

dr hab. inż. Łukasz Jankowski, prof. IPPT PAN  
Zakład Technologii Inteligentnych  
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN  
ul. Pawińskiego 5B  
02-106 Warszawa  
email: [ljank@ippt.pan.pl](mailto:ljank@ippt.pan.pl)

Warszawa, 10 lipca 2023 r.

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Mackojć**  
**pt. „Analytical approach to modeling, analysis and dynamics studies on**  
**parametrically induced payload pendulation in offshore lifting operations”**

**1. Podstawa opracowania**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo nr RNDIM.521.22.2023 Pana prof. dr. hab. inż. Roberta Sitnika, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej, z dnia 10 maja 2023 r. wraz z dołączoną do niego rozprawą doktorską Pani mgr inż. Anny Mackojć pt. „Analytical approach to modeling, analysis and dynamics studies on parametrically induced payload pendulation in offshore lifting operations”.

Praca powstała w Zakładzie Mechaniki Instytutu Podstaw Budowy Maszyn Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. Promotorem Doktorantki jest Pan prof. dr hab. inż. Robert Zalewski. Rozprawa ma charakter kolekcji pięciu artykułów naukowych współautorstwa Doktorantki opatrzonych wstępem naukowym.

**2. Cel rozprawy**

Ogólny cel swojej pracy Doktorantka formułuje następująco (str. 25):

*A development of a comprehensive payload-vessel analytical model for offshore lifting operation providing the possibility of a formulation of the solution on a basis of multiple scale method in a closed analytical form that allows lifting process planning and modelling of the payload dynamic behaviour.*

Szczegółowe cele rozprawy sformułowane są na str. 27:

- 1) *Wave modelling and RAOs processing methodology – determination of an environmental impact on marine structures.*
- 2) *Proposal of a novel approach to modelling dynamics in offshore lifting – development of an innovative model for operation planning to simulate lifted payload behaviour in payload-vessel system.*
- 3) *Numerical research on regular and irregular waves – a versatility of results processing methods.*
- 4) *Model of a coupled payload-vessel system for offshore lifts of light and heavy weight objects – determination of the scope of applicability and development of methods supporting planning in offshore lifting design process.*

- 5) *Derivation of an analytical closed form solution of the proposed model on a basis of perturbative methods from nonlinear theory of vibration. A possibility of qualitative description of the system dynamic features.*
- 6) *Analytical research on regular waves – comparative analyses and results convergence check in a wide range of lifting cable lengths. The approximated solution accuracy assessment and its potential use in operation planning.*
- 7) *Modelling methodology for a variety of dynamic systems based on created Python library.*

Ogólny cel pracy został sformułowany poprawnie i precyzyjnie. Cele szczegółowe (zwłaszcza cele nr 1, 3 i 7) są wprawdzie sformułowane raczej w formie tematów lub opisów obszarów badawczych niż szczegółowych zadań, niemniej ich intencje są zrozumiałe. Temat wpisuje się w ważny naukowo i aplikacyjnie obszar badawczo rozwojowy związany z rosnącą liczbą instalacji morskich wymagających prowadzenia operacji podnoszenia/opuszczania ładunku na pełnym morzu z wykorzystaniem żurawia okrętowego.

### **3. Zasadność podjęcia tematu**

Podstawowym technicznym wyzwaniem obszarze badawczym rozprawy jest złożona dynamika ruchu podnoszonego ładunku wywołana parametrycznym wzbudzeniem falami morskimi. Dynamika ta zależy nie tylko od kierunku, rodzaju i charakterystyk fal, ale również od masy podnoszonego ładunku i długości liny. Przy ładunkach o większej masie możliwa jest interakcja pomiędzy ich dynamiką a ruchem statku.

Większość prac naukowych opublikowanych w tym obszarze wykorzystuje uproszczone modele numeryczno–analityczne, podczas gdy obliczenia praktyczne przeprowadzane są w kosztownych, dedykowanych środowiskach obliczeniowych metodami czysto numerycznymi. Takie podejście, jak wykazuje w swojej rozprawie Doktorantka, utrudnia szybkie jakościowe oszacowanie dynamiki ładunku, w tym obszarów stabilności i niestabilności, a więc i zaplanowanie bezpiecznego przebiegu operacji podnoszenia.

