

Waldemar MIRONIUK

Polish Naval Academy (Akademia Marynarki Wojennej)

## SAFETY OF SEA VESSELS IN THE ASPECT OF MODEL RESEARCH

### Bezpieczeństwo jednostek pływających w aspekcie badań modelowych

**Abstract:** *The article presents a modern method of modeling stability and unsinkability of vessels using physical models of warships and merchant ships. Model tests of watercraft are carried out primarily to assess their marine properties in various operational states. The purpose of this research is to create technically useful calculation methods for forecasting the behavior of a vessel at sea in various meteorological conditions. The main role played by model tests and measurements on real objects is the verification of these methods. Both types of experiments are also a source of inspiration for creating new modified mathematical models and accounting methods based on them. These tests can contribute to the improvement of the safety of vessels at sea.*

**Keywords:** model research, ship, ship stability

**Streszczenie:** *W artykule przedstawiona została nowoczesna metoda badań modelowych stateczności i niezatapialności jednostek pływających z wykorzystaniem modeli fizycznych okrętów wojennych i statków handlowych. Badania modelowe jednostek pływających prowadzone są przede wszystkim do oceny ich właściwości morskich w różnych stanach eksploatacyjnych. Celem tych badań jest tworzenie technicznie użytecznych rachunkowych metod prognozowania zachowania się jednostki pływającej na morzu w różnych warunkach meteorologicznych. Natomiast główną rolę, jaką pełnią badania modelowe oraz pomiary na obiektach rzeczywistych jest weryfikacja tych metod. Oba rodzaje eksperymentów są też źródłem inspiracji do tworzenia nowych zmodyfikowanych modeli matematycznych oraz opartych na nich metod rachunkowych. Badania te mogą przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa jednostek pływających na morzu.*

**Słowa kluczowe:** jednostka pływająca, badania modelowe, stateczność okrętu

## **1. Introduction**

Designing watercraft or ocean engineering constructions requires a series of specialist analyzes and simulations. The purpose of these activities is to provide the designed objects with the assumed operational parameters and safe work in changing weather conditions at sea.

Model research is the basic and universal method of predicting dynamic properties of a ship, especially at the stage of its design, but it also has a great scientific-research significance both as a method of theory verification and as an autonomous cognitive method. The idea of model research assumes that from the measurements carried out on the model it is possible to conclude about the behavior of the real object.

Theoretical methods of hydromechanics do not give the opportunity to meet practical needs in the design and operation of the ship. Therefore, an experiment that can relate to natural objects and models is of great importance. The experiments carried out with natural objects give a direct answer to the questions asked, so they are the most valuable. However, they are very time-consuming, technically complicated and very expensive. Therefore, they are used very rarely, and model tests are at the forefront. The results of model tests can be compared with theoretical and computational methods using computer methods.

The basic problem of vessels is stability, unsinkability and hull strength, which results from time-varying distributions of buoyancy and gravity, water strokes, flooding of the deck, and accelerations acting on the masses associated with the vessel as well as wind.

The method based on model research is proposed as an interesting approach related to testing the properties of marine vessels. For this purpose, it was necessary to design and build laboratory stands equipped with physical models of selected warships and commercial vessels made at the appropriate scale, as well as devices for simulating meteorological conditions at sea. In particular, laboratory stands designed and constructed for the purpose of modeling the stability of static, dynamic and emergency vessels were appropriately designed. These positions also enable the analysis of the influence of the free surface of the liquid appearing in the compartments or tanks after damage to the ship's hull and analysis of the impact of loading, moving and removing loads on the ship's initial stability.

The experience gained on the research stand leads to a better understanding of the phenomena occurring in the current operation of the ship and to improve the safety at sea. The aim of the article is to present the construction of selected types of ship models and the capabilities of stability and unsinkability test stands in the aspect of improving the safety of performing tasks at sea.

## **2. Characteristics of the main object of the research**

The model of the type 888 training ship was made for tests related to the stability of the ship. The basic technical data of the model are as follows [6,7]:

- length of the model  $L_{cm} = 1,444 \text{ m}$ ,
- length between perpendiculars  $L_{ppm} = 1,284 \text{ m}$ ,
- breadth  $B_m = 0,2332 \text{ m}$ ,
- displacement  $D_m = 13,15 \text{ kg}$ .

In order to maintain the geometric similarity of the model, having an effect on the quality of investigations, the hull construction was based on theoretical lines in scale, whereas elements of the superstructures and deck equipment were appropriately simplified. All elements, whose size have an effect on the lateral area used in stability calculations, were placed aboard the models.

The ship model 888 used as the main investigation object was equipped with specialized instrumentation for simulating hull damage, fixing position and analyzing model's performance in various operation conditions hazardous to ship safety. The array of the main elements of the model measuring system is presented in fig. 1 [7, 8]. Single compartments PIII, PV, PVII, which have the largest volume and whose flooding has a significant effect on stability and water-tightness, were selected for the investigations. The process of flooding the compartments to the level of the overboard water is realized after remotely controlled bottom valves marked with numbers 1, 2, 3 are opened. The other group of valves is designed to flood the compartments used in a refloating process or righting a ship in cases of asymmetric damage. The ship model is also equipped with a water installation and sensors used e.g. for measuring the water level in compartments. These valves, fitted in compartments PIII, PV, PVII, measure the water level using hydrostatic pressure measurements. A heel indicator, fitted in the fore of the model, was used in order to measure the heel and trim of the model. Signals received from the sensors, are transmitted, in the wireless manner, to a computer fitted with two analogue-digital cards, and then are read from a display in the form of ready-made results.

