

CHORAB Paweł¹

ANALIZA KOŁYSAŃ BOCZNYCH STATKU W CZASIE WYMIANY WÓD BALASTOWYCH METODĄ SEKWENCYJNĄ

W czasie opróżniania i napełniania zbiorników balastowych w morzu mogą pojawić się zagrożenia dotyczące bezpieczeństwa statku. Analizie poddano zjawisko kołysań bocznych statku, w czasie wymiany wód balastowych metoda sekwencyjną. Zaproponowano zmniejszenie negatywnego zjawiska występującego w czasie wymiany poprzez zmianę kursu i/lub prędkości statku.

ANALYSIS OF SHIP ROLLING DURING BALLAST WATER EXCHANGE BY SEQUENTIAL METHOD

Hazards concerning safety of ship can appear at sea during emptying and filling ballast tanks. Phenomena of ship rolling was analyzed during ballast water exchange by sequential method. Suggested reduction of negative phenomena during ballast waters exchange. It could be obtained by a change of ship's course and/or speed.

1. WSTĘP

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 ograniczona 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. Zagadnienia dotyczące procesu wymiany wód balastowych są na tyle ważne, że już od szeregu lat znajdują się w obszarze zainteresowań podkomisji SLF Międzynarodowej Organizacji Morskiej. W jednym z dokumentów IMO tj. MSC/Circ. 1145 z dnia 13.12.2004 „*Precautionary advise to masters when undertaking ballast water exchange operations*” [12] wskazuje się, na realne zagrożenie dla bezpieczeństwa statku w trudności

¹ Akademia Morska w Szczecinie, Instytut Nawigacji Morskiej, Zakład Budowy i Stateczności Statku, tel.0914809389. ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, p.chorab@am.szczecin.pl

lub wręcz niemożności uzyskania podczas procesu wymiany wód balastowych metodą sekwencyjną, odpowiedniego zanurzenia statku na pionie dziobowym T_D i na pionie rufowym T_R . Sytuacja taka skutkować będzie zwiększonym prawdopodobieństwem występowania slemingu, wynurzeniem się śruby napędowej, zwłaszcza przy wysokich stanach morza podczas ruchów statku na fali. Należy zwrócić uwagę na fakt, że dokument podaje jedynie aby w trakcie procesu wymiany wód balastowych, warunki pogodowe były odpowiednie. Nie ma jednak precyzyjnego sformułowania jak rozumieć „odpowiednie” a przy tym ocena tych odpowiednich warunków pozostawiona jest subiektywnej ocenie kapitana. Zalecane jest także aby operację wymiany balastów przeprowadzić możliwie szybko, aby warunki pogodowe w trakcie wymiany nie uległy pogorszeniu. Koniecznym więc staje się przeprowadzenie analizy występowania w/w zjawisk oraz wskazanie warunków pogodowych odpowiednich dla statku na przeprowadzenie takiej operacji w odniesieniu do tych i innych zjawisk niebezpiecznych dla statku np. kołysań bocznych. Ponadto ważnym jest także oprócz samej analizy kołysań bocznych, podanie wytycznych w jaki sposób zredukować lub wyeliminować problem nadmiernych kołysań bocznych np. zmieniając kurs lub prędkość statku w stosunku do wysokości i kierunku fali względem statku.

2. PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA I ZAKRES ANALIZY

Na potrzeby przeprowadzonej analizy wykorzystano dokumentację techniczną [10] i „Plan wymiany wód balastowych” [11] obecnie eksploatowanego statku Polskiej Żeglugi Morskiej w Szczecinie m/v „Ziemia Górnośląska”. Przyjęte założenia i zakres analizy wyglądają następująco:

