

Waldemar MIRONIUK<sup>1</sup>

## ANALIZA CZASÓW ZATOPNIENIA SIŁOWNI GŁÓWNEJ I POMOCNICZEJ OKRĘTU TYPU 888 PO USZKODZENIU KADŁUBA

*Każde uszkodzenie poszycia kadłuba okrętowego wywołuje określone skutki w postaci zalania wodą jednego lub kilku przedziałów wodoszczelnych. Zatopienie przedziału okrętowego wodą zaburtową wskutek uszkodzenia kadłuba powoduje zmiany stateczności i położenia okrętu. Określenie tych zmian oraz czasu zatopienia uszkodzonego przedziału stanowi sedno obliczeń niezatapialnościowych wiążących się z eksploatacją okrętu uszkodzonego. W referacie przedstawiono metodykę obliczeń czasu zatopienia uszkodzonych przedziałów siłowni głównej i pomocniczej. Otrzymane wyniki badań mogą być podstawą do wypracowania decyzji o przeprowadzeniu odpowiedniej akcji ratowniczej przez osoby odpowiedzialne za bezpieczeństwo pływalności okrętu. Zaprezentowano także opracowany program komputerowy do symulacji zatapiania uszkodzonych przedziałów.*

## THE ANALYZE OF THE FLOODING TIME OF THE ENGINE ROOM AND AUXILIARY POWER PLANT OF THE WARSHIP TYPE 888 AFTER DAMAGE

*Research on damage stability and unsinkability establishes the source of the knowledge according to a ship reaction after flooding its compartments. The flooding time of the damaged compartments is one of the basic parameters which have influence on the rescue action. Knowledge of the flooding time compartments is very important for the commanding officer making decisions while fighting for unsinkability and survival of the ship. The computational method was designed to provide information about possibility of calculation the flooding time of damaged watertight compartments. The analysis of calculated results was made and described. On the basis of the built computer program, a simulation of the flooding process of the damaged compartments ship's type 888 was shown. Results received from research can be basic information to make a decision to carry out a proper action of damage control.*

### 1. WSTĘP

Praktyka morską wykazuje, że nawet floty wojenne prezentujące wysoki poziom techniczny wyposażenia, borykają się z wypadkami i awariami okrętowymi, których nie da

---

<sup>1</sup>Akademia Marynarki Wojennej, Katedra Eksploatacji Jednostki Pływającej, POLSKA;  
Gdynia 81-103; Śmidowicza 69. Telefon: +48 58 626-27-31, E-mail: w.mironiuk@amw.gdynia.pl

się całkowicie wyeliminować. Działania załogi decydują w tych przypadkach o zdolności bojowej okrętu i powinny zmierzać do jak najszybszej likwidacji uszkodzeń i awarii środków technicznych okrętu, a także ich następstw, celem zapewnienia niezbędnej stateczności, pływalności, manewrowości i sterowności okrętu.

Jednym z działań zwiększających bezpieczeństwo pływania okrętów i ich załóg, oprócz względów konstrukcyjnych, jest prowadzenie odpowiedniego szkolenia i ćwiczeń z zakresu obrony przeciwwarjacyjnej w ramach walki o żywotność okrętu. Szkolenia te prowadzone są w przystosowanych do tego celu ośrodkach wyposażonych w symulatory i odpowiednią aparaturę. Jednym z podstawowych elementów mających istotny wpływ na prowadzenia akcji ratowniczej – w wyniku uszkodzenia kadłuba okrętu – jest określenie czasu zatopienia uszkodzonego przedziału. Stanowi ważną przesłankę dla osoby odpowiedzialnej za bezpieczeństwo okrętu do wypracowania decyzji o sposobie walki o żywotność okrętu. Do określenia czasu zatopienia przedziału okrętów wojennych zazwyczaj stosowane są zazwyczaj metody uproszczone. W referacie zaprezentowano opracowaną metodę, umożliwiającą znacznie dokładniejsze i szybsze oszacowanie czasu zatopienia uszkodzonych przedziałów okrętowych.