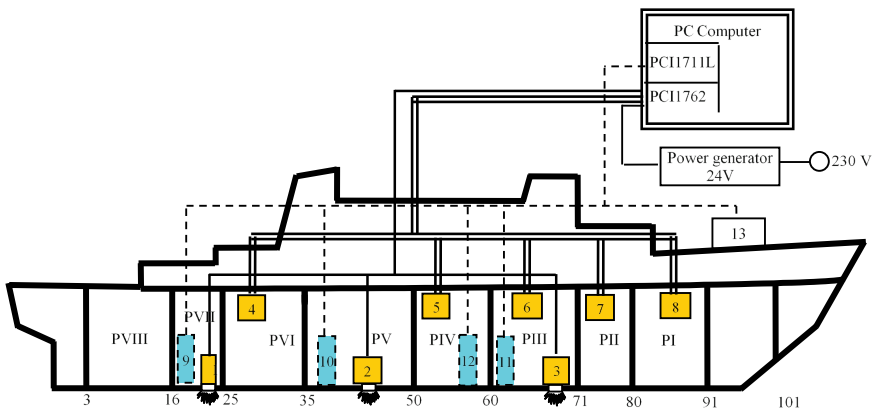
The measuring instruments and execution elements fitted in the model are connected to the computer by means of cables having low unitary mass. The computer is used for reading measurement data shown on the display. Using the computer software, it is possible to flood selected compartments in the model and to drain them. To carry out these operations, a software package was developed in the Delphi environment. The image on the display is presented in fig. 2 [7, 8].

The amount of water in the compartment seen in the upper part of the window on the display of the computer software is given in percent. The data relating to the

model's position such as heel angle, trim angle, forward draught in the perpendicular, after draught in the perpendicular are displayed in real time [8].

A strong wind and wave pose a large hazard to maritime transport safety in everyday operation of floating vessels and a frequent cause of accidents at sea. In order to take into account the effect of the natural environment on safety of floating vessels in the investigations, it was necessary to add a set of ventilators simulating air movement to the described test site. Two types of ventilators with variable adjustment were fitted. They worked in the range from 0 to 2775 rpm – ventilators type HRB/2-250-AN and from 0 to 2685 rpm – ventilators type HRB/2-200BN. The ventilators generating air movement can be started in three configurations:

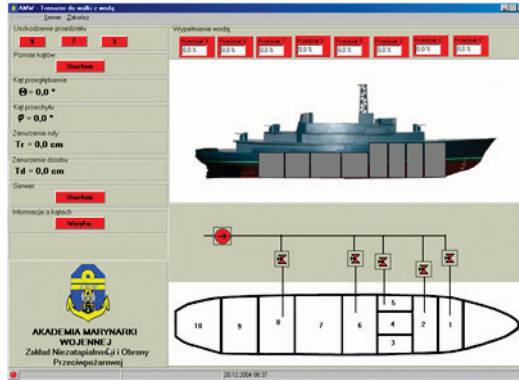
- low power generators,
- high power generators,
- combined work of high power and low power generators.



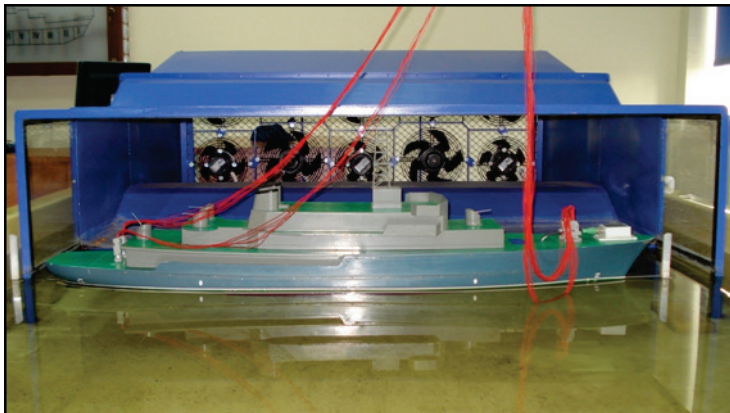
**Fig. 1.** The array of sub-assemblies in the model of ship type 888 [8]. 1 – valve for simulating penetration of compartment VII; 2 – valve for simulating penetration of compartment V; 3 – valve for simulating penetration of compartment III; 4 – valve for flooding compartment VI; 5 – valve for flooding compartment IV; 6 – valve for flooding compartment III; 7 – valve for flooding compartment II; 8 – valve for flooding compartment I; 9 – sensor of water level in compartment VII; 10 – sensor of water level in compartment V; 11 – sensor of water level in compartment III; 12 – sensor of ship draught; 13 – heel indicator

The maximum air velocity recorded during the work of all the ventilators was 9 m/s. Due to safety reasons, the ventilators were placed in a casing protected with a net. Such a solution makes it impossible for any objects to access the area of

rotating ventilator blades. A general view of the set of ventilators is presented in fig. 3 [6,7].



**Fig. 2.** The window of the main software

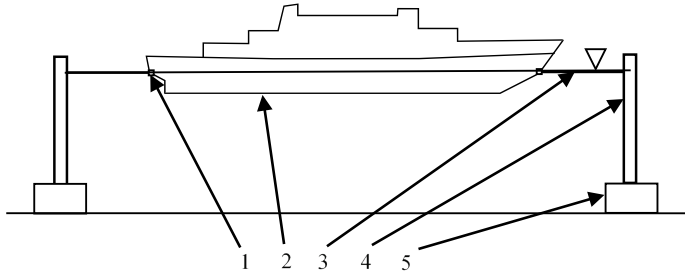


**Fig. 3.** The view of the set of ventilators fitted in the laboratory site

Another investigation problem was to determine the axis of model rotation during wind action. The position of the axis of model rotation is important to calculate the heel moment caused by wind action. In these investigations, the height of the center of the lateral area measurement in relation to the floating water plane was assumed in accordance with the regulations of the Polish Registration of Ships. The draft corresponding to this water plane was marked with a white line. At this height, seats were installed on the ship hull. Rods, which make it possible to rotate the hull, are placed in the seats. The way the model is fitted in the rods is shown in

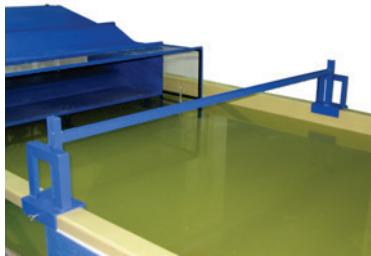
fig. 4 [8]. The solution presented in fig. 4 also allows for free vertical movement of the model owing to the rod ways in which the rods move.

In order to obtain the appropriate velocity of the airflow, the structure of the ventilator casing was reduced to an aerodynamic tunnel.



