

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Górskiego

p.t. Metoda prognozowania wpływu prędkości i stanu załadowania na charakterystyki eksploatacyjne statku handlowego z wykorzystaniem sztucznej inteligencji

(podstawa prawna recenzji: pismo Dziekana Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni z dnia 16.12.2013r.)

1. Ocena podjęcia tematu rozprawy

Problem zużycia paliwa w transporcie morskim, jest istotny z dwojakiego powodu. Pierwszy czynnik to względy ekonomiczne. Przeciętny udział kosztów paliwa w kosztach całkowitych zawiera się w granicach 30-40%. Stąd minimalizacja zużycia wpływa znacząco na minimalizację kosztów całkowitych transportu morskiego. Ograniczenie zużycia paliwa wiąże się bezpośrednio z ograniczeniem emisji zanieczyszczeń do środowiska naturalnego. To drugi czynnik, który wymusza minimalizację zużycia paliwa. Przy ustalonym stanie technicznym silników spalinowych, wielkość emisji zależy bezpośrednio od wielkości zużycia paliwa.

Wzrost świadomości ekologicznej społeczeństw państw wysokorozwiniętych, wpływa bezpośrednio na ogłaszanie przez organizacje międzynarodowe, regionalne, państwowe przepisów, zaleceń dotyczących wskaźników wielkości emisji zanieczyszczeń. W wielu przypadkach wymaga to instalowanie nowych, kosztownych układów wydechowych. Silniki spalinowe nowej generacji o zmniejszonym poziomie emisji zanieczyszczeń z zasady powodują wzrost cen nowo budowanych statków. Niezależnie więc od klasy statku, stosowanych układów napędowych, minimalizacja zużycia w trakcie rejsu jest ważnym i istotnym czynnikiem w minimalizacji emisji zanieczyszczeń i kosztów transportu.

W przypadku jednostek nowobudowanych w fazie projektowania przyjmuje się rozwiązania zapewniające spełnienie wszystkich wymaganych przepisów dotyczących wielkości emitowanych zanieczyszczeń. Obowiązują one dla ściśle określonych stanów eksploatacyjnych (zanurzenie, prędkość, stan morza). W rzeczywistych warunkach nawigacyjnych zużycie paliwa uzależnione jest od wielu czynników technicznych, nawigacyjnych, ekonomicznych różniących się od założonych projektowych. Oddziaływanie tych czynników jest często przeciwstawne. Utrudnia to proces optymalizacyjny. Wśród wielu elementów wpływających na obniżenie zużycia paliwa, a więc i emisji w trakcie eksploatacji zasadniczy wpływ mają:

- stan załadowania – zanurzenie, przegłębienie,
- prędkość pływania,

- warunki nawigacyjne - stan morza, kierunek wiatru, prądy,
- trasa rejsu.

W trakcie trwania rejsu można w zasadzie przyjąć, że ustalony jest stan załadowania oraz czas trwania rejsu. Z zasady jednak brak informacji o wielkości zużycia paliwa dla dowolnego, innego niż założone projektowe stany eksploatacyjne. Pierwsze zadanie sprowadza się więc to określenie wielkości zużycia paliwa dla dowolnego stanu załadowania. Przy określonej trasie, czas trwania narzuca wymaganą prędkość pływania. Problem optymalizacji można więc sprowadzić do wyboru trasy, określenia prędkości pływania która zapewni minimalizację zużycia paliwa przy uwzględnieniu zmiennych warunków nawigacyjnych. Jest to zadanie trudne z uwagi na brak dokładnych informacji o oporach ruchu przy zmiennych warunkach nawigacyjnych i stanie załadowania.

W recenzowanej rozprawie, Doktorant za cel rozprawy przyjął: „*opracowanie metody predykcji zużycia paliwa w zależności od parametrów eksploatacyjnych statku-prędkości, zanurzenia i przegłębienia, na podstawie danych rejestrowanych w trakcie użytkowania jednostki*”. Można przyjąć, że założony cel to pierwszy krok do stworzenia metody umożliwiającej w czasie rzeczywistym określać parametry pracy układu napędowego, które zapewniają minimalizację zużycia paliwa. W pracy wyraźnie określono wszystkie założone uproszczenia jak i wymagania jakie będzie spełniać opracowana metoda. Przedstawiono to szczegółowo w rozdziale drugim pracy. Założono, że główne wymagania jakie ma spełniać metoda to:

- prosta i łatwa w zastosowaniu w trakcie rejsu,
- możliwość stosowania do statków różnych typów,
- duża wiarygodność otrzymywanych prognoz,
- duży zakres zmienności przyjętych podstawowych parametrów eksploatacyjnych,
- możliwość ekstrapolacji poza zakres przyjętych parametrów w opracowania metody.

