WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW DROGOWYCH NA PRZECIĄŻENIA PODCZAS ZDERZENIA POJAZDU ZE STAŁĄ PRZESZKODĄ

DOI: 10.24136/atest.2018.286

Data zgłoszenia: 30.08.2018. Data akceptacji: 25.09.2018.

W artykule przedstawiono ogólną charakterystykę wypadków drogowych. Omówiono wpływ przeciążenia na organizm człowieka podczas zderzenia. Stworzono model matematyczny opisujący wpływ wybranych parametrów drogowych na przeciążenia podczas zderzenia samochodu osobowego ze stałą przeszkodą.

WSTĘP

Rozwój cywilizacyjny, oprócz postępu, bardzo często jest przyczyną wielu tragedii. Takim przykładem może być rozwój motoryzacji, który od czasów zbudowania pierwszego pojazdu do dnia dzisiejszego zbiera ofiary, zarówno wśród użytkowników pojazdów jak i osób postronnych. Rokrocznie w większości krajów, w tym w Polsce rośnie liczba poruszających się pojazdów. Poprawa infrastruktury drogowej oraz przełom technologiczny ostatnich lat, skutkujący wprowadzaniem w pojazdach coraz to bardziej zaawansowanych systemów wpływających na bezpieczeństwo ruchu drogowego, ma wpływ na stałą tendencję zmniejszania się liczby wypadków drogowych i ich ofiar.

Istotnym z punktu widzenia bezpieczeństwa podczas ewentualnych wypadków jest ograniczenie lub zmniejszenie uszkodzeń. Podczas zderzeń w ruchu drogowym, oprócz uszkodzeń mechanicznych bardzo niebezpieczne są przeciążenia oddziaływujące na osoby podróżujące pojazdami. Określenie wpływu parametrów drogowych oraz parametrów pojazdu na wartość maksymalnych przeciążeń działających na kierowcę/pasażera podczas zderzenia pojazdu osobowego ze stałą przeszkodą oraz stworzenie modelu matematycznego pozwalającego na szybkie obliczenie wartości przeciążenia dla różnych warunków drogowych, może stanowić przestrożę dla osób nie do końca zdających sobie sprawę z wynikających z tego tytułu zagrożeń.

Mając taką wiedzę możemy ją wykorzystać przy projektowaniu infrastruktury drogowej, tworzeniu inteligentnych systemów zarządzania ruchem drogowym, czy też doborze systemów bezpieczeństwa dostosowanych do osiągnięć konkretnych modeli pojazdów.

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA WYPADKÓW DROGOWYCH

Ze względu na swoją charakterystykę, ruch drogowy jest obciążony wysokim ryzykiem zaistnienia wypadku. Poruszające się o dużej masie pojazdy, często z bardzo wysokimi prędkościami, w bezpośrednim otoczeniu innych uczestników ruchu drogowego, pieszych oraz stałych przeszkód stwarzają bardzo duże zagrożenie. Na bezpieczeństwo ruchu drogowego ma wpływ wiele czynników, wśród głównych można wyróżnić:

- odpowiedzialne podejście kierowców do prowadzenia pojazdów,
- edukacja komunikacyjna społeczeństwa,

- unormowania prawne i egzekwowanie prawa,
- dostosowanie organizacji ruchu drogowego i infrastruktury komunikacyjnej do aktualnego stanu rozwoju transportu drogowego,
- konstrukcja pojazdów drogowych,
- organizacja ruchu drogowego [5].

Wymienione czynniki są analizowane, jako wzajemne oddziaływanie w systemie człowiek-pojazd-otoczenie C-P-O. Na rys. 1 zaprezentowano schemat wzajemnych powiązań pomiędzy wymienionymi elementami.

Rys. 1. System powiązań człowiek – pojazd – otoczenie

Wymienione czynniki są brane pod uwagę przy ustalaniu przyczyn powstania i przebiegu wypadku. Biorąc pod uwagę statystykę wypadków drogowych, najczęstszą przyczyną ich powstania jest człowiek. Osoba kierująca pojazdem ma wpływ na jego parametry ruchu, a co za tym idzie w decydującym stopniu wpływa na jego tor ruchu, prędkość oraz przyspieszanie lub hamowanie [8].

