowe pomiędzy falą a zmianami wysokości metacentrycznej.



Rys. 1. Zmiana objętości i kształtu podwodzia statku wynikająca z ruchów względnych (głównie nurzań) i profilu fali (regularna fala wzdłużna).

Źródło: [16]

gdzie:

T, Δ – zanurzenie i objętość podwodzia statku na wodzie spokojnej,

$\bar{T}(t)$ – średnie chwilowe zanurzenie statku na fali,

obszar zakreskowany – chwilowy kształt i objętość $\Delta(t)$ podwodzia statku na fali.

Wymienione poprawki δM_{R1} , δM_{R2} , δM_{R3} momentu prostującego, dla statku o określonym stanie załadunku i płynącego z prędkością V pod kątem β_W w stosunku do kierunku fali, można uzależnić od parametrów fali regularnej tj. od amplitudy ζ_A i częstości ω lub długości λ . Wartość tych poprawek będzie się zmieniać oscylacyjnie w czasie tak jak zmienia się wartość rzędnej fali regularnej, która wywołuje te poprawki.

W przypadku wymiany balastów stan zanurzenia statku będzie ulegał zmianie – zmiany zanurzenia na wodzie spokojnej dla przykładowych statków pokazano w publikacjach [7] [8]. Stąd wypadkowy moment prostujący, dany równaniem (1) będzie zmienny w czasie, ale te zmiany będą wynikały z częstości fali (zmiany szybkozmiennie) i z procesu opróżniania i napełniania zbiorników balastowych (zmiany wolnozmiennie).

Zmiany momentu prostującego, dane równaniem, statku na fali regularnej sprowadzają się głównie do zmian objętości i kształtu podwodzia. Konsekwencją tych zmian są oczywiście zmiany charakterystyk geometrycznych i stąd krzywa ramion prostujących zmienia swoje wartości w funkcji czasu t dla danego kąta przechyłu \square w przedziale od wartości maksymalnej (kiedy statek jest w dolinie fali) do wartości minimalnej (statek na grzbiecie fali).

Ponieważ pomiędzy krzywą ramion prostujących a wysokością metacentryczną istnieje określony związek, to zmiany krzywej ramion można w przybliżeniu zastąpić pewną „wirtualną” wysokością metacentryczną, której wartości maksymalne i minimalne będą

oscylować wokół wartości h_0 jak dla wody spokojnej. Chwilowa wartość „wirtualnej” wysokości metacentrycznej będzie więc równa [16]:

$$h_{0w}(t) = h_0 + \Delta h_w(t) \quad (6)$$

gdzie $\Delta h_w(t)$ są zmianami w czasie wysokości metacentrycznej statku na fali. Amplituda oscylacji wysokości metacentrycznej Δh_w będzie także zależała od parametrów statku (stan załadowania, prędkość V i kierunek ruchu względem fali β_w) i od fali regularnej wywołującej kołysania statku: amplitudy ζ_A i długości λ (lub częstości ω).

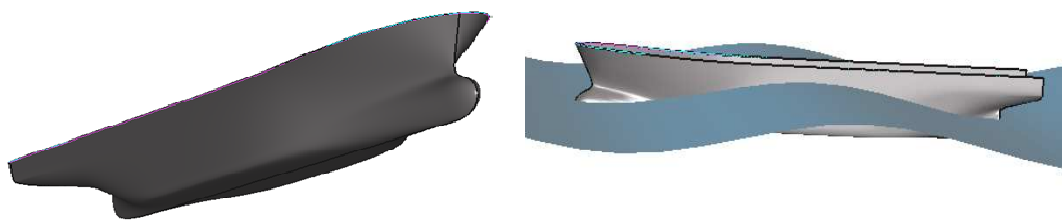
Dana wzorem (6) chwilowa wartość początkowej poprzecznej wysokości metacentrycznej będzie oczywiście słuszną dla określonego stanu załadowania łącznie z określonym stanem wypełnienia lub opróżnienia zbiorników balastowych. W czasie więc wymiany wód balastowych, nie tylko poprzeczna, początkowa wysokość metacentryczna h_0 będzie zmienna w czasie ale także wartość amplitudy oscylacji wysokości metacentrycznej Δh_w będą się zmieniać w zależności od stopnia wypełniania lub opróżniania poszczególnych zbiorników balastowych.

