

Katowice, 10.07.2024r.

Dr hab. inż. Rafał Burdzik, prof. PŚ
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
Politechnika Śląska
40-019 Katowice
Ul. Krasińskiego 8

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Zbigniewa Żelaznego
pt.

„Reaction time estimation in automated braking system for land vehicles controlled by algorithmic artificial intelligence module”

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo nr W10/D/31/2024 z dnia 26.04.2024 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego.

1. Ocena aktualności tematu rozprawy oraz poprawności sformułowanych celu i tezy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska dotyczy problematyki czasu reakcji automatycznych układów hamulcowym pojazdów samochodowych sterowanych przez algorytmiczny moduł sztucznej inteligencji. Łączy ona zatem kilka istotnych aktualnych problemów badawczych związanych z rozwojem motoryzacji w kierunku pojazdów autonomicznych wspomaganych sztuczną inteligencją. Dodatkowo porusza jeden z kluczowych aspektów determinujących dynamikę tego rozwoju jakim jest bezpieczeństwo. Układ hamulcowy jest najważniejszym elementem systemu bezpieczeństwa czynnego w pojazdach, a jego prawidłowe funkcjonowanie determinuje skuteczność procesu hamowania. Zasadniczo zależy ono od efektywności detekcji przeszkody i czasu reakcji oraz siły hamowania generowanej przez układ. Dlatego tematyka rozprawy doktorskiej jednoznacznie wpisuje się w aktualne trendy

badawcze związane z automatyzacją i autonomizacją procesów w pojazdach samochodowych oraz coraz szerszym stosowaniem sztucznej inteligencji. Niestety dynamika rozwoju w sektorze motoryzacyjnym oraz wykładnicze tempo rozwoju algorytmów sztucznej inteligencji i metod uczenia maszynowego, przy nieporównywalnych z sektorem naukowym nakładach finansowych, powodują że wyznaczanie kierunków rozwoju przez sektor badawczo-naukowy zamienia się coraz częściej w nadążanie za rozwojem sektora automotive. Stąd ocena aktualności tematyki rozprawy jest utrudniona, jednak w odniesieniu do stanu publikacji w tym obszarze należy uznać ją za aktualną. Warto podkreślić, że jeśli rozprawa o tej tematyce publikowana byłaby kilka lat temu stanowiłaby dzieło o charakterze bardzo innowacyjnym. Wszystko to pozwala uznać, że tematyka rozprawy doktorskiej zapewne znajdzie grono zainteresowanych odbiorców. Bardzo istotny jest także wybór obiektu badań. Pojazdy autonomiczne, w tym przypadku samochód osobowy oraz wspomagający go bezzałogowy statek powietrzny stają się coraz powszechniej stosowane. Kolejne poziomy autonomiczności pojazdów powodują, że wzrasta ich udział w ruchu drogowym. Zatem wszelkie zagadnienia i badania związane z bezpieczeństwem ich użytkowania są dalece zasadne. **Wszystko to jednoznacznie wskazuje na poprawny wybór tematyki rozprawy doktorskiej i aktualność problemów badawczych poruszanych przez Doktoranta.** Problematyka eksploatacji i bezpieczeństwa pojazdów, stanowią istotne wyzwania w projektowaniu i budowie maszyn oraz reprezentują bardzo istotny obszar wiedzy w dziedzinie naukowej budowa i eksploatacja maszyn (inżynieria mechaniczna). Co prawda temat rozprawy „*Reaction time estimation in automated braking system for land vehicles controlled by algorithmic artificial intelligence module*” wskazuje na główny problem jako czas reakcji, natomiast treść rozprawy wskazuje pewne dysproporcje objętościowe, w sporej części skupiając się na tematyce projektowania pojazdu autonomicznego. Wynika to zapewne z zaangażowanie Doktoranta w projekt „Jurek” pierwszego polskiego pojazdu autonomicznego realizowanego przez Koło Naukowe Pojazdów i Robotów Mobilnych w Katedrze Inżynierii Pojazdów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej.