Z powyższych powodów należy docenić znaczenie zadania, którego podjęła się Doktorantka, czyli opracowania modelu dynamiki ładunku (oraz dynamiki układu ładunek-statek) umożliwiającego uchwycenie większości istotnych zjawisk, jak również opracowanie metody przybliżonego rozwiązania w zamkniętej formie analitycznej. Problem rozważany w rozprawie recenzent uważa za interesujący, aktualny i ważny zarówno z badawczego, jak i z aplikacyjnego punktu widzenia. Podjęcie tak określonej tematyki badań należy uznać za w pełni uzasadnione.

### **4. Konstrukcja rozprawy**

Rozprawa jest sformułowana w języku angielskim i ma formę kolekcji pięciu artykułów naukowych współautorstwa Doktorantki. Poza tymi artykułami, rozprawa zawiera dodatkowo streszczenia w języku angielskim i polskim, życiorys naukowy Autorki, dłuższe ogólne wprowadzenie w tematykę badawczą i rezultaty przedstawione w cyklu artykułów, deklaracje wkładu autorskiego Doktorantki i współautorów oraz spis literatury. Cała rozprawa liczy 144 strony, z czego główna część wprowadzenia liczy 48 stron, a cykl artykułów – 52 strony. Struktura wprowadzenia jest logiczna, przejrzysta i właściwie dobrana do prezentowanych treści. Bibliografia rozprawy liczy 66 pozycji. W tej liczbie znajdują się 2 artykuły współautorstwa Doktorantki.

Cztery z pięciu artykułów przedstawionych w cyklu opublikowane były w latach 2020–2022 w dwóch międzynarodowych czasopismach naukowych indeksowanych w bazie JCR:

- 1) *Ocean Engineering*, Elsevier,  $IF_{2022} = 5.0$  (dwa artykuły).
- 2) *Bulletin of the Polish Academy of Sciences – Technical Sciences*, Polska Akademia Nauk,  $IF_{2022} = 1.2$  (dwa artykuły).

We wszystkich czterech powyższych artykułach Doktorantka pełni rolę autora korespondencyjnego, a w dwóch z nich również autora pierwszego. Piąty artykuł składający się na rozprawę jest artykułem pokonferencyjnym, również indeksowanym w bazie Web of Science.

Dorobek publikacyjny Doktorantki pośrednio świadczy pozytywnie o jakości i intensywności jej pracy badawczej. Zauważyć jednak należy, że przedstawiony cykl jest niespójny tematycznie, ponieważ tematyka dwóch ostatnich artykułów cyklu jest istotnie odmienna od tematyki pierwszych trzech artykułów. Artykuły te nie mieszczą się w tematyce naukowej rozprawy określonej jej tytułem i – zdaniem recenzenta – nie powinny wchodzić w skład rozprawy.

## 5. Artykuły składające się na rozprawę

- [1] Chiliński B., Mackojć A., Zalewski R., Mackojć K. (2020) Proposal of the 3-DOF model as an approach to modelling offshore lifting dynamics. *OCEAN ENGINEERING* 203:107235. doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107235

Artykuł proponuje model ładunku podwieszonoego do żurawia z kompensatorem biernym. Zaproponowany model ma trzy stopnie swobody (kąt wychylenia w płaszczyźnie poprzecznej, ruch ładunku wzdłuż liny, ruch kompensatora wzdłuż liny). Wymuszenie ma charakter kinematyczny, zależy od charakterystyki fali i w podstawowym ujęciu jest niezależne od dynamiki ładunku. Artykuł przedstawia równania pozwalające na obliczenie wymuszenia kinematycznego z wykorzystaniem RAO (ang. response amplitude operator) oraz podstawowe równanie ruchu zaproponowanego modelu. Weryfikacja modelu przeprowadzona została poprzez porównanie z wynikami otrzymanymi za pomocą przemysłowego oprogramowania OrcaFlex. Dodatkowo przeprowadzone zostały analizy uzasadniające założenie niezależności wymuszenia kinematycznego od dynamiki ładunku lekkiego poprzez symulację modelu sprzężonego (dynamika ładunku + dynamika statku). Jako ilustrację możliwości zastosowania modelu artykuł przedstawia wyniki symulacji dynamiki ładunku dla paru rodzajów fal i kilku długości liny.

Zgodnie z zamieszczonymi deklaracjami współautorów udział Doktorantki kształtuje się na poziomie 50% i obejmuje kluczowe merytoryczne elementy artykułu.

