

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**mgr inż. Wojciecha Górskiego**  
**pt.**

**„Metoda prognozowania wpływu prędkości i stanu załadowania  
na charakterystyki eksploatacyjne statku handlowego  
z wykorzystaniem sztucznej inteligencji”**

**przedstawionej**

**Radzie Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni**

**(promotor: prof. dr hab. inż. Zbigniew Burciu)**

**(promotor pomocniczy: dr hab. inż. Teresa Abramowicz-Gerigk, prof. AM)**

Podstawą wydania opinii jest pismo Dziekana Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni z dnia 16 grudnia 2013 roku [RWN-6/9/2013], w którym powołano się na uchwałę Rady Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni nr 14N/2013/RWN z dnia 12 grudnia 2013 r.

## **1. Uwagi ogólne**

Rozprawa przedstawiona przez pana mgr inż. Wojciecha Górskiego traktuje o bardzo ważnym i aktualnym problemie prognozowania wpływu prędkości i stanu załadowania statku na jego charakterystyki eksploatacyjne. Wypracowując własną metodę prognozowania tych zależności doktorant zdecydował się na wykorzystanie metod sztucznej inteligencji. Innymi słowy przedmiotem opiniowanej rozprawy doktorskiej jest metoda wyznaczania optymalnej prędkości pływania [i częściowo także innych parametrów eksploatacyjnych statku handlowego] biorąc pod uwagę dwa zasadnicze kryteria: minimalizacji zużycia paliwa przez silnik główny jako zasadniczego składnika kosztów eksploatacji statku oraz minimalizacji emisji dwutlenku węgla CO<sub>2</sub> jako zasadniczego czynnika wpływającego negatywnie na środowisko naturalne. Oba te cele optymalizacyjne są oczywiście wzajemnie powiązane, gdyż zmniejszenie zużycia paliwa musi pośrednio wpływać na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń.

Zdecydowanie zgadzam się z Autorem rozprawy, iż zagadnienie to jest niezwykle istotne i aktualne już nie tylko ze względu na troskę o wyniki ekonomiczne armatora statku, ale zwłaszcza ze względu na wzrost świadomości ekologicznej naszego społeczeństwa i co za tym idzie na wprowadzane coraz bardziej rygorystyczne przepisy międzynarodowe, również w transporcie morskim, ograniczające emisję zanieczyszczeń, w tym dwutlenku węgla. Rozwój cywilizacyjny związany jest z wykorzystywaniem dostępnych zasobów naturalnych, osiągnięć nauki i postępu technologicznego. Ma to bezpośredni lub pośredni wpływ na stan środowiska naturalnego oraz na stan naszego zdrowia. Dopiero dostrzeżenie konsekwencji wynikających z nieracjonalnego gospodarowania zasobami środowiska, braku troski o otaczającą przyrodę uświadomiło nam konieczność wprowadzania zmian w strategii rozwoju cywilizacji. Taką ideą, która wyznacza kierunki harmonijnego rozwoju we wszystkich obszarach oddziaływania człowieka jest zasada zrównoważonego rozwoju. Koncepcja ta zakłada planowanie takich działań, które zapewnią poprawę jakości życia ludzi we wszystkich obszarach ich funkcjonowania (społeczeństwo, gospodarka i środowisko), zarówno w czasie teraźniejszym jak w dalszej przyszłości. Można powiedzieć, że należy

już teraz poprzez rozsądne gospodarowanie i działania, zapewnić przyszłym pokoleniom odpowiednią jakość życia. Niezbędnym warunkiem w osiągnięciu zrównoważonego rozwoju jest prowadzenie edukacji ekologicznej społeczeństw. Dotyczy to zwłaszcza ograniczenia emisji zanieczyszczeń w produkcji przemysłowej oraz we wszystkich gałęziach transportu.