3. OBLICZENIA

W obliczeniach posłużono się oprogramowaniem Maxsurf – moduł Hydromax v.17.07 gdzie analizie poddano wartości początkowej wysokości metacentrycznej GM i ramienia prostującego GZ statku na fali.

W czasie analizy przyjęto następujące założenia:

- wykorzystano gotowy model kadłuba kontenerowca (dane statku w tabeli nr. 1),
- podstawy teoretyczne obliczeń i analiz oparto o liniową teorię kołysań przedstawioną w publikacjach [6], [11], [14],
- obliczenia przeprowadzono dla fali regularnej parametrach Hs i λ przedstawionych w publikacjach [11], [14],
- zaproponowano podejście quasi statyczne tj. analizę dla ustalonego położenia równowagi statku wynikającą z kolejnych etapów wymiany wód balastowych i ustalonego położenia szczytu fali względem kadłuba statku,
- w publikacji przedstawiono obliczenia dla położenia kadłuba statku na szczycie fali co zgodnie z teorią [6], [11], [14], powoduje największe zmiany w analizowanych parametrach,
- ze względu na dużą ilość wariantów podlegających obliczeniom przedstawiono tylko wybrane wyniki wynikające z analizy w postaci tabel lub wykresów na podstawie których sformułowano wnioski końcowe.



Rys. 2 Model kadłuba kontenerowca użytego w czasie przedstawionej analizy oraz zmiana kształtu wodnicy statku dla położenia kadłuba statku na szczycie fali.

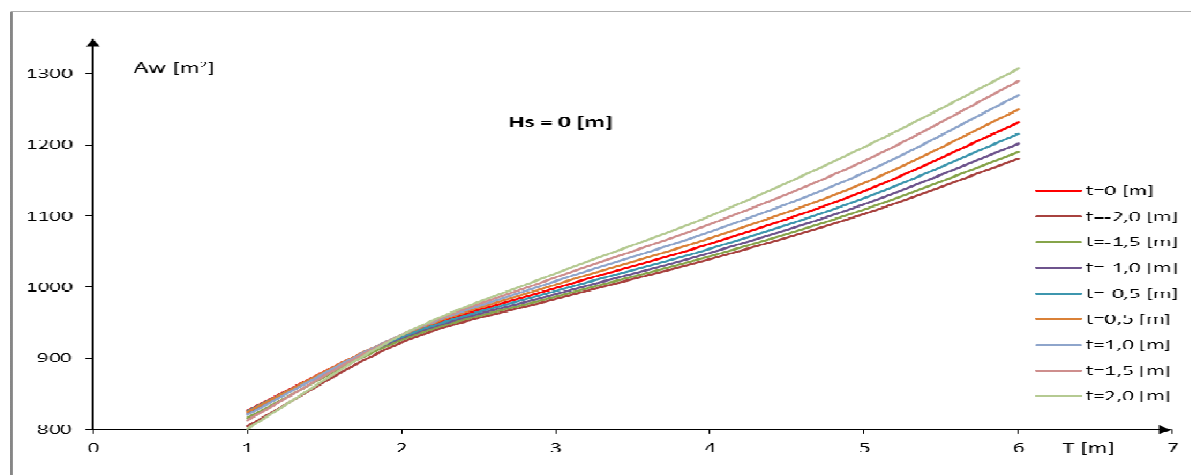
Źródło: Opracowanie własne, [3]

Tab. 1. Dane statku

Parametr	Wartość
L – dł. całkowita [m]	120
L _{pp} – dł. między pionami [m]	105
B – szerokość [m]	18
T – zanurzenie konstr. [m]	6,60
D – wyporność [t]	8040
C _b – współ. peł. podwodzia [-]	0,66
TPC [t/cm]	14,3