**Fig. 4.** The design of the rotation axis of the ship model. 1 – road seat; 2 – ship model; 3 – rotary rod; 4 – rod way; 5 – mount

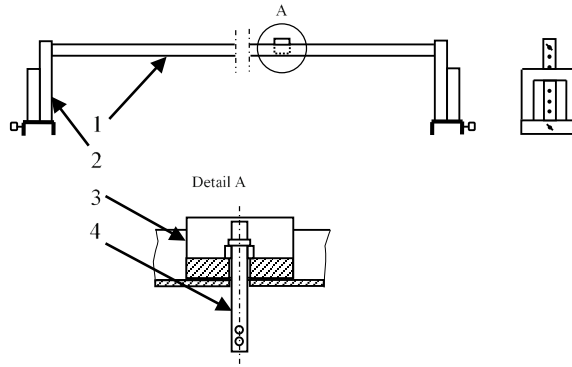
Air velocity measurements were made using a portable measuring device type CTV 100, in which magnitudes are measured in the range from 0 to 30 m/s. In order to make air velocity measurements at different points of the cross-section of the control aerodynamic tunnel, a holder was designed and built for fitting the measuring device in the airflow velocity sensor. It is presented in fig. 5. Owing to this structure, it is possible to measure air velocity at various ranges from the aerodynamic tunnel and any height above water surface. This fitting method and the way of changing the position of the airflow sensor are presented in fig. 5 and 6.



**Fig. 5.** The view of the model basin with the fitted holder

The preliminary investigations on the air velocity showed that a position of the wind velocity measuring device in relation to the direction of air flow has substantial effect on the measurement accuracy. In order to avoid measurement errors, the

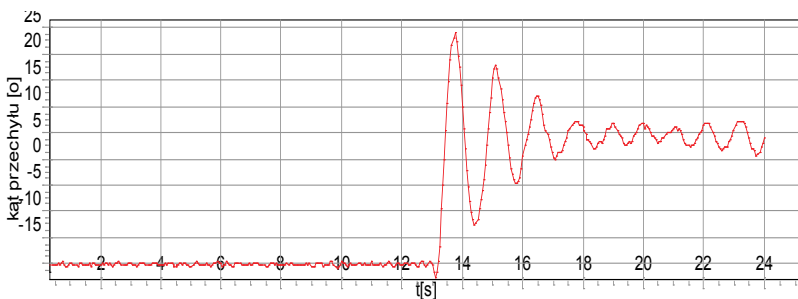
device had to be fitted at the right angle to the direction of air flow so that it could not rotate during measurements.



**Fig. 6.** The design of the rotation axis of the ship model. 1 – road seat; 2 – ship model; 3 – rotary rod; 4 – rod way; 5 – mount

The initial tilting tests of the model were made on such an equipped and prepared station. It required heeling the model to windward side reaching the heel angle magnitudes  $15^\circ$ . The angle magnitudes are derived from the weather criterion calculations made for the model following IMO regulations.

While recording the heel angle the ventilators were working with constant rotary velocity, which corresponded to the constant characteristic of the heel moment. Examples of the measurement results of the heel moment of the model ship are presented in the graphic form in fig. 7.



**Fig. 7.** Sample results of measurements of the heel angle of the model

Employing the developed investigation methodology, it is possible to carry out experiments aimed at determining heeling moments, which pose hazard to navigation safety in various stages of ship operation.

### 3. Stand for testing the unsinkability of the ship model type 660

The research on stability and unsinkability includes numerous issues whose presentation on one model only is impossible. Therefore, the station was provided with a second model of the ship type 660, which is designed to conduct the research, especially from the unsinkability domain. The model of this ship is shown in fig. 8 [6, 7].

The model is adapted to flooding the compartments in any way and to any level. On the hull of the model, the draught line and draught signs are plotted. Moreover, the position of bulkheads is marked, which helps the user to locate a damaged place.



**Fig. 8.** Model of the ship type 660

The model of ship type 660 was adapted to the presentation of the problem of the influence of a free surface effect of the liquid on the stability. In this connection, a special superstructure was designed. In its higher part, there is a hole used for providing water inside. The water from the high placed compartment can be moved out or moved to the lower watertight compartment. Such operations are carried out while restoring or correcting the stability. In this way, it is possible to demonstrate a change of stability after changing the position of the gravity center and to conduct research on flooding time either of damaged compartments or of the whole model.



#### **4. Stand for testing the stability and unsinkability of the submarine model**

Research on stability and unsinkability of submarines make a source of knowledge about the watercraft's performance after her compartments have been flooded [1]. Possibility to simulate punctures of hulls on models of real objects adopted for this reason is an advantage of that research executed in the laboratory station.

A simplified scheme of the stand for tests on the submarines' stability and unsinkability is given in fig. 9 [6, 7].

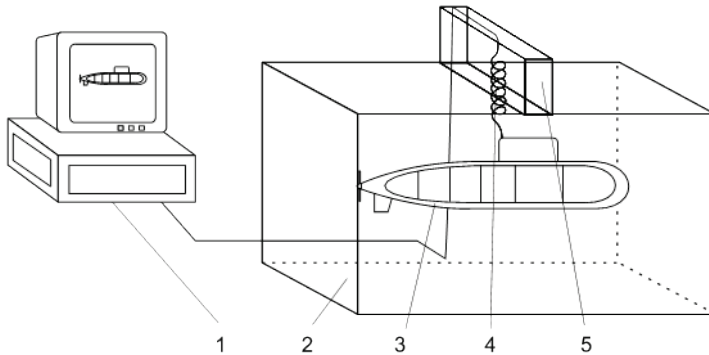
The main components of the test site are: a submarine's model, a computer used to control processes of submerging and surfacing and record basic data relating location of the model, and a basin. In the site, presented operations of diving and surfacing of a submarine are carried out like in a real object. The device controlling the submersion and ascent of the model is a PC.

Her hull was made using body lines in an appropriate scale. The model is equipped with specialized instrumentation for measuring location in different operating conditions. His form is shown in fig. 9. The inside of the hull was divided into five watertight compartments.

Total volume of all the model's compartments is 55.53 dcm<sup>3</sup>. It is equipped with - located in bow and stern compartments - ballast tanks enabling diving and emerging of the watercraft and with a ballast system for piping water in and from the tanks.