## 2. OKREŚLANIE CZASU ZATOPIENIA PRZEDZIAŁU OKRĘTOWEGO

### 2.1 Określanie prędkości wody zalewającej uszkodzony przedział

Pierwszym etapem obliczeń czasu zatopienia przedziału jest określenie prędkości wody napływającej przez uszkodzenie poszycia kadłuba. Przepływ przez otwór w poszyciu okrętu można porównać do zjawiska ustalonego wypływu cieczy doskonałej ze zbiornika o powierzchni swobodnej „A”. Wówczas do wyznaczenia prędkości wypływu cieczy stosuje się równanie: [6]

$$v_w = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_z}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_0}{A}\right)^2}} \quad (1)$$

Gdzie:

$A_0$  - przekrój swobodny otworu wypływowego,

$A$  – przekrój poziomy zbiornika,

$g$  – przyspieszenie ziemskie,

$h_z$  - wysokość cieczy wewnątrz zbiornika.

W przypadku przebicia kadłuba powierzchnia otworu jest mała w porównaniu do powierzchni zbiornika (akwenu morskiego), dlatego w obliczeniach prędkości napływającej wody stosowany jest wzór Torricelliego: [6]

$$v_w = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2)$$

Gdzie:

$h$  - głębokość, na której znajduje się przebicie.

Dla cieczy rzeczywistych wzór ten przyjmuje postać:[6]

$$v_w = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (3)$$

Gdzie:

$\varphi = 0,97 \div 0,98$  - współczynnik prędkości zależny od rodzaju cieczy [6].

Powyższe równanie stosowane jest do chwili, gdy poziom wody wewnątrz przedziału będzie poniżej dolnej krawędzi uszkodzenia. Oznacza to stały napór wody. W przypadku, gdy napór wody staje się zmienny (poziom wody wewnątrz przedziału występuje na wysokości przebicia i nadal rośnie) do obliczania prędkości wody napływającej do wnętrza kadłuba wykorzystywany jest wzór:[6]

$$v_w = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h - h_0)} \quad (4)$$

Gdzie:

$h_0$  - wysokość wody w przedziale powyżej przebicia.

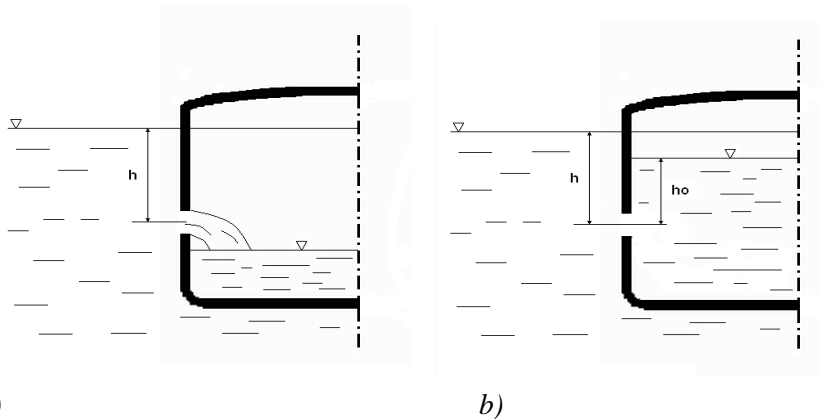
W zależności od przyczyny powstania przebicia kadłuba okrętowego może przyjmować różne kształty i rozmiary. Wpływ kształtu przebicia na ilość wody dostającej się do przedziału  $Q$  określa współczynnik zwężenia (kontrakcji)  $\chi = 0,61 \div 0,64$  [6]. Iloczyn współczynników  $\varphi$  i  $\chi$  nazywany współczynnikiem wypływu  $v$  zależy przede wszystkim od kształtu otworu.