- [2] Chiliński B., Mackojć A. (2022) Preliminary modelling methodology of a coupled payload-vessel system for offshore lifts of light and heavyweight objects. *BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES-TECHNICAL SCIENCES* 70(1):e139003. doi: 10.24425/bpasts.2021.139003

Analizy przeprowadzone w artykule [1] w większości opierały się na założeniu niezależności dynamiki ładunku i dynamiki statku. Takie założenie jest uzasadnione w wypadku ładunków o relatywnie niewielkiej masie. Drugi artykuł cyklu poświęcony jest granicom stosowalności tego założenia i analizie ruchu sprzężonego. Opisany jest model dynamiki sprzężonej o 9 stopniach swobody (3 stopnie swobody ładunku i 6 stopni swobody statku). Przeprowadzone są analizy dynamiki ładunku dla

stopniowo wzrastającej jego masy (od 100 t do 1000 t). Analizy przeprowadzono dla przykładowych charakterystyk fal, statku i żurawia. Pozwoliły one wyznaczyć zakres stosowalności założenia niezależności dynamik ładunku i statku oraz potwierdziły jego zgodność z praktyką przemysłową.

Zgodnie z przedstawionymi deklaracjami współautorstwa udział merytoryczny Doktorantki wynosi 60% i również obejmuje wszystkie kluczowe elementy artykułu.

[3] Chiliński B., Mackojć A., Mackojć K. (2022) Analytical solution of parametrically induced payload nonlinear pendulation in offshore lifting. OCEAN ENGINEERING 259:111835. doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.111835

Model dynamiki ładunku o trzech stopniach swobody, zaproponowany i analizowany w pracach [1] i [2], zasadniczo wymaga przeprowadzenia numerycznego całkowania równania ruchu. Trzecia praca cyklu proponuje analityczne rozwiązanie przybliżone. Z uwagi na nieliniowy charakter równania ruchu wykorzystana są techniki perturbacyjne i uproszczenie do oscylatora Mathieu. W szeregu obliczeń weryfikujących Autorka potwierdziła jakościową zgodność wyznaczonej analitycznie odpowiedzi przybliżonej z odpowiedzią dokładną otrzymaną technikami całkowania numerycznego. Otrzymane rozwiązanie jest dane w zamkniętej formie analitycznej, a więc jego wyznaczenie jest znacznie efektywniejsze numerycznie (przedstawione wyniki sugerują czas obliczeń mniejszy o dwa rzędy wielkości). Przybliżenie przedstawione w artykule pozwala więc na efektywną obliczeniowo jakościową analizę dynamiki ładunków o relatywnie niewielkiej masie.

Zadeklarowany i potwierdzony przez współautorów udział Doktorantki kształtuje się na poziomie 50% i podobnie jak w wypadku poprzednich artykułów jest istotny merytorycznie.

[4] Mackojć A., Chiliński B., Zalewski R. (2022) Preliminary research of a symmetrical controllable granular damper prototype. BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES-TECHNICAL SCIENCES 70(3): e141002. doi: 10.24425/bpasts.2022.141002

Artykuł poświęcony jest tematyce sterowalnego tłumika drgań wykorzystującego granulaty poddany sterowalnemu poziomowi podciśnienia. Zaproponowany model tłumika oparty jest o klasyczny model Bouc–Wena. Jego weryfikacja przeprowadzona jest w sposób przekonujący poprzez porównanie z wynikami eksperymentalnymi. W opinii recenzenta artykuł – pomimo że interesujący badawczo – jest jednak na tyle odległy tematycznie od pierwszych trzech artykułów cyklu i niezgodny z tematem rozprawy, że nie powinien wchodzić w jej skład.

Zadeklarowany udział merytoryczny Doktorantki wynosi 45% i obejmuje wszystkie istotne elementy artykułu z wyjątkiem fizycznego przeprowadzenia badań eksperymentalnych.

