



"Prognozowanie dodatkowego oporu na fali w oparciu o wymiary główne promu ro-ro i parametry falowania"

Tomasz Cepowski

Szczecin, 2010



UNIA EUROPEJSKA EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO



Prognozowanie dodatkowego oporu na fali w oparciu o wymiary główne promu ro-ro i parametry falowania

dr inż. Tomasz Cepowski Akademia Morska w Szczecinie Wydział Nawigacyjny

email: t.cepowski@am.szczecin.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono aproksymacje pozwalające na prognozowanie dodatkowego oporu na fali za pomocą wymiarów głównych promu ro-ro i parametrów falowania. Aproksymacje opracowano w oparciu o analizę regresji wartości wzorcowych dodatkowego oporu na tzw. fali statystycznej. Wartości wzorcowe obliczono za pomocą dokładnych metod numerycznych dla 448 wariantów kształtu promu przyjmując umowne parametry falowania oraz parametry ruchu promu. Takie podejście pozwoliło zastąpić skomplikowany model numeryczny prostym modelem regresyjnym bazującym na podstawowych parametrach geometrycznych promu. Opracowane aproksymacje można wykorzystać do projektowania wstępnego statku lub w zagadnieniach eksploatacyjnych do prognozowania spadku prędkości statku na fali w obszarach morskich charakteryzujących się częściowo rozwiniętym falowaniem takich jak Morze Północne lub Morze Bałtyckie.

Słowa kluczowe: dodatkowy opór na fali, prom ro-ro, wymiary główne, aproksymacja, prognozowanie, statek

Wstęp

Podstawowymi problemami projektowymi promów ro-ro jest przede wszystkim objętość wewnętrzna, prędkość eksploatacyjna i stateczność poprzeczna (rys.1). Uzyskanie przez statek założonej prędkości eksploatacyjnej zależy m.in. od parametrów i warunków pracy układu napędowego oraz wartości całkowitego oporu kadłuba.

Na całkowity opór kadłuba składa się m.in. dodatkowy opór statku na fali, który [1][7]:

- jest związany z pływaniem statku na fali sztormowej,
- może stanowić około 30-50% oporu całkowitego statku,
- powoduje istotny spadek prędkości eksploatacyjnej,
- zależy m.in. od wymiarów i kształtu kadłuba statku.



Rysunek 1 Problemy projektowe promów ro-ro

Dlatego, prognozowanie dodatkowego oporu statku na fali stanowi istotne wyzwanie stawiane projektantom statków ze względu na ekonomiczny aspekt doboru parametrów układu napędowego, zużycia paliwa oraz oceny czasu podróży. Prognozowanie dodatkowego oporu na fali jest również istotnym elementem różnego rodzaju komputerowych systemów planowania podróży statku. Efektywność pracy takich systemów zależy przede wszystkim od dokładności aproksymacji różnych charakterystyk statku w oparciu o uproszczone dane, takie jak wymiary główne kadłuba, stan załadowania, parametry ruchu statku, parametry falowania "statystycznego"

Na dodatkowy opór na fali istotny wpływ ma m.in.:

- kształt i wymiary kadłuba,
- parametry ruchu statku (prędkość statku i kąt nabiegu fali),
- parametry falowania.

Dodatkowy opór statku na fali prognozuje się metodami modelowymi lub numerycznymi. Dokładne prognozowanie dodatkowego oporu na fali wymaga wielu danych wejściowych (do których należy m.in. kształt kadłuba statku), które nie zawsze są dostępne. Dlatego celem badań było opracowanie uproszczonych i jednocześnie dokładnych zależności pozwalających na prognozowanie dodatkowego oporu na fali w oparciu o wymiary główne promu ro-ro i parametry falowania.