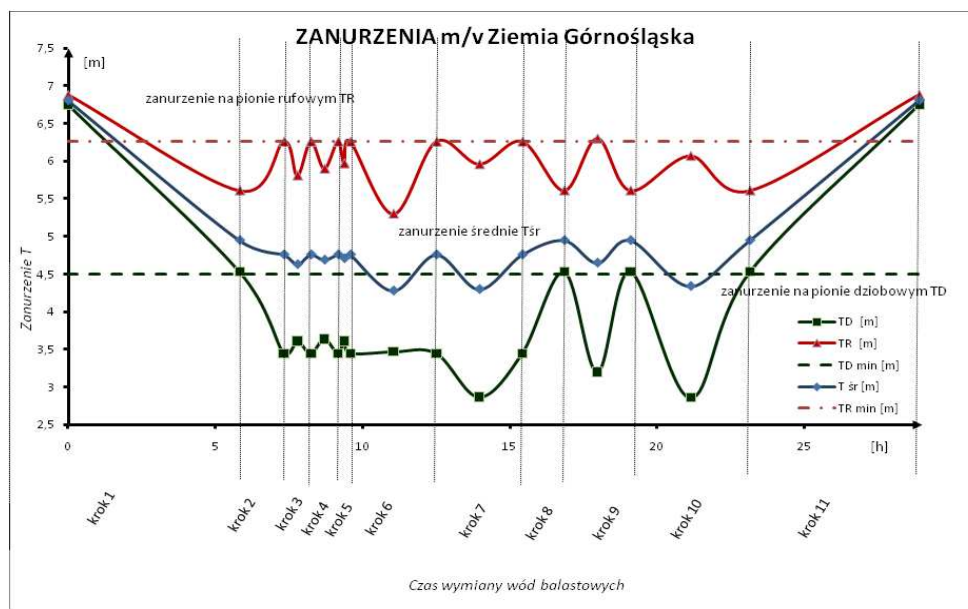
- zanurzenia statku na pionie rufowym i pionie dziobowym i zanurzenie średnie wynikają z „Planu wymiany wód balastowych” [11], przy czym wartości te dotyczą wody spokojnej,
- wartości analizowanych parametrów geometrycznych opisujących zanurzoną część kadłuba statku wynikają ze zmiany zanurzenia średniego statku w ustalonej sekwencji wymiany wód balastowych i stanu załadowania,
- w obliczeniach przyjęto wartości statystyczne falowania morskiego na popularnej linii żeglugowej na Północy Atlantyku (H_s , T) [6],
- prędkość statku w analizie przyjęto w zakresie od 0 m/s do 10 m/s (prędkość eksploatacyjna i maksymalna analizowanego statku zawarta w analizowanym przedziale)
- kąt nabiegu fali względem statku przyjmowano od 0° do 360° co 30° ,
- zaproponowano podejście quasi statyczne polegające na podzieleniu każdego etapu wymiany (ustalonego kroku) na poszczególne poziomy zapełnienia zbiornika/-ów tj. 0%, 25%, 50%, 75%, 100%,
- w obliczeniach kołysań bocznych statku posłużono się programem „Seaway” [8], oraz specjalistycznym programem Katedry Oceanotechniki i Projektowania Systemów Morskich ZUT w Szczecinie.

Przy takich założeniach i zaproponowanym quasi statycznym podejściu w analizie zjawiska jakim są kołysania boczne statku, kolejne etapy analizy przedstawiają się następująco:

- dokonano analizy zanurzenia średniego statku m/v „Ziemia Górnośląska” przedstawiając wyniki zmiany zanurzenia w funkcji czasu wymiany wód balastowych dla ustalonej wcześniej kolejności opróżniania i napełniania zbiorników, a także zmian przegłębienia statku - zanurzenia na pionie dziobowym i rufowym,
- dokonano analizy zmian parametrów geometrycznych podwodzia,
- za pomocą programu „Seway” obliczono kołysania boczne statku dla warunków pogodnych i parametrów eksploatacyjnych statku przedstawionych powyżej,
- na wykresach, w funkcji czasu wymiany przedstawiono prawdopodobieństwo występowania zjawiska kołysań bocznych dla danego kursu i prędkości statku oraz parametrów falowania,
- podobnie otrzymane wyniki pokazano na wykresach biegunowych, przedstawiając wartości kołysań bocznych statku dla całego analizowanego zakresu prędkości statku i kątów nabiegu fali dla danej wysokości i okresu fali,
- dokonano interpretacji i analizy otrzymanych wyników,
- wskazano możliwość eliminacji lub redukcji niebezpiecznego zjawiska.

2.1 Plan wymiany wód balastowych statku m/v „Ziemia Górnośląska”

Z ustalonej na potrzeby eksploatacji statku m/v „Ziemia Górnośląska” kolejności opróżniania i napełniania zbiornika/-ów metodą sekwencyjną wynika zmiana parametrów eksploatacyjnych statku. Z tej kolejności wynikają zmiany wartości m.in. zanurzenia statku. Na rysunku poniżej przedstawiono zmiany zanurzeń statku w funkcji czasu wymiany wód balastowych.



Rys. 1. Zmiana zanurzeń statku m/v „Ziemia Górnośląska” w czasie wymiany wód balastowych

Liniami przerywanymi na wykresie przedstawiono wartości kryterialne zanurzeń na pionie dziobowym i pionie rufowym. Podczas wymiany balastów, oprócz zmian parametrów eksploatacyjnych statku (np. zanurzeń, przegłębienia, kąta przechyłu, inne) następuje także zmiana parametrów geometrycznych charakteryzujących podwodną część kadłuba statku.

3. ANALIZA KOŁYSAŃ BOCZNYCH STATKU

Oddziaływanie falowania na statek wywołuje siły dynamiczne, od których powstają kołysania statku (są to tzw. falowe siły pierwszego rzędu). Kołysania boczne statku, wywołane falowymi siłami pierwszego rzędu, mają decydujące znaczenie w badaniu bezpieczeństwa statecznościowego statku, szczególnie w czasie wymiany balastów. Do opracowania matematycznego modelu kołysań statku zostaną przyjęte następujące założenia:

- statek będzie płynął ze stałą prędkością i kursem ruchem prostoliniowym,
- falowanie morskie będzie falowaniem stacjonarnym, tzn. średnie statystyczne parametry falowania: wysokość, okres i kierunek geograficzny fali będą stałe,
- kołysania statku będą takie, że będzie można zastosować liniowy model kołysań.

