

# Spis treści

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ.....	5
WSTĘP .....	7
1. CHARAKTERYSTYKA STOSOWANYCH METOD OBLICZENIOWYCH .....	10
1.1. Metoda porównawcza .....	10
1.2. Metoda analityczna .....	12
1.2.1. Model Campbella .....	14
1.2.2. Metoda McHenry'ego .....	16
1.2.3. Metoda Strothera.....	17
1.2.4. Metoda Prasada.....	18
1.2.5. Metoda CRASH3.....	18
1.3. Metoda graficzna .....	23
2. Metoda liniowa szacowania prędkości EES .....	26
3. Metoda nieliniowa .....	33
3.1. Założenia metody nieliniowej.....	33
3.2. Wprowadzenie do proponowanej metody .....	35
4. Metoda estymacji rzeczywistej prędkości pojazdu dla klasy Mini.....	41
5. Metoda estymacji rzeczywistej prędkości pojazdu dla klasy Subcompact.....	48
6. Metoda estymacji rzeczywistej prędkości pojazdu dla klasy pojazdów Compact .....	73
7. Metoda estymacji rzeczywistej prędkości pojazdu dla klasy pojazdów Intermediate	102
8. Metoda estymacji rzeczywistej prędkości pojazdu dla klasy Fullsize .....	130
9. Metoda estymacji rzeczywistej prędkości pojazdu dla klasy Luxury.....	155
10. Podsumowanie i wnioski .....	179
LITERATURA .....	185

# WSTĘP

Wypadek drogowy, rozpatrywany jako proces, jest ciągiem zależnych od siebie zdarzeń występujących w określonym czasie i w ograniczonym obszarze fizycznym. Z uwagi na rozległe skutki, należy go rozpatrywać w wielu aspektach: technicznych, medycznych, psychologicznych, socjologicznych, prawnych. W analizie wypadków drogowych kluczowym jest zagadnienie dokładności oszacowania prędkości uczestniczących w nich pojazdów [2], [57].

Z technicznego punktu widzenia wypadek jest wynikiem asocjacji pewnej liczby czynników bądź elementów, które działając zgodnie z prawami fizyki, doprowadziły do stanu, w wyniku którego dalszy ruch uczestników nie mógł być kontynuowany w zamierzony uprzednio sposób.

O powstaniu wypadku drogowego decydują trzy podstawowe elementy: człowiek, pojazd i droga [40]. Według danych statystycznych wypadki drogowe powstałe w wyniku usterek technicznych pojazdu samochodowego czy też niewłaściwego stanu drogi stanowią zaledwie 5-7% wszystkich wypadków drogowych. Natomiast w pozostałych przypadkach winę ponosi człowiek.

Rekonstrukcja wypadku i okoliczności jego zaistnienia oraz roli uczestników zdarzenia jest procesem wielopłaszczyznowym. Opiera się na dowodach poza osobowych, szeroko pojętych śladach, które powstały w związku z wypadkiem. Ślady znalezione na miejscu wypadku, odpowiednio zinterpretowane i odczytane, są nośnikami informacji o zdarzeniu [58], [7].

Prawidłowo dokonana rekonstrukcja wypadku pozwala na dokonanie weryfikacji jego przebiegu w odniesieniu do wersji podanych przez uczestników oraz przez świadków zdarzenia [60], [61].

Celem przeprowadzenia rekonstrukcji jest ustalenie konkretnych parametrów ruchu pojazdów przed zaistnieniem zdarzenia. Jest to konieczne dla oceny zachowania kierowcy.

Nadwozie samochodu podczas uderzenia w przeszkodę ulega znacznym odkształceniom, a wykonana praca skutkuje zmniejszeniem jego prędkości ruchu i energii kinetycznej. Ten proces deformacji nadwozia można potraktować jako rezultat pracy sił zewnętrznych. Zachodzącą zależność pomiędzy wykonaną pracą odkształcenia a wielkością zdeformowanej części nadwozia opisano między innymi w pracach [51], [10]. Biorąc pod uwagę przyjęte przez [58], ustalenia, można:

- na podstawie głębokości zdeformowanej części nadwozia wyznaczyć pracę sił odkształcających podczas zderzenia;
- na podstawie wartości energii rozproszonej na deformację można obliczyć zmniejszenie (ubytek) prędkości ruchu samochodu, jaki nastąpił podczas odkształcania nadwozia (przy założeniu, że masa pojazdu nie ulega zmianie).

