

prof. dr hab. inż. Robert Michnik
Katedra Biomechatroniki
Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Biomedycznej
ul. Roosevelta 40
41-800 Zabrze
e-mail: Robert.Michnik@polsl.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Gabrieli Chwalik-Pilyszyk

pt.: „Modelowanie dyskretne w analizie drgań przenoszonych na osobę na osobę poruszająca się na wózku inwalidzkim”

1 Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo o sygnaturze M.00-126/2023 Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej prof. dr hab. inż. Jerzego A. Sładka, w którym zostałem poinformowany, że Rada Naukowa Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej powołała mnie na recenzenta pracy doktorskiej mgr inż. Gabrieli Chwalik-Pilyszyk pt. „Modelowanie dyskretne w analizie drgań przenoszonych na osobę poruszającą się na wózku inwalidzkim”.

2 Przedmiot i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt.: „Modelowanie dyskretne w analizie drgań przenoszonych na osobę poruszającą się na wózku inwalidzkim” autorstwa Pani mgr inż. Gabrieli Chwalik-Pilyszyk. Praca ma charakter teoretyczno-badawczy i składa się z 5 rozdziałów głównych. Całość pracy liczy 109 stron i do jej napisania wykorzystano 136 pozycji literaturowych powiązanych ściśle z tematyką prowadzonych przez doktorantkę badań. Rozprawa uzupełniona została spisem tabel oraz czterema załącznikami zawierającymi: zestaw pytań ankietowych (Załącznik A) oraz kody źródłowe skryptów wykorzystanych w obliczeniach inżynierskich (Załączniki B, C, D). Integralną częścią rozprawy jest jej streszczenie w języku polskim i angielskim.

Badania prezentowane w recenzowanej rozprawie koncentrują się na badaniach doświadczalnych, modelowaniu i analizie drgań użytkowników wózków inwalidzkich podczas poruszania się po różnych typach nawierzchni. Postawione cele badawcze recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Gabrieli Chwalik-Pilszyk wpisują się w tematykę aktualnie prowadzonych badań w dyscyplinie Mechanika, w szczególności w obszarach związanych z biomechaniką.

3 Ocena merytoryczna pracy

W rozprawie doktorskiej przedstawiono możliwości wykorzystania modeli biomechanicznych do symulacji drgań użytkowników wózków inwalidzkich. Tematykę doktoratu można uznać za istotną, zważywszy na że wnioski aplikacyjne z niej wynikające mogą przyczynić się do poprawy komfortu i ergonomii użytkowników wózków inwalidzkich.

Praca została podzielona na trzy główne części stanowiące odpowiednio: wprowadzenie do prowadzonych badań, opis badań własnych oraz podsumowanie końcowe. W rozdziale pierwszym *Wprowadzenie* autorka pracy krótko uzasadniła zasadność podjęcia tematyki badań, przedstawiła wykaz publikacji związanych z tematyką doktoratu (rozdział *1.2 Przegląd literatury tematu*) oraz zaprezentowała przyjęte cele i tezy badawcze. Pewnym niedostatkim jest fakt, że rozdział *1.2 Przegląd literatury tematu* ogranicza się do wykazu publikacji i nie kończy podsumowaniem wskazującym na zasadność podjętej tematyki badawczej. Doktorantka sformułowała trzy główne cele rozprawy doktorskiej:

- zbudowanie dyskretnego modelu człowieka—użytkownika wózka inwalidzkiego wraz z wózkiem w trakcie jego jazdy biernej,
- walidacja doświadczalna modelu,
- przeprowadzenie symulacji numerycznych drgań przekazywanych na użytkownika przy ruchu wózka inwalidzkiego po nierównym podłożu.

Autorka postawiła również tezę pracy: zaproponowany model dyskretny człowieka-użytkownika wózka inwalidzkiego, o pięciu stopniach swobody, obejmujący model człowieka siedzącego Wan i Schimmels (Wan, Schimmels, 1995) o czterech stopniach swobody uzupełniony o model wózka inwalidzkiego, jest wystarczający do opisu drgań przenoszonych na wybrane części ciała jego użytkownika w przypadku ruchu biernego wózka po nierównych powierzchniach.