Stąd ilość wody, która wleje się do przedziału w jednostce czasu przy stałym naporze przedstawiona jest zależnością:[6]

$$Q = A_0 \cdot v \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (5)$$

Przy zmiennym naporze:

$$Q = A_0 \cdot v \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h - h_0)} \quad (6)$$

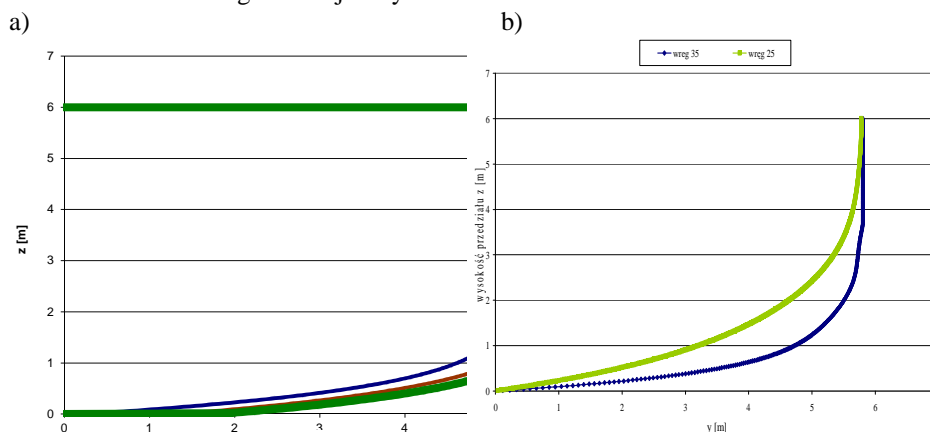


*a)* *b)*  
 Rys.1.Zatopienie przedziału okrętowego: a) przy stałym naporze wody,  
 b) przy zmiennym naporze wody [3]

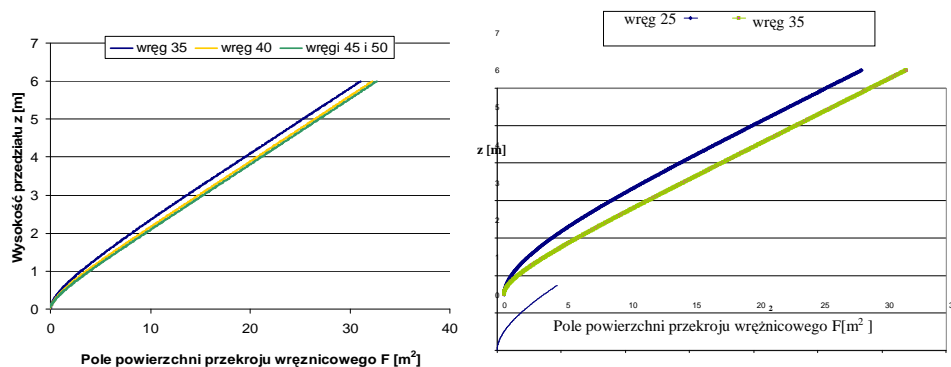
## 2.2 Określanie objętości uszkodzonego przedziału

Do określenia czasu zatopienia przedziału niezbędna jest znajomość wartości objętości uszkodzonego przedziału. Obliczanie czasu zatopienia przedziału przeprowadzono dla uszkodzonego przedziału siłowni głównej i pomocniczej okrętu typu 888. Ponieważ wybrane przedziały mają największą objętość, więc uszkodzenie ich najbardziej zagraża pływalności okrętu. W celu wyznaczenia objętości teoretycznej przedziału  $v_t$  wykorzystano linie teoretyczne kadłuba okrętowego. Na podstawie linii teoretycznych wykonano dodatkowe przekroje wrężnicowe uszkodzonego przedziału odpowiadające przekrojom kadłuba na wręgach budowlanych oznaczonych nr. 25,35,40,45,50, które przedstawiono na rys.2. [3,5]

W celu dokładnego określenia objętości przedziału uszkodzonego należało policzyć pola powierzchni wykonanych przekrojów wrężnicowych. Otrzymane w ten sposób krzywe całkowite pól przekrojów wrężnicowych, wyrażonych w postaci wielomianów stopnia 7, przedstawiono w formie graficznej na rys.3.



