

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. MATEUSZA PAPISA  
pt. Opracowanie metody szacowania obrażeń pieszego odniesionych w wypadku z  
samochodem osobowym

### 1. Informacje wstępne

Recenzja została opracowana na podstawie decyzji Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej z dnia 2 czerwca 2021 r., którą otrzymałem 21 czerwca 2021. Praca przedstawiona do recenzji ma 134 strony i składa się z 8 rozdziałów, bibliografii oraz jednego załącznika. Wykaz literatury obejmuje 99 publikacji.

### 2. Tematyka, cel i zakres rozprawy

Doktorant podejmuje w pracy ważne z praktycznego, a zarazem bardzo interesujące z teoretycznego punktu widzenia zagadnienie oszacowania prawdopodobieństwa wystąpienia obrażeń u pieszych uczestników ruchu drogowego podczas wypadku. Rozważa też czynniki, które w istotny sposób wpływają na wartości tego prawdopodobieństwa. Spośród uczestników ruchu drogowego piesi stanowią najbardziej zróżnicowaną, najtrudniejszą do modelowania i opisu matematycznego oraz analizy grupę narażoną na potrącenia i uderzenia. To krótkie ujęcie wskazuje, że wybór tematu rozprawy należy uznać za ważny i trafny.

Celem rozprawy jest opracowanie metody, która ułatwi oszacowanie prawdopodobieństwa obrażeń pieszego podczas wypadku drogowego. Rozważa się skutki potrącenia pieszego przez samochód, a w szczególności opracowana metoda powinna pozwolić na uwzględnienie udziału czynników, które w sposób istotny oddziałują na skutki takiego wypadku. Metoda, którą Doktorant opracował w swojej rozprawie, została przedstawiona w kilku etapach:

1. Synteza wiedzy dotyczącej określania zależności obrażeń pieszego od czynników związanych z wypadkiem drogowym.
2. Określenie koncepcji i głównych założeń proponowanej metody oceny prawdopodobieństwa obrażeń pieszego podczas wypadku.
3. Opracowanie algorytmu pozwalającego wyznaczyć wartości prawdopodobieństwa obrażeń pieszych w wypadkach drogowych.
4. Weryfikacja i walidacja opracowanej metody.

Doktorant przyjął następującą tezę do rozprawy: możliwe jest opracowanie metody szacowania rozmiaru obrażeń pieszego z uwzględnieniem wpływu wielu czynników w aspekcie poprawy bezpieczeństwa drogowego. Przyjęta teza w sposób oczywisty nawiązuje do celu rozprawy, a tym samym może ułatwić pokazanie relacji między celem a rezultatem rozprawy.

### 3. Analiza merytorycznej treści rozprawy

Doktorant w początkowej części rozprawy, w ramach ogólnego wprowadzenia do tematyki badawczej, przeprowadził analizę publikacji pod kątem poszukiwania statystycznych danych o powypadkowych obrażeniach u pieszych. Stwierdził, że takie dane są mocno rozproszone. Brakuje też metod obliczeniowych, które ułatwiają prognozowanie obrażeń pieszych w wypadkach drogowych. Analiza literatury pozwoliła Doktorantowi na stwierdzenie, że precyzyjne określenie obrażeń w wypadku drogowym jest w zasadzie niemożliwe. Należy więc tworzyć metody, które umożliwią jak najdokładniejsze oszacowanie skutków wypadku poprzez uwzględnienie jak największej liczby istotnych parametrów wejściowych (okoliczności wypadku).

Ta konkluzja stała się przesłanką do napisania celu rozprawy, którym jest opracowanie metody umożliwiającej nie tylko prognozowanie wartości prawdopodobieństwa obrażeń w wypadkach drogowych, ale także wskazanie zależności między okolicznościami wypadku a jego skutkami. W ten sposób opracowana metoda umożliwi powiązanie takich czynników jak prędkość samochodu, cechy osobnicze uczestnika wypadku i własności pojazdu ze skutkami wypadków (poziomem obrażeń u pieszych).