Istnieje wiele metod wyznaczania prędkości kolizyjnej pojazdów. Modele analityczne opisujące zjawiska zachodzące podczas wypadku i umożliwiające oszacowanie prędkości przedwypadkowej pojazdów charakteryzują się określoną efektywnością i dokładnością. Ta efektywność, a raczej skuteczność, określana jest poprzez stopień możliwości zastosowania danej metody w konkretnym zdarzeniu drogowym.

Istotnym etapem podczas szacowania prędkości pojazdu przy uderzeniu jest ustalenie ilości energii pochłoniętej w trakcie wypadku [44], [45]. To pozornie proste zadanie jest w praktyce dość skomplikowane. Wieloletnie badania spowodowały powstanie różnych metod próbujących rozwiązać te problemy. Podstawową metodą oceny wiarygodności obliczeń jest weryfikacja eksperymentalna modeli. Pozwala ona oszacować błąd wynikający z uproszczeń. Analiza prac prekursorów, badania różnych podejść wykazały, że dotychczasowe metody nie dają wyników zgodnych z rzeczywistością. Przyczyną takiego stanu rzeczy są bazy danych parametrów sztywnościowych pojazdów oparte na dawnych, przestarzałych konstrukcjach nadwozia. Istnieje potrzeba opracowania takiego narzędzia analitycznego, które w precyzyjny i szybki sposób umożliwi uzyskanie pożądanych danych prędkości przedzderzeniowej.

Starając się ustalić prędkość pojazdu przy uderzeniu, z reguły wykorzystuje się udokumentowane uszkodzenia samochodu. Podczas realizacji tego zadania konieczne jest ustalenie ilości energii pochłoniętej w trakcie wypadku.

Jedną z podstawowych metod analitycznych dotychczas stosowanych jest liniowa metoda oszacowania prędkości zderzenia. Obecnie stosowane liniowe metody obliczeniowe zostaną szerzej przybliżone w kolejnym rozdziale.

Przy rozwiązywaniu problemów rekonstrukcji wypadku jednym z kluczowych aspektów jest wyznaczenie prędkości pojazdu przed zderzeniem. Dokonywane jest to metodą wyznaczania prędkości pojazdu na podstawie pomiaru deformacji [11], [50]. Temu problemowi poświęcona została niniejsza praca.

Dotąd liniowe podejście nie dawało dobrej dokładności wyznaczania prędkości pojazdu. Analizując wyniki uzyskane metodą liniową zwrócono uwagę na rozrzut wyników. Przypuszczono, że zbiór wartości dla każdego przypadku rozpatrywany jako całość w danej klasie będzie posiadał charakter silnie nieliniowy.

Pogrupowanie danych z testów zderzeniowych (takich jak średnia głębokość deformacji, masa pojazdu, szerokość pojazdu itd.) być może wskaże, czy zależność między nimi jest nieliniowa. W tym celu utworzony zostanie algorytm, którego zadaniem będzie zmiana zachowania współzależności poszczególnych parametrów dla danej klasy pojazdów. Otrzymane wyniki przedstawione zostaną w formie graficznej na charakterystykach i histogramach uwypuklających znaczenie danych i ich wzajemne zależności. Metoda korelacji zmiennych posłuży też do analizy i porównań pomiędzy klasami pojazdów, pokazując większe zależności pomiędzy parametrami odkształcenia średniej głębokości deformacji dla cięższych pojazdów.

Celem postawionym sobie przez Autora jest przedstawienie metody nieliniowej, która ma pozwolić na wyznaczenie rzeczywistej prędkości w chwili kolizji. Energia stracona w zderzeniu odpowiada różnicy energii kinetycznej ciał przed i po zderzeniu. Jednocześnie jest równa pracy deformacji plastycznej obu ciał podlegających zderzeniu. Zdeformowane nadwozie stanowi nośnik informacji o wartości pracy przyczyniającej się do zaistnienia tej deformacji. Metoda pozwoli na znaczne uaktualnienie stosowanej dotychczas metodyki pod kątem rozwoju konstrukcji pojazdów i dostosowania jej do nowych rozwiązań technologicznych. Efekty metody przydatne będą do celów rekonstrukcji zdarzeń pozwalających na określenie prędkości w chwili zderzenia.