Rys. 2. Przekroje wrężnicowe a) siłowni głównej; b) siłowni pomocniczej



Rys. 3. Krzywe całkowite pól przekrojów wrężnicowych:  
a) siłowni głównej; b) siłowni pomocniczej

Znając wartości powierzchni pól przekrojów wrężnicowych i odległości między nimi określono objętość teoretyczną przedziału z zależności: [1,2]

$$v_t = \sum \frac{(F_i + F_{i+1}) \cdot l_w}{2} \quad (7)$$

Gdzie:

$l_w$  - odległość między przekrojami wrężnicowymi,

$F_i, F_{i+1}$  - powierzchnie kolejnych przekrojów wrężnicowych.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano całkowitą objętość teoretyczną przedziału pustego siłowni głównej równą  $v_t = 525 \text{ m}^3$  i siłowni pomocniczej  $v_t = 329,3 \text{ m}^3$ . Rzeczywista ilość wody, która może dostać się do wnętrza przedziału jest mniejsza od teoretycznej objętości przedziału o objętość wszystkich urządzeń i mechanizmów umieszczonych w nim. Uzyskana z pomiarów na okręcie objętość mechanizmów i urządzeń siłowni głównej wynosi  $v_u = 58,7 \text{ m}^3$ . Stąd rzeczywista objętość wody, która może wypełnić ten przedział ma wartość  $v = 466,3 \text{ m}^3$ . Natomiast uzyskana z pomiarów objętość mechanizmów i urządzeń siłowni pomocniczej wynosi  $v_u = 26,7 \text{ m}^3$  a rzeczywista objętość wody, która może wypełnić uszkodzony przedział ma wartość  $v = 302,6 \text{ m}^3$ . Tak określone wartości objętości uszkodzonych przedziałów okrętu przyjęto do obliczenia czasu zatopienia przedziału.

Zazwyczaj do określania rzeczywistej objętości przedziału wykorzystuje się współczynnik zatapialności określonego przedziału  $\mu$  będący stosunkiem objętości rzeczywistej wody wypełniającej zalany przedział do objętości teoretycznej przedziału. [1,2]

$$\mu = \frac{v}{v_t} \quad (8)$$

Współczynnik ten zależy od rodzaju przedziału, ilości i rodzaju sprzętu czy ładunku w nim umieszczonego, w związku z czym jest trudny do ustalenia. Często zmienia się w czasie eksploatacji. W obliczeniach niezatapialności najczęściej korzysta się z umownych średnich wartości  $\mu$  podawanych w literaturze. W ramach wykonanych badań, w celu dokładnego określenia objętości uszkodzonych przedziałów, wyznaczono zmienność rzeczywistego współczynnika  $\mu$  w zależności od wysokości poziomu wody w przedziale. Zależność współczynnika zatapialności  $\mu_v$  od wysokości przedziału  $z$ , mierzonej od poziomu zbiorników dennych do pokładu grodziowego przedstawiono na rysunku 4 [3,5].

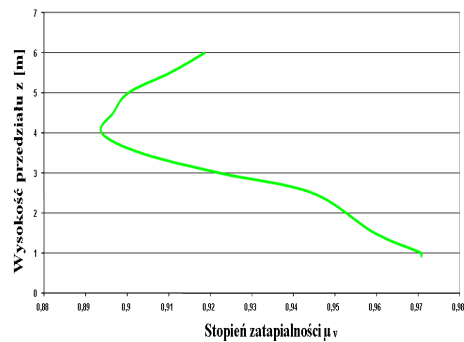
Zazwyczaj do określania rzeczywistej objętości przedziału wykorzystuje się współczynnik zatapialności określonego przedziału  $\mu$ , którego wartość podawana jest przez Międzynarodową Konwencję Bezpieczeństwa Życia na Morzu SOLAS. Dla siłowni okrętowych wartość ta jest równa  $\mu = 0,85$  [1,2]. Średnia wartość tego współczynnika dla przedziału siłowni głównej i pomocniczej określona w ramach prezentowanych w referacie badań wynosi odpowiednio 0,84 i 0,92 [4].