Correction of trim and the model's position at assigned depth shall be executed by means of two regulation tanks and the ballast system. The ballast system is functionally connected with a system of compressed air. Filling and expelling water from the tanks shall be executed with an appropriate sequence of opening and closing BURKERET type electromagnetic valves installed on the submarine's model. The system of filling and expelling water from the model's tanks designed in such a way has allowed minimization of a number of applied operating elements. Hence, it has decreased degree of complication of electrical and pneumatic systems and resulted in reduction of the model's weight.

View of the submarine model's is given in fig. 10.



**Fig. 9.** Scheme of stand for tests on stability of submarine's model. 1 – operator's stand, with computer controlling and registering parameters of model's position; 2 – basin of submarine's model; 3 – submarine's model; 4 – feeding cables; 5 – grip of feeding cables



**Fig. 10.** Model of submarine [4]

In order to measure a heel and trim angles, a clinometers type ISA P20 working having the range  $\pm 60^\circ$  was used. The measuring devices and actuators mounted on the model are connected to the computer by wires of low unit weight. The computer performs operations of embedding selected model ranges and drying them. Signals from sensors, transmitted by wire to a computer, are read on the monitor in the form of ready parameters of the position of the ship.

The site built in this way was used to carry out investigations on buoyancy and position of the submarine's model. Further investigations using this test site will also allow for determining flooding time for a compartment in the model following damage to the hull.

## **5. Summary**

The experience gained on the research stand leads to a better understanding of the phenomena occurring in the current operation of the ship and to improve the safety at sea. A modern method of testing the stability and unsinkability of vessels with the use of physical models of real objects made on an appropriate scale has been presented. The tests carried out on the described research stations allow for the measurement of heel angles depending on the wind speed, load shift, time of flooding of ship compartments after their damage affecting the buoyancy safety of vessels. Conducting research and laboratory exercises in such a prepared position will enable continuous improvement of qualifications and level of training of persons responsible for reliability and safety of ship operation.

## **6. References**

1. Chojnacki P., Poleszak S.: Analiza wybranych możliwości udzielania pomocy zatopionym okrętom podwodnym, Polish Hiperbolic Research, Gdynia 2006.
2. Derett D.R.: Ship stability for Masters and Mates, BH. Oxford, UK, 2006.
3. Dudziak J.: Teoria okrętu, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 2006.
4. Jacyna M., Merkisz J.: Proecological Approach to Modelling Traffic Organization in National Transport System Archives of Transport - Archiwum Transportu, No 2, Vol. 30, Warszawa 2014.
5. Jacyna M., Wasiak M., Lewczuk K., Kłodawski M.: Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport, Archives of Transport - Archiwum Transportu, No 3, Vol. 31, 2014.
6. Mironiuk W., Pawłędzio A., Zacharewicz M., Cwalina A.: Badania modelowe stateczności i niezatapialności okrętów, AMW, Gdynia 2007.
7. Mironiuk W., Pawłędzio A., Wróbel R.: Trenażer do walki z wodą. Przegląd Morski nr 5, Gdynia 2004.
8. Mironiuk W., Pawłędzio A.: Modelling studies of the roll and the pitch training ship. Maritime Transport & Shipping, London, UK, 2013.

## BEZPIECZEŃSTWO JEDNOSTEK PŁYWAJĄCYCH W ASPEKCIE BADAŃ MODELOWYCH

### 1. Wstęp

Projektowanie jednostek pływających lub konstrukcji oceanotechnicznych wymaga szeregu specjalistycznych analiz i symulacji. Celem tych działań jest zapewnienie projektowanym obiektom założonych parametrów eksploatacyjnych oraz bezpiecznej pracy w zmiennych warunkach pogodowych na morzu.

Badania modelowe są podstawową i uniwersalną metodą prognozowania właściwości dynamicznych okrętu, szczególnie na etapie jego projektowania, ale również mają duże znaczenie naukowo-badawcze, zarówno jako metoda weryfikacji teorii, jak też jako autonomiczna metoda poznawcza. Idea badań modelowych zakłada, aby z pomiarów przeprowadzonych na modelu wnioskować o zachowaniu się obiektu rzeczywistego.

Teoretyczne metody hydromechaniki nie dają możliwości zaspokojenia praktycznych potrzeb w projektowaniu i eksploatacji okrętu. Duże znaczenie ma więc eksperyment, który może dotyczyć obiektów naturalnych, jak i modeli. Doświadczenia przeprowadzane z obiektami naturalnymi dają bezpośrednią odpowiedź na żądane pytania, a więc są najbardziej cenne. Często jednak są bardzo czasochłonne, technicznie skomplikowane i bardzo kosztowne. Dlatego są bardzo rzadko wykorzystywane, a na czołówkę wysuwają się badania modelowe. Wyniki badań modelowych można porównać z metodami teoretyczno-obliczeniowymi z zastosowaniem metod komputerowych.

Podstawowym problemem jednostek pływających jest stateczność, niezatapialność oraz wytrzymałość kadłuba, co wynika ze zmiennych w czasie rozkładów sił wyporu i ciężkości, uderzeń wody i zalewania pokładu oraz przyspieszeń działających na masy związane z jednostką pływającą, a także wiatru.

Jako interesujące podejście związane z badaniem stateczności, niezatapialności oraz właściwości morskich jednostek pływających proponuje się metodę opartą na badaniach modelowych. W tym celu zostały odpowiednio zaprojektowane i zbudowane stanowiska laboratoryjne na potrzeby badań modelowych stateczności statycznej, dynamicznej, jak i awaryjnej jednostek pływających. Stanowiska te wyposażone są w modele fizyczne wybranych okrętów wojennych i statków handlowych

wykonanych w odpowiedniej skali oraz urządzenia do symulowania warunków meteorologicznych na morzu. Umożliwiają także analizę wpływu swobodnej powierzchni cieczy występującej w przedziałach lub zbiornikach po uszkodzeniu kadłuba okrętu oraz analizę wpływu przyjmowania, przesuwania i zdejmowania ciężarów na stateczność początkową okrętu. Doświadczenia zdobyte na stanowisku badawczym prowadzą do bliższego poznania zjawisk występujących w bieżącej eksploatacji okrętu oraz do poprawy bezpieczeństwa pływania. Celem artykułu jest zapoznanie z konstrukcją wybranych typów modeli okrętów i możliwościami stanowisk badawczych stateczności i niezatapialności w aspekcie poprawy bezpieczeństwa wykonywania zadań na morzu.

