

Dr hab. inż. Damian Gąsiorek
Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej
Politechnika Śląska
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Ul. Konarskiego 18A
44-100 Gliwice
e-mail: Damian.Gasiorek@polsl.pl

Gliwice 07.06.2022 r.

RECENZJA

*Rozprawy doktorskiej mgra inż. Wiesława Szaja
zatytułowanej*

„Mechatroniczny system prowadzenia pojazdu dla osób z niepełnosprawnością”.


*Recenzję opracowano na podstawie zlecenia RM-530-12-03/19/2022 Przewodniczącego
Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna dr hab. inż. Andrzeja Burghardta, prof. PRz z dnia
23.02.2022 r.*

1. Zakres rozprawy

Czwarta rewolucja przemysłowa, która ogłoszona została po roku 2010 w na forum ekonomicznym w Davos dotyczy w znacznym stopniu cyfryzacji procesów i produktów. Na wspomnianą cyfryzację składają się min. problemy z dużą ilością danych i ich analizą, cyberbezpieczeństwem, czy pionowa i pozioma integracją softwarową lub zagadnieniami związanymi z Internetem rzeczy. Z drugiej strony filarem zmian mają być nowoczesne technologie przyrostowe popularnie zwane drukiem 3D czy np. roboty autonomiczne. Po roku 2011 w przestrzeni publicznej pojawił się termin „Industry 4.0” czyli popularny w naszym kraju „Przemysł 4.0”, bazujący na 9 filarach technologicznych.

Projektując nowoczesne urządzenia i maszyny dostosowane do potrzeb ludzi należy uwzględniać najnowsze trendy i technologie pozwalające na opracowanie i budowanie urządzeń bezpiecznych i lepiej dostosowanych do potrzeb użytkownika.

Wózki elektryczne dla osób z niepełnosprawnościami wydają się być optymalnym rozwiązaniem dla osób o ograniczonej sprawności ruchowej. Ich najważniejszą cechą jest możliwość poruszania się osoby niepełnosprawnej na wózku po zróżnicowanym terenie – zarówno wewnątrz budynków, jak i poza nimi. Co więcej wózki mogą się siebie różnić możliwościami zależnymi do potrzeb osób o różnorodnych problemach zdrowotnych. Z punktu widzenia użytkownika urządzenia te muszą stanowić bezpieczny sprzęt, wyposażony



w funkcjonalne ułatwienia, takie jak wytrzymałe pasy czy kompletne oświetlenie umożliwiające poruszanie się po zmroku. Pozwala to nie tylko zwiększenie ochrony przed mechanicznymi urazami, ale także poprawę psychicznego komfortu związanego z ich użytkowaniem. Jedną z najważniejszych cech wózka elektrycznego jest możliwość poruszania się osoby niepełnosprawnej bez konieczności angażowania innych osób. Dzieje się tak dzięki zastosowaniu w wózkach elektronicznego sterowania, a sam wózek inwalidzki elektryczny odciąża górną część ciała. Współczesne wózki z napędem mają za zadanie przede wszystkim bezpiecznie przetransportować użytkownika z jednego punktu do drugiego.

Wykorzystując wiedzę z zakresu najnowszych technologii związanych z filarami przemysłu 4.0 można pokusić się o możliwość opracowania wózka zwiększającego bezpieczeństwo użytkownika poprzez systemy zabezpieczeń przed wypadkami, a nawet o autonomiczność platformy.

Tym samym opiniowana praca wpisuje się w nurt działań mających na celu projektowanie bardziej użytecznych i bezpiecznych środków lokomocji dla osób z niepełnosprawnościami. W pracy przedstawiono badania modelowe i doświadczalne oraz analizę uzyskanych wyników. Jest to przykład pozytywnego wykorzystania wiedzy inżynierskiej, szczególnie w obszarze nowych technologii w zastosowaniach do potrzebnych badań mogących usprawnić życie człowieka z niepełnosprawnościami.

Celem rozprawy doktorskiej było opracowanie mechatronicznego systemu ułatwiającego osobom z niepełnosprawnością poruszanie się na wózku elektrycznym.

Zakres przedstawionego w rozprawie doktorskiej celu badawczego obejmował następujące założenia:

- analizę literatury oraz przegląd istniejących rozwiązań,
- opracowanie modeli numerycznych: wózka, kierującego i otoczenia,
- przeprowadzenie symulacji działania opracowanego systemu prowadzenia pojazdu,
- opracowanie i wykonanie mobilnego stanowiska do badań laboratoryjnych,
- wykonanie prototypu funkcjonalnego opracowanego rozwiązania.

Rozprawa doktorska obejmuje 145 stron tekstu bez bibliografii, którą stanowi 129 pozycje literaturowe oraz 11 adresów stron internetowych. Praca podzielona została na 10 rozdziałów wraz z podrozdziałami. Zakończenie pracy stanowi streszczenie pracy w języku polskim i angielskim.