Określona w badaniach wartość tego współczynnika dla przedziału siłowni okrętowej jest porównywalna z wartością podawaną przez Międzynarodową Konwencję Bezpieczeństwa Życia na Morzu SOLAS.

a)



b)



Rys.4. Wykres stopnia zatopialności przedziału  $\mu_v$  w zależności od wysokości przedziału z: a) siłowni głównej; b) siłowni pomocniczej

### 2.3 Określanie czasu zatopienia uszkodzonych przedziałów

Czas zatopienia uszkodzonego przedziału wyraża się wzorem:[6]

$$t = \frac{V}{Q} \quad (9)$$

Gdzie:

- V- objętość wody w przedziale zależna od wysokości przedziału,
- Q- ilość wody wlewającej się do przedziału.

Obliczanie czasu zatopienia przedziału przeprowadzono dla uszkodzonego przedziału siłowni głównej i pomocniczej okrętu typu 888. Ponieważ wybrane przedziały mają największą objętość, więc uszkodzenie ich najbardziej zagraża pływalności okrętu. Do obliczania czasu zatopienia przedziału opracowano program komputerowy oraz program symulujący proces zalewania uszkodzonego przedziału okrętowego.

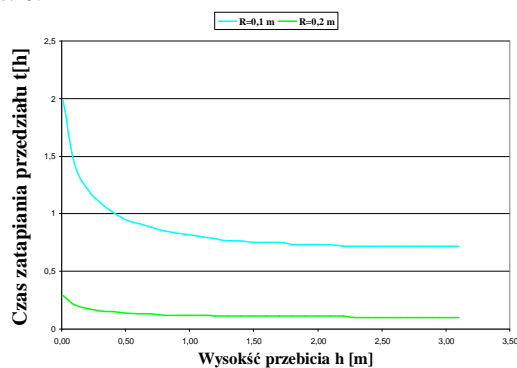
Dzięki walorom użytkowym programu w krótkim czasie obliczane są podstawowe parametry niezbędne do wypracowania decyzji przeprowadzenia odpowiedniej akcji ratowniczej.

Badanie czasu zatopienia uszkodzonych przedziałów okrętu typu 888 prowadzono w zależności od parametrów uszkodzenia kadłuba takich jak:

- miejsce przebicia (wysokość);
- wielkość przebicia.

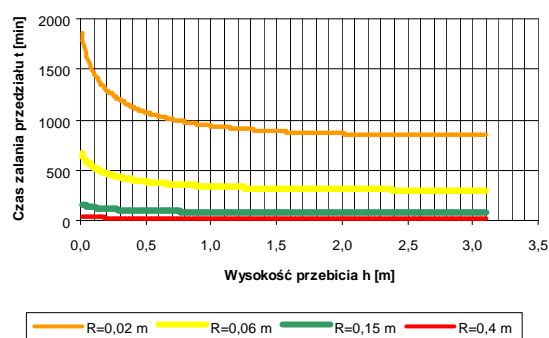
W pierwszym etapie badań określano czas zatapiania siłowni pomocniczej przy zanurzeniu okrętu  $T=4$  m oraz wielkości przebicia o promieniach:  $R=0,1$  m,  $R=0,2$  m. Badania przeprowadzono dla przebicia kadłuba na wysokości od  $h=0,1$  m do  $h=3,0$  m. Wyniki uzyskane w ramach prezentowanych w referacie badań przedstawiono w formie graficznej na rys. 5[4].

W drugim etapie badań określano czas zatopienia siłowni głównej przy zanurzeniu okrętu  $T=4$  m oraz wielkości przebicia o promieniach:  $R=0,02$  m,  $R=0,06$  m,  $R=0,1$  m,  $R=0,4$  m. Wyniki uzyskane w ramach prezentowanych w referacie badań przedstawiono w formie graficznej na rys. 6.



