

## ZNOS WIATROWY TRATWY RATUNKOWEJ

*W artykule poruszono zagadnienie bezpieczeństwa transportu morskiego, na które bezpośrednio mają wpływ: bezpieczeństwo eksploatowanych obiektów morskich, niezawodność środków ratunkowych oraz szybkość i sprawność przeprowadzanych akcji ratowniczych. Sukces akcji ratowniczej uzależniony jest od prawidłowego wyznaczenia obszaru poszukiwań, który uwzględnia znos wiatrowy działający na dryfujący środek ratunkowy – w tym przypadku tratwę ratunkową. Artykuł nawiązuje do definicji znosu wiatrowego, oporu hydrodynamicznego, naporu wiatrowego oraz ich prawidłowego wyznaczenia na podstawie przeprowadzonych badań modelowych. Znajomość oporu hydrodynamicznego tratwy ratunkowej oraz jej charakterystyk aerodynamicznych pozwala przewidzieć znos wiatrowy oraz zachowanie tratwy podczas holowania. Wiedza ta prawidłowo wykorzystana do tworzenia coraz to nowych aktualizacji może znacząco wpłynąć na szybkość i sprawność przeprowadzanych akcji ratowniczych.*

**Słowa kluczowe:** znos wiatrowy, napór aerodynamiczny, opór hydrodynamiczny, tratwa ratunkowa.

### WSTĘP

W dobie dynamicznie rozwijającego się transportu morskiego coraz większe znaczenie ma bezpieczeństwo. Niestety, zdarzenia zagrażające zdrowiu i życiu ludzi zdarzają się od zawsze i nie można ich wyeliminować, należy więc dążyć do zapewnienia odpowiednio wysokiego poziomu bezpieczeństwa rozbitków na morzu.

Zgodnie ze statystykami wypadków morskich na przełomie ostatnich lat panuje długotrwały trend spadkowy liczby utraconych statków, a co za tym idzie, statki są coraz bardziej bezpieczne (tab. 1).

Środki ratunkowe są ważnymi elementami systemu bezpieczeństwa morskiego. Jednym z podstawowych środków ratunkowych wykorzystywanym w transporcie morskim jest tratwa ratunkowa, która zalicza się do dryfujących środków ratunkowych. Dryfujące środki ratunkowe (DSR) mają za zadanie zapewnić rozbitkom warunki, umożliwiające przeżycie do czasu nadejścia pomocy.

Dryfujące środki ratunkowe muszą spełniać międzynarodowe przepisy kodeksu LSA (ang. *Life Saving Appliances Code*), które precyzują minimalne wymagania dotyczące ich właściwości. Wykorzystywane obecnie środki ratunkowe zapewniają bezpieczeństwo rozbitków w ograniczonym zakresie, dlatego też konieczna jest minimalizacja czasu poszukiwań DSR, pozwalająca na sprecyzowanie obszaru poszukiwań w trakcie akcji ratunkowej. By tego dokonać, należy odpowiednio uwzględnić znos wiatrowy, działający na dryfujący środek ratunkowy.

Tabela 1

Liczba utraconych statków według rodzaju w latach 2001–2012

Period	Barge	Bulk	Cargo	Chemical / Product	Container	Dredger	Fishery	LPG/LNG	Other	Passenger	RORO	Supply / Offshore	Tanker	Tug	Unknown	
2001-2002	4	9	70	6	1	4	43	2	13	11	5	1	2	6		177
2002-2003	3	11	68	9	1	1	31		9	14	7		4	8	3	169
2003-2004	2	6	65	9	1	4	30		4	10	9	3	3	9	1	156
2004-2005	5	8	58	7	2	3	38	2	3	13	7	3		5		154
2005-2006	7	8	56	10	5	2	23		2	12	10	3	2	8	1	149
2006-2007	5	10	76	5	3	4	34		7	7	5	5	1	9	1	172
2007-2008	4	8	55	9	1	3	36	1	4	5	8	1	3	9	1	148
2008-2009		12	49	8	5	1	30		6	5	5	3	2	5		131
2009-2010	1	10	57	4	4	1	20		3	2	1	1	3	3		110
2010-2011		12	35	4	2	2	17	1	2	8	2	2	1	3		91
2011-2012		7	51	7	4	1	12	1	6	3	4	2	2	6		106
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>101</b>	<b>640</b>	<b>78</b>	<b>29</b>	<b>26</b>	<b>314</b>	<b>7</b>	<b>59</b>	<b>90</b>	<b>63</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>71</b>	<b>7</b>	<b>1563</b>

Note: Each period runs from 26 Nov to 25 Nov the following year.