W rozdziale 2 *Drgania użytkownika wskutek biernego ruchu wózka inwalidzkiego* przedstawiono zarówno aktualny stan wiedzy związany z badaniami drgań użytkowników wózków inwalidzkich jak również badania doświadczalne zrealizowane przez doktorantkę. Przeprowadzone przez autorkę badania obejmowały wyznaczenie drgań odbieranych przez użytkowników wózków podczas poruszania się po odcinku prostoliniowym o długości 50m. Badania te zostały zrealizowane podczas biernego ruchu po trzech różnych rodzajach powierzchni, a do pomiarów drgań wykorzystano czterokanałowy miernik drgań SVAN 958

firmy SVANTEK. W rozdziale 2 autorka zamieściła również wyniki przeprowadzonych pomiarów oraz szczegółową ich analizę.

W rozdziale 3 *Modele człowieka poruszającego się wózkiem inwalidzkim w trakcie jazdy biernej* zaprezentowany został aktualny stan wiedzy w zakresie metod modelowania matematycznego oraz istniejących modeli służących do wyznaczania drgań użytkowników wózków inwalidzkich. W rozdziale tym autorka przedstawiła również dwa własne modele wykorzystane w przeprowadzonych symulacjach:

- przestrzenny 15-członowy model ciała człowieka, który wykorzystano w symulacjach numerycznych z wykorzystaniem metody dynamiki układów członowych,
- model ciała człowieka o pięciu stopniach swobody opisanego układem równań różniczkowych, który rozwiązano z wykorzystaniem obliczeń symbolicznych.

Wyniki symulacji numerycznych z wykorzystaniem opisanych w 3 rozdziale modeli matematycznych zaprezentowane zostały w rozdziale 4 *Analiza drgań człowieka siedzącego na wózku inwalidzkim dla wymuszenia harmonicznego*. Badania te obejmowały przeprowadzenie symulacji drgań własnych oraz drgań wymuszonych. W rozdziale tym doktorantka dokonała również analizy wyników przeprowadzonych badań i walidacji opracowanych modeli.

Rozdział 5 rozprawy doktorskiej zawiera podsumowanie i wnioski końcowe z przeprowadzonych badań. Wskazano w nim również kierunki dalszych prac.

4 Najważniejsze osiągnięcia pracy

Do najważniejszych, oryginalnych osiągnięć badawczych przedstawionej pracy doktorskiej należy zaliczyć:

- Przeprowadzenie badań ankietowych mających na celu identyfikację problemów wynikających z drgań jakim poddawani są użytkownicy wózków inwalidzkich podczas korzystania z wózków inwalidzkich. Badania ankietowe wykazały między innymi powiązanie dolegliwości bólowych kręgosłupa z drganiami wózka. Tym samym wyniki ankietowych potwierdziły zasadność i słuszność podjętej tematyki badań oraz sformułowanych celów i tez rozprawy doktorskiej.
- Opracowanie metodyki badań doświadczalnych pozwalających na ocenę wpływu rodzaju wózka inwalidzkiego, parametrów antropometrycznych użytkownika wózka na drgania w trakcie jazdy biernej.
- Wykazanie na podstawie wyników badań doświadczalnych, że podczas jazdy biernej na użytkowników wózków inwalidzkich podczas jazdy biernej po różnych rodzajach powierzchni może dochodzić do niebezpiecznego i niepożądanego, kilkukrotnego przekroczenia wartości normatywnych granicy uciążliwości drgań wskazanych w odpowiednich normach ISO.

- Opracowanie trzech modeli ciała człowieka służących do analizy drgań użytkowników wózków inwalidzkich:
 - a. przestrzenny 15-członowy model ciała człowieka pozwalający na symulacje numeryczne z wykorzystaniem metody dynamiki układów członowych,
 - b. model ciała człowieka o pięciu stopniach swobody opisany układem równań różniczkowych, który rozwiązano z wykorzystaniem obliczeń symbolicznych,
 - c. model ciała człowieka o pięciu stopniach swobody zamodelowany z wykorzystaniem metody elementów skończonych.
- Opracowanie metodyki badań doświadczalnych pozwalających na identyfikację parametrów (współczynników sztywności i współczynników tłumienia) połączenia podłoże-wózek inwalidzki.
- Przeprowadzenie szerokiej gamy symulacji drgań użytkowników wózków inwalidzkich z wykorzystaniem opracowanych w rozprawie modeli matematycznych.

