



Paweł CHORAB

# PROPOZYCJA WYTYCZNYCH DO OCENY BEZPIECZEŃSTWA STATKU W CZASIE WYMIANY WÓD BALASTOWYCH METODĄ SEKWENCYJNĄ

### *Streszczenie*

*W artykule zaproponowano wytyczne do oceny bezpieczeństwa statku morskiego w czasie wymiany wód balastowych metodą sekwencyjną. Wytyczne oparto na analizie wybranych właściwości morskich statku. Analizie poddano zachowanie się statku w czasie procesu wymiany wód balastowych w rzeczywistych warunkach pogodowych. Analiza dotyczy wybranych kołysań statku i zjawisk im towarzyszących. Zaproponowane wytyczne dotyczą manewru kursem i/lub prędkością statku. Zaprezentowano aktualne rozwiązania stosowane obecnie w eksploatacji statków.*

### WSTĘP

Proces wymiany wód balastowych powszechnie stosowany w eksploatacji statku powoduje znaczne i gwałtowne zmiany w parametrach eksploatacyjnych statku. Prowadzić to może do pojawiania się zagrożeń bezpieczeństwa statku głównie statecznościowego. Dodatkowo intensyfikacja niebezpiecznych zjawisk towarzyszących temu procesowi powstaje kiedy na statek oddziałuje wiatr i fala. Pogorszenie się warunków pogodowych w czasie tego procesu (w zależności od typu statku trwającego do 48 h i dłużej) także może znacząco wpłynąć na bezpieczeństwo statku - intensyfikacja kołysań statku i zjawiska temu towarzyszące szeroko opisywane w literaturze. Niezbędnym wydaje się więc wypracowanie scenariuszy np. w oparciu o numeryczne próby morskie wskazujące na niebezpieczne etapy w czasie tego procesu. Scenariusze te mogą być uzupełnieniem istniejących i obligatoryjnych planów wymiany wód balastowych. Mogą także być brane pod uwagę w projekcie instalacji balastowej statku (wielkości, rozmieszczeniu zbiorników, wydajności pomp balastowych, inne). Jednakże najważniejszy powód opracowania takich scenariuszy to zalecenia dla załogi (kapitana statku), która ma za zadanie przeprowadzenie wymiany wód balastowych na otwartym morzu, w rzeczywistych warunkach pogodowych. Dla statku o określonym kształcie kadłuba (geometria kadłuba, wymiary itd.), określonej instalacji balastowej i w warunkach pogodowych jakie towarzyszą temu procesowi bezpieczeństwo statku można kontrolować poprzez zmianę kursu i/lub prędkości statku dla ustalonej sekwencji wymiany. Aby jednak formułować zalecenia co do ewentualnej zmiany kursu i/lub prędkości statku należy przeanalizować cały obszar zachowania się statku na fali i intensyfikacji zjawisk towarzyszących tym ruchom w czasie wymiany balastów metodą sekwencyjną. Obecnie istniejące plany wymiany wód balastowych skupiają się głównie na analizie zmian

parametrów eksploatacyjnych statku bez uwzględnienia oddziaływania na statek wiatru i fali. Ocena bezpieczeństwa statku opiera się więc na subiektywnej ocenie kapitana statku w oparciu najczęściej o doświadczenie zawodowe.

## **1. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA BEZPIECZEŃSTWO STATKU W CZASIE WYMIANY WÓD BALASTOWYCH**

Z punktu widzenia bezpieczeństwa statecznościowego statku proces wymiany wód balastach będzie procesem niebezpiecznym, dodatkowo intensyfikacja zagrożeń będzie wzrastała w niesprzyjających warunkach pogodowych. Rodzaje zagrożeń, jakie występują podczas wymiany balastów na morzu mogą być różne dla różnych typów statków co zostało podkreślone m.in. w [1], [3], [6], [7], [14]. W opracowanych analizach zawartych w różnych publikacjach, podkreśla się, że najważniejszymi przyczynami powstawania zagrożeń są:

- a) zbyt długi czas wymiany balastów,
- b) zła kolejność (sekwencja) opróżniania i napełniania zbiorników,
- c) niesprzyjające warunki pogodowe (wiatr, wysoka fala),

natomiast z powstających różnych zagrożeń, za najbardziej niebezpieczne, pod względem eksploatacyjnym, uznaje się:

- a) utratę lub duże pogorszenie stateczności statku,
- b) wzrost kołysań statku, szczególnie bocznych,
- c) wynurzenie się śruby, przy zbyt małym zanurzeniu rufy, co prowadzi do pogorszenia właściwości napędowych i manewrowych,
- d) wynurzenie się dziobu, co prowadzi do powstawania slemingu i pogorszenia widoczności z mostku nawigacyjnego (powstawania tzw. sektora martwego przed dziobem statku).

Aby powstające zagrożenia podczas wymiany balastów na morzu nie zmniejszyły bezpieczeństwa statku poniżej dopuszczalnej granicy, każdy krok sekwencji wymiany powinien odnieść się do obowiązujących aktualnie przepisów kryteriów statecznościowych [1]. Wymagania te mogą być różne dla różnych wielkości oraz typów statków. W praktyce, szczególnie podczas złych warunków pogodowych, nie wszystkie wymagania są spełnione. W publikacjach [3], [14] analizowany jest sam przebieg opróżniania kolejnych zbiorników i wpływ na parametry statku, jakie będą temu opróżnianiu towarzyszyć, natomiast brak jest oceny wpływu parametrów pogodowych. Autorzy tych publikacji w podsumowaniu zwracają uwagę na konieczność bardziej kompleksowej analizy bezpieczeństwa statku w czasie wymiany poprzez uwzględnienie wpływu falowania i kołysań statku. Armatorzy opracowujący Plan Postępowania z Wodami Balastowymi (*BWM Plan*) dla eksploatowanych statków również nie uwzględniają warunków pogodowych, a uznanie granicy bezpieczeństwa dla samej wymiany pozostawiają ocenie kapitana jednostki.