Przy tych założeniach, do obliczania kołysań statku najwygodniejszy jest matematyczny model kołysań statku na fali regularnej. Z jego rozwiązania wyznacza się następnie kołysania na fali nieregularnej. Biorąc pod uwagę powyższe założenia, w ramach liniowego modelu, kołysania statku na fali regularnej opisane są układem równań różniczkowych drugiego rzędu [5]:

$$\left([M_{(k,l)}(t)] + [m_{(k,l)}(t)] \right) \{ \ddot{u}_{(l)} \} + [b_{(k,l)}(t)] \{ \dot{u}_{(l)} \} + [c_{(k,l)}(t)] \{ u_{(l)} \} = \{ F_{(k)}^{(1)} \} \quad (1)$$

$k, l = 1, 2, \dots, 6$

gdzie:

$[M_{(k,l)}(t)]$ – macierz uogólnionych mas statku,

$[m_{(k,l)}(t)]$ – macierz uogólnionych mas hydrodynamicznych statku,

$[b_{(k,l)}(t)]$ – macierz uogólnionych współczynników sił tłumienia,

$[c_{(k,l)}(t)]$ – macierz uogólnionych współczynników hydrostatycznych sił przywracających,

$\{ \ddot{u}_{(l)} \}$ – wektor uogólnionych przyspieszeń od kołysań,

$\{ \dot{u}_{(l)} \}$ – wektor uogólnionych prędkości od kołysań,

$\{ u_{(l)} \}$ – wektor uogólnionych przemieszczeń od kołysań,

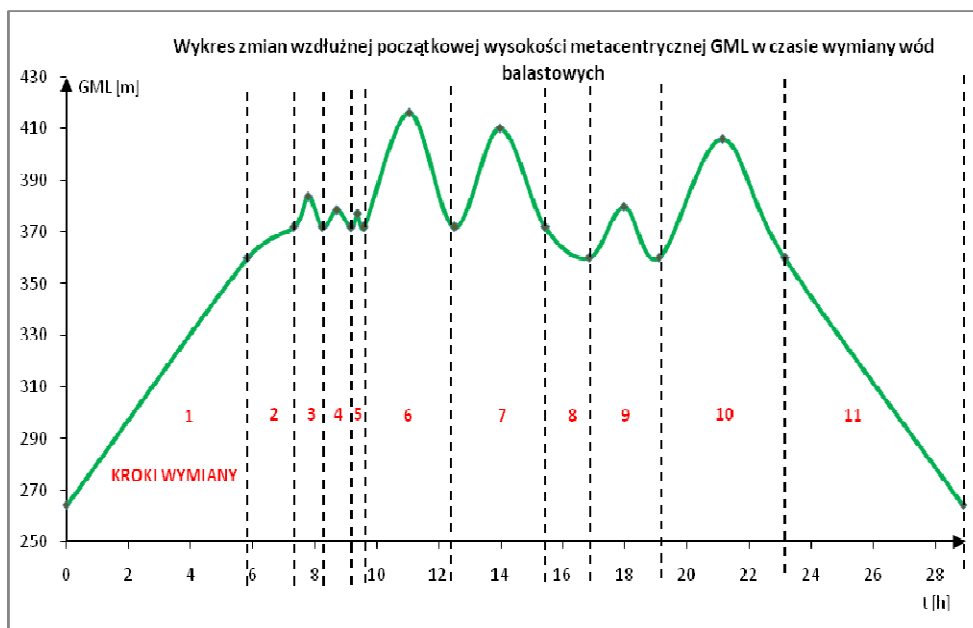
$\{ F_{(k)}^{(1)} \}$ – wektor uogólnionych falowych sił wymuszających kołysania,

t – czas,

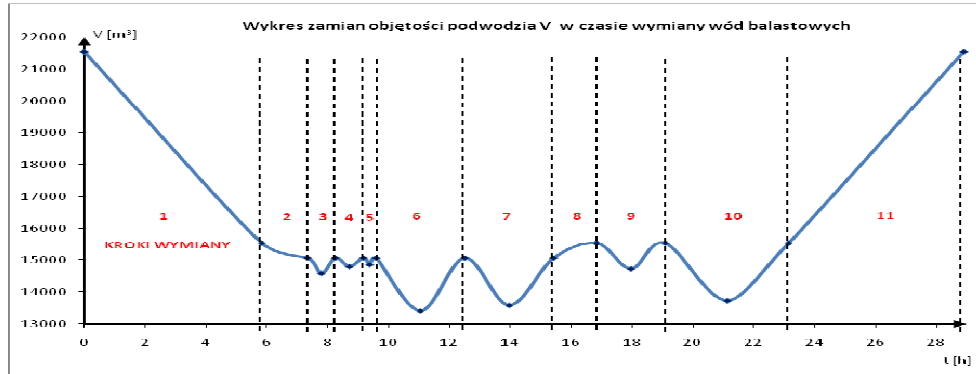
k – kierunek działania uogólnionej falowej siły wymuszającej,

l – kierunek uogólnionego kołysania.

