

INFLUENCE OF FLOODING COMPARTMENTS ON THE STABILITY SAFETY OF THE TRAINING WARSHIP

WPLYW ZATOPIENIA POMIESZCZEŃ NA BEZPIECZEŃSTWO STATECZNOŚCIOWE OKRĘTU SZKOLNEGO

Waldemar Mironiuk

Polish Naval Academy
Akademia Marynarki Wojennej

Abstract: *The paper presents computational stability issues with a flooded ship compartment situated on boat deck. As the main criteria for stability of the warship, calculation algorithm of metacentric height and righting levers have been defined, with a free surface effect taken into account. Based on the results of the calculations presented in tabular and graphical forms, suitable conclusions have been drawn up.*

Keywords: *ship stability, angle of heel, safety of warship*

Streszczenie: *W referacie przedstawiono zagadnienia obliczeniowe stateczności okrętu szkolnego z wysoko zatopionymi przedziałami. Omówiono algorytm obliczeń wysokości metacentrycznej i ramion prostujących z uwzględnieniem powierzchni swobodnej jako główne kryteria stateczności okrętu. Na podstawie wyników obliczeń przedstawionych w postaci tabelarycznej i graficznej sformulowano odpowiednie wnioski.*

Słowa kluczowe: *stateczność okrętu, kąt przechyłu, bezpieczeństwo okrętu*

INFLUENCE OF FLOODING COMPARTMENTS ON THE STABILITY SAFETY OF THE TRAINING WARSHIP

1. Introduction

Increase in migration of people and in trade by sea have contributed to substantial increase in traffic on sea lanes and progress in technology has made it possible to build ships having big displacement. More than 80% of the world trade makes use of maritime transport, which has become one of the pillars of international trade. Apart from many advantages, this has created several hazards to safety in maritime transport and to natural environment.

Special role, having impact on maritime safety, is played by naval ships. Due to the nature of missions they carry out they are exposed to damage, fires and even sinking. A naval ship is a complex technical system whose combat capability depends on her reliability. The analysis of literature and maritime practice shows that even the best organized naval fleets suffer from accidents and ship malfunctions. They can be hazardous to lives and health of a ship crew or result in the ship's total loss.

Fire presents serious hazard to a ship when at sea. It results in her sinking rarely, however the left devastation is usually very serious and, as ever, depending on the level of the crew training in respect to the damage control plan. During peaceful operation of the combat vessel, short-circuits in electrical installations, failures of devices and mechanisms, self ignition of pure oxygen when contacted with petroleum materials and so on make most sources of fires. Seawater is usually the main extinguishing agent used on ships and high volumes of the water are hazardous to the vessel stability and subdivision. Therefore, in the paper, the main emphasis has been made on defining the impact of high located and flooded compartments on the ship stability safety. Results of calculations presented in the elaboration contain information regarding volumes of water in the compartment causing deterioration of the ship stability.

2. Characteristics of the research object

The training vessel selected for the tests is a flagship of the training and research ships' wing of our fleet. This ship operates on different seas in hazard, changeable weather conditions where is the high propability it's damage. The analysis of damage stability after flooding high located compartments is necessary for the maritime transport safety. The said boat is divided, with ten transverse watertight bulkheads, into 11 watertight compartments located on the frames: 3, 16, 25, 35, 50, 60, 71, 80, 91 and 101. Such division ensures maintenance of unsinkability when two neighbouring compartments have been flooded, excluding main engine room and adjoining compartment.

General characteristics of the vessel:

- main dimensions:
 - overall length: $L_c = 72,20$ m,
 - length between perpendiculars: $L_{pp} = L = 64,20$ m,
 - maximal breadth: $B_{max} = 12,00$ m,
 - breadth: $B = 11,60$ m,
 - height: $H = 5,55$ m.



Fig. 1 Picture of the training vessel [9]

The calculations have been made for load displacement and no icing. These conditions are characterized by the following quantities:

- displacement: $D = 1745,34$ t,
- ordinate of the mass centre from the main plane: $z_G = 4,31$ m,
- stern draft: $T_R = 3,97$ m,
- bow draft : $T_D = 4,05$ m,
- average draft: $T_{sr} = 4,01$ m,
- trim: $t = 0,08$ m,
- metacentr height from the base plane: $z_M = 5,44$ m,
- metacentric height: $GM = 1,13$ m,
- speed: $V = 16,8$ w
- coordinates of the mass centre:
 - $x_G = 29,649$ m from the after perpendicular,
 - $y_G = -0,007$ m from the plane of symmetry,
 - $z_G = 4,314$ m from the base plane [1].

3. Defining the metacentric height and the righting levers of the ship

Water broken into the vessel's hull and the flooded compartment or tank result in deeper draught of the ship, possible heel and trim as well as a change in her stability. The change may improve or aggravate operational conditions of the boat. In some case, lower stability may be serious enough to endanger safety of the ship and her crew as well as it may cause overturning of the vessel.

To avoid accidents of such a kind, it is necessary to check stability of the damaged ship and apply appropriate remedial measures that would stop its lessening. Flooding of high situated compartment or several compartments always results in aggravation of the vessel's stability. As a consequence, a heel or trim of the ship, change in the metacentric height and the righting levers may occur. A vessel of standard displacement D for which a mass m is loaded in the point $A(X, Y, Z)$ as in the figure 2 [1,2,3] has been taken into consideration in the stability calculations.

