

dr hab. inż. Andrzej Typiak, prof. WAT  
Wojskowa Akademia Techniczna  
Wydział Inżynierii Mechanicznej  
Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn  
ul. gen S. Kaliskiego 2  
00-908 Warszawa  
andrzej.typiak@wat.edu.pl

Warszawa 13 październik 2023 r.

**SEKRETARIAT**  
Rady Dyscypliny AEEiTK

Wpłynęło dnia 20. 10. 2023

Zarejestrowano pod nr .....

Podpis ..... 

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała PIETRUCHA  
na temat:

**„Testowanie wybranych funkcji jazdy autonomicznej samochodu  
w warunkach laboratoryjnych,  
na przykładzie stanowiska dla czujnika kąta kierownicy w systemie Steer-by-Wire”**

Promotor dr. hab. inż. Andrzej MŁYNIĘC, prof. AGH

Promotor pomocniczy dr hab. inż. Andrzej WETULA, prof. AGH

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała PIETRUCHA było pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej Pana dr hab. inż. Ryszarda SROKI, prof. uczelni z dn. 06.07.2023 roku.

### 1. Ocena aktualności wybranego tematu

Intensywny rozwój przemysłu jest niewątpliwie powodowany postęпами w obszarze elektroniki oraz oprogramowania. Samochody służące kiedyś tylko do przemieszczania, w dzisiejszych czasach są centrami rozrywki oraz relaksu. Ponadto zapewniają duży poziom bezpieczeństwa nie tylko dzięki udoskonaleniu budowy podwozia czy nadwozia, ale również dzięki systemom pasywnego oraz aktywnego bezpieczeństwa. Jednym z największych wyzwań pojawiających się wraz z automatyzacją jazdy oraz samochodami autonomicznymi jest weryfikacja i walidacja systemów biorących udział w automatyzacji jazdy. Testowanie jest przeprowadzane na wielu poziomach: modelu, oprogramowaniu, hardware'u czy pojazdu. Ostateczna walidacja pojazdu jest wykonywana przez kierowców testowych najpierw na torach testowych czy w sztucznych miastach, a na końcu w rzeczywistym ruchu drogowym. Taka walidacja oprócz niewątpliwiej zalety jaką jest testowanie w docelowym środowisku posiada też pewne wady. Brak jest możliwości rozpatrzenia wszystkich wymaganych przypadków testowych, które mogą w przyszłości zaistnieć w otoczeniu samochodu, ponadto istnieje problem z odtworzeniem identycznych warunków testowych w celu np.

potwierdzenia, że osiągnięto korzystniejsze rezultaty, a przede wszystkim konieczność przebywania kierowcy w samochodzie podczas testów, co może stwarzać dla niego pewne zagrożenie. Dodatkowo ze względu na zaistniałe wypadki coraz więcej państw ogranicza lub całkiem zabrania testowania samochodów autonomicznych w ruchu drogowym. Dlatego należy opracować takie metody testowania, aby samochody dopuszczone do ruchu drogowego nie powodowały zagrożenia dla kierowcy, oraz innych uczestników ruchu niezależnie od napotkanej sytuacji na drodze czy warunków atmosferycznych. Jednym z etapów testowania samochodów są testy w laboratorium, określane jako testowanie pojazdu w pętli VIL. Obecnie testy VIL ograniczają się do testów pojedynczych systemów. Trwają zaawansowane prace ukierunkowane na budowę środowiska testowego, które umożliwi walidowanie kilku systemów jednocześnie. Pomimo wielu prób i ciągłego rozwoju opracowanych systemów nadal nie zostało ono w pełni zrealizowane. Prace Doktoranta są próbą budowy środowiska do testowania wybranych funkcji jazdy autonomicznej samochodu w warunkach laboratoryjnych na przykładzie stanowiska dla czujnika kąta kierownicy w systemie Steer-by-Wire.