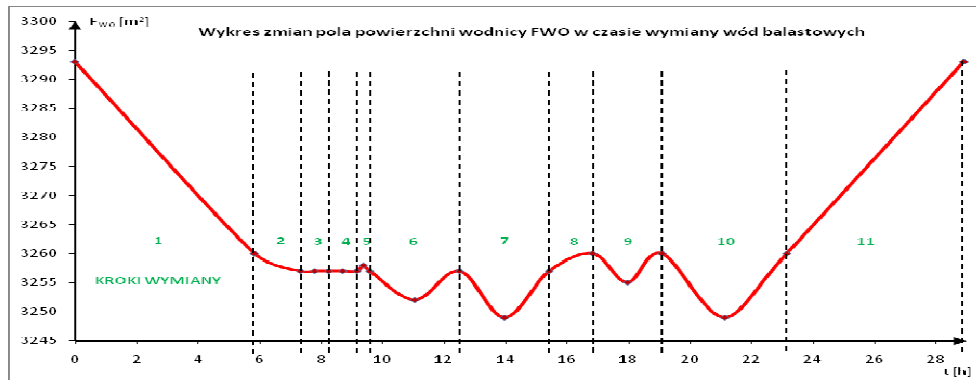
Występujące w układzie równań macierze $[M_{(k,l)}(t)]$, $[m_{(k,l)}(t)]$, $[b_{(k,l)}(t)]$, $[c_{(k,l)}(t)]$ są zależne od czasu, ponieważ w czasie wymiany balastów zmienia się zanurzenie statku a tym samym uogólniona masa statku oraz wielkości hydrodynamiczne związane z oddziaływaniem wody na kołyszący się statek. Zmiany w czasie niektórych parametrów geometrycznych zanurzonej części kadłuba badanego statku, od których zależą macierze $[M_{(k,l)}(t)]$, $[m_{(k,l)}(t)]$, $[b_{(k,l)}(t)]$ i $[c_{(k,l)}(t)]$ zostały przedstawione na wykresach poniżej. Stąd układ równań (1) jest układem o zmiennych współczynnikach, a powstające kołysania (w innych układach mechanicznych – drgania) są kołysaniami parametrycznymi. W czasie wymiany balastów, macierze w równaniach (1) zmieniają swoje wartości wg dowolnej funkcji czasu i to bardzo powoli (rys. 2 ÷ 5) w stosunku do częstości (lub okresu) kołysań statku na fali, nie jest to funkcja okresowa ani tym bardziej harmoniczna. Stąd układ równań (1) nie ma rozwiązania analitycznego, można układ ten rozwiązać tylko numerycznie, co w przypadku wymiany balastów jest bardzo niewygodne – brak możliwości badania, w rozsądnym czasie, wpływu na kołysania statku wielu parametrów związanych z instalacją balastową, statkiem i warunkami pogodowymi. Poniżej przedstawiono zmiany w czasie niektórych parametrów geometrycznych zanurzonej części kadłuba dla statku m/v „Ziemia Górnośląska” od których zależą macierze w równaniu (1).



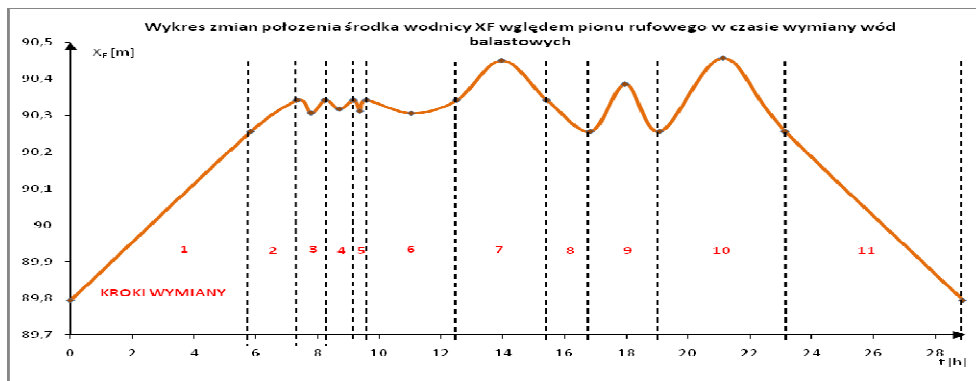
Rys. 2. Zmiany wzdłużnej początkowej wysokości metacentrycznej GM_L w czasie wymiany wód balastowych dla statku m/v „Ziemia Górnośląska”