Na podstawie analizy literatury i publikacji w zakresie procedur i sposobów wymiany wód balastowych, badań związanych z bezpieczeństwem statku podczas wymiany balastów oraz pomiarów przeprowadzonych na rzeczywistych statkach można wyciągnąć następujące wnioski:

- a) jest zbyt mało badań dotyczących bezpieczeństwa statecznościowego statku w czasie wymiany wód balastowych,
- b) brak uwzględnienia wpływu rzeczywistych warunków pogodowych na bezpieczeństwo statku w czasie wymiany balastów,
- c) brak oceny zmian kołysań statku przy opróżnianiu i napełnianiu zbiorników,
- d) brak analizy zjawiska slemingu, wynurzenia się śruby podczas opróżnianiu i napełnianiu zbiorników na sfalowanej wodzie,

- e) brak analizy, w jakim stopniu zmiana kursu i/lub prędkość statku wpłynie na poprawę bezpieczeństwa statku w czasie opróżniania i napełniania zbiorników przy istniejących warunkach pogodowych.

Innym problemem sygnalizowanym w dokumentach IMO oraz w publikacjach na ten temat [3], [14], jest zdefiniowanie parametrów „odpowiednich” warunków pogodowych dla statku przy opróżnianiu i napełnianiu zbiorników. Warto zauważyć w tym miejscu, że w publikacjach [3], [14], podkreśla się potrzebę oddzielnego zdefiniowania właściwych warunków pogodowych dla każdego statku oddzielnie, uznając, że wymagają tego indywidualne charakterystyki statku i odrębne rozwiązania techniczne np. instalacji balastowej.

Na podstawie krytycznej analizy stosowanych procedur oraz istniejącego stanu wiedzy w zakresie bezpieczeństwa statku w czasie wymiany balastów i potrzeb eksploatacyjnych zgłaszanych przez armatorów, można sformułować następujące problemy badawcze:

- a) określenie zależności pomiędzy prędkością i kursem statku oraz parametrami pogodowymi a stanem bezpieczeństwa statku w czasie wymiany wód balastowych,
- b) określenie prawdopodobieństwa wystąpienia i czasu trwania stanu zagrożenia bezpieczeństwa statku podczas wymiany balastów w określonych warunkach pogodowych,
- c) określenie możliwości ograniczenia stanu zagrożenia poprzez zmianę kursu i/lub prędkości statku, ewentualnie zmianę kolejności i liczby jednocześnie opróżnianych i napełnianych zbiorników balastowych,
- d) poszukiwanie optymalnej sekwencji opróżniania i napełniania zbiorników balastowych w danej sytuacji eksploatacyjnej (prędkość i kurs statku, warunki pogodowe),
- e) określenie optymalnej ilości wody balastowej (w tym i liczby zbiorników ich rozmiarów oraz ich położenia na statku) potrzebnej dla zapewnienia bezpieczeństwa statku w danej sytuacji eksploatacyjnej.

Biorąc pod uwagę brak metod umożliwiających ocenę bezpieczeństwa statku podczas wymiany wód balastowych w rzeczywistych warunkach pogodowych celem staje się opracowanie modelu matematycznego [6], [7] opisującego kołysania i związane z nimi inne właściwości morskie statku (pogorszenie się stateczności, sleming, wynurzanie się śruby napędowej i inne) mające wpływ na jego bezpieczeństwo w czasie wymiany wód balastowych na morzu w istniejących warunkach pogodowych.

Oprócz tak sformułowanego problemu badawczego wyodrębnić można również inne użyteczne cele przydatne w eksploatacji statku m.in.:

- a) określenie wpływu kursu, prędkości statku oraz kolejności opróżniania i napełniania zbiorników balastowych na stateczność statku na fali,
- b) określenie czasu trwania zagrożenia statecznościowego podczas wymiany wód balastowych statku na fali.

Zrealizowanie powyższych badań pozwoli na bardziej bezpieczne przeprowadzanie wymiany balastów na morzu w danych warunkach pogodowych, a także pozwoli na bardziej precyzyjne określenie ilości balastu wodnego dla danego typu statku i stanu jego załadunku oraz przewidywanych warunków pogodowych na trasie żeglugi.