Source: Lloyd's List Intelligence Casualty Statistics. Analysis: AGCS.

Barge - barki; Bulk - masowce; Cargo - drobnicowce; Chemical/Product - chemikaliowce / Produktowce; Container - kontenerowce; Dredger - pogłębiarki; Fishery - statki rybackie; LPG/LNG - gazowce; Other - inne; Passenger - pasażerskie; Roro - statki typu ro-ro; Supply / Offshore - serwisowce offshore; Tanker - zbiornikowce; Tug - holowniki; Unknown - nieznanne.  
 Źródło danych: Lloyd's List Intelligence Casualty Statistics; analiza: AGCS.

Źródło: <http://www.portalmorski.pl/stocznie-statki/22667-poprawa-bezpieczenstwa-statkow-i-zeglugi>.

Teoria znosu tratów ratunkowych znana jest od dawna, natomiast od czasu publikacji w 1944 roku pracy autorstwa Pingree na ten temat zagadnienie znosu zyskało na znaczeniu [Pingree 1944]. Następstwem owej publikacji były liczne badania i raporty, na podstawie których możliwa była aktualizacja procedur ratowniczych. Aktualizacje wdrażano w liczne systemy komputerowe, wykorzystywane podczas akcji ratowniczych na morzu w celu ograniczenia obszaru poszukiwań i wyznaczenia drogi dryfu poszukiwanych obiektów.

Powyższe czynności bezpośrednio przekładają się na szybkość, efektywność przeprowadzanej akcji ratowniczej i zwiększenie poziomu bezpieczeństwa panującego na morzu.

## 1. ZNOS WIATROWY TRATWY RATUNKOWEJ

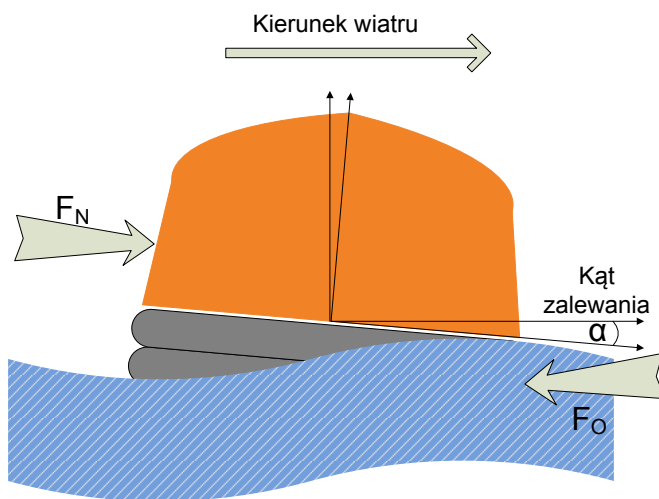
W dostępnej literaturze przedmiotu znaleźć można następujące definicje znosu wiatrowego obiektów dryfujących:

- znos wiatrowy dryfującego środka ratunkowego jest ruchem tego obiektu po wodzie na skutek działania siły naporu wiatru na część nadwodną obiektu pływającego. (W myśl tej definicji należałoby zakładać, że kierunek znosu wiatrowego jest zgodny z kierunkiem działającego wiatru, gdyż tylko od niego zależy);

- znos wiatrowy dryfującego środka ratunkowego jest ruchem obiektu po wodzie, wywołanym oddziaływaniem wiatru i fali na obiekt dryfujący;
- według definicji Z. Burciu znos wiatrowy jest ruchem obiektu po wodzie na skutek działania wiatru i fali, a prędkość i kierunek znosu poddawane są zakłóceniom, spowodowanym przez „ruchy własne tratwy“ i jej stan eksploatacyjny.