Problem i obiekt badań zdeterminował wykorzystanie wiedzy i narzędzi z obszaru automatyki, w tym metody Hardware-in-the-Loop (HIL) oraz odpowiednich procedur modelowania i testowania, w tym kalibrację czujników. Jest to jednak aktualna rzeczywistość i konieczność łączenia obszarów inżynierii mechanicznej i automatyki, która skutkuje badaniami interdyscyplinarnymi. W przypadku pojazdów autonomicznych tym bardziej trudno rozdzielić obszary z zakresu budowy maszyn i automatyki. Biorąc jednak pod uwagę obiekt badań oraz obszar potencjalnych zastosowań jednoznacznie można stwierdzić, że **tematyka oraz zakres rozprawy pozwala zakwalifikować ją do dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn (inżynieria mechaniczna).**

Cel rozprawy zdefiniowano w rozdziale pierwszym, jako:

- *Opracowanie modelu matematycznego, przeprowadzenie badań symulacyjnych oraz eksperymentalna weryfikacja wybranych parametrów prototypu pojazdu autonomicznego.*

Dodatkowo w rozdziale tym Autor definiuje następujące tezy pracy:

T1: Skrócenie czasu reakcji układu hamulcowego, a w konsekwencji drogi hamowania pojazdu lądowego, jest możliwe dzięki wdrożeniu autonomicznego układu hamulcowego opartego na algorytmach sztucznej inteligencji. System może zostać wzbogacony o wizualne dane wejściowe z bezzałogowego statku powietrznego (UAV) poprzez analizę obrazu, co może pozytywnie wpłynąć na bezpieczeństwo na drodze.

T2: Podczas symulacji i testowania prototypu oraz na stanowisku badawczym możliwa jest ocena wpływu wybranych rodzajów strategii decyzyjnych realizowanych przez różne algorytmy na czas reakcji układu hamulcowego oraz długość drogi hamowania.

T3: Większą powtarzalność w realizacji procesu hamowania można osiągnąć poprzez zastosowanie algorytmu opartego na sztucznej inteligencji procesu decyzyjnego sterującego aktywacją układu hamulcowego.

T4: Zautomatyzowany układ hamulcowy oparty na sztucznej inteligencji może osiągnąć krótszy czas reakcji oraz bardziej precyzyjne określenie i wykonanie wymaganej siły hamowania, w zależności od odległości pojazdu od przeszkody przed nim, w porównaniu z układami hamulcowymi aktywowanymi przez człowieka.

Uważam, że cel i tezy pracy są prawidłowe i mają charakter twórczy.

2. Struktura i charakterystyka rozprawy

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Zbigniewa Żelaznego zawiera się na 112 stronach, podzielonych na 7 rozdziałów. Ponadto zamieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wprowadzenie i spis literatury, składający się z 65 pozycji (w tym 4 pozycji współautorskich). Całość rozprawy, z wyłączeniem streszczenia w języku polskim, jest napisana w języku angielskim, co uważam za dodatkową wartość opiniowanej rozprawy, która może powiększyć zasięg jej czytelników.

Rozprawa rozpoczyna się od wprowadzenia, które uzasadnia wybór tematu oraz istotność problematyki badawczej i przedstawia cel i zakres badań. W tej części Autor przytacza dane dotyczące przyczyn wypadków drogowych, jednak powołuje się na statystyki z 2011 roku nie odnosząc się do stanu aktualnego. W tej części rozprawy Autor stwierdza, że aby uzyskać precyzyjne wyhamowanie, należy opracować odpowiedni algorytm sterowania, uwzględniający takie czynniki jak rodzaj przeszkody, prędkość jazdy, amplitudy drgań, częstotliwości, momenty bezwładności oraz ich wpływ na proces hamowania i pozycjonowania. Podsumowując, że właśnie takie prace zostały przeprowadzone w ramach Rozprawy.

W pierwszym rozdziale sformułowano cel i tezy badawcze oraz uzasadniono innowacyjny charakter badań. Jako czynnik innowacyjny wskazano implementację analizy obrazu z kamery bezzałogowego statku powietrznego (UAV), która wspomaga komunikację z otoczeniem autonomicznego pojazdu. Dodatkowo syntetycznie przedstawiono zakres prac. Rozdział ten kończy się na 9 stronie.