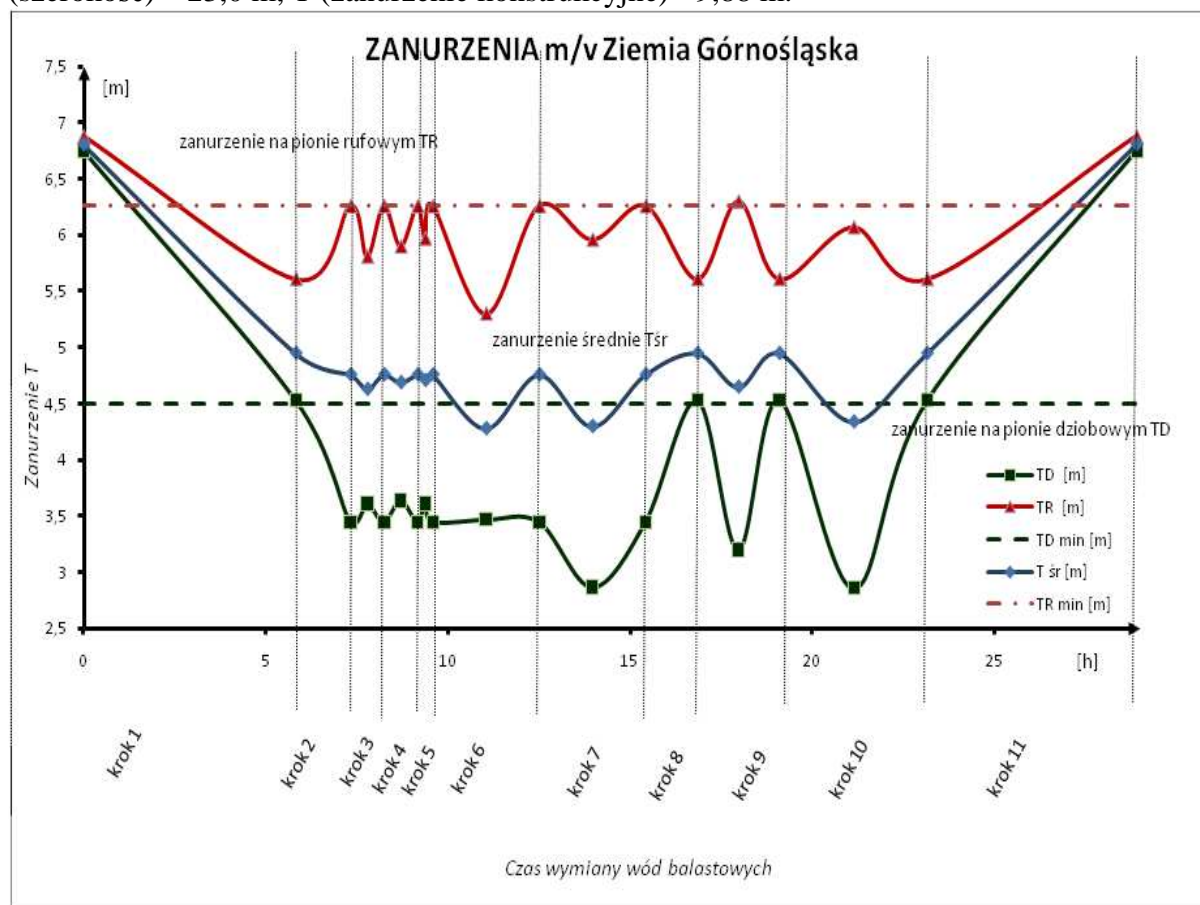
## **2. ANALIZA ZAGROZEŃ W RZECZYWISTYCH WARUNKACH POGODOWYCH**

Przedstawione problemy badawcze można próbować rozwiązać za pomocą oceny zachowania się statku poddanego numerycznym próbom morskim tzn. realnym scenariuszom w jakich może być eksploatowany statek morski. Istotą scenariuszy (opartych o ustaloną kolejność wymiany wynikających z planu wymiany wód balastowych) jest określenie potencjalnie niebezpiecznych zjawisk w założonych warunkach pogodowych. Wyniki tych

badan mogą stanowić zalecenia dotyczące eksploatacji statku, być podstawową nowo formułowanych kryteriów oceny bezpieczeństwa statku i stanowić istotne informacje w projektowaniu instalacji balastowych statków.

Numeryczne próby morskie można przeprowadzać w szerokim zakresie zagadnień związanych z projektowaniem i eksploatacją statku (instalacja balastowa, manewr kursem i/lub prędkością statku, stan załadowania statku, itd.). W artykule badania ograniczono do zagadnień eksploatacyjnych uwzględniających zachowanie się statku na fali. Scenariusze numerycznych prób morskich pod kątem właściwości morskich uwzględniają trasę statku, warunki pogodowe, stan załadowania, kolejność opróżniania i napełniania zbiorników, parametry eksploatacyjne statku oraz dopuszczalne wartości parametrów opisujących odpowiedzi statku na falowanie. W artykule przedstawiono przykład wyznaczania obszaru parametrów eksploatacyjnych statku (zanurzeń i stanu załadowania) według scenariusza opartego na krótkoterminowej prognozie: kiwań, kołysań bocznych, wynurzania się śruby napędowej, zjawiska slemingu.

Przykładową analizę wykonano dla statku m/v „Ziemia Górnosląska” masowca typu handysize. Parametry statku są następujące: Lpp (długość między pionami) – 172,0 m, B (szerokość) – 23,0 m, T (zanurzenie konstrukcyjne) - 9,88 m.



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

Źródło: opracowanie własne na podstawie BWM Plan m/v „Ziemia Górnosląska” [13]

Na podstawie ustalonej kolejności opróżniania i napełniania zbiorników balastowych (Ballast Water Management Plan - BWM Plan) wyznaczyć można kolejne wartości parametrów eksploatacyjnych statku m.in. zanurzenie na pionie dziobowym, rufowym, zanurzenie średnie statku [13]. Na rysunku 1 przedstawiono wartości zanurzeń statku ( $T_D$ ,  $T_R$ ,  $T_{SR}$ ) w funkcji czasu wymiany wód balastowych. Linia przerywaną ( $T_{D\ MIN}$ ,  $T_{R\ MIN}$ )

