

Article citation info:

Dąbrowski F, Gidlewski M. Use of traces of a road accident for determining the pre-impact speeds of the vehicles involved – Results of experimental and simulation tests. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2016; 74(4): 33-46, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL74.ART3>

Use of traces of a road accident for determining the pre-impact speeds of the vehicles involved – Results of experimental and simulation tests

Wykorzystanie śladów wypadku drogowego do wyznaczania prędkości samochodów przed zderzeniem – wyniki badań eksperymentalnych i symulacyjnych

Filip Dąbrowski¹, Mirosław Gidlewski²

**Przemysłowy Instytut Motoryzacji,
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu**

Summary

Results of two physical simulations of motor vehicle collisions in road traffic have been presented, where the front of one vehicle hit a side of the other vehicle close to the front axle of the latter. The traces left on the road surface and on the vehicles in result of the collisions made it possible to carry out several simulations of the collisions under consideration with the use of the V-SIM program. Three possible versions of the course of the collisions, consistent with the traces left at the accident site, have been shown. For two versions of the collision, the pre-impact vehicle velocities were assumed as identical with those actually applied during the experiments; for the third version, they were calculated from the traces left. The vehicle velocity values thus determined were compared with

¹ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Centrum Rzeczoznawstwa, ul. Jagiellońska 55, 03-301, Warszawa, Polska; e-mail: f.dabrowski@pimot.eu

² Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, ul. Chrobrego 55, 26-600 Radom, Polska; e-mail: miroslaw.gidlewski@uthrad.pl

the values of the actual velocities recorded during the experiments. The sources of, and reasons for, the possible errors made by the experts when carrying out the simulations of real vehicle collisions have been indicated.

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki dwóch fizycznych symulacji zderzeń samochodów w ruchu polegających na uderzeniu przodem samochodu w bok drugiego pojazdu, w okolicy osi przedniej. Ślady powstałe na jezdni i na pojazdach w wyniku zderzenia umożliwiły przeprowadzenie kilku symulacji przebiegu rozważanych zderzeń z wykorzystaniem programu V-SIM. Pokazano trzy możliwe wersje przebiegu zderzeń samochodów, zgodne ze śladami pozostawionymi na miejscu zderzenia. Dla dwóch wersji zderzenia przyjęto prędkości pojazdów przed zderzeniem identyczne jak podczas eksperymentu, a dla jednej wersji zostały one wyznaczone na podstawie powstałych śladów. Wyznaczone w tej wersji wartości prędkości samochodów porównano z prędkościami samochodów w czasie eksperymentu badawczego. Wskazano źródła i przyczyny możliwych błędów popełnianych przez rzeczoznawców w czasie prowadzenia symulacji rzeczywistych zderzeń samochodów.

Keywords: road accidents, right-angle collisions of motor vehicles, experimental and simulation tests

Słowa kluczowe: wypadki drogowe, zderzenia czołowo-boczne samochodów, badania eksperymentalne i symulacyjne

1. Wstęp

W Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie zrealizowany został projekt badawczy, którego celem było poszerzenie wiedzy na temat procesów zachodzących podczas zderzenia prostopadłego pojazdów. Metodykę prowadzenia badań opracowano na podstawie wniosków wynikających z gruntownego przeglądu literatury poświęconej badaniom eksperymentalnym zderzeń bocznych samochodów [1-5]. W ramach projektu przeprowadzono 6 testów zderzeniowych, które polegały na uderzeniu przodem samochodu A w bok samochodu B (rys. 1). W kolejnych testach zderzeniowych zmieniano wzajemne usytuowanie samochodów A i B. Testy przeprowadzono na suchym i czystym placu badawczym na płaskiej nawierzchni betonowej. Bezpośrednio przed zderzeniem samochody A poruszały się z prędkością około 50 km/h, a samochody B z prędkością dwa razy mniejszą. Koła kierownicy pojazdów przez cały czas trwania eksperymentu pozostawały swobodne, a koła jezdne nie były hamowane. Wyniki tych badań były przedstawione we wcześniejszych publikacjach [6-11]. W tym artykule pokazano wyniki uzyskane w czasie dwóch testów zderzeniowych (Z3 i Z4) polegających na uderzeniu przodem samochodu A w okolicy przedniej osi samochodu B. Obydwa testy były przeprowadzone w porównywalnych warunkach. Wyniki badań eksperymentalnych porównano z wynikami symulacji rozważanych zderzeń przeprowadzonych z wykorzystaniem programu V-SIM dla trzech zestawów danych wejściowych.

2. Przebieg zderzenia pojazdów i ślady powstałe w jego wynikach

W tabeli 1 przedstawiono prędkości samochodów bezpośrednio przed zderzeniem oraz odległość osi podłużnej samochodu A od osi przedniej samochodu B w chwili pierwszego kontaktu, zmierzone podczas dwóch testów zderzeniowych.

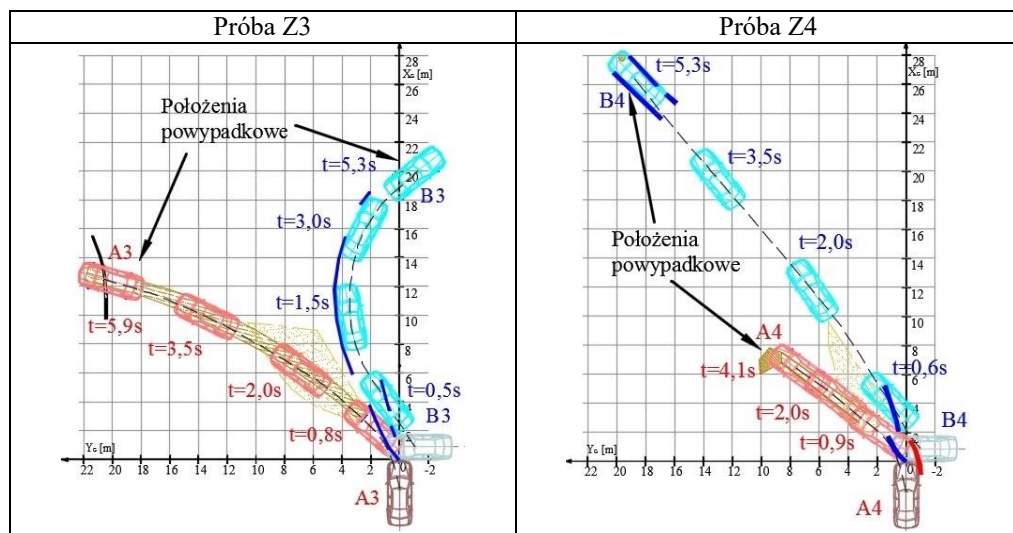
Tabela 1. Prędkości oraz usytuowanie pojazdów w chwili pierwszego kontaktu

	Test Z3	Test Z4
Prędkość pojazdu A V_A [m/s]	13,6	13,1
Prędkość pojazdu B V_B [m/s]	6,8	6,5
Odległość punktu pierwszego kontaktu samochodów od osi przedniej samochodu B L_{AB} [m]	-0,04	-0,17

W obydwu testach zderzeniowych pojazdy w wyniku zderzenia wchodziły ze sobą w bezpośredni kontakt i zaczynały poruszać się ruchem niestatecznym. Po upływie około 0,14s od chwili pierwszego kontaktu następowało rozdzielenie samochodów i dalej poruszały się one niezależnie od siebie. Po pewnym czasie pojazdy odzyskiwały sterowność, a kierunki ich dalszego ruchu wynikały z ustawienia kół kierowanych.

