

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Anny Miller

**p.t. „ Synteza elektronawigacyjnego układu sterowania
automatycznego ruchem równoległym statków
z wykorzystaniem metod predykcyjnych”**

**opracowana dla Rady Naukowej Wydziału Elektrycznego
Akademii Morskiej w Gdyni**

1. Tematyka pracy doktorskiej na tle aktualnego stanu wiedzy.

Dynamiczny rozwój inżynierii i technologii komputerowej, powstawanie i upowszechnianie się nowych narzędzi informatycznych, zarówno o charakterze hardware'owym, jak i software'owym oraz opracowanie i skuteczne wdrażanie innowacyjnych metod sterowania automatycznego, otwiera nowe drogi i perspektywy w automatyzacji, robotyzacji i komputeryzacji procesów przemysłowych, działań inżynierskich oraz usług o charakterze intelektualnym, które do niedawna uchodziły za wyłączną domenę działalności człowieka. Wyzwania te wiążą się praktycznie ze wszystkimi gałęziami przemysłu, jak też z szeroką sferą usług, nie omijając również gospodarki morskiej i techniki okrętowej. Szczególnie dynamiczny i przynoszący olbrzymie korzyści postęp dokonał się w zakresie rozwoju i wdrażania urządzeń i systemów elektro nawigacyjnych, jak też w zakresie doskonalenia metod automatycznego sterowania jednostkami pływającymi, które z jednej strony są

ukierunkowane na podnoszenie bezpieczeństwa żeglugi, z drugiej zaś – na zwiększenie efektywności ekonomicznej.

Stale poszerza się zakres możliwych do automatycznej realizacji, bądź też – do skutecznego wspomaganie trajektorii ruchu statków przy uwzględnieniu coraz to trudniejszych warunków środowiskowych i atmosferycznych, na akwenach otwartych i zamkniętych – i przy uwzględnieniu rosnącej liczby przeszkód statycznych i dynamicznych.

Manewrem, który nabiera w obecnej dobie rosnącego znaczenia z punktu widzenia technicznego, ekonomicznego oraz militarnego jest przeładunek statków w ruchu. Manewr ten, ze względu na wysoki stopień złożoności, wymaganą precyzję oraz wysokie prawdopodobieństwo kolizji uczestniczących w nim jednostek, nie zachęcał dotychczas do podjęcia prób jego rozpoznania w stopniu i zakresie pozwalającym na jego praktyczną automatyczną realizację.

Promotor rozprawy oraz doktorantka mgr inż. Anna Miller na podstawie literatury, jak też bazując na dotychczasowych własnych doświadczeniach doszli do wniosku i przekonania, że zagadnienie pełnej automatyzacji przeładunku statków w ruchu (tzw. manewr UNREP), wymagające precyzyjnego automatycznego sterowania ruchem równoległym dwóch statków, staje się możliwe do rozwiązania i powinno być podjęte jako kolejny logiczny i ważny krok w rozwoju automatyki okrętowej. Rozpoznanie problemu oraz jego wstępne pionierskie rozwiązanie – na drodze rozważań teoretycznych, badań symulacyjnych oraz badań empirycznych na modelach - zostało ujęte w tezę rozprawy doktorskiej i powierzone jako temat pracy doktorskiej mgr inż. Annie Miller.

Biorąc powyższe pod uwagę można stwierdzić, że tematyka pracy jest aktualna oraz nowatorska i wpisuje się w logiczny sposób – jako kolejny etap i pożądaný krok - w rozwój metod automatycznego sterowania statkami.

2. Teza i cel pracy.

Teza pracy została przedstawiona we Wprowadzeniu na str. 3, zaś cel główny i cele cząstkowe – na str. 4. Zarówno teza, jak też i cel główny zostały ujęte w przejrzysty i prawidłowy sposób, który pozwala mówić o tym, że zostały one osiągnięte i wykonane. Teza pracy odpowiada

dyscyplinie Elektrotechnika oraz specjalności: Elektroautomatyka okrętowa w zakresie wykorzystania urządzeń elektronawigacyjnych w sterowaniu statkiem.

Gwoli ścisłości i formalnej precyzji językowej, lepiej było zrezygnować w tezie ze zbyt ogólnego sformułowania, mówiącego o „manewrach” na rzecz wskazania tylko jednego „manewru” – przeładunku w ruchu, który znalazł się w centrum uwagi Autorki i implikuje przyjęte założenia, jak też sposób postępowania przy rozwiązywaniu i weryfikacji postawionego zagadnienia.

