

Wpływ prędkości pojazdów na wielkość uszkodzeń podczas zderzenia

Wiesław Szada-Borzyszkowski, Monika Szada-Borzyszkowska

Streszczenie

W artykule przedstawiono proces rekonstrukcji wypadku drogowego oraz omówiono najważniejsze parametry istotne podczas rekonstrukcji. Zaprezentowano rekonstrukcję oraz skutki zderzenia pojazdu osobowego z naczepą w sytuacji wyprzedzania prawidłowo jadącego innego pojazdu. Przedstawiono takie parametry zderzenia jak: głębokość deformacji pojazdów, prędkość oraz przyspieszenia pojazdu w chwili zderzenia

Słowa kluczowe: wypadek drogowy, rekonstrukcja, nadmierna prędkość.

Wstęp

Samochód stanowi około 80% wszystkich pojazdów, poruszających się na drogach, dlatego też głównie od jego stanu bezpieczeństwa w dużym stopniu zależy ogólne bezpieczeństwo wszystkich uczestników ruchu drogowego. Rozwiązania konstrukcyjne pojazdów samochodowych odgrywają istotną rolę w zapewnieniu odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa podczas jazdy. Współczesne samochody, pojawiające się na drogach, wprawdzie odpowiadają dzisiejszym wymaganiom użytkowników, jednak ze względu na warunki eksploatacji, które są różne i niejednorodne, nie można ustalić modelu doskonałej konstrukcji pojazdu, który byłby ideałem i jednocześnie wzorcem dla wszystkich parametrów samochodów. Wskutek szybkiego rozwoju techniki, z czym wiąże się znaczne zwiększenie mocy silnika oraz rozwijanej przez niego prędkości, bezpieczeństwo w ruchu drogowym stało się najważniejszym problemem społecznym.

Rosnąca liczba samochodów spowodowała, że najczęstszym wypadkiem drogowym jest kolizja dwóch samochodów. Z technicznego punktu wypadek drogowy jest wynikiem pewnej liczby elementów lub czynników, które działając według praw fizyki doprowadziły do stanu kolizyjnego. Jednym z głównych czynników, pomimo szybkiego rozwoju techniki motoryzacyjnej jest nadal człowiek [5]. Jednak, aby ustalić realną przyczynę powstania wypadku niezbędne jest ustalenie jego ciągu zdarzeń, o których informacje często są fragmentaryczne i nie kiedy sprzeczne. Jednym z rozwiązań tego problemu jest wykonanie rekonstrukcji zderzenia, która traktowana jest jako odtworzenie od tyłu przebiegu wypadku w sposób uporządkowany oraz powiązany przyczynowo-skutkowo z zebranymi informacjami po wypadku, a parametrami ruchu uczestników przed ich zderzeniem.

W opracowaniu przedstawiono zagadnienie rekonstrukcji zderzenia pojazdów przy różnych prędkościach oraz jego wpływ na wielkość powstałych uszkodzeń.

1. Proces rekonstrukcji wypadku drogowego

Rekonstrukcja wypadku drogowego polega na przeprowadzeniu skomplikowanego procesu biorącego pod uwagę ważne zagadnienia prawne oraz techniczne. Polega ona

na odtworzeniu całego wypadku bądź jego fragmentów. Aby dokonać rekonstrukcji należy wziąć pod uwagę materiały dowodowe które zawierają m.in. dokumenty opracowane przez policję, zawierające protokół z miejsca wypadku, szkic wypadku, badania pojazdów po wypadku oraz fotografie i filmy z miejsca wypadku. W sytuacji, gdy wypadek drogowy nie zakończył się ze skutkiem śmiertelnym, fotografie i szkice mogą być wykonane przez rzeczoznawców lub likwidatorów szkód firm ubezpieczeniowych [2].

Każdy z analizowanych wypadków jest niepowtarzalny. Dlatego rekonstrukcja nie posiada jednolitego wzorca. Opiera się często na wykorzystaniu literatury, wyników badań eksperymentalnych oraz wniosków wyciągniętych z analizy procesu zachodzącego podczas ruchu drogowego. Istotne znaczenie w tym procesie ma wykorzystanie śladów, które pozostawione zostały na miejscu wypadku, a także ocena warunków występujących na drodze i warunków atmosferycznych [3,4].