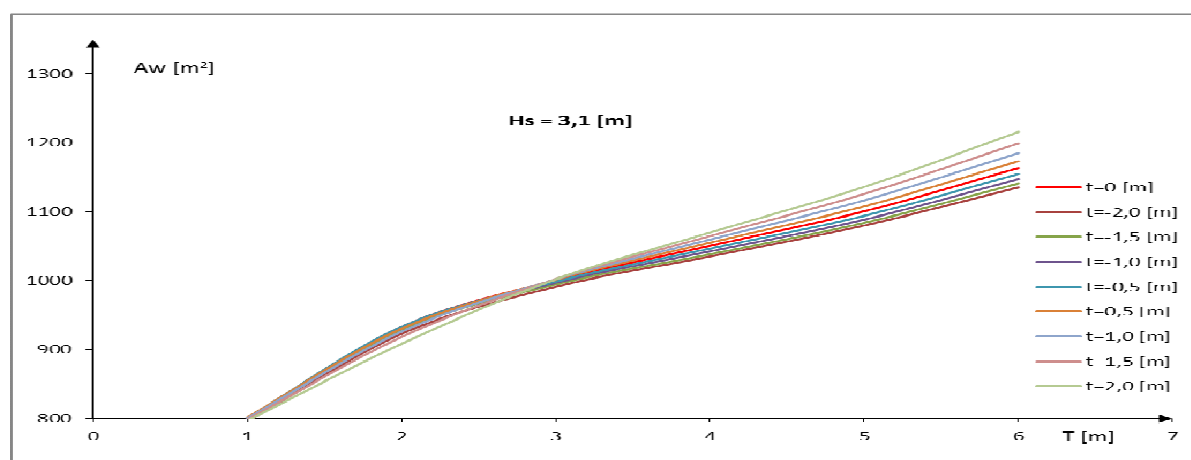
Źródło: Opracowanie własne

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń pola wodnicy A_w kontenerowca dla różnych stanów załadowania (różne wielkości przegłębień t) w położeniu kadłuba statku szczycie fali przeciwnej $\beta_w = 0^\circ$ o różnych parametrach (H_s – wysokość znacząca [m] fali, λ – długość fali [m]). Wyniki przedstawiono tylko dla położenia kadłuba statku na szczycie fali gdyż zgodnie z przyjętymi do obliczeń założeniami i różnymi pozycjami literaturowymi [5], [6], [11] taki wariant skutkował będzie największymi negatywnymi zmianami ramienia prostującego GZ i początkowej wysokości metacentrycznej GM .



Rys. 3 Wartości pola wodnicy kontenerowca na wodzie spokojnej $H_s = 0$ [m] $\beta_w = 0$ [°] dla różnych wartości przegłębień t .

Źródło: Opracowanie własne



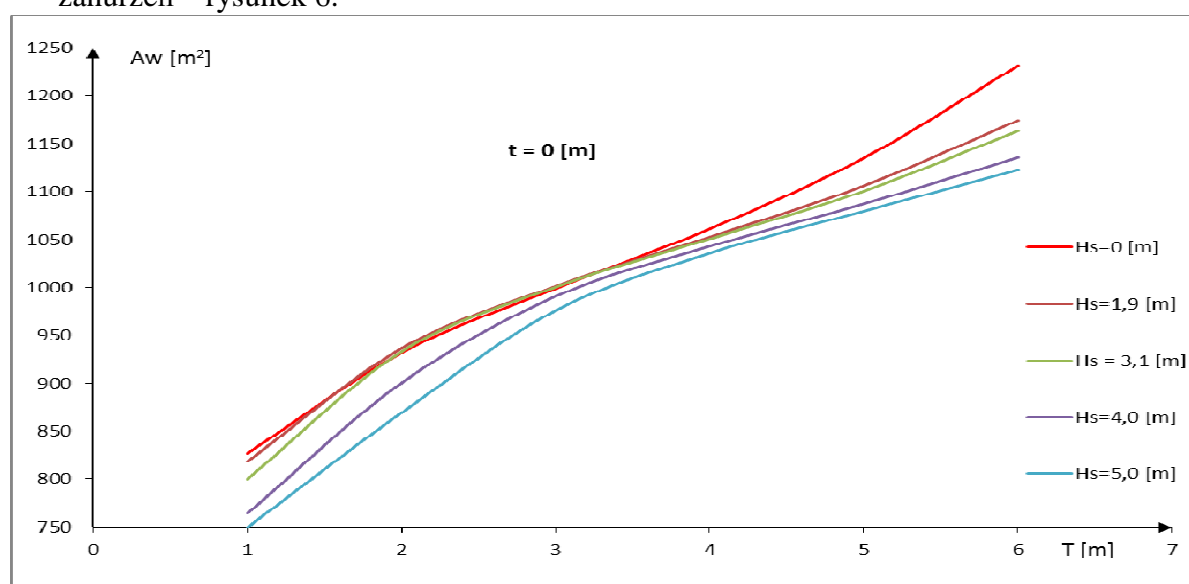
Rys. 4 Wartości pola wodnicy kontenerowca na szczycie fali $H_s = 3,1$ [m] $\beta_w = 0$ [°] dla różnych wartości przegłębień t .