Z punktu widzenia redakcyjnego celowe byłoby również wyodrębnienie tezy i celów jako osobnego rozdziału, a nie włączanie ich w obręb Wprowadzenia.

3. Charakterystyka zakresu pracy, istotne osiągnięcia naukowo-badawcze oraz uwagi o charakterze merytorycznym i dyskusyjnym.

Rozdziały 1-3 pracy (strony 7-63) mają charakter dogłębnego, krytycznego i wartościowego przeglądu literatury, który w szerokim zakresie jest powiązany ze sposobem rozwiązywania postawionych sobie celów. W tej części pracy mgr inż. Anna Miller pokazała, że bardzo dobrze zna literaturę przedmiotu w odniesieniu do trzech obszernych zagadnień, istotnych dla realizacji pracy, a mianowicie: zagadnienia sterowania predykcyjnego (obejmującego algorytmy, metody syntezy układów regulacji, ich strojenie i zastosowania – rozdz. 1, podrozdział 2.2-2.4), wybranych zagadnień automatycznego sterowania ruchem statku przy wykorzystaniu urządzeń i układów elektronawigacyjnych (rozdz. 2.1) oraz problematyki ruchu równoległego dwóch statków, ze szczególnym uwzględnieniem manewru przeładunku w ruchu (rozdz. 3.1) w obecności sił hydrodynamicznego oddziaływania (rozdz. 3.2).

Dokonując przeglądu i analizy literatury, wskazuje na te pozycje, które zostaną w kolejnych rozdziałach pracy wykorzystane i zastosowane. Doktorantka potwierdziła umiejętność twórczego korzystania z literatury i odpowiedniego adaptowania ich do realizacji własnych celów, jak też udowodniła, że potrafi poruszać się swobodnie w szerokim spektrum źródeł literaturowych w celu wyszukania tych artykułów i referatów, których znajomość będzie Jej przydatna i potrzebna w realizacji w pracy.

Należy podkreślić, że mgr inż. A. Miller sięgnęła po przykłady, związane z różnymi gałęziami przemysłu i szeroką gamą różnorodnych procesów i zagadnień, związanych m.in. z przemysłem chemicznym, petrochemicznym, spożywczym, budowlanym, papierniczym itd., jak też z zagadnieniami robotyki, techniki lotniczej, automatyki napędowej, transportu i oczywiście – techniki okrętowej.

Ważne dla Doktorantki źródło stanowi praca [79] będąca pracą magisterską, obronioną na Technical University of Denmark. Proszę o szersze omówienie tego źródła i wskazanie faktów naukowych, potwierdzających jego wiarygodność. Na rys. 1.3 Autorka przedstawia algorytm syntezy regulatora predykcyjnego. Jego struktura jest przejrzysta i czytelna, ale wydaje się – że nazbyt uproszczona. Czy poszukiwanie optymalnego regulatora nie będzie wymagać pętli sprzężenia zwrotnego, obejmującego większą liczbę bloków? (przykładowo na str. 19 wskazano, że ocena stabilności wewnętrznej regulatora wymagała wydłużenia horyzontu predykcji z 40 s do 55 s).

Odnosnie do przyjętego sposobu strojenia układu regulacji predykcyjnej, bazującej na pracy [79], proszę o podanie przyjętej miary matematycznej (liczbowej) dla odporności układu (na str. 31 podano tylko miary dla 2 wskaźników jakości regulacji: wskaźników deterministycznych oraz wskaźników stochastycznych).

W rozdziale 4 Doktorantka skupia się na opracowaniu, a ściślej mówiąc – na rozbudowie modelu symulacyjnego procesu sterowania statkiem, przedstawionego przez W. Gierusza w czasopiśmie Ocean Engineering w 2016 r. [25]. Sednem owej rozbudowy jest uwzględnienie sił i momentów, związanych ze zjawiskami hydrodynamicznymi przysysania i odpychania się dwóch statków pozostających w ruchu w bliskiej odległości od siebie.