Rysunek 1 przedstawia ślady powstałe w wyniku zderzenia na tle układu współrzędnych, którego początek pokrywa się z miejscem pierwszego kontaktu pojazdów. Kolorem czerwonym oznaczono pojazd A, a kolorem niebieskim pojazd B. W analogiczny sposób oznaczono ślady pozostawione przez koła ogumione tych pojazdów. Na rysunku pokazano również położenia pojazdów po wypadku oraz ich usytuowanie na jezdni, w chwili pierwszego kontaktu.

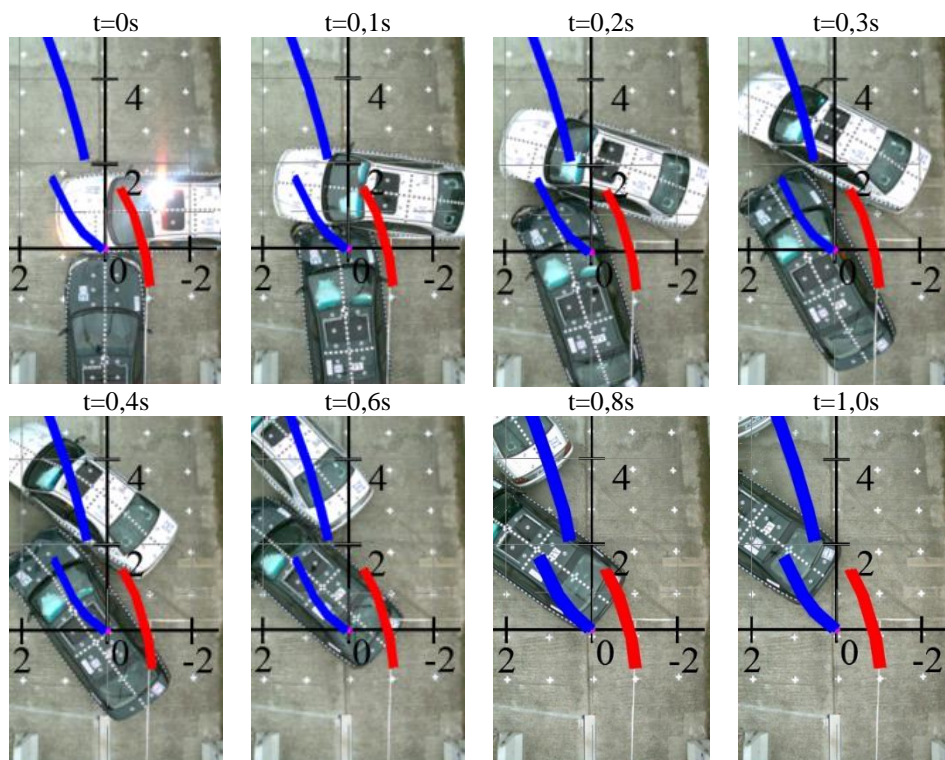
Ślady tarcia na jezdni pozostawiły głównie przednie koła samochodu B, zarówno w teście Z3 jak i Z4. Lewe przednie koło samochodu B zaczynało znaczyć ślad tarcia na jezdni praktycznie już w chwili pierwszego kontaktu pojazdów. Ślad ten może być więc wykorzystany do usytuowania samochodu B na jezdni w chwili zderzenia. Prawe koło pojazdu B zaczynało znaczyć ślad tarcia na jezdni później i koniec tego śladu wskazuje praktycznie położenie prawego przedniego koła w chwili odzyskania sterowności. Lewe przednie koło pojazdu B3 znaczyło ślad tarcia również po odzyskaniu sterowności (zderzenie pojazdów skutkowało uszkodzeniem lewego przedniego zawieszenia i trwałym skrzyśnięciem tego koła). Samochód A znaczył ślad tarcia koła na jezdni jedynie w czasie testu Z4. Ślad tylnego prawego koła zaczynał się w chwili, gdy samochód poruszał się już ruchem niestatecznym, a kończył jeszcze przed odzyskaniem sterowności przez pojazd. Nie może być więc wykorzystany do ustalenia położenia samochodu na jezdni w chwili odzyskania sterowności. W samochodzie A3, w wyniku zderzenia, uszkodzeniu uległa chłodnica cieczy. Wyciekający z niej płyn chłodniczy pozostawił ślad, który może zostać wykorzystany do odtworzenia toru ruchu pojazdu po zderzeniu.