Właściwości jezdne pojazdu, jego stan techniczny oraz otoczenie mogą mieć istotny wpływ na zaistnienie wypadku. Niemniej jednak człowiek kierujący pojazdem powinien zawsze brać je pod uwagę. Występują również wypadki drogowe gdzie kierowcy trudno było przewidzieć możliwości ich zaistnienia. Są to przypadki gdzie wystąpiło nieracjonalne zachowanie innych uczestników ruchu, nagła awaria techniczna pojazdu (np. pęknięcie opony), czy też nagła zmiana parametrów nawierzchni jezdni [6].

2. WPŁYW PRZECIĄŻENIA NA ORGANIZM CZŁOWIEKA

Przeciążeniem jest stan, w jakim znajduje się dowolne ciało poddane działaniu sił zewnętrznych innych niż siła grawitacji, których wypadkowa powoduje przyspieszenie inne niż wynikające z siły grawitacji [1]. W zależności od kierunku oddziaływujących sił zewnętrznych, przeciążenie może oddziaływać na człowieka w różnych kierunkach względem jego ciała. Na rys. 2 przedstawiono kierunki przeciążeń mogących oddziaływać na organizm człowieka.

Rys. 2. Kierunki przeciążeń mogące oddziaływać na organizm człowieka [7]

W czasie jazdy samochodem, przy jego przyspieszaniu występuje przyspieszenie poprzeczne dodatnie, a w czasie hamowania występuje przeciążenie poprzeczne ujemne. Zależnie od kierunku działania przeciążenia na ciało ludzkie możemy przeciążenia podzielić na:

- przeciążenie pionowe, działające wzdłuż kręgosłupa (pokazano na rysunku 2c),
- przeciążenie poprzeczne, działające w kierunku płuca - klatki piersiowej i odwrotnie oraz w kierunkach bocznych (pokazano na rysunkach 2a i 2b),
- przeciążenie dodatnie, działające wzdłuż kręgosłupa od głowy (przeciążenie $+G_z$ pokazane na rysunku 2c) oraz od klatki piersiowej w kierunku pleców (przeciążenie $+G_x$ pokazane na rysunku 2a),
- przeciążenie ujemne, działające wzdłuż kręgosłupa w kierunku głowy (przeciążenie $-G_z$ pokazane na rysunku 2c) oraz od pleców w kierunku klatki piersiowej (przeciążenie $-G_x$ pokazane na rysunku 2a) [7].

Czynnikami decydującymi o oddziaływaniu przeciążenia na organizm ludzki są: wartość przeciążenia, kierunek działania przeciążenia, szybkość narastania przeciążenia, czas oddziaływania przeciążenia.

Człowiek wykazuje największą wytrzymałość na przeciążenia poprzeczne, działające w kierunku klatki piersiowej - plecy, plecy - klatka piersiowa, dlatego też kosmonauci startują leżąc na plecach. Przyspieszenie działające wzdłuż ciała człowieka powoduje przemieszczenie się krwi oraz wzrost jej ciężaru. Skutkuje to koniecznością znacznie większego wysiłku układu krążenia, w celu zapewnienia prawidłowości jego działania. Ujemne przeciążenia pionowe mają znacznie gorsze skutki oddziaływania od pionowych przeciążeń dodatnich [7].

Najbardziej niebezpiecznymi urazami dla zdrowia i życia ludzkiego są urazy głowy. Wzrost ciężaru głowy oraz jej gwałtowne przemieszczenie może doprowadzić do uszkodzenia mózgu oraz uszkodzenia kręgów szyjnych łącznie z ich zerwaniem [4]. Mimo sporadycznych przykładów przeżycia skutków znacznych przeciążeń w zderzeniach samochodowych, stanowią one ogromne niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia człowieka.

Problematyką wielu rozważań jest zbadanie, w jakim zakresie na przeciążenia będą miały wpływ zmienne parametry, takie jak np. różny rodzaj nawierzchni drogi, różna prędkość początkowa pojazdu oraz różna masa całkowita pojazdu. Przeprowadzenie symulacyjnych badań eksperymentalnych przy użyciu dedykowanych programów komputerowych, umożliwi wyznaczenie mniej lub bardziej dokładnego (zależnego od uwzględnionych czynników) modelu matematycznego pozwalającego w szybki i dokładny sposób określić przeciążenia w trakcie zderzenia samochodu ze stałą przeszkodą, będących funkcją zależną od badanych czynników.

