

Recenzja  
pracy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Struka  
pt. „Experimental exploration of the ship surf-riding in bi-chromatic following seas”

### **Podstawa prawna**

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Gdańskiej prof. dr hab. inż. Michała Wasilczuka z dnia 10.03.2026 r., o wyznaczeniu recenzenta w przewodzie doktorskim Pana mgr inż. Michała Struka, Uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna.

### **Zagadnienie naukowe przedstawione w pracy**

Do oceny przedstawiono pracę pod tytułem „Experimental exploration of the ship surf-riding in bi-chromatic following seas”. Doktorant poruszył w niej zagadnienie naukowe modelowania właściwości morskich statków, dla których pływanie na fali nadążającej stanowi poważne zagrożenie. Praca ma charakter badawczy - opisuje badania przeprowadzone przez Autora na modelu fizycznym statku rybackiego, w dwóch skalach geometrycznych. Podstawę oceny przeprowadzonych badań stanowiła analiza porównawcza wyników badań eksperymentalnych i numerycznych. Zagadnienie przedstawione w pracy jest istotne ze względu na możliwość przewidywania właściwości statku w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, w odróżnieniu od istniejących rozwiązań dla fali regularnej. Praca mieści się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

### **Treść i zakres pracy**

Recenzowana rozprawa doktorska została napisana w języku angielskim, liczy 106 stron, zawiera streszczenia w języku angielskim i polskim, spis ważniejszych symboli i skrótów, 5 rozdziałów merytorycznych, bibliografię obejmującą 53 pozycje, spis rysunków i 2 załączniki. Tytuł przetłumaczony na język polski otrzymał brzmienie: „Badania eksperymentalne zjawiska surf-ridingu w warunkach nadążającej fali bi-chromatycznej”.

**W pierwszym rozdziale - „Wstępie”**, Autor przedstawił problem badawczy, motywację podjęcia badań, stan wiedzy na świecie, w zakresie modelowania ruchu statku na fali nadążającej, zidentyfikował lukę badawczą, sformułował pytania badawcze, cel naukowy i zakres pracy. Jako motywację podjęcia badań podał niedostateczną znajomość fizyki zjawiska surf-ridingu na fali nieregularnej, możliwość weryfikacji wcześniej opracowanego modelu ruchu statku podczas surf-ridingu na fali bichromatycznej (Spyrou i inn, 2016) i obserwację na modelu fizycznym zjawisk, niepublikowanych dotąd w znanej literaturze. Badania na fali bichromatycznej zostały uznane jako wstęp do badań w warunkach odpowiadających warunkom rzeczywistym ruchu statku na fali nieregularnej.

**Doktorant sformułował cztery pytania badawcze**, które dotyczyły: możliwości wykonania badań modelowych na fali bichromatycznej, oceny powtarzalności zjawisk zidentyfikowanych podczas symulacji numerycznych, możliwości jakościowego i ilościowego potwierdzenia prognoz teoretycznych, oraz możliwości porównania wyników badań na

modelach w skali 1:64 i w skali 1:14, o długościach na wodnicy równych odpowiednio 0,54 m i 2,51 m.

**Cel naukowy rozprawy** Doktorant zdefiniował jako potwierdzenie lub odrzucenie istniejącej teorii opisującej zjawisko surf-ridingu na fali bichromatycznej. Dodatkowe cele stanowiły: opracowanie metodyki badań modelowych, sprawdzenie przydatności do oceny jakościowej zjawiska surf-ridingu, badań na modelu w małej skali 1:64 i porównanie wyników eksperymentów na modelach fizycznych w przyjętych skalach 1:64 i 1:14.