Istnieje zatem wyraźna potrzeba zbadania co podczas eksploatacji statku mogłoby spowodować zmniejszenie emisji zanieczyszczeń. Intuicyjnie wydaje się naturalne, że cel ten zostanie osiągnięty poprzez zmniejszenie zużycia paliwa. Zatem należałoby zastanowić się nad tym co może wpłynąć na ograniczenie zużycia paliwa. Istnieje więc wyraźna potrzeba wypracowania możliwie dokładnej i opartej na racjonalnych, naukowych podstawach metody wyznaczania optymalnej [z tego punktu widzenia] prędkości pływania oraz innych parametrów eksploatacyjnych statku w zależności od zmieniających się warunków eksploatacji w celu zredukowania zużycia paliwa i ograniczenia tym samym emisji zanieczyszczeń. Z tego względu **uważam podjęcie tej tematyki w rozprawie doktorskiej nie tylko za w pełni uzasadnione, ale wręcz szczególnie trafne.**

Autor sformułował cel swojej rozprawy (str. 12) w sposób następujący: *Celem praktycznym rozprawy jest opracowanie programu komputerowego pozwalającego na określenie parametrów eksploatacyjnych statku zapewniających obniżenie zużycia paliwa przez silnik główny, czyli innymi słowy budowa systemu wspomagania decyzji dla kadry menedżerskiej na statku. I postawił tezę rozprawy następującej treści: Zastosowanie metody wykorzystującej sztuczną inteligencję pozwoli na dobór prędkości, zanurzenia i przegłębienia statku umożliwiających zmniejszenie zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla podczas realizacji zadania transportowego.*

Powyższe sformułowania są jasne, logiczne i zrozumiałe. W precyzyjny sposób definiują intencje Autora oraz zapowiadają wybrany przez niego sposób osiągnięcia tych zamierzeń. W szczególności określają one prawidłowo postawiony problem naukowy.

Zaprezentowana metoda określania korzystnych parametrów eksploatacyjnych z punktu widzenia ograniczenia zużycia paliwa i emisji zanieczyszczeń została w dużej mierze zawężona do analizy i prognozowania prędkości. Pozostałe parametry wymieniane przez Autora, czyli zmiany zanurzenia i przegłębienia jednostki, z różnych przyczyn, zostały potraktowane w rozprawie, również chyba trochę mimo woli Autora, mniej priorytetowo. Zadanie zostało rozwiązane przy zastosowaniu modelu opartego na wykorzystaniu czterowymiarowej funkcji sklepanej NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*), której parametry dobierano przy użyciu algorytmu genetycznego.

Opracowanie modelu parametrycznego, zaproponowanego w pracy, poprzedzone zostało wnikliwą analizą znanych w literaturze przedmiotu modeli pod kątem przydatności w zagadnieniach interpolacji i ekstrapolacji danych pozyskiwanych w trakcie normalnej rutynowej eksploatacji statku. Model opracowany w ramach recenzowanej pracy pozwala poprzez interpolację na określanie charakterystyk eksploatacyjnych w szerokim spektrum zmienności parametrów a także umożliwia, oczywiście w pewnych uzasadnionych, ograniczonych przedziałach, ekstrapolację charakterystyk eksploatacyjnych poza przyjęty zakres, zdefiniowany przez dane wejściowe. W tym kontekście zaproponowana metoda wykazuje pewną dość istotną przewagę nad znanymi z literatury przedmiotu modelami, w tym także wykorzystującymi inne metody sztucznej inteligencji (np. te oparte o wykorzystanie sieci neuronowych), które wymagają opracowania osobnych zestawów parametrów dla różnych zanurzeń statku oraz wykazują słabe działanie w zadaniach ekstrapolacji. Wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji, Autor zajmował się już wcześniej, kilkanaście lat temu.