Rys. 1. Ślady powstałe w wyniku zderzenia podczas prób Z3 i Z4

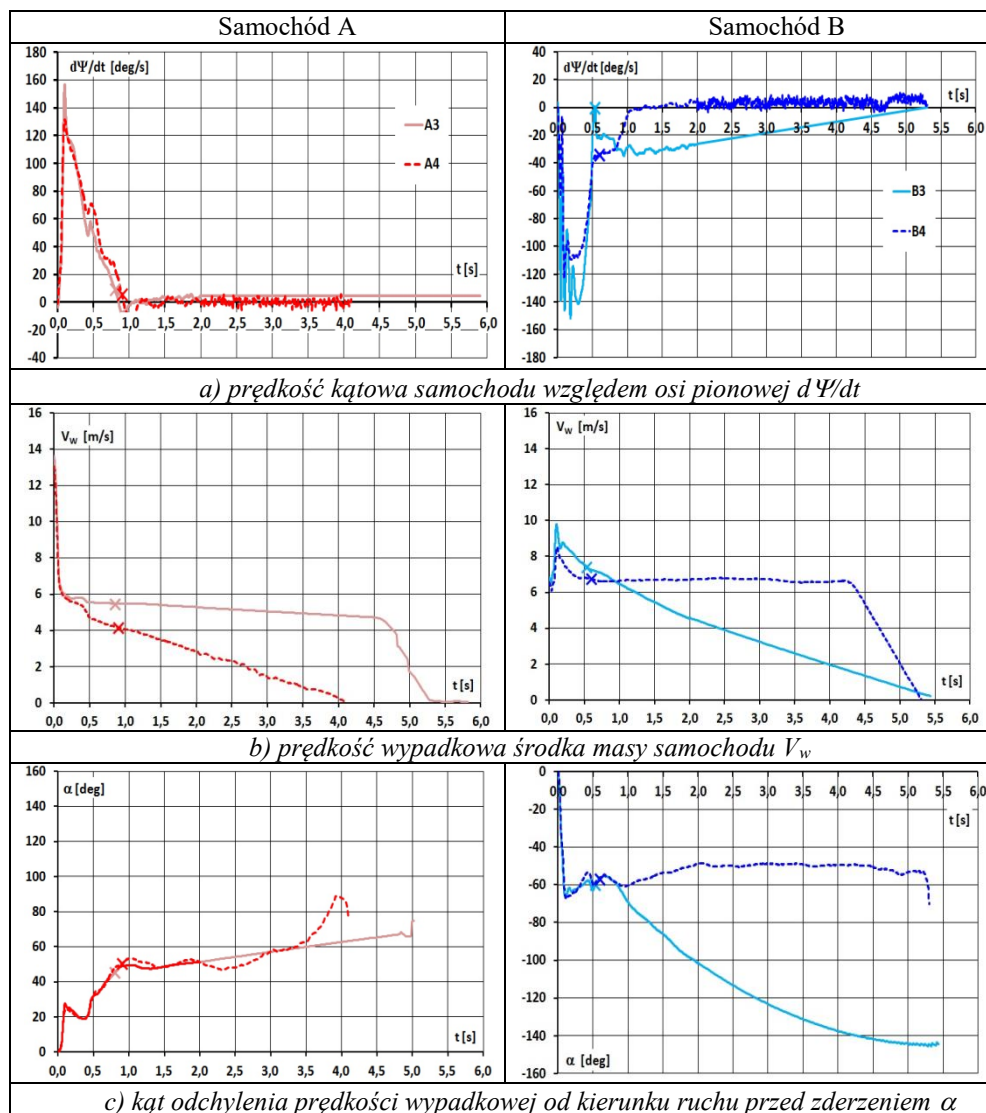
Opisany mechanizm powstawania śladów tarcia kół na nawierzchni jezdni (rys. 1) potwierdzają chwilowe położenia samochodów przedstawione na rysunku 2 będące wynikiem analizy „klatka po klatce” filmów zarejestrowanych przez specjalne kamery umieszczone nad miejscem zderzenia.

Pomimo znacznego podobieństwa śladów tarcia opon na jezdni w czasie i bezpośrednio po zderzeniu w rozważanych testach zderzeniowych, położenia powypadkowe pojazdów były różne. W teście Z3 po odzyskaniu sterowności samochód B poruszał się po łuku w prawo na skutek uszkodzenia zawieszenia i mechanizmu zwrotniczego skutkującego trwałym skrętem lewego przedniego koła. Samochód A w końcowej fazie ruchu był hamowany, gdyż zbliżał się do granicy placu badawczego. W teście Z4 pojazd B był intensywnie hamowany w końcowej fazie ruchu na skutek zbliżenia się do granicy placu badawczego. W samochodzie A ruch lewego ramienia manekina podczas zderzenia spowodował włączenie V biegu, co zwiększyło wartość opóźnienia samochodu w ruchu po zderzeniu.



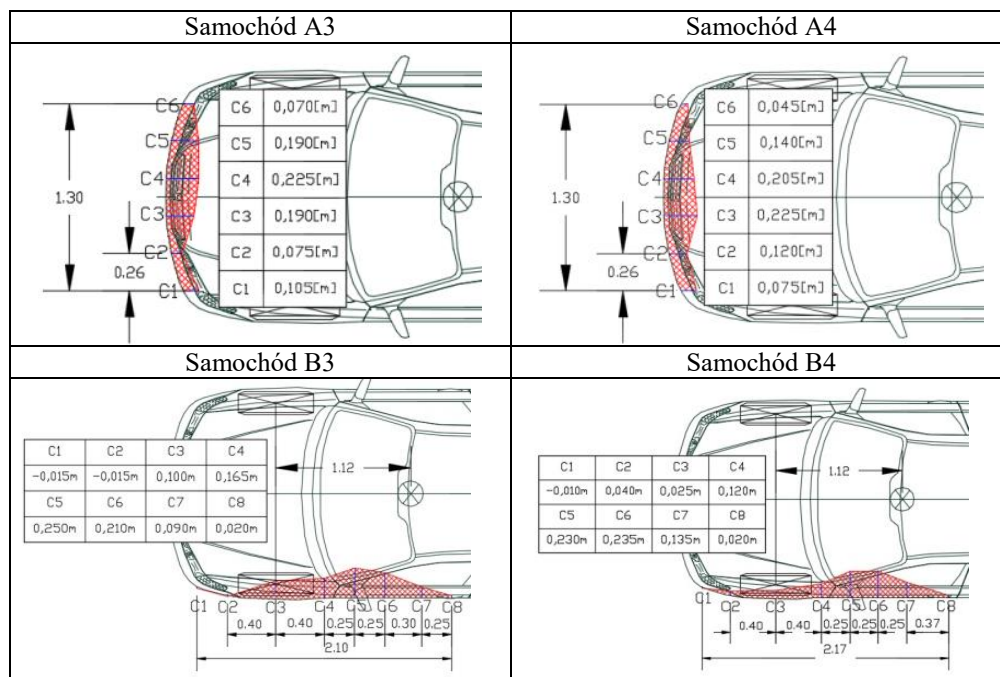
Rys. 2. Mechanizm powstawania śladów tarcia kół podczas próby Z4

Na rys. 3 zamieszczono wykresy przedstawiające zmiany wartości parametrów ruchu samochodów A i B w testach zderzeniowych. Kolejno przedstawiono przebieg zmian prędkości kątowej samochodu względem osi pionowej $d\Psi/dt$ prędkości wypadkowej środka masy samochodu V_w oraz kąta odchylenia prędkości wypadkowej od kierunku ruchu przed zderzeniem α w funkcji czasu t . Linia ciągłą oraz jaśniejszym kolorem oznaczono przebiegi uzyskane w próbie Z3, natomiast linią przerywaną i kolorem ciemniejszym – uzyskane w próbie Z4. Przebiegi zmian prędkości wypadkowej V_w i kąta odchylenia tej prędkości α (rys. 3) oraz przebiegi trajektorii ruchu środka masy i kąta obrotu pojazdu względem osi pionowej (rys. 1) wyznaczono poprzez całkowanie względem czasu wyników pomiarów przyspieszeń i prędkości kątowych samochodów. Uzyskane wyniki weryfikowano z wynikami analizy „klatka po klatce” filmów zarejestrowanych przez kamery w czasie zderzenia. Na rys. 1 pokazano usytuowanie samochodów na jezdni w kolejnych chwilach czasowych (pierwsze położenie po zderzeniu każdego z pojazdów pokazuje położenie samochodu w chwili odzyskania sterowności). Trajektorie ruchu środka masy samochodów oznaczono czarnymi liniami przerywanymi.