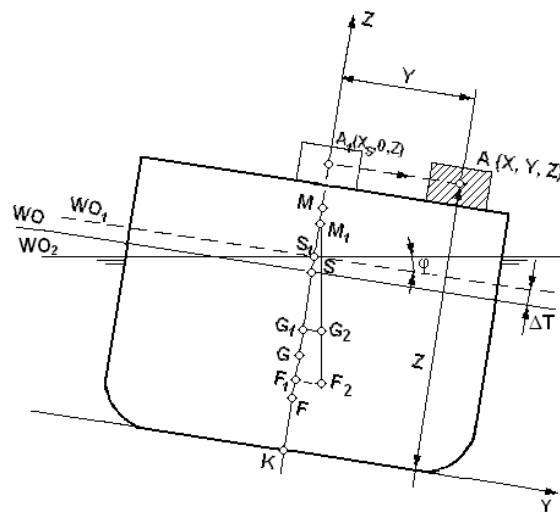


Fig. 2 Scheme of the ship situation after acceptance of the mass m in the point A [1,2,3]

At the beginning, acceptance of the mass was assumed so that to have its centre vertically above the centre of water-plane section's surface WO in the point $A_1(X_s, 0, Z)$. For this cause the draught increase and the new transverse metacentric height were calculated [1,2,3].

In the next step, the mass was moved from the imaginary position onto the place occupied in reality:

- towards the transverse direction by a distance of $e = Y - Y_1 = Y - 0 = Y$,
- towards the longitudinal direction by a distance of $l = X - X_s$.

Then, the angle of heel, the angle of trim and the new bow and stern draughts of the ship has been calculated.

For large angles of heel (above 7°), the ship stability is defined based on the righting lever curves (Reed's curve). This curve allows determining dimensions of the righting lever for any angle of heel of the given ship, at invariable displacement and position of the mass centre.

Value of the righting lever \overline{GZ} is determined with the following formula applied [3, 12, 13]:

$$\overline{GZ} = \overline{KC} - \overline{KL} \quad (1)$$

$$\overline{KL} = Z_g \sin \varphi \quad (2)$$

where:

Z_g – the mass centre height [m],

\overline{KL} – the weight stability lever [m],

\overline{KC} – the form stability lever [m].

The formula (1) may be presented in the following way:

$$\overline{GZ} = \overline{KC} - Z_g \sin \varphi \quad (3)$$

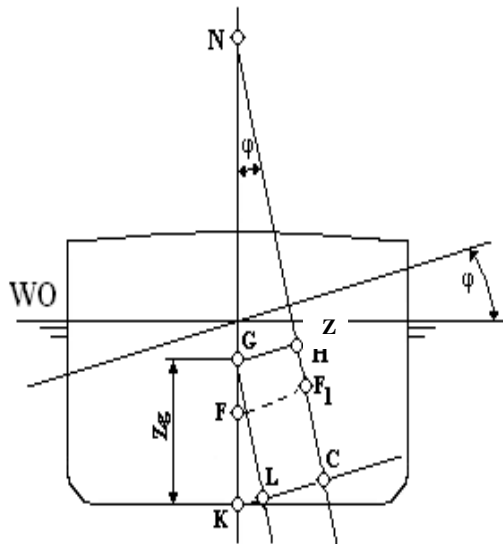


Fig. 3 Righting lever of the form and weight [3, 12, 13]

For the determination of the righting lever for any angle of heel it is necessary to know the form stability lever that changes depending on the angle of heel. This value is read from the so-called Pantecaren graph, which is developed during the design phase of the ship.

Reed's curve which is a graph of righting levers provides information about the basic parameters of the stability of the ship, such as:

- φ_{Gzmax} – heeling angle at the maximum value of the righting lever occurs [deg],
- GZ_{max} – the maximum righting lever [m],
- φ_r – the angle of vanishing stability [deg],
- GM – the metacentric height [m].

4. Impact of free surface on the ship stability

Presence of fluid free surface after partial flooding of compartment always results in reduction of the vessel's metacentric height. This decrease depends, among the others, on the shape and magnitude of this surface.

Receipt of liquid cargo on board of a ship, accompanied by occurrence of the free surface, has influence on change of position of the vessel mass centre and thus on the metacentric height \overline{GM} .

Hence usage of, for instance, larger quantities of water for fire-fighting purposes on upper decks results in shifting the boat's mass centre up, and – if connected with occurrence of free surfaces – it may cause the loss of stability and overturning of the ship.

Impact of inertia moment derived from the free surface of the flooded compartment has been taken into account in the calculations of the metacentric height. It has been assumed that surface of the compartment under flooding is rectangular. The moments of inertia of the permanent constructional elements present in the compartment have been taken into consideration in calculations regarding the inertia moment of the entire body.

Influence of the fluid free surface on the righting levers' curve (the Reed's curve) has been taken into account by implementing an allowance marked with an X symbol X[1,2,3].

$$X = [y_{G1}(\varphi)\cos\varphi + z_{G1}(\varphi)\sin\varphi] \quad (4)$$

where:

$y_{G1}(\varphi)$ and $z_{G1}(\varphi)$ – constituents of shift of the vessel's mass centre, at the heel to the angle φ [m],

$$y_{G1}(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i [y_g(\varphi)]_i}{D} \quad (5)$$

$$z_{G1}(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i [z_g(\varphi)]_i}{D} \quad (6)$$

D – ship displacement together with liquid cargo [t],

m_i – mass of the liquid cargos in particular tanks [t],

$[y_g(\varphi)]_i$ and $[z_g(\varphi)]_i$ – constituents of shifts of the fluid mass centres in the

flooded compartments at the heel to the angle φ [m] [10]. These parameters have been calculated with a used of an elaborated computer programme. This software is adapted to calculate stability parameters for a floating structure of rectangular shape.