**W rozdziale drugim, zatytułowanym „Materiały i metody”** Doktorant opisał metodykę badań. Podał parametry modeli fizycznych i basenów holowniczych, przeznaczonych do badań w skali 1:64 i 1:14, opisał urządzenia pomiarowe i zaproponowany program badań modelowych, w tym: próby oporowo-napędowe na wodzie spokojnej, w celu określenia nastaw dla zadawanych prędkości modelu, krzywej oporu i charakterystyki hydrodynamicznej śruby; w dalszej kolejności próby na fali regularnej, w celu oceny przydatności zaprojektowanego stanowiska badawczego do obserwacji i pomiarów zjawisk charakterystycznych dla ruchu statku na fali nadążającej oraz próby na fali bichromatycznej, dostosowane do założeń przyjętych we wcześniej opublikowanych badaniach symulacyjnych w skali 1:64. Założony cel badań na fali bichromatycznej, na modelu w skali 1:14, obejmował ocenę przebiegu zjawisk podczas ruchu modelu, wpływ na ruch modelu jego prędkości zadanej i charakterystyk fali bichromatycznej, w szczególności amplitudy drugiej fali, małych zmian wybranych parametrów i zmian prędkości zadanej przy niezmiennych parametrach falowania. Analiza porównawcza przebiegu zjawisk na modelach w obu skalach została zaplanowana na podstawie 14 prób, dla parametrów fali i prędkości, przy których występował surf-riding na modelu w skali 1:64.

**W rozdziale trzecim, zatytułowanym „Wyniki”,** zamieszczone zostały wyniki badań modelowych, przedstawione zgodnie z programem badań, zawartym w rozdziale drugim. Podano tu wyniki pomiarów na wodzie spokojnej w postaci tabel oporu modelu, tabel nastaw telegrafu, dla zadanych prędkości i wyniki badań na fali regularnej dla obu modeli w postaci wykresów prędkości wzdłużnej modelu względem czasu. Przeanalizowano kolejne zjawiska występujące podczas ruchu na fali nadążającej pojawiające się wraz ze wzrostem prędkości modelu: okresowe przyspieszanie i zwalnianie poniżej prędkości zadanej, okresowe szybkie przejazdy i surf-riding, przy średniej prędkości modelu równej prędkości fali.

W badaniach na fali bichromatycznej w skali 1:64 odtworzono warunki przyjęte w opublikowanych wcześniej symulacjach numerycznych. Przedstawiony został wpływ wzrostu zadanej prędkości modelu na zmianę parametrów jego ruchu wzdłużnego. Dla prędkości zadanej, mniejszej od prędkości obu fal składowych, występowały oscylacje wokół tej prędkości. Przy prędkości zadanej zbliżonej do prędkości pierwszej fali pojawiły się okresowe przyspieszenia na tej fali, średnia prędkość modelu osiągnęła wartość pomiędzy prędkością zadaną i prędkością pierwszej fali. Przy podobnej zależności pomiędzy prędkością zadaną modelu i prędkością pierwszej fali i znacznie większą prędkością drugiej fali, pojawił się surf-riding na pierwszej fali. Następnie analizowane były przypadki występowania okresowego spadku prędkości na pierwszej fali, surf-ridingu na drugiej fali, oscylacji prędkości na drugiej fali, surf-ridingu na drugiej fali i wzrostu prędkości na pierwszej fali, spowodowanego oddziaływaniem drugiej fali.

Badania w skali 1:14 obejmowały analizę zjawisk występujących dla trzech prędkości zadanych modelu, mniejszych od prędkości pierwszej fali, aż do wystąpienia surf-ridingu na pierwszej fali. Zaobserwowano przy tym oscylacje wzdłużne o okresie zbliżonym do okresu spotkaniowego drugiej fali. Zwiększenie prędkości zadanej do prędkości zbliżonej do prędkości pierwszej fali, spowodowało wystąpienie surf-ridingu zakończony wejściem wody na pokład dziobowy modelu. Druga seria prób na mniejszej fali bichromatycznej pozwoliła na