W rozdziale drugim przedstawiono opis procesu projektowaniu pełno-skalowego pojazdu autonomicznego. Autor szczegółowo opisuje koncepcje projektowe, rozwiązania mechaniczne oraz komponenty elektroniczne pojazdu. Szczególną uwagę zwraca na fuzję czujników, takich jak LiDAR, radar, kamery i IMU, które są kluczowe dla stworzenia systemu wizyjnego. Opis ten jest bogaty w szczegóły techniczne, co świadczy o wiedzy Autora na temat nowoczesnych technologii stosowanych w pojazdach autonomicznych. Jak napisano w Rozprawie Doktorant był głównym inicjatorem i osobą kierującą projektem pierwszego polskiego pojazdu autonomicznego realizowanego przez Koło Naukowe Pojazdów i Robotów Mobilnych w Katedrze Inżynierii Pojazdów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Rozdział ten jest dobrze ilustrowany. Pewne mankamenty występują jednak w edycji wzorów (np. str. 24) a nawet w ich poprawnym zapisie formalnym (np. wzory 6, 8, 9 oraz na str. 33 wyprowadzeni wzoru 10). Po sprawdzeniu obliczeń stwierdzono, że wyniki są poprawne, więc błędy te mają charakter edycyjny a nie merytoryczny. Rozdział ten kończy się na 45 stronie.

W rozdziale trzecim Autor opisuje systemy lokalizacji pojazdów lądowych przy użyciu bezzałogowych statków powietrznych (UAV). W nawiązaniu do sformułowanej tezy ($T1$), która określa że UAV wyposażony w system wizyjny w postaci kamery, może wspomagać lokalizację lądowego pojazdu autonomicznego i pozytywnie wpływać na skrócenie czasu reakcji układu hamulcowego tego pojazdu poprzez przesłanie informacji o istniejącej przed pojazdem przeszkodzie z wyprzedzeniem czasowym w stosunku do systemu wizyjnego znajdującego się na pojeździe. Autor opisuje różnorodne podejścia do lokalizacji, w tym systemy nawigacji inercyjnej oraz specyfikacje czujników wykorzystywanych w tych systemach. W rezultacie zrealizowanych prac Doktorant zaprojektował i doposażył pojazd autonomiczny w zintegrowane i zautomatyzowane lądowisko dla bezzałogowego statku powietrznego oraz przeprowadził testy i badania w środowisku rzeczywistym. Rozdział ten kończy się na 60 stronie.

W czwartym rozdziale Doktorant przedstawia opis wykonanego stanowiska badawczego oraz zastosowanej metody Hardware-in-the-Loop (HIL) do testowania

i walidacji zautomatyzowanego układu hamulcowego typu EMB oraz użytych w ramach przeprowadzonych badań czujników. Jest to metoda powszechnie stosowana w ośrodkach badawczych na świecie. Autor przedstawia szczegółowe procedury modelowania i testowania, w tym kalibrację różnych czujników. Opis ten jest precyzyjny i pokazuje, jak skomplikowane i wieloaspektowe są badania nad autonomicznymi systemami hamowania. Wykonane przez Doktoranta stanowisko badawcze umożliwia zarówno pozyskanie danych wejściowych do środowiska symulacyjnego z użyciem czujników fizycznych jak i przeprowadzenie kalibracji czujników na stanowisku badawczym. Rozdział ten kończy się na 72 stronie.

W rozdziale piątym Doktorant opisuje algorytmy wykorzystywane do detekcji przeszkód i unikania kolizji. Autor przeprowadza również analizę porównawczą różnych scenariuszy sterowania, wskazując na ich mocne i słabe strony. W części poświęconej rozpoznawaniu i klasyfikacji przeszkód za pomocą sieci neuronowych konwolucyjnych (CNN), Autor przedstawia wyniki badań własnych, które umożliwiają analizę skuteczności zastosowanych metod. Rozdział ten kończy się na 85 stronie.

