

Teresa Abramowicz-Gerigk, Zbigniew Burciu,
Jacek Jachowski
Akademia Morska w Gdyni

BADANIA WPŁYWU KSZTAŁTU KADŁUBA NA WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNE PASAŻERSKIEGO STATKU ŚRÓDLĄDOWEGO. OPÓR JEDNOSTKI DWUKADŁUBOWEJ

W artykule przedstawiono badania wpływu kształtu dwukadłubowej pasażerskiej jednostki śródlądowej na opór hydrodynamiczny oraz analizę możliwości redukcji jej zanurzenia poprzez modyfikację kształtu kadłubów bez zmiany objętości podwodzia, długości i szerokości jednostki. Uwzględniono zmianę szerokości kadłubów, asymetrię wewnętrzną i modyfikację kształtu dna w części rufowej. Na podstawie wyników symulacji numerycznych obliczono i porównano opory dla przyjętych kształtów przy założonej prędkości projektowej.

Słowa kluczowe: opór kadłuba, statek śródlądowy, obliczenia numeryczne opływu.

WSTĘP

Nowe statki pasażerskie przeznaczone do żeglugi w Krainie Wielkich Jezior Mazurskich są to głównie katamarany o małym zanurzeniu. Największy z nich, statek pasażerski „Swoboda”, eksploatowany przez Żeglugę Augustowską, o długości $L = 40$ m i przeznaczony do przewozu 330 pasażerów, posiada zanurzenie $T = 0,75$ m [17]. Konieczność zapewnienia małego zanurzenia statku wynika z warunków nawigacyjnych na trasach rejsów turystycznych [1, 7, 16, 17]. Bardzo duży stosunek L/T , charakterystyczny dla jednokadłubowych statków jeziorowych, który wynosi około 30, powoduje, że mają one duży znos wiatrowy [2]. Nowe statki, wprowadzone do eksploatacji i obecnie budowane, dzięki dwukadłubowej konstrukcji, pomimo dużych wartości L/T , na przykład $L/T = 53$ dla statku „Swoboda”, mają dobrą stateczność kursową.

W artykule przedstawiono przykłady wpływu modyfikacji kształtu kadłubów katamaranu na opór, które przy zachowaniu zadanej objętości podwodzia, długości i szerokości jednostki umożliwiają redukcję zanurzenia.

1. WPŁYW KSZTAŁTU KADŁUBA KATAMARANU NA OPÓR

W porównaniu do jednostek jednokadłubowych o podobnej wyporności katamaran posiada dużą stateczność początkową i dużą powierzchnię pokładów [10, 13].

Przy większych prędkościach, odpowiadających liczbom Froude'a, większym niż $F_n = 0,5$ [5], katamaran ma także mniejszy opór hydrodynamiczny. Badania w zakresie oporu katamaranów są szeroko opisane w literaturze przedmiotu [5, 8, 9, 11, 15]. W szczególności dotyczą one wpływu szerokości kadłuba, niesymetrii kształtu każdego z kadłubów, różnic pomiędzy asymetrią wewnętrzną i zewnętrzną. Wyniki znanych badań w zakresie wpływu asymetrii kadłubów na opór nie pozwalają na sformułowanie jednoznacznych ogólnych wniosków [4, 6, 12].

Podstawowe parametry katamaranu wpływające na opór stanowią:

- wyporność D ;
- odległość pomiędzy kadłubami B_C ;
- długość na wodnicy L_{WL} ;
- smukłość $L_{WL}/D^{1/3}$;
- stosunek długości na wodnicy do szerokości pojedynczego kadłuba L_{WL}/b .

W Katedrze Eksploatacji Statku na Wydziale Nawigacyjnym Akademii Morskiej w Gdyni, w ramach współpracy z przedsiębiorstwem Żegluga Mazurska S.A., w zakresie oceny właściwości hydromechanicznych nowo budowanych statków pasażerskich, przeprowadzono badania dotyczące zależności oporu od kształtu części podwodnej oraz możliwości zmniejszenia zanurzenia statku przy niezmienionej objętości podwodzia. Jako kształt wyjściowy przyjęto budowany obecnie w stoczni remontowej Żeglugi Mazurskiej w Giżycku nowy statek pasażerski – katamaran o długości 16,60 m, szerokości 4,80 m i zanurzeniu 0,7 m (rys. 1), mogący zabrać na pokład 56 pasażerów. Jednostka wejdzie do eksploatacji na Wielkich Jeziorach Mazurskich w 2017 roku.