## 2. Cel i teza rozprawy doktorskiej

Cel pracy został sprecyzowany w rozdziale 2 rozprawy na stronie 20 i brzmi następująco: "Celem niniejszego doktoratu wdrożeniowego jest zbadanie możliwości stworzenia, za pomocą obecnie dostępnych technologii, laboratoryjnego stanowiska testowego, które byłoby w stanie zasymulować wiernie świat zewnętrzny, aby w pełni przetestować i walidować funkcje jazdy autonomicznej kompletnego samochodu. "

Na podstawie przeglądu literatury Doktorant zdefiniował obszar badawczy i sformułował następującą tezę:

„Możliwe jest zbudowanie stanowiska testowego dla kompletnego samochodu, przeznaczonego do testowania głównych systemów jazdy autonomicznej.”

Doktorant podaje, że udowodnienie tezy nastąpi poprzez przygotowanie wymagań dla stanowiska testowego, przeprowadzenie przeglądu istniejących rozwiązań, a następnie zbudowanie stanowiska do badania czujników kąta skrętu kierownicy, będącego realizacją koncepcji stanowiska działającego w pętli zamkniętej wykorzystującego wirtualne jazdy testowe. Wymagania dla stanowiska testowego określają, że stanowisko testowe musi być:

- a) przeznaczone do testowania kompletnego samochodu;
- b) niezależne od zastosowanej jednostki napędowej (silnik spalinowy, elektryczny itd.);
- c) przystosowane do testów samochodu z napędem na dowolną kombinację osi;
- d) zdolne do generowania dowolnego scenariusza testowego.
- e) wyposażone w możliwość bezprzewodowej stymulacji głównych czujników używanych do jazdy autonomicznej i nie może używać ruchomych obiektów do stymulacji czujników z wyłączeniem stymulatora oporów ruchu.

Cel doktoratu ma aspekt naukowy a wykazanie słuszności postawionej w rozprawie tezy, ma zarówno aspekt poznawczy jak i duże znaczenie praktyczne.

### 3. Analiza krytyczna treści rozprawy

Pan mgr inż. Michał PIETRUCHA przedstawił do oceny rozprawę, którą zawarł na 181 stronach maszynopisu. Treść pracy jest zgodna z jej tytułem. Praca w jego redakcji poprzedzona jest streszczeniem w języku polskim i angielskim, jej zasadnicza część podzielona jest na 8 rozdziałów, z których pierwszy to wstęp, natomiast drugi rozdział to uzasadnienie celowości podjęcia tematu pracy. W rozdziale trzecim zawarto przegląd czujników i systemów wykorzystywanych do jazdy autonomicznej. Rozdziały od 4 do 6 mają charakter merytoryczny i stanowią oryginalny dorobek Autora. Podsumowanie i wnioski zawarte są w rozdziale 7. Natomiast w rozdziale 8 zamieszczono bardzo obszerny wykaz cytowanej literatury w liczbie 381 pozycji, w tym 3 pozycje współautorskie. W pracy znajdują się 122 rysunki w tym 36 są to rysunki autorskie, 8 tabel m.in. z danymi pozyskanymi z pomiarów.

Struktura rozprawy jest przemyślana, choć pewne zastrzeżenia wzbudza przedstawienie w pierwszej kolejności celu pracy badawczej, a następnie przeprowadzenie analizy rozważanego obszaru badawczego.

W dość obszernym Wstępie Doktorant przybliży problematykę pracy oraz główne poruszane zagadnienia. Omawia systemy pasywnego i aktywnego bezpieczeństwa oraz zaawansowane systemy wsparcia kierowcy ADAS oraz ich wpływ na liczbę ofiar uczestniczących w wypadkach drogowych. Opisuje poziomy automatyzacji jazdy wg SAE J3016 oraz podano przykłady osiąganych poziomów przez obecnie dostępne samochody. Przybliży też systemy pasywnego bezpieczeństwa, zaawansowane systemy wsparcia kierowcy, oraz systemy aktywnego bezpieczeństwa, oraz poziomy autonomizacji jazdy pojazdów. Ujednolicenia wymaga przyjęcie definicji pojęć automatyzacja i autonomizacja.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawił cel prowadzenia badań nad możliwością przetestowania i walidowania funkcji jazdy autonomicznej kompletnego samochodu.