After defining the allowance from the fluid free surface, the new GM is:

$$GM = G_1M_1 - X \tag{7}$$

Based on the formula 7, the calculations and analyses of the vessel's metacentric height after flooding the ship compartment have been made.

5. Results of the vessel stability with a ship compartment flooded

The calculations have been performed for two high altitude, flooded ship compartment. The first one was located at a height of 8,1m from the base plane. This range of dimensions: beam 8.67 m and a length of 36,78 m have the surface area, taking into account its equipment, equal to 188.5 m². The second compartment dimensions: beam 8.64 m and a length of 19,49 m was at a height of 10.2 m from the base plane. This compartment had a surface area, taking into account its equipment, even 147,6m². Both compartments during tests poured into previously established water height H = 0.1 m, H = 0.4 m, H = 0.8 m and H = 1.6 m. The results of the calculations of maximum values of righting levers taking into account the free surface effect of the considered amount of water in the range shown in Figure 4 [7,8,9].

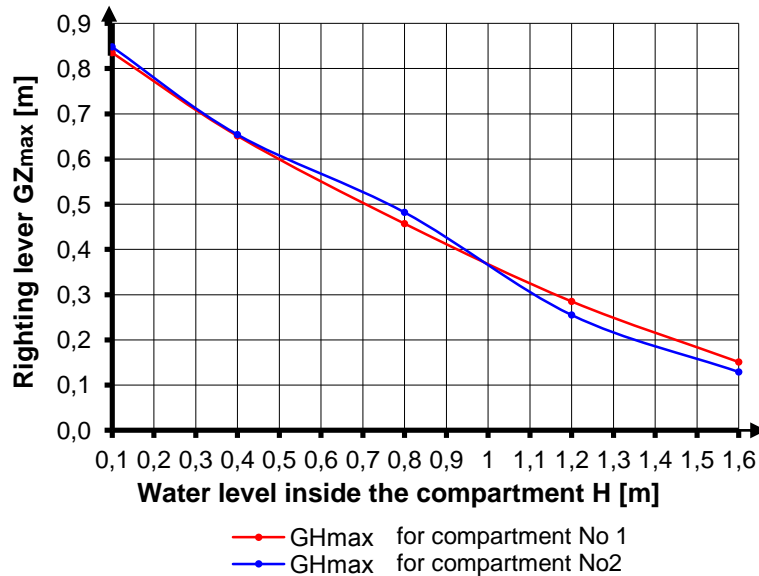


Fig. 4 The dependence of the maximum value of righting lever of the amount of water in the flooded compartments H [7,8,9]

The analysis of the results of calculations presented in this graph shows a clear decline in the value of the maximum righting lever depending on the water level in the flooded ship compartments. For the amount of water in the compartment H = 0.1 m the maximum righting lever had value GZ = 0.84 m.

However, after increasing the level of water in the compartment to $H = 1.6$ m the maximum righting lever significantly reduced until the value to 0.13 m. Figure 5 presents changes of righting levers (Reed's curve) as a function of the angle of heel of the ship for selected water levels in the flooded ship compartments.

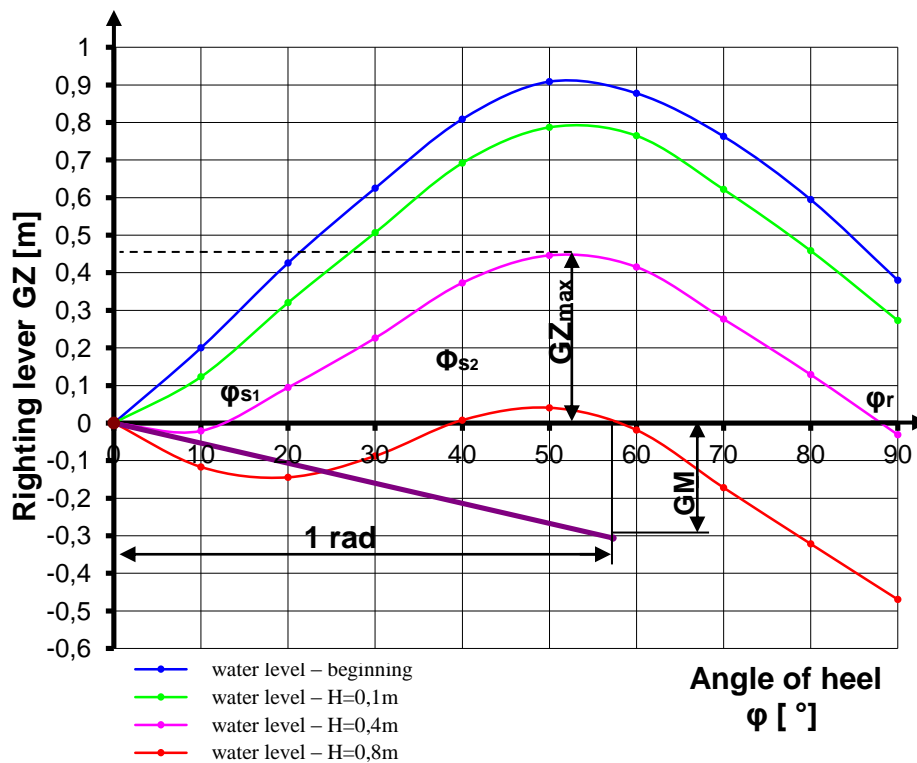


Fig. 5 Influence of the amount of water in the compartment on the Reed's curve

The angles of steady heel of the ship, resulting from flooding of the vessel compartment under discussion, amount respectively: $\varphi_{s1} = 12^\circ$ for the water level in the compartment equal $H = 0,4$ m and $\varphi_{s2} = 40^\circ$ for $H = 0,8$ m. The metacentric heights for these cases display negative values. But for the amount of water in the compartments $H = 0.8$ m angle range of righting lever reduced from approx. $\varphi_r = 100^\circ$ to approx. $\varphi_r = 60^\circ$.