Wyniki opracowanej metody zostały zweryfikowane w oparciu o wyniki badań modelowych i pomiarów zużycia paliwa w warunkach rzeczywistych. Należy uznać, że tematyka rozprawy doktorskiej wpisuje się w strategię rozwoju transportu morskiego. W ramach tej strategii minimalizacja emisji zanieczyszczeń do atmosfery, a więc minimalizacja zużycia paliwa to priorytetowe kierunki rozwoju.

2. Ocena ogólna pracy

Całość pracy liczy 156 stron. Treść właściwa zawarta jest na 132 stronach i podzielona na 11 rozdziałów. Pozostałe strony to spis literatury i załączniki. W części pierwszej rozprawy (rozdziały 1 do 5) przedstawiono uzasadnienie założonego celu pracy. Omówione zostały metody oceny efektywności energetycznej statków. Podane zostały podstawowe parametry determinujące wielkość zużycia paliwa. Zgodnie z tezą przyjęto, że podstawowe parametry eksploatacyjne wpływające na wielkość zużycia to:

- prędkość,
- zanurzenie,
- przegłębienia

Z tych trzech parametrów tylko wpływ prędkości jest jednoznaczny. Przegłębienie ma raczej ograniczony wpływ na prognozowanie zużycia paliwa. Przy określonym stanie załadowania możliwości wyboru najkorzystniejszego przegłębienia są ograniczone. Krótko omówiono metody określania charakterystyk eksploatacyjnych w fazie projektowania i eksploatacji. Wymieniono tu metody uproszczone, numeryczne, oraz oparte o wyniki badań modelowych. Dużo uwagi poświęcono metodom wykorzystującym pomiary wykonywane w trakcie eksploatacji. Analizę metod kończy obszerny przegląd literatury i metod sztucznych sieci

neuronowych (ANN) wykorzystywany w prognozowaniu osiągow statku. Zasadniczo problem sprowadza się do określenia wymaganych parametrów pracy źródła napędu (silnik spalinowy, turbina gazowa) dla zapewnienia określonej prędkości pływania przy minimalnym zużyciu paliwa.

Prędkość pływania zależy od czasu pokonania trasy rejsu. Czas ten wynika z planowanego dotarcia do portu przeznaczenia. Wybór trasy rejsu jest stosowany często jako element optymalizujący zużycie paliwa. Wpływ prędkości pływania jest jednoznaczny. Zredukowana prędkość pozwala na znaczące obniżenie zużycia paliwa. Jednak z uwagi na szereg innych aspektów (liczba rejsów, bezpieczeństwo) nie zawsze przynosi to globalne oszczędności. Za podsumowanie tych rozważań można uznać przedstawiony w rozdziale 6 ogólny model metody wyznaczania zużycia paliwa. Opiera się on na zastosowaniu procesu identyfikacji, strojenia i prognozowania. Proces identyfikacji to wykorzystanie wyników badań modelowych i metod uproszczonych. Są podstawą budowy funkcji aproksymujących zależność zużycia paliwa od parametrów eksploatacyjnych. W procesie strojenia stosuje się algorytmy genetyczne. Dodatkową zaletą tych algorytmów jest możliwość „uczenia” się programu. Uczenie oparte jest na wykorzystaniu wyników pomiarów w warunkach eksploatacji. Końcowy etap to wykorzystanie systemu do prognozowania zużycia paliwa. Zagadnieniem istotnym w wykorzystaniu algorytmów genetycznych jest algorytm szukania rozwiązania najlepszego.