Rys. 1. Jednostka pasażerska Żeglugi Mazurskiej w budowie [16]

Fig. 1. Passenger vessel of Żegluga Mazurska under construction [16]

1.1. Założenia przyjęte przy analizie wpływu kształtu kadłubów o zredukowanym zanurzeniu na opór

Dla założonej wyporności, długości i szerokości statku, opracowano na bazie przyjętego kształtu wyjściowego trzy modele 3D kadłubów o zredukowanym zanurzeniu (tab. 1) oraz porównano ich opór na wodzie spokojnej, przy prędkości projektowej 21 km/h (5,8 m/s), odpowiadającej liczbie Froude'a $F_n = 0,48$.

Tabela 1. Modele przyjęte do badań

Table 1. Models used in tests

Oznaczenie badanego modelu kadłuba statku	Opis	Zanurzenie [m]
C1 – katamaran 1	Zadany kształt wyjściowy	0,7
C2 – katamaran 2	Szerokość kadłubów zwiększona o 20% w stosunku do kształtu C1	0,6
C3 – katamaran 3	Kadłuby asymetryczne o zwiększonej szerokości do wewnątrz w stosunku do C1	0,63
C4 – katamaran 4	Wymiary i geometria kształtu C1 z dodatkowym podcięciem dna w części rufowej	0,65

Do obliczeń numerycznych opływu wykorzystano oprogramowanie CFD (*Computational Fluid Dynamics*) – program komputerowy FlowVision.

W modelowaniu opływu zastosowano trójwymiarowy model przepływu, z zastosowaniem modelu VOF (*Volume of Fluid*), umożliwiający odwzorowanie przepływu dwufazowego. W rozważanym przypadku były to woda i powietrze. Oba ośrodki nie przenikają się, a dla każdej z faz, oprócz zmiennych podstawowych, w każdej komórce obliczeniowej równania VOF wprowadzona jest dodatkowa zmienna – zawartość objętościowa fazy. W każdej objętości kontrolnej suma zawartości objętościowych faz równa się jedności. Ruch realizowano za pomocą modelu 6DOF, w którym zostały zadane parametry ruchu kadłuba, jako bryły sztywnej z trzema stopniami swobody: nurzaniem, kołysaniem i kiwaniem. Obliczenia wykonano na modelu w skali rzeczywistej, z wykorzystaniem metody siatek obliczeniowych przenikających, zagęszczonych lokalnie przy kadłubie.

Do modelowania turbulencji wykorzystano semiempiryczny dwurównaniowy model $k-\varepsilon$ STD, dla którego zdefiniowano warunki początkowe przy użyciu intensywności turbulencji oraz długości mieszania. Obliczenia prowadzono ze zmiennym krokiem czasowym, w zależności od zbieżności rozwiązania.

Zastosowany model VOF (*Volume of Fluid*) miał na celu odwzorowanie rzeczywistego przepływu ze swobodną powierzchnią (przepływu dwufazowego z powierzchnią rozdziału faz). Obliczenia wykonano na wodzie spokojnej dla modeli w skali rzeczywistej.

Poniżej przedstawiono porównanie wyników obliczeń wykonanych dla przyjętych wersji kadłubów.

1.2. Analiza wpływu kształtu kadłubów o zredukowanym zanurzeniu na opór

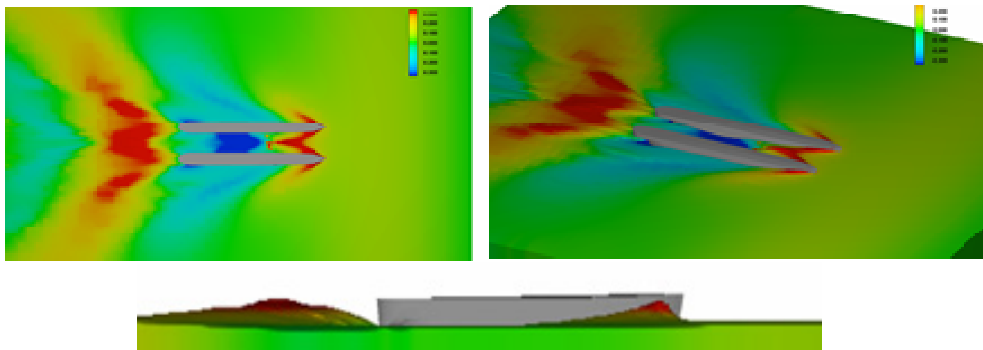
Obliczenia numeryczne opływu pozwoliły zaobserwować rozkład pola ciśnień i prędkości oraz obraz układu falowego podczas ruchu statku z zadaną prędkością 5,8 m/s, $F_n = 0,48$. Na rysunkach 3, 5, 7 i 9 przedstawiono układy falowe wytwarzane przez badane modele, zachowując tę samą skalę prędkości – kolor czerwony odpowiada prędkości przepływu 5,8 m/s.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono kształt modelu bazowego statku oraz wytwarzany przez statek układ falowy.