Rys. 3. Zmiany objętości podwodzia „ V ” w czasie wymiany wód balastowych dla statku m/v „Ziemia Górnośląska”



Rys. 4. Zmiany pola powierzchni wodnicy „ F_{wo} ” w czasie wymiany wód balastowych dla statku m/v „Ziemia Górnośląska”



Rys. 5. Zmiany położenia środka wodnicy względem „ X_F ” pionu rufowego w czasie wymiany wód balastowych dla statku m/v „Ziemia Górnośląska”

Do oceny zachowania się statku na fali podczas wymiany balastów wybrano kołysania boczne, których nadmierna wartość stanowić może zagrożenie bezpieczeństwa statecznościowego statku. Wykorzystując powszechnie stosowaną liniową teorię kołysań [5], w ramach której, na fali regularnej danej równaniem:

$$\zeta(t) = \zeta_A \cos(kx - \omega t), \quad (2)$$

kołysania na tej fali mają postać:

$$u = u_A \cos(-\omega_E t + \varepsilon_u), \quad (3)$$

ζ_A – amplituda fali regularnej,

k – liczba falowa,

$$k = \frac{\omega^2}{g} \quad (4)$$

ω – częstość fali regularnej,

u_A – amplituda kołysania „ u ”, (dla $u = 4$ kołysanie boczne Φ),

ω_E – częstość spotkaniowa kołysań

$$\omega_E = \omega - kV \cos \beta_w \quad (5)$$

V – prędkość statku,

β_w – kierunek fali względem statku,

ε_u – kąt przesunięcia fazowego pomiędzy falą a kołysaniem.

Losowe kołysania statku na fali nieregularnej mogą być w prosty sposób wyznaczone na podstawie znajomości charakterystyki amplitudowej kołysań na fali regularnej i funkcji gęstości widmowej energii falowania losowego. Wariancja kołysań statku jest wtedy równa:

$$D_{uu}(\beta_w, V) = \int_0^{\infty} [Y_{u\zeta}(\omega_E / \beta_w, V)]^2 S_{\zeta\zeta}(\omega_E) d\omega_E, \quad (6)$$

D_{uu} – wariancja kołysania u ,

$Y_{u\zeta}$ – charakterystyka amplitudowa kołysania u na fali regularnej,

$S_{\zeta\zeta}(\omega_E)$ – funkcja gęstości widmowej energii falowania losowego, której wartość zależy głównie od wysokości znaczącej fali H_S i okresu T_1 ,

Pierwiastek z wariancji D_{uu} jest średnim odchyleniem kwadratowym kołysań statku na fali nieregularnej, na podstawie którego można obliczyć statystyczną wartość kołysania losowego o założonym prawdopodobieństwie przewyższenia, np.:

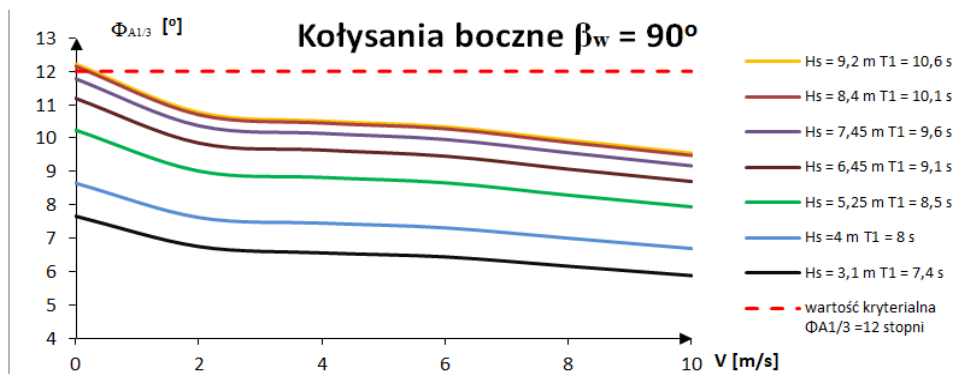
$$\bar{u}_{A1/3} = 2,0\sqrt{D_{uu}}, \quad (7)$$

$u_{A1/3}$ – znacząca amplituda kołysania u (średnia wartość amplitudy kołysania u z 1/3 najwyższych wartości kołysań).