przedstawiono minimalną wartość kryterialną zanurzeń na pionach (wynikającą z obowiązujących przepisów i zaleceń eksploatacyjnych). Biorąc pod uwagę rozwiązania konstrukcyjne statku tj. instalacje balastową i duży przedział z balastem wodnym – ładownia nr 3 można zaobserwować, że w ustalonej i analizowanej sekwencji wymiany (po wypompowaniu balastu z ładowni) następuje wynurzenie się śruby napędowej i dziobu statku już w początkowym etapie wymiany. Analizowane wartości przedstawione na rysunku 1 dotyczą zmian zanurzeń na pionie rufowym i dziobowym na wodzie spokojnej. Sytuacja taka ma miejsce od 3 do 27 (przez 24 godziny – pion rufowy) i od 5 do 23 (przez 18 godzin – pion dziobowy) godziny procesu wymiany wód balastowych. Jest to bardzo długi czas, w którym może dojść do intensyfikacji prawdopodobieństwa wynurzania się śruby napędowej [6], zjawiska slemingu w rzeczywistych warunkach pogodowych lub wzrostu tego prawdopodobieństwa albo pojawieniu się dodatkowo kiwań lub kołysań bocznych [7] (w zależności od kąta nabiegu fali i jej wysokości znaczącej) przy zmianie na bardziej niekorzystne dla statku warunki pogodowe.

W analizie przedstawiono w rozdziale 3 za pomocą wykresów biegunowych: kołysania boczne i kiwania w postaci statystycznych wartości znaczących (średnia wartość amplitudy kołysania z 1/3 najwyższych wartości kołysań równa dwóm średnim wartościom odchylenia kwadratowego z kołysań statku na fali nieregularnej) oraz wynurzania się śruby napędowej i slemingu za pomocą prawdopodobieństwa wystąpienia analizowanych zjawisk. Do obliczeń wykorzystano program SEAWAY, który jest programem opartym na teorii płaskiego opływu obliczającym ruchy statku na fali regularnej i nieregularnej. Zamieszczone w pracy [11] zestawienia wskazują na dużą zgodność i dokładność obliczeń tego programu. Wartości dopuszczalne kołysań bocznych  $\Phi$  i kiwań  $\Theta$  wyrażono w postaci wartości znaczącej, którą przyjęto zgodnie z pracą [12]:

$$\Phi_{A1/3} = 12 [^{\circ}]$$

$$\Theta_{A1/3} = 3 [^{\circ}]$$

a zjawisko wynurzania się śruby napędowej i slemingu za pomocą częstości wystąpienia w jednostce czasu. Wartości kryterialne zgodnie z pracą [12]:

$$N_{ZP} = 250 \text{ razy /godz.} - \text{częstość wynurzania śruby napędowej,}$$

$$N_{SL} = 15,8 \text{ razy/godz.} - \text{częstość wystąpienia slemingu.}$$

Obliczenia numeryczne przeprowadzono przy szeregu założeń przedstawionych poniżej oraz warunków falowania przedstawionych w publikacji [8], [9] i spektrum falowania wg. ITTC (*International Towing Tank Conference*).

Na potrzeby przeprowadzonej analizy wykorzystano dokumentację techniczną i „Plan wymiany wód balastowych” [13] eksploatowanego statku Polskiej Żeglugi Morskiej w Szczecinie m/v „Ziemia Górnośląska”. Przyjęte założenia i zakres analizy wyglądają następująco:

- a) zanurzenia statku na pionie rufowym  $T_R$ , dziobowym  $T_D$  i zanurzenie średnie  $T_{SR}$  wynikają z „Planu wymiany wód balastowych” [13], przy czym wartości te dotyczą statku na wodzie spokojnej (rysunek 1),
- b) w obliczeniach przyjęto wartości statystyczne falowania morskiego na jednej z linii żeglugowej na Północy Atlantyku ( $H_s$  – wysokość znacząca,  $T$  - okres) [8], [9]
- c) prędkość statku w analizie przyjęto w zakresie od 0 m/s do 10 m/s co 2 m/s,
- d) kąt nabiegu fali względem statku przyjmowano od  $0^{\circ}$  do  $360^{\circ}$  co  $30^{\circ}$ ,

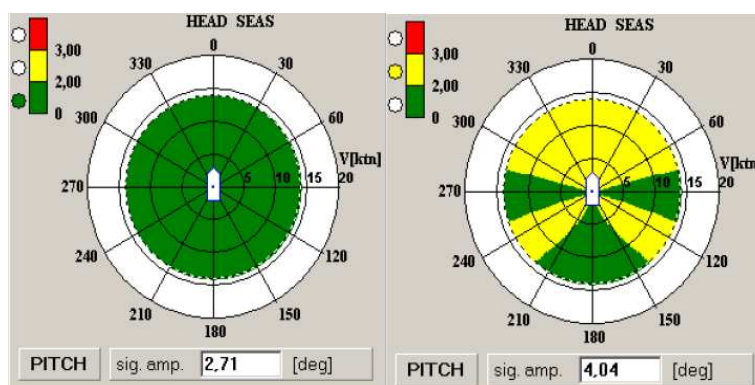
- e) zaproponowano podejście quasi-statyczne polegające na podzieleniu każdego etapu wymiany (ustalonego kroku) na poszczególne poziomy zapełnienia zbiornika/-ów tj. 0%, 25%, 50%, 75%, 100% - ( 5 poziomów zapełnienia),
- f) w obliczeniach posłużono się programem „SEWAY” [7], oraz specjalistycznym programem Katedry Oceanotechniki i Projektowania Systemów Morskich ZUT w Szczecinie.
- g) podstawy teoretyczne obliczeń i analiz oparto o liniową teorię kołysań przedstawioną w publikacjach [4] ,[5], [8], [9],
- h) w badaniach przyjęto scenariusze dotyczące statku poruszającego się po wybranej trasie, który poddano falowaniu nieregularnemu.