METODA

Cel badań rozwiązano za pomocą analizy wyników uzyskanych z obliczeń numerycznych ruchów statku na fali. Metoda realizacji badań składała się z następujących etapów:

- 1. opracowanie listy promów w szerokim zakresie kształtów i wymiarów,
- 2. uproszczenie i idealizacja związków w modelu fizycznym:

- a. zastąpienie rzeczywistego kształtu kadłuba statku parametrami kształtu,
- b. przyjęcie umownego scenariusza operacyjnego, w którym m.in. rzeczywiste warunki falowania zastąpiono warunkami statystycznymi
- 3. opracowanie symbolicznego modelu matematycznego zjawiska lub cechy,
- 4. wykorzystanie obliczeniowego modelu numerycznego,
- 5. dobór funkcji aproksymujących zbiór dyskretnych rezultatów modelu numerycznego,
- 6. weryfikacja i ocena wyznaczonych metod modelowania,
- 7. określenie zakresu stosowalności i ograniczeń poszczególnych metod.

Szczegółowy algorytm badań został przedstawiony na rys. 2.



Rysunek 2 Algorytm przedstawiający metodę badań

Lista wariantów kształtu promu ro-ro

Do opracowania listy wariantów kształtu promów ro-ro kierowano się wytycznymi zawartymi w raporcie [5]. W badaniach sporządzono listę 448 wariantów, którą opracowano w oparciu o następujące zakresy parametrów projektowych promu:

 LBd (L – długość wodnicy, B – szerokość wodnicy, d – zanurzenie statku) = 19 000, 28 000, 37 000, 46 000 m³,

- L/B = 5.8, 6.6, 7.4, 8.2,
- B/d = 3, 3.5, 4, 4.5,

oraz zbiór 7-miu wariantów kształtu promu ro-ro (tabela 1, rys. 3).

Tabela 1 Warianty kształtu promu ro-ro, gdzie: CB – współczynnik pełnotliwości podwodzia, CM – współczynnik pełnotliwości owręża, CB(L) – wzdłużny współczynnik pełnotliwości podwodzia, CB(V) – pionowy współczynnik pełnotliwości podwodzia, CWL – współczynnik pełnotliwości wodnicy, XF – odległość środka geometrycznego wodnicy od pionu rufowego, XB – odległość środka wyporu od pionu rufowego, Lpp – długość statku pomiędzy pionami

Wariant	CB [-]	CM [-]	CB(L) [-]	CB(V) [-]	CWL [-]	XF/Lpp	XB/Lpp
						[%]	[%]
1	0,609	0,954	0,639	0,759	0,803	46,00	47,61
2	0,614	0,963	0,638	0,743	0,826	45,34	48,00
3	0,618	0,955	0,647	0,762	0,811	45,64	47,24
4	0,585	0,971	0,642	0,734	0,797	43,59	47,16
5	0,629	0,958	0,657	0,743	0,847	45,04	46,62
6	0,614	0,984	0,645	0,786	0,781	45,44	48,11
7	0,642	0,977	0,657	0,777	0,826	44,44	48,79

Wzorcowe wartości dodatkowego oporu na fali

Do obliczenia wartości wzorcowych dodatkowego oporu na fali przyjęto metodę Gerritsmy-Beukelmana [3][1]. Ta metoda należy do metod ograniczających się przede wszystkim do wyznaczania przyrostu oporu na fali przeciwnej. Spośród innych metod wyznaczania dodatkowego oporu na fali, metoda Gerritsmy-Beukelmana jest metodą najprostszą i dająca wyniki najbardziej zgodne z eksperymentem. Opiera się ona na przyrównaniu energii odprowadzonej od kołyszącego się okrętu w postaci fali odbitej do pracy, którą wykonuje siła dodatkowego oporu [2]. Metoda Gerritsmy-Beukelmana pozwala na dosyć dokładne wyznaczenie dodatkowego oporu dla statków o dowolnych kształtach, aczkolwiek dokładność tej metody jest mniejsza dla statków o niskich wartościach współczynnika pełnotliwości podwodzia [6].



Wariant 1







Wariant 3

Wariant 4



Wariant 5

Wariant 6



Wariant 7

Rysunek 3 Kształty promów ro-ro wykorzystane do badań

Obliczenia wartości wzorcowych dodatkowego oporu na fali przeprowadzono przyjmując jako dane wejściowe (rys. 4):

- zbiór 448 kadłubów, których kształt został opisany liniami teoretycznymi,
- parametry ruchu i parametry falowania wynikające z założonego scenariusza operacyjnego.



Rysunek 4 Założone parametry wejściowe do obliczeń wartości wzorcowych dodatkowego oporu na fali

Obliczenia przeprowadzono za pomocą programu SEAWAY. Testy dokładności programu SEAWAY przedstawione w [3] [4] wskazują na dużą dokładność obliczeń.

Obliczenia dodatkowego oporu na fali przeprowadzono na tzw. fali statystycznej przyjmując umowny scenariusz operacyjny:

- 1. prom płynie z prędkością postępową v = 10 m/s na fali przeciwnej,
- 2. spectrum falowania jest zgodny z JONSWAP,
- 3. wysokość znacząca fali Hs = 1 6 m w odstępie co 1 m,
- 4. fala osiąga okres charakterystyczny T dla której występuje maksymalna wartość dodatkowego oporu na fali.

Efektem tej części badań był zbiór liczący 2568 wartości wzorcowych dodatkowego oporu na fali obliczonych dla założonych kształtów promów oraz przyjętych parametrów falowania.

Parametry kadłuba istotnie wpływających na dodatkowy opór statku na fali

W tej części badań poszukiwano zależności analitycznych pomiędzy parametrami geometrycznymi kadłuba, parametrami falowania a wartościami wzorcowymi dodatkowego oporu na fali (rys. 5).



Rysunek 5 Poszukiwanie zależności pomiędzy parametrami geometrycznymi i parametrami falowania a wartościami wzorcowymi dodatkowego oporu na fali

Na podstawie analizy statystycznej opracowano zależność (1) pozwalającą na prognozowanie dodatkowego oporu na fali R:

$$R = (114,74 + 0,76 \cdot B - 117,34 \cdot C_M) \cdot H_S^2$$
⁽¹⁾

gdzie:

R - wartość znacząca dodatkowego oporu na fali [kN],

B - szerokość wodnicy [m],

C_M – współczynnik pełnotliwości owręża [-],

H_s – wysokość znacząca fali [m].

Zależność (1) charakteryzuje się:

- 1. wysokim współczynnikiem korelacji Pearsona R = 0,99,
- 2. małą wartością odchylenia standardowego σ = 32 kN,

co świadczy o dużej współzależności powyższych zmiennych i dużą dokładnością aproksymacji. Na rysunkach 6-8 przedstawiono porównanie wartości wzorcowych obliczonych za pomocą dokładnych metod numerycznych z wartościami aproksymowanymi równaniem (1). Równanie (1) charakteryzuje się trendami zgodnymi z [2][6][8].

Z uwagi na to, że wartości współczynnika C_M nie zawsze są znane na wstępnym etapie projektowania, zależność (1) uproszczono do zależności (2):

$$R = 0.81 \cdot B \cdot H_s^2 \quad . \tag{2}$$

Zależność (2) charakteryzuje się:

- 1. wysokim współczynnikiem korelacji Pearsona R = 0.98,
- 2. odchyleniem standardowym $\sigma = 41$ kN,

co również świadczy o dosyć dużej dokładności aproksymacji.

Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono porównanie wartości wzorcowych z wartościami obliczonymi za pomocą równania (1) i równania (2). Z tych wykresów wynika, że zależności (1) i (2) charakteryzują

się właściwymi trendami i dosyć dużą dokładnością, przy czym zgodność z wartościami wzorcowymi zależności (1) jest większa.



