

Ryszard LEWKOWICZ, Anna ŁATA, Ryszard ŚCIEGIENKA, Piotr PIĄTKOWSKI

WYBRANE ZAGADNIENIA REKONSTRUKCJI WYPADKÓW KOMUNIKACYJNYCH

Streszczenie

W artykule zasygnalizowane zostały zagadnienia mechaniki ruchu pojazdu samochodowego oraz elementy mechaniki zderzenia ciał. Przedstawiono rodzaje i cechy szczególne wypadków drogowych oraz omówiono metody analityczne oraz zasady działania wybranych programów komputerowych wspomagających proces rekonstrukcji wypadków drogowych.

WSTĘP

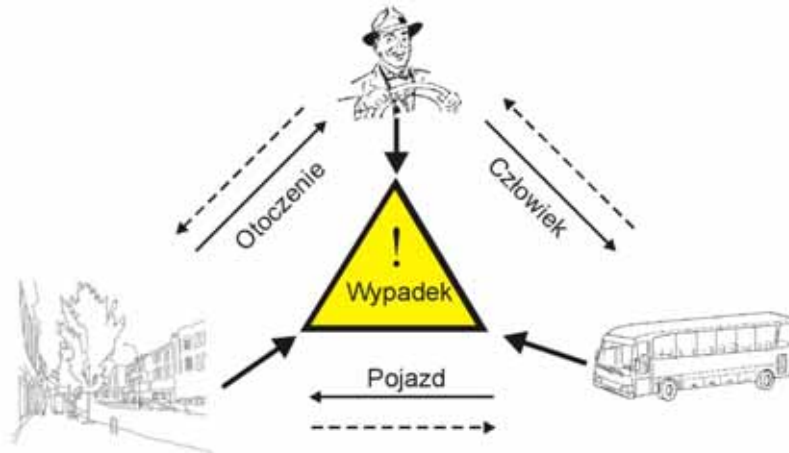
Wypadki komunikacyjne są bardzo poważnym problemem społecznym. Stanowią koszty, jakie społeczeństwo płaci za masowy rozwój motoryzacji. Współcześnie wypadki komunikacyjne zajmują dziewiątą pozycję na liście przyczyn nagłych zgonów. Według statystyk Światowej Organizacji Zdrowia, rocznie na całym świecie w wypadkach drogowych ginie około 1,3 mln osób. Wśród czynników, mających znaczny wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego, na pierwsze miejsce zdecydowanie wysuwa się człowiek. To kierowca podejmuje konkretne decyzje oraz kieruje samochodem na podstawie wielu otrzymanych i przetworzonych przez niego informacji. W określonych warunkach nie nadąza on jednak przetworzyć niezbędnej informacji, pomija ją, lekceważy lub podejmuje decyzję zbyt późno, w rezultacie czego zdarza się wypadek drogowy.

Wraz z rozwojem techniki podejmowano próby opracowania sposobów zrekonstruowania zaistniałych wypadków w celu ustalenia winy lub wspomaganie wiedzy umożliwiającej podjęcie rozwiązań prewencyjnych. Każdy wypadek drogowy to wynik bardzo wielu zmiennych. Jest zjawiskiem niepowtarzalnym, jedynym w swoim rodzaju i w jego rekonstrukcji nie da się zastosować jednego, sztywnego schematu postępowania. Ostatecznym celem rekonstrukcji jest odtworzenie przebiegu wypadku, czyli ruchu obiektów i działania ludzi w czasie. Najczęściej proces ten prowadzi tylko do przybliżonego oszacowania wartości parametrów opisujących ruch obiektów. W procesie rekonstrukcji wypadku drogowego korzysta się z różnych programów komputerowych, które ułatwiają analizę tych problemów.

W artykule zasygnalizowane zostały zagadnienia mechaniki ruchu pojazdu samochodowego oraz elementy mechaniki zderzenia ciał. Przedstawione są rodzaje i cechy szczególne wypadków drogowych. Omówiono metody analityczne oraz zasady działania wybranych programów komputerowych, wspomagających proces rekonstrukcji wypadków drogowych.

1. ELEMENTY TEORII RUCHU POJAZDU SAMOCHODOWEGO

Samochód poruszający się po drodze jest obiektem dynamicznym. Parametry ruchu tego obiektu zależą od działania różnych sił zewnętrznych, które budują określony w przestrzeni układ. Zmiany zachodzące wewnątrz tego układu lub dotyczące kierunku i wartości sił, wymuszają także zmianę parametrów ruchu całego pojazdu, którymi są prędkość i kierunek poruszania się. O tych parametrach decyduje zespół oddziałujących na siebie czynników, ściśle ze sobą powiązanych w systemie: człowiek – pojazd – otoczenie (C – P – O) [6].



Rys. 1. Trójkąt bezpieczeństwa: człowiek – pojazd – otoczenie

Źródło: [6].

- Do tradycyjnie analizowanych elementów teorii ruchu pojazdu samochodowego należą:
- siły i momenty działające na pojazd, a w nich analiza koła jezdnego, sił oporu ruchu i sił napędzania pojazdu,
 - hamowanie, w tym siły działające na pojazd podczas hamowania, przebieg i długość drogi hamowania i zatrzymania,
 - ruch krzywoliniowy, z promieniem skrętu, bocznym znoszeniem ogumienia i jego wpływ na krzywoliniowy ruch pojazdu,
 - zagadnienia nadsterowności i podsterowności pojazdu samochodowego wraz z problemami zarzucania samochodu i osi jezdnych.

W artykule nie będą one omawiane, gdyż są opisane w dostępnej literaturze i znane w środowiskach samochodowych.

2. ELEMENTY MECHANIKI ZDERZENIA

2.1. Podstawowe pojęcia mechaniki zderzenia ciał

Pojęcia dotyczące zderzenia ciał wywodzą się z fizyki i mechaniki klasycznej i dotyczą definicji bryły materialnej, ruchu płaskiego ciała, zasad dynamiki Newtona, sił bezwładności, pędu, krętu i momentów bezwładności ciał materialnych [5]. W artykule również one nie będą omawiane.

Zderzenie jest to krótkotrwałe oddziaływanie (kolizja) dwóch (lub więcej) będących w ruchu ciał, powodujące zmianę ich ruchu. Oddziaływania takie często nazywa się obciążeniami udarowymi. W wyniku zderzenia pojawiają się zawsze odkształcenia lokalne, dlatego ciała, podlegających odkształceniom, nie można traktować jak ciał idealnie sztywnych. Przyjmuje się, że są to ciała quasi-sztywne, doznające jedynie odkształceń lokalnych w obszarze zderzenia, natomiast poza tym obszarem ciało ma cechy ciała sztywnego. Pojawienie się odkształceń lokalnych w czasie wzajemnego zderzenia się ciał, skutkuje inicjacją intensywnej