Rozdział szósty jest najważniejszym rozdziałem rozprawy, w którym Doktorant opisuje opracowane metody analityczne i przedstawia wyniki badań symulacyjnych. Strategia autonomicznego hamowania zostało przetestowana dla trzech różnych algorytmów decyzyjnych opartych o architektury: PointNet++, SVM, CNN. Autor prezentuje wyniki badań w zintegrowanym środowisku symulacyjnym, które jest połączeniem środowiska symulacyjnego Unreal Engine 4.0 oraz Matlab Simulink. Jest to podejście, które ma swoje odzwierciedlenie w innych badaniach oraz w aktualnych pozycjach literaturowych, przywoływanych przez Autora. Wyniki symulacji, zaprezentowane w tym rozdziale, umożliwiają porównanie skuteczności różnych algorytmów sztucznej inteligencji oraz różnych konfiguracji czujników. Autor przedstawia wpływ tych konfiguracji na czas reakcji elektro-mechanicznego autonomicznego układu hamowania (AEMB). Prezentacja wyników w formie histogramów z podkreślonymi dominantami ułatwia interpretację i jest adekwatna do badań o charakterze jakościowym przeprowadzanych w ramach prac. Takie podejście jest także stosowane przez innych autorów i ma odniesienie w literaturze

przywoływanej przez Autora rozprawy. Jednocześnie pozostawia pewien niedosyt informacyjny i poznawczy, który jest charakterystyczny dla prac naukowych. W przyszłych badaniach Autor powinien znacznie poszerzyć zakres przetwarzania sygnałów pomiarowych, co umożliwi pogłębienie analizy i ekstrapolację dodatkowej wiedzy. Podrozdziały od 6.1 do 6.5 przypominają raczej załącznik do raportu z badań, składając się jedynie z wykresów i tabel. Brak w tym przypadku opisów i komentarzy oraz poszerzanej analizy statystycznej. Doktorant zdecydował się na ogólne podsumowanie i analizę uzyskanych wyników dopiero w rozdziale 6.6. Ponadto całość wyników badań wymaga zastosowania odpowiedniego modelu matematycznego układu hamulcowego AEMB oraz współpracującego z nim modułu decyzyjnego uwzględniającego dane z określonych konfiguracji fuzji czujników, które także powinny być zdefiniowane matematycznie. Model ten, co prawda wskazano w Rys. 70, jednak stanowi on jedynie „blok” w schemacie modelu w MATLAB Simulink. Niestety w Rozprawie brak jest jawnego i pełnego opisu wykorzystanych w symulacjach modeli matematycznych, co było zresztą wskazane jako jeden z celów pracy. W korespondencji z Doktorantem uzyskano dodatkowe informacje o zastosowanym modelu, jednak na przyszłość bezwzględnie należy stosować się do zasady jawności informacji w pracach naukowych, szczególnie w zakresie formalizmów matematycznych.

Dodatkowo w tym rozdziale Autor porównuje czas reakcji systemu autonomicznego z rzeczywistym czasem reakcji kierowców, na podstawie badań innych autorów. Warto bardziej krytycznie zastanowić się nad korelacją badań opisanych w [54] a czasami reakcji szacowanymi w rozprawie doktorskiej. Autor ukazuje potencjalne korzyści bezpieczeństwa, jakie mogą przynieść pojazdy autonomiczne i układy hamulcowe typu AEMB. **Należy więc stwierdzić, że Autor zweryfikował w sposób doświadczalny zaproponowane w rozprawie metody analityczne.** Rozdział ten kończy się na 105 stronie.

Rozdział siódmy to wnioski i podsumowanie całości rozprawy. Autor dokonał podsumowania wiedzy dotyczącej fuzji czujników w układach hamulcowych pojazdów autonomicznych. Doktorant zwraca uwagę na informacje uzupełniające jakie można uzyskać dzięki fuzji czujników, problematykę nadmiarowości

i niezawodności, percepcję i detekcję, priorytety decyzyjne, wyzwania oraz kierunki przyszłych badań. Rozdział ten kończy się na 107 stronie.

Ostatni część pracy zawiera wykaz literatury. Niestety kolejność i edycja literatury jest niejednolita i ułożona niealfabetycznie. Dodatkowo dobór i liczba publikacji nie stanowi reprezentatywnego stanu wiedzy w poruszonym obszarze badawczym. W kolejnych pracach badawczych Doktoranta warto większą uwagę poświęcić na dogłębnej i właściwej analizie aktualnego stanu wiedzy.