6. Conclusions

As a result of analysis of the ship's stability after flooding a high situated compartment provides the following conclusions:

- Flooding of high located compartments results in:
 - a reduction in a value of metacentric height,
 - a reduction in a value of righting levers,
 - a reduction in the angle range righting lever φ_r ,
 - an increase in a value of steady heel angle φ_s .

- The analysis of changes in the stability of the ship shows, that the worst option is the simultaneous flooding of two compartments have to height $H = 0.4$ m. It causes a loss of initial stability of the ship. The recovery of stability followed by an inclination of the ship equal $\phi_s = 12^\circ$.
- At the lower level of the water in the ship's compartments retains a positive initial stability.

7. Primary sources

- [1] Kabaciński J.: Stateczność i niezatapialność statku, Gdańsk 1995.
- [2] Derett D. R.: Ship stability for Masters and Mates, BH. Oxford,UK,2003.
- [3] Dudziak J.: Teoria okrętu, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 2006.
- [4] Jacyna M., Wasiaś M, Lewczuk K., Michał Kłodawski M.: Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport, Archives of Transport - Archiwum Transportu - No 3/2014 vol. 31 Warszawa 2014.
- [5] Jakus B., Korczewski Z., Mironiuk W., Szyszka J., Wróbel R.: Obrona przeciwwawaryjna okrętu, cz.1, Gdynia 2001.
- [6] Mironiuk W.: Preliminary research on stability of warship models, COPPE Brazil, Rio de Janeiro, 2006.
- [7] Mironiuk, W., Pawłędzio, A., Wróbel, R. Trenażer do walki z wodą. Przegląd Morski nr 5 Gdynia 2004.
- [8] Mironiuk W., Pawłędzio A., Wróbel R.: Analiza stateczności statycznej pontonu prostopadłościennego o wymiarach $L \times B \times H$. Zeszyty naukowe AMW. Gdynia 2004.
- [9] Mironiuk W., Pawłędzio A., Zacharewicz M.: Badania modelowe stateczności i niezatapialności okrętów. AMW Gdynia 2006.
- [10] Mironiuk W., Pawłędzio A.: Modelling studies of the roll and the pitch training ship. Maritime Transport & Shipping, London, UK, 2013
- [11] Przepisy klasyfikacji i budowy okrętów wojennych. Część IV, Stateczność i niezatapialność. Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2008.
- [12] Szozda Z.: Stateczność statku morskiego. Akademia Morska, Szczecin 2004.
- [13] Więckiewicz W.: Podstawy pływerności i stateczności statków handlowych. AMG, Gdynia 2006.



Cpt (N) PhD, Msc Eng, prof PNA Waldemar Mironiuk, Polish Naval Academy Faculty of Navigation and Naval Weapons.

WPLYW ZATOPIENIA POMIESZCZEŃ NA BEZPIECZEŃSTWO STATECZNOŚCIOWE OKRĘTU SZKOLNEGO

1. Wstęp

Nasilenie migracji ludzi oraz obrotu towarów drogą morską przyczyniło się do znacznego natężenia ruchu na szlakach żeglugowych, a postęp techniczny umożliwił budowę statków o dużej pojemności. Ponad 80 % światowego handlu korzysta z transportu morskiego, który stał się jednym z głównych filarów handlu międzynarodowego. Oprócz wielu zalet stworzyło to wiele zagrożeń dla bezpieczeństwa transportu morskiego i środowiska naturalnego. Spośród wielu czynników wpływających na bezpieczeństwo okrętu na morzu wyróżnia się m.in.: stateczność, wytrzymałość ogólną kadłuba, niezatapialność, ochronę przeciwpożarową. Szczególną rolę, mającą wpływ na bezpieczeństwo morskie, mają okręty wojenne. Ze względu na charakter zadań jakie wykonują są one narażone na działanie środków bojowych przeciwnika, których skutkiem są uszkodzenia, pożary i nawet zatonięcia. Okręt wojenny jest złożonym systemem technicznym, którego niezawodność znacznie wpływa na zdolność bojową. Jednak jak wskazuje analiza literaturowa i praktyka morską nawet doskonale zorganizowane floty wojenne nękają wypadki i awarie okrętowe. Mogą one być przyczyną zagrożenia życia i zdrowia załogi okrętu jak i prowadzić do całkowitej jego utraty.

Podczas pobytu okrętu na morzu znaczne zagrożenie dla jego bezpieczeństwa stanowi pożar. Rzadko powoduje on zatonięcie okrętu, jednak zniszczenia, jakie pozostawia są zazwyczaj bardzo poważne i jak zawsze, uzależnione od poziomu wyszkolenia załogi w zakresie obrony przeciwawaryjnej. Źródłem pożaru podczas pokojowej eksploatacji okrętu są zazwyczaj zwarcia w instalacjach elektrycznych, awarie urządzeń i mechanizmów, samozapłon czystego tlenu w kontakcie z materiałami ropopochodnymi itp. Głównym środkiem gaśniczym stosowanym na okrętach jest zazwyczaj woda zaburtowa, która w dużych ilościach stanowi zagrożenie dla stateczności i niezatapialności okrętu. Dlatego w pracy główny nacisk położono na określenie wpływu zalania przedziałów wysoko położonych na położenie i bezpieczeństwo statecznościowe okrętu. Przedstawione w pracy wyniki obliczeń zawierają informacje o ilości wody w przedziale powodującej utratę stateczności okrętu.