Recenzowana rozprawa mieści się w szeroko pojętej dyscyplinie naukowej – inżynieria mechaniczna.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

We wstępie pracy Doktorant prezentuje zagadnienia związane z mobilnością osób niepełnosprawnych, barierami komunikacyjnymi i architektonicznymi. Zapewnienie bezpieczeństwa kierującego elektrycznym wózkiem inwalidzkim generuje konieczność opracowania systemu wspomagania, który pozwoli osobie niepełnosprawnej z dodatkowymi schorzeniami na bezpieczne nawigowanie po przestrzeni publicznej. Wstęp pracy stanowi podstawę do opracowanego Celu i zakresu pracy, czyli drugiego rozdziału pracy. W tej części pracy Autor opisał zakres pracy oraz streścił poszczególne rozdziały pracy.

W rozdziale trzecim Doktorant przeprowadził badania literaturowe, w których skupił się na następujących aspektach:

- pracach badawczych z zakresu systemów bezpieczeństwa wózków,
- określeniu wymagań systemu bezpieczeństwa w odniesieniu do istniejącego potencjału technologicznego,
- systemach zabezpieczeń osób poruszających się na wózkach,
- interfejsie użytkownika,
- przeglądzie prac z zakresu systemów zabezpieczeń,
- systemach lokalizacji obiektów.

W rozdziale trzecim Autor przedstawił uwarunkowania społeczne, prowadzone prace badawcze podobnych rozwiązań konstrukcyjnych na świecie i w Polsce oraz wykonał analizę zapotrzebowania i przydatności zaproponowanego rozwiązania. Ważnym aspektem tej części pracy jest opracowany przegląd systemów bezpieczeństwa, metod lokalizacji, metod rekonstrukcji środowisk przestrzennych.

Istotną część pracy stanowi przegląd prac z zakresu systemów zabezpieczeń, w których Autor skupił się na rozwiązaniach bazujących na:

- Systemie antykolizyjnym z czujnikami mechanicznymi,
- Systemie antykolizyjnym z detektorami ultradźwiękowymi,
- Systemie antykolizyjnym ze skanerem laserowym LiDAR,
- Systemie antykolizyjnym ze stereowizją,
- Systemie z kamerami ToF,
- Systemie antykolizyjnym wielosensorycznym,

Dodatkowo Doktorant opisał metody analizy danych sensorycznych i na podstawie modelu otoczenia.

Kolejnym istotnym elementem opisanym w pracy są systemy lokalizacji obiektów, które w literaturze nazywane są SLAM (ang. Simultaneous Localization and Mapping) i zasadniczo polegają na jednoczesnym lokalizowaniu obiektu oraz budowaniu mapy otoczenia.

W tej części pracy Autor przedstawił trzy metody SLAM:

- EKF SLAM – metodzie opartej o filtr Kalmana,
- Fast SLAM – metodzie opartej o filtr cząsteczkowy,
- ICP SLAM – metodzie opartej na iteracyjnym wyrównywaniu danych geometrycznych.

Rozdział zakończony jest przeglądem prowadzonych podobnych badań dotyczących mobilności osób niepełnosprawnych w ośrodkach naukowych w Polsce.

W rozdziale czwartym Doktorant przedstawił założenia konstrukcyjne systemu prowadzenia pojazdu dla osób z niepełnosprawnością. W rozdziale tym opisał:

- System sensoryczny,
- System przetwarzania danych,
- System precyzyjnego prowadzenia do przeszkody

W kolejnym rozdziale przedstawił budowę systemu sensorycznego opartego na jednostce skanującej RPLidar zabudowanego na mechanizmie obrotowym. Do wykonania mechanizmu Autor posłużył się min. technologiami przyrostowymi, metodą druku z tworzywa sztucznego FDM (ang. Fused Deposition Modeling). Na podstawie wyznaczonych parametrów dobrał silnik krokowy

W rozdziale szóstym Autor przedstawi opracowaną metodę detekcji możliwości kolizji z obiektami otoczenia wokół wózka. Rozdział szósty stanowi przedstawienie systemu przetwarzania danych, który stanowi podstawę do budowy:

- modelu otoczenia,
- modułu analizy otoczenia,
- modułu przetwarzania ruchu,
- modułu detekcji kolizji,
- systemu ostrzegania o zagrożeniu,
- systemu awaryjnego zatrzymania i kontroli wózka,

W rozdziale kolejnym, czyli siódmym Doktorant zajął się opisem stanowiska badawczego.