Jak sam Autor wskazał w *Podsumowaniu* przedstawiona w pracy analiza teoretyczna objęła następujące zagadnienia:

- usystematyzowanie problematyki modelowania charakterystyk eksploatacyjnych statków handlowych w zagadnieniach doboru wybranych parametrów,
- przegląd modeli wykorzystywanych do prognozowania charakterystyk eksploatacyjnych,
- badanie wpływu zmian legislacyjnych, głównie Międzynarodowej Organizacji Morskiej, w zakresie ograniczenia szkodliwych emisji ze statków na parametry eksploatacji jednostek pływających,

- określenie, na podstawie zebranych danych z prób modelowych, wpływu podstawowych parametrów eksploatacyjnych na zużycie paliwa i wielkość emisji zanieczyszczeń,
- ocenę możliwości i zakresu stosowania metod sztucznej inteligencji, w tym w szczególności algorytmów genetycznych, do rozwiązywania zadania doboru parametrów modelu charakteryzującego eksploatację statku,
- sformułowanie zadania doboru korzystnych parametrów eksploatacyjnych i wskazanie sposobu jego rozwiązania,
- opracowanie algorytmów rozwiązania problemów cząstkowych, tj. algorytmu genetycznego wzbogaconego o operatory przeszukiwania lokalnego oraz algorytmu generowania hiperpowierzchni czterowymiarowej NURBS.

Natomiast w części praktycznej pracy przedstawiono:

- implementację zaproponowanej metody określania parametrów modelu charakteryzującego eksploatację statku w postaci programu komputerowego opartego na wykorzystaniu algorytmu genetycznego,
- weryfikację opracowanej metody i programu komputerowego w oparciu o dane uzyskane na podstawie badań na modelach fizycznych,
- rozwiązanie, za pomocą opracowanego programu komputerowego, zadania wyznaczania korzystnych parametrów eksploatacyjnych przy uwzględnieniu określanych przez użytkownika ograniczeń.

Dowód tezy objął:

- opracowanie modelu wpływu parametrów eksploatacyjnych na zużycie paliwa,
- opracowanie i aplikację, w postaci programu komputerowego, metody doboru parametrów modelu przy wykorzystaniu algorytmu genetycznego,
- sprawdzenie funkcjonalności metody w zagadnieniach aproksymacji, interpolacji i ekstrapolacji zużycia paliwa rejestrowanego w trakcie eksploatacji jednostki,
- weryfikację metody w oparciu o rozwiązanie zadania doboru korzystnych, pod względem ograniczenia zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla, parametrów eksploatacji statku.

Zanim przejdę do oceny oryginalnych propozycji Autora, zapowiedzianych w rozdziale 2, przedstawionych głównie w drugiej części pracy, a przygotowywanych w części pierwszej, uznaję za celowe zgłoszenie kilku drobnych uwag terminologicznych odnoszących się szczególnie do bliskiemu mi, a zarazem fundamentalnego dla pracy terminu *żegluga*, odnoszę wrażenie, iż utożsamianego przez Autora w pracy z pojęciem *nawigacja*. Autor używa tego terminu wielokrotnie, odmieniając go przez wszystkie przypadki, w różnym kontekście, za każdym razem definiując to pojęcie nieco inaczej, nie zawsze zbyt ściśle i nie zawsze zbyt fortunnie (np. na str. 12, 17, 22-25, 36, 39, 49, itd.). Na str. 12 precyzując kiedy zaproponowana przez niego metoda znajduje zastosowanie Autor użył niezrozumiałego sformułowania *żegluga statku na kursie prostym (proszę o wytłumaczenie o co chodzi)*. Jeszcze bardziej zastanawiające jest następne z podanych ograniczeń stosowania zaproponowanej metody - *żegluga statku po akwenach nieograniczonych bez wpływu prądów morskich*. Zastanawiam się czy i gdzie takie akweny występują. Jeżeli odpadają akweny ograniczone i te gdzie występują prądy morskie, to niewiele akwenów pozostanie na „skonsumowanie” zaproponowanej metody. Na str. 24 Autor użył terminu *parametry szlaków żeglugowych*, w kontekście, jak można się domyśleć, ograniczeń ze względu na dopuszczalne zanurzenie statku wynikające z ograniczeń głębokości. Natomiast jeszcze na tej samej stronie (str. 24) pojawia się określenie *parametry żeglugi* i tu w nawiasie jest wyjaśnienie, co tym razem Autor miał na myśli. Otóż owe *parametry żeglugi* to zdaniem Autora zmniejszenie zanurzenia i redukcja prędkości. Zdecydowanie chciałbym zaprotestować przeciwko takim uproszczeniom i niefortunnym sformułowaniom. Autor zastosował tu pewien skrót myślowy, niestety, co stwierdzam z ubolewaniem, bardzo często stosowany przez licznych Autorów z obszaru nawigacji, hydromechaniki, czy innych dyscyplin pokrewnych. Sądzę jednak, iż należy tą drobną „wpadkę” potraktować, jako błąd