Rys. 3. Zmiany wartości parametrów ruchu samochodów A i B w czasie testu Z3 i Z4

Skutkiem zderzenia pojazdów była deformacja przodu samochodu A oraz boku samochodu B. Na rysunku 4 przedstawiono odkształcenia trwałe pojazdów biorących udział w próbach Z3 i Z4. Rodzaj i charakter uszkodzeń pojazdów pozwalają usytuować samochody względem siebie w chwili pierwszego kontaktu.



Rys. 4. Odształcenia trwale pojazdów powstałe w wyniku zderzenia w próbach Z3 i Z4

3. Wyniki badań symulacyjnych

Badania symulacyjne rozważanych zderzeń przeprowadzono z wykorzystaniem programu V-SIM w wersji 4.0. Badania przeprowadzono w trybie manualnym wykorzystując impulsowy model zderzenia pojazdów. W trybie tym użytkownik ma możliwość samodzielnego doboru wartości parametrów zderzenia takich, jak punkt przyłożenia impulsu siły, czy wartość współczynnika restytucji.

Przeprowadzono symulacje rozważanych zderzeń wykorzystując trzy warianty danych wejściowych.

W wariantcie I przyjęto identyczne jak podczas rzeczywistych prób zderzeniowych: kierunki ruchu i wartości prędkości samochodów przed zderzeniem, dane techniczne samochodów, ich wzajemne usytuowanie w chwili pierwszego kontaktu, wartość współczynnika przyczepności opon do jezdni ($\mu=0,8$ – wartość na podstawie pomiarów eksperymentalnych), zmiany kąta obrotu koła kierownicy w czasie zderzenia i po zderzeniu (w tym trwale skręcenie przedniego lewego koła w samochodzie B3), brak intensywnego hamowania samochodów bezpośrednio po zderzeniu na skutek uruchomienia układu hamulcowego. Odtworzono jednak opóźnienia samochodów w ruchu pozderzniowym wynikające z innych przyczyn. W wyniku zderzenia lewe przednie koło w samochodzie B3 tarło o nadkole, koła przednie w samochodach A3 i A4 ocierały się o odształcone elementy nadwozia, w samochodzie A4 włączył się piąty bieg. Ponadto samochody A3 i B4 były w końcowej fazie ruchu intensywnie hamowane, gdyż zbliżały się do granicy placu badawczego. Metodą kolejnych przybliżeń dobrano wartości współrzędnych punktu przyłożenia impulsu siły oraz wartości współczynnika restytucji w taki

sposób, aby uzyskać w wyniku symulacji identyczne wartości parametrów ruchu samochodów na początku ruchu swobodnego jak podczas badań eksperymentalnych.

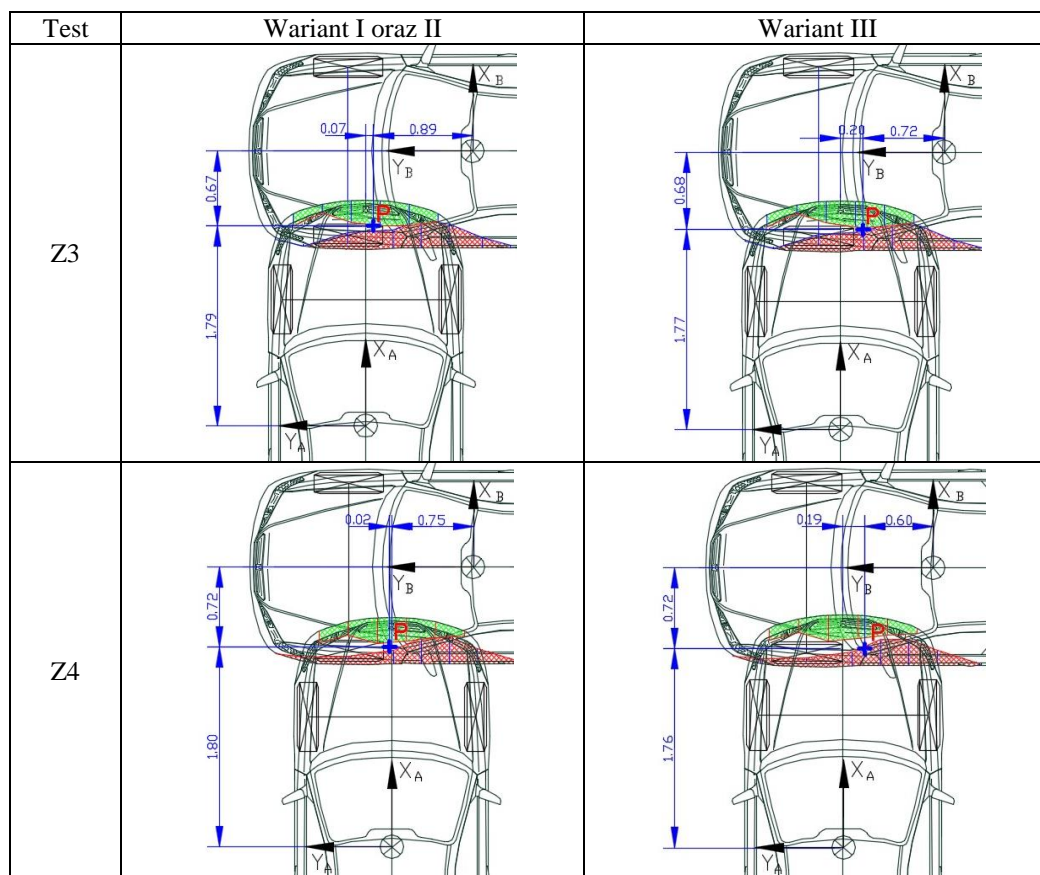
Wariant II danych wejściowych tym tylko różnił się od wariantu I, że nie uwzględniał zmian kątów obrotu koła kierownicy samochodów w ruchu po zderzeniu. W czasie analizy przebiegu rzeczywistych zderzeń samochodów rzeczoznawca zwykle nie ma wiedzy na ten temat.