Przez ruchy własne tratwy należy rozumieć zaburzenia, wynikające ze zmienności liniowych współczynników aerodynamicznych w układzie strumieniowym. Tymczasem stan eksploatacyjny tratwy jest bezpośrednio uzależniony od sposobu obsadzenia tratwy, liczby osób oraz stanu zamocowania dryfkotwy [Burciu 2012].

Dryfujące środki ratunkowe, pływając na granicy dwóch ośrodków: powietrza i wody, poddawane są oddziaływaniu sił naporu wiatru i oporu hydrodynamicznego. Podczas znosu tratwy ratunkowej zachodzi równość pomiędzy siłą naporu wiatru działającą na część nadwodną obiektu a siłą oporu hydrodynamicznego, działającą na jej część podwodną (rys. 1).



**Rys. 1.** Działanie sił na tratwę ratunkową będącą w ruchu [Burciu 2012]

Źródło: Z. Burciu, 2012, *Niezawodność akcji ratowniczej w transporcie morskim*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s.183.

$$F_N = F_O, \quad (1.1)$$

gdzie:

$F_N$  – siła naporu wiatru działająca na część nadwodną obiektu dryfującego,

$F_O$  – siła oporu hydrodynamicznego, działająca na część podwodną obiektu dryfującego.

## 2. NAPÓR WIATROWY TRATWY RATUNKOWEJ

Napór wiatrowy, oddziałujący na tratwę ratunkową bezpośrednio, uzależniony jest od rozmiarów i kształtu nadwodnej części tratwy, a także od wartości i kierunku względnej prędkości powietrza.

Napór wiatrowy można wyrazić wzorem:

$$F_N = C_X * A_T * V^2 * \rho / 2, \quad (2.1)$$

gdzie:

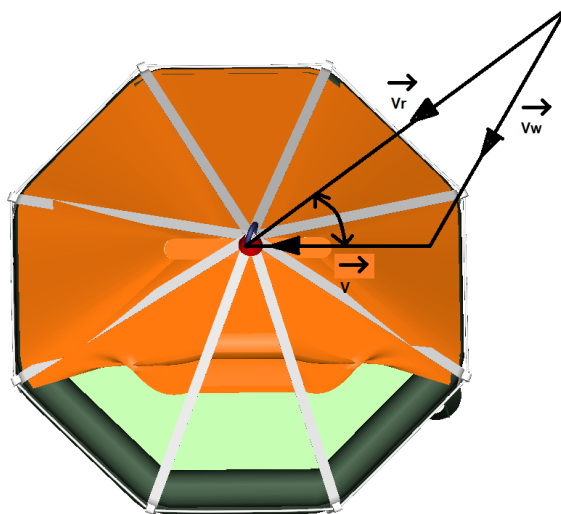
$C_X$  – współczynnik oporu powietrza zależny od kształtu nadwodnej części tratwy,

$A_T$  – rzut powierzchni nadwodnej na kierunek wiatru,

$V$  – względna prędkość wiatru,

$\rho$  – gęstość powietrza.

Wartość oddziałującego na tratwę naporu wiatrowego zależna jest od współczynnika oporu powietrza, na którego wartość mają bezpośredni wpływ kąt natarcia wiatru oraz kształt nadwodnej części tratwy (rys. 2).



**Rys. 2.** Prędkość i kąt natarcia wiatru względnego na tratwę ratunkową

Źródło: opracowanie własne.

Względna prędkość wiatru jest równa sumie wektorowej średniej prędkości bezwzględnej wiatru i prędkości przeciwnej do prędkości tratwy ratunkowej.

$$\vec{V}_r = \vec{V}_w - \vec{V} \quad (2.2)$$

W klasycznych obliczeniach oporu kadłuba przy bezwietrznej pogodzie ITTC zaleca obliczanie współczynnika oporu powietrza ze wzoru:

$$C_X = 0,001 * \frac{A}{S^2}, \quad (2.3)$$

gdzie:

- $A$  – powierzchnia nadwodna obiektu pływającego,
- $S$  – powierzchnia zwilżona obiektu pływającego.

Współczynnik oporu powietrza wpływa na wartość obliczeniową naporu wiatrowego, natomiast ten przekłada się na powstawanie momentu przechylającego, który znacząco wpływa na późniejsze zachowanie dryfującego środka ratunkowego. Moment przechylający od wiatru można wyznaczyć metodą eksperymentalną, wykonując odpowiednie badania modelowe w tunelu aerodynamicznym. Na Uniwersytecie Morskim w Gdyni przeprowadzono takowe badania celem zamodelowania sił aerodynamicznych, oddziałujących na tratwę ratunkową.