Rozdział 3 obejmuje kompleksowy i systematyczny przegląd czujników i systemów samochodu w celu zidentyfikowania, które z nich i w jakim stopniu biorą udział w jeździe autonomicznej. Przeanalizowano takie czujniki jak: kamery (światła widzialnego, bliskiej podczerwieni, termowizyjne, ToF, stereowizyjne i strukturalne), lidary mechaniczne i półprzewodnikowe, radary, czujniki ultradźwiękowe, globalny system nawigacji satelitarnej GNSS, inercyjną jednostkę pomiarową IMU, odometrię, mapy wysokiej definicji, V2X /C-V2X oraz systemy Drive-by-Wire. Dodatkowo zostały zbadane zjawiska fizyczne wykorzystywane przez powyższe czujniki i systemy w celu ewentualnego zaproponowania zasady działania urządzeń stymulujących. Został również wykonany przegląd typów i odmian czujników oraz określono, które z nich faktycznie są obecnie wykorzystywane w samochodach masowej produkcji, a które już nie są dłużej stosowane.

Zakres materiału ujęty w tym rozdziale obejmuje bardzo szerokie spektrum tematyczne i zawarte jest na 65 stronach maszynopisu. Doktorant przeanalizował różne rodzaje czujników w celu zidentyfikowania zakresu ich stosowania w jeździe autonomicznej pojazdu. Dodatkowo dokonał analizy zjawisk fizycznych będących podstawą działania czujników. Niewątpliwie korzystniejszym rozwiązaniem dla wartości merytorycznej pracy byłoby ograniczenie rodzajów analizowanych czujników przy jednoczesnym jej pogłębieniu

w odniesieniu do czujników wykorzystywanych na stanowisku badawczym. Ma to min. odniesienie do czujników określania położenia, które mają istotny wpływ na jazdę autonomiczną pojazdu, ale nie są badane na opracowanym stanowisku.

Rozdział 4 zawiera opis stanowisk do testowania, weryfikacji i walidacji czujników i systemów używanych w jeździe autonomicznej. Doktorant wykonał przegląd dostępnych na rynku urządzeń oraz oprogramowania wykorzystywanego do bezprzewodowego stymulowania czujników i systemów w celu określenia aktualnego stanu wiedzy, i ich możliwości technicznych a także ewentualnego zdefiniowania luki technologicznej będącej wyzwaniem przy opracowaniu laboratoryjnego środowiska testowego do jazdy autonomicznej. Ponadto zostały przeanalizowane obecnie wykorzystywane metody i techniki testowe w celu określenia rozbieżności pomiędzy osiąganymi, a wymaganymi parametrami czujników do testów pojazdu w pętli. Przeprowadzony przegląd będący podstawą do prac związanych z budową stanowiska badawczego jest bardzo pogłębiony, jednak podsumowanie rozdziału nie zawiera analizy jego zawartości, a jest streszczeniem treści w nim zawartych.