Głównym celem procesu rekonstrukcji wypadku drogowego jest odtworzenie postępowania kierowcy oraz osób, które mogły przyczynić się do powstania wypadku. Dlatego ważny jest w tym procesie aspekt człowiek-pojazd-otoczenie (C-P-O). Do najważniejszych parametrów określanych podczas rekonstrukcji należą:

- tor ruchu oraz parametry ruchu samochodów przed zaistnieniem wypadku,
- miejsce zderzenia samochodów,
- ustalenie typu zderzenia pojazdów,
- określenie prędkości pojazdów w momencie powstania zagrożenia oraz zderzenia,
- ocena techniki jazdy i możliwości uniknięcia wypadku drogowego.

Tor ruchu i parametry ruchu pojazdów przed wypadkiem. Tor ruchu pojazdów przed wypadkiem można ustalić na podstawie pozostawianych śladów przemieszczania się pojazdów przed wypadkiem do miejsca zderzenia, będących następstwem ruchu przedzderzeniowego. Parametry ruchu pojazdów przed wypadkiem można ustalić na podstawie pozostawionych śladów (np. hamowania lub zarzucania, jazdy po poboczu drogi, po nawierzchni trawiastej, rycia, rysowania itp.) i zastosowywania do nich praw fizyki oraz zależności

odwzorowujących ustalony rodzaj ruchu i umożliwiających ustalenie tych parametrów w kolejnych fazach wypadku na początku znaczenia śladów, w czasie uruchomienia mechanizmu powodującego znaczenie śladów oraz w chwili rozpoczęcia manewru (na początku czasu reakcji) czyli w czasie powstania realnego zagrożenia, na które zaczął reagować kierujący. Na rys. 1 zaprezentowano typowe ślady hamowania pojazdu pozostawione na jezdni przed zderzeniem.



Rys. 1. Typowe ślady hamowania pojazdu przed zderzeniem

Powstawanie śladów hamowania związane jest z narastającym poślizgiem ogumienia. Wystąpienie śladów poślizgu zależy od warunków fizykochemicznych, jakie wytwarzają się na styku koła z jezdnią, jest więc uwarunkowane m. in. składem mieszanki bieżnika oraz składem, strukturą i chwilowym stanem nawierzchni. Na tym samym fragmencie jezdni asfaltowej jedne opony pozostawią ślady, a inne nie.

Miejsce zderzenia pojazdów. Pierwszym i najdokładniejszym sposobem wyznaczenia miejsca zderzenia jest odczytanie go za pomocą śladów. Innym sposobem ustalenia miejsca zderzenia jest określenie go za pomocą pozostałości powypadkowych. Pozostałości te to osypane zanieczyszczenia osadzające się podczas normalnej eksploatacji na podwoziu oraz odpadające z pojazdów elementy, zespoły wyłamane i oddzielone od pojazdów. Przy określaniu miejsca wypadku za pomocą pozostałości powypadkowych należy uwzględnić, że oddzielenie się zanieczyszczeń, wyłamane potłuczone elementy szyb, kloszy reflektorów, kruchych elementów z tworzyw lub metalowych następują podczas ruchu pojazdów i mają prędkości chwilowe takie jak zderzające się pojazdy. Niektóre oddzielające się elementy mogą mieć nadaną dodatkową prędkość wynikającą z procesu wyłamania oraz miejsca wyłamania. Poszczególne części oddzielają się z miejsc położonych na różnych wysokościach, co wpływa na zdecydowanie na odległość ich przemieszczania się.

Charakterystyka zderzeń pojazdów. Podczas analizy zderzeń stosuje się podział na zderzenia czołowe, boczne, tylne oraz pośrednie: czołowe ukośne, boczne ukośne, boczne ukośne przednie, boczne ukośne tylne, tylne ukośne, tylne niesymetryczne, tylne symetryczne oraz przewracanie. Rodzaje zderzeń są sklasyfikowane w normie ISO 6813. Na rys. 2 zaprezentowano podstawowe rodzaje zderzeń pojazdów.