Bardziej szczegółowo metodyka obliczeń w przeprowadzonej analizie dla wybranych właściwości morskich (np. wynurzanie się śruby napędowej, kołysania boczne) przedstawiona została w pracach [6], [7].

### 3. MANEWR KURSEM I/LUB PRĘDKOŚCIĄ STATKU

Na poniższych wykresach biegunowych przedstawiono wybrane wyniki dotyczące znaczących amplitud (kołysania boczne, kiwania) lub intensywności zjawiska (wynurzanie się śruby napędowej, sleming) dla wybranych właściwości morskich. Wykresy biegunowe prezentują: kątowno kurs statku względem fali a promieniowo prędkość statku. Kolorami zaznaczono obowiązujące wartości kryterialne (zielony akceptowalny poziom bezpieczeństwa, żółty stan zagrożenia, czerwony przekroczone wartości kryterialne). Prezentowane wyniki dotyczą pierwszego kroku wymiany (dwa stany zapełnienia 0 % i 100 %) – rysunek 1 ( zgodnie z BWM Plan) i dotyczą tylko dwóch wybranych wysokości znaczących fali ( $H_s = 4,0$  m i  $H_s = 5,25$  m) ze względu na obszerność obliczeń i brak możliwości zaprezentowania w tej pracy wszystkich wyników.

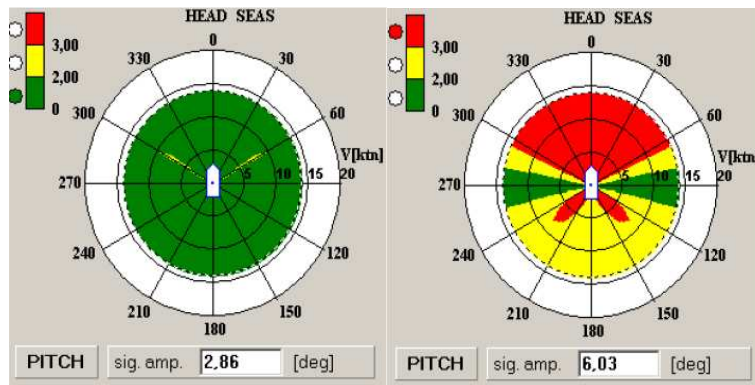
#### 1.1. Kiwania



**Rys. 2.** Intensywność zjawiska kiwań dla statku m/v „Ziemia Górnośląska“ – krok 1 poziom zapełnienia zbiorników 100% dla  $H_s = 4$  [m], i  $H_s = 5,25$  [m].

**Źródło:** opracowanie własne

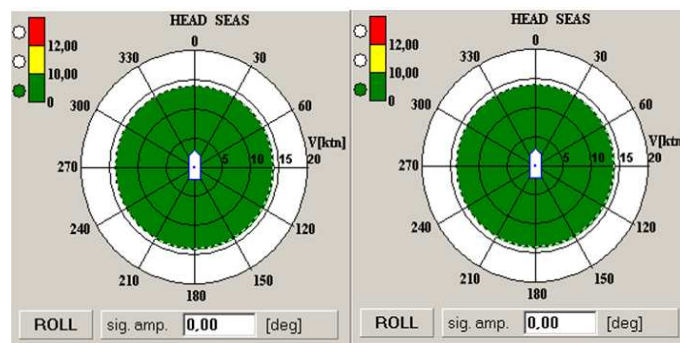




**Rys. 3.** Intensywność zjawiska kiwań dla statku m/v „Ziemia Górnośląska“ – krok 1 poziom zapełnienia zbiorników 0% dla  $H_s = 4$  [m], i  $H_s = 5,25$  [m].