W tej metodzie zastosowano sekwencyjne uwzględnianie poszczególnych czynników poprzez wprowadzanie tzw. współczynników skalujących (korekcyjnych). Współczynniki te pomagają określić udział poszczególnych czynników w skutkach wypadku drogowego. Przyjęte założenie o możliwości ustalenia udziału poszczególnych czynników w sumarycznym rezultacie, czyli w dostępnych statystykach wypadków drogowych, ułatwiło Doktorantowi dalsze działania. Takie postępowanie pokazywane jest w literaturze jako szczególnie użyteczne w obszarach, w których gromadzenie wyników obserwacji badanego procesu jest trudne lub długotrwałe.

Algorytm metody jest tak opracowany, że obliczane wartości prawdopodobieństwa obrażeń w kolejnych etapach są funkcją coraz większej liczby czynników (okoliczności wypadku). Metoda jest interesująca i ma cechy innowacyjne w aspekcie jej zastosowania do zagadnień bezpieczeństwa ruchu drogowego. Cechy nowości w takim zastosowaniu ma procedura wydziałania wartości ryzyka obrażeń, które można przypisać do określonego czynnika, z ogólnego prawdopodobieństwa obrażeń pieszych w wypadkach drogowych.

Doktorant kolejno przedstawia następujące ważne elementy rozprawy:

1. Charakterystyka bezpieczeństwa ruchu drogowego, możliwości zgromadzenia danych oraz analiza możliwości zastosowania metody Monte Carlo podczas obliczania wartości prawdopodobieństwa obrażeń.

2. Charakterystyka źródeł danych potrzebnych do obliczeń. Doktorant napotkał poważne trudności podczas gromadzenia danych wejściowych do opracowywanej metody. W Polsce są gromadzone dość ogólne dane, głównie poprzez policję na miejscu wypadku. To nie są wystarczające dane do dalszych analiz. Z powodu braku danych krajowych wystąpiła konieczność sięgania do danych zgromadzonych w innych krajach.

3. Koncepcja algorytmu opracowanej metody, która opiera się na wykorzystaniu kilku sposobów korekcji (współczynników skalujących) dostępnych statystyk obrażeń pieszych w wypadkach drogowych. Korekcja ta miała na celu umożliwienie wyodrębnienia udziału czynników powodujących obrażenia lub opisujących okoliczności wypadku. Wyodrębniono w ten sposób następujące czynniki: prędkość pojazdu w chwili zdarzenia, wiek, wzrost i masa pieszego, typ nadwozia samochodu oraz wysokość położenia zderzaka. Obrażenia rozważa się z uwzględnieniem skali MAIS (Maximum Abbreviated Injury Scale).

4. Sprawdzenie algorytmu szacowania prawdopodobieństwa, które zostało oparte na wynikach obliczeń symulacyjnych z wykorzystaniem metody Monte Carlo. Walidacja metody została przeprowadzona z wykorzystaniem bazy danych powypadkowych

zgrupowanych w początkowej części rozprawy. Proces walidacji był prowadzony w trzech etapach, a mianowicie:

- bieżące sprawdzanie obliczanych wartości prawdopodobieństwa obrażeń podczas doboru wartości współczynników korekcyjnych;
- wykorzystanie danych zgromadzonych w bazie PCDS (Pedestrian Crash Data Study, USA);
- uwzględnienie danych dotyczących struktury pieszych w Polsce, które zgromadzone zostały przez Instytut Transportu Samochodowego.

Rezultatem obliczeń przeprowadzanych przez Doktoranta jest algorytm postępowania, przedstawiony jako opis metody i arkusz kalkulacyjny. Te elementy stanowią mocną stronę rozprawy. Arkusz ten pozwala wyznaczyć wartości p-stwa z uwzględnieniem czterech poziomów obrażeń pieszego: lekkie lub bez obrażeń, średnie + ciężkie, bardzo ciężkie + krytyczne oraz śmiertelne. Poziomy te odniesiono do skali MAIS, jako najczęściej wykorzystywanej w medycznym opisie obrażeń powypadkowych. Opracowany algorytm dotyczy obrażeń osób dorosłych.