5 Uwagi krytyczne i dyskusja materiału naukowego

Recenzowaną pracę oceniam pozytywnie, zarówno pod względem merytorycznym jak i edycyjnym. W kilku miejscach pracy pojawiły się drobne usterki edycyjne, nieścisłości lub nieprecyzyjne sformułowania. Uwagi szczegółowe zamieszczam poniżej.

1. Jedną z wad recenzowanej rozprawy jest nietypowy układ pracy, raczej rzadko stosowany w pracach naukowych, bez wyraźnego podziału na rozdziały poświęcone: ocenie aktualnego stanu wiedzy, prezentacji celu i hipotez badawczych pracy, metod badawczych, wyników badań, dyskusji wyników badań oraz zestawienie wniosków końcowych. Rozdział 1.2 zatytułowany „Przegląd literatury” jest tak naprawdę wykazem artykułów naukowych w poszczególnych obszarach wymienionych przez autorkę. Co istotne rozdział ten nie kończy się krytycznym podsumowaniem aktualnego stanu wiedzy związanego z tematem pracy, który powinien być podstawą do przyjęcia celów, hipotez, tez i metod badawczych. Brak takiego podsumowania utrudnia jednoznaczną weryfikację przyjętego celu pracy.
2. Szczegółowy opis większości badań prezentowanych w wykazie literatury zamieszczonym w rozdziale 1.2 dołączono do rozdziałów prezentujących badania własne doktorantki. Taki zabieg połączony z brakiem rozdziału dotyczącego metodyki badań powoduje, że w niektórych w fragmentach pracy trudno się zorientować czy autorka opisuje badania literaturowe czy też własne.
3. Rozdziały 2, 3, 4, w których doktorantka przedstawiła badania własne są kompilacją przeglądu literatury, opisu metodyki badań, prezentacją wyników badań, zakończonych krótką i pobieżną analizą wyników badań.

4. Symulacje drgań użytkowników wózków inwalidzkich zostały przeprowadzone trzema metodami:
 - a. z wykorzystaniem przestrzennego 15-członowego modelu ciała człowieka symulacje przeprowadzone z wykorzystaniem metody dynamiki układów członowych,
 - b. modelu ciała człowieka o pięciu stopniach swobody opisanego układem równań różniczkowych, który rozwiązano z wykorzystaniem obliczeń symbolicznych,
 - c. modelu ciała człowieka o pięciu stopniach swobody zamodelowanego z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

O ile model o 5 stopniach swobody jest wskazany w tezie pracy, nie do końca widzę zasadność prezentacji wyników symulacji z modelu 15-członowego. Wyniki symulacji z tego modelu prezentowane są w rozdziale 4.1, w odniesieniu do wyników badań doświadczalnych, ale nie zostały one porównane z wynikami badań z modelu o 5 stopniach swobody.

5. Jedną z metod symulacji numerycznych drgań człowieka siedzącego na wózku, która wykorzystywała autorka pracy, była budowa 5-członowego modelu i rozwiązanie go z wykorzystaniem metody elementów skończonych przy wykorzystaniu pakietu ANSYS. Model ten został wykorzystany do przeprowadzenia szeregu symulacji, analizy drgań własnych, drgań wymuszonych i losowych. Niestety opis tego modelu jest bardzo ubogi, ograniczający się do dwóch zdań umieszczonych na końcu rozdziału 4.2.1.
6. Jednym z celów badań zrealizowanych w rozprawie była zbudowanie dyskretnego modelu człowieka-użytkownika wózka inwalidzkiego wraz z wózkiem i jego walidacja doświadczalna. Uważam, że ten cel został zrealizowany tylko częściowo i dodatkowo nie prawidłowo zaprezentowany w pracy. W rozprawie nie osobnego rozdziału poświęconego walidacji modelu. Wyniki badań walidujących 5-członowy-model dyskretny użytkownika wózka (wskazany w tezie pracy) można odnaleźć w rozdziale 4.2.3 (Analiza drgań wymuszonych), w którym przeprowadzono krótką jakościową analizę porównawczą wyników symulacji z wynikami badań doświadczalnych.
7. Mankamentem pracy jest dosyć pobieżna analiza otrzymanych wyników przeprowadzonych symulacji numerycznych, w niektórych fragmentach pracy ograniczona tylko do prezentacji wyników badań. Zdecydowanie w pracy brakuje odniesienia wyników badań prezentowanych w rozprawie do rezultatów prac innych autorów. Uniemożliwia to pełną ocenę przeprowadzonych przez doktorantkę badań. Brak dyskusji utrudnia jednoznaczne wskazanie zalet proponowanego modelu dyskretnego do symulacji drgań użytkownika wózka inwalidzkiego w stosunku do