2. Charakterystyka obiektu badań

Wybrany do badań okręt szkolny jest okrętem flagowym zespołu jednostek szkolno badawczych naszej floty. Okręt pływa w różnych akwenach morskich w zmiennych, niebezpiecznych warunkach pogodowych gdzie ryzyko uszkodzeń jest duże. Zatem analiza stateczności awaryjnej po zatopieniu wysoko położonych pomieszczeń była zasadna.

Badany okręt podzielony jest dziesięcioma poprzecznymi grodziami wodoszczelnymi na 11 przedziałów wodoszczelnych usytuowanych na wręgach: 3, 16, 25, 35, 50, 60, 71, 80, 91, 101. Taki podział zapewnia zachowanie niezatapialności przy zatopieniu dwóch sąsiednich przedziałów za wyjątkiem zatopienia przedziału siłowni głównej i przedziału sąsiadującego.

Charakterystyka ogólna okrętu:

- wymiary główne:
 - długość całkowita: $L_c=72,20\text{m}$,
 - długość między pionami: $L_{pp}=L=64,20\text{m}$,
 - szerokość maksymalna: $B_{\max}=12,00\text{m}$,
 - szerokość: $B=11,60\text{m}$,
 - wysokość boczna: $H=5,55\text{m}$.



Rys. 1 Fotografia okrętu szkolnego [9]

Obliczenia przeprowadzono dla wyporności pełnej bez oblodzenia. Stan ten charakteryzuje się następującymi wielkościami:

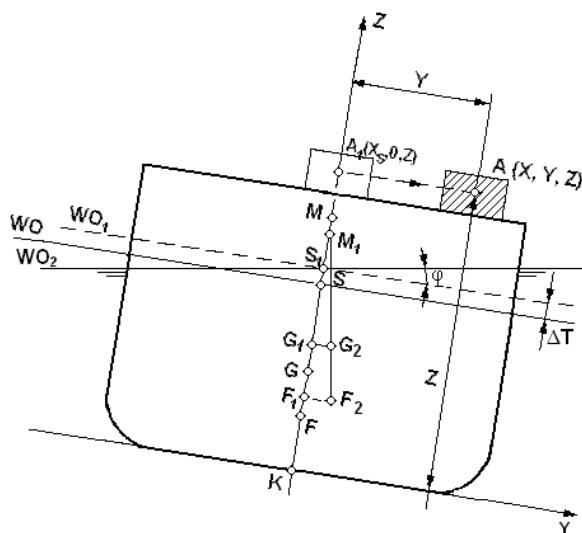
- wyporność: $D=1745,34\text{t}$,
- rzędna środka masy od płaszczyzny podstawowej: $z_G=4,31\text{m}$,
- zanurzenia rufy: $T_R=3,97\text{m}$,
- zanurzenie dziobu: $T_D=4,05\text{m}$,
- zanurzenie średnie: $T_{\text{sr}}=4,01\text{m}$,
- przegłębienie: $t=0,08\text{m}$,
- wysokość metacentryczna od płaszczyzny podstawowej: $z_M=5,44\text{m}$,
- wysokość metacentryczna: $GM=1,13\text{m}$,
- prędkość: $V=16,8\text{w}$
- współrzędne środka masy:
 - $x_G=29,649\text{m}$ od pionu rufowego,
 - $y_G=-0,007\text{m}$ od płaszczyzny symetrii,
 - $z_G=4,314\text{m}$ od płaszczyzny podstawowej [1].

3. Określanie wysokości metacentrycznej i ramion prostujących okrętu

Wdarcie się wody do wnętrza kadłuba okrętu i zatopienie przedziału lub zbiornika pociąga za sobą zwiększenie zanurzenia okrętu, możliwość wystąpienia przechyłu i przegłębienia oraz zmianę stateczności. Zmiana ta może poprawić lub pogorszyć warunki pływania okrętu. W pewnych przypadkach występujące zmniejszenie stateczności może zagrozić bezpieczeństwu okrętu i załogi oraz może spowodować przewrócenie okrętu. Dla uniknięcia tego rodzaju wypadków konieczne jest sprawdzenie stateczności okrętu uszkodzonego i zastosowanie odpowiednich środków zaradczych przeciw zmniejszaniu się jej.

Zalanie wysoko położonego przedziału lub kilku przedziałów powoduje zawsze pogorszenie się stateczności okrętu. W konsekwencji może wystąpić przechył i przegłębienie okrętu, zmiana wysokości metacentrycznej oraz wartości ramion prostujących.

W obliczeniach stateczności uwzględniono okręt o wyporności standardowej D , na który przyjęto masę m w punkcie $A(X, Y, Z)$ jak na rysunku 2 [1,2,3].



