



RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauli RAZIN

pt. **Metoda oceny przejęcia kontroli sterowania przez kierowcę
w pojazdach z warunkową autonomizacją**

1. Informacje ogólne

Recenzja opracowana została na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej pismo nr 391/2022 z dnia 12.04.2022 r. na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej pod wyżej wymienionym tytułem.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Pauli Razin liczy 142 strony zwartego opracowania wraz z ośmioma załącznikami i spisem literatury w liczbie 122 pozycji.

Rozprawa jest podzielona na trzy rozdziały zasadnicze, wstęp, podsumowanie ze wskazanymi kierunkami dalszych prac, załączniki oraz bibliografię. W pracy zamieszczono także wykaz najważniejszych oznaczeń, spis tabel i rysunków oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

Praca ma charakter doświadczalny i dotyczy zagadnień związanych z autonomizacją jazdy samochodów osobowych z wykorzystaniem metody heurystycznej w postaci logiki rozmytej.

Rozprawa napisana jest z dużą starannością poprawnym i precyzyjnym językiem. Układ pracy jest przejrzysty, podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały poprawny. Terminologia i pojęcia stosowane w pracy nie budzą większych zastrzeżeń. Materiały ilustracyjne oraz tabele z wynikami badań zamieszczone w pracy, w sposób właściwy przedstawiają studia Pani Doktorantki dotyczących zagadnień związanych z autonomizacją jazdy samochodów osobowych z wykorzystaniem heurystycznych struktur rozmytych uwzględniających czas przejęcia kontroli nad pojazdem oraz stopień odczuwalnego przez kierowców podczas tego procesu komfortu.

al

3. Ocena podjętego tematu

Intensywny rozwój sektora motoryzacyjnego oraz technik pozwalających na autonomiczną jazdę samochodów jest obecnie jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi przemysłu motoryzacyjnego. Wprowadzane i wdrażane nowe technologie w tym zakresie są postrzegane jako czynnik tworzący przyszłą mobilność oraz poprawiający i kształtujący nową jakość życia ludzi. Systemy HMI (Human Machine Interface) dedykowane pojazdom z warunkową autonomizacją mają za zadanie szybko i właściwie przekazać informację kierowcy, który w newralgicznych sytuacjach drogowych może być zmuszony do przejęcia sterowania nad pojazdem. Poza głównym zadaniem związanym z przekazywaniem informacji kierowcy oraz wspomaganie jazdy pojazdu systemy te również mają wiele innych zalet między innymi przyczyniają się do: zwiększenia bezpieczeństwa na drogach (zmniejszenie liczby wypadków), poprawiają wydajność systemu transportowego, umożliwiają korzystanie z pojazdów osobom o zróżnicowanej sprawności oraz mogą przyczynić się także do zmniejszonej emisji substancji szkodliwych do środowiska.

Obecny poziom technologii pozwala na sukcesywne wprowadzenie pojazdów z warunkową autonomizacją na poziomie L3 oraz w przypadku pojazdów wykorzystywanych w miejskim transporcie publicznym na poziomie L4. Samochody z warunkową autonomizacją są w stanie przejąć od kierowcy pełną kontrolę nad kierowaniem w określonych warunkach ale kierowca nadal musi być przygotowany na przejęcie czynności sterowniczych w przypadku zgłoszenia tego postulatów przez system komputerowy samochodu.

Autorka pracy podjęła się bardzo ważnego zdania związanego z rozpoznaniem zjawisk w zakresie roli czynnika ludzkiego oraz rodzajów bodźców w procesie przejmowania kontroli nad pojazdem samochodowym.

Na podstawie przeprowadzonej bardzo szczegółowo analizy literatury wskazano brakujące obszary analiz. Następnie opracowano i przeprowadzono eksperyment badawczy (badania na symulatorze pojazdu i badania ankietowe), w którym głównym celem było określenie wybranych czynników wpływających na poprawność przejęcia kontroli nad pojazdem. Wyniki uzyskanych prac posłużyły do opracowania modelu rozmytego do oceny poprawności przejęcia przez kierowcę kontroli w pojazdach z warunkową autonomizacją. Zastosowanie metody heurystycznej w postaci logiki rozmytej pozwoliło na kompleksowe podejście do poruszanego tematu i optymalne wykorzystanie ograniczonej wielkości zbioru danych. Logika rozmyta okazała się być właściwym narzędziem do analizy problemu i do opracowania metody, w której brano pod uwagę nie tylko parametry obiektywne tj. czas przejęcia kontroli nad pojazdem ale także poczucie komfortu podczas tego procesu. Przedstawione w pracy badania dotyczą pojazdów zautonomizowanych, czyli pojazdów na poziomie 3 według

klasyfikacji SAE (Society of Automotive Engineers) i NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration).