W rozdziale tym opisał:

- środowisko programistyczne LabView,
- system MyRIO

- mobilną platformę badawczą z mechanizmem sterującym,
- mobilne stanowisko do badań eksperymentalnych – wózek elektryczny Airwheel HS3

W rozdziale ósmym Autor opisał badania eksperymentalne przeprowadzone na opisanej w pracy mobilnej platformy pomiarowej. W pierwszym etapie prac zaprezentowano testy uproszczonego systemu zabezpieczeń, co potwierdziło słuszność przyjętych założeń do budowy pełnej platformy.

W tej części pracy zaprezentowano badania dotyczące:

- systemu zabezpieczeń ze zmienną strefą bezpieczeństwa,
- czynników wpływających na długość drogi hamowania,
- systemu prowadzenia pojazdu

Podsumowanie pracy stanowi rozdział dziewiąty, w którym Doktorant wskazał na rozwiązania zgłoszeń patentowych, które są wynikiem prac prowadzonych w ramach recenzowanej pracy Doktorskiej. Wniosek P.437266 – Urządzenie do ustawiania położenia skanera, sposób ustawiania skanera z wykorzystaniem tego urządzenia oraz zastosowanie urządzenia do ustawiania położenia skanera, oraz wniosek P. 437267 – wózek zwłaszcza dla osób niepełnosprawnych. Ponadto w podsumowaniu Doktorant przedstawił osiągnięcia i zakres prac jaki został przedstawiony w recenzowanej pracy doktorskiej.

Prowadzone przez Autora rozważania kończą wnioski, które stanowią rozdział dziesiąty pracy i potwierdzają realizację wyznaczonego celu pracy. Ponadto określono kierunki dalszych badań w zakresie tematyki rozprawy. Rozdział ten stanowi jedna strona pracy, z czego wnioski są trzy, a kierunki dalszych prac badawczo rozwojowych stanowią pięć propozycji.

3. Najważniejsze osiągnięcia pracy

Celem przedstawionej pracy doktorskiej jest opracowanie mechatronicznego systemu ułatwiającego osobom z niepełnosprawnością poruszanie się na wózku elektrycznym.

Do najważniejszych osiągnięć badawczych przedstawionej pracy doktorskiej należy zaliczyć:

- Opracowanie rozwiązań konstrukcyjnych pozwalających na opracowanie dwóch zgłoszeń patentowych. Wniosek P.437266 – Urządzenie do ustawiania położenia skanera, sposób ustawiania skanera z wykorzystaniem tego urządzenia oraz zastosowanie urządzenia do ustawiania położenia skanera, oraz wniosek P. 437267 – wózek zwłaszcza dla osób niepełnosprawnych.

- Doktorant opracował i wykonał autorskie rozwiązanie mechanizmu obrotowego skanera 2D umożliwiające pomiary w zakresie poziomym i pionowym.
- Wyniki badań numerycznych, symulacyjnych i eksperymentalnych potwierdziły efektywność działania opracowanego systemu kierowania wózka.
- Opracowane rozwiązanie może w znacznym stopniu wspomóc życie osób z niepełnosprawnościami poprzez zwiększenie ich bezpieczeństwa w trakcie poruszania się wózkiem elektrycznym.
- Zaproponowany przez Doktoranta system znacznie poprawia bezpieczeństwo użytkownika wózka elektrycznego, ale również osób znajdujących się w jego otoczeniu.
- Zaprezentowane w pracy rozwiązanie mechanizmu obrotowego skanera zapewnia zmianę płaszczyzn skanera w szerokim zakresie i umożliwia dostosowanie rozdzielczości skanowania pionowego do wymagań systemu, co umożliwia uzyskanie obrazu o różnej rozdzielczości i szczegółowości.
- Opracowana i przedstawiona w pracy metoda detekcji kolizji pozwala na poszerzenie zakresu detekcji zagrożeń o przestrzeń znajdującą się poza zasięgiem detektorów, jeśli była wcześniej już skanowana.
- Opracowane urządzenie może stanowić w przyszłości możliwość rozbudowy dowolnego wózka elektrycznego o system zabezpieczenia przed kolizjami, ale także może stanowić podstawę takiego systemu przy opracowaniu wózka autonomicznego.

4. Uwagi do pracy

Praca dotyczy złożonych i trudnych zagadnień, co zrodziło kilka pytań i wątpliwości:

Uwaga ogólna:

- W opisie zakresu pracy Autor nie wspomina o najważniejszej części czyli o analizie wniosków, która powinna być zwięźczeniem rozprawy doktorskiej. Opis poszczególnych rozdziałów pracy jest bardzo skąpy (str 8).
- Przegląd prac z zakresu systemów zabezpieczeń wydaje się być napisany nieco mało starannie, brakuje zestawienia tabelarycznego cech wspólnych, które pozwalałyby na ocenę opisywanych systemów,
- Praca napisana jest nieco chaotycznie, a rozdziały mogły być lepiej ułożone w pracy, czego przykładem jest rozdział 3 z podrozdziałami mieszczący się na 36 stronach pracy. Rozdział ten mógł zostać podzielony na mniejsze rozdziały. Obecnie w trakcie

czytania pracy następujące po sobie rozdziały wydają się mało logiczne, czego przykładem są podrozdziały opisujące przegląd prac z zakresu systemów zabezpieczeń, a w kolejnych podrozdziałach opis metody analizy danych sensorycznych i na podstawie modelu otoczenia.