W rozdziale 7 przedstawiono ogólną charakterystykę zastosowanego algorytmu genetycznego. Służy do aproksymacji funkcji modelu parametrycznego. Opracowano algorytm obliczeń i program do wyznaczania optymalnych parametrów rejsu. Z uwagi na wprowadzone zmiany w stosunku do obowiązujących w wersjach poprzednich, ta część pracy stanowi istotny wkład doktoranta w rozwoju wykorzystania metod sztucznej inteligencji do prognozowania zużycia paliwa w zależności od przyjętych parametrów eksploatacyjnych. Wprowadzono funkcję oceniającą oraz celu. Funkcja celu służy do oceny stopnia dopasowania funkcji aproksymującej. W przypadku algorytmu poszukiwania wartości najlepszej na str. 51 (ostatni wiersz) stwierdza się, że algorytmy genetyczne to skuteczne narzędzie optymalizacyjne, przy „braku zależności od wyboru punktu startowego”. Na stronie 58 stwierdza się, że jakość rozwiązania zależy od doboru punktu startowego (problem optymalizacji globalnej i lokalnej, rys. 7.5).

Podstawa do procedury strojenia i prognozowania przy zastosowaniu algorytmów genetycznych są funkcje aproksymujące. Zależność dobowego zużycia paliwa od prędkości aproksymowano funkcją wykładniczą. Pozwala na dokładną ekstrapolację poza zakresem pomiarów. Przy ustalonej prędkości podstawą do określenia dobowego zużycia paliwa przez główne silniki napędowe jest znana zależność (wzór 8.1). Przyjęto, że tylko opór kadłuba R_T wymaga opracowania lub wykorzystania istniejących procedur jego określania dla ustalonych parametrów geometrycznych i eksploatacyjnych. W przypadku pozostałych założono, że są niezależne od zmiennych parametrów eksploatacyjnych, zdeterminowane, lub możliwe do określenia w oparciu o znane procedury. Takie założenie w stosunku do sprawności napędu może nasuwać jednak szereg wątpliwości. Z wielu znanych metod w literaturze wstępnie przyjęto do budowy modelu parametrycznego metodę Holtropa i Mennena (HM), oraz Hollenbacha (HBA).

W przypadku metody HM, Doktorant wprowadza nowe postacie współczynników. Zaciemnia to niekiedy sens fizyczny zależności. Zawarty w pracy opis metody HBA, nasuwa wiele wątpliwości. Dotyczy to np. zakresu zmienności użytych współczynników (tabl. 8.1 i 8.2). Brak jest również wyjaśnień użytych symboli (wzór 8.36 – N_{Rud} , N_{Brac} , itd.) Z uwagi na różne definicje liczby Froude’a, można mieć zastrzeżenia do zastosowanego we wzorze 8.36 symbolu F_r . Opracowano również dwa własne modele parametryczne określenia oporów pływania statków (MP1 i MP2). Pojawia się tu wątpliwość co do zastosowanych

współczynników A_i i obowiązującego zakresu zmienności. Dla wybranych trzech jednostek przeprowadzono ocenę aproksymacji funkcji zużycia paliwa w zależności od zastosowanego modelu parametrycznego. Wyniki wykazały, że żadna z tych metod nie spełnia wymogu uniwersalności. Te wyniki były podstawą do opracowania nowego modelu parametrycznego (MP3).

Model opiera się na przedstawieniu danych z eksploatacji jako punkty przestrzeni 4-wymiarowej, a współczynnik oporu resztowego jest funkcją prędkości, zanurzenia i przegłębienia. Sama zależność (wzór 8.48) która jest podstawą do aproksymacji współczynnika oporu resztowego nie ma charakteru zależności typu fizycznego. Graficzne przedstawienie wyników aproksymacji pozwala na ocenę wpływu poszczególnych parametrów na wielkość zużycia paliwa. Do graficznej prezentacji wyników zastosowano metodę hiperpowierzchni NURBS. Opracowany model parametryczny, sposób wykorzystania hiperpowierzchni NURBS do aproksymacji zbioru punktów w przestrzeni parametrów eksploatacyjnych jest istotnym osiągnięciem Doktoranta.

Przedstawiona w rozdziale 9 weryfikacja modeli parametrycznych dla 5 jednostek o różnym przeznaczeniu i wielkości wykazała wyższość opracowanego modelu parametrycznego MP3 nad pozostałymi. Cechuje się korzystnymi własnościami zarówno w zakresie ekstrapolacji jak i interpolacji danych pomiarowych. Umożliwia określenie charakterystyk eksploatacyjnych w szerokim zakresie zmienności parametrów rejsu.