Metodzie analitycznego wyznaczania tych sił i momentów poświęcono podrozdział 4.3, zaś opisowi oryginalnej metody pomiarowej, pozwalającej na weryfikację tych obliczeń - rozdział 4.4. Należy podkreślić, że wyniki tych prac mgr A. Miller opublikowała w czasopiśmie The Journal of Navigation (pozycja [72]). Na uwagę zasługuje szczegółowy opis i interpretacja wyników symulacji (str. 71-75) oraz pomysłowość metody pomiarowej, pozwalającej na weryfikację obliczeń na fizycznych modelach w skali 1:24 gazowca Dorchester Lady oraz super-zbiornikowca Blue Lady na jeziorze Silm.

Należy zwrócić uwagę, że nie jest możliwe oddzielne zmierzenie siły ssącej, działającej na statek podchodzący oraz – różnej co do wartości –

siły ssącej, działającej na statek prowadzący, ale jest możliwy pomiar wywieranej przez nie siły ściskającej na umocowane pomiędzy nimi sztywne ramię, co w sposób pośredni pozwala na weryfikację poprawności analitycznego sposobu obliczania sił hydrodynamicznych, związanych z obu statkami. Stąd też za mylące należy uznać zaproponowane terminy: „teoretycznie maksymalna wartość siły ssącej pomiędzy statkami” (str. 75), „całkowita siła ssąca oddziałująca na kadłuby statków” (str. 84), czy też „całkowita siła interakcyjna” (str. 86). Można mówić wyłącznie o „sile ściskającej (wywołanej siłami przysysania), działającej na element sztywny, wprowadzony pomiędzy statki na czas eksperymentu pomiarowego”. Siła ta jest równa „sumie modułów sił hydrodynamicznych działających na każdy ze statków” przy ich swobodnym ruchu równoległym (czyli bez sztywnego elementu łączącego). Nie jest więc teoretycznie i językowo poprawne sformułowanie na str. 75 w. 6-89. : „wyznaczono całkowitą siłę ssącą, występującą między statkami... jako wektorową sumę sił Y_{ss} i Y_{STBL} (patrz: strzałki kierunkowości na rys. 4.10 i wykresy na rys. 4.11).

W podpisie rysunku 4.31 (str. 90) występuje błąd edytorski. Powinno być: „Rozszerzony o siły i momenty pochodzące od statku STBL schemat budowy modelu symulacyjnego gazowca „Dorchester Lady” (SS)”.

Wyjaśnienia wymaga informacja zamieszczona na str. 84 w.10, 11 : „zsumowano wartości sił pochodzące z czujnika dziobowego i rufowego...” (chyba uśredniono?). Komentarza wymaga również fakt, że wzory na siły i momenty hydrodynamiczne 4.1-4.6 dla obu statków zawierają zanurzenie statku T, które w trakcie rzeczywistego manewru przeładunku będzie ulegało zmianie.

Powyższe uwagi nie rzutują na wartość merytoryczną metody pomiarowej i uzyskane wyniki.

Ważną rolę odgrywa rozdział 5. poświęcony syntezie regulatora predykcyjnego, w którym wykorzystano pakiet Model Predictive-Control Toolbox programu MATLAB. Autorka krok po kroku opisuje podjęte działania projektowe. I tak zrealizowany model przyrostowy statku SS (wykorzystany w regulatorze MPC jako model wewnętrzny) opracowano na podstawie nieliniowego modelu symulacyjnego, zaimplementowanego w SIMULINK’u, autorstwa W. Gierusza. Przekształcenie modelu wielowymiarowego w model wielokanałowy – przedstawiono na rys. 5.5. Dokonano minimalizacji modelu, redukując liczbę zmiennych z 18 do 14. Rozkład biegunów równoległego układu regulacji prezentuje rys. 5.10, zaś

przedziały ufności – rys. 5.11. W sposób uczciwy i rzetelny mgr inż. A. Miller wskazała, że próba strojenia regulatora wg algorytmu He (pozycja [34]) nie powiodła się.

Roz. 6 to prezentacja i szczegółowa dyskusja wyników uzyskanych trzema różnymi drogami poprzez: symulację układu regulacji w czasie nierzeczywistym z nieliniowym modelem matematycznym, symulację układu regulacji w czasie rzeczywistym, wykorzystującą nieliniowy symulator statku oraz badania eksperymentalne układu regulacji, przeprowadzone na statku treningowym „Dorchester Lady” na jeziorze Silm, dla 9 różnych, starannie dobranych przykładów. Autorka korzystała z programów i pakietów profesjonalnych m.in. symulacje Hardware in the Loop, zrealizowała z wykorzystaniem pakietu SIMULINK Real-Time (SLRT).