- Dla przedstawionego i zbudowanego systemu brakuje bilansu energetycznego. System skanujący, duże zbiory danych i ich obróbka stanowią system, który wymaga sporej ilości energii, co rodzi wątpliwość w możliwości i efektywność zaproponowanego układu w wózku elektrycznym o ograniczonej ilości energii w akumulatorach.
- Analiza wyników zawarta w pracy mogła być bardziej szczegółowa. Autor otrzymał szereg wyników analiz numerycznych i doświadczalnych. Na końcu pracy brakuje zestawienia tabelarycznego otrzymanych wyników. Wnioski do pracy mogły być wypunktowane.
- Praca bez literatury stanowi 145 stron z czego zaledwie 17 stron dotyczy badań. Część badawcza prezentowana w pracy powinna stanowić większą część pracy, a wyniki badań dla różnych wariantów prowadzonych badań powinny być przedstawione w załączniku do pracy, czego w recenzowanej pracy brakuje.

Uwagi szczególne:

- Strona 61 – na rysunkach 5.4 – 5.7 przedstawiono skan przestrzeni otoczenia wózka, Autor nie przedstawił przestrzeni na zdjęciach dla układu rzeczywistego, co umożliwiłoby czytelnikowi stwierdzenie poprawności otrzymanych skanów, a także pozwoliłoby na ocenę jakościową wykonanego modelu wirtualnego.
- Strona 65 - na rysunku 5.8 brakuje zaznaczenie systemów o jakie rozbudowany został koncepcyjny model wózka,
- Strona 66 - na rysunku 5.9 brakuje przedstawienia opisu użytych na rysunku wszystkich oznaczeń.
- Strona 134 – schemat zawierający model symulacyjny systemu prowadzenia do przeszkody – słabo opisany model, w pracy brakuje wyjaśnienia modelu zaprezentowanego w pracy.
- Strona 138, 139 – rysunki na wykresach mogły być większe.
- Strona 138 – Autor powołuje się na rys.77, którego w pracy nie ma.
- Strona 144 – Autor pracy we wnioskach nic nie wspomina o otrzymanych i prezentowanych wynikach z poszczególnych etapów badań np. na wykresach, dla których można przeprowadzić analizę wniosków.

- Strona 144 – w pracy brakuje zestawienia tabelarycznego parametrów wynikających z badań i analiz prowadzonych w pracy, pod podrozdziałami dotyczącymi badań powinny być wnioski dotyczące wyborów parametrów wynikające z prowadzonych dywagacji przedstawionych w pracy.
- strona 144 – co Autor ma na myśli pisząc: „rozwiązanie jest efektywne kosztowo”.

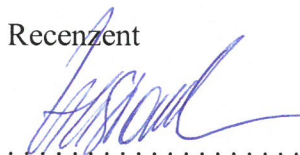
Uwagi krytyczne nie umniejszają osiągnięć Autora, często mają charakter dyskusji naukowej. Ponadto należy stwierdzić, że praca została zredagowana starannie i zgodnie z zasadami przygotowania rozpraw o charakterze naukowym.

5. Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z treścią recenzowanej rozprawy stwierdzam, iż stanowi ona istotny przyczynek naukowy do badań dotyczących budowy nowoczesnych pojazdów do transportu osób z niepełnosprawnościami. Poprawna realizacja celu i zakresu badań wymagała wiedzy z różnych obszarów nauki. W trakcie prac Doktorant zapoznał się z systemami obrazowania, jak również metodami jego modelowania i symulacji numerycznych. Doktorant wykazał się umiejętnością właściwego przygotowania warsztatu naukowego, przeprowadził ciekawe i trudne do realizacji badania modelowe i doświadczalne. Uwagi krytyczne nie umniejszają osiągnięć Autora, często mają charakter dyskusji naukowej. W wyniku prac badawczych Doktorant zgłosił 2 rozwiązania patentowe dotyczące opisywanych w pracy rozwiązań.

*Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że w ocenie całościowej praca ta spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z zm.). Zrealizowana przez **mgra inż. Wiesława Szaja** praca pt. „**Mechatroniczny system prowadzenia pojazdu dla osób z niepełnosprawnością**“ stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego i wnosi istotny wkład w dyscyplinę inżynieria mechaniczna. Ponadto wskazuje na zadowalający poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej jej Autora. Reasumując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska może być dopuszczona do publicznej obrony.*

Recenzent



.....