Z podziału tego wynika, że podczas uczestnictwa samochodów w zderzeniu istnieją sytuacje, w których każdy z pojazdów zakwalifikowany zostaje do innego rodzaju zderzenia [5].

Ustalenie prędkości pojazdów w chwili powstania zagrożenia i zderzenia. Wyznaczenie prędkości pojazdów w poszczególnych fazach ruchu wymaga odpowiedniego modelu fizycznego przebiegu zdarzenia drogowego, bowiem model taki, związany z rodzajem zderzenia, jest opisywany określonym rodzajem zależności matematycznych

pozwalających na wykonanie obliczeń i wyznaczenie niewiadomych parametrów wypadku.



Rys. 2. Podstawowe rodzaje zderzeń

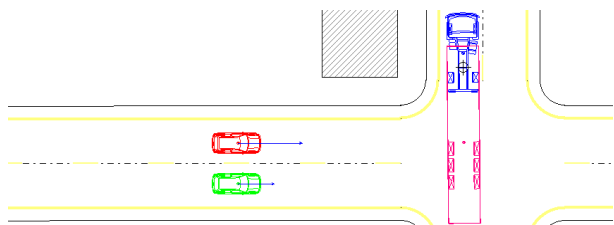
Ocena taktyki i techniki jazdy oraz możliwości uniknięcia wypadku przez kierujących. Jeśli z analizy porównania odległości powstania stanu zagrożenia i drogi niezbędnej do zatrzymania lub ominięcia przeszkody wynika, że była ona większa niż niezbędna do wykonania takich manewrów a do wypadku doszło, to kierujący naruszył zasady prawidłowej techniki wykonywania manewrów hamowania lub omijania, gdyż miał możliwość uniknięcia wypadku i z możliwości tej wskutek nieprawidłowej techniki nie skorzystał lub nie naruszył zasad prawidłowej taktyki i techniki jazdy oraz nie miał możliwości uniknięcia wypadku i niezależnie od podjętych przez niego działań do wypadku mogło dojść. Możliwość uniknięcia wypadku drogowe uzależniona jest od czynników wpływających na jego wystąpienia, a więc oddziaływanie w systemie C-P-O (człowiek-pojazd-otoczenie). Wielkość ryzyka może być wyrażona między innymi przez poziom zagrożenia wypadkiem drogowym, który może zwiększać się lub zmniejszać. W przypadku zagrożenia kierowca analizuje sytuację drogową i wypracowuje manewr obronny. Jego celem powinno być zmniejszenie narastającego zagrożenia. W zależności od wiedzy i umiejętności kierowca, po upływie czasu reakcji, może wykonać manewr prawidłowy, nieprawidłowy, lub w ogóle zaniechać reakcji. Jeżeli kierowca nie wykona żadnego manewru obronnego (nie podejmie działania) doprowadzi do zderzenia (kolizji). Jeżeli podejmie błędną decyzję to spowoduje szybkie narastanie zagrożenia w efekcie czego również dojdzie do zderzenia. W przypadku podjęcia prawidłowej decyzji i wykonania manewru obronnego doprowadzi do zmniejszenia ogólnego poziomu zagrożenia a co za tym idzie uniknie zderzenia [5].

W każdym przypadku kiedy potrzebne jest odtworzenie rzeczywistego przebiegu ruchu pojazdów powypadkowych lub określenie zachowania pojazdu o hipotetycznych parametrach czy też rzeczywistego pojazdu w hipotetycznych warunkach ruchu z pomocą przychodzi komputerowe aplikacje do rekonstrukcji wypadków. Jednym spośród wielu jest Cyborg Idea V-SIM. Program ten znajduje zastosowanie wszędzie tam, gdzie istnieje potrzeba symulowania zachowania się pojazdów samochodowych z uwzględnieniem złożonego opisu środowiska ruchu oraz ewentualnych zderzeń. Komputerowe symulacje rekonstrukcji wypadków drogowych umożliwiają analizę przebiegu i skutków zdarzeń pojazdów mechanicznych między sobą, z innymi uczestnikami ruchu oraz z przeszkodami terenowymi [1].