[5] Chiliński B., Mackojć A. (2020) Proposal of the coupled thermomechanical model of a crank mechanism. [in:] 27th ISTE International Conference on TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING FOR COMPLEX SOCIO-TECHNICAL SYSTEMS – REAL-LIFE APPLICATIONS, Eds. Pokojski, J. et al., Advances in Transdisciplinary Engineering 12:393–402, IOS Press. doi: 10.3233/ATDE200098

Ostatni artykuł cyklu zawiera propozycję analitycznego termomechanicznego modelu wału korbowego. Model pozwala na analizę wpływu sprzężeń efektów termodynamicznych i mechanicznych na dynamikę całego układu, z uwzględnieniem charakterystyk mieszanki paliwa z powietrzem oraz silnika. Przeprowadzone przykładowe analizy wykazały istotne różnice charakterystyk układu

w porównaniu do charakterystyk otrzymanych z wykorzystaniem typowych mechanicznych modeli sztywnych. Przedstawione wyniki są interesujące badawczo, jednak – podobnie jak w wypadku artykułu [4] – tematyka pracy [5] jest w opinii recenzenta na tyle niezgodna z tematem rozprawy, że nie powinna ona wchodzić w jej skład.

Zadeklarowany udział merytoryczny Doktorantki wynosi 50% i – podobnie jak w artykułach poprzednich – jest dominujący we wszystkich najistotniejszych merytorycznie elementach pracy.

## **6. Merytoryczna ocena rozprawy**

Rozprawa doktorska Pani Anny Mackojć poświęcona jest tematowi zarówno aktualnemu badawczo, jak i mającemu duże znaczenie aplikacyjne. Ma ona postać cyklu pięciu artykułów współautorstwa Doktorantki. Każdy z tych artykułów już przeszedł proces recenzji wydawniczej, co pośrednio świadczy o ich jakości i ułatwia pracę recenzentowi.

W każdej z prac cyklu merytoryczny udział Doktorantki jest istotny lub nawet dominujący (45–60%) i obejmuje wszystkie merytorycznie kluczowe elementy przedstawionych badań. Każda z tych prac jest skonstruowana zgodnie z klasyczną metodyką prowadzenia badań naukowych w dyscyplinie Doktorantki, to jest 1) rozpoczyna się od zarysowania problematyki, wyzwań i uwarunkowań technicznych, a następnie wykonywany jest 2) przegląd literatury i dostępnych metod. Na tym tle 3) formułowany jest problem szczegółowy oraz 4) opisana jest zaproponowana technika jego rozwiązania. Następnie autorzy 5) przeprowadzają szereg symulacji numerycznych – a w wypadku artykułu czwartego też pomiarów eksperymentalnych – weryfikujących poprawność zaproponowanych modeli i technik oraz ilustrujących możliwości ich zastosowania. Finalnie autorzy 6) podsumowują prace i przedstawiają wnioski. Taki schemat prac, właściwie odzwierciedlony w strukturze wprowadzenia do rozprawy wyłącznego autorstwa Doktorantki (str. 10–57), pozytywnie świadczy o jej naukowej dojrzałości.

Tematyka rozprawy jest istotna badawczo i aplikacyjnie. W obszarze określonym tematem rozprawy jako jej ważne, interesujące i oryginalne osiągnięcia recenzent podkreśliłby przede wszystkim:

- Propozycję modelu dynamiki podnoszonego ładunku z kinematycznym wymuszeniem zarówno poprzecznym jak i pionowym.
- Propozycję modelu sprzężonego pozwalającego na analizę wzajemnego oddziaływania dynamiki podnoszonego ładunku i dynamiki statku.
- Opracowanie analitycznego przybliżenia rozwiązań równania ruchu pierwszego z zaproponowanych modeli pozwalającego na efektywną obliczeniowo jakościową analizę charakterystycznych cech dynamiki ładunku o relatywnie niewielkiej masie.

Znaczenie wyników podkreśla możliwość prawie bezpośredniego ich wykorzystania w praktyce przemysłowej. Implementacja opracowanych modeli wymagała od Doktorantki wykazania się sprawnością programistyczną, natomiast wyznaczenie analitycznego rozwiązania przybliżonego – opanowaniem analitycznych perturbacyjnych technik rozwiązań równań nieliniowych.

## **7. Pytania i uwagi dyskusyjne**

Recenzent nie zauważył w rozprawie większych błędów ani zaniedbań. Zasadniczo wszystkie istotne częściowe wyniki, modele i techniki przedstawione w rozprawie przeszły już proces recenzji

merytorycznej, ponieważ zostały opublikowane w szeregu artykułów naukowych, w tym czterech z Doktorantką w roli autora korespondencyjnego.

Przedstawione poniżej uwagi i pytania mają charakter dyskusyjny. W zamierzeniu mają ewentualnie przyczynić się do zwiększenia przejrzystości i walorów poznawczych rozprawy.