Rys. 2. Kształt kadłuba – model C1

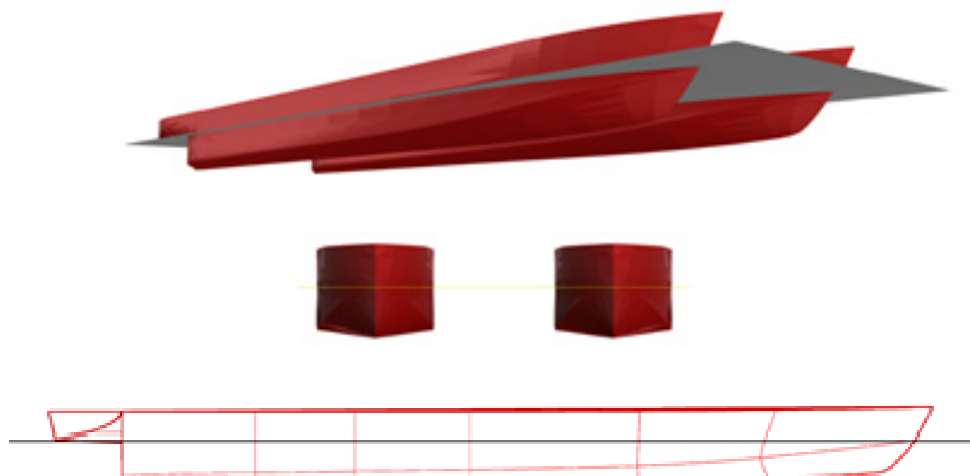
Fig. 2. Hull form of model C1



Rys. 3. Układ falowy generowany przez model C1

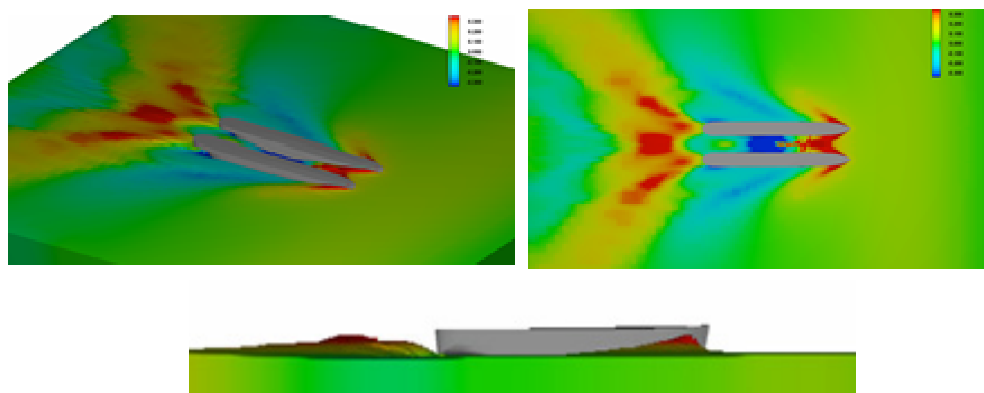
Fig. 3. Wave system generated by model C1

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono kształt modelu o zredukowanym zanurzeniu równym 0,6 m, szerokości kadłubów zwiększonej o 20%, niezmienionej długości, szerokości i objętości podwodzia statku, w stosunku do kształtu C1 oraz kształt układu falowego wytwarzanego przez statek.