2. Rekonstrukcja wypadku drogowego

Symulacja zderzenia została przeprowadzona dla dwóch jednakowych pojazdów (Skoda Felicia 2), z których jeden wykonuje manewr wyprzedzania. W momencie gdy oba pojazdy znajdują się na tej samej wysokości (w jednej linii) rozpoczynają manewr hamowania ze względu na pojawiającą się przeszkodę

w postaci naczepy samochodu ciężarowego. Widok sytuacyjny miejsca zdarzenia zaprezentowano na rys. 3.



Rys. 3. Plan miejsca zdarzenia utworzony w programie V-Sim

Pojazd jadący prawym pasem porusza się zgodnie z przepisami obowiązującymi w terenie zabudowanym (50km/h). Pojazd wyprzedzający w momencie gdy znajduje się na tej samej wysokości co pojazd wyprzedzany, porusza się z prędkością większą. Rekonstrukcję wykonano dla trzech różnych prędkości pojazdu wyprzedzającego. W tabeli 1 zaprezentowano plan badań poszczególnych symulacji.

Tabela 1. Plan badań rekonstrukcji zderzeń przy różnych prędkościach pojazdów

Pojazd	Prędkość pojazdów [km/h]		
	Przypadek I	Przypadek II	Przypadek III
Pojazd A	50	50	50
Pojazd B	60	90	120

Odległość od przeszkody, w której pojazdy rozpoczynają proces hamowania ustalono tak aby pojazd A (wyprzedzany) wyhamował bezpośrednio przed tą przeszkodą. Pojazd B (wyprzedzający), z racji większej prędkości nie jest w stanie wyhamować i uderza w przeszkodę (naczepę samochodu ciężarowego). Parametry techniczno-konstrukcyjne pojazdów uczestniczących w zdarzeniu przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Parametry techniczno-konstrukcyjne pojazdów uczestniczących w zdarzeniu

Parametry	Pojazd osobowy	Pojazd ciężarowy EuroTech	Naczepa
Dane ogólne			
Wymiary nadwozia [mm]	dł. 3855 szer. 1635 wys. 1415	dł. 6232 szer. 2500 wys. 3326	dł. 13950 szer. 2550 wys. 3970
Rozstaw osi [mm]	2450	3800	1310/1310
Rozstaw kół [mm]	przód: 1420 tył: 1380	przód: 2000 tył: 2010	3x2040
Przełożenie przekł. kierowniczej	1:20	1:22,5	----
Układ hamulcowy			
Skuteczność hamulca zasadn.	10,8 kN	108 kN	210
Sprawność hamulców	100%	100%	100%
Opony i koła			
Ogumienie	165/70 R13 79	235/75 R17,5	385/65 R22,5
Masa pasażerów			
Kierowca	68 kg	68 kg	
Parametry masowe			
Masa całkowita	998 kg	6568 kg	6200 kg

Dla każdej analizowanej sytuacji zaprojektowany został model sytuacyjny wykonany w programie Cyborg Idea V-SIM, umożliwiający zmianę globalnych oraz lokalnych parametrów środowiska, w którym doszło do zderzenia pojazdów. Wszystkie symulacje przeprowadzono dla aktywnych elementów środowiska zaprezentowanych w tabeli 3.

Tabela 3. Aktywne elementy środowiska

Aktywne elementy środowiska	
Rodzaj i parametry nawierzchni (jezdnia, pobocze)	Suchy asfalt, μ : 0,80/0,75, opory: 0,015
Nachylenie terenu	poziomo, wysokość 0,00 m
Prędkość i kierunek wiatru	bezwietrznie

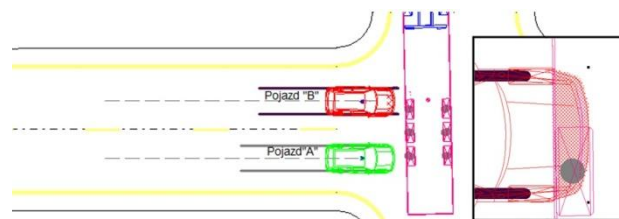
Dla tak scharakteryzowanych parametrów przeprowadzono symulacje rekonstrukcji zderzenia pojazdów, której głównym celem było ukazanie wielkości uszkodzeń pojazdów powstałych przy różnych prędkościach.