Źródło: Opracowanie własne

Obliczeń dokonano dla różnych zanurzeń T jakie mogą wystąpić w czasie eksploatacji statku, biorąc pod uwagę różne przegłębienia t jakie mogą wystąpić czasie napełniania i opróżniania zbiorników oraz uwzględniając wpływ na kształt wodnicy statku profil fali regularnej o znanych parametrach przedstawiony modelem trochoidalnym.

Z analizy rysunków nr. 3, 4, 5 można przedstawić następujące wnioski:

- dla tych samych parametrów analizy tj. zanurzenia T i przegłębienia pole powierzchni wodnicy A_W maleje wraz z wzrostem wysokości znaczącej fali H_s ,
- niekorzystne zmiany pola wodnicy są największe gdy długość fali λ jest w przybliżeniu równy długości statku L_{PP} ,
- przegłębienia analizowanego statku na rufę (w obliczeniach dodatnie) powodują wzrost pola wodnicy A_W dla różnych wysokości znaczących fali H_s (statek na szczycie fali),
- dla określonych zanurzeń (lub zakresu zanurzeń) zmiany w wartościach pola wodnicy statku na skutek położenia statku na grzbiecie fali są dużo większy niż dla innego zakresu zanurzeń – rysunek 6.



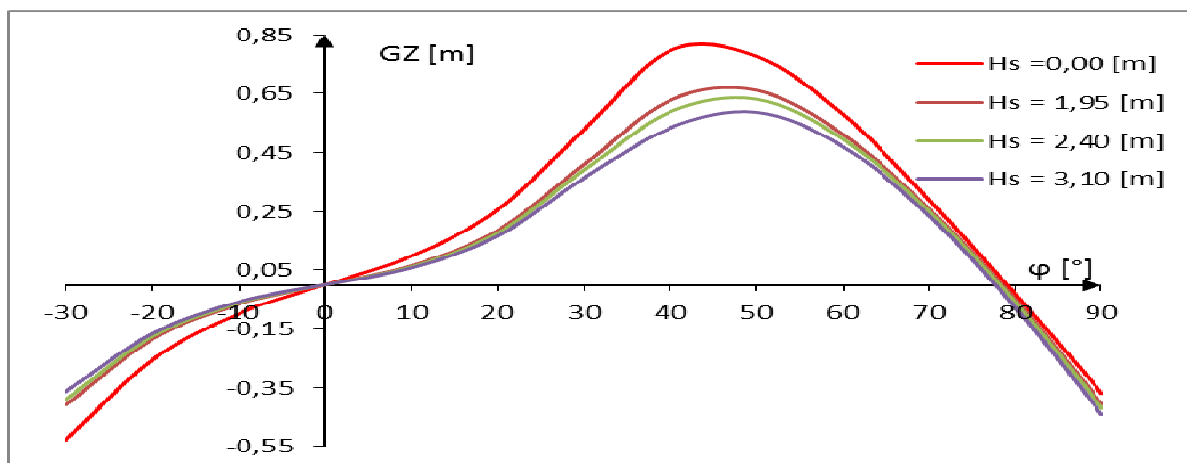
Rys. 5 Wartości pola wodnicy kontenerowca na różnej stępce $t = 0$ [m] dla różnych parametrów fali H_s – wysokość znacząca fali, $\beta_W = 0$ [°].