Rys. 4. Kształt kadłuba – model C2

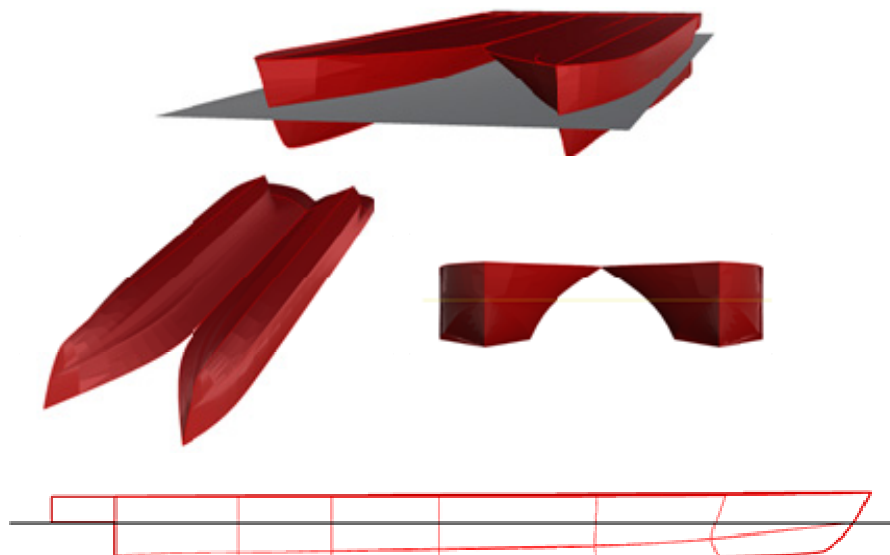
Fig. 4. Hull form of model C2



Rys. 5. Układ falowy generowany przez model C2

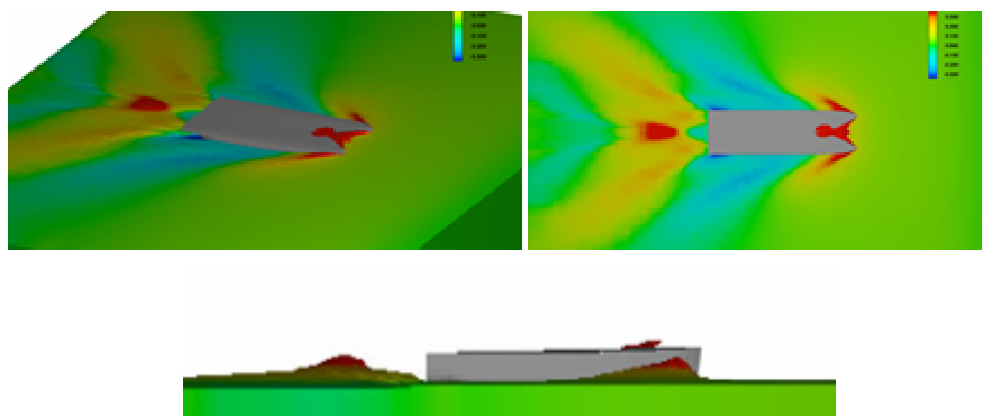
Fig. 5. Wave system generated by model C2

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono kształt modelu o kadłubach niesymetrycznych, o szerokości kadłubów zwiększonej do wewnątrz, zredukowanym zanurzeniu wynoszącym 0,63 m, niezmienionej długości, szerokości i objętości podwodzia statku, w stosunku do kształtu C1 oraz kształt wytwarzanego układu falowego.