Reasumując układ i struktura rozprawy są poprawne jednak występuje dysproporcja wolumenu treści związanej bezpośrednio z badaniami własnymi Autora dotyczącymi tematu rozprawy, czyli czasu reakcji układu hamulcowego (16 stron) w stosunku do pozostałych treści. Oczywiście treści te jednoznacznie nawiązują do problematyki badawczej, jednak przy takiej dysproporcji warto zastanowić się nad bardziej adekwatnym doborze tematu rozprawy lub inną strukturą pracy. Dodatkowo w rozprawie często powtarzają się bardzo podobne fragmenty tekstu. Co prawda nie są to dokładnie te same teksty, jednak ich treść jest tożsama, co podczas nieprzerwanej lektury rozprawy daje wrażenie zbędnych powtórzeń.

3. Ocena rozprawy

Merytoryczna ocena opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Zbigniewa Żelaznego jest pozytywna. Podjęta tematyka jest ważna i ma charakter interdyscyplinarny oraz aplikacyjny. Pod względem rozważań teoretycznych i zastosowań praktycznych wnosi wkład w dyscyplinę budowa i eksploatacja maszyn (inżynieria mechaniczna), zaś jej użytkowy charakter może znaleźć zastosowanie także w obszarach automatyki w pojazdach samochodowych. Co prawda w pracy występują pewne niedociągnięcia merytoryczne i braki, jednak wnikliwa analiza i weryfikacja obliczeń oraz dodatkowe wyjaśnienia Doktoranta umożliwią pozytywną ocenę całości Rozprawy. Na uwagę zasługuje innowacyjny charakter badań.

Autor rozprawy udowodnił osiągnięcie założonego celu i potwierdził przyjęte w rozprawie tezy. Przeprowadził badania symulacyjne oraz badania stanowiskowe z wykorzystaniem autorskiego stanowiska badawczego. Przeprowadził symulacje i oszacował czasy reakcji dla wybranych konfiguracji czujników i zaproponowanych

algorytmów decyzyjnych wspomaganych sztuczną inteligencją. Doktorant prawidłowo zaplanował eksperymenty badawcze, na podstawie których zweryfikował opracowane konfiguracje czujników i algorytmy decyzyjne. Tym samym należy uznać, że cel rozprawy został zrealizowany.

W rozprawie występują braki i znajduje się wiele błędów gramatycznych i językowych oraz niedociągnięć edycyjnych. Błędy te jednak nie wpływają zasadniczo na moją pozytywną ocenę opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Dlatego też moja ocena całości rozprawy doktorskiej jest pozytywna.

4. Uwagi i zapytania

Staranna lektura rozprawy prowadzi do następujących uwag i pytań:

1. Proszę uzasadnić wybór czujników (urządzeń) konfigurowanych w fuzji (LiDAR, radar, kamera i IMU).
2. Proszę uzasadnić konfigurację fuzji, szczególnie brak doboru najlepszej fuzji czujników (Lidar + radar, algorytm 2) podczas wspomagania wizyjnego z UAV.
3. Jaka jest interpretacja wzoru (1), jeśli zgodnie z opisem n jest liczbą kryteriów?
4. Proszę o porównanie zastosowanej metody szacowania wag kryteriów z metodą AHP.
5. Zapis wzoru na str. 24.
6. Proszę o weryfikację poprawności zapisu wzorów: (6), (8), (9) i (10).
7. Niezgodność wyników obliczeń z wzorem (10), choć wartość jest prawidłowa.
8. Proszę o weryfikację zgodności jednostek fizycznych z wzorami przedstawionymi w rozprawie.
9. Brak uzasadnienia przyjętych wartości (a, b, c) we wzorze na str. 34.
10. Proszę o wyjaśnienie jakie przyspieszenie występuje w zapisie wzoru (19).
11. Szacowanie drogi hamowania na podstawie podwójnego całkowania przyspieszenia odnosi się do przyrostów prędkości poruszania się pojazdu a nie przyspieszeń rejestrowanych na nadwoziu pojazdu. Zatem problemy z błędami i konieczność filtracji sygnałów wynika raczej z tego faktu. Co prawda składowa wzdłużna tych przyspieszeń jest skorelowana z prędkością jazdy,

jednak mechanizm generowania drgań nadwozia jest silnie uzależniony od nierówności drogi.