3. BADANIE WPŁYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW NA PRZECIĄŻENIA PODCZAS ZDERZENIA

Wyznaczenie metodą eksperymentów fizycznych równania, określającego zależność powstających przeciążeń przy zderzeniu samochodu osobowego, z przeszkodą stałą w zależności od (przyjętych do analizy parametrów drogowych) prędkości początkowej, masy pojazdu oraz rodzaju nawierzchni, wymagałoby przeprowadzenia zderzeń kilkudziesięciu samochodów a to związane jest z bardzo dużymi nakładami finansowymi oraz byłoby bardzo czasochłonne. Określenie modelu matematycznego niweluje konieczność poniesienia tych nakładów, jak również niewspółmiernie skraca czas niezbędny do wyznaczenia przeciążenia. Zastosowanie modelu matematycznego jest również bardzo przydatne przy planowaniu parametrów ruchu pojazdów w różnych warunkach drogowych. Ma to zastosowanie przy projektowaniu infrastruktury drogowej oraz może mieć zastosowanie przy tworzeniu inteligentnych systemów sterowania ruchem drogowym.

Istnieje kilka metod pozwalających na przybliżenie zachowania się pojazdu podczas zderzenia. Jedną z nich jest wykorzystanie programów komputerowych do rekonstrukcji wypadków drogowych, które w połączeniu z matematycznymi modelami analizy statystycznej z dużą dokładnością pozwalają na odzwierciedlenie powstałej sytuacji w wyniku zderzenia pojazdu.

Dostępne aktualnie programy do tworzenia modeli matematycznych posiadają wiele możliwości, m. in. w zakresie: planowania eksperymentu, statystycznego opracowania wyników badań, eliminacji wyników obarczonych błędem grubym, badania jednorodności wariancji, obliczenia współczynnika funkcji regresji, badania istotności współczynników w równaniu regresji, badania stopnia dopasowania otrzymanej funkcji do badania obiektu, badanie istotności współczynnika korelacji wielowymiarowej, szacowanie niedokładności, badanie adekwatności modelu, kodowanie (normowanie) i odkodowanie (renormowanie) zmiennych, określanie przedziału ufności funkcji regresji [3].

Rzecz informatyki nie ominął zagadnień związanych z procesem rekonstrukcji wypadków samochodowych. Aktualnie są dostępne programy komputerowe służące do rekonstrukcji zdarzeń drogowych o różnym stopniu zaawansowania, poczynając od programów pozwalających na wykonanie szkiców wypadków samochodowych po zaawansowane programy, które oprócz wszystkich niezbędnych obliczeń do wykonania analizy czasowo - przestrzennej, również sporządzają film symulujący proces powstania i przebieg wypadku.

3.1. Plan badań eksperymentalnych

Dla wyznaczenia modelu matematycznego, opisującego zależność pomiędzy wybranymi parametrami na wielkość przeciążeń oddziaływujących na człowieka podczas zderzenia samochodu osobowego wykorzystano analizę danych statystycznych wraz z planowaniem eksperymentu.

Podstawowym celem stworzenia odpowiedniego planu eksperymentu jest kompleksowe zbadanie wpływu poszczególnych czynników wejściowych na czynnik wyjściowy [2]. W badanym przypadku jest to wpływ masy pojazdu, jego prędkości początkowej i rodzaju nawierzchni, na powstałe przeciążenia podczas zderzenia samochodu osobowego ze stałą przeszkodą. Istotnym celem planowania eksperymentu jest również zminimalizowanie ilości pomiarów i uzyskanie modelu matematycznego badanego obiektu. Do przeprowadzenia obliczeń statystycznych oraz wyznaczeniu zależności funkcyjnej wykorzystano program Experiment Planner oraz program do rekonstrukcji i symulacji wypadków drogowych Cyborg Idea V-SIM z o.o.

Bardzo ważny jest również dobór odpowiedniego modelu matematycznego. Zależy od niego nie tylko postać macierzy planu eksperymentu i zastosowanie odpowiedniej procedury optymalizacji współczynników równania, a zatem i kosztowność badań, ale również możliwość dalszej analizy [3].

Do badań przyjęto samochód osobowy marki BMW 3-serii II Cabrio 325i.

OKREŚLENIE ZBIORU CZYNNIKÓW WEJŚCIOWYCH

W wyniku przeprowadzonych wstępnych badań rozpoznawczych określono zbiór czynników wejściowych mających istotny wpływ na czynnik wynikowy, czyli przeciążenie podczas zderzenia samochodu osobowego ze stałą przeszkodą. Zostały one przedstawione w tab. 1.