Źródło: Opracowanie własne

4. WPŁYW PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH NA BEZPIECZEŃSTWO STATECZNOŚCIOWE STATKU

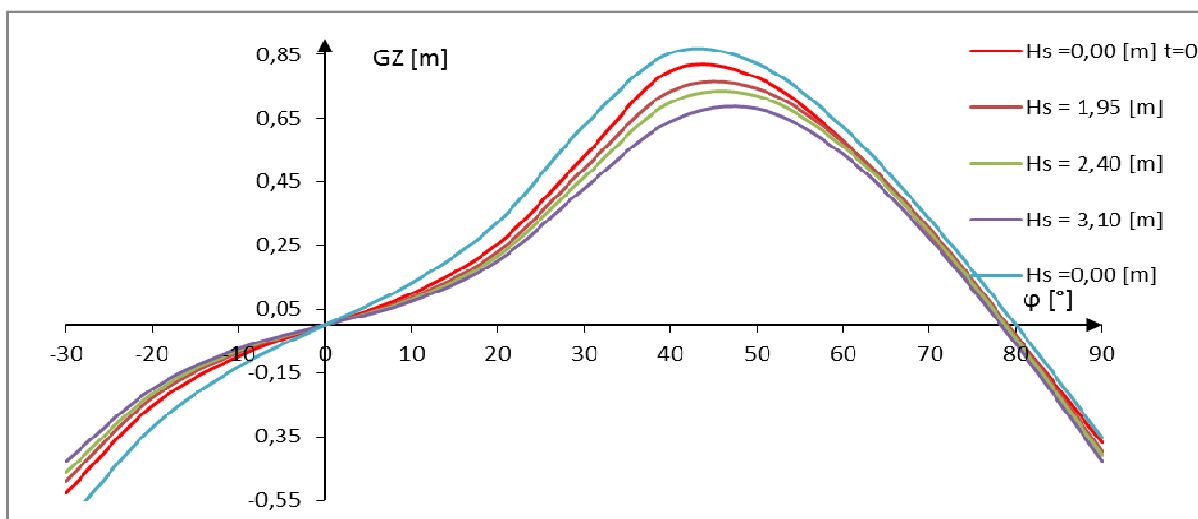
Na rysunkach nr 6,7,8 które są wynikiem przeprowadzanej analizy zgodnie z przyjętymi a przedstawionymi powyżej założeniami przedstawiono wielkość ramienia prostującego GZ w funkcji kąta przechyłu φ . Analizie poddano różne zanurzenia statku T oraz różne wielkości przegłębienia (dodatnie i ujemne) wywołane operacjami balastowymi. Dla wybranego jednego stanu załadowania lecz dla różnych wartości przegłębienia t i różnych wysokości znaczących fali H_s (położenia kadłuba na szczycie fali) pokazane zostały różne wartości ramienia prostującego statku. Za analizy zauważyć można że rufowe wartości przegłębienia zwiększają ramię prostujące dla tych samych parametrów fali H_s .

Podobną analizę wykonano dla początkowej wysokości metacentrycznej GM (rysunki nr 9, 10). Przedstawiono wpływ przegłębienia t na wartość początkowej wysokości metacentrycznej GM dla statku na szczycie fali. Otrzymane wyniki pokazują tendencję zwiększania wartości GM dla przegłębienia rufowych (rysunek 9) dla różnych parametrów fali H_s , λ (rysunek 11). Podsumowanie dla zmian GM (wartość bezwzględna Δh_0) statku na fali w różnych stanach położenia równowagi przedstawia tabela nr 2.



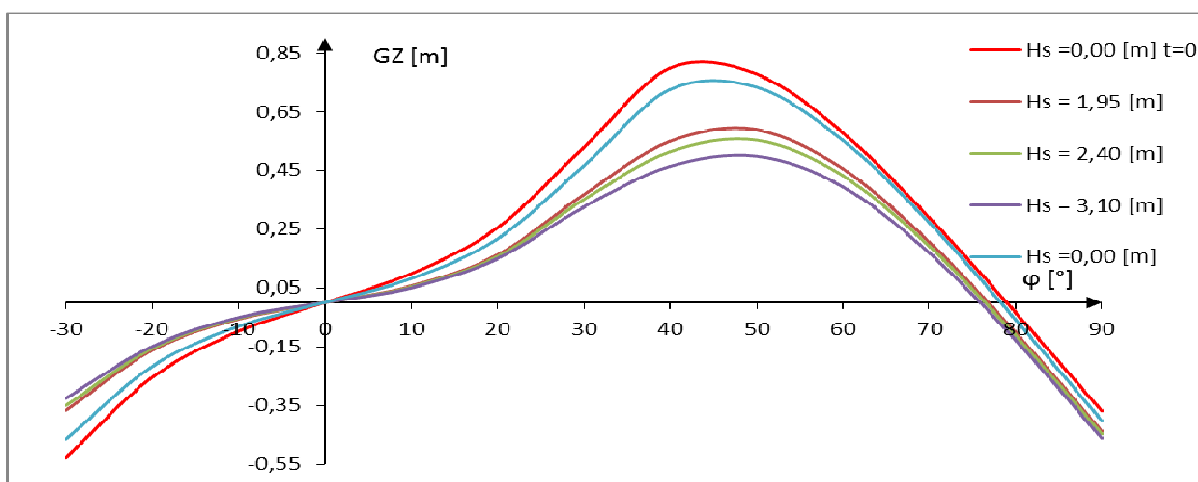
Rys. 6 Wartości ramienia prostującego GZ statku na szczycie fali dla różnych parametrów fali H_s i przegłębienia statku $t = 0$ [m] – statek na równej stępce, $\beta_w = 0$ [°].