W wariancie III inaczej niż w wariantach I i II założono, że niewiadomymi są: wartości prędkości pojazdów przed zderzeniem, wartości współrzędnych punktu przyłożenia impulsu siły oraz wartość współczynnika przyczepności opon do nawierzchni jezdni. Dla próby Z3 przyjęto wartość współczynnika przyczepności $\mu=0,75$, a dla próby Z4 przyjęto $\mu=0,9$ (przyjęte wartości μ odpowiadają zakresowi wartości współczynnika przyczepności dla suchej nawierzchni betonowej przyjmowanemu przez rzeczoznawców). Skręt kół kierowanych uwzględniono jedynie w przypadku pojazdu B3. Metodą kolejnych przybliżeń zmieniano wartości prędkości pojazdów przed zderzeniem (założono, że samochód A porusza się z prędkością dwukrotnie większą niż samochód B – tak jak miało to miejsce podczas badań eksperymentalnych) oraz parametry samego zderzenia w taki sposób, aby uzyskać zadowalającą zgodność położenia powypadkowych pojazdów i powstałych na nawierzchni śladów tarcia kół w czasie symulacji i w czasie eksperymentu. Wariant III odpowiada działaniom rzeczoznawcy podczas symulacji zderzenia samochodów.

Na rysunku 5 i w tabeli 2 pokazano wartości współrzędnych punktu przyłożenia impulsu siły i współczynnika restytucji dla trzech wariantów danych wejściowych uwzględnionych w badaniach symulacyjnych. Zwracają uwagę wyraźnie różne wartości współrzędnych poprzecznych przyłożenia impulsu siły (y_A i y_B) w wariancie III w stosunku do wariantów I i II.

Tabela 2. Wartości współrzędnych punktu przyłożenia impulsu siły i współczynnika restytucji dla trzech wariantów danych wejściowych wykorzystanych w symulacjach zderzenia samochodów

	Próba Z3		Próba Z4	
	Wariant I i II	Wariant III	Wariant I i II	Wariant III
Współrzędna x_A punktu P [m]	1,79	1,77	1,8	1,76
Współrzędna y_A punktu P [m]	-0,07	-0,20	0,02	-0,19
Współrzędna x_B punktu P [m]	-0,67	-0,68	-0,72	-0,72
Współrzędna y_B punktu P [m]	0,89	0,72	0,75	0,60
Wysokość punktu przyłożenia impulsu siły mierzona pionowo od nawierzchni jezdni z [m]	0,45	0,44	0,41	0,43
Współczynnik restytucji k	0,3	0,26	0,33	0,24

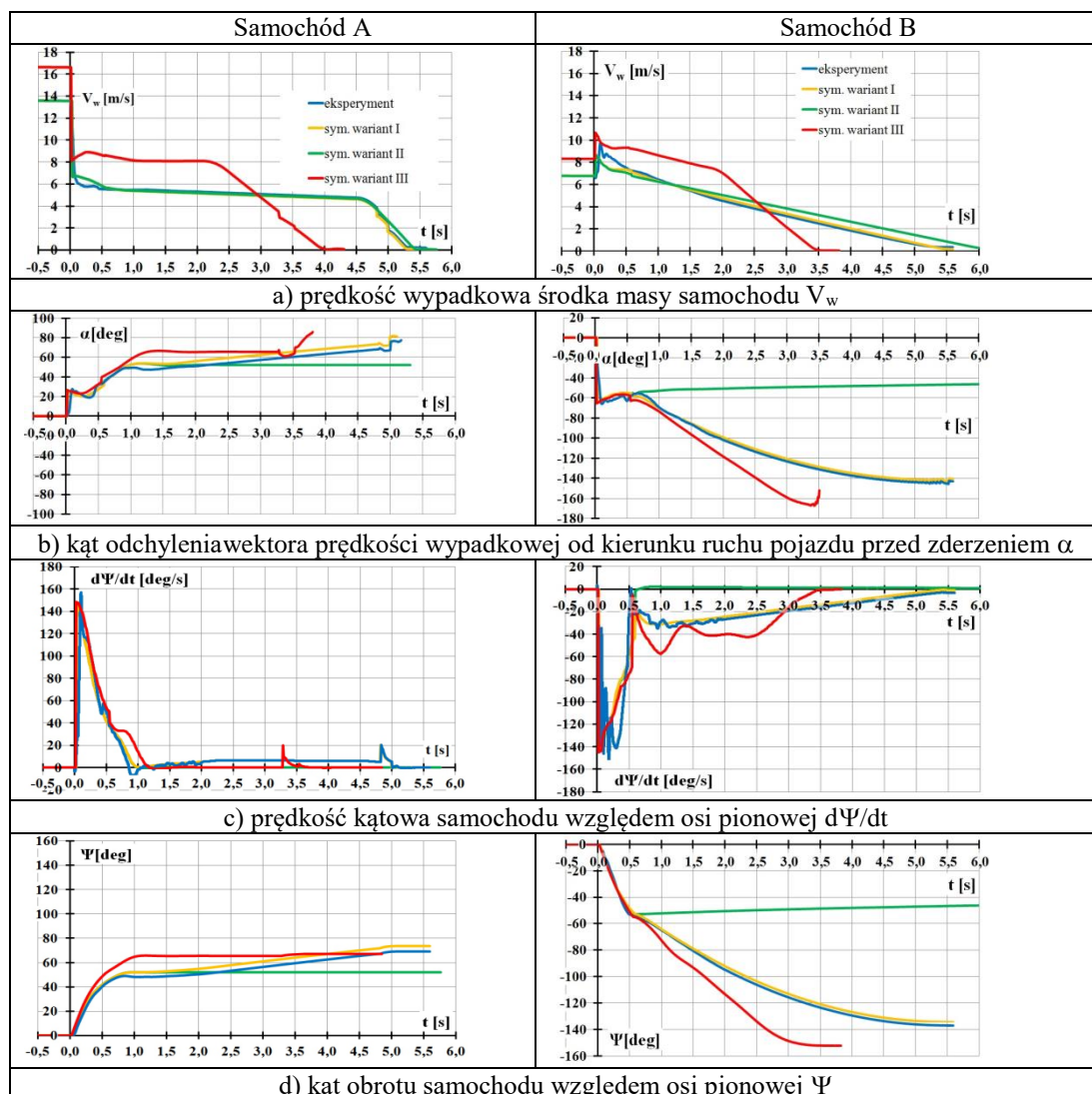


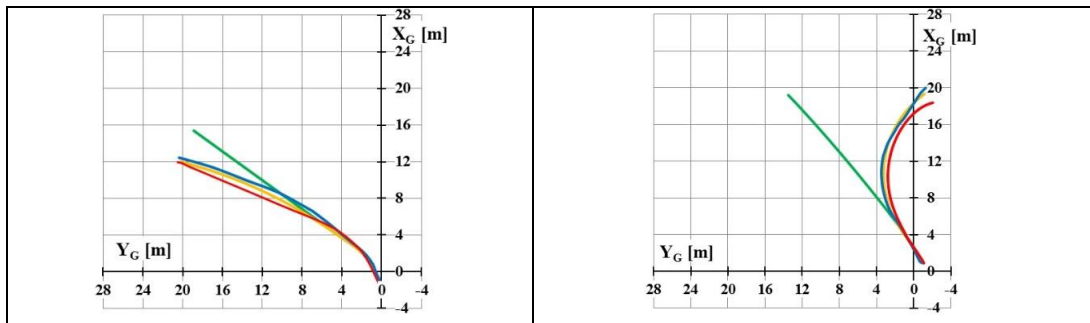
Rys. 5. Sposób wyznaczania współrzędnych punktu przyłożenia impulsu siły (punkt P) dla trzech wariantów danych wejściowych do symulacji zderzenia samochodów