Rys. 6. Kształt kadłuba – model C3

Fig. 6. Hull form of model C3

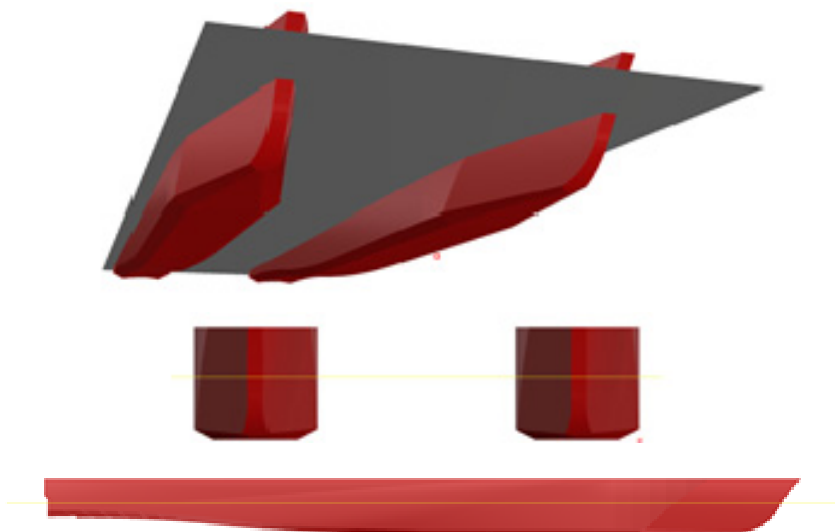


Rys. 7. Układ falowy generowany przez model C3

Fig. 7. Wave system generated by model C3

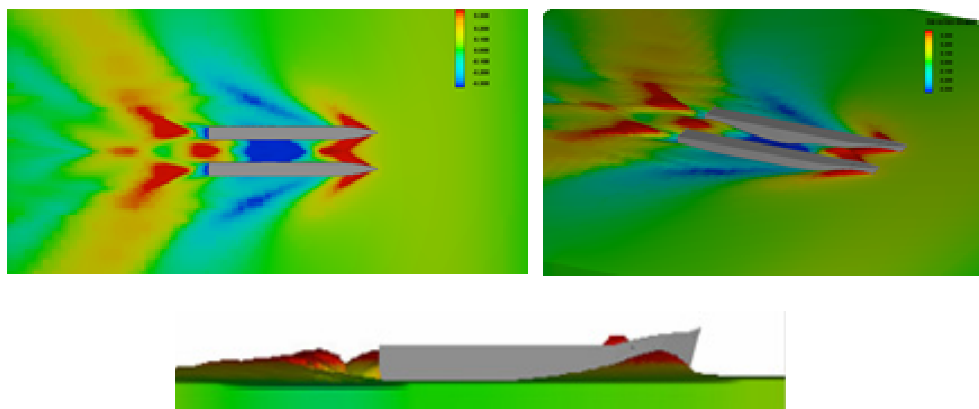
Symulacje opływu modeli C1 i C2 wykazały znaczne obniżenie poziomu wody w rejonie rufy uniemożliwiające pracę pędnika. W związku z tym przyjęto geometrię modelu C4, o długości i szerokości kadłubów takiej jak modelu C1, ze zredukowanym zanurzeniem, równym 0,65 m i podcięciem dna w części rufowej. Przyjęto u-kształtne wręgi i bardziej pełnotliwe kadłuby.

Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono kształt modelu C4 oraz kształt wytwarzanego układu falowego.



Rys. 8. Kształt kadłuba – model C4

Fig. 8. Hull form of model C4

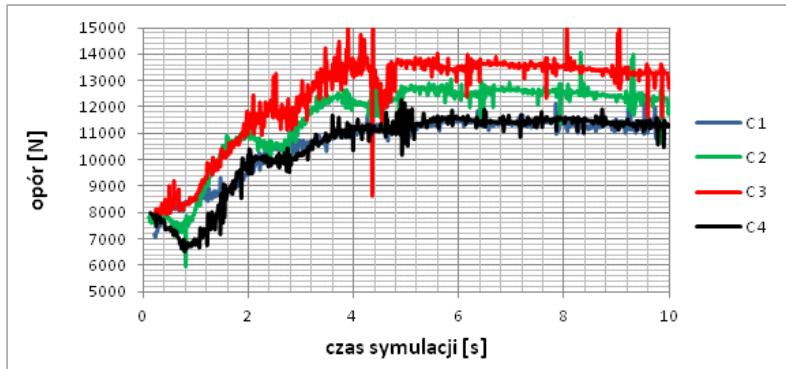


Rys. 9. Układ falowy generowany przez model C4 przy prędkości 5,8 m/s

Fig. 9. Wave system generated by model C4

Na rysunku 10 przedstawiono wyniki obliczeń CFD oporu modeli C1, C2, C3, C4 dla prędkości 5,8 m/s.

Dla badanego modelu C4 uzyskano wodnicę pływania 0,65 m przy niezmięnionej objętości podwodzia i niezmięnionej wartości oporu hydrodynamicznego w porównaniu do modelu C1 o zanurzeniu 0,7 m.



Rys. 10. Opór modeli C1, C2, C3, C4 przy prędkości 5,8 m/s, $Fn = 0,48$

Fig. 10. Resistance of C1, C2, C3, C4 models at speed 5,8 m/s, $Fn = 0,48$

WNIOSKI

Zmniejszenie zanurzenia jednostki śródłądowej bez zmiany objętości części podwodnej zwiększa obszar jej eksploatacji, jednak nie zawsze korzystnie wpływa na opór i parametry układu falowego, co bezpośrednio przekłada się na oddziaływanie na środowisko – oddziaływanie bezpośrednie, w postaci erozji bocznej i dennej oraz redukcję emisji szkodliwych zanieczyszczeń [3, 14]. Efektem zmniejszenia zanurzenia jest zwiększony znos wiatrowy jednostki pasażerskiej, utrudniający żeglugę, jednak w przypadku katamaranu znos jest znacznie mniejszy niż dla jednostki jednokadłubowej.