- 1) Zgodnie ze swoim tematem rozprawa dotyczy modelowania dynamiki ładunku podnoszonego przez żurawie okrętowe na morzu. Tej tematyki dotyczy wprowadzenie oraz trzy z pięciu artykułów cyklu. Dwa ostatnie artykuły cyklu są interesujące i pozytywnie świadczą o aktywności badawczej Doktorantki, jednak dotyczą zupełnie innych tematów badawczych i – zdaniem recenzenta – nie powinny wchodzić w skład rozprawy.
- 2) Zaproponowany model uwzględnia ruch ładunku jedynie w płaszczyźnie prostopadłej do osi statku. Recenzentowi brakuje choćby krótkiego uzasadnienia tego wyboru.
- 3) W rozprawie zilustrowane jest zastosowanie zaproponowanego modelu oraz narzędzi numerycznych i analitycznych do jakościowej analizy amplitudy odpowiedzi w zależności jedynie od długości liny. Pozostałe parametry procesu (kierunek i okres fal, konfiguracja geometryczna ramienia dźwigu, masa ładunku, sztywność i tłumienie kompensatora itp.) są stałe. Recenzentowi nieco brak jest szerszej analizy stosowalności zaproponowanych narzędzi. Taka analiza mogłaby na przykład mieć postać: 1) dyskusji parametrów, na które operator ma bezpośredni wpływ, a więc może kontrolować i dostosowywać ich wartość w celu modyfikacji dynamiki procesu, oraz 2) choćby dwuwymiarowych map stabilności procesu. Taka analiza pozwoliłaby czytelnikowi docenić znaczenie opracowanych narzędzi.
- 4) Układ przedstawiony na Rys. 11 (str. 36) zawiera dedykowany element tłumiący. Oznacza to, że model tłumienia nie jest proporcjonalny i macierz tłumienia układu prawdopodobnie nie jest diagonalizowalna wspólnie z macierzami mas i sztywności. Pomimo tego na str. 44–45 przedstawiona jest analiza modalna układu, gdzie wektory modalne są rzeczywiste a nie zespolone. Czytelnikowi brakuje tutaj choćby krótkiego wyjaśnienia.
- 5) Amplitudy wykreślone na Rys. 25 i 26 (str. 50 i 51) są skończone. Jednak niektóre amplitudy przedstawione na Rys. 23 i 24 wydają się być rozbieżne do nieskończoności. Czy rzeczywiście tak jest? Jeśli tak, to jak to uzgodnić?
- 6) Jak należy rozumieć określenie „system fundamental matrix” występujące powyżej równania (15) artykułu [2]? Dlaczego macierz A ma rozmiar  $5 \times 5$ ? Czy to jest ta sama macierz, co macierz A występująca we wprowadzeniu na str. 30–31?
- 7) Zaproponowany w rozprawie model dynamiki ładunku zakłada brak układu sterowania kompensującego ruch statku. Wydaje się jednak, że model może posłużyć do interesujących badań efektywności tego typu układów różnorodnych rodzajów. Przykładowo: czy półaktywne sterowanie współczynnikiem tłumienia  $c_c$  kompensatora umożliwiłoby istotne zmniejszenie amplitud wychYLENIA ładunku?

## 6. Uwagi techniczne i redakcyjne

Rozprawa sformułowana jest w języku angielskim, a jej angielszczyzna jest zasadniczo zrozumiała, co dotyczy zwłaszcza pięciu artykułów wchodzących w skład przedstawionego cyklu. Poniższe uwagi nie mają charakteru merytorycznego, a jedynie techniczno-redakcyjny.

- Spis treści (str. 7) jest niepełny i powinien być uzupełniony o artykuły cyklu, deklaracje wkładu merytorycznego i bibliografię rozprawy.