Rys. 5. Wykres zależności czasu zalewania siłowni pomocniczej dla wybranych wielkości przebicia występujących na różnych wysokościach

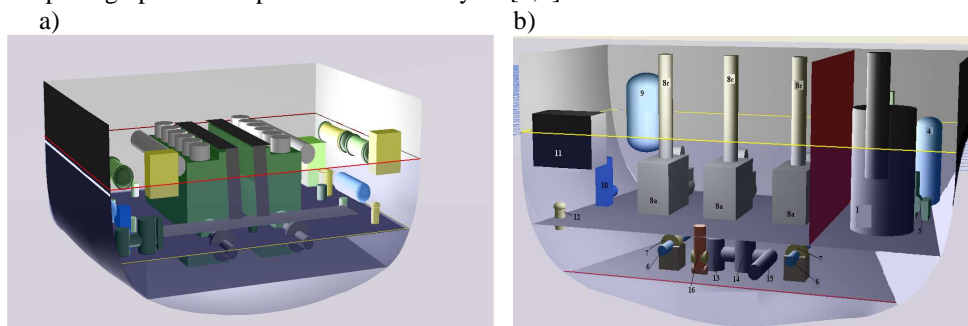
Z zależności przedstawionych na rys. 6 wynika, że czas zatopienia przedziału zależy od położenia przebicia oraz jego wielkości. Dla przebić kadłuba o rozmiarach większych od  $R=0,4$  m występujących na wysokości 3,0 m obliczony czas zatopienia przedziału równy 4, 4 min jest tak krótki, że podjęcie i przeprowadzenie skutecznej akcji uszczelnienia przebicia jest mało prawdopodobne. A zatem w takich sytuacjach awaryjnych załoga powinna jak najszybciej opuścić uszkodzony przedział, skierować swój wysiłek na zabezpieczeniu rozprzestrzeniania się wody po okręcie oraz wzmocnieniu konstrukcji grodzi wodoszczelnych.



Rys. 6. Wykres zależności czasu zalewania siłowni głównej dla wybranych wielkości przebicia występujących na różnych wysokościach

#### 2.4. Symulacja zatapiania przedziałów okrętowych

W kolejnym etapie pracy wykonano komputerowy model przedziałów siłowni głównej i pomocniczej okrętu z umieszczonymi w nich urządzeniami i mechanizmami. Widok zatopionego przedziału przedstawiono na rys.8.[3,5]



Rys. 8. Widok symulacji komputerowej częściowo zatopionych przedziałów: a) siłowni głównej; b) siłowni pomocniczej okrętu typu 888.

W oknie programu komputerowego wyświetlane są on-line podstawowe parametry położenia okrętu podczas zatapiania wybranych przedziałów okrętowych.

#### 3. WNIOSKI

Opracowana metoda wyznaczania stopnia zatapialności przedziału umożliwia określenie jego wartości w zależności od wysokości poziomu wody w przedziale.

Algorytm obliczeń zastosowany w programie komputerowym umożliwia szybkie określenie czasu zatopienia uszkodzonych przedziałów siłowni głównej i pomocniczej. Tym samym ułatwia osobom funkcyjnym odpowiedzialnym za bezpieczeństwo i kierowanie akcją ratowniczą na wypracowanie i podjęcie odpowiednich decyzji ratowania załogi lub całego okrętu.

Opracowana metoda może być wykorzystana nie tylko do określania czasu zalania siłowni okrętu typu 888, ale także do opracowania dokumentacji służącej do oceny czasu zalewania pozostałych przedziałów okrętowych w zależności od parametrów uszkodzenia poszycia kadłuba. Można ją również zaadoptować na okrętach innych typów oraz statkach floty handlowej.

#### 4. REFERENCES.

- [1] Derett. D. R.: *Ship stability for Masters and Mates*, Oxford, BH 2003.
- [2] Dudziak, J.: *Teoria okrętu*, Gdańsk, WM 2006.
- [3] Kowalke, O.: *Komputerowa symulacja zatapiania przedziału siłowni okrętu typu 888*, Gdynia, AMW 2006.
- [4] Mironiuk, W., Pawłędzio, A., and Wróbel, R.: *Trenażer do walki z wodą*, Gdynia, 2004.
- [5] Tarnowski, K.: *Badania modelowe stateczności awaryjnej okrętu typu 888 po zatopieniu siłowni pomocniczej*, Gdynia, AMW 2008.
- [6] Troskolanski, A.: *Hydromechanika Techniczna*, Warszawa, PWN 1963.