LITERATURA

1. Abramowicz-Gerigk T., Błachuta J., Burciu Z., Granatowicz J. i in., *Opracowanie studium techniczno-ekonomiczno-środowiskowego rewitalizacji i przywrócenia żeglowności dolnej Wisły na odcinku Warszawa-Gdańsk*, WP5 of European Project INVAP0 "Upgrading of Inland Waterway and Sea Ports" – coordinated by Gdynia Maritime University, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia 2014.
2. Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z., Hejmlich A., Pacholski M., *Analiza nawigacyjna obejmująca zagadnienia manewrowania dużym jeziorowym statkiem pasażerskim w basenie portowym Portu Giżycko Żegluga Mazurskiej*, nr KES-2016-T1, Gdynia 2016.
3. Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z., *The influence of regular river navigation in special protection areas of Natura 2000 network*, Journal of Kones, 2016, No. 3.
4. Arai M., Cheng L.Y., *Numerical study of water impact loads on catamarans with asymmetric hulls fast 3rd Int. Conf. on Fast Sea Transportation*, September 25–27 1995; Lubeck-Travemunde, Proc. ed by C.F.L. Kruppa, Schiffbautechnische Gesellschaft, Germany, Vol. 1, 1995.
5. Broglia R., Zaghi S., Di Mascio A., *Numerical simulation of interference effects for a high-speed catamaran*, Journal of Marine Science and Technology, 16(3), 2011, s. 254–269.

6. Bruzzone D., Ferrando M., Gualeni P., *Numerical and Experimental Investigation Into Resistance Characteristics of Symmetrical and Unsymmetrical Catamaran Hull Forms*, Proc. 5th International Symposium on High Speed Marine Vehicles, HSMV99, Capri 1999.
7. Burciu Z., Gašior A., *The analysis of the possibility of revitalization of lower Vistula based on INWAPO European Project*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, 2015, nr 92.
8. Damiano C., Lazzara S., Mancuso A., Virzi'Mariotti G., *Study on the Efficiency of an Innovative Hull*, NAV 2003, International Conference on Ship and Shipping Research, Palermo, June 24–27, 2003.
9. Damiano C., Stroligo M., Virzi'Mariotti G., Zotti I., *Theoretical and Experimental Comparison among the Resistance Components of a Fast Catamaran in Different Configurations*, NAV 2009, 16th International Conference of Ship and Shipping Research, Vol. I, Messina 2009, s. 31–39.
10. Dubrovsky V., Lyakhovitsky A., *Multi Hull Ships*. Fair Lawn, NJ, Backbone Publishing Co., 2002.
11. Haase M., Davidson G., Friezer S., Binns J. et al., *On the Macro Hydrodynamic Design of Highly Efficient Medium-Speed Catamarans with Minimum Resistance*, International Journal of Maritime Engineering, 154(A3), 2012, s. 131–141.
12. Kaklis P., Papanikolaou A., *The wave resistance of a catamaran with non-symmetric thin demihulls*, Proc. 1st Nat. Congress on Computational Mechanics, Athens 1992, s. 927–936.
13. Krata P., *Wymogi formalne stawiane katamaranom w zakresie stateczności*, Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2006, nr 18, s. 69–88.
14. Krishna B., Krishnankutty P., *Experimental and numerical study on trim and sinkage of a high speed catamaran vessel in shallow waterways*, International Shipbuilding Progress, Vol. 56, 2009, No. 3–4, s. 159–176.
15. Soares G.C., Sutulo S., Francisco R., Santos F., Moreira L., *Full scale measurements of the manoeuvring capabilities of a catamaran*, Proc. Hydrodynamics of High-Speed Craft, RINA, London, November 1999, s. 24–25.

Źródła internetowe

16. <http://www.zeglugamazurska.com.pl>.
17. <http://zeglugaugustowska.pl>.

INVESTIGATIONS OF INFLUENCE OF PASSENGER INLAND VESSEL HULL FORM MODIFICATION ON HER OPERATIONAL CHARACTERISTICS. HULL RESISTANCE

Summary

The paper presents the investigations of the influence of a passenger inland vessel hull form modifications on hydrodynamic resistance along with the analysis of possible ship draught reduction due to the hull form modification without change of ship displacement, ship length and breadth on waterline. The increase of both hull breadths, design of non-symmetric internal shapes of the hulls and modification of the bottom slope in the aft part of the hull were tested. On the basis of numerical simulation the ship resistance at the design speed was calculated and compared for each of the four tested hull forms.

Keywords: hull resistance, inland vessel, numerical flow field prediction.