- Cele szczegółowe przedstawione na str. 27 mają w większości charakter nie tyle celów, co ogólnych charakterystyk obszarów badawczych. Dla większej jasności powinny być sformułowane w postaci celów, tzn. konkretnych zadań badawczych.
- Zmienna  $\omega$  występująca w równaniu (4) na str. 29 (i w artykułach cyklu) opisana jest jako „natural frequency”. Czy nie chodzi tutaj o częstość fal?
- Specyficzna postać macierzy  $A$  przedstawiona w równaniu (10) na str. 31 jest trudna w interpretacji. Czytelnikowi może brakować informacji o charakterystykach statku i fali oraz skali odniesienia dla przedstawionych wartości liczbowych.
- Jednostki pionowej osi wykresów na str. 34 (i analogicznych w artykułach cyklu) podane są jako  $m^2/s^2$ . Czy nie ma tutaj pomyłki?
- Co oznacza wykładnik 2 w „RAO<sup>2</sup>” na schemacie przedstawionym na Rys. 10 (i analogicznym schemacie w artykułach cyklu)?
- W wielu miejscach rozprawy jako granica stosowalności modelu o trzech stopniach swobody (niesprężonego z dynamiką statku) jest skrótowo podana wartość masy ładunku wynosząca „2% of the vessel’s displacement”. Czytelnika może dziwić przyrównanie jednostek masy do przemieszczenia. Wskazane byłoby szczegółowsze wyjaśnienie.
- Na str. 41 jest mowa o „resonance beyond cable length”. Jak należy rozumieć to określenie?
- Rozdzielczość większości wykresów przedstawionych we wprowadzeniu jest niższa niż wykresów w artykułach cyklu. W niektórych wypadkach rozdzielczość jest na tyle niska, że zaburza czytelność tekstu – tak jest m.in. w wypadku legend wykresów przedstawionych na Rys. 20 i 21.
- Na str. 45 przedstawiona jest dekompozycja modalna równania ruchu modelu o trzech stopniach swobody. Wprowadzenie jednak nie zawiera samego równania ruchu.
- Amplituda wahań przedstawiona na Rys. 24 (str. 49) wzrasta do około 2 rad. Wydaje się, że tak duża wartość amplitudy przekracza granice stosowalności modelu.
- Jakie są jednostki wartości podanych w Tabeli 2 na str. 53?
- Symbol  $W$  występujący w zależności (1) artykułu [1] został opisany jako „Working load [kN/m]”. Czy jednostki są podane prawidłowo?
- Pomiędzy drugim a trzecim akapitem Sekcji 2.2 artykułu [1] prawdopodobnie powinno pojawić się równanie. Podobna uwaga dotyczy akapitu drugiego i trzeciego Sekcji 3 artykułu [3].
- Na str. 4 artykułu [1] (początek lewej kolumny) „yaw, roll and pitch” opisane są jako „vertical, transverse and longitudinal oscillations”. Wyjaśnienie to powinno odnosić się raczej do „heave, sway and surge” w zdaniu poprzednim.
- Odniesienie do Rys. 15 pod koniec str. 6 artykułu [1] powinno prawdopodobnie odnosić się do Rys. 5.
- Legendy wykresów przedstawionych na Rys. 30 i 31 na str. 12 artykułu [1] podają sztywność  $k_c$  jako równą 0.04 kN/m lub 2.0 kN/m, podczas gdy masa ładunku wynosi aż 100 t. Czy podane sztywności nie są zbyt małe?
- Równanie (6) artykułu [2] ma nieco inną postać niż równanie (8) artykułu [1].
- Czy w równaniu (8) artykułu [2] nie powinien występować symbol  $l_c$  zamiast  $l_0$ ?
- Dlaczego w równaniu (1) artykułu [3] brakuje tłumienia?
- Równania (28) i (30) artykułu [3] są identyczne. Czy to nie pomyłka?

- Na str. 9 artykułu [3] jest uwaga, że wykonano około 1000 symulacji w celu uśrednienia wyników. Uwaga ta nie jest jasna dla czytelnika. Wydaje się, że symulacje są deterministyczne – jaki więc sens ma wielokrotne powtarzanie tych samych obliczeń?

## **7. Podsumowanie**

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anny Mackojć dotyczy tematu aktualnego, oryginalnego i ważnego aplikacyjnie. Rozwiązując postawiony problem badawczy Doktorantka posłużyła się klasyczną metodyką prowadzenia badań naukowych i wykazała się umiejętnością samodzielnego ich prowadzenia. Osiągnięte wyniki są oryginalne i interesujące dla szerszego środowiska naukowego. Rozprawa zaowocowała szeregiem publikacji w czasopismach naukowych i generuje dalsze problemy badawcze, co pośrednio potwierdza jej istotność. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne mają charakter techniczny i nie umniejszają wartości pracy.

Recenzowana praca spełnia warunki stawiane formalnie i zwyczajowo rozprawom doktorskim, w szczególności stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy Pani mgr inż. Anny Mackojć do publicznej obrony.