Słabą stroną opracowanej metody oraz sposobu jej przedstawienia w rozprawie są następujące aspekty:

- opracowana metoda opiera się na doborze współczynników korekcyjnych do aktualnie dostępnych charakterystyk prawdopodobieństwa obrażeń pieszych w wypadkach drogowych; to ogranicza możliwości jej powszechnego stosowania, ponieważ inny zestaw danych wejściowych wymagać będzie innych wartości współczynników korekcyjnych;
- brakuje potwierdzenia, że zastosowanie sekwencyjnego wydzielenia części z ogólnej liczby osób z obrażeniami powypadkowymi jest działaniem skutecznym;
- brakuje przedstawienia opracowanej metody w postaci uporządkowanego zbioru zależności matematycznych do obliczania prawdopodobieństwa obrażeń i współczynników korekcyjnych.

#### 4. Uwagi krytyczne

D1. Tytuł rozprawy został ujęty mało precyzyjnie. Opracowana metoda nie dotyczy obrażeń pieszego lecz oszacowania ryzyka ich powstania podczas wypadku drogowego, ściślej ryzyka potrącenia pieszego przez samochód. Natomiast w małym stopniu dotyczy szacowania obrażeń pieszego, czyli określenia jakie obrażenia ma pieszy. Także brane pod uwagę czynniki nie dotyczą obrażeń pieszego lecz okoliczności wypadku (jaka była prędkość, kto uczestniczył w wypadku drogowym).

D2. Doktorant napotkał poważne trudności podczas gromadzenia danych wejściowych do tworzenia modelu wpływu okoliczności wypadku na obrażenia pieszych. W Polsce w tym zakresie są gromadzone dane dość ogólne, głównie poprzez policję na miejscu wypadku. Z tego powodu podczas tworzenia metody wystąpiła konieczność sięgania do danych zgromadzonych w innych krajach. Takie wykorzystywanie danych o wypadkach powinno zawierać także informacje o relacji między ruchem drogowym w Polsce a w innych krajach.

D3. Statystyki obrażeń pieszych, jako dane do obliczeń, zostały pozyskane w różnym czasie. Upływ czasu widoczny jest w różnicach pomiędzy wynikami badań z lat 70-tych poprzedniego wieku, a nowszymi (publikacje z lat 90-tych i początku 21 wieku). Czynniki ten nie jest brany pod uwagę w opracowanej metodzie.

D4. Opracowana metoda w małym stopniu uwzględnia złożoność wypadków drogowych, a szczególnie bardzo dużą liczbę scenariuszy przebiegu wypadku w aspekcie interakcji pomiędzy pieszym a samochodem.

D5. W kilku zależnościach (np. 6.5- 6.10) do obliczania p-stwa obrażeń pieszych wykorzystano wartości wielkości fizycznych w wykładnikach funkcji. W zależności (6.11) Doktorant sumuje wielkości fizyczne w różnych potęgach. W kolejnej zależności (6.12) dodano do siebie dwie różne wielkości fizyczne, a mianowicie masę ciała człowieka do jego wzrostu!

Zastosowanie wielkości fizycznych w obliczeniach, w których stanowią one wykładnik potęgi lub są sumowane z wartościami liczbowymi jest matematycznie wadliwe i wymaga stosownych wyjaśnień. W rozprawie brakuje wskazania: w jakich okolicznościach takie postępowanie jest dopuszczane.

D6. W zależności (6.11) podano wartości wzrostu uczestników wypadku tak, jakby został on ustalony z dokładnością do tysięcznej części milimetra lub jeszcze większą. To jest wadliwe ujęcie postaci liczb.

D7. Walidację metody prognozowania p-stwa obrażeń w rozdziale VII odniesiono do statystycznego modelu struktury udziału pieszych w ruchu drogowym w Polsce. Jednak wykorzystanie w tym celu struktury demograficznej ludności kraju nie daje obrazu tożsamego ze strukturą statystycznego udziału ludzi w ruchu drogowym.