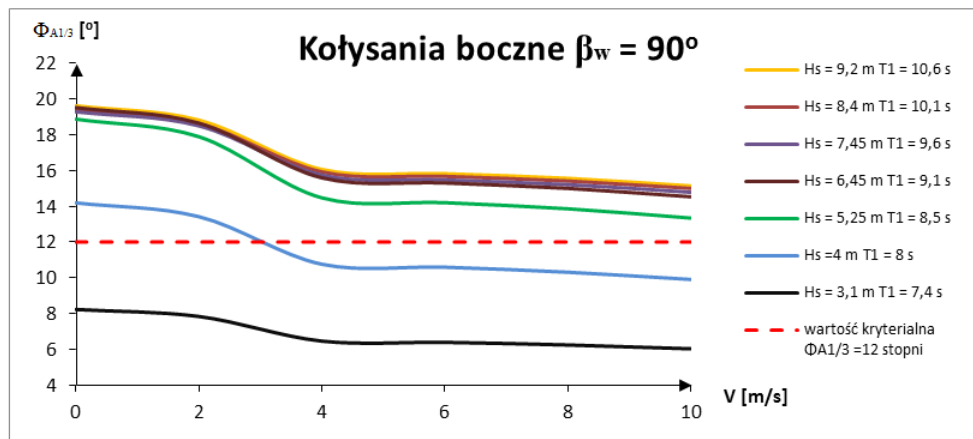
3.1 Wyniki przeprowadzonych badań dotyczących prawdopodobieństwa wystąpienia kołysań bocznych statku.

Zgodnie z liniową teorią kołysań przy pomocy programu „Seaway” [7] wyznaczone zostały charakterystyki amplitudowe kołysań bocznych statku na fali regularnej. Następnie przy uwzględnieniu funkcji gęstości widmowej energii falowania obliczona została wariancja kołysań bocznych. Kolejno za pomocą wzoru (7) została określona statystyczna wartość kołysania bocznego losowego o założonym prawdopodobieństwie przewyższenia.

Poniższe rysunki (Rys.6, Rys.7) przedstawiają dane dotyczące kołysań bocznych w funkcji prędkości statku. Ze względu na możliwą objętość artykułu przedstawione zostaną tylko dwa wykresy odpowiednio dla zanurzenia średniego statku w kroku 1 przy 100% wypełnieniu zbiorników oraz w kroku 1 po opróżnieniu zbiorników tj. dla wypełnienia równego 0%. Na rysunkach przedstawiono także wartość kryterialną dla analizowanego zjawiska [9] i typu statku (przerywana czerwona linia).



Rys. 6. Znacząca amplituda kołysań bocznych dla statku m/v „Ziemia Górnośląska“ – krok 1 poziom wypełnienia zbiorników 100%

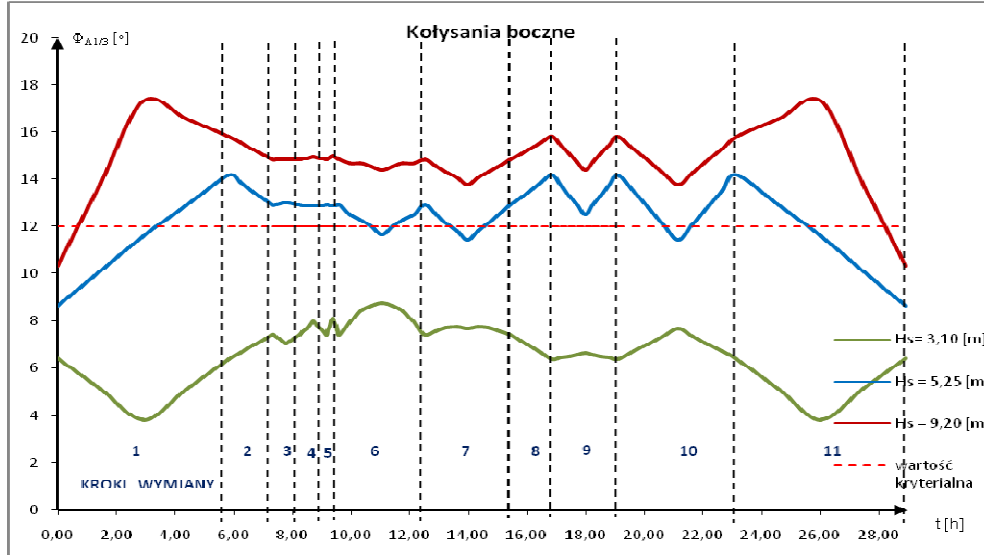


Rys. 7. Znacząca amplituda kołysań bocznych dla statku m/v „Ziemia Górnośląska“ – krok I poziom zapętnienia zbiorników 0%

Analizując wyniki przedstawione na rysunkach 6 i 7, a także w odniesieniu do rysunków 1,2,3,4,5 można przedstawić następujące wnioski:

- przed rozpoczęciem operacji balastowych (opróżnianie ładowni nr 3 – zgodnie z przyjętą kolejnością) tj. krok 1 zapętnienie 100% - znacząca amplituda kołysań bocznych nie przekraczała przyjętej wartości kryterialnej dla fali o wysokości od Hs = 3,1 m, do Hs = 9,2 m przy prędkościach statku od V= 0 m/s do V= 10 m/s i kącie nabiegu fali $\beta = 90^\circ$,
- po kroku 1 czyli opróżnieniu ładowni nr 3 z balastu wodnego statek znacznie się wynurzył – zmiana zanurzenia średniego (Rys. 1) znacząco zmieniły się również parametry geometryczne podwodnej części kadłuba statku (Rys. 2, 3, 4, 5)
- sytuacja taka skutkuje wzrostem znaczącej amplitudy kołysań bocznych (Rys. 7),
- na rysunku 7 intensywność występowania analizowanego zjawiska przekracza wartość kryterialną dla wysokości fali Hs = 5,25 m i większych, przy całym zakresie prędkości statku i dla kąta nabiegu fali $\beta = 90^\circ$.