### 2.1. Model siły naporu wiatrowego

Badania siły naporu wiatrowego, oddziałującego na tratwę ratunkową, przeprowadzono w tunelu aerodynamicznym w Laboratorium Aerodynamicznym Małych Prędkości Instytutu Lotnictwa w Warszawie (rys. 3).



**Rys. 3.** Tratwa ratunkowa 6-osobowa w tunelu aerodynamicznym [Burciu 2012]

Źródło: Z. Burciu, 2012, *Niezawodność akcji ratowniczej w transporcie morskim*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 184.

Podczas badań modelowych dokonano pomiaru składowych obciążeń aerodynamicznych.

Badania wykazały, że ruchy własne tratwy wywołane są przez zaburzenia związane ze zmiennością liniowych współczynników aerodynamicznych w układzie strumieniowym [Burciu 2012].

Ciśnienie spiętrzenia oblicza się następująco:

$$p = \frac{\rho * V^2}{2}, \quad (2.4)$$

gdzie  $\rho$  – gęstość powietrza (w standardowych warunkach wynosi  $1,233 \text{ kg/m}^3$ ).

Rzeczywista siła naporu wiatrowego  $F_N$  w zależności od prędkości wiatru wynosi [Burciu 2012]:

$$F_N = \frac{x}{q} * \frac{\rho * V^2}{2}, \quad (2.5)$$

gdzie  $\frac{x}{q}$  – zredukowana wartość siły naporu w układzie strumieniowym.

Przeprowadzone badania pozwoliły wyznaczyć opór aerodynamiczny, oddziałujący na tratwę ratunkową dla zadanego zakresu prędkości wiatru.

Ponadto badania potwierdziły przypuszczenia, iż nie można znaleźć prostej zależności pomiędzy charakterem opływu małego aerodynamicznego kształtu tratwy z odkształcalnym namiotem a prędkością wiatru [Burciu 2012].

### 3. OPÓR HYDRODYNAMICZNY TRATWY RATUNKOWEJ

Opór hydrodynamiczny oddziałuje na podwodną część obiektu pływającego, będącego w ruchu, jego wielkość zależy od prędkości poruszającego się obiektu i jego powierzchni zwilżonej. Wektor siły oporu hydrodynamicznego działa równolegle do kierunku ruchu obiektu względem płynu, natomiast zwrot ma zawsze przeciwny do kierunku ruchu tratwy. Składowa pozioma siły hydrodynamicznej, działająca w płaszczyźnie symetrii obiektu, zwana jest oporem obiektu pływającego (rys. 1). Opór ten zależy od wielkości i kształtu podwodzia, prędkości obiektu, stanu morza oraz rozkładu mas wewnątrz obiektu. Opór całkowity  $F_O$ , oddziałujący na obiekt pływający, jest sumą oporów składowych: falowego, tarcia, ciśnienia oraz oporu dodatkowego [Smolarek 2007]

$$F_O(V_{tr}) = R_f + R_t + R_c + R_d, \quad (3.1)$$

gdzie:

$F_O(V_{tr})$  – opór całkowity tratwy ratunkowej,

$R_f$  – opór falowy,

$R_t$  – opór tarcia,

$R_c$  – opór ciśnienia,

$R_d$  – opór dodatkowy (w przypadku tratwy ratunkowej opór dodatkowy występuje na skutek zamocowania dryfkotwy oraz komór balastowych).

Opór hydrodynamiczny obiektu pływającego może zostać wyznaczony za pomocą obliczeń – przeprowadzenie odpowiednich badań numerycznych oraz metodą eksperymentalną – na basenie modelowym.

### 3.1. Badania modelowe oporu hydrodynamicznego tratwy ratunkowej

Badania hydrodynamiczne pneumatycznej tratwy ratunkowej przeprowadzono na basenie holowniczym, w Ośrodku Hydromechaniki Okrętu Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku (rys. 4).