## **2. Charakterystyka głównego obiektu badań**

Do głównych badań związanych ze statecznością okrętu wykonano model okrętu szkolnego typu 888. Podstawowe dane techniczne modelu są następujące [6,7]:

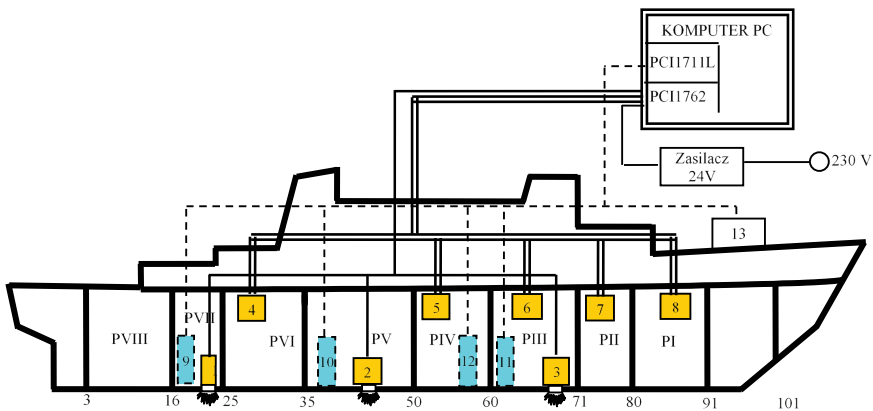
- |                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| – długość całkowita      | $L_{cm} = 1,444 \text{ m}$ ,  |
| – długość między pionami | $L_{ppm} = 1,284 \text{ m}$ , |
| – szerokość              | $B_m = 0,2332 \text{ m}$ ,    |
| – wyporność modelu       | $D_m = 13,15 \text{ kg}$ .    |

W celu zachowania podobieństwa geometrycznego modelu, mającego wpływ na jakość badań, kadłub został wykonany na podstawie linii teoretycznych w skali, natomiast elementy nadbudówek i wyposażenia pokładowego z odpowiednim uproszczeniem konstrukcyjnym. Na pokładach modelu zostały umieszczone wszystkie elementy, których wielkość ma wpływ na powierzchnię nawiewu bocznego wykorzystywaną podczas obliczeń stateczności.

Model okrętu typu 888, stanowiący podstawowy obiekt badań, wyposażono w specjalistyczne oprzyrządowanie do symulowania uszkodzeń kadłuba, pomiaru położenia oraz analizy zachowania się modelu w różnych stanach eksploatacyjnych zagrażających bezpieczeństwu okrętu. Rozmieszczenie głównych elementów układu pomiarowego modelu przedstawiono na rys. 1 [7, 8]. Do symulowania uszkodzeń kadłuba modelu wybrano pojedyncze przedziały PIII, PV, PVII, które mają największą kubaturę i których zatopienie ma znaczny wpływ na stateczność i niezatapialność. Proces zalewania przedziałów do poziomu wody zaburtowej realizowany jest po otwarciu zdalnie sterowanych zaworów dennych oznaczonych numerami 1, 2, 3. Pozostała grupa zaworów przeznaczona jest do zalewania przedziałów wykorzystywanych np. w procesie zejścia okrętu z mielizny lub wyprost-

wania okrętu w przypadku uszkodzeń niesymetrycznych. Model okrętu wyposażono także w instalację wodną oraz czujniki do pomiaru poziomu wody w przedziałach. Czujniki te, zamontowane w przedziałach PVIII, PV, PVII, mierzą poziom wody na podstawie pomiaru ciśnienia hydrostatycznego. Do pomiaru kątów przechyłu i przegłębienia modelu wykorzystano przechyłomierz zamontowany w części dziobowej modelu. Sygnały zbierane z czujników, transmitowane są drogą przewodową do komputera wyposażonego w dwie karty analogowo-cyfrowe, a następnie odczytywane na monitorze w postaci gotowych wyników.

Urządzenia pomiarowe i elementy wykonawcze zamontowane na modelu połączone są za pomocą przewodów o małej masie jednostkowej z komputerem, na którym na bieżąco dokonywany jest odczyt danych pomiarowych wyświetlanych na monitorze. Za pomocą oprogramowania komputera można realizować operację zatapiania wybranych przedziałów modelu oraz ich osuszania. Do realizacji tych zadań został opracowany program komputerowy w środowisku Delphi. Obraz ekranu z oknem programu przedstawiono na rys. 2 [7, 8].



**Rys. 1.** Rozmieszczenie podzespołów na modelu okrętu typu 888 [8]. 1 – zawór do symulacji przebiccia przedziału nr VII; 2 – zawór do symulacji przebiccia przedziału nr V; 3 – zawór do symulacji przebiccia przedziału nr III; 4 – zawór do zalewania przedziału nr VI; 5 – zawór do zalewania przedziału nr IV; 6 – zawór do zalewania przedziału nr III; 7 – zawór do zalewania przedziału nr II; 8 – zawór do zalewania przedziału nr I; 9 – czujnik poziomu wody w przedziale nr VII; 10 – czujnik poziomu wody w przedziale nr V; 11 – czujnik poziomu wody w przedziale nr III; 12 – czujnik poziomu zanurzenia okrętu; 13 – przechyłomierz

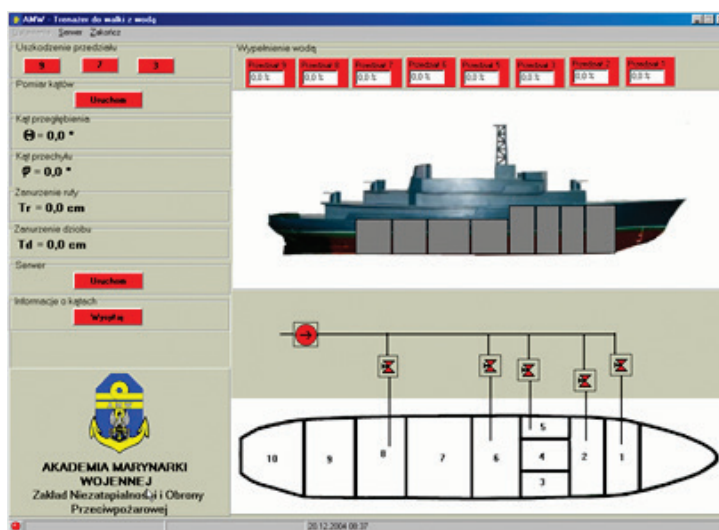
Ilość wody w przedziale widoczna w górnej części okna monitora programu komputerowego podana jest w procentach. Natomiast parametry położenia modelu,

takie jak kąt przechyłu, kąt przegłębienia oraz zanurzenie dziobu i rufy na pionach, wyświetlane są na bieżąco [8].