12. Brak prezentacji wyników opisywanych w rozdziale 5.1.
13. Brak prezentacji i omówienia jawnej formuły modeli matematycznych wykorzystanych w badaniach symulacyjnych.
14. Proszę odnieść się do tezy nr 3, dot. większej powtarzalności w realizacji procesu hamowania przy zastosowaniu algorytmów opartych na procesie podejmowania decyzji przez sztuczną inteligencję.
15. Proszę uzasadnić wybór algorytmów wykorzystywanych do detekcji przeszkód i unikania kolizji.
16. Proszę uzasadnić wybór konwolucyjnych sieci neuronowych (CNN) w zaproponowanych rozwiązaniach.
17. Z czego wynika przywołanie danych z 2011 roku dotyczących przyczyn wypadków drogowych i brak odniesienia do stanu aktualnego?
18. Brak uzasadnienia wartości parametrów przyjętych do badań symulacyjnych (rozdział 6).
19. Doktorant przedstawia wyniki w formie histogramów. Czy prowadzono dodatkowo inne analizy?
20. Proszę o komentarz do wyników zestawionych w rozdziałach 6.1-6.5.
21. Autor w wprowadzeniu przyjmuje, że „zautomatyzowane systemy hamowania zintegrowane z wizyjnym wykrywaniem przeszkód mogą działać szybciej i bardziej powtarzalnie niż ludzki kierowca. Ich zastosowanie może znacznie skrócić czas reakcji, ostatecznie zwiększając bezpieczeństwo na drodze i chroniąc ludzkie zdrowie i życie.” Założenia takie jest zasadne w przypadku kolumny pojazdów autonomicznych, jednak w przypadku udziału w takiej kolumnie pojazdów nieautonomicznych różnice czasów reakcji mogą skutkować „najechaniami”. Jaka jest opinia Doktoranta w tej kwestii?
22. Jakie jest stanowisko Doktoranta w kwestii wpływu na skuteczność hamowania stanu nawierzchni drogi oraz stanu technicznego układu hamulcowego, które mogą być różne i zmienne w czasie?

23. W przypadku wspomagania wizyjnego z wykorzystaniem UAV występuje istotna różnica w ścieżce poruszania się pojazdu lądowego (po wyznaczonych trasach) i powietrznego. Jak może to wpływać na ryzyko kolizji?
24. Dodatkowe funkcjonalności koncepcji systemu przedstawione w rozdziale 3.3 w zdecydowanej większości występują już w komercyjnych rozwiązaniach. Czy Doktorant potrafi wskazać jakieś dodatkowe funkcjonalności proponowanych rozwiązań?
25. Co wnosi w treść rozprawy rys. 35?
26. Rys. 41 jest nieczytelny.
27. Na str. 59 Doktorant prezentuje przykład działania algorytmu omijania przeszkody na podstawie obrazu z UAV, jako kryterium wskazując „najkrótszą ścieżkę”. Na rys. 45 istnieje jednak krótsza ścieżka niż ta wyznaczona linią z kolorem niebieskim.
28. Proszę o komentarz do rys. 68, w zakresie „przesunięcia” pomiędzy etapami od 1 do 3 i porównania z „5”.
29. Błąd w jednostce na str. 87 („20 m/2”).
30. Proszę o uzasadnienie wartości na wykresach (rys. 89-91) w odniesieniu do wyników przedstawionych w poprzednich rozdziałach? Czy przedstawione wartości mają charakter reprezentatywny? Jeśli tak to dlaczego?
31. Jak uzyskane wyniki i wnioski w zakresie czasu reakcji odnoszą się do innych warunków ruchu, np. na zakręcie lub z innymi prędkościami? Czy wnioski można uogólniać?
32. Brak pogłębionej analizy w zakresie zasadności i korelacji metod i wyników szacowania czasu reakcji do celów porównania badań opisanych w [54] a czasami reakcji szacowanymi w rozprawie doktorskiej.
33. Na podstawie wyników końcowych, przedstawionych na rysunku 93, można stwierdzić, że zaproponowane rozwiązanie wspomagania wizyjnego z UAV nie przynosi pożądanej poprawy czasu reakcji, ponieważ aż 4 z 6 konfiguracji wykazały krótsze czasy. Jak Doktorant odniesie się to tych wyników?
34. W pracy występują nieprawidłowe odwołanie do literatury i rysunków (np. str. 32, 43).