Metoda odniesiona będzie do grupy samochodów poddanych już wcześniej testom zderzeniowym i zgrupowanych w istniejącej bazie zderzeń NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*). Baza ta stanowi pomoc w poprawie bezpieczeństwa drogowego przez udostępnianie reprezentatywnego zbioru odpowiednio opracowanych wypadków drogowych. Testy z bazy danych umożliwiają samodzielną kompilację wybranych informacji z możliwością oceny pojedynczych wypadków. Dla potrzeb przedstawianej metody wybrane zostały jedynie testy zderzeń czołowych, które będą poddane uszeregowaniu wg roku produkcji pojazdu, masy oraz rodzaju napędu. W ten sposób przygotowana nowa baza danych umożliwi dokonanie oszacowania wartości parametrów sztywnościowych poszczególnych pojazdów, a następnie parametru wyrażającego równowartość energii kinetycznej i pracy trwałej deformacji.

Można przypuszczać, iż powyższe analizy i wprowadzenie metody nieliniowej mogą dążyć do prawidłowego ustalenia prędkości pojazdów, co może prowadzić do właściwego wnioskowania o przyczynach zderzeń.

# 1. Charakterystyka stosowanych metod obliczeniowych

Podczas wyznaczania prędkości przedzderzeniowej pojazdu konieczne jest dokładne udokumentowanie uszkodzeń pojazdu [9], [58]. W tym celu, często wykorzystuje się tzw. metody energetyczne. Za ich pomocą wyznacza się parametr ekwiwalentnej prędkości zderzenia będący miarą energii kinetycznej traconej podczas zderzenia zależnej od wartości współczynnika  $C_s$  reprezentującego uśrednioną wartość pomiaru rozkładu głębokości deformacji w ściśle określonych 6 punktach nadwozia. Do wyznaczenia wielkości parametru ekwiwalentnej prędkości zderzenia stosuje się:

- metodę porównawczą,
- metodę analityczną,
- metodę graficzną.

Metodę porównawczą można stosować wówczas, gdy dostępny jest katalog, który zawiera udokumentowane przypadki powypadkowych uszkodzeń pojazdów danej marki, typu oraz przyporządkowane wartości pracy deformacji  $W_{def}$ . Z katalogu odczytywana jest wartość  $W_{def}$ , która jest najbardziej zbliżona do analizowanego przypadku.

W metodzie analitycznej, niezbędna jest znajomość odpowiednich formuł matematycznych, które pozwalają na wyliczenie wartości pracy deformacji nadwozia zależnie od geometrii deformacji.

Metoda graficzna wykorzystuje siatki rozkładu pracy deformacji nadwozia pojazdu, tzw. rastry. Polega ona na porównywaniu wielkości zdeformowanych stref z siatką dla pojazdów znanych i podobnych do analizowanego.

## 1.1. Metoda porównawcza

Metoda porównawcza wykorzystuje katalogi z wynikami testów zderzeniowych oraz dane literaturowe [37], [39]. Metoda ta opiera się na porównaniu deformacji pojazdów dostępnych w katalogu z badanym przypadkiem. Zdjęcia w katalogach (rys. 1.1) są podzielone na grupy odpowiadające miejscu deformacji (przód, tył, bok), umieszczone w przedziałach odpowiadających prędkości testowej (podzielone co dziesięć km/h) – zaznaczonym kierunkiem działania impulsu uderzenia (miejsce przyłożenia impulsu można również zasugerować na podstawie zakresu uszkodzeń).



Rys. 1.1. Przykład katalogu zdjęć zdeformowanych pojazdów testowych wykorzystywanych do metody porównawczej [34], [35]

Umożliwia to znalezienie pojazdu, którego profil deformacji jest zbliżony do badanego. Podczas doboru pracy deformacji należy brać pod uwagę wszystkie zdeformowane elementy i układy pojazdu. Po przeanalizowaniu porównawczych uszkodzeń katalogowych pojazdów należy wybrać i odczytać wartość parametru EES [31], [34].