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że wybór tematu jest bardzo aktualny i istotny z punktu widzenia naukowego (poznawczego) jak i praktycznego zastosowania w pojazdach. Wynikami uzyskanych badań może być zainteresowanych wiele podmiotów np. koncerny motoryzacyjne oraz instytucje działające na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego.

4. Analiza treści rozprawy

W przedstawionej do recenzji pracy Autorka podjęła się nietrywialnego zadania związanego z badaniem wpływu czynników zewnętrznych na zadanie przejęcia kontroli przez kierowcę w przypadku konieczności wyłączenia systemu autonomizującego proces jazdy oraz opracowanie metody poprawności wykonania czynności z tym związanych. Prace wykonane przez Panią Doktorantkę skupiają się na pojazdach zautonomizowanych na poziomie 3 według klasyfikacji SAE i NHTSA.

Konsekwencją takiego podejścia do rozwiązania problemu badawczego, zdefiniowanego przez Autorkę rozprawy jest przyjęty układ pracy, oraz jej zawartość merytoryczna.

Rozdział pierwszy pracy to **Wstęp** jest on wprowadzeniem do problematyki zagadnień poruszanych w rozprawie. W rozdziale tym Autorka uzasadniła powody podjęcia tematu dysertacji oraz wskazała, że do tej pory nie prowadzono badań związanych z poprawnością przebiegu procesu przejęcia kontroli przez kierowcę z wykorzystaniem heurystycznych struktur rozmytych uwzględniających czas przejęcia kontroli nad pojazdem z warunkową autonomizacją oraz stopniem komfortu odczuwalnego przez kierowców w czasie tego procesu. Na tej podstawie sformułowano cel rozprawy którym jest: *zbadanie wpływu czynników zewnętrznych na zadanie przejęcia kontroli przez kierowcę w przypadku konieczności wyłączenia systemu autonomizującego proces jazdy oraz opracowanie metody oceny poprawności wykonania czynności z tym związanych*. Teza pracy została sformułowana następująco: **badania na symulatorze jazdy oraz metody statystyczne i heurystyczne wykorzystujące dane eksperymentalne mogą być narzędziem do badania i oceny poprawności przejęcia kontroli przez kierowcę w pojazdach z warunkową autonomizacją (na poziomie L3).**

Rozdział drugi **Zagadnienie autonomizacji pojazdów – przegląd badań** zawiera bardzo szczegółową analizę badań w tym zakresie. Oczekiwania potencjalnych użytkowników nowoczesnych i zaawansowanych technologicznie samochodów są bardzo wysokie. Dlatego główni producenci konwencjonalnych pojazdów prowadzą szeroko zakrojone prace badawcze i testowe nad nowoczesnymi systemami: które w razie potrzeby lub zagrożenia zmieniają tor jazdy tak, aby nie doszło do kolizji, przejmą pełną kontrolę nad pojazdem i samoczynnie

poprowadzą go do celu po wyznaczonej trasie pozostawiając (lub nie) możliwość prowadzenia pojazdu przez kierowcę lub przejmą kontrolę nad pojazdem jedynie częściowo i w ściśle określonych warunkach pozostawiają kierowcę w stanie mniejszego lub większego zaangażowania w prowadzenie pojazdu. Autorka pracy wskazała szereg aspektów, które są rozwiązywane przez inżynierów projektujących i testujących pojazdy wyposażone w systemy wspomagania i autonomizacji jazdy. Wskazując, że do tej pory nie została przebadana interakcja pomiędzy systemami wspomagania jazdy lub autonomizującymi prowadzenie pojazdu a kierowcą oraz transferu kontroli dla poziomów 2, 3 i 4 w pojazdach w sytuacjach tego wymagających. Ponadto w rozdziale tym omówiono systemy autonomizujące kierowanie pojazdem tj. poziomy autonomizacji pojazdów. Bardzo szczegółowo przedstawiono zagadnienia dotyczące roli czynnika ludzkiego w autonomizacji pojazdów. Przeanalizowano wpływ trzech bodźców: wzrokowego, słuchowego i hepaticznego (z wykorzystaniem zmysłu dotyku i reakcji na wibracje), które wykorzystuje się w interfejsach komunikacji człowiek-maszyna i za pomocą, których kierowcy mogą być informowani o zmianach zachodzących podczas transferu kontroli nad pojazdem lub równoczesnego wykonywania kilku czynności w pojeździe. Przytoczone wyniki licznych badań wskazują nie tylko na zainteresowanie tematyką modalności i jej wpływu na działanie kierowców, ale także na istotną rolę sposobu informowania kierowców o sytuacjach niebezpiecznych. Kolejnymi zagadnieniami, na które zwróciła uwagę Autorka pracy był transfer kontroli sterowania nad pojazdem (opisano dwa spojrzenia na ten temat wg dokumentu SAE J3016 i ISO/TR 21959-1:2018) oraz problematyka wykorzystania symulatorów jazdy w badaniach kierowców.