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono porównanie przebiegów wybranych parametrów ruchu samochodów A i B będących wynikiem badań eksperymentalnych (krzywe koloru niebieskiego) oraz badań symulacyjnych dla wariantu I (krzywe koloru żółtego), dla wariantu II (krzywe koloru zielonego) oraz dla wariantu III (krzywe koloru czerwonego). W funkcji czasu t przedstawiono przebieg prędkości wypadkowej środka masy V_w , kąta odchylenia wektora prędkości wypadkowej od kierunku ruchu samochodu przed zderzeniem α , prędkości kątowej samochodu względem osi pionowej $d\Psi/dt$, kąta obrotu samochodu względem osi pionowej Ψ oraz trajektorie ruchu środka masy pojazdów. Na rysunku 8 pokazano położenia samochodów A i B po zderzeniu oraz ślady pozostawione przez koła na jezdni w czasie eksperymentu badawczego (kolor czarny) oraz w czasie symulacji (kolor czerwony - samochód A i kolor niebieski - samochód B) dla trzech wariantów danych wejściowych.

W tabeli 3 porównano wartości prędkości pojazdów w chwili zderzenia zmierzone podczas eksperymentu oraz wyznaczone w badaniach symulacyjnych uwzględniających III wariant

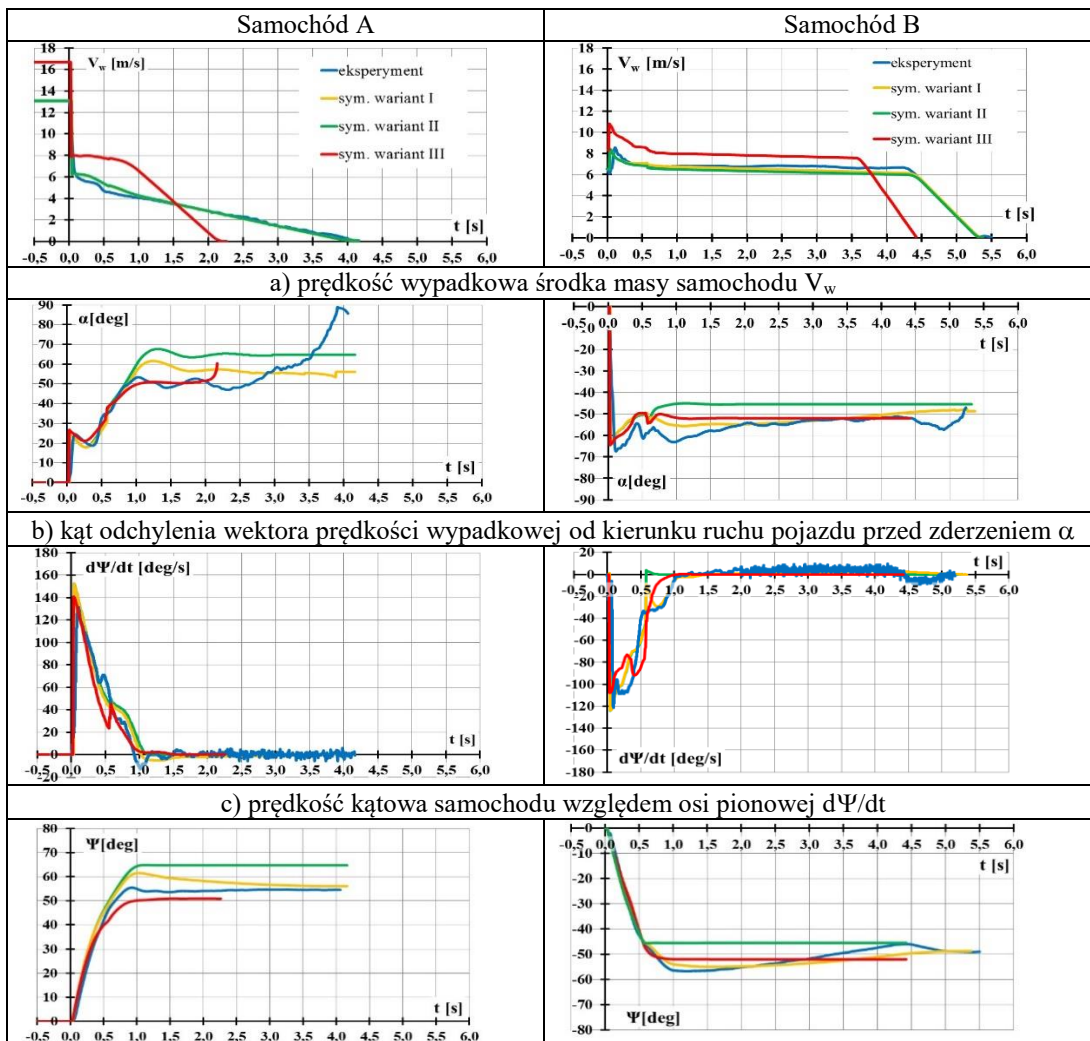
danych wejściowych (zakładano, że pojazd A poruszał się z prędkością dwukrotnie większą niż pojazd B – tak jak miało to miejsce podczas badań eksperymentalnych).