Silny wiatr i fala powodują przechyły okrętów do dużych wartości kątów, tym samym są dużym zagrożeniem bezpieczeństwa transportu morskiego w codziennej eksploatacji jednostek pływających i częstą przyczyną wypadków na morzu. W celu uwzględnienia w badaniach wpływu środowiska naturalnego na bezpieczeństwo jednostek pływających należało opisaną stanowisko rozbudować o zespół wentylatorów symulujących ruch powietrza. W tym celu zamontowano dwa rodzaje wentylatorów mających możliwość płynnej regulacji prędkości obrotowej w zakresie od 0 do 2775 [obr/min] dla wentylatorów typu HRB/2-250-AN oraz od 0 do 2685 [obr/min] dla wentylatorów typu HRB/2-200BN.

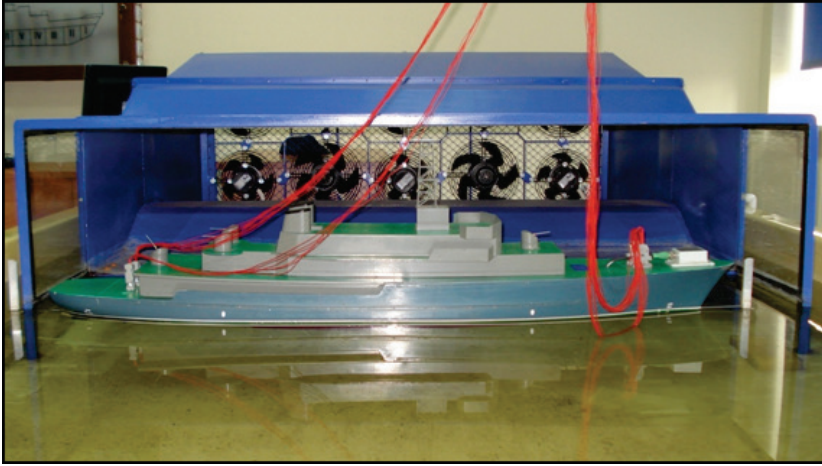
Wentylatory generujące ruch powietrza mogą być uruchomione w trzech konfiguracjach:

- wentylatory małych mocy,
- wentylatory dużych mocy,
- wspólna praca wentylatorów dużych i małych mocy.



Rys. 2. Okno programu głównego

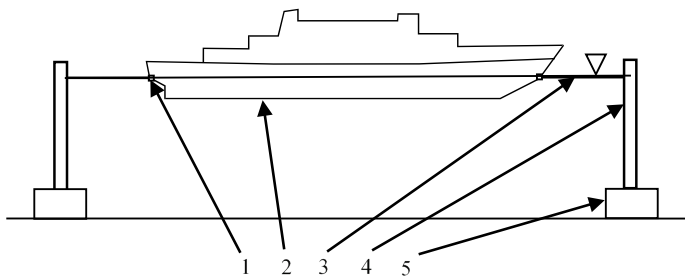
Maksymalna prędkość powietrza zarejestrowana podczas pracy wszystkich wentylatorów wynosiła 9 m/s. Ze względów bezpieczeństwa wentylatory zostały umieszczone w obudowie zabezpieczonej siatką. Takie rozwiązanie uniemożliwia dostanie się jakichkolwiek obiektów w obręb wirujących łopatek wentylatorów. Widok ogólny zespołu wentylatorów przedstawiono na rys. 3 [6,7].



**Rys. 3.** Widok zespołu wentylatorów zainstalowanych na stanowisku laboratoryjnym

Kolejnym problemem badawczym było ustalenie osi obrotu modelu podczas oddziaływania wiatru. Położenie osi obrotu modelu ma istotne znaczenie w obliczaniu momentu przechylającego wywołanego działaniem wiatru. W pracy przyjęto pomiar wysokości środka wysokości pola powierzchni bocznej nawiewu wiatru od płaszczyzny wodnicy pływania. Odpowiadające tej wodnicy zanurzenie oznaczono na modelu białą linią. Na tej wysokości w kadłubie modelu zamontowano gniazda, w których umieszcza się żerdzie umożliwiające jego obrót. Sposób zamocowania modelu w żerdziach przedstawiono na rys. 4 [8].

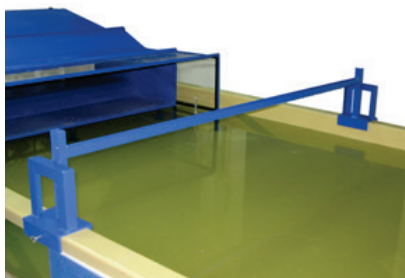
Rozwiązanie przedstawione na rys. 4 zapewnia także swobodny pionowy ruch modelu dzięki prowadnicom, w których poruszają się żerdzie. W celu uzyskania odpowiedniej prędkości przepływu powietrza konstrukcja obudowy wentylatorów została zredukowana do tunelu aerodynamicznego.