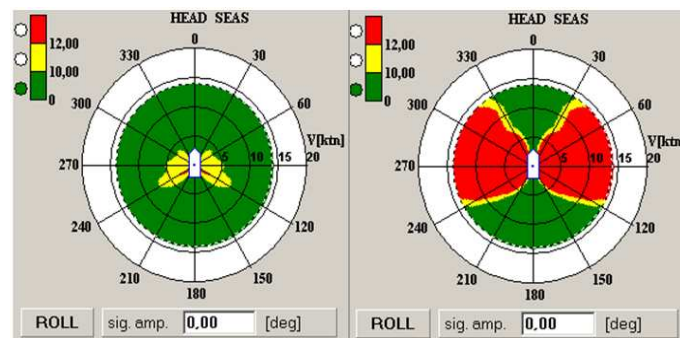
**Źródło:** opracowanie własne

## 1.2. Kołysania boczne



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

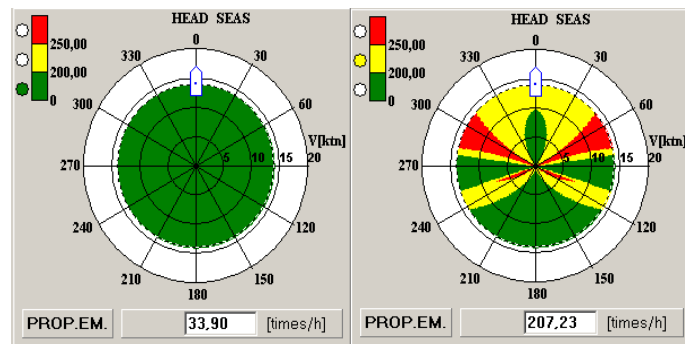
**Źródło:** opracowanie własne



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

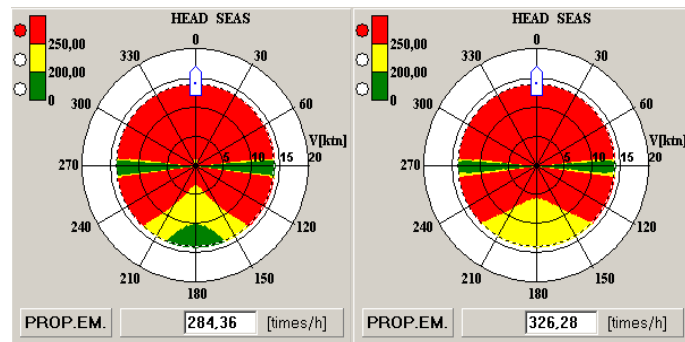
**Źródło:** opracowanie własne

### 1.3. Wynurzanie śruby napędowej statku



Rys. 6. Intensywność zjawiska wynurzania się śruby napędowej dla statku m/v „Ziemia Górnośląska” – krok 1 poziom zapełnienia zbiorników 100% dla  $H_s = 4$  [m], i  $H_s = 6,45$  [m].

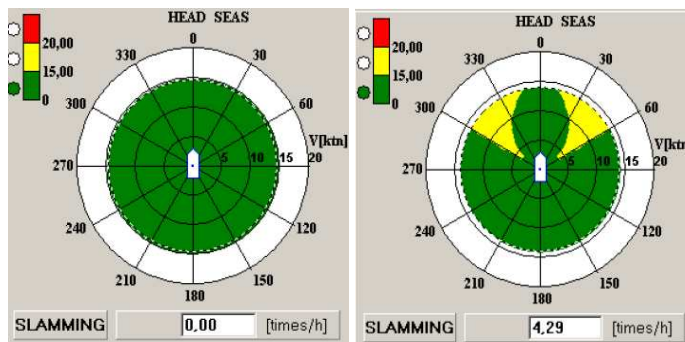
Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Intensywność zjawiska wynurzania się śruby napędowej dla statku m/v „Ziemia Górnośląska” – krok 1 poziom zapełnienia zbiorników 0% dla  $H_s = 4$  [m], i  $H_s = 6,45$  [m].

Źródło: opracowanie własne

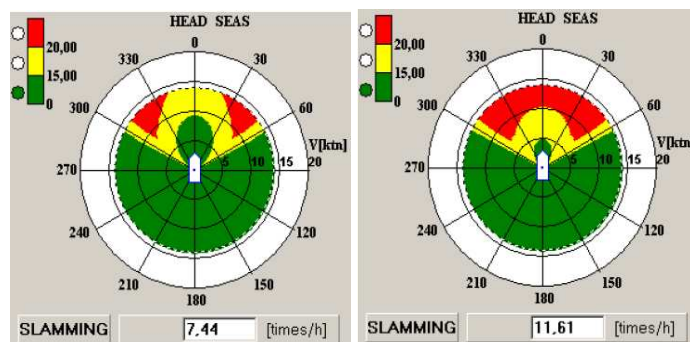
### 1.4. Slamming dziobowy



Rys. 8. Intensywność zjawiska slemingu dziobowego dla statku m/v „Ziemia Górnośląska” – krok 1 poziom zapełnienia zbiorników 100% dla  $H_s = 4$  [m], i  $H_s = 6,45$  [m].

Źródło: opracowanie własne





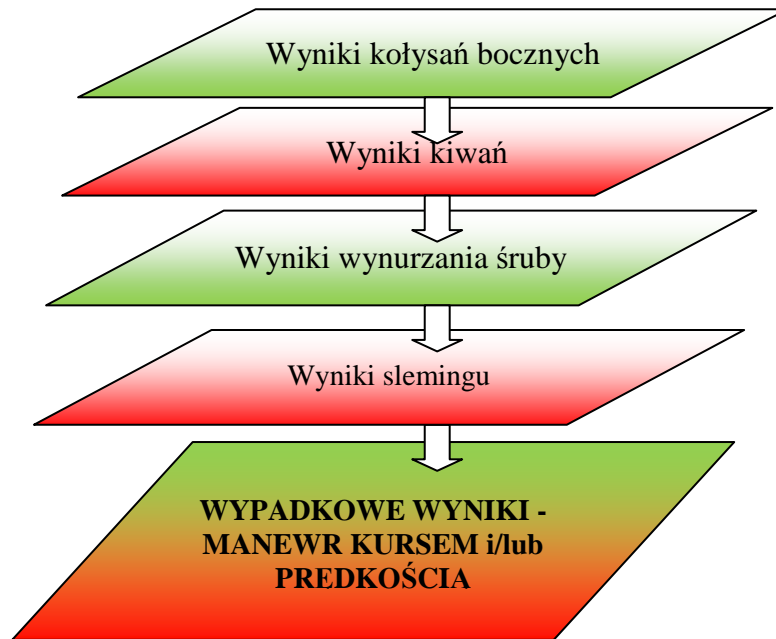
**Rys. 9.** Intensywność zjawiska slemingu dziobowego dla statku m/v „Ziemia Górnośląska“ – krok 1 poziom zapełnienia zbiorników 0% dla  $H_s = 4$  [m], i  $H_s = 6,45$  [m].