W rozdziale 5 został przeprowadzony krytyczny przegląd publikacji naukowych oraz patentów w celu zidentyfikowania kierunków prowadzonych obecnie prac rozwojowych w tym obszarze. Bazując na wykonanej analizie Doktorant zaproponował sposoby modyfikacji i/lub rozszerzenia obecnych metod testowych a także koncepcję działania koniecznych do zbudowania stymulatorów. Przeprowadzone rozważania były przyczynkiem do zidentyfikowania i opisanie podstaw działania i określenia zasadniczych składowych laboratoryjnego stanowiska testowego do badania pojazdu w pętli. Ponadto Doktorant dokonał przeglądu rodzajów i typów hamowni dynamometrycznych w aspekcie wybrania rozwiązania do symulowania oporów ruchu podczas wirtualnych jazd testowych. Zidentyfikowanie komercyjnych stanowisk testowych wykorzystujących fuzję danych z czujników oraz działanie pojazdu w pętli było podstawą do określenia zakresu testów, które mogą być na nich realizowane, a także umożliwiło zidentyfikowanie ich słabych stron i potencjalnych niedociągnięć. Dzięki Temu Doktorant zaproponował propozycję ulepszenia obecnych konstrukcji. Wnioski zawarte w podsumowaniu ukierunkowane na zintegrowanie ze sobą dostępnych stymulatorów, które obecnie pracują głównie w systemach HIL, aby były one w stanie bezawaryjnie pracować nie zakłócając i nie przeszkadzając sobie nawzajem. Pozwoliłoby to na pełniejsze wykorzystanie najważniejszych i najczęściej wykorzystywanych czujników. W dalszej kolejności należałoby skupić się na rozwinięciu brakujących technologii symulatorów celów dla termowizji, aktywnych kamer bliskiej podczerwieni, IMU oraz ulepszeniu hamowni dynamometrycznej pod kątem pełniejszego i dynamiczniejszego skręcania kół. Wnioski powyższe nie są powiązane bezpośrednio z zagadnieniem budowy stanowiska badawczego, lecz są raczej wytycznymi do kierunku dalszych prac.

W rozdziale 6, będący opisem części praktycznej, w oparciu o wirtualne jazdy testowe, zaprojektowano, stworzono i zweryfikowano stanowisko testowe działające w pętli zamkniętej do weryfikacji czujnika kąta kierownicy. W trakcie testów przebadano wpływ czujnika kąta kierownicy na jazdę samochodu z układem kierowniczym typu Steer-by-Wire (SbW). Wyznaczono błędy wprowadzane przez system w celu oceny jego stabilności, wydajności i przydatności do testów. W następnym etapie przetestowano i porównano trzy komercyjne czujniki kąta kierownicy podczas wirtualnego przejazdu testowego i określono

ich wydajność w technologii SbW. Określono błędy czujników oraz spójność względem parametrów deklarowanych przez producentów. Wynikiem badań było wyznaczenie wpływu dokładności czujników i okresu wysyłania danych na magistralę CAN na trajektorię samochodu wyposażonego w technologię Steer-by-Wire.

Bardzo istotne znaczenie dla wartości naukowej rozprawy ma zarówno opracowana metodologia testowania zawierająca procedurę testową dla rzeczywistych czujników kąta kierownicy oraz procedurę testową do zbadania wpływu dokładności i okresu danych jak również analiza otrzymanych wyników.

Zawarte w rozdziale 7 wnioski oraz dalsze kierunki prac zawierają syntetyczne zestawienie otrzymanych rezultatów.

#### **4. Metoda badawcza i oryginalny dorobek Autora**

Recenzowana rozprawa doktorska, dotyczy testowania wybranych funkcji jazdy autonomicznej pojazdów samochodowych w warunkach laboratoryjnych. Przeprowadzone badania miały na celu zbadanie możliwości stworzenia laboratoryjnego stanowiska testowego do kompleksowego testowania funkcji jazdy autonomicznej samochodu poprzez zasymulowania świata zewnętrznego w laboratorium oraz zaprojektowanie .

Oprócz charakteru wdrożeniowego rozprawa posiada również aspekt naukowy. Przeprowadzono wyczerpujące badania źródłowe, zaopatrując pracę w imponującą bibliografię liczącą 381 pozycji uwzględniającą nie tylko publikacje naukowe, ale również książki akademickie i popularnonaukowe, prace inżynierskie, magisterskie i doktorskie, patenty, materiały udostępniane przez producentów samochodów i poddostawców oraz wiarygodne źródła dostępne w internecie, które były weryfikowane przez doktoranta.