Tab. 1. Zmienne czynniki wejściowe wpływające na wartość przeciążenia podczas zderzenia samochodu osobowego ze stałą przeszkodą

Lp.	Czynnik	Oznaczenie	Jednostka	Opis czynnika	Zakres czynnika min÷max
1	Masa	m	kg	Masa pojazdu	1371÷1581
2	Prędkość	v	Km/h	Prędkość początkowa pojazdu	50÷110
3	Przylgowy współczynnik przyczepności	μp	-	Współczynnik uzależniony od rodzaju nawierzchni drogi	0,2÷0,8

W tabeli 2 zaprezentowano czynnik wyjściowy – przeciążenie, które jest obiektem badań.

Tab. 2. Czynnik wyjściowy

Czynnik	Oznaczenie	Jednostka	Opis czynnika
Przeciążenie	G	m/s ²	Przeciążenie powstające w trakcie zderzenia samochodu ze stałą przeszkodą

Wśród nawierzchni przyjętych do badań występuje suchy asfalt, mokry asfalt, suchy piasek oraz mokry śnieg. Wartość przylgowego współczynnika przyczepności dla przyjętych nawierzchni zmienia się w granicach od 0,2 do 0,8.

Masa całkowita pojazdu zależna była od liczby osób w nim podróżujących (1, 2, 3 lub 4). Przyjęto, że każda z osób jadących samochodem ważyła 70 kg. Zakres zmienności masy całkowitej pojazdu wynosił od 1371 do 1581 kg.

W każdym z badanych przypadków pojazd poruszał się torem prostym, na płaskiej nawierzchni, przy bezwietrznej pogodzie. Do momentu rozpoczęcia procesu hamowania samochód przemieszczał się ruchem jednostajnym. Widok sytuacyjny przed zderzeniem samochodu osobowego z przeszkodą stałą zaprezentowano na rysunku 3.

Rys. 3. Widok sytuacyjny przed zderzeniem samochodu osobowego z przeszkodą stałą z zaznaczonym punktem rozpoczęcia procesu hamowania (14,65 m przed przeszkodą)

3.2. Wyniki badań eksperymentalnych

Macierz planu eksperymentu wraz z wynikami badań zaprezentowano w tab.3.

Tab. 3. Macierz planu eksperymentu wraz z wynikami badań

Lp.	Masa całkowita pojazdu [kg]	Prędkość początkowa pojazdu [km/h]	Współczynnik przyczepności przylgowej	Przeciążenie G wg V-SIM [g]
1	1441	70	0,4	32,7
2	1511	70	0,4	36,5
3	1441	90	0,4	35,7
4	1511	90	0,4	52,9
5	1441	70	0,6	51,5
6	1511	70	0,6	19,4
7	1441	90	0,6	39,4
8	1511	90	0,6	37,6
9	1581	70	0,4	37,5
10	1371	70	0,4	37
11	1441	110	0,4	53,5
12	1441	50	0,4	52,5
13	1441	70	0,8	69,3
14	1441	70	0,2	43,3
15	1441	70	0,4	32,7
16	1441	70	0,4	32,7
17	1441	70	0,4	32,7
18	1441	70	0,4	32,7
19	1441	70	0,4	32,7
20	1441	70	0,4	32,7

Na rys. 4 przedstawiono położenie początkowe oraz końcowe samochodów przy prędkości początkowej 70 km/h, nawierzchni - suchy piasek, masy całkowitej pojazdów 1441 kg i 1511 kg - zgodnie z pozycjami 1, 2 z tabeli 3.

Rys. 4. Położenie początkowe i końcowe samochodów przy zderzeniu z przeszkodą stałą, poruszających się z prędkością początkową 70 km/h na suchym piasku w rzucie 3D; a) masa całkowita 1441 kg; b) masa całkowita 1511 kg

Na rysunku 5 przedstawiono głębokość deformacji pojazdów, która była wynikiem zgniecenia przedniej części pojazdu w trakcie zderzenia z przeszkodą.

Rys. 5. Deformacja samochodów przy zderzeniu z przeszkodą stałą, z prędkością początkową 70 km/h na suchym piasku; a) masa całkowita 1441 kg; b) masa całkowita 1511 kg

Na rysunkach 6 pokazano zależność zmian przeciążeń w funkcji czasu dla samochodu poruszającego się z prędkością początkową 70 km/h na suchym piasku, o masie samochodu 1441 kg.

Rys. 6. Deformacja samochodów przy zderzeniu z przeszkodą stałą, z prędkością początkową 70 km/h na suchym piasku i masie samochodu 1441 kg

W tabeli 4 porównano efekty zderzenia samochodu BMW przy prędkości początkowej 70 km/h na suchym piasku, z przeszkodą stałą przy masie całkowitej pojazdu 1441 kg i 1511 kg.