Po przeprowadzeniu podobnych obliczeń dla przyjętych i przedstawionych powyżej zakresu prędkości statku, katów nabiegu i wysokości fali wyniki intensywności zjawiska jakim jest kołysanie boczne statku przedstawione zostały na wykresie zbiorczym (dla wybranego kąta nabiegu fali, ustalonej prędkości statku i wybranych wysokości fali). Poniższy rysunek (Rys. 8) przedstawia jak zmienia się znacząca amplituda kołysań bocznych dla wybranych wysokości fali i ustalonego kąta nabiegu fali ($\beta = 90^\circ$), ale dla wszystkich kroków wymiany wynikających z wcześniej przyjętej i ustalonej sekwencji (kolejności) wymiany wód balastowych.



Rys. 8. Wartości znaczącej amplitudy kołysań bocznych m/v „Ziemia Górnośląska” w czasie wymiany wód balastowych dla $V = 6 \text{ m/s}$ i $\beta = 90^\circ$

Zaobserwować można, że przy podwyższonych stanach morza tj. $H_s = 5,25 \text{ m}$ (i większych) prawie przez cały czas wymiany wód balastowych intensywność kołysań bocznych przekraczać będzie wartość kryterialną co znacznie wpłynie na poziom bezpieczeństwa statku. W związku z tym w kolejnym rozdziale zaproponowano rozwiązanie tego problemu proponując manewr kursem i/lub prędkością statku.

4. MANEWR KURSEM I/LUB PRĘDKOŚCIĄ STATKU W CELU REDUKCJI LUB ELIMINACJI NIEBEZPIECZNEGO ZJAWISKA.

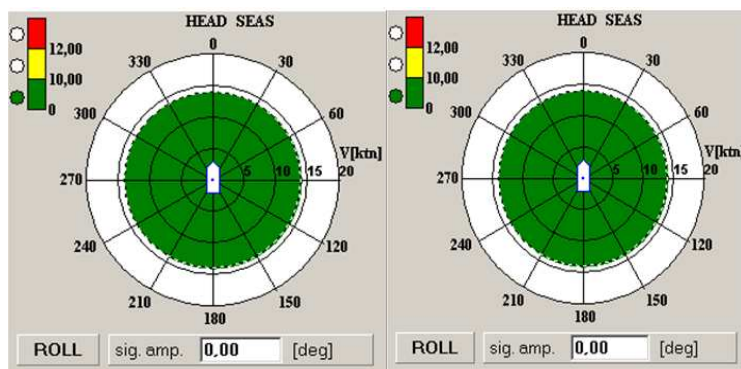
W artykule w podpunkcie 3.1 przedstawiono intensywności kołysań bocznych statku na wykresie liniowym w funkcji prędkości statku tylko dla jednego kąta nabiegu fali. Poniższe wykresy biegunowe przedstawiają wyniki obliczeń dla wszystkich analizowanych prędkości statku (promieniowo) i kierunków wszystkich analizowanych kierunków nabiegu fali (kątowno). Kolorem zielonym pokazany jest obszar dla danych kątów nabiegu fali i prędkości statku przy których wartość intensywności zjawiska nie przekracza wartości kryterialnej [9]. Kolorem czerwonym zaś obszary w której wartość kryterialna [9] została przekroczona. Dodatkowo przyjęto kryterium pośrednie [9] dla wartości bliskich wartości kryterialnej aby pokazać wzrost zagrożenia dla danej prędkości i statku i danego kąta nabiegu fali dla kołysań bocznych.

Wykresy biegunowe dla kroku 1 poziom zapełnienia 100% (Rys. 9) przedstawiają intensywność występowania zjawiska kołysań bocznych dla wysokości fali $H_s = 4 \text{ m}$, i $H_s = 5,25 \text{ m}$. Dla wysokości fali $H_s = 4 \text{ m}$ i $H_s = 5,25 \text{ m}$ dla dowolnej prędkości statku i kąta nabiegu fali intensywność zjawiska nie przekroczy wartości kryterialnej.