D8. Na stronach 78-79 w rozprawie Doktorant napisał o zastosowaniu optymalizacji do procedury obliczenia współczynników  $r_i$ . Nie podano w rozprawie, jaka procedura optymalizacji została zastosowana i jakie kryterium jest w tej optymalizacji?

D9. Doktorant na str. 52- 53 napisał o korekcji zwiększającej wiarygodność danych powypadkowych. Jednak sposób tej korekcji nie został jasno przedstawiony. Zastosowany współczynnik OR jako iloraz szans nie ma w rozprawie podanych wartości referencyjnych dla każdego obliczenia wartości OR.

D10. Podsumowanie w rozprawie nie wyszczególnia w sposób jednoznaczny tych cech opracowanej metody, które ją różnią od dotychczas stosowanych sposobów wyznaczania prawdopodobieństwa obrażeń pieszych w wypadkach drogowych. W tym zakresie brakuje też jasnego odniesienia się Doktoranta do wymagania ujętego w art. 187.2 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, czyli do osiągniętych wyników własnych badań naukowych.

D11. Redakcja rozprawy nie została starannie dopracowana. W niektórych fragmentach (np. str. 39, 53, 77, 85, 118) widoczny jest brak dostatecznej dbałości o składnię i jasność stylu. Te i kilka innych fragmentów chyba zostało napisane w nadmiernym pośpiechu.

## 5. Ocena dorobku w odniesieniu do starych i nowych dyscyplin

Tematyka rozprawy i zastosowane metody badawcze należą do dyscypliny inżynieria mechaniczna. W dziedzinie nauk inżynieryjno- technicznych dotychczasowa dyscyplina: budowa i eksploatacja maszyn w całości została zaliczona do nowej dyscypliny: inżynieria mechaniczna. Wcześniej dyscyplina budowa i eksploatacja maszyn obejmowała zagadnienia eksploatacji maszyn, także aspekcie niezawodności i bezpieczeństwa. Właśnie bezpieczeństwo w złożonym systemie człowiek- pojazd- infrastruktura drogowa (C-P-D) jest przedmiotem analizy w tej rozprawie. W tym systemie człowiek występuje jako kierowca pojazdu i jako ofiara wypadku drogowego. Natomiast otoczenie, to infrastruktura drogowa i inne pojazdy. Pojazd, a przede wszystkim jego cechy konstrukcyjne, to czynnik bezpośrednio wpływający na skutki wypadku drogowego, które w tej rozprawie są brane pod uwagę w różnym ujęciu.

W tym kontekście rozprawa może ułatwić prognozowanie i analizę zagrożeń np. wynikających z budowy pojazdów, infrastruktury drogowej, oświetlenia lub prędkości jazdy. Oddzielny obszar zastosowania opracowanej metody to doskonalenie metod rekonstrukcji wypadków drogowych oraz rozwoju systemów bezpieczeństwa pojazdów autonomicznych i półautonomicznych. Podjęcie wybranego problemu badawczego jest więc działaniem na rzecz bezpieczeństwa człowieka w złożonym systemie ruchu drogowego.

Metoda opracowana przez Doktoranta dotyczy modelowania ryzyka powstania obrażeń u pieszego, jako skutku wypadku drogowego. Zagadnienie analizy ryzyka lub prawdopodobieństwa zdarzenia, w obszarze badań procesów eksploatacji maszyn i systemów,

obejmuje m. in. modelowanie strat, a w tym określanie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niepożądanych. W systemie ruchu drogowego takim zdarzeniem jest wypadek drogowy, a obszar rozważań w rozprawie dotyczy jego skutków w postaci obrażeń pieszego.