językowy, o ile to uproszczenie nie było poczynione przez Autora z premedytacją, bo wówczas byłby to już ewidentny błąd merytoryczny.

I jeszcze jedna ważna uwaga terminologiczna nawiązująca go poprzedniej uwagi. Zdecydowanie nie podoba mi się, wręcz irytuje mnie, użycie w pracy sformułowań *parametry rejsu* (np. na str. 2-3, str. 11, str. 35, str. 41, str. 44-46, str. 47, str. 59, rys. 7.7 na str. 60, str. 123, str. 126, tabela 10.3-10.5 na str. 127-128, str. 129-132, str. 142), czy *parametry żeglugi* (np. na str. 24, str. 84, str. 118, str. 128, str. 130) i utożsamianie ich w zasadzie z *parametrami eksploatacyjnymi statku*, zresztą ograniczonymi arbitralnie chyba nie do końca słusznie jedynie do prędkości, zanurzenia i przegłębienia. Pojęcie *parametry rejsu* wydaje się pojęciem znacznie szerszym od pojęcia *parametry eksploatacyjne statku*, aczkolwiek rzadko stosowanym. Jeszcze szersze znaczenie ma pojęcie *parametry żeglugi*. Poza tym *parametrów eksploatacyjnych statku*, jak już wspomniałem, można wymienić znacznie więcej niż to czyni Autor rozprawy, który ograniczył się do tych trzech jego zdaniem najistotniejszych.

Stwierdzam też brak definicji lub choćby zwięzłego sprecyzowania tego, czym Autor przede wszystkim zajmuje się w rozprawie, czyli takich mianowicie pojęć, jak *systemy wspomaganie decyzji*, czy choćby wspomniane przed chwilą *parametry eksploatacyjne statku*, *parametry rejsu*, czy wreszcie *parametry żeglugi*. Co to są parametry eksploatacyjne statku, to raczej wiadomo, ale co dokładnie oznacza termin *metoda ich prognozowania* i to jeszcze przedstawiony jako system wspomagający nawigację, może być już nieco trudniejsze do objaśnienia. Określenie to pojawia się w pracy wielokrotnie. Oczywiście można założyć (jak to prawdopodobnie uczynił Autor), że dla specjalistów jest to pojęcie "pierwotne", jednak z drugiej strony - zaproponowane w pracy rozwiązania mogą przecież znaleźć zastosowania także w innych dziedzinach, nie tylko w transporcie morskim. A więc recenzowana rozprawa może być adresowana nie tylko do wąskiego grona specjalistów. Uważam to zresztą za jej dodatkowy walor, który mógłby być dodatkowo jeszcze wzmocniony definicjami najważniejszych, choćby tych wspomnianych przed chwilą pojęć. W technologii systemów informatycznych (a takim systemem jest *par excellence* zaproponowane przez Autora rozwiązanie, odpowiednio zorientowane tematycznie i oprzyrządowane komputerowo) klarowne definiowanie pojęć jest konieczne, wręcz niezbędne.