istniejących modeli zwłaszcza 4-członowego modelu Wan-Schimmels będą podstawą rozbudowanego przez doktorantkę modelu 5-członowego.

8. Szkoda, że doktorantka nie zdecydowała się wykorzystać opracowanego w rozprawie 5-członowego modelu dyskretnego człowieka-użytkownika wózka do przeprowadzenia symulacji z takimi samymi wymuszeniami kinematycznymi jak w innych publikacjach poświęconych symulacjom drgań przenoszonych na użytkowników wózków. Wyniki takich symulacji częściowo były podstawą weryfikacji opracowanego modelu, ale przede wszystkim umożliwiłyby wykazanie zalet opracowanego modelu.
9. Trudno mi się zgodzić z ostaniem wnioskiem prezentowanym w rozdziale 5.2, w którym autorka krytycznie odnosi się do możliwości wykorzystania rozbudowanych przestrzennych modeli wielocłonowych (np. prezentowanego i wykorzystanego do symulacji w pracy 15-członowego modelu ciała człowieka) do badania drgań człowieka na wózku inwalidzkim, argumentując to „koniecznością wprowadzenia wielu parametrów, które są trudne do bezpośredniego wyznaczenia dla ciała człowieka metodami badań doświadczalnych”. Rozumiem, że uwaga ta odnosi się do parametrów sztywności i tłumienia w poszczególnych parach kinematycznych modelujących stawy i połączenia poszczególnych segmentów. Warto jednak zwrócić uwagę, że również proponowany przez doktorantkę model również wymaga podania wartości współczynników sztywności i tłumienia pomiędzy segmentami ciała uwzględnionymi w 5-członowym modelu. Ich wyznaczenie również może być problematyczny zwłaszcza, że proponowany model wymaga podania współczynników sztywności i tłumienia pomiędzy tułowiem i organami wewnętrznymi oraz miednicą i organami wewnętrznymi. Moim zdaniem doświadczalne wyznaczenie współczynników sztywności w stawach ciała człowieka (potrzebnym w modelu wielocłonowym) jest mniej problematyczne niż wyznaczenia tychże współczynników pomiędzy tułowiem (lub miednicą) i organami wewnętrznymi. Dodatkowo model 5-członowy ogranicza się do analizy drgań tylko w jednej osi, co jest dużym uproszczeniem w przypadku poruszania się na wózku inwalidzkim.

6 Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Gabrieli Chwalik-Pliszyk stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, obejmującego modelowanie i analizę drgań użytkowników wózków inwalidzkich. Tak postawiony problem badawczy wymagał szerokiej wiedzy z zakresu mechaniki, w szczególności metod modelowania i analizowania drgań, ale również anatomii ciała człowieka oraz biomechaniki. Tym samym badania prezentowane w rozprawie doktorskiej wpisują się w obszar badań reprezentowanych przez dyscyplinę Mechanika.

Biorąc pod uwagę powyższe aspekty stwierdzam, że opiniowana praca doktorska spełnia wymagane Ustawą warunki, to jest art.13 ust.1 *Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*. Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie mgr inż. Gabrieli Chwalik-Pilszyk do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w szczególności do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

prof. dr hab. inż. Robert Michnik