Za oryginalne osiągnięcia Doktoranta uważam:

1. Przeprowadzenie przeglądu szerokiego spektrum czujników i systemów w celu zidentyfikowania, które z nich i w jakim stopniu biorą udział w automatyzacji jazdy. Dodatkowo określono, które z nich faktycznie są obecnie wykorzystywane w samochodach masowej produkcji, a które już nie są dłużej stosowane. Zostały przeanalizowane zasady działania oraz zjawiska fizyczne wykorzystywane przez czujniki w celu późniejszego zaproponowania odpowiednich technologii stymulujących.
2. Przeprowadzenie przeglądu i porównania dostępnych na rynku urządzeń do bezprzewodowego stymulowania czujników w testach HIL. W przypadku braku tego typu urządzeń na rynku zostały przeanalizowane obecnie wykorzystywane metody i techniki testowe w celu określenia luki pomiędzy stanem obecnym a wymaganym do testów pojazdu w pętli. Dodatkowo został dokonany krytyczny przegląd publikacji naukowych oraz patentów w celu zidentyfikowania obecnych prac rozwojowych w tej dziedzinie. Bazując na wykonanej analizie, zaproponowano pomysły ulepszenia lub

- rozszerzenia obecnych metod testowych oraz koncepcję działania brakujących stymulatorów celu np. dla kamer bliskiej podczerwieni i kamer termowizyjnych.
3. Przeanalizowanie dostępnych komercyjnie stanowisk testowych wykorzystywanych w testach fuzji czujników oraz stanowisk testowych dla pojazdu w pętli w celu zidentyfikowania obecnego stanu rzeczy, istniejących braków oraz ograniczeń w funkcjonujących już rozwiązaniach. Zaproponowanie możliwych rozwiązań i ulepszeń obecnych konstrukcji, które pozwoliłyby spełnić wymienione wymagania dla stanowiska testowego. Zidentyfikowanie i opisanie najważniejszych składowych stanowiska testowego do pojazdu w pętli oraz opisano zasadę działania.
  4. Opracowanie autorskiego rozwiązania, w ramach którego, w oparciu o wirtualne jazdy testowe, zaprojektowano, stworzono i zweryfikowano pierwsze tego typu stanowisko testowe działające w pętli zamkniętej do weryfikacji czujnika kąta kierownicy w systemie Steer-by-Wire. Za pomocą zbudowanego stanowiska przetestowano i porównano trzy komercyjne czujniki kąta kierownicy o różnej dokładności i rozdzielczości podczas wirtualnego przejazdu testowego, w celu zbadania wpływu tego parametru na trajektorię samochodu wyposażonego w Steer-by-Wire. Dodatkowo w szerszym zakresie zbadano symulacyjnie wpływ dokładności oraz okresu wysyłania kąta/prędkości kątowej na trajektorię samochodu SbW uzyskując zaskakujące i nieoczekiwane wyniki, które po głębszej analizie okazały się jak najbardziej prawdziwe.
  5. Podjęcie próby budowy stanowiska do technologii V2X bazującej na standardzie 802.11p. Zdobyta wiedza o technologii V2X/C-V2X oraz urządzeniach symulujących i testowych dostępnych na rynku, pozwoliła na uruchomienie w firmie Merit innowacyjnego projektu inteligentnej anteny wykorzystującej technologię C-V2X. Dodatkowo weryfikacja wydajności innych komercyjnych czujników kąta kierownicy, pozwoliła na analizę porównawczą własnych produktów oraz produktów konkurencji.

## 5. Mankamenty i uchybienia dostrzeżone podczas analizy rozprawy

Rozprawa spełnia wszystkie kryteria formalne, stawiane pracom doktorskim, jednak zawiera także pewne niedociągnięcia. Autor w kilku miejscach nie uniknął niedopowiedzeń, powiązanych z nieustabilizowaną jeszcze terminologią oraz drobnymi zawiłościami stylistycznymi.

Struktura rozprawy jest przemyślana i logicznie uporządkowana, zamieszczony wykaz użytych oznaczeń i skrótów, w sposób znaczący ułatwia czytanie rozprawy. W pracy Autor nie ustrzegł się jednakże błędów językowych i nieprecyzyjnych sformułowań i skrótów myślowych.