Są to jednak jedynie uwagi formalne, nieumniejszające merytorycznej wartości zasadniczych wyników Autora. A wartością tą jest udowodnienie trafnie i jasno sformułowanej hipotezy, iż możliwe jest zastosowanie metody wykorzystującej sztuczną inteligencję pozwalającej na dobór prędkości, zanurzenia i przegłębienia statku umożliwiających zmniejszenie zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla podczas realizacji zadania transportowego.

W rozwiązaniu wspomnianych powyżej zadań kluczową rolę odgrywa właściwe modelowanie charakterystyk eksploatacyjnych statku, co stanowi główny element niniejszej pracy. Czym są jednak charakterystyki eksploatacyjne statku? Moim zdaniem niekoniecznie zawsze tym, czym chciałby je widzieć Autor. Niemniej, opracowana metoda doboru parametrów eksploatacyjnych statku, nawet niedoskonała, może mieć zastosowanie w praktyce żeglugowej, w szczególności w kontekście wzrastających kosztów eksploatacyjnych oraz zmian w międzynarodowym ustawodawstwie morskim. Wchodzące w życie rezolucje IMO dotyczące minimalizacji emisji zanieczyszczeń w transporcie morskim narzucają wdrożenie metod doboru odpowiednich parametrów eksploatacyjnych jako jeden z istotnych elementów realizacji ambitnych celów proekologicznych, jakie postawiły sobie społeczeństwa państw morskich. Autor moim zdaniem słusznie przewiduje, iż implementacja zaproponowanej w niniejszej pracy metody w postaci programu komputerowego powinna jak najszybciej zostać wykorzystana w codziennej praktyce żeglugowej, a opracowana metoda nie tylko znacząco wpłynie na podniesienie bezpieczeństwa żeglugi, ale też wpłynie pozytywnie na aspekt ekonomiczny i ekologiczny.

Moim zdaniem, istotną cechą zaproponowanej metody, w znaczący sposób rozszerzającą jej potencjał aplikacyjny, jest oparcie się na rzeczywistych danych eksploatacyjnych, coraz szerzej dostępnych dzięki upowszechnieniu się statkowych systemów diagnostycznych, umożliwiających dokładne określenie i rejestrację parametrów systemów statku i warunków żeglugi. Takie podejście w sposób naturalny umożliwia uwzględnienie zmian charakterystyk eksploatacyjnych statku, które

wynikają z odstępstw od teoretycznego projektu poczynionych na etapie budowy czy też wprowadzonych już w trakcie eksploatacji. Zdaniem Autora, opracowana metoda może znaleźć także zastosowanie w rozwiązywaniu takich praktycznych zagadnień jak:

- dobór ilości i alokacji balastu wodnego,
- racjonalne określenie terminów dokonania czyszczenia kadłuba i śruby napędowej.

Z tym mogę się zgodzić, natomiast mniej wyraźnie widzę możliwość zastosowania tej metody do planowania tras żeglugi statku z uwzględnieniem warunków pogodowych, jak chce Autor (str. 130), zwłaszcza że Autor sam sobie zaprzecza ograniczając w rozdziale 2 możliwość stosowania swojej metody wyłącznie do dobrych warunków pogodowych (str. 12).

W każdym razie, jest to typowy system wspomaganie decyzji, w tym wypadku decyzji konstruktora, armatora, kapitana statku, starszego mechanika, starszego oficera. Możliwość realizacji systemu wspomaganie decyzji może mieć w najbliższym czasie istotne znaczenie i zrewolucjonizować już nie tylko nawigację morską, gdzie to się dzieje już od lat, ale także aspekty projektowania i eksploatacji siłowni okrętowych. Możliwości technologiczne pozwalają na to. **Zasadność podjęcia określonego w tytule rozprawy tematu badań wydaje się więc oczywista.**