**Źródło:** opracowanie własne

#### 4. PROPOZYCJA WYTYCZNYCH NA POTRZEBY EKSPLOATACJI STATKU

Na podstawie analizy wykresów biegunowych (rozdział 3) dla wyników numerycznej próby morskiej (opisanej w rozdziale 2) można postawić następujące wnioski:

- dla wybranych właściwości morskich istnieje możliwość manewru prędkością w celu poprawy bezpieczeństwa statku (wynurzenie się śruby, sleming – rysunki 6 i 9),
- dla wybranych właściwości morskich istnieje możliwość manewru kursem w celu poprawy bezpieczeństwa statku (kiwania, kołysania boczne – rysunki 3 i 5),
- przy określonych stanach morza (dla ustalonej sekwencji wymiany i danym projekcie instalacji balastowej) nie da się uniknąć stanu zagrożenia wyrażającego się przekroczeniem wartości kryterialnych,
- poprawa parametrów jednego z kołysań (manewr kursem i/lub prędkością) negatywnie wpłynie na wartości kołysań w innym stopniu swobody (rysunek 3 i 5),
- z szerszej analizy (większa ilość danych niż prezentowane) wynika że zagrożenie bezpieczeństwa statku będzie miało miejsce w różnych etapach wymiany, przy czym czas zagrożeń też będzie różny (przykładowe analizy w pracach [6] i [7]),
- możliwe jest ustalenie dopuszczalnych warunków pogodowych – bezpiecznych dla danego statku na przeprowadzenie analizowanej operacji,
- istnieje konieczność uwzględnienia wyników z przykładowej analizy w projekcie instalacji balastowej tak aby proces można było przeprowadzać bezpiecznie przy wyższych stanach morza, z odpowiednim poziomem bezpieczeństwa,
- na podstawie analizy kołysań statku i wynikających z nich zjawisk można sformułować zalecenia eksploatacyjne (manewr kursem i/lub prędkością) w celu poprawy bezpieczeństwa przeprowadzanej operacji wymiany wód balastowych,
- ustalenie kolejności opróżniania i napełniania zbiorników powinno odbywać się z uwzględnieniem przeprowadzonej analizy a nie jak dotychczas tylko na „wodzie spokojnej”,
- analiza powinna być formułowana indywidualnie dla danego statku a nie stanowić ogólnych wytycznych. Takie podejście ma miejsce przy pracach nad kryteriami oceny stateczności statku (*New Generation Criteria*),
- „nałożenie na siebie” wyników z poszczególnych wykresów biegunowych (dla każdego ze zjawisk lub kołysań statku) daje pełną informację na potrzeby eksploatacji statku jakich zagrożeń można spodziewać w poszczególnym etapie wymiany i jakie są możliwości eliminacji tych zagrożeń. W poglądowy i symboliczny sposób takie podejście pokazuje rysunek 10.



**Rys. 10.** Przykład uwzględnienia poszczególnych wyników dla przeprowadzonej analizy zawartych w poszczególnych wykresach biegunowych dla wybranych właściwości morskich statku

**Źródło:** opracowanie własne

Należy zaznaczyć, że praca ta pokazuje tylko propozycję wytycznych w oparciu o wybrane właściwościowości morskie. Dla pełnej analizy należało by rozpatrzyć pełne spektrum ruchów statku na fali i zjawisk im towarzyszących. Ważnym jednak wydaje się wniosek, że trudno byłoby ustalić hierarchię zagrożeń uniwersalną dla każdego z typów statków. Wydaje się oczywistym że decydującą rolę odgrywać będzie wielkość statku, kształt kadłuba, projekt instalacji balastowej itd. Dlatego też scenariusze prób numerycznych powinny być ustalane indywidualnie dla statku. Ponadto ważne w przeprowadzanej analizie jest uwzględnienie także dla każdego z kroków wymiany metodą sekwencyjną:

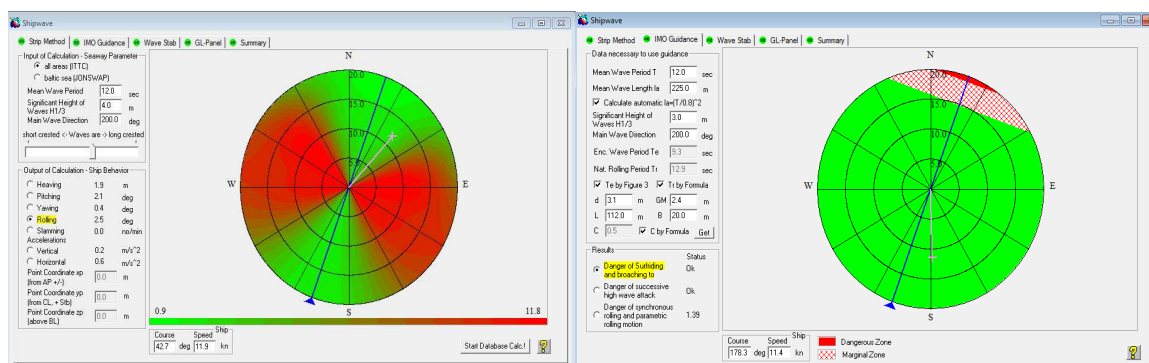
- a) oceny zmian wartości ramion prostujących „GZ” na szczycie i w dolinie fali dla różnych parametrów fali (wysokość znacząca, okres fali)
- b) oceny zmian wartości początkowej wysokości „GM” na szczycie i w dolinie fali dla różnych parametrów fali (wysokość znacząca, okres fali)
- c) ocena wytrzymałości ogólnej i lokalnej kadłuba statku na fali (wartości sił tnących, momentów gnących i skręcających w kadłubie statku)

Ocena analizowanych w pracy i w/w parametrów pozwoli na przystosowanie instalacji balastowej na etapie projektowym do wymiany wód balastowych metodą sekwencyjną oraz wyznaczeniu odpowiedniej kolejności opróżniania i napełniania zbiorników - sekwencji wymiany. Stanowiąc będzie także podstawę do poprawy bezpieczeństwa statku w postaci wytycznych eksploatacyjnych przeprowadzanego procesu, których obecny brak podaje m.in. publikacja [3], [14].