Symulację zderzenia pojazdu osobowego wyprzedzającego prawidłowo jadącego pojazdu przeprowadzono dla prędkości 60, 90, i 120 km/h. W każdym przypadku analizowano głębokość deformacji, maksymalną objętość pokrycia sylwetek, prędkość w chwili zderzenia oraz maksymalne przyspieszenie (przeciążenie) działające na pojazd podczas zderzenia. Wartości poszczególnych zmierzonych parametrów podczas zderzenia pojazdu B poruszającego się z prędkością równą 60km/h zaprezentowano w tabeli 4.

Tabela 4. Wartości mierzonych parametrów po zderzeniu pojazdu B jadącego z prędkością początkową 60 km/h

Pojazd osobowy B: Przypadek I; prędkość poj. 60 km/h		
Głębokość deformacji/deformacja naczepy	[mm]	414/39
Max. objętość pokrycia sylwetek	[m ³]	0,45
Prędkość w chwili zderzenia	[km/h]	32,5
Max. przyspieszenie / przeciążenie	[m/s ²]	182,3 = 18,59g

Na rys. 4 zaprezentowano sylwetki, ślady hamowania oraz głębokość deformacji pojazdów po zderzeniu.



Rys. 4. Sylwetki poszczególnych pojazdów, drogi hamowania oraz głębokości deformacji pojazdów po zderzeniu przy prędkości początkowej poj. B równej 60km/h

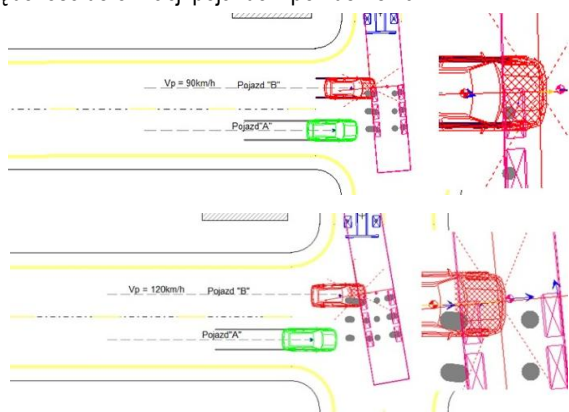
Tabela 5. Wartości zmierzonych parametrów po zderzeniu pojazdu B jadącego z prędkością początkową 90 oraz 120 km/h

Pojazd osobowy B: Przypadek II; prędkość poj. 90 km/h		
Głębokość deformacji/deformacja naczepy	[mm]	898/102
Max. objętość pokrycia sylwetek	[m ³]	1,08
Prędkość w chwili zderzenia	[km/h]	75,2
Max. przyspieszenie / przeciążenie	[m/s ²]	434 = 44,25g
Pojazd osobowy B: Przypadek III; prędk. poj. 120 km/h		
Głębokość deformacji/deformacja naczepy	[mm]	1273/164
Max. objętość pokrycia sylwetek	[m ³]	1,59
Prędkość w chwili zderzenia	[km/h]	110,2
Max. przyspieszenie / przeciążenie	[m/s ²]	603 = 61,48g

Z przeprowadzonej symulacji wynika, że już przy prędkości o 10 km/h większej, jeżeli pojazdy rozpoczną hamowanie w tym samym czasie, to pojazd jadący z prędkością większą nie zdąży wyhamować i ulegnie kolizji. W momencie gdy pojazd jadący z prędkością 50km/h (pojazd A) wyhamuje bezpośrednio przed przeszkodą, pojazd B uderzy w przeszkodę. Prędkość pojazdu B w momencie zderzenia wynosi 32,5 km/h. Bezpośrednio po zderzeniu, w wyniku działających na pojazd sił, wzrasta jego przyspieszenie. W chwili zderzenia przeciążenie pojazdu wynosi 18,59g.