**Rys. 4.** Konstrukcja osi obrotu modelu okrętu. 1 – gniazdo żerdzi; 2 – model okrętu; 3 – żerdź obrotowa; 4 – prowadnica żerdzi; 5 – podstawa

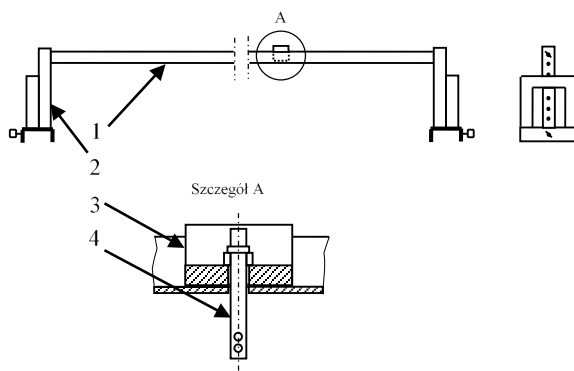


Pomiary prędkości powietrza zostały wykonane za pomocą przenośnej sondy typu CTV 100, której zakres mierzonych wartości zawiera się w granicach od 0 do 30 m/s. W celu zapewnienia pomiaru prędkości powietrza w różnych punktach przekroju kontrolnego tunelu aerodynamicznego zaprojektowano i zbudowano uchwyt do mocowania sondy pomiarowej czujnika prędkości przepływu, przedstawiony na rys. 5. Dzięki tej konstrukcji możliwy jest pomiar prędkości powietrza w różnych odległościach od tunelu aerodynamicznego oraz na dowolnej wysokości mierzonej od lustra wody. Metodę mocowania oraz sposób zmiany położenia czujnika prędkości przedstawiono na rys. 5 i 6.



**Rys. 5.** Widok basenu modelowego z zamontowanym uchwytem

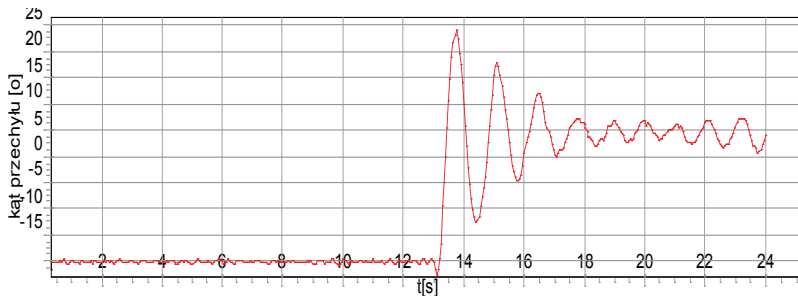
Wstępne badania pomiaru prędkości powietrza wykazały, że ustawienie sondy pomiarowej względem kierunku przepływu powietrza ma znaczny wpływ na dokładność pomiaru. W celu uniknięcia błędów pomiarowych sondę należało zamocować prostopadłe do kierunku przepływu powietrza tak, aby podczas pomiarów uniemożliwić jej obrót.



**Rys. 6.** Uchwyt do mocowania sondy pomiarowej. 1 – ramię; 2 – prowadnica; 3 – uchwyt sondy; 4 – sonda pomiarowa

Na tak wyposażonym i przygotowanym stanowisku wykonano wstępne badania przechyłów modelu. Wymagało to wychylenia modelu na burtę nawietrzną do wartości kąta przechyłu  $15^\circ$ . Wartość tego kąta wynika z obliczeń kryterium pogody przeprowadzonych dla modelu okrętu zgodnie z przepisami IMO.

Podczas rejestracji kąta przechyłu wentylatory pracowały ze stałą prędkością obrotową, co odpowiada stałej charakterystyce momentu przechylającego. Przykładowe wyniki pomiarów kąta przechyłu modelu okrętu przedstawiono w postaci graficznej na rys. 7.



Rys. 7. Przykładowe wyniki pomiarów kąta przechyłu modelu

Wykorzystując opracowaną metodykę badań, można realizować eksperymenty określania momentów przechylających zagrażających bezpieczeństwu pływania w różnych stanach eksploatacyjnych okrętu.

### 3. Stanowisko do badań niezatapialności modelu okrętu nawodnego

Badania nad statecznością i niezatapialnością obejmują liczne zagadnienia, których prezentacja na jednym modelu jest niemożliwa. Dlatego stanowisko badawcze zostało wyposażone w kolejny model okrętu typu 660, który jest przeznaczony do prowadzenia badań, zwłaszcza z obszaru niezatapialności. Model tego okrętu przedstawiono na rys. 8 [6,7].

Model jest przystosowany do zalewania przedziałów w dowolny sposób i na dowolnym poziomie. Na kadłubie modelu zaznaczono projekt linii i znaki zanurzenia. Ponadto zaznaczone jest położenie grodzi, które pomaga użytkownikowi zlokalizować uszkodzone miejsce.



**Rys. 8.** Model okrętu typu 660

Model okrętu typu 660 został przystosowany do przedstawienia problemu wpływu efektu powierzchni swobodnej cieczy wewnątrz kadłuba na stateczność i położenie jednostki pływającej. W związku z tym zaprojektowano specjalną konstrukcję nadbudówki. W jego górnej części znajduje się otwór służący do dostarczania wody do jego wnętrza. Woda z wysoko położonego przedziału może zostać przelana do niższego przedziału wodoszczelnego. Takie operacje są wykonywane podczas przywracania lub odtwarzania stateczności okrętu. W ten sposób można wykazać zmianę stateczności po zmianie położenia środka masy okrętu i przeprowadzić badania czasu zatapiania uszkodzonych przedziałów lub całego modelu.

#### **4. Stanowisko do badań stateczności i niezatapialności modelu okrętu szkolnego**

Badania stateczności i niezatapialności okrętów podwodnych stanowią źródło wiedzy na temat zachowania się okrętu po zatopieniu jego przedziałów [1]. Zaletą tych badań prowadzonych na stanowisku laboratoryjnym jest możliwość symulowania przebicia kadłuba na przystosowanym do tego celu modelu obiektu rzeczywistego.

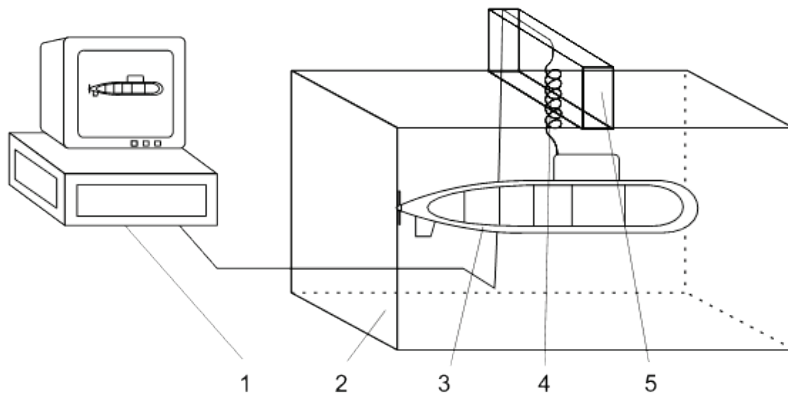
Uproszczony schemat stanowiska do badań stateczności i pływalności okrętu podwodnego przedstawiono na rys. 9 [6, 7].