Str. 17: „Dzięki tym systemom można całkowicie uniknąć wypadku, a nie tylko go złagodzić” – należy raczej użyć „złagodzić skutki wypadku”

Str. 22 „.....co powoduje, że wiele przypadków testowych jest niepokrytych” należało raczej użyć „wiele przypadków nie jest uwzględnianych”;

- Str. 23: „...wstrzykiwać danych na magistralę z pominięciem czujników itp.” poprawniej byłoby „przesyłać dane”
- Str. 23: „Stanowisko testowe musi zapewniać rzeczywistą symulację oporów ruchu działających na pojazd” – należy raczej napisać zapewniać symulację rzeczywistych oporów ruchu.
- Str. 25: „...w jej skład wchodzi takie systemy jak elektroniczne sterowanie przepustnicą (Throttle-by-Wire), elektroniczne hamowanie (Brake-By-Wire) czy elektroniczne kierowanie (Steer-by-Wire)” - należałoby raczej zamiast określenia „elektroniczne hamowanie” użyć „przesyłanie elektronicznych sygnałów sterujących działaniem hamulca, itp.;
- Str. 25: „Podstawowym czujnikiem automatyzacji jazdy są systemy wizyjne, czyli wszelkiego rodzaju kamery.” – czujnik i system to pojęcia mające odmienne znaczenie.
- Str. 25: „W celu uzyskania precyzyjnej lokalizacji obiektu i osadzenia go w rzeczywistości” – wszystkie obiekty są osadzone w rzeczywistości, bez względu na precyzję ich lokalizacji.
- Str. 26: W jakich jednostkach wyrażona jest prędkość we wzorze (3) i rozdzielczość we wzorze (4)?
- Str. 28: „Samochód, aby wyznaczyć swoją pozycję geograficzną najpierw wyznacza czas podróży wiadomości wysłanej satelity bazując na kodzie C/A, jak pokazano na Rys. 6.” – wyznaczana jest pozycja odbiornika, a dokładniej anteny odbiornika GPS.
- Str. 29: „...trzy satelity do określenia zgrubnej pozycji, natomiast czwarta satelita do zniwelowania błędów pochodzących od niedokładnego zegara kwarcowego i dzięki temu do zwiększenia precyzji wyznaczenia położenia” – dwie uwagi; pierwsza - satelita – jaki to rodzaj; druga czy chodzi tylko o zniwelowanie błędów zegara kwarcowego?;
- Str. 33: - we wzorze (10) użyto oznaczenia „ $\mu$ ”, nie definiując tej wielkości.
- Str. 33: - proszę o sprawdzenie jednostek we wzorze (11);
- Str. 46: „Rys. 24. Porównanie różnic w budowie czujników Halla dla pracy z kołem impulsowym i magnetycznym kołem wielobiegunowym” – proszę o wyjaśnienie co to jest koło impulsowe i magnetyczne koło wielobiegunowe?;
- Str. 46 „Wyznaczanie położenia i prędkości w oparciu o pomiary...” – raczej błędy w wyznaczaniu położenia i prędkości w oparciu o pomiary....;
- Str. 46: Co to są za określenia „Mapa wysokiej definicji jest wysokoszczegółową i wysokoprecyzyjną mapą, ...” ?;
- Str. 48: Na rysunku 4 są przedstawione systemy wizyjne, a pkt. 3.3 zatytułowano „Kamery” – brak jednolitości w nazewnictwie;
- Str. 79: „3.6 Komunikacja pojazd do wszystkiego V2X” – co to oznacza?
- Str. 91: „Z powodu tak skomplikowanych urządzeń testy są wykonywane na różnych poziomach.” – styl;
- Str. 119: „5.1 Stanowiska HIL do fuzji czujników” – fuzji czujników czy fuzji danych z czujników?;

Powyższe uwagi jak również znajdujące się w pracy błędy redakcyjne nie ujmują wartości merytorycznej rozprawy, szczególnie na tle przedstawianych w rozprawie interesujących i nowatorskich, możliwych do skomercjalizowania, wyników badań naukowo-technicznych.