W trzecim rozdziale **Metoda oceny przejęcia przez kierowcę kontroli w pojazdach z warunkową autonomizacją** została opisana Autorska metodyka według, której wykonano badania w pracy. Celem przeprowadzonych badań było określenie czynników wpływających na poprawność przejęcia kontroli w pojeździe. W badaniach wykorzystano scenariusze obejmujące konieczność przejęcia przez kierujących kontroli w wybranych sytuacjach drogowych. O sytuacji na drodze, zagrożeniach i konieczności przejęcia kontroli uczestnicy badań byli informowani przy pomocy sygnałów ostrzegawczych odbieranych wzrokiem, słuchem oraz dotykowo w postaci wibracji. Do realizacji założonego celu badawczego wykorzystano symulator samochodu osobowego Opel Astra IV i będące jego integralnym elementem stanowisko multisensoryczne. Grupę badawczą stanowiły osoby dorosłe posiadające co najmniej od dwóch lat prawo jazdy kategorii B i korzystające z samochodu osobowego na co dzień – przejechały w ciągu roku co najmniej 1 000 km. Do badań za rekrutowano 30 osób. Podzielono je na trzy równoliczne grupy według kryterium wieku oraz ze względu na doświadczenie w kierowaniu pojazdem. Średnia wieku osób ankietowanych wynosiła 38 lat najstarszy uczestnik miał 64 lata a najmłodszy 20 lat. Wszystkie osoby biorące udział w eksperymencie badawczym przebadane były na okoliczność choroby symulatorowej.

Był to kwestionariusz wypełniany bezpośrednio przed badaniami oraz bezpośrednio po każdej jeździe symulatorem. Uczestnicy badania nie znali szczegółów według, których był wykonywany eksperyment oraz przejeżdżały wytypowany odcinek badawczy tylko jeden raz. Badanie rozpoczynało się od jazdy adaptacyjnej trwającej kilka minut i obejmowało przejazd około 7 kilometrowym odcinkiem drogi. Przejazd właściwy był wykonywany na autostradzie. Podczas tego przejazdu zaplanowano trzy sytuacje niebezpieczne, które wymagały przekazania kierowcy kontroli przez system zautonomizowany. Były to prace drogowe, które obejmowały przebudowę drogi oraz objazd wyznaczoną trasą alternatywną oraz dwa wypadki drogowe. Każda z wymienionych sytuacji była poprzedzona wystąpieniem komunikatu w postaci jednego z trzech interfejsów: komunikatu wizualnego (informacja wyświetlana jako piktogram na ekranie zegarów), komunikatu wizualnego i dźwiękowego oraz komunikatu wizualnego, dźwiękowego i hepaticznego. Najważniejsze parametry, które były rejestrowane przez symulator pojazdu to: timeTOR i timeADS. Dostarczały one informacje krytyczne z perspektywy transferu kontroli nad pojazdem. Przejście z trybu autonomicznego do trybu manualnego możliwe było na trzy sposoby: przez wciśnięcie pedału hamulca, przez wciśnięcie pedału przyspieszenia lub znaczącego poruszenia kierownicą. Dodatkowo po zakończeniu właściwych badań na symulatorze osoby biorące udział w badaniach wypełniały ankietę. Celem jej była subiektywna ocena stopnia komfortu transferu kontroli jak i poczucia bezpieczeństwa podczas jazdy w trybie autonomicznym.