Głównymi elementami stanowiska do badań stateczności i niezatapialności modelu okrętu są: model okrętu podwodnego, komputer sterujący oraz basen. Na prezentowanym stanowisku prowadzone będą operacje zanurzania i wynurzania

okrętu podwodnego, tak jak odbywają się one na rzeczywistym obiekcie. Urządzeniem sterującym operacjami zanurzenia i wynurzenia modelu jest komputer PC.

Kadłub modelu został wykonany na podstawie linii teoretycznych w odpowiedniej skali. Wyposażony jest w specjalistyczne oprzyrządowanie do pomiaru położenia w różnych stanach eksploatacyjnych. Jego sylwetkę przedstawiono na rys. 9. Wnętrze modelu, zgodnie z wcześniej przyjętymi założeniami, podzielono na pięć wodoszczelnych przedziałów.

Sumaryczna objętość wszystkich przedziałów modelu wynosi  $55,53 \text{ dcm}^3$ . Wyposażony jest on w zbiorniki balastowe umieszczone w przedziale dziobowym i rufowym umożliwiające zanurzenie i wynurzenie okrętu oraz instalację balastową umożliwiającą doprowadzanie i odprowadzanie wody ze zbiorników.



**Rys. 9.** Schemat stanowiska do badań stateczności i niezatapialności modelu okrętu podwodnego. 1 – stanowisko operatora z komputerem sterującym i rejestrującym parametry położenia modelu; 2 – basen modelu okrętu podwodnego; 3 – model okrętu podwodnego, 4 – przewody zasilające, 5 – uchwyty przewodów zasilających

Korekcja trymu oraz położenie modelu na zadanej głębokości jest realizowana za pomocą dwóch zbiorników regulacyjnych oraz instalacji balastowej. Instalacja balastowa połączona jest funkcjonalnie z instalacją sprężonego powietrza. Zalewanie i osuszanie zbiorników realizowane jest poprzez odpowiednią sekwencję otwierania i zamykania zaworów elektromagnetycznych typu BURKERT zainstalowanych na modelu okrętu podwodnego. Tak zaprojektowana instalacja zatapiania oraz osuszania zbiorników modelu okrętu pozwoliła na minimalizację liczby zastosowanych elementów wykonawczych, zmniejszając w ten sposób stopień komplikacji instalacji elektrycznych i pneumatycznych, doprowadzając do redukcji masy modelu. Model okrętu podwodnego przedstawiono na rys. 10.



**Fig. 10.** Model okrętu podwodnego [4]

Do pomiaru kątów przechyłu i przegłębienia modelu wykorzystano przechyłomierz typu ISA P20 o zakresie  $\pm 60^\circ$ . Czujnik ten zasilany jest napięciem 24 V. Urządzenia pomiarowe i elementy wykonawcze zamontowane na modelu połączone są z komputerem przewodami o małej masie jednostkowej. Za pomocą komputera realizowane są operacje zatapiania wybranych przedziałów modelu oraz ich osuszania. Sygnały z czujników, transmitowane drogą przewodową do komputera, odczytywane są na monitorze w postaci gotowych parametrów położenia okrętu.

Na tak zbudowanym stanowisku przeprowadzono badania pływalności i położenia modelu OP. Dalsze badania prowadzone na prezentowanym stanowisku pozwolą także na określenie czasu zatopienia przedziału modelu po uszkodzeniu kadłuba.

## **5. Podsumowanie**

Doświadczenia zdobyte na stanowisku badawczym prowadzą do bliższego poznania zjawisk występujących w bieżącej eksploatacji okrętu oraz do poprawy bezpieczeństwa pływania. Celem artykułu jest przedstawienie wybranych scenariuszy do badań modelowych jednostek pływających oraz zapoznanie z konstrukcją wybranych typów modeli okrętów i możliwościami stanowisk badawczych stateczności i niezatapialności w aspekcie poprawy bezpieczeństwa wykonywania zadań na morzu. Przedstawiona została nowoczesna metoda badań stateczności i niezatapialności jednostek pływających z użyciem modeli fizycznych obiektów rzeczywistych. Przeprowadzone badania na stanowiskach badawczych umożliwiają pomiary kątów przechyłu w zależności od prędkości wiatru, przesunięcia ładunku,

czasu zatopienia przedziałów okrętowych po ich uszkodzeniu mających wpływ na bezpieczeństwo pływalnościowe jednostek pływających. Prowadzenie badań i ćwiczeń laboratoryjnych na tak przygotowanym stanowisku umożliwi ciągle podwyższanie kwalifikacji i poziomu wykształcenia osób odpowiedzialnych za niezawodność i bezpieczeństwo pływania.

## 6. Literatura

1. Chojnacki P., Poleszak S.: Analiza wybranych możliwości udzielania pomocy zatopionym okrętom podwodnym, Polish Hiperbolic Research, Gdynia 2006.
2. Derett D.R.: Ship stability for Masters and Mates, BH. Oxford, UK, 2006.
3. Dudziak J.: Teoria okrętu, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 2006.
4. Jacyna M., Merksiz J.: Proecological Approach to Modelling Traffic Organization in National Transport System Archives of Transport - Archiwum Transportu, No 2, Vol. 30, Warszawa 2014.
5. Jacyna M., Wasiak M., Lewczuk K., Kłodawski M.: Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport, Archives of Transport - Archiwum Transportu, No 3, Vol. 31, 2014.
6. Mironiuk W., Pawłędzio A., Zacharewicz M., Cwalina A.: Badania modelowe stateczności i niezatapialności okrętów, AMW, Gdynia 2007.
7. Mironiuk W., Pawłędzio A., Wróbel R.: Trener do walki z wodą. Przegląd Morski nr 5, Gdynia 2004.
8. Mironiuk W., Pawłędzio A.: Modelling studies of the roll and the pitch training ship. Maritime Transport & Shipping, London, UK, 2013.