Uwagi problemowe, które nasunęły się podczas czytania rozprawy i nad którymi dyskusję chciałbym przeprowadzić podczas obrony rozprawy:

1. Na str. 22 Autor podaje: „Jako alternatywę dla fizycznych obiektów wybiera się bezprzewodową stymulację, która jest znacznie bardziej elastyczna, jest w stanie wygenerować więcej przypadków testowych i nie stwarza zagrożenia dla badanego samochodu i osób w pomieszczeniu.” – Co należy rozumieć pod pojęciem „bezprzewodowa stymulacja” i dlaczego nie stwarza ona zagrożenia dla pojazdu i otoczenia?
2. W pracy bardzo często Autor używa zamiennie określeń „automatyzacja” i „autonomizacja” (min. Rysunek 4 str. 23), proszę zdefiniować te określenia i podać zakresy automatyzacji i autonomizacji w odniesieniu do pojazdów.
3. W pkt. 3.5 rozprawy Doktorant skupił się na analizie zastosowania lidarów ze szczególnym uwzględnieniem lidarów z wirującym lustrem. W literaturze są publikacje przedstawiające zastosowanie lidarów bezlustrowych, np. firm Livox czy Ouster w pojazdach autonomicznych. Proszę o określenie możliwości zastosowania tych rozwiązań w pojazdach bezzałogowych, oraz możliwości ich testowania.
4. W pkt. 6.4.3 Doktorant podaje „Dodatkowo wyniki pokazały, że zwiększenie dokładności czujnika wcale nie powoduje proporcjonalnego zmniejszenia błędów generowanych przez czujnik podczas rzeczywistej jazdy. Dla przykładu pięciokrotne zwiększenie dokładności jednego czujnika względem drugiego (SAS II vs. SAS III) skutkowało jedynie dwukrotnym zmniejszeniem błędów podczas wykonywania slalomu, a liczba przewróconych pachołków nie uległa zmianie.” Czy nie jest zbyt pobieżne wysnuwanie wniosków? Czujnik kierownicy jest jednym z elementów systemu sterowania. Elementy działają w układzie szeregowym, czasy opóźnień zadziałania poszczególnych elementów sumują się. Czy zatem to nie czas przetwarzania sygnału lub inercja układu wykonawczego były przyczyną braku poprawy działania systemu?
5. W podsumowaniu pracy podaje Doktorant, że „w przypadku chęci zrealizowania kompletnego stanowiska testowego będącego w stanie w pełni zasymulować środowisko zewnętrzne w laboratorium jest nadal jeszcze sporo pracy.” Następnie określa, że „przedstawione ograniczenia mają głównie charakter techniczny”. Czy nie jest zastanawiające, że problemy techniczne, są wyzwaniem nie do przezwyciężenia dla koncernów samochodowych? A może są jednak problemy naukowe, które należałoby rozwiązać?

## 6. Końcowa ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Michała PIETRUCHA mieści się w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Moja ocena pracy jest pozytywna, pomimo pewnej liczby uwag edytorskich. Praca zawiera szereg nowych interdyscyplinarnych wyników poznawczych. Uzupełniają one w tym zakresie stan wiedzy



z dynamicznie rozwijającej się tematyki pojazdów autonomicznych. Rozprawa ta przede wszystkim wnosi oryginalne wnioski w zastosowaniu do praktyki wdrożeniowej.

Godnym uznania dla Doktoranta jest uzyskanie interesujących wyników naukowo-badawczych o obszarze badania pojazdów bezzałogowych, która stanowi oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego i wartościowy wkład użyteczny do dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Michała PIETRUCHA spełnia warunki określone przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz. 742). Wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy, przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, Akademii Górniczo-Hutniczej, do dalszego procedowania.