Tab. 4. Porównanie wybranych wyników badań (prędkość początkowa 70 km/h; nawierzchnia suchy piasek; masa całkowita pojazdu 1441 kg i 1511 kg)

Lp.	Parametr	Masa całkowita pojazdu	
		1441 [kg]	1511 [kg]
1	Długość śladów hamowania	10,62 m	10,58 m
2	Maksymalne przeciążenie oddziałujące na pojazd - G_{max}	37,6 g	37,5 g
3	Głębokość deformacji samochodu	683 mm	714 mm
4	Prędkość w chwili zderzenia - v_z	58,2 km/h	58,5 km/h

Na rysunku 7 zaprezentowano wyniki wpływu wybranych parametrów na wielkość maksymalnych przeciążeń podczas zderzenia pojazdu z przeszkodą stałą.

Rys. 6. Wpływ wybranych parametrów a) (m , v), b) (v , μ_p) na wielkość maksymalnych przeciążeń podczas zderzenia pojazdu z przeszkodą stałą

W wyniku przeprowadzonej analizy, zgodnie z macierzą eksperymentu programu Experiment Planner, wygenerowane zostało równanie regresji będące modelem matematycznym. Otrzymane równanie określa wpływ wybranych parametrów (m , v , μ_p) na maksymalne przeciążenie działające na pojazd podczas zderzenia z przeszkodą stałą.

$$G = -1,668 - 0,008522m + 0,8116v - 12,34 \mu_p$$

Zgodnie z otrzymanym równaniem regresji możemy dla każdej wartości parametrów (m , v , μ_p) w analizowanych przedziałach wyznaczyć maksymalne przeciążenie działające na pojazd podczas zderzenia z przeszkodą stałą.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzenie badań będących przedmiotem niniejszej pracy pozwoliło na:

- Wygenerowanie przy użyciu programu Experiment Planner równania regresji pozwala w bardzo krótkim czasie, bez konieczności przeprowadzania fizycznych eksperymentów, określić wartości przeciążenia oddziałujące na samochód osobowy w trakcie zderzenia z przeszkodą stałą. Równanie to jest niezwykle przydatnym narzędziem eliminującym kosztowne i długotrwałe badania niszczące.
- Określenie wpływu parametrów poruszającego się pojazdu oraz parametrów nawierzchni na wielkość przeciążenia powstającego w trakcie zderzenia pojazdu z przeszkodą stałą:
 - zmiana prędkości początkowej pojazdu z 50 na 110 km/h powoduje wzrost działającego przeciążenia nawet o 257 % ,
 - zmniejszenie współczynnika przyczepności przyłgowej nawierzchni z 0,8 na 0,2 skutkuje wzrostem maksymalnego przeciążenia nawet o 32%,
 - wzrost masy całkowitej pojazdu z 1371 kg do 1581 kg wywołuje spadek przeciążenia o 6%.

BIBLIOGRAFIA

- Barański S., 1977, Medycyna lotnicza i kosmiczna, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa.
- Kacprzycki B. L., 1974, Planowanie eksperymentu, podstawy matematyczne, Warszawa
- Kukielka L., 2002, Podstawy badań inżynierskich, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- Patric L. M., 1995, Human Tolerance to Impact-Basis for Safety Design. Automotive Body Engineering
- Prochowski L. i inni, 2008, Podstawy Rekonstrukcji wypadków drogowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Reński A., 2000, Modelowanie działania kierowcy w układzie kierowca-pojazd-otoczenie. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Seria Mechanika, nr 184/2000
- Skrzykowski A., 2012, Fizjologia i trening lotniczy. Medycyna Lotnicza. Warszawa
- Zielińska A., 2004, Błędy Kierowców uczestniczących w wypadkach samochodowych, Kwartalnik Motoryzacyjny, nr specjalny 2004

Influence of selected road parameters on overloads during a vehicle collision with a fixed obstacle

The article presents general characteristics of road accidents. The influence of overload on the human body during impact was discussed. Authors created a mathematical model describing the impact of selected road parameters on overloads during a car collision with a fixed obstacle.

Autorzy:

Dr inż **Wiesław Szada-Borzyszkowski** – Politechnika Koszalińska, Zamiejscowy Wydział Przemysłu Drzewnego;
wieslaw.szada-b@tu.koszalin.pl

Mgr inż. **Monika Szada-Borzyszkowska** – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny;
monika.szada-borzyszkowska@tu.koszalin.pl