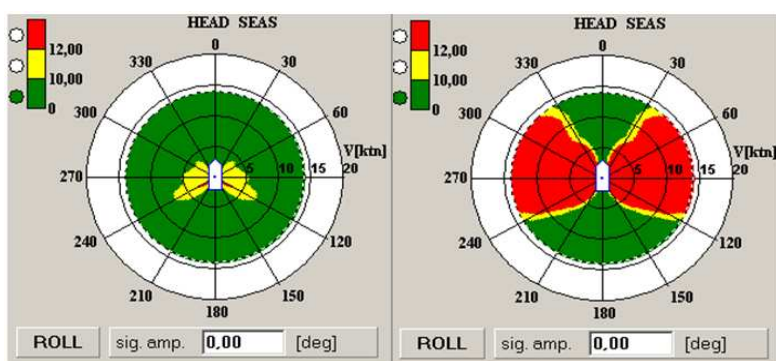
Podobną analizę wykonać można dla stanu w kroku 1, po poróżnieniu ładowni nr 3 (krok 1 wypełnienie 0%, Rys 10). Z wykresu wynika, że w tym stanie zabalastowania eliminacja lub redukcja zjawiska jest możliwa tylko poprzez zmianę kursu o 90° dla wysokości $H_s = 5,25$ m i większych. Biorąc pod uwagę, że kołysaniom statku na fali towarzyszy również wiele innych niebezpiecznych zjawisk oprócz kołysań bocznych, np. wynurzanie się śruby napędowej, sleming, itd. należy rozważyć, że zmiana kursu statku zmniejszająca intensywność kołysań bocznych, jak proponowana powyżej powodować może:

- przy zmianie kursu o 90° np. wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia slemingu, wynurzania się śruby napędowej),
- wydłużenie czasu podróży statku (biorąc pod uwagę objętość opróżnianego przedziału w kroku 1 tj. ładowni nr 3).

W związku z tym zadawalającym rozwiązaniem może być inna – nowa sekwencja opóźnienia i napełniania zbiorników balastowych statku przedstawiona w publikacji [2] w której analizie poddano zjawisko wynurzania się śruby napędowej statku.



Rys. 9. Intensywność zjawiska kołysań bocznych dla statku m/v „Ziemia Górnośląska“ – krok 1 poziom wypełnienia zbiorników 100% dla $H_s = 4$ m, i $H_s = 5,25$ m.



Rys. 10. Intensywność zjawiska kołysań bocznych dla statku m/v „Ziemia Górnośląska“ – krok 1 poziom wypełnienia zbiorników 0% dla $H_s = 4$ m, i $H_s = 5,25$ m.

5. WNIOSKI

W artykule dokonano analizy kołysań bocznych statku m/v „Ziemia Górnśląska” dla różnych warunków pogodowych jakie mogą wystąpić w czasie procesu wymiany wód balastowych metodą sekwencyjną. Pozwala to na sformułowanie zaleceń zgodnie z obowiązującymi kryteriami dla jakich warunków wymiana taka będzie bezpieczna w odniesieniu do wzrostu intensyfikacji kołysań bocznych (znaczącej amplitudy kołysań), wysokości, okresu, kąta nabiegu fali i prędkości statku. Dla pełnej analizy bezpieczeństwa statku konieczne jest przeanalizowanie w podobny sposób innych zjawisk wpływających na bezpieczeństwo statku np. wynurzania się śruby napędowej [2]. W odniesieniu do kołysań bocznych statku zauważyć można że większe wartości dla tych samych parametrów pogodowych i parametrów eksploatacyjnych statku pojawiają się przy znaczącym wynurzeniu się statku (opróżnienie dużego zbiornika z balastem wodnym – zmiana parametrów geometrycznych kadłuba). Analiza taka pozwala sformułować zalecenie eksploatacyjne (manewr kursem i/lub prędkością) lub zalecenia konstrukcyjne (objętość, położenie, rozmiary zbiorników). Należy wziąć pod uwagę, że wiele statków które zmuszone są prowadzić wymianę balastów metodą sekwencyjną posiada instalację balastową projektowaną bez uwzględnienia wpływu tego procesu na poziom bezpieczeństwa statku.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] 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>
- [2] Chorab P.: „Analiza wynurzania się śruby napędowej statku w czasie wymiany wód balastowych” *LOGISTYKA* 6/2010
- [3] Clark I. *Ship dynamics for mariners* Nautical Institute, London 2005
- [4] Clark I. *Stability trim and strength for merchant ship and fishing vessels*, Nautical Institute, London 2008
- [5] Dudziak J. *Okręt na fali*, Wydawnictwo Morskie Gdańsk, Gdańsk 1980
- [6] Dudziak J. *Teoria okrętu*, Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2008
- [7] IMO, *Międzynarodowa Konwencja o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi i osadami*, 2004 (Konwencja BWM 2004), wydanie PRS, 2006
- [8] 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>
- [9] Lloyd A. *Seakeeping: Ship Behaviour in Rough Weather* Ellis Horwood Limited, Southampton 1989
- [10] PŻM, *Dokumentacja techniczna statku m/v Solidarność*, Polska Żegluga Morska w Szczecinie
- [11] PŻM, *Plan postępowania z wodami balastowymi m/v Ziemia Górnśląska*, Polska Żegluga Morska w Szczecinie
- [12] MSC/Circ.1145 *Precautionary advise to masters when undertaking ballast water exchange operations*, IMO, London 13 Dec.2004, <http://www.imo.org/>