Muszę jednak uczciwie przyznać, iż podczas zapoznawania się z pracą pojawiły się wątpliwości czy jest to rozprawa naukowa *sensu stricto*, czy jedynie rozbudowany projekt inżynierski, rozwiązanie aplikacyjne złożonego zadania technologicznego. I choć te wątpliwości nie zniknęły do końca, starałem się doszukać w pracy istotnych elementów oryginalnych. Zastanawiałem się czy Autor wprowadził taki element twórczy do swej pracy badawczej, który byłby **dysertabilny**, a także sprzyjał osiągnięciu założonych celów. Dziś z perspektywy czasu stwierdzam zdecydowanie, że tak, że **to się Autorowi udało**, choć drogę ku temu Autor wybrał niekoniecznie najkrótszą, zmuszając nieraz recenzenta do poruszania się w gąszczu rzeczy zbędnych w poszukiwaniu myśli oryginalnej, twórczej (patrz: 4. *Wartość naukowa i aplikacyjna rozprawy* oraz 6. *Uwagi szczegółowe*). Bo nie ulega wątpliwości, iż są w pracy fragmenty całkowicie zbędne, które niepotrzebnie zaciemniają obraz rozprawy, prowadząc czytelnika niejako na manowce.

Liczne ograniczenia istniejących rozwiązań skłoniły Autora pracy do opracowania własnego systemu wspierającego podejmowanie kluczowych decyzji [na statku] dotyczących eksploatacji statku i tym samym transportu morskiego w sensie ogólnym.

Metoda prognozowania zużycia paliwa opracowana w ramach pracy oparta jest o model tzw. szarej skrzynki (*grey box*), zbudowanej poprzez połączenie modeli tzw. czarnej i białej skrzynki, wykorzystując powierzchnię NURBS określoną w przestrzeni czterowymiarowej. Parametry hiperpowierzchni aproksymującej dane eksploatacyjne określane są przy użyciu algorytmu genetycznego wzbogaconego o specjalizowany operator przeszukiwania lokalnego. Wykorzystanie hiperpowierzchni NURBS jako podstawy opracowania modelu zużycia paliwa stanowi oryginalne rozwiązanie, dzięki któremu w znaczący sposób poprawiono działanie modelu w zakresie interpolacji (rozwiązania znane z literatury wymagały oddzielnych modeli dla każdego z rozpatrywanych zanurzeń).

Zastosowany model pozwolił także w miarę poprawny sposób prognozować zużycie paliwa poza zakresem parametrów, dla których uzyskano dane eksploatacyjne. Dzięki temu w znaczący sposób poprawiono możliwości ekstrapolacji w stosunku do znanych rozwiązań opartych o wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych. Opracowana metoda została zaimplementowana w postaci programu komputerowego pozwalającego na dobór korzystnych, pod względem ograniczenia zużycia paliwa i emisji zanieczyszczeń, parametrów eksploatacji statku. Funkcjonalność programu została zweryfikowana dla konkretnej jednostki operującej na typowej dla siebie trasie.

## 2. Zasadność podjęcia tematyki rozprawy

W eksploatacji statku handlowego, podstawowe znaczenie na równi z niezawodnością i bezpieczeństwem, ma efektywność ekonomiczna zadania transportowego. Jest ona rozpatrywana w

odniesieniu do pojedynczego statku, jak również całej floty statków eksploatowanych przez operatora/armatora. Jednym z podstawowych parametrów wpływających na koszty eksploatacji statku i floty jest koszt paliwa. Wielkość zużycia paliwa jest także czynnikiem determinującym ilość szkodliwych substancji emitowanych do środowiska w trakcie rejsu. Stąd ograniczenie zużycia paliwa ma wymiar nie tylko ekonomiczny, ale także ekologiczny.