Rys. 2 Schemat położenia okrętu po przyjęciu masy m w punkcie A [1,2,3]

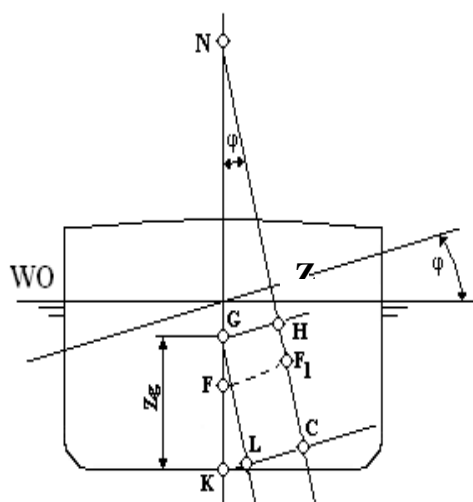
Początkowo założono przyjęcie masy, tak by jej środek znalazł się pionowo ponad środkiem powierzchni pola przekroju wodnicowego WO w punkcie $A_1(X_s, 0, Z)$. Dla takiego założenia dokonano obliczeń przyrostu zanurzenia oraz wysokości metacentrycznej okrętu [1,2,3].

W kolejnym etapie przesunięto masę z położenia początkowego na miejsce rzeczywiście zajmowane:

- w kierunku poprzecznym o odległość $e = Y - Y_1 = Y - 0 = Y$,
- w kierunku wzdłużnym o odległość $l = X - X_s$.

Następnie obliczono kąt przechyłu i przegłębienia okrętu oraz nowe zanurzenie rufy i dziobu.

Dla dużych kątów przechyłu (powyżej 7°) stateczność okrętu określa się na podstawie krzywych ramion prostujących (krzywa Reeda). Krzywa ta pozwala określić wielkość ramienia prostującego dla dowolnego kąta przechyłu danego okrętu przy nieziennej wyporności oraz niezmiennym położeniu środka masy.



Rys. 3 Ramię stateczności kształtu i masy [3,12,13]

Wartość ramienia prostującego \overline{GZ} wyznaczana jest z następującego wzoru [3,12,13]:

$$\overline{GZ} = \overline{KC} - \overline{KL} \quad (1)$$

$$\overline{KL} = Z_g * \sin \varphi \quad (2)$$

gdzie:

Z_g – wysokość środka masy [m],

\overline{KL} – ramię stateczności masy [m],

\overline{KC} – ramię stateczności kształtu [m].

Wzór (1) można przedstawić następująco:

$$\overline{GZ} = \overline{KC} - Z_g * \sin \varphi \quad (3)$$

Do określenia ramienia prostującego dla dowolnego kąta przechyłu niezbędna jest znajomość wartości ramienia stateczności kształtu, która zmienia się w zależności od kąta przechyłu. Wartość tą odczytuje się z tzw. wykresu Pantokaren, który opracowany jest na etapie projektowania okrętu.

Krzywa Reeda będąca wykresem ramion prostujących stanowi informację o podstawowych parametrach stateczności okrętu takich jak:

- $\varphi_{GH_{max}}$ – kąt, przy którym występuje maksymalna wartość ramienia prostującego [°],
- GZ_{max} – maksymalne ramię prostujące [m],
- φ_r – kąt zakresu krzywej ramion prostujących [°],
- GM – wysokość metacentryczna [m].

4. Wpływ powierzchni swobodnej na stateczność okrętu

Występowanie swobodnej powierzchni cieczy po częściowym zatopieniu przedziału powoduje zawsze zmniejszenie wysokości metacentrycznej okrętu. Zmniejszenie to zależy m.in. od kształtu i wielkości tej powierzchni.

Przyjęcie na okręt ładunku płynnego, połączone z wystąpieniem swobodnej powierzchni, wpływa na zmianę położenia środka masy okrętu i tym samym na wysokość metacentryczną \overline{GM} . Z tego też względu używanie np. większej ilości wody do gaszenia pożarów na górnych pokładach powoduje przesunięcie środka masy okrętu w górę a w połączeniu z wystąpieniem swobodnych powierzchni może spowodować utratę stateczności i przewrócenie okrętu.

W obliczeniach wysokości metacentrycznej oraz ramion prostujących uwzględniono wpływ momentu bezwładności pochodzącego od powierzchni swobodnej zalanego przedziału. Przyjęto, że powierzchnie pomieszczenia zalewanego wodą ma kształt prostokąta. Momenty bezwładności stałych elementów konstrukcyjnych znajdujących się w pomieszczeniu uwzględniono w obliczeniach momentu bezwładności całej bryły.

Wpływ swobodnej powierzchni cieczy na krzywą ramion prostujących (krzywą Reeda) uwzględniono poprzez tzw. poprawkę oznaczoną symbolem $X[1,2,3]$.

$$X = [y_{G1}(\varphi) * \cos \varphi + z_{G1}(\varphi) * \sin \varphi] \quad (4)$$

gdzie:

$y_{G1}(\varphi)$ i $z_{G1}(\varphi)$ – składowe przesunięcia środka masy okrętu przy przechyle do kąta φ [m],

$$y_{G1}(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * [y_g(\varphi)]_i}{D} \quad (5)$$

$$z_{G1}(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * [z_g(\varphi)]_i}{D} \quad (6)$$

D – wyporność okrętu wraz z ładunkiem płynnym [t],

m_i – masa ładunków płynnych w poszczególnych zbiornikach [t],

$[y_g(\varphi)]_i$ i $[z_g(\varphi)]_i$ – składowe przesunięć środków masy cieczy w zatopionych przedziałach przy przechyle do kąta φ [m] [10]. Parametry te zostały obliczone przy wykorzystaniu opracowanego programu komputerowego. Program ten przystosowany jest do obliczeń parametrów statecznościowych dla konstrukcji pływającej w kształcie pontonu prostopadłościennego.