Źródło: Opracowanie własne



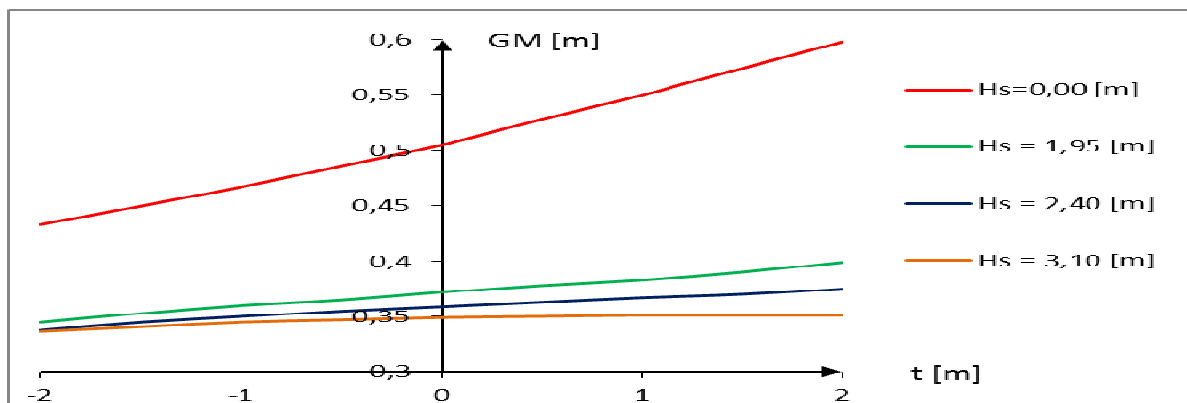
Rys. 7 Wartości ramienia prostującego GZ statku na szczycie fali dla różnych parametrów fali H_s i przegłębienia statku $t = 2$ [m] – statek przegłębiony na rufę, $\beta_w = 0$ [°].

Źródło: Opracowanie własne



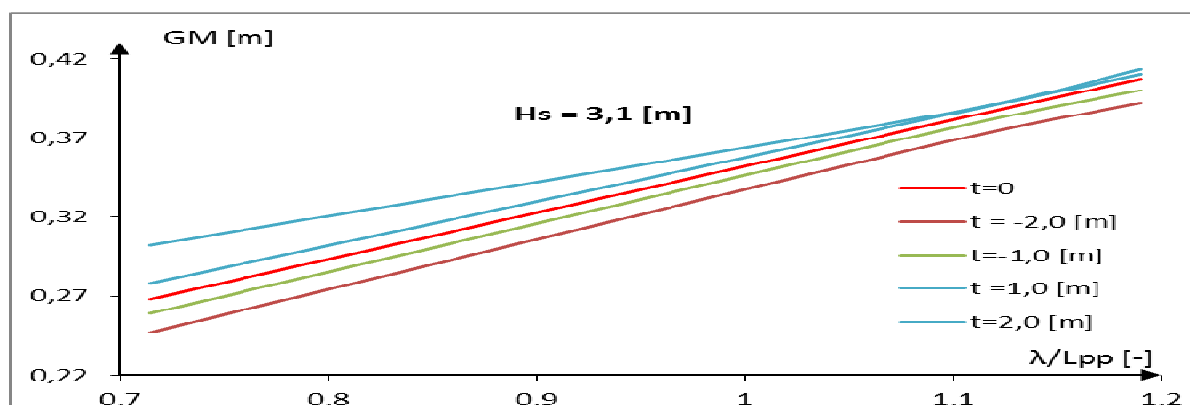
Rys. 8 Wartości ramienia prostującego GZ statku na szczycie fali dla różnych parametrów fali H_s i przegłębienia statku $t = -2$ [m] – statek przegłębiony na dziób, $\beta_w = 0$ [°].

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 9 Wartości początkowej wysokości metacentrycznej GM dla różnych wartości przegłębienia statku t i różnych wybranych wysokości znaczących fali H_s , $\beta_w = 0$ [°]. Długość fali $\lambda \approx L_{pp}$ – położenie statku na szczycie fali.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 10 Wartości początkowej wysokości metacentrycznej GM dla różnych wartości przegłębienia statku t i różnych długości fali λ w stosunku do długości statku L_{pp} . Wysokość znacząca fali $H_s = 3,1$ [m] położenie kadłuba statku na szczycie fali, $\beta_w = 0$ [°].