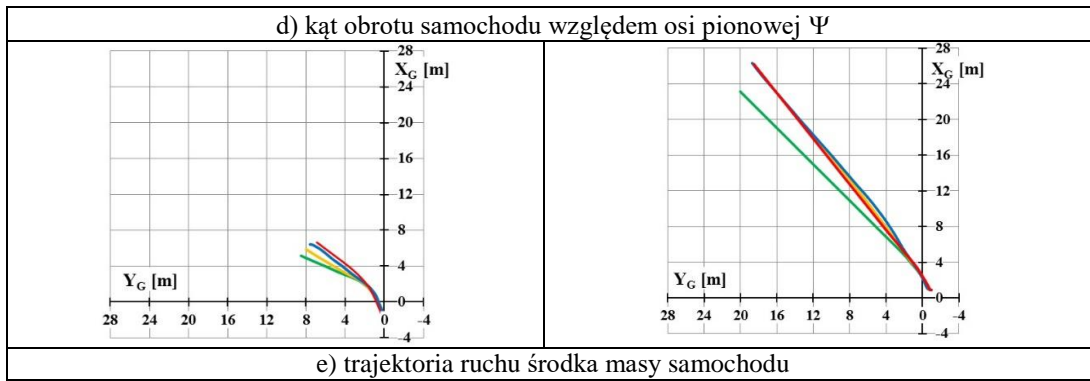




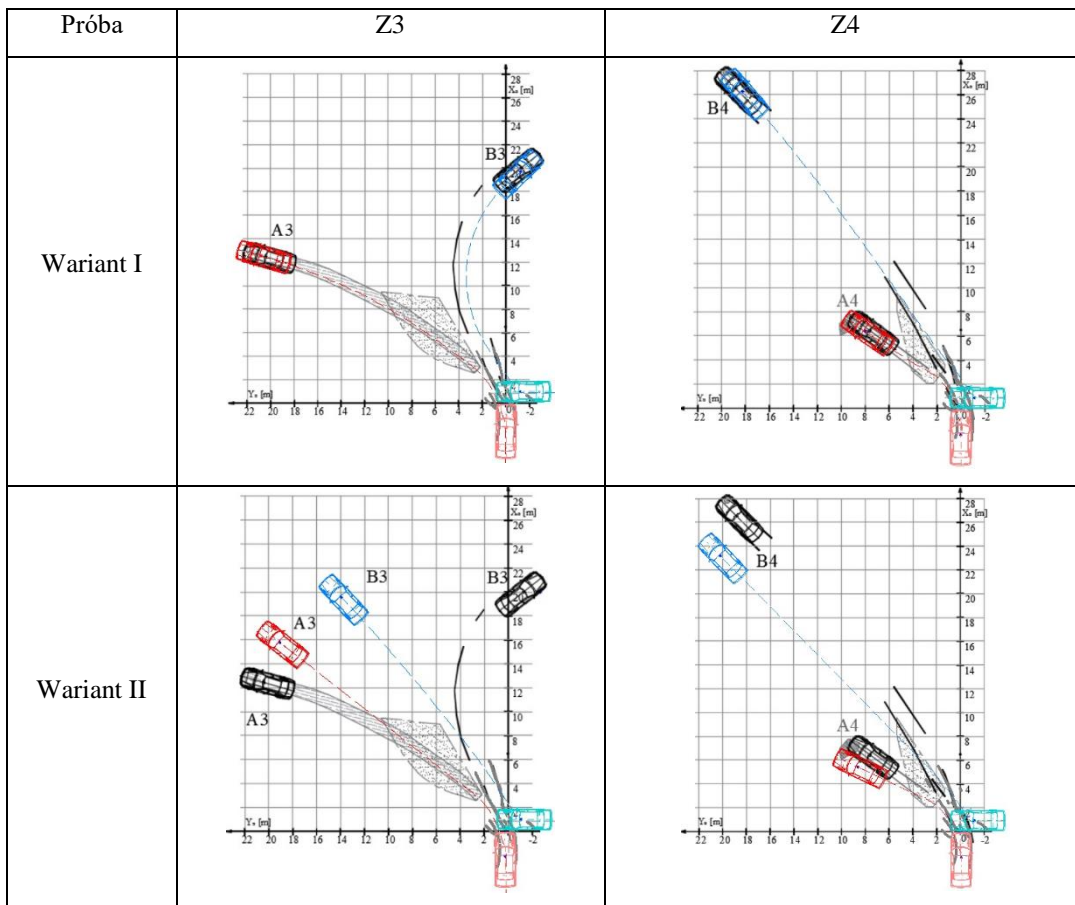
e) trajektoria ruchu środka masy samochodu

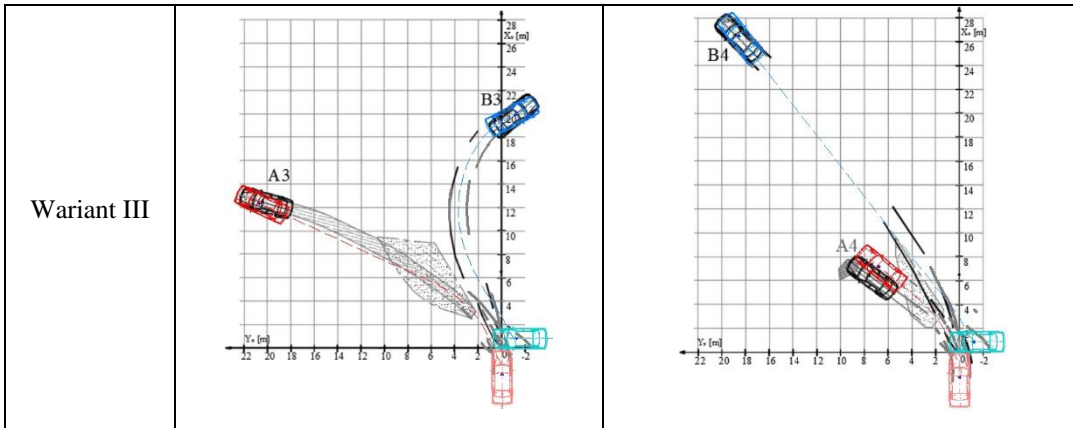
Rys. 6 Porównanie wyników badań eksperymentalnych i symulacyjnych dla testu Z3





Rys. 7 Porównanie wyników badań eksperymentalnych i symulacyjnych dla testu Z4





Rys. 8. Usytuowanie samochodów A i B po zderzeniu oraz ślady pozostawione przez koła na jezdni w czasie eksperymentu badawczego (kolor czarny) oraz w czasie symulacji (kolor czerwony i kolor niebieski) dla trzech wariantów danych wejściowych.

Tabela 3. Porównanie prędkości samochodów zmierzonych podczas eksperymentu oraz wyznaczonych w badaniach symulacyjnych uwzględniających III wariant danych wejściowych.

Próba		Prędkość (eksperyment)	Prędkość (symulacja – III wariant)	Błąd
Z3	Prędkość sam. A przed zderzeniem V_A [m/s]	13,6	16,7	23%
	Prędkość sam. B przed zderzeniem V_B [m/s]	6,8	8,3	22%
Z4	Prędkość sam. A przed zderzeniem V_A [m/s]	13,1	16,7	27%
	Prędkość sam. B przed zderzeniem V_B [m/s]	6,5	8,3	28%

Z wykresów przedstawionych na rys. 6, rys. 7, rys. 8 oraz tabeli 3 wynika co następuje:

- Wyniki symulacji uwzględniającej I wariant danych wejściowych są bardzo zbliżone do wyników uzyskanych w czasie eksperymentu badawczego. Zgodność przebiegów praktycznie wszystkich parametrów ruchu samochodów uzyskano zarówno w czasie ruchu niestatecznego jak i po odzyskaniu sterowności przez samochody. Świadczy to o poprawności modelu pojazdu i modelu ruchu zastosowanych w wykorzystanym programie symulacyjnym. W tym miejscu należy zwrócić uwagę, że rzeczoznawca w praktyce nie ma możliwości przeprowadzenia symulacji zderzenia pojazdów z uwzględnieniem wszystkich danych wykorzystanych w wariantcie I. Zbiór danych o zderzeniu będący w dyspozycji rzeczoznawcy jest bowiem ograniczony i wynika z analizy śladów pozostawionych przez samochody na jezdni, położenia samochodów po wypadku oraz uszkodzeń samochodów. Przy odtwarzaniu rzeczywistych zderzeń samochodów zwykle nie jasne, czy samochody po zderzeniu były hamowały, a jeżeli tak to z jakim opóźnieniem, jaki był przebieg kąta skrętu kół kierowanych oraz jaka była wartość współczynnika przyczepności opon do jezdni. Zmiany wartości wymienione wyżej wielkości w ruchu pozderzeniowym istotnie wpływają na

położenia samochodów po wypadku, a więc pośrednio decydują o wartościach prędkości samochodów wyznaczanych w wyniku prowadzonych symulacji zderzenia samochodów.