Zużycie paliwa przez silnik główny jest jednym z najistotniejszych parametrów charakteryzujących właściwości eksploatacyjne statku handlowego. Od momentu powszechnego wprowadzenia napędu mechanicznego statków, jako istotne kryterium oceny jakości statku przyjęto zapewnienie utrzymania określonej przez armatora prędkości, przy dostarczeniu możliwie małej ilości energii.

Transport morski zmienia się pod wpływem warunków zewnętrznych związanych z rozwojem technologii morskich, zmianą lokalizacji centrów dystrybucyjnych i wielkości strumieni towarów czy też przepustowości dróg wodnych i infrastruktury brzegowej. Istotnym czynnikiem zmian jest także rosnąca świadomość wpływu transportu na stan środowiska naturalnego. Przejawia się to między innymi zmianami legislacyjnymi, w szczególności przepisów IMO dotyczących ograniczenia emisji dwutlenku węgla ze statków. Zgadzam się ze stwierdzeniem, iż problem ten jest jednym z ważniejszych podstawowych problemów badawczych, wymagających obecnie szybkiego rozwiązania.

Jak wskazują analizy IMO ograniczenie emisji nie powinno być realizowane jedynie na etapie projektowania statku. Optymalizacja konstrukcji i systemów statku pod kątem efektywności energetycznej jest istotnym, choć nie jedynym, czynnikiem ograniczającym negatywny wpływ na środowisko. Zastosowanie odpowiednich rozwiązań w trakcie eksploatacji statku cechuje się równie wysokim potencjałem redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Można wyróżnić szereg parametrów eksploatacyjno-technicznych, które bezpośrednio wpływają na wielkość dobowego zużycia paliwa. Wśród elementów umożliwiających obniżenie emisji w największym stopniu jest dobór odpowiedniej prędkości. Podczas eksploatacji załoga statku rzeczywiście ma bezpośredni wpływ na ten parametr eksploatacyjny. Oczywiście będzie on uzależniony od warunków zewnętrznych, w tym warunków hydro-meteorologicznych. Na pozostałe dwa parametry wskazane przez Autora, a mianowicie zanurzenie średnie, i przegłębienie załoga ma mniejszy wpływ. Te dwa parametry wynikają bezpośrednio ze stanu załadowania jednostki. A zatem nadają się do zoptymalizowania raczej na etapie projektowania jednostki, niż jej eksploatacji. Pewien margines manewru decyzyjnego, bardzo ograniczony zresztą, daje jedynie operacja balastem wodnym. Ale w morzu nie ma specjalnego miejsca na taką „zabawę” balastami.

Rozwiązanie tych zadań opiera się o wykorzystanie wiarygodnych, prostych w aplikacji i uniwersalnych modeli prognozowania zużycia paliwa, a co za tym idzie, emisji zanieczyszczeń.

Warto przy tym zauważyć, że wymogi dotyczące ograniczenia emisji współgrają z interesami przewoźników, ponieważ ograniczenie emisji jest najczęściej równoznaczne z minimalizacją zużycia paliwa, które jest najistotniejszym składnikiem kosztów zmiennych eksploatacji statku. Stąd rozwiązanie problemu badawczego prognozowania wpływu prędkości, zanurzenia i przegłębienia statku na zużycie paliwa i emisję CO<sub>2</sub> poprzez implementację opracowanej metody w postaci programu komputerowego ma także istotne znaczenie praktyczne.

Wdrożenie, postulowanych przez IMO, rozwiązań na poziomie eksploatacji floty i poszczególnych statków wymaga, aby zaproponowana metoda prognozowania wielkości emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa cechowała się:

- wiarygodnością prognozowanych wielkości,
- możliwością stosowania w odniesieniu do różnych typów statków,
- możliwością zastosowania spójnego modelu dla szerokiego zakresu zmienności podstawowych parametrów eksploatacyjnych,
- możliwością ekstrapolacji wyników poza zakres, dla którego znane są rozwiązania,
- możliwością wykorzystania podczas rejsu,
- prostotą użytkowania.