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2 przedstawia wartości bezwzględne Δh_0 zmian początkowej wysokości metacentrycznej GM w stosunku do wartości na wodzie spokojnej różnych parametrów fali.

Tab. 2. Wartość bezwzględna zmian początkowej wysokości metacentrycznej statku na fali $H_s = 3,1$ [m], $\beta_w = 0$ [°] dla różnych długości fali λ i różnych przegłębieniach statku t .

		λ/L_{pp} [-]	λ/L_{pp} [-]	λ/L_{pp} [-]
		0,714	1,095	1,19
t = 0 [m]	Δh_0 [-]	0,47	0,25	0,20
t = -2,0 [m]	Δh_0 [-]	0,51	0,27	0,22
t = -1,5 [m]	Δh_0 [-]	0,50	0,26	0,21
t = -1,0 [m]	Δh_0 [-]	0,49	0,26	0,20
t = -0,5 [m]	Δh_0 [-]	0,46	0,25	0,19
t = -0,5 [m]	Δh_0 [-]	0,46	0,25	0,19
t = 1,0 [m]	Δh_0 [-]	0,45	0,24	0,19
t = 1,5 [m]	Δh_0 [-]	0,43	0,24	0,19
t = -2,0 [m]	Δh_0 [-]	0,40	0,24	0,18

$$\Delta h_0 = \frac{\Delta GM}{GM_0} \quad (7)$$

$$\Delta GM = GM_i - GM_0 \quad (8)$$

gdzie:

Δh_0 – wartość bezwzględna zmiany początkowej wysokości metacentrycznej dla ustalonej wartości przegłębienia t i wysokości znaczącej fali H_s ,

ΔGM – zmiana początkowej wysokości metacentrycznej w danym pomiarze dla ustalonej wartości przegłębienia t i wysokości znaczącej fali H_s ,

GM_i – wartość początkowej wysokości metacentrycznej w danym pomiarze dla ustalonej wartości przegłębienia t i wysokości znaczącej fali H_s ,

GM_0 – wartość początkowej wysokości metacentrycznej w początkowym etapie analizy dla $t = 0$ [m] i $H_s = 0$ [m], $GM_0 = 0,505$ [m].

PODSUMOWANIE

Zmiany w parametrach statecznościowych wywołane zmianą stanu załadowania (zanurzenie statku, położenie środka ciężkości) analizowane są obecnie dla każdego statku przy przygotowywaniu planu wymiany wód balastowych (*BWM Plan*). Uwzględniając wpływ warunków pogodowych na bezpieczeństwo statecznościowe przygotowano analizę stateczności statku (wybrane elementy tj. GM , GZ) dla statku w położeniu na szczycie fali. Przedstawienie pełnej analizy jest zbyt obszerne dla tej publikacji dlatego pokazane zostały tylko najważniejsze informacje wynikające z tych analiz. Przyjmując różne położenia równowagi statku (po opróżnieniu i/lub napełnianiu zbiorników/-ów) pokazana analiza dotyczy różnych wartości zanurzenia średniego T i przegłębień t jakie mogą wystąpić w eksploatacji statku podczas tego procesu (zależne one będą od ustalonej kolejności wymiany wody balastowej w poszczególnych zbiornikach). Uproszony model jaki użyto w analizie (fala regularna, przeciwna $\beta_w = 0$ [°]) służy do przedstawienia propozycji z podobnych bardziej szczegółowych analiz jakie można przeprowadzić uzupełniając lub tworząc nowe wytyczne dotyczące wymiany wód balastowych tak aby proces ten nie był analizowany na wodzie spokojnej tylko w rzeczywistych warunkach pogodowych przy oddziaływaniu fali. Dzięki temu można będzie uzupełnić powyższe wytyczne o informację dla jakich stanów morza (parametry fali) proces ten można przeprowadzić w sposób bezpieczny oraz jakie parametry eksploatacyjne statku np. wartość przegłębienia - nie będzie pogarszało bezpieczeństwa statecznościowego statku.