Pozostałe uwagi językowe, gramatyczne i redakcyjne zaznaczyłem na otrzymanym egzemplarzu i nie mają one istotnego znaczenia dla wartości merytorycznej pracy.

5. Konkluzja

Opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Zbigniewa Żelaznego ma charakter interdyscyplinarny, jednak jednoznacznie wpisuje się w dyscyplinę budowa eksploatacja maszyn (inżynieria mechaniczna). Całość rozprawy pokazuje logiczny i prawidłowy tok postępowania, charakterystyczny do prowadzenia badań naukowych. Pozwala to na wnioskowanie o umiejętności i dojrzałości mgr. inż. Zbigniewa Żelaznego w planowaniu i realizacji eksperymentów badawczych. Występują w niej pewne niedociągnięcia a nawet błędy, jednak nie są one na tyle istotne by zakwestionować jej pozytywną ocenę. **Należy zatem stwierdzić, że opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie przez Doktoranta problemu naukowego i świadczy o jego wiedzy teoretycznej i praktycznej oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn (inżynieria mechaniczna).** Dodatkowo należy podkreślić użyteczny charakter dysertacji, co umożliwia ekstrakcję jej rezultatów do wielu obszarów inżynierskich.

Problematyka pracy badawczej Pana mgr. inż. Zbigniewa Żelaznego jest aktualna, a nawet innowacyjna. Innowacyjny charakter pracy polega na integracji środowisk symulacyjnych z danymi pozyskanymi zarówno na stanowisku badawczym jak i na pełnowymiarowym pojeździe autonomiczny, którego system wizyjny jest wspomagany przez bezzałogowy statek powietrzny. Kolejnym innowacyjnym aspektem pracy jest wdrożenie analizy obrazów z kamery bezzałogowego statku powietrznego (UAV), wspierającej komunikację z otoczeniem pojazdu autonomicznego. Aspekt ten wpisuje się w nowo powstający trend badawczy dotyczący współpracy pojazdów lądowych z UAV. Potwierdzeniem innowacyjności tych badań jest wyróżnienie jako jeden z 20 najbardziej innowacyjnych projektów na świecie w konkursie Valeo Innovation Challenge.

Jako osiągnięcia Doktoranta należy wskazać badania czasu reakcji w autonomicznym układzie hamulcowym dla pojazdów lądowych, który jest sterowany przez algorytmiczny moduł sztucznej inteligencji. Zakłada ona wykorzystanie systemu Brake-By-Wire oraz układu hamulcowego typu EMB (Electromechanical Braking System) wspomagane poprzez system wizyjny w formie fuzji czujników w tym monitorowanie toru jazdy z bezzałogowego statku powietrznego. W pracy zostały przeprowadzone badania zarówno na zbudowanym przez Autora we współpracy z zespołem Koła Naukowego Pojazdów i Robotów Mobilnych pełno-skalowym pojeździe autonomicznym (Projekt „Jurek” Pierwszy Polski Pojazd Autonomiczny) oraz na zaprojektowanym i wykonanym przez Doktoranta stanowisku badawczym.

Przedstawione w recenzji uwagi nie mają zasadniczego wpływu na fakt samodzielnego zrealizowania przez Autora zadania naukowo-badawczego. Do rozwiązania zagadnienia Doktorant wykazał się wiedzą techniczną i wykorzystał poprawnie dobrane metody badawcze wykazując się umiejętnością prowadzenia eksperymentu oraz skutecznie przeprowadził weryfikację opracowanych metod.

Uważam, że opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Zbigniewa Żelaznego pt. „*Reaction time estimation in automated braking system for land vehicles controlled by algorithmic artificial intelligence module*” spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.). Może zatem służyć jako podstawa do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych. W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Zbigniewa Żelaznego do publicznej obrony opiniowanej rozprawy jako dzieła w zakresie dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn (inżynieria mechaniczna).

Rafał Bmóbi