Po określeniu poprawki od swobodnej powierzchni cieczy nowa GM wynosi:

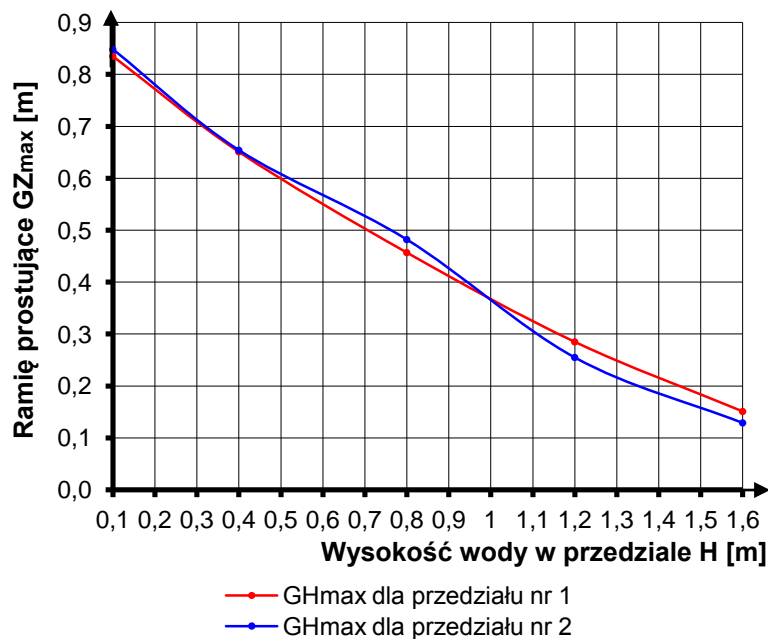
$$GM = G_1 M_1 - X \quad (7)$$

Na podstawie wzoru 7 dokonano obliczeń i analizy wysokości metacentrycznej okrętu po zatopieniu przedziału okrętowego.

5. Wyniki obliczeń stateczności okrętu z zalanym przedziałem

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch wysoko położonych, zalanych przedziałów okrętowych. Pierwszy z nich znajdował się na wysokości 8,1m od płaszczyzny podstawowej. Przedział ten o wymiarach: szerokość 8,67 m i długość 36,78 m posiadał pole powierzchni, po uwzględnieniu jego wyposażenia, równe 188,5 m². Drugi przedział o wymiarach: szerokość 8,64m i długość 19,49m znajdował się na wysokości 10,2m od płaszczyzny podstawowej. Przedział ten posiadał pole powierzchni, po uwzględnieniu jego wyposażenia, równe 147,6m². Oba przedziały podczas badań zalewano do założonych wcześniej wysokości wody H=0,1m, H=0,4m, H=0,8m oraz H=1,6m.

Wyniki obliczeń maksymalnych wartości ramion prostujących po uwzględnieniu powierzchni swobodnej dla rozpatrywanych wysokości wody w przedziale przedstawiono na rysunku 4. [7,8,9]

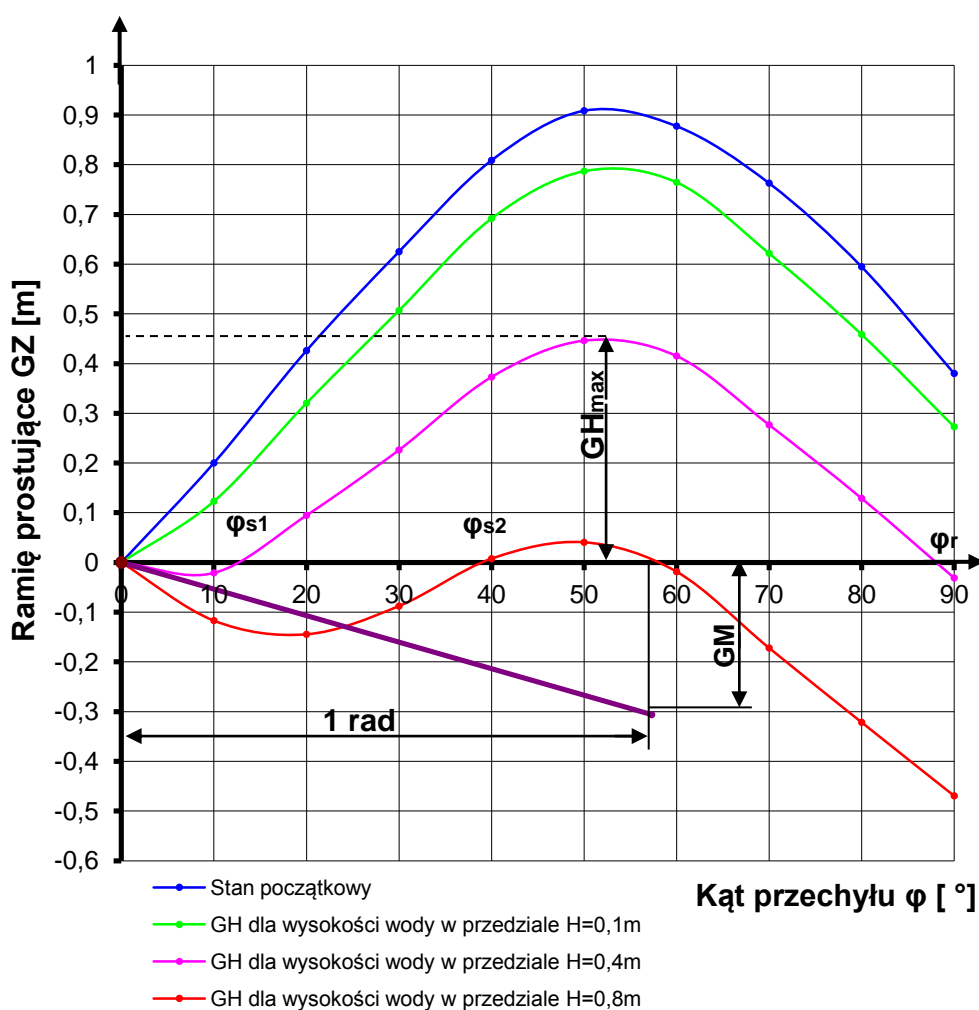


Rys. 4 Zależność maksymalnych ramion prostujących od wysokości wody w zatapianych przedziałach H [7,8,9]