zaobserwowanie zjawisk dla pięciu prędkości zadanych, w tym występujących po sobie nagłych, krótkich wzrostów prędkości modelu do prędkości drugiej fali i spadków do prędkości zadanej modelu, które Autor nazwał „trebusz”. W trzeciej serii prób, przy większej długości drugiej fali, we wszystkich przypadkach odnotowano wpływ drugiej fali na ruch statku. Dla trzeciej z badanych prędkości zaobserwowano surf-riding. Czwarta seria prób miała na celu ocenę wpływu drugiej fali na surf-riding, uzyskany wcześniej podczas badań na fali regularnej. Przy kolejno zmienianych parametrach drugiej fali, Autor określił zjawiska występujące w kolejnych próbach jako: niepewne, „trebusz” i oscylacyjny surf-riding na pierwszej fali. Następne próby, które miały na celu ocenę wrażliwości wyników eksperymentu na niewielkie zmiany wybranych parametrów. Pozwoliły one zaobserwować występowanie dwóch różnych zjawisk podczas jednego przebiegu.

Porównanie wyników badań w skali 1:64 i 1:14 zostało przeprowadzone dla 14 prób. Po przeliczeniu wyników do mniejszej skali porównano przebiegi prędkości, począwszy od przypadku występowania, w większej skali, surf-ridingu na pierwszej fali. W większości prób prędkości dużego modelu, przeliczone do skali 1:64, były większe niż prędkości małego modelu, charakter zmian prędkości był podobny.

**W rozdziale czwartym pt. „Dyskusja”** Doktorant przedstawił podsumowanie badań i interpretację ich wyników. Wymienił zjawiska zaobserwowane podczas badań. Na podstawie, zgodnych z oczekiwanymi, rezultatów badań na fali regularnej, ocenił, że stanowiska badawcze zostały właściwie przygotowane.

Próby w skali 1:64 potwierdziły występowanie oscylacji prędkości modelu w rejonie prędkości fali dominującej, opisane w literaturze (Spyrou i inni, 2016) i wykazały dobrą zgodność z symulacjami numerycznymi. Podobnie próby w skali 1:14 również potwierdziły występowanie zjawisk opisanych w literaturze. Doktorant podkreślił wpływ zadanej prędkości modelu na występowanie różniących się zjawisk, przy podobnych parametrach fali bichromatycznej: zmianę surf-ridingu na „trebusz”, ze względu na nagłe przyspieszenie przy przejściu modelu pomiędzy pierwszą i drugą falą, brak wpływu zwiększania amplitudy drugiej fali na zachodzące zjawiska przy jej relatywnie dużej długości i jej wpływ na powstawanie zakłóceń prędkości modelu oraz wrażliwość występowania poszczególnych typów zjawisk na niewielkie zmiany parametrów próby a także wpływ zmniejszenia prędkości modelu na charakter ruchu i jednocześnie czas oscylacji podczas poszczególnych zjawisk.

Porównanie eksperymentów w skali 1:64 i 1:16 wykazało, że jedynie 4 z porównywanych prób wykazały jakościową zgodność. Według Autora rozbieżność wyników była spowodowana ograniczeniami dokładności badań w skali 1:64. Uznał on, że bezpośrednio przeskalowanie wyników nie jest możliwe ze względu na wrażliwość przebiegu zjawisk na małe zmiany parametrów próby.

Niepewność wyników pomiarów odniesiona została do niedokładności odwzorowania kształtu kadłuba i rozkładu mas, uzyskanych parametrów fali oraz pomiarów położenia i prędkości modelu. Autor uznał, że wyniki badań w skali 1:64 mogą być określone jako dobre pod względem ilościowym, a w skali 1:14 jako dobre ilościowo i jakościowo.

Zidentyfikowane przez Doktoranta ograniczenia przedstawionych badań modelowych dotyczyły: możliwości przeprowadzenia prób tylko dla jednego statku i niemożności ich uogólnienia, wykorzystania tylko modeli w pomniejszonej skali, konieczności zdalnego sterowania modelem przez operatora, braku pomiaru przesunięcia fazowego fal składowych fali bichromatycznej, nieznacznych niedokładności odwzorowania kształtu kadłuba, śruby, steru i zanurzenia dużego modelu, ze względu na dostającą się do wnętrza kadłuba wodę oraz niemożności wykonania pełnych badań parametrycznych.