Do oceny poprawności przejmowania kontroli wykorzystano model rozmyty zbudowany w środowisku MATLAB. Model ten powstał na podstawie wykonanych badań eksperymentalnych na symulatorze i badań ankietowych. W modelu tym na wejściu były dwa parametry. Pierwszym parametrem był „czas”. Był on definiowany jako czas przejęcia kontroli przez kierowcę nad pojazdem od momentu otrzymania powiadomienia poprzez dedykowane interfejsy do momentu zareagowania na ten komunikat. Drugim parametrem była „ocena”. Jest to subiektywna ocena poczucia komfortu podczas transferu kontroli od pojazdu do kierującego. Parametrem wyjściowym modelu była „poprawność”, parametr ten został tak zaprojektowany, aby na podstawie parametrów wejściowych umożliwić ocenę poprawności procesu przejęcia kontroli przez kierowcę.

Kolejny przedostatni rozdział pracy to **Analiza wyników**. W rozdziale tym przedstawiono i omówiono wyniki uzyskanych badań wykonanych na symulatorze, wyniki badań ankietowych oraz dokonano poprawności przejęcia kontroli na podstawie modelu rozmytego. W badaniach wykonanych na symulatorze pojazdu osobowego podstawową zmienną zależną był czas liczony od momentu pojawienia się komunikatu w jednej z trzech form (wizualnie, wizualnie i dźwiękowo lub wizualnie, dźwiękowo i hepaticznie) do momentu wykonania przez kierowcę znaczącej interwencji w postaci wciśnięcia pedału przyspieszenia, hamulca lub wykonania skrętu kierownicą. Na podstawie zgromadzonych wyników eksperymentu przeprowadzono

jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA dla prób niezależnych, w ramach której sprawdzono czy zmienna niezależna o trzech poziomach wpłynęła na zmienną zależną w postaci czasu przejścia kontroli w pojeździe. W przypadku badań ankietowych analizę wykonano dla trzech przypadków oceny komfortu przejścia kontroli: z trybu autonomicznego do manualnego, z trybu manualnego do autonomicznego i podczas jazdy autonomicznej. Analiza ta została przeprowadzona z uwzględnieniem kryterium wieku i doświadczenia w prowadzeniu pojazdów osób biorących udział w eksperymencie badawczym.

Ocenę poprawności przejścia kontroli na podstawie modelu rozmytego dokonano na podstawie całej próby badawczej. Wymiernym efektem działania modelu był stopień poprawności przejmowania kontroli nad pojazdem. W tym przypadku analizę wyników badań wykonano ze względu na wiek oraz płeć osób biorących udział w badaniu. Ponadto dla opracowanego modelu dokonano także jego weryfikacji wyznaczając wartość graniczną pomiędzy poprawnym a nie poprawnym przebiegiem procesu przejmowania kontroli nad pojazdem z warunkową autonomizacją. Jej przekroczenie kwalifikowało daną próbkę do pozytywnej oceny poprawności.

W ostatnim rozdziale pracy **Podsumowanie i wnioski** sformułowano wnioski wynikające z przeprowadzonych badań oraz wskazano kierunki dalszych prac.

5. Merytoryczna ocena pracy

Autorka rozprawy skoncentrowała się na bardzo istotnej kwestii związanej z określeniem czynników wpływających na poprawność przejścia przez człowieka kontroli nad pojazdem zautonomizowanym na 3 poziomie wg klasyfikacji SAE i NTHSA. Analiza dotychczas przeprowadzonych badań wykazała, że człowiek podczas prowadzenia samochodu wykazuje wiele indywidualnych zachowań i reakcji. Szeroka analiza eksperymentów badawczych wykonanych na symulatorach pojazdów związanych z wykorzystaniem modalności (wzrokowych, słuchowych i hepaticznych) wykazała złożoność badanego problemu a także brak jednoznacznych i spójnych wniosków prowadzonych prac. Opracowanie najlepszego sposobu przekazu informacji kierowcy o zagrożeniach i konieczności przejścia kontroli nad pojazdem ma ogromne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa w ruchu drogowym i dlatego wymaga prowadzenia badań w tym zakresie. Ponadto wykazano, że najefektywniejszym sposobem informowania kierowcy jest taki, który powoduje szybką właściwą reakcję na zaistniałą sytuację w sposób intuicyjny niewymagający angażowania zbyt wielu zasobów poznawczych. Biorąc powyższe pod uwagę opracowano Autorską metodykę badań eksperymentalnych. W eksperymencie tym oceniano czas reakcji kierowcy na sygnały wysyłane przez samochód informujące o konieczności przejścia kontroli (badania na symulatorze pojazdu osobowego) oraz stopień odczuwalnego komfortu w trakcie

przejmowania kontroli nad pojazdem (badania ankietowe). Wyniki uzyskanych badań pozwoliły na budowę modelu rozmytego oraz opracowanie metody poprawności przejęcia przez kierowcę kontroli w pojazdach z warunkową autonomizacją. Opracowany model ma charakter uniwersalny może zatem być wykorzystany w dalszych badaniach różnych grup kierowców.