## 6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa potwierdza dostateczną wiedzę teoretyczną i dobrą ogólną znajomość zagadnień bezpieczeństwa ruchu drogowego przez Doktoranta. Analiza stanu zagadnienia została przeprowadzona poprawnie. Na tej podstawie powstał cel rozprawy, którym jest opracowanie metody oszacowania prawdopodobieństwa obrażeń pieszych w ruchu drogowym. Należy też podkreślić, że Doktorant dobrze poradził sobie w trudnym procesie gromadzenia danych o obrażeniach pieszych w wypadkach drogowych. Następnie zaproponował oryginalne ujęcie w kilku ważnych elementach rozprawy:

- wydzielanie z ogólnych i fragmentarycznych statystyk obrażeń pieszych, takich składników, które można odnieść do udziału szczególnych okoliczności wypadku drogowego;
- opracowanie zbiorów wartości liczbowych, które opisują możliwy rozrzut cech czynników (okoliczności wypadku) wpływających na poziom obrażeń w wypadkach drogowych;
- opracowanie procedury postępowania, która umożliwi oszacowanie wpływu niektórych okoliczności wypadku drogowego na prawdopodobieństwo obrażeń pieszych na czterech poziomach.

Algorytm metody jest tak opracowany, że obliczane wartości prawdopodobieństwa obrażeń w kolejnych etapach są funkcją coraz większej liczby czynników. Metoda jest interesująca i ma cechy innowacyjne w aspekcie jej zastosowania do zagadnień bezpieczeństwa ruchu drogowego. Cechy nowości w takim zastosowaniu ma procedura wydzielania wartości ryzyka obrażeń, które można przypisać do określonego czynnika, z ogólnego prawdopodobieństwa obrażeń pieszych w wypadkach drogowych.

Poprawnie i zgodnie z celami rozprawy zostały przygotowane różnorodne i trudno dostępne zbiory danych do oszacowania wpływu różnych czynników i okoliczności wypadku na prawdopodobieństwo obrażeń. Pozytywna jest ocena osiągniętych wyników obliczeń rozkładu prawdopodobieństwa obrażeń w zależności od ich poziomu. Całość badań, obliczeń i analiz przeprowadzonych przez Doktoranta potwierdza, że jest przygotowany do prowadzenia badań naukowych. Opracował metodę obliczania prawdopodobieństwa obrażeń pieszych w wypadkach drogowych, która jest nowym osiągnięciem w obszarze inżynierii mechanicznej.

Uwagi krytyczne (11 uwag), które wcześniej wymieniono, mają różną wagę. Część z nich wskazuje Doktorantowi na konieczność zwrócenia uwagi na problemy słabo ujęte w rozprawie. Natomiast wątpliwości budzi wykorzystanie wartości wielkości fizycznych w wykładnikach funkcji, sumowanie wielkości fizycznych w różnych potęgach oraz dodawanie do siebie dwóch różnych wielkości fizycznych, a mianowicie masę ciała człowieka do jego wzrostu! W rozprawie brakuje wskazania: w jakich okolicznościach takie postępowanie jest dopuszczane. Także zastosowany sposób sekwencyjnego ustalania udziału poszczególnych czynników ułatwił analizę zagadnienia, ale spowodował pominięcie wzajemnego powiązanie czynników i wywołanych skutków.

Ogólna redakcja rozprawy powinna być mocniej powiązana z analizowaną tematyką (poprzez stosowanie nazewnictwa związanego z zagadnieniami bezpieczeństwa ruchu drogowego, medycyny wypadkowej i techniki samochodowej). Natomiast zbyt często w rozprawie spotykamy określenia żargonowe, np. *auto* zamiast *samochód* (str. 42 i dalsze), *obrażenia przechodnia po wypadku z samochodem* (str. 43); brak rozróżnienia pojęć *zderzenie a zdarzenie* (, str.45), *dane powypadkowe w przemyśle drogowym* (str. 11), *szacowanie*

*obrażeń pieszych po zderzeniu z samochodem* (str. 40) ; to samochód potracił pieszego , a nie pieszy zderzył się z samochodem.

Łączna analiza mocnych i słabych stron rozprawy pozwala na pozytywną jej ocenę, a wątpliwości w części mogą być wyjaśnione przez Doktoranta w czasie obrony rozprawy. Tym samym stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki z art. 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Wnioskuje do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej o dopuszczenie mgr. Mateusza Papisa do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