Przedstawione przykładowe porównanie wyników pomiarów zużycia paliwa z wynikami uzyskanymi w oparciu o model parametryczny MP3, wskazuje na ich dobrą zgodność. Uzyskuje się prawidłową tendencję zmian w przypadku ekstrapolacji poza zakres rejestrowanych danych. W większości przypadków uzyskano mniejsze zużycie paliwa przy pływaniu z przegłębieniem na dziób (przegłębienie dodatnie zgodnie definicją w polskiej literaturze okrętowej, np. J. Dudziak 2008). Powszechnie uważa się, że opory ruchu przy przegłębieniu na dziób wzrastają, co przekłada się na większe zużycie paliwa. Brak tu szerszego komentarza w odniesieniu do tych wyników. Na przedstawionych w tym rozdziale wykresach służących do oceny modeli parametrycznych użyto określenia „wartości miary”. Brak definicji tego pojęcia.

Wykazano, że metodę można wykorzystywać do wyznaczenia optymalnych parametrów eksploatacji statku dla określonej trasy rejsu (rozdział 10). Należy tu jednak mieć na uwadze, że metoda nie uwzględnia wpływu czynników zewnętrznych (stan morza, wiatr, prądy). Nie można tego jednak traktować jako zarzutu. Założono na wstępie, że te elementy w tej pracy nie będą uwzględniane. W ocenie wyników obliczeń w tym rozdziale, brak krótkiego komentarza o charakterze kosztów ogólnych. Nie zawsze spadek prędkości, a więc mniejsze zużycie paliwa przekłada się globalnie na korzyści.

Ostatni rozdział pracy to podsumowanie i wnioski. Przedstawiono tam istotne osiągnięcia pracy, korzyści z stosowania opracowanej metody doboru parametrów eksploatacyjnych. Wymieniono również kierunki dalszych prac, w tym takich jak:

- uwzględnienie wpływu warunków środowiskowych,
- zwiększenie dostępności danych rejestrowanych w trakcie żeglugi.

Nie wnoszę istotnych zastrzeżeń do stylu, języka i strony edytorskiej rozprawy. Nie ustrzeżono się jednak drobnych niedociągnięć. Nie wpływają one na poziom rozprawy, choć mogą sprawiać trudności w interpretacji niektórych założeń. Istotne niedociągnięcia zostały zasygnalizowane przy ogólnej ocenie pracy.

2. Podsumowanie. Wniosek końcowy

Mimo zawartych w ocenie ogólnej krytycznych uwag uważam, że cel pracy został przedstawiony w sposób jasny i konsekwentnie potem zrealizowany. Rozprawa doktorska charakteryzuje się celowo dobraną i ważną szczególnie do zastosowań w praktyce morskiej tematyką. Daje bardzo wygodne, wiarygodne dla różnorodnych typów statków narzędzie do prognozowania wielkości zużycia paliwa w zależności od przyjętych podstawowych parametrów eksploatacyjnych. W kontekście zaleceń IMO opracowana metoda powinna być wykorzystana w praktyce żeglugowej. Ułatwi dobór takich parametrów eksploatacyjnych, aby można było spełniać wymogi dotyczące wielkości emitowanych zanieczyszczeń do środowiska. Zasadnicze osiągnięcia w tej pracy to:

- opracowanie własnego modelu parametrycznego do oceny oporów ruchu, a w dalszej kolejności do określenia wielkości zużycia paliwa,
- twórcze wykorzystanie algorytmów genetycznych do prognozowania zużycia paliwa: operatory przeszukiwania lokalnego, algorytm generowania 4 wymiarowej hiperpowierzchni NURBS,
- użytkowe programy komputerowe do prognozowania zużycia paliwa dla określonych stanów eksploatacyjnych statku oraz wyznaczania korzystnych parametrów rejsu,
- weryfikacja opracowanych metod obliczeniowych w oparciu o dostępne wyniki badań na modelach fizycznych

Wymienione wyżej fakty upoważniają do stwierdzenia, że Doktorant jest przygotowany, aby prowadzić samodzielnie badania naukowe oraz wykazują Jego dużą wiedzę i umiejętności w dyscyplinie Transport, w której mieszczą się zagadnienia poruszane w rozprawie.

Stwierdzam zatem, że zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki przedstawiona do recenzji praca odpowiada wymaganiom, jakie wynikają z art. 13, pkt 2 ustawy. W związku z czym:

przedstawiona do recenzji praca spełnia warunki stawiane przez ustawę o tytułach i stopniach naukowych. Może stanowić podstawę dopuszczenia do publicznej obrony i nadania mgr inż. Wojciechowi Górskiemu stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie Transport.