Do najważniejszych elementów przeprowadzonej analizy zaliczyć można:

- ocena wpływu przegłębienia statku na kształt wodnicy statku - pole wodnicy A_w statku,
- ocena wpływu parametru fali (wysokość znacząca H_s i długość λ) na zmiany w wodnicy statku,
- ocena wpływu przegłębienia statku i parametrów fali na pole wodnicy statku A_w i zmianę w początkowej wysokości metacentrycznej GM statku na fali,
- ocena wpływu przegłębienia statku i parametrów fali na objętość V i kształt podwodnej części kadłuba statku i zmianę w ramieniu prostującym GZ statku na fali.

Powyższe wnioski mogą zostać wykorzystane do uzupełnienia wytycznych wymiany wód balastowych. Ustalając bowiem kolejność opróżniania i napełniania zbiorników brane jest pod uwagę np. zanurzenie na pionie rufowym T_R (wynurzenie śruby napędowej) lub możliwość wystąpieniu slemingu dziobowego czy sektora martwego przed dziobem statku (zanurzenie na pionie dziobowym T_D). W oparciu o proponowaną analizę ustalone w eksploatacji przegłębienie (kolejność operacji balastowych) nie będzie tylko kompromisem

między np. w/w zagrożeniami ale jego wartość będzie warunkowała również zmiany w stateczności statku (np. *GM* lub *GZ*) dla wody spokojnej i przy oddziaływaniu na statek falowania.

BIBLIOGRAFIA

1. <http://imo.org>
2. http://interschalt.seacos.com/htms/demo_download.htm
3. <http://formsys.com/maxsurf/msproducts/hydromax>
4. Akiyama A., Uetsuhara F., Sagishima Y.: Ballast Water Exchange Procedures and their Problems, Transactions of the West-Japan Society of Naval Architects No. 100, Page 41-53, 2000 <http://www.sciencedirect.com>
5. Clark I. Ship dynamics for mariners Nautical Institute, London 2005
6. Clark I. Stability trim and strength for merchant ship and fishing vessels, Nautical Institute, London 2008
7. Chorab P.: „Analiza wynurzania się śruby napędowej statku w czasie wymiany wód balastowych” LOGISTYKA 6/2010 pp. 549-559
8. Chorab P.: „Analiza kołysań bocznych statku w czasie wymiany wód balastowych” LOGISTYKA 6/2011
9. Chorab P.: „Propozycja wytycznych do oceny bezpieczeństwa statku w czasie wymiany wód balastowych metodą sekwencyjną” TTS. 9/2012
10. Dudziak J. Okręt na fali, Wydawnictwo Morskie Gdańsk, Gdańsk 1980
11. Dudziak J. Teoria okrętu, Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2008
12. IMO, Międzynarodowa Konwencja o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi i osadami, 2004 (Konwencja BWM 2004), wydanie PRS, 2006
13. Journee J.M.J. Adegest L.J.M, Theoretical manual of strip theory program “SEAWAY” for Windows Report 1370 Sept. 2003, Delft University of Technology, <http://www.shipmotions.nl/DUT/PapersReport/1370-StripTheory-03.pdf>
14. Lloyd A. Seakeeping: Ship Behavior in Rough Weather Ellis Horwood Limited, Southampton 1989
15. Res. MSC/Circ. 1145 Precautionary advise to masters when undertaking ballast water exchange operations, IMO, London 13 Dec. 2004, <http://www.imo.org/>
16. Szelangiewicz T.: „Propozycja obliczania minimalnej początkowej wysokości metacentrycznej dla statku na fali”, Problemy Eksploatacji, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIP, Szczecin, 2004

SHIP STABILITY DURING BALLAST WATER EXCHANGE BY SEQUENTIAL METHOD

Abstract

This paper presents the current approach to assessing the stability of the ship during ballast water exchange by sequential method. Presents hazards affecting the stability of the vessel during the process. Discussed changes of selected operating parameters of the ship as a result of emptying and refilling the ballast water tanks. The analysis took into account the assessment of the stability of the ship under real weather conditions such as wave. Initial metacentric height and righting arm of the ship in position on the crest of a wave were calculated. Calculates were made for various loading conditions. In the calculates presented as a change in the shape of a ship waterline, the volume of the underwater part of the hull, depending on the position of the wave parameters and trim the ship is changing righting arm and initial metacentric height of the ship.

Autorzy:

dr inż. **Paweł Chorab** – Akademia Morska w Szczecinie, Zakład Budowy i Stateczności Statków – pchorab@am.szczecin.pl