Rozdział ten jest bogato zilustrowany, a zestawienia wyników potwierdzają poprawność rozważań i przyjętej koncepcji, jak też spodziewaną przydatność regulatora PMC w realizacji manewru przeładunku.

W przypadku niektórych rysunków opisywane skutki działania regulatora predykcyjnego są trudno zauważalne ze względu na zbyt małą ich skalę np. zmiana odległości poprzecznej pomiędzy statkami na rys. 6.8, ale Autorka dostrzega ten problem i zamieszcza zoom’y wybranych fragmentów wykresów (np. rys. 6.8 i rys. 6.9). Istotne znaczenie dla wysokiej oceny pracy ma badanie układu regulacji w warunkach rzeczywistych na jeziorze Silm i ich porównanie z wynikami symulacji Hardware in the Loop.

Wnioski z realizacji pracy i badań o charakterze analitycznym, symulacyjnym i doświadczalnym w liczbie ośmiu, Doktorantka zebrała w Zakończeniu. Wnioski te stanowią równocześnie podsumowanie pracy.

4. Redakcja pracy.

Rozprawa doktorska jest opracowana starannie pod względem redakcyjnym, jak też napisana jest ładnym językiem. W przypadku tejże pracy można z przekonaniem mówić o potoczystej i płynnej narracji naukowej.

Pomimo takiej pochwały, praca nie jest wolna od drobnych mankamentów. Na przestrzeni całej pracy Autorka kilkanaście razy rozpoczyna nowe zdanie z małej litery, co jest uchybieniem drażniącym. Drobne błędy literowe zaznaczono w tekście (są relatywnie rzadkie). Odnośnie do terminologii technicznej, dobrze byłoby dokonać ujednoczenia niektórych terminów np. znajdujemy w pracy 3 różne terminy: względna wartość położenia (str. 55), bezwymiarowe przesunięcie wzdluzne (str. 79) oraz względne przesunięcie wzdluzne (str. 82).

Należy również wyeliminować powoływanie się na wyniki i wzory, które w treści pracy dopiero pojawią się w dalszej części. Kilka razy zamiast słowa „liczba”, Autorka używa słowa „ilość” np. str. 24 w. 9d; str. 49 w. 4d.

Rysunki 2.6 i 4.10 lepiej byłoby sporządzić dla fazy I (podejścia), a nie dla fazy III (odejścia).

5. Charakterystyka bibliografii.

Bibliografia jest obszerna (131 pozycji) i pełni w tej rozprawie bardzo ważną rolę, albowiem praca doktorska jest głęboko osadzona w literaturze. Należy podkreślić, że spośród 131 przytoczonych źródeł, 64 pozycje opublikowano po roku 2010 oraz 44 pomiędzy latami 2000-2010. Poszczególne prace są wielokrotnie cytowane. Doktorantka systematycznie i sumiennie powołuje się na nie, opisując metody, algorytmy i wzory, wykorzystywane w rozprawie.

Trafny dobór literatury i sposób jej wykorzystania potwierdzają bardzo dobrą znajomość tematyki oraz bogaty warsztat naukowy mgr inż. Anny Miller. Przytoczona literatura dobrze odzwierciedla również wpływ środowiska naukowego Akademii Morskiej w Gdyni i szkoły naukowej automatyki, związanej z nazwiskiem profesora Józefa Lisowskiego na rozwój elektrotechniki i automatyki okrętowej w skali międzynarodowej.

6. Wniosek końcowy.

Szczególnym walorem rozprawy doktorskiej jest jej aktualność: podejmuje trudny problem dokładnie w chwili, w której jego rozwiązanie staje się z technicznego punktu widzenia możliwe. Kolejną zaletą jest

kompleksowość pracy, która obejmuje obliczenia analityczne, rozważania teoretyczne, symulacje komputerowe (uwzględniające nowoczesne programy komputerowe) oraz żmudne i pracochłonne badania eksperymentalne na modelach obiektów rzeczywistych. Na podkreślenie zasługuje głębokie osadzenie rozprawy doktorskiej w aktualnej literaturze i umiejętność twórczego wykorzystania prezentowanych w niej metod i algorytmów. Wreszcie należy podkreślić walory redakcyjne pracy – piękny język i logikę wywodów. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że praca spełnia wszystkie wymagania, zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnioskuję do Wysokiej Rady Wydziału Elektrycznego Akademii Morskiej w Gdyni o jej dopuszczenie do publicznej obrony.