**Rys. 4.** Tratwa ratunkowa podczas badań oporu na basenie modelowym CTO [Wawrzusiszyn 2015]

Źródło: M. Wawrzusiszyn, 2015, *Opór holowanej tratwy, Raport Techniczny CTO, nr RH-2015/T-06.*

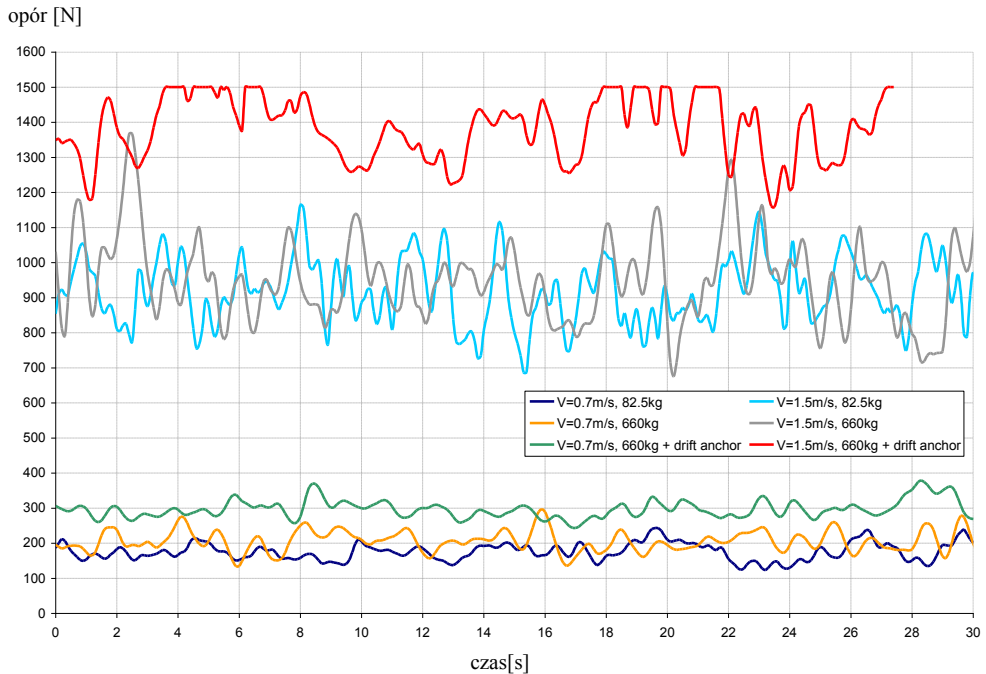
Badania hydrodynamiczne zostały przeprowadzone dla holowanej tratwy ratunkowej z balastem odpowiadającym 1 i 8 osobom, dla prędkości holowania 0,7 m/s oraz 1,5 m/s w warunkach wody spokojnej. Prędkość 1,5 m/s została przyjęta zgodnie z wymaganiami kodeksu LSA [Kodeks LSA 2017]. Dodatkowo przeprowadzono badania dla tratwy ratunkowej wyposażonej w dryfkotwę, przy stanie załadowania 8 osób oraz prędkości holowania 1,5 m/s.

Przebiegi czasowe zarejestrowanych wyników oporu holowanej tratwy przedstawia rysunek 5 [Kornacka 2015; Wawrzusiszyn 2015; Abramowicz-Gerigk i in. 2017].

Siły na powyższym wykresie zostały pomierzone przy użyciu dynamometru, którego zakres pomiarowy wynosił 1500 [N]. Podczas badań tratwa zachowywała się stabilnie, zarówno wyposażona w dryfkotwę, jak i bez niej. Zastosowanie dryfkotwy zwiększyło opór holowania tratwy o około 32%.

Badania na basenie modelowym przeprowadzono na modelu pełnowymiarowym, dzięki czemu wyeliminowano efekt skali. Należy pamiętać, iż eksperyment wykonano w warunkach idealnych, odbiegających od rzeczywistych warunków panujących na morzu [Abramowicz-Gerigk i in. 2017].





**Rys. 5.** Wyniki eksperymentalne oporu holowania tratwy – zestawienie przebiegów czasowych [Abramowicz-Gerigki in. 2017]

Źródło: T. Abramowicz-Gerigk, Z. Burciu, E. Kornacka, J. Jachowski, M. Wawrzusiszyn, 2017, *Experimental and numerical investigation of the towing resistance of the innovative pneumatic life raft*, Polish Maritime Research, vol. 24, no. 2(94), s. 40–47.