- Nieuwzględnienie w symulacji zderzenia samochodów zmian kąta obrotu koła kierownicy w czasie zderzenia i po zderzeniu (II wariant danych wejściowych) spowodowało wystąpienie większych różnic (niż w przypadku wariantu I) w przebiegach większości parametrów ruchu samochodu zarejestrowanych w czasie symulacji i w czasie eksperymentu. Stwierdzenie to dotyczy kąta odchylenia wektora prędkości środka masy, prędkości kątowej i kąta obrotu samochodu wokół osi pionowej, trajektorii środka masy, a w konsekwencji położenia samochodów po zderzeniu. Należy zauważyć, że różnice w przebiegach w/w wielkości zaobserwowano dopiero po odzyskaniu sterowności przez samochody. Zmiany kąta obrotu koła kierownicy nie wpływają natomiast na przebiegi wartości prędkości środka masy samochodu (rys. 6a i rys. 7a).
- Wykorzystanie w symulacji zderzenia samochodów III wariantu danych wejściowych doprowadziło do uzyskania prawie identycznych położenia samochodów po zderzeniu jak w czasie eksperymentu. Przebiegi większości parametrów ruchu samochodów w czasie symulacji i eksperymentu są również porównywalne. Niestety mimo uzyskania dobrej zgodności wyników symulacji z wynikami eksperymentu wyznaczone prędkości samochodów przed zderzeniem są o ok. 25% większe niż prędkości samochodów zmierzone w czasie badań eksperymentalnych.

4. Podsumowanie

W Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie zrealizowano dwa testy zderzeniowe samochodów w ruchu polegające na uderzeniu przodem jednego samochodu w bok drugiego samochodu (w okolice osi przedniej). Wykorzystując program komputerowy V-SIM 4.0 przeprowadzono symulację tych dwóch zderzeń pojazdów wykorzystując trzy zestawy danych wejściowych. Wyniki badań symulacyjnych porównano z wynikami badań eksperymentalnych.

Wprowadzenie do symulacji takich samych jak podczas eksperymentu danych wejściowych (dane techniczne pojazdów, ich prędkości przed zderzeniem, wzajemne usytuowanie samochodów w chwili pierwszego kontaktu, współczynnik przyczepności opon do nawierzchni) oraz odtworzenie pracy układu kierowniczego i hamulcowego w czasie zderzenia i po zderzeniu pozwoliło na uzyskanie dobrej zgodności wyników badań eksperymentalnych i symulacyjnych. Świadczy to o poprawności modelu pojazdu i modelu ruchu zastosowanych w programie V-SIM.

Brak uwzględnienia w symulacji zmian kątów skrętu kół kierowanych pojazdów w czasie ruchu po zderzeniowym prowadzi do innych położenia powypadkowych pojazdów i przebiegów zmian wartości parametrów ruchu pojazdów w stosunku do położenia i przebiegów rzeczywistych.

Wykazano, że w wyniku symulacji można uzyskać identyczne położenia powypadkowe samochodów oraz ślady tarcia kół na jezdni jak w czasie eksperymentu, pomimo zwiększenia prędkości samochodów w chwili zderzenia o około 25%.

Położenie powypadkowe pojazdów zależy od wielu, często trudnych do ustalenia czynników. Dlatego też ustalanie danych wejściowych do symulacji powinno odbywać się z dużą starannością i ostrożnością. Rozwiązanie zadania polegającego na odtworzeniu przebiegu wypadku drogowego może mieć nieskończenie wiele rozwiązań, dlatego nie należy bezkrytycznie podchodzić do wyników symulacji komputerowej. Wprowadzenie nieprawidłowych danych wejściowych może prowadzić do błędnych wyników obliczeń.

Literatura

1. Brach R, Brach M. Vehicle accident analysis and reconstruction methods. SAE International. Warrendale PA 2005.
2. Hugemann W. Unfallrekonstruktion, Band 1, 2. Verlag Autorenteam, Munster 2007.
3. Danner M, Halm J. Technische Analyse von Verkehrsunfallen. Eurotax 1994.
4. Prochowski L, Unarski J, Wach W, Wicher J. Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych (Fundamentals of the reconstruction of road accidents). WKŁ Warszawa, 2014.
5. Wach W. Wiarygodność strukturalna rekonstrukcji wypadków drogowych (Structural reliability of the reconstruction of road accidents). Wydawnictwo IES, Kraków 2015.
6. Dąbrowski F, Gidlewski M. Front and side crash of cars in motion – comparative analysis of experimental and modelling test results. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej. 2015; 4(104).
7. Gidlewski M, Jemioł L. Analiza ruchu samochodów po zderzeniu prostopadłym (Analysis of the motion of motor vehicles after a right-angle collision). Paragraf na Drodze, Numer specjalny, 2015.
8. Gidlewski M, Jemioł L. Badanie zderzeń bocznych samochodów. Prędkości samochodów po zderzeniu (Investigation of side crashes of motor vehicles. Post-crash vehicle velocities). Automotive Safety 9th International Science-Technical Conference, Slovakia 2014.
9. Gidlewski M. Analiza przebiegu i skutków czołowo-bocznego zderzenia samochodów (Analysis of the course and effects of a frontal oblique offset collision of motor vehicles). A commissioned paper, Development of Automotive Engineering and Safety AES PROGRESS, Warsaw 2014,
10. Gidlewski M, Prochowski L, Zielonka K. Analysis of the Influence of Motor Cars' Relative Positions During A Right-Angle Crash on the Dynamic Loads Acting on Car Occupants and the Resulting Injuries. Paper Number 15-0107. 24th ESV International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. Geteborg Szwecja 2015. Available from www.nhtsa.gov/ESV [cited 2016 Sep 7] .
11. Gidlewski M, Prochowski L. Analysis of Motion of the Body of a Motor Car Hit on Its Side by Another Passenger Car. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 148/2016 Paper Number 012039.