Influence of flooding compartments on the stability safety of the training warship
Wpływ zatopienia pomieszczeń na bezpieczeństwo statecznościowe okrętu...

Z analizy otrzymanych wyników obliczeń przedstawionych na wykresie widać wyraźny spadek maksymalnych wartości ramion prostujących w zależności od poziomu wody w zatapianych przedziałach okrętowych. Dla wysokości wody w przedziale $H=1,6\text{m}$ maksymalne ramię prostujące zmniejszyło wartość z $0,84\text{m}$ dla $H=0,1\text{m}$ do $0,13\text{m}$.

Na rysunku 5 przedstawiono przebieg zmian krzywej ramion prostujących (krzywej Reeda) w funkcji kąta przechyłu okrętu dla wybranych poziomów wody w zatapianych przedziałach okrętowych.



Rys. 5 Wpływ wysokości wody w przedziałach na krzywą Reeda

Kąty stałego przechyłu okrętu będących skutkiem zalania rozpatrywanych przedziałów okrętowych wynoszą odpowiednio: $\varphi_{s1}=12^\circ$ dla poziomu wody w przedziałach $H=1,0\text{m}$ i $\varphi_{s2}=40^\circ$ dla $H=0,8\text{m}$. Wysokości metacentryczne dla tych przypadków przyjmują wartości ujemne. Natomiast dla wysokości wody w przedziałach $H=0,8\text{ m}$ kąt zakresu ramion prostujących zmniejsza się z ok. $\varphi_r=100^\circ$ do ok. $\varphi_r=60^\circ$.

6. Podsumowanie, Wnioski

W wyniku przeprowadzenia analizy stateczności okrętu po zatopieniu wysoko położonych dwóch przedziałów okrętowych otrzymano następujące wnioski:

- Zatopienie wysoko położonych przedziałów powoduje:
 - zmniejszenie wartości wysokości metacentrycznej GM,
 - zmniejszenie wartości ramion prostujących GZ,
 - zmniejszenie wartości kąta zakresu ramion prostujących φ_r ,
 - wzrost wartości kąta stałego przechyłu φ_s .
- Z przeprowadzonej analizy zmian stateczności okrętu wynika, że najgorszym wariantem jest jednoczesne zalanie obu przedziałów już do wysokości $H=0,1\text{m}$, które powoduje utratę stateczności początkowej. Odzyskanie stateczności następuje przy przechyłu okrętu równym $\varphi_s=12^\circ$.
- Przy mniejszych wysokościach wody w przedziałach okręt zachowuje stateczność początkową dodatnią.

7. Literatura

- [1] Kabaciński J.: Stateczność i niezatapialność statku, Gdańsk 1995.
- [2] Derett D. R.: Ship stability for Masters and Mates, BH. Oxford,UK,2003.
- [3] Dudziak J.: Teoria okrętu, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 2006.
- [4] Jacyna M., Wasiak M., Lewczuk K., Michał Kłodawski M.: Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport, Archives of Transport - Archiwum Transportu - No 3/2014 vol. 31 Warszawa 2014.
- [5] Jakus B., Korczewski Z., Mironiuk W., Szyszka J., Wróbel R.: Obrona przeciwawaryjna okrętu, cz.1, Gdynia 2001.
- [6] Mironiuk W.: Preliminary research on stability of warship models, COPPE Brazil, Rio de Janeiro, 2006.
- [7] Mironiuk, W., Pawłędzio, A., Wróbel, R. Trener do walki z wodą. Przegląd Morski nr 5 Gdynia 2004.
- [8] Mironiuk W., Pawłędzio A., Wróbel R.: Analiza stateczności statycznej pontonu prostopadłościennego o wymiarach $LxBxH$. Zeszyty naukowe AMW. Gdynia 2004.

Influence of flooding compartments on the stability safety of the training warship
Wpływ zatopienia pomieszczeń na bezpieczeństwo statecznościowe okrętu...

- [9] Mironiuk W., Pawłędzio A., Zacharewicz M.: Badania modelowe stateczności i niezatapialności okrętów. AMW Gdynia 2006.
- [10] Mironiuk W., Pawłędzio A.: Modelling studies of the roll and the pitch training ship. Maritime Transport & Shipping, London, UK, 2013
- [11] Przepisy klasyfikacji i budowy okrętów wojennych. Część IV, *Stateczność i niezatapialność*. Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2008.
- [12] Szozda Z.: *Stateczność statku morskiego*. Akademia Morska, Szczecin 2004.
- [13] Więckiewicz W.: *Podstawy pływalności i stateczności statków handlowych*. AMG, Gdynia 2006.



Kmdr dr hab. inż. Waldemar Mironiuk, prof. AMW. Akademia Marynarki Wojennej Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego.