

# Podjęcie wariantowe we wstępnym projektowaniu statków

## Variants method approach to the preliminary ship design

ARTUR KARCZEWSKI  
JANUSZ KOZAK\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.12.206>  
English version available on: [www.mechanik.media.pl](http://www.mechanik.media.pl)

Klasyczna metoda projektowania okrętów jest metodą iteracyjną, bazującą na doświadczeniu zgromadzonym podczas eksploatacji istniejących statków. Natomiast w przypadku całkowicie nowego typu statku, bez „posagu wcześniejszych doświadczeń”, projektowanie polega na opracowaniu szeregu równoległych, wariantowych rozwiązań z wykorzystaniem optymalizacji. Artykuł wskazuje na wybrane metody projektowe wykorzystujące optymalizację, stosowane we wstępnym projektowaniu statków. Systematyzuje i objaśnia stosowane techniki optymalizujące na tle rozwoju teorii projektowania okrętów.

**SŁOWA KLUCZOWE:** projektowanie statków, optymalizacja

*Typical ship designing is an iterative method based on the accumulated experience of already built ships. In the case of a completely new type of ship, without the „dowry of previous experience”, the design consists in developing a series of parallel variant solutions using the optimization. The paper identifies selected designing methods applying the optimizations used in the preliminary ship design. The optimization methods used in the ship design are discussed.*

**KEYWORDS:** ship design, optimization

Statek jest obiektem o dużych gabarytach i skomplikowanym technicznie. Proces jego projektowania stanowi trudne, wieloetapowe zadanie, które z reguły rozwiązuje się iteracyjnie. Często jest to działanie jednorazowe i prototyp jest najlepszym (optymalnym) w danym momencie produktem końcowym. Można wyróżnić wiele etapów tego działania w zależności od stopnia identyfikacji projektowanego obiektu, zakresu i działu wykorzystywanej wiedzy oraz typu rozpatrywanego problemu. Etap początkowy, na którym wyznacza się główne parametry statku oraz kształt kadłuba, określa się mianem projektu wstępnego [1–4]. Dyscyplina naukowa z zakresu okrętownictwa, zajmująca się metodologią rozwiązywania tego typu zadań, to teoria projektowania okrętów [1]. Obejmuje ona:

- wyznaczenie wymiarów głównych statku i parametrów geometrycznych kształtu kadłuba,
- obliczenia sprawdzające w zakresie stateczności i pływalności,
- opracowanie wstępnego podziału przestrzennego,
- wyznaczenie wstępnych parametrów układu napędowego,
- projekt kształtu kadłuba,
- obliczenia sprawdzające na bazie opracowanego kształtu,
- opracowanie planu ogólnego.

Spotyka się różne definicje teorii projektowania okrętów. Wiśniewski [5] rozumie ją jako metodykę projektowania okrętów, która stanowi naukę o procesie ich projektowa-

nia (tzn. jak je projektować, a nie jakimi je projektować). Natomiast według Michalskiego [1] jest to wiedza o szeroko pojętych właściwościach technicznych i eksploatacyjnych okrętów, zajmująca się opracowaniem metod służących do wyznaczania głównych parametrów projektowych okrętu, kształtu kadłuba i podziału jego wnętrza na przedziały. Z kolei Papanikolaou [2] wskazuje, że określa ona – na podstawie założeń projektowych – główne techniczne i ekonomiczne cechy statku przez optymalizację (czyli przez ocenę jakościową).

W przypadku nadpodaży w produkcji statków oraz rosnących cen ich budowy i eksploatacji aspekt ekonomiczny w skali całego projektu przekłada się na sposoby określania poszczególnych parametrów, cech i właściwości statku. Poszukuje się rozwiązań optymalnych. W projektowaniu inżynierskim typowym przykładem takiego działania jest wyznaczanie najkorzystniejszych wartości głównych cech konstrukcyjnych projektowanego obiektu, gdy dana jest jego koncepcja [6]. W projektowaniu statków oznacza to zastosowanie optymalizacji na etapie wstępnym, w obszarze wyznaczania parametrów rozwiązań technicznych statku [1].

W zależności od przyjętej liczby kryteriów wyróżnia się optymalizację jedno- lub wielokryterialną. Natomiast zastosowanie metod optymalizacji uwzględniających równoczesne przetwarzanie informacji decyzyjnych z wielu dziedzin techniki, biorących udział w procesie projektowym, określa się mianem optymalizacji multidyscyplinarnej lub wielopoziomowej.

### Optymalizacja w okrętownictwie

Optymalizacja operuje metodami matematycznymi, dlatego projektowany obiekt musi być zdefiniowany pojęciami w wymiarze matematycznym. Uproszczony model matematyczny opisuje skończona liczba parametrów projektowych. W klasycznym podejściu parametrami projektowymi są wymiary głównego statku –  $L$  (długość),  $B$  (szerokość),  $T$  (zanurzenie) i  $H$  (wysokość boczna) – oraz współczynnik pełnotliwości kadłuba  $c_B$ . Ich zbiór pozwala na sprawdzenie bilansu ciężarowego statku.

Funkcje celu w projektowaniu wstępnym okrętu w aspekcie globalnym można podzielić następująco:

- kryteria ekonomiczne oparte na wartości środków zainwestowanych, ponoszonych nakładów i uzyskiwanych wyników;
- kryteria natury technicznej, będące pochodnymi sprawności transportowej, oparte albo na wielkościach związanych z jakością hydrodynamiczną kadłuba i sprawnością napędową, albo na wielkościach masowych lub objętościowych, charakteryzujących stosunki nośności jednostki do jej masy lub liczby jednostek ładunkowych do objętości części ładunkowej;
- kryteria subiektywne, związane z takimi pojęciami, jak ergonomia, odczucia estetyczne i właściwości użytkowe.

\* Mgr inż. Artur Karczewski (artkarcz@pg.edu.pl); dr hab. inż. Janusz Kozak, prof. nadzw. (kozak@pg.edu.pl) – Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej

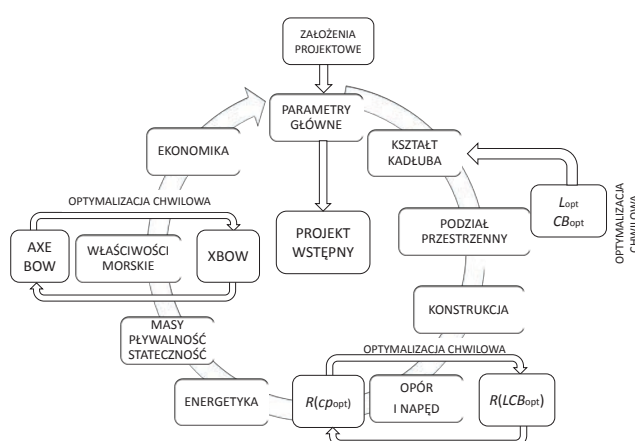
## Rozwój metod projektowania statków

■ **Metody pierwotne.** Początkowo budowanie statków było aktywnością na granicy sztuki i rzemiosła. Wiedza była przekazywana z pokolenia na pokolenie i wynikała z tradycji oraz doświadczenia. Statki były budowane „z ręki” i „na oko” budowniczego, który jednocześnie był projektantem. Inspiracja projektowa pochodziła często z obserwacji natury, gdzie szukano najlepszych rozwiązań. Przykładem może być XVIII-wieczna idea kadłubów typu „głowa dorsza, tułów makreli” (*cod's head and mackerels tail*).

Powodem powstania i rozwoju technik projektowania statków były wojny i rozwój handlu w XIX w. Potrzebowano okrętów szybkich, więc zaczęto się zastanawiać nad kadłubem o lepszej sprawności, aby żeglować szybciej, a zarazem bezpieczniej. Rozwój reprezentacji matematycznej w projektowaniu statku jest na ogół przypisywany szwedzkiemu oficerowi Fredrickowi Chapmanowi, który w poszukiwaniu metod zwiększenia prędkości studiował rozwiązania stosowane w różnego typu jednostkach. Jednak ani on, a ani jemu współcześni nie potrafili powiązać parametrów kształtu kadłuba z jego właściwościami oporowymi. Mimo istnienia wyraźnej potrzeby optymalizacji nie potrafiono jej zaspokoić. Poszukiwanie tej relacji stało się głównym czynnikiem rozwoju naukowych metod projektowania statku w XX w.

■ **Metoda klasyczna.** Klasyczny model procesu projektowania statku, który wykształcił się w XX w., jest procesem iteracyjnym. Jego podstawą jest wiedza zdobyta na podstawie populacji okrętów już zbudowanych, pozwalająca na opracowanie i wykorzystywanie statystyczno-empirycznych zależności matematycznych. Struktura procesu wymaga wykonania – w ściśle określonej kolejności – szeregu następujących po sobie działań, co pozwala w przewidywalny sposób osiągnąć cel, jakim jest statek spełniający założenia projektowe. Najczęściej taki proces przedstawia się w postaci spirali projektowej Evansa.

Na podstawie założeń, ograniczeń i kryteriów projektowych wyznacza się – w zakresie dopuszczalnych rozwiązań – główne parametry statku, takie jak: długość, szerokość, wysokość boczna, zanurzenie i moc silnika. Dopiero na podstawie tych danych określa się taki kształt kadłuba, aby było spełnione równanie pływalności. Następnie wykonuje się działania sprawdzające w zakresie stateczności oraz prognozę parametrów układu napędowego. Najczęściej elementy optymalizacji ograniczają się do działań w obrębie jednego kroku projektowanego. Przyjmuje się „chwilowe” kryterium optymalizacji. Powszechnie stosuje

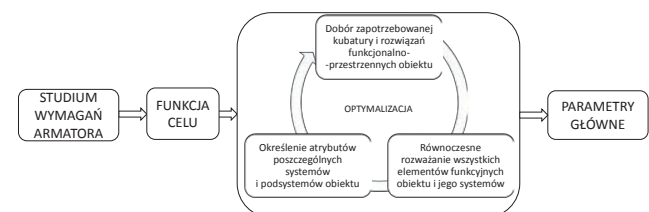


Rys. 1. Spirala projektowa i elementy optymalizacji chwilowej

się wzory na optymalny parametr – np. na długość według Posdiunina lub współczynnik pełnotliwości kadłuba według Ayrego – albo poszukuje się optymalnych cech kształtu kadłuba w celu zminimalizowania oporu (rys. 1). Operując umiejętnie takimi metodami, projektant uzyskuje najlepszy (w jego mniemaniu) projekt [8]. Jeżeli jednak w następnym kroku iteracyjnym rozwiązanie przestaje być optymalne, zachodzi konieczność powrotu do wcześniejszego etapu i wykonania kolejnych iteracji, co zwiększa koszty i wydłuża czas projektowania.

■ **Metody nowoczesne.** Jeżeli w przypadku nowego, nietypowego statku dysponuje się analitycznym opisem niektórych właściwości w funkcji głównej charakterystyki eksploatacyjnej oraz zastosuje się odpowiednie automatyczne systemy obliczeniowe i oprogramowanie modelujące, wtedy istnieje możliwość wykonania wielowariantowych, współbieżnych [9, 10] projektów umożliwiających optymalizację [3]. Wykorzystując cyfrowe narzędzia do określenia kształtu kadłuba i jego właściwości (takich jak: dane hydrostatyczne, stateczność i charakterystyki oporowe), można skonsolidować proces projektowy w jeden algorytm optymalizacyjny. Dzięki zastosowaniu metod numerycznych, grafiki i wizualizacji komputerowej oraz specjalistycznego oprogramowania inżynierskiego już na etapie projektu wstępnego można operować wariantami postaciowymi statku [5].

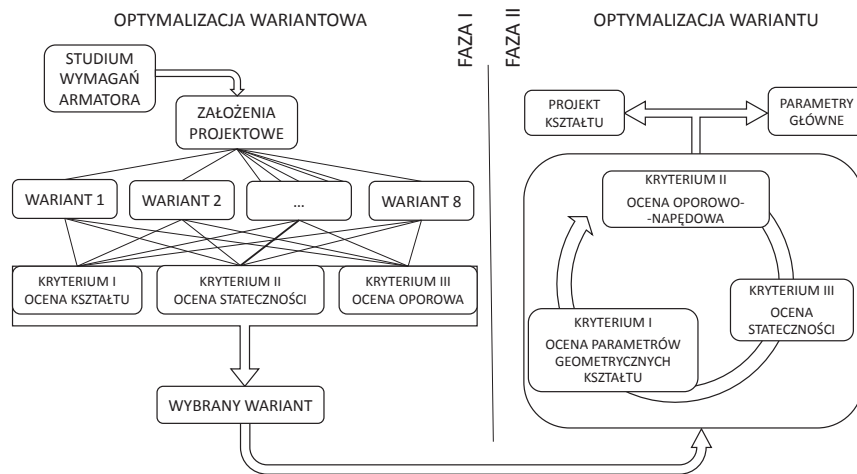
■ **Projektowanie współbieżne.** Chądzyński w swojej pracy [10] proponuje zastosowanie procesu odwrotnego do klasycznego projektowania statku. Wybrana funkcja celu w postaci charakterystyki lub wskaźnika ekonomicznego będzie określała nowe warianty projektu, natomiast tradycyjne założenia, takie jak nośność czy prędkość statku, stają się wynikami. Wówczas projektowanie jest procesem optymalizacji multidyscyplinarnej. Wynik ma postać wektora wymiarów głównych, współczynników kształtu wraz z optymalną prędkością i nośnością [7]. Taki proces nazywa się projektowaniem współbieżnym (rys. 2). Polega on na zebraniu zasobów, wiedzy i doświadczenia wytwórcy na cele marketingu, zaprojektowania, przygotowania produkcji, wytwarzania i sprzedaży nowego wyrobu o wysokiej jakości i niskim koszcie. Skutkiem jest skrócenie czasu potrzebnego do zaprojektowania i przygotowania produkcji wyrobu. Przykłady rozwiązania zadania projektowego przedstawiono w [10].



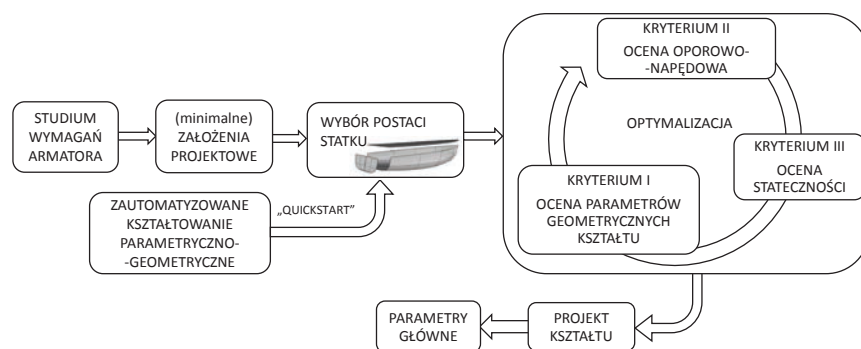
Rys. 2. Schemat projektowania współbieżnego na podstawie [10]

■ **Propozycja podejścia wariantowego.** W pracach [11, 12] zaproponowano połączenie projektowania automatycznego i ręcznego w postaci wielowariantowego algorytmu do opracowania kształtu kadłuba.

Metoda polegała na wyodrębnieniu dwóch faz projektowych (rys. 3). W pierwszej fazie kształt kadłuba przyjęto jako zmienną. Parametrami stałymi były: założenia projektowe, warunki żeglugowe akwenu oraz oszacowana wymagana wyporność. Kryteriami były: dopuszczalny kąt przechyłu od przejścia ludzi na burtę w warunkach



Rys. 3. Schemat projektowania wariantowego



Rys. 4. Schemat projektowania postaciowego

działania wiatru, wielkość powierzchni zwilżonej części podwodzia oraz minimalizacja oporu całkowitego kadłuba. Typy kształtów były ręcznie definiowane przez projektanta. W drugiej fazie wybrany wariant kształtu kadłuba przyjęto jako stałą, zmieniała się natomiast jego topologia. Opracowano dwa programy generujące kształt: oparty na algorytmie ewolucyjnym oraz na algorytmie iteracyjnym. Dzięki łączeniu algorytmów optymalizujących i projektowania decyzyjnego możliwe było wygenerowanie projektu spełniającego zakładaną funkcję celu.

■ **Propozycja metody projektowania postaciowego.** W swojej pracy z 1979 r. Wiśniewski [5] zaproponował metodę projektowania postaciowego, w której model parametryczny powinien być zredukowany do minimum i traktowany jako punkt startowy do dalszego projektowania geometrycznego. Projektowanie rozpoczyna się od opracowania kształtu (formy postaciowej, bryły), natomiast parametry główne są wynikiem (rys. 4). Wtedy wprowadzenie w życie takiej idei było trudne ze względu na ograniczoną moc obliczeniową ówczesnych komputerów. Obecnie jest to możliwe za sprawą programów wspierających projektowanie wstępne. Dzięki zastosowaniu opcji *quickstart*, pozwalającej na kreowanie w czasie rzeczywistym bryły przez zmianę jej parametrów, już na początkowym etapie pracy można uzyskać wyjściowy projekt kształtu kadłuba, ustalony przez projektanta. Następnie, budując zautomatyzowany algorytm niezależny od projektanta, wstępną postać kadłuba można optymalizować ze względu na wybrane kryteria. W ten sposób uzyskuje się kształt kadłuba o parametrach zbliżonych do wstępnie zadanych, będący wynikiem optymalizacji jedno- lub wielokryterialnej.

## Podsumowanie i wnioski

Optymalizacja nie jest w okrętownictwie pojęciem nowym. Dzięki algorytmizacji procesu projektowego oraz zastosowaniu metod optymalizacji otwierają się możliwości formułowania nowoczesnej metodyki projektowania okrętów [1]. Z kolei automatyzacja przez zastosowanie programów komputerowych do wstępnego projektowania (np. Rhinoceros 3D + ORCA, MAXSURF, AVEVE Marine, NAPA) znacznie przyspiesza obliczenia. Często jednak obliczenia realizuje się iteracyjnie, a o współbieżności i wariantowości decyduje operator systemu [7]. Proces wciąż w dużej mierze zależy od wiedzy projektanta. Klasyczna metoda pozostaje niezmienna, natomiast zmieniają się narzędzia. Zastosowanie optymalizacji we wstępnym projektowaniu pozwala połączyć fazy obliczeń parametrycznych i opracowywania kształtu kadłuba w jeden etap. Optymalizacja wielowariantowa umożliwia opracowanie wydajnej metody do wstępnego projektowania statku, która nie wymaga stałego odwodzywania się do danych statków już zbudowanych oraz do zależności empirycznych-statystycznych. W ujęciu globalnym oznacza to ograniczenie nakładów pracy i czasu w całym procesie projektowania statku.

## LITERATURA

- Michalski J. „Podstawy teorii projektowania okrętów”. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2013.
- Papanikolaou A. „Ship Design, Methodologies of Preliminary Design”. London: Springer, 2014.
- Piskorz-Nałęcki J.W. „Projektowanie statków morskich”. Szczecin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, 1981.
- Nogid L. „Teoria projektowania okrętów”. Gdynia: Wydawnictwo Morskie, 1962.
- Wiśniewski J. „Projektowanie postaciowe w metodyce projektowania okrętów”. Gdańsk: Politechnika Gdańska, 1979.
- Tarnowski W. „Podstawy projektowania technicznego”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1997.
- Abramowski T. „Elementy multidyscyplinarnej optymalizacji wskaźników techniczno-ekonomicznych we wstępnym projektowaniu współbieżnym statków transportowych”. Szczecin: Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, 2011.
- Oleksiewicz B. „Morfologia metodyki projektowania okrętów. Dobór głównych parametrów statku”. Gdańsk: Politechnika Gdańska, Instytut Okrętowy, 1976.
- Sekulski Z. „Wybrane problemy optymalizacji wielokryterialnej we wstępnym projektowaniu konstrukcji kadłuba statków morskich”. Szczecin: Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, 2012.
- Chądzyński W. „Elementy współczesnej metodyki projektowania wybranych obiektów”. Szczecin: Wydawnictwa Naukowe Politechniki Szczecińskiej, 2001.
- Karczewski A., Piątek Ł. “Reducing the Environmental Impact of the Public Water Transportation Systems by Parametric Design and Optimization of Vessels’ Hulls. Study of the Gdańsk’s Electric Passenger Ferry (2015–2016)”. W: *Architecture for the Society of Knowledge*. Warszawa, 2016.
- Karczewski A., Kozak J. “Variant designing in the preliminary small ship design process”. *Polish Maritime Research*. 94, 2 (2017): s. 77–82. ■