Należy także dodać, że obecnie jedynym dokumentem obowiązującym w eksploatacji statku zalecającym zmianę kursu i/lub prędkości statku są „Znowelizowane wytyczne dla kapitana w zakresie unikania niebezpiecznych sytuacji w niesprzyjających warunkach pogodowych i stanie morza” MSC.1/Circ.1228 z dnia 11.01.2007 r. Publikacja ta dostarcza podstaw do prowadzenia statku w trudnych warunkach pogodowych poprzez rekomendację

odpowiedniej prędkości statku i kąta kursowego względem kierunku rozchodzenia się fali. Jako sytuacje niebezpieczne dla stateczności statku wymienione zostały min.:

- rezonans parametryczny,
- redukcja ramienia prostującego statku,
- pływanie statku na fali nadążającej,
- inne.



Rys. 11. Ekran programu komputerowego służącego do oceny właściwości morskich statku.

Źródło: [http://interschalt.seacos.com/htmls/demo\\_download.htm](http://interschalt.seacos.com/htmls/demo_download.htm)

Zlecenie te mają jednak charakter ogólny i stosowalność tej samej metody obliczeniowej (uproszczonej) dla każdego typu statku. Dlatego też wyniki z tych wskazówek są ogólne i mają postać orientacyjną. Obecnie jednak dzięki popularności aplikacji komputerowych i prostocie stosowanego modelu obliczeń (kosztem dokładności) stosowane są one w eksploatacji statku – rysunek 11.[ 2]

## PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wyniki numerycznych prób morskich, w których przeanalizowano zachowanie się statku z uwzględnieniem: kołysań bocznych, kiwań, wynurzenia się śruby napędowej statku, slemingu dziobowego w czasie ustalonej sekwencji wymiany wód balastowych. Przyjęte na potrzeby eksperymentu warunki eksploatacyjne przedstawione zostały w punkcie 2 natomiast wyniki obliczeń w punkcie 3. Na podstawie tych wyników sformułowano zalecenia dotyczące uzupełnienia planu wymiany wód balastowych o dodatkowe wytyczne dotyczące manewru kursem i/lub prędkością statku w celu poprawy bezpieczeństwa statku w czasie tego procesu w rzeczywistych warunkach pogodowych. Ponadto przedstawione zostały inne możliwości analizy – rozbudowa scenariuszy numerycznych prób morskich.

Do najważniejszych wniosków z przeprowadzonej analizy zaliczyć można:

- zmiana stanu załadowania (np. opróżnienie zbiornika balastowego), przy niezmiennych parametrach eksploatacyjnych statku i niezmiennych warunkach pogodowych może prowadzić do wzrostu kołysań statku i intensywność zjawisk im towarzyszących,
- pełna analiza wyników opisujących kołysania statku dla przyjętego scenariusza umożliwi sformułowanie wytycznych dotyczących manewru kursem i lub prędkością statku w celu poprawy bezpieczeństwa statku,
- zagrożenia wynikające z oddziaływaniem na statek fali mogą pojawiać się w różnych etapach wymiany i czas ich występowania oraz intensyfikacja będą się różnić,
- zagrożenia związane z kołysaniem i zjawiskami im towarzyszącymi będą zależeć od wielkości i położenia opróżnianego zbiornika balastowego,

- e) wyniki podobnych analiz powinny być stosowane i uwzględniane na etapie projektowym (instalacja balastowa) oraz w eksploatacji statku (wytyczne dotyczące manewru kursem i/lub prędkością statku).

## **PROPOSAL OF RECOMMENDATIONS FOR ESTIMATE SHIP SAFETY DURING BALLAST WATER EXCHANGE BY SEQUENTIAL METHOD**

### *Abstract*

*Paper presents recommendations for estimate ship safety during ballast water exchange by sequential method. Recommendations based on selected seakeeping analysis. Ship behaviour on waves during ballast water exchange by sequential method in real weather condition was analysed. Analysis concerns ship behavior on waves. Recommendations concerns ship course and/or speed change. The present solutions applied on ship was presented.*

### **BIBLIOGRAFIA**

1. <http://imo.org>
2. [http://interschalt.seacos.com/htms/demo\\_download.htm](http://interschalt.seacos.com/htms/demo_download.htm)
3. 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>
4. Clark I. *Ship dynamics for mariners* Nautical Institute, London 2005
5. Clark I. *Stability trim and strength for merchant ship and fishing vessels*, Nautical Institute, London 2008
6. Chorab P.: „Analiza wynurzania się śruby napędowej statku w czasie wymiany wód balastowych” LOGISTYKA 6/2010 pp. 549-559
7. Chorab P.: „Analiza kołysań bocznych statku w czasie wymiany wód balastowych” LOGISTYKA 6/2011
8. Dudziak J. *Okręt na fali*, Wydawnictwo Morskie Gdańsk, Gdańsk 1980
9. Dudziak J. *Teoria okrętu*, Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2008
10. IMO, *Międzynarodowa Konwencja o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi i osadami*, 2004 (Konwencja BWM 2004), wydanie PRS, 2006
11. 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>
12. Lloyd A. *Seakeeping: Ship Behaviour in Rough Weather* Ellis Horwood Limited, Southampton 1989
13. PŻM, *Plan postępowania z wodami balastowymi m/v Ziemia Górnośląska*, Polska Żegluga Morska w Szczecinie
14. Res. MSC/Circ.1145 *Precautionary advise to masters when undertaking ballast water exchange operations*, IMO, London 13 Dec.2004, <http://www.imo.org/>

**Autor: dr inż. Paweł CHORAB– Akademia Morska w Szczecinie**