Kolejną symulację zderzenia wykonano dla początkowej prędkości pojazdu B równej 90km/h oraz 120km/h. Wartości zmierzonych parametrów zaprezentowano w tabeli 5.

Na rys. 5 zaprezentowano sylwetki, ślady hamowania oraz głębokość deformacji pojazdów po zderzeniu.



Rys. 5. Sylwetki poszczególnych pojazdów, drogi hamowania oraz głębokości deformacji pojazdów po zderzeniu przy prędkości początkowej poj. B równej 90km/h oraz 120km/h.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników symulacji można stwierdzić, że prędkość w chwili zderzenia pojazdu z naczepą ze względu na czas narastania momentu hamowania (0,35sek) jest tym większa im szybciej porusza się pojazd przed rozpoczęciem hamowania. Głębokość deformacji pojazdu jest około 2-krotnie większa dla prędkości początkowej 90 km/h i około 3-krotnie większa dla prędkości początkowej 120 km/h.

Podobnie przedstawia się również udział maksymalnych objętości pokrycia sylwetek oraz przyspieszenie pojazdu.

5. Podsumowanie

Przeprowadzona rekonstrukcja oraz analiza zderzenia pojazdu z naczepą samochodową, powstałego w skutek wyprzedzania prawidłowo jadącego pojazdu, umożliwiło zaprezentowanie skutków takiego działania.

Na podstawie analizy zderzenia stwierdzono, że:

- Gdyby pojazd wyprzedzający jechał z prawidłową prędkością 50km/h, to byłby w stanie wyhamować przed przeszkodą. Jadąc z prędkością o zaledwie 10km/h większą nie był w stanie wyhamować. Uszkodzenia powstałe po zderzeniu pojazdu z naczepą spowodowały odkształcenie karoserii w głąb pojazdu na 414mm, a maksymalne przyspieszenie podczas zderzenia przekraczało 182 m/s^2 , czyli około 18g.
- Wielkości uszkodzeń (głębokość deformacji) przy prędkościach 90km/h oraz 120km/h są odpowiednio 2 i 3-krotnie większe od uszkodzeń przy prędkości 60km/h. Podobnie kształtują się uszkodzenia naczepy pojazdu ciężarowego.
- Niekorzystne przeciążenia występujące w przypadku zderzeń pojazdu przy prędkościach początkowych 90km/h oraz 120km/h sięgają odpowiednio ponad 44g i 61g.

Przeprowadzona rekonstrukcja wykazała, że najbezpieczniej jest jeździć zgodnie z przepisami ruchu drogowego.

Bibliografia

- [1] Cyborg Idea V-SIM 2.0, Symulacja ruchu i zderzeń pojazdów samochodowych, instrukcja użytkownika, Kraków 2007.
- [2] Materiały szkoleniowe dla uczestników studiów podyplomowych „Diagnostyka, Mechatronika, Rzeczoznawstwo Samochodowe i Ubezpieczenia”. Opis i rekonstrukcja wypadków drogowych. Warszawa 2006.
- [3] Pawelec K., Diupero T. Rekonstrukcja wypadku i zdarzenia drogowego. Dom Wydawniczy ABC. Warszawa 2006
- [4] Prochowski L. Mechanika ruchu. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2008.
- [5] Prochowski L., Unarski J., Wach W., Wicher J., Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.

Reconstruction of vehicle collision on different road surfaces

Abstract

The article presents the process of reconstruction of a road accident and discusses the most important parameters essential during reconstruction. Presented reconstruction and effects of collisions between passenger vehicle with trailer in a situation of overtaking another vehicle moving properly. Presented collision parameters such as deformation depth of vehicles, speed, and acceleration of the vehicle at the time of collision.

Key words: traffic accident, reconstruction, excessive speed

Autorzy:

Dr inż. **Wiesław Szada-Borzyszkowski** – Politechnika Koszalińska

Mgr inż. **Monika Szada-Borzyszkowska** – Politechnika Koszalińska