**Rozdział 5, zatytułowany „Wnioski”,** zawiera odpowiedzi na postawione pytania badawcze. Została potwierdzona teoria opisująca ruch statku dla jednego stopnia swobody na

fali bichromatycznej. Eksperyment modelowy został uznany jako możliwy do przeprowadzenia, skalowalny i umożliwiający istotne spostrzeżenia, dotyczące zachodzących zjawisk. Doktorant uznał 40 m basen modelowy jako przydatny do badań ruchu statku na fali nadążającej a zaprezentowane wyniki jako unikalne w skali światowej. Jako kierunek dalszych badań przyjął dążenie do poprawy wiarygodności wyników poprzez udoskonalenie badań modelowych oraz kontynuację badań dynamiki zjawiska surf-ridingu na fali bichromatycznej i fali nieregularnej,

### **Ocena zastosowanego piśmiennictwa**

Pan mgr inż. Michał Struk wykorzystał bibliografię zawierającą 47 pozycji naukowych, dotyczących badań surf-ridingu, 5 dokumentów zawierających zalecenia Międzynarodowej Organizacji Morskiej, dotyczących stateczności statku i zaleceń dla kapitana statku, w celu unikania sytuacji niebezpiecznych oraz stronę internetową opisującą baseny modelowe członków Międzynarodowej Konferencji Basenów Modelowych ITTC. Cytowane w pracy pozycje oddają obecny stan wiedzy w zakresie tematyki poruszanej przez Doktoranta. W spisie nie znalazła się wydana w 2025 roku publikacja Doktoranta w Ocean Engineering pt. „Experimental exploration of surf-riding in bi-chromatic following waves – results for the 1/64 scale ship model”, w której zostały opisane badania przedstawione w rozprawie i która powinna być zacytowana.

### **Ocena metod badawczych**

Podstawową metodą badawczą był eksperyment modelowy, przeprowadzony z wykorzystaniem modeli fizycznych statku w dwóch skalach geometrycznych. Do oceny wyników badań zastosowano metodę porównawczą, polegającą na obserwacji zjawisk występujących na modelach w małej i dużej skali geometrycznej. W obu przypadkach szczegółowo przedstawiono zakres badań, stanowiska badawcze i urządzenia pomiarowe. Poprawność modelowania sprawdzono w oparciu o znany opis ruchu statku na fali regularnej. Wykorzystano również dostępne w literaturze wyniki badań symulacyjnych surf-ridingu. Nie analizowano jednak dokładności wyników symulacji. Porównanie polegało na analizie inżynierskiej oceny zgodności przebiegów czasowych zmian prędkości wzdłużnej modeli.

Autor odniósł się do dostępnej w literaturze teorii surf-ridingu na fali bichromatycznej, dla jednego stopnia swobody, jednak nie przedstawił obliczeń.

Zabrakło analizy związanej z teorią badań modelowych, w szczególności dotyczy to małego modelu w skali 1:64. Autor przedstawił wyniki badań w postaci pomiarów, nie stosował wielkości bezwymiarowych, które ułatwiłyby porównanie wyników.

Przeliczenie wyników z większej skali do mniejszej, w celu ich porównania, było słuszne, jednak modelowanie oporu i ruchu na fali małego modelu, powinno być opisane w odniesieniu, nie tylko do prawa podobieństwa Froude'a, ale również Reynoldsa, o którym Doktorant tylko wspomniał i Webera. Nie podał również czy rozważano wykorzystanie turbulizatorów na powierzchni kadłubów obu modeli.