## PODSUMOWANIE

Sukces akcji ratowniczej uzależniony jest od prawidłowego wyznaczenia obszaru poszukiwań, który uwzględnia znos wiatrowy, działający na tratwę ratunkową. Znajomość oporu tratwy i jej charakterystyk aerodynamicznych umożliwia prawidłowe prognozowanie znosu wiatrowego, zachowania się tratwy podczas holowania oraz określenia niezawodności tratwy ratunkowej. Wiedza ta może znacząco wpłynąć na szybkość i sprawność przeprowadzanych akcji ratowniczych oraz w efekcie na bezpieczeństwo panujące na morzu. Dlatego też tak ważne jest zgłębianie wiedzy dotyczącej znosu wiatrowego, czynników, jakie go determinują, oraz przeprowadzanie badań, które zweryfikują przyjęte założenia i pozwolą stworzyć nowe modele, wykorzystywane podczas wyznaczania obszaru poszukiwań.



## LITERATURA

1. Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z., 2014a, *Inflatable life raft design for operation – novel solutions*, 20<sup>th</sup> International Conference on Hydrodynamics in Ship Design and Operation HYDRONAV'2014, Wrocław.
2. Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z., 2014b, *Safety assessment of maritime transport – Bayesian risk-based approach in different fields of maritime transport*, Proceedings of IMAM 2013, 15<sup>th</sup> International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM), Spain. Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources, Guedes Soares, Lopez Pena (eds.), vol. 2, Taylor&Francis Group, London, UK, s. 699–703.
3. Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z., Kornacka E., Jachowski J., Stefurak W., 2015, *Innovative liferaft*, TransNav – The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol. 9, no. 4, s. 573–577.
4. Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z., Kornacka E., Jachowski J., Wawrzusiszyn M. 2017, *Experimental and numerical investigation of towing resistance of the innovative pneumatic life raft*, Polish Maritime Research, vol. 24, no. 2(94), s. 40–47.
5. Burciu Z., 2003, *Modelowanie obszarów poszukiwania w aspekcie bezpieczeństwa transportu ludzi na morzu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
6. Burciu Z., 2012, *Niezawodność akcji ratowniczej w transporcie morskim*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
7. Dudziak J., 2008, *Teoria okrętu*, wyd. 2 popr., Gdańsk.
8. Kodeks LSA, 2017, *Life Saving Appliances*, Including LSA code.
9. Kornacka E., 2015, *Badanie eksperymentalne oporu pneumatycznej tratwy ratunkowej*, Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, z. 30, Gdynia, s. 128–138.
10. Kornacka E., 2016, *Innowacyjne rozwiązania zbiorowych środków ratunkowych w transporcie morskim*, w: Kwasiborska A. (red.), *Transport lotniczy i jego otoczenie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 215–226.
11. Pingree F. de W., 1944, *Forethoughts on rubber rafts*, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA, USA.
12. Smolarek L., 2007, *Modelowanie bezpieczeństwa dryfujących środków ratunkowych w transporcie morskim*, Prace Naukowe, Transport, z. 58, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
13. Wawrzusiszyn M., 2015, *Opór holowanej tratwy*, Raport Techniczny CTO, nr RH-2015/T-06.
14. <http://www.portalmorski.pl/stocznie-statki/22667-poprawa-bezpieczenstwa-statkow-i-zeglugi>.

## LEEWAY OF LIFE RAFT

### Summary

*The article deals with the issue of maritime transport safety, which is directly influenced by the safety of marine operations, the reliability of rescue means, and the speed and efficiency of rescue operations. The success of the rescue operation depends on the correct designation of the search area, taking into account the windmill on the drifting rescue device – in this case the life raft. The article refers to the definition of leeway, hydrodynamic resistance, wind pressure and their correct determination based on the conducted model tests. Knowledge of the hydrodynamic resistance of the life-raft and its aerodynamic characteristics allows for predicting the wind speed and the behavior of the raft during towing. This knowledge, properly used to create new updates can significantly affect the speed of the rescue operations.*

**Keywords:** leeway, wind resistance, hydrodynamic resistance, life raft.