Praca pani mgr inż. Pauli Razin jest na wysokim poziomie merytorycznym i naukowym. Cechuje się profesjonalizmem w podejściu do modelowania eksperymentów badawczych wykorzystujących symulator pojazdów osobowych. Warsztat naukowy przedstawiony w rozprawie świadczy o dużej dojrzałości naukowej Doktorantki, wiedzy oraz interdyscyplinarnego podejścia do rozwiązywania bardzo trudnych zagadnień. Temat pojęty w rozprawie wychodzi naprzeciw aktualnym tendencjom związanym z rozwojem motoryzacji.

Uważam zatem, że rozpoznanie zjawisk a następnie opracowanie metody poprawności przejęcia przez kierowcę kontroli w pojazdach z warunkową autonomizacją jest Autorską propozycją pani mgr inż. Pauli Razin.

6. Uwagi szczegółowe

Podczas czytania i analizy treści rozprawy zauważyłam kilka błędów edytorskich związanych czytelnością rysunków nr 2.3 – 2.8 oraz 2.26 i 2.27. Są to jednak drobne uwagi, które nie wpływają na ocenę pracy i Pani Doktorantka nie musi się do nich odnosić.

Chciałbym także aby Autorka pracy odpowiedziała na kilka pytań, które nasunęły mi się podczas czytania pracy:

1. Prosiłabym o szersze skomentowanie rysunków nr 2.3 do 2.8 na stronach 24 – 27.
2. Jaki był powód wyboru do badań eksperymentalnych scenariuszy związanych z przejazdem przez autostradę, prac drogowych oraz dwóch wypadków drogowych?
3. Co to są za skróty SD i program SPSS? znajdują się one na stronie 97 i 99 pracy.
4. Co to za prosta oznaczona kolorem czerwonym znajdująca się na rysunkach 4.8 i 4.9 – strona 104 i 105? Dlaczego jest ona na innym poziomie na rysunku 4.8 i 4.9?
5. Dlaczego dane raz są przedstawione w postaci wykresów kolumnowych rys 4.8 i 4.9 a innym razem jako wykresy punktowe połączone liniowo rys 4.6, 4.7, oraz 4.10 – 4.15?
6. Na rysunku 4.8 (str. 104) tytuł osi y to ocena komfortu a tytuł osi y na rysunku 4.9 (str. 105) to ocena moje pytanie to ocena czego? oraz co to za jednostka [pkt]?

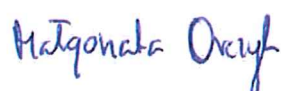
7. Dlaczego nie wyznaczono modelu rozmytego ze względu na doświadczenie kierowców? Wydaje mi się, że kryterium „doświadczenia kierowcy” mogłoby być także bardzo istotnym kryterium analiz.
8. Na podstawie jakiej zależności wyznaczono wartość graniczną i co spowodowało, że wartość 0,469 uznano za wartość graniczną a nie np. 0,44 albo 0,48 – strona 109?

7. Podsumowanie i konkluzja

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam bardzo pozytywnie. Została ona wykonana na bardzo wysokim poziomie merytorycznym. Zawarte w niej treści dotyczą złożonych problemów związanych z rolą człowieka w procesie przejmowania kontroli w pojazdach z warunkową autonomizacją na poziomie L3. Doktorantka bardzo dobrze orientuje się w poruszanych kwestiach. Zaprezentowane w pracy treści są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktorantki, a rezultaty pracy mogą zostać wykorzystane w praktyce. Pani mgr inż. Paula RAZIN potrafiła poprawnie zdefiniować, zaprojektować i rozwiązać postawiony za cel pracy problem naukowy.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Pauli RAZIN pt. **„Metoda oceny przejęcia kontroli sterowania przez kierowcę w pojazdach z warunkową autonomizacją”** spełnia warunki przewidziane w Ustawie a dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. Nr 65, poz. 595 (z późniejszymi zmianami) oraz Ustawy o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z 2018 r.

Stawiam więc wniosek o przyjęcie przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Pauli Razin nt. **Metoda oceny przejęcia kontroli sterowania przez kierowcę w pojazdach z warunkową autonomizacją** na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport i dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej w dyscyplinie: Inżynieria Lądowa i Transport.



Małgorzata Orczyk