Doktorant właściwie ocenił błędy, mogące wynikać z niedostatecznych wymiarów małego basenu modelowego i niedoskonałości wyposażenia dużego basenu modelowego. Zdalne sterowanie modelem, które uznał jako jedno z ograniczeń, można uznać jako właściwe, gdyż pozwoliło odtworzyć rzeczywiste warunki sterowania statkiem. Nie podano jednak zmian siły na sterze.

### **Ocena praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań**

Praca w założeniu posiada wartość naukową, rozszerzającą wiedzę w zakresie opisu i modelowania ruchu statku na fali bichromatycznej, dla jednego stopnia swobody. Jest wstępem

do badań ruchu statku na fali nieregularnej. Wnioski z przeprowadzonych badań mogą być przydatne przy opracowaniu procedur badawczych. Rzetelne podejście do eksperymentu i analizy wyników pozwalają ocenić zalety i wady zaproponowanego podejścia, przydatne przy kontynuacji prac. Praktyczny cel badań wynikał ze względów projektowych i eksploatacyjnych – oceny bezpieczeństwa statku na fali nadążającej. Autor przedstawił wnioski dotyczące przydatności zaproponowanych metod badawczych. Pan mgr inż. Michał Struk zebrał bardzo obszerny materiał do dalszych analiz porównawczych, umożliwiając udoskonalenie istniejących metod eksperymentalnych i modelowania numerycznego.

### **Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach występujących w pracy**

Praca jest bardzo staranna pod względem graficznym i edytorskim. Zauważono w pracy pojedyncze błędy edytorskie. W streszczeniu rozprawy brak odstępów pomiędzy liczbami i jednostkami, na str. 37, linia 8: powinno być „Chapter 2” zamiast „Chapter 0”, na str. 47, linia 5: zamiast „was it” powinno być „it was”, na str. 71, linia 2 od dołu: zamiast „in” powinno być „is”, na str. 90, linia 8: należało podać datę dostępu do strony internetowej.

### **Oryginalność rozwiązania problemu naukowego.**

Z naukowo-badawczego punktu widzenia, postawiony w rozprawie problem został rozwiązany w oparciu o istniejące metody. Innowacyjny charakter rozprawy polegał na właściwym doborze skali modeli do oceny właściwości statku na fali bichromatycznej w dostępnych do badań laboratoriach i właściwie zaplanowanym programie badań do przeprowadzenia analizy parametrycznej.

Należy podkreślić, że podobne badania nie są znane w dostępnej literaturze i Doktorant musiał rozwiązać szereg problemów dotyczących eksperymentu i interpretacji wyników, także proponując nazwy dla zaobserwowanych ruchów statku na fali, jak np. nieznanе dotąd określenie „trebusz” dla krótkiego, gwałtownego przyspieszenia statku na fali. Przedstawione obszerne wyniki eksperymentów i ich analiza pozwalają pozytywnie ocenić efekt przeprowadzonych prac badawczych, które w całości stanowią wkład do rozwoju wiedzy dotyczącej właściwości morskich statku. Właściwie przyjęte założenia i prawidłowe wykorzystanie narzędzi badawczych ze świadomym uwzględnieniem ich ograniczeń, świadczą o ogólnej wiedzy teoretycznej Doktoranta z zakresu inżynierii mechanicznej i umiejętności samodzielnego prowadzenia badań.

### **Ocena końcowa rozprawy doktorskiej. Wniosek końcowy**

Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Pan mgr inż. Michał Struk przedstawił rozwiązanie poprawnie sformułowanego problemu badawczego, mieszczącego się w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Uważam, że uzyskane wyniki badań, przedstawione w rozprawie, wnoszą wkład w rozwój dyscypliny, poszerzają zrozumienie zjawisk związanych z ruchem statku na fali nieregularnej. Tym samym można uznać, że opiniowana praca odpowiada oczekiwaniom stawianym rozprawom doktorskim oraz spełnia warunki określone w przepisach obowiązującej Ustawy. Wniosuję o dopuszczenie rozprawy Pana mgr. inż. Michała Struka do jej publicznej obrony.

*Teresa Abramowicz-Genigle*