Rysunek 6 Wartości znaczące dodatkowego oporu na fali dziobowej R obliczone za pomocą dokładnych metod numerycznych oraz równania (1), Hs = var, CM = 0.97, B = 27.14 m, spectrum falowania JONSWAP, prędkość statku v = 10 m/s



Rysunek 7 Wartości znaczące dodatkowego oporu na fali dziobowej R obliczone za pomocą dokładnych metod numerycznych oraz równania (1), B = var, CM = 0.97, Hs = 6 m, spectrum falowania JONSWAP, prędkość statku v = 10 m/s



Rysunek 8 Wartości znaczące dodatkowego oporu na fali dziobowej R obliczone za pomocą dokładnych metod numerycznych oraz równania (1), CM = var, B =27.1 m, Hs = 6 m, spectrum falowania JONSWAP, prędkość statku v = 10 m/s



Rysunek 9 Wartości znaczące dodatkowego oporu na fali dziobowej R obliczone za pomocą dokładnych metod numerycznych oraz równania (1), B = var, Hs = var, spectrum falowania JONSWAP, prędkość statku v = 10 m/s



Rysunek 10 Wartości znaczące dodatkowego oporu na fali dziobowej R obliczone za pomocą dokładnych metod numerycznych oraz równania (2), B = var, Hs = var, spectrum falowania JONSWAP, prędkość statku v = 10 m/s

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono formuły analityczne do prognozowania dodatkowego oporu na fali w oparciu o podstawowe parametry kształtu promów ro-ro i parametry falowania. Opracowane zależności charakteryzują się dosyć dużą dokładnością w stosunku do wartości wzorcowych i trendami zgodnymi z literaturą.

Zaproponowane podejście umożliwia zastąpienie skomplikowanego modelu numerycznego prostym modelem liniowym charakteryzującym się, w zakresie przyjętych ograniczeń, dużą dokładnością.

Wartości wzorcowe, na podstawie których opracowano aproksymacje (1) i (2), obliczono przyjmując opisane w artykule założenia. Dlatego, aproksymacje (1) i (2) posiadają ograniczenia, które wynikają z tych założeń i dotyczą:

- ograniczeń wynikających z metody Gerritsmy-Beukelmana,
- założonego spektrum falowania JONSWAP,
- parametrów i kierunku nabiegu fali statystycznej: fala dziobowa o wysokości znaczącej Hs = 1
 6 m i okresie charakterystycznym powodującym wystąpienie maksymalnych wartości dodatkowego oporu na fali,
- prędkość statku v = 10 m/s,
- parametrów kadłuba i współczynników pełnotliwości zgodnych z założeniami, w szczególności B = 19 33 m, CM = 0.954 0.985.

Funkcja gęstości widmowej energii falowania JONSWAP została opracowana w oparciu o pomiary falowania prowadzone w obszarze północnej części Morza Północnego, który charakteryzuje się falowaniem częściowo rozwiniętym. Przyjęcie tej funkcji do obliczeń oznacza, że opracowane aproksymacje można zastosować do obszarów morskich charakteryzujących się częściowo rozwiniętym falowaniem takich jak Morze Północne, lub Morze Bałtyckie.

Bibliografia

- [1] Arribas F. Pe'rez: Some methods to obtain the added resistance of a ship advancing in waves, Ocean Engineering 34 (2007) 946–955
- [2] Dudziak J.: Teoria okrętu
- [3] Gerritsma, J. and Beukelman, W.: Analysis of the Resistance Increase in Waves of a Fast Cargo-ship. International Shipbuilding Progress, 18(217), 1972.
- [4] Journée J.M.J. Verification and Validation of Ship Motions Program SEAWAY. Report1213a, Delft University of Technology, The Netherlands, 2001
- [5] "Future trends in the design of ro-ro and ro-pax vessels operating in the southern Baltic", BALTIC GATEWAY Report, Sea Highways Ltd, 2005
- [6] Nabergoj R., Jasna Prpifi-Oršifi: A COMPARISON OF DIFFERENT METHODS FOR ADDED RESISTANCE PREDICTION, 22nd IWWWFB, Plitvice, Croatia 2007
- [7] Payne, S., Dallinga, R.P., Gaillarde G.: QUEEN MARY 2 SEAKEEPING ASSESSMENT: THE OWNER'S REQUIREMENTS, THE DESIGN VERIFICATION AND OPERATIONAL EXPERIENCE
- [8] Schneekluth H., Bertram V.: Ship Design for Efficiency and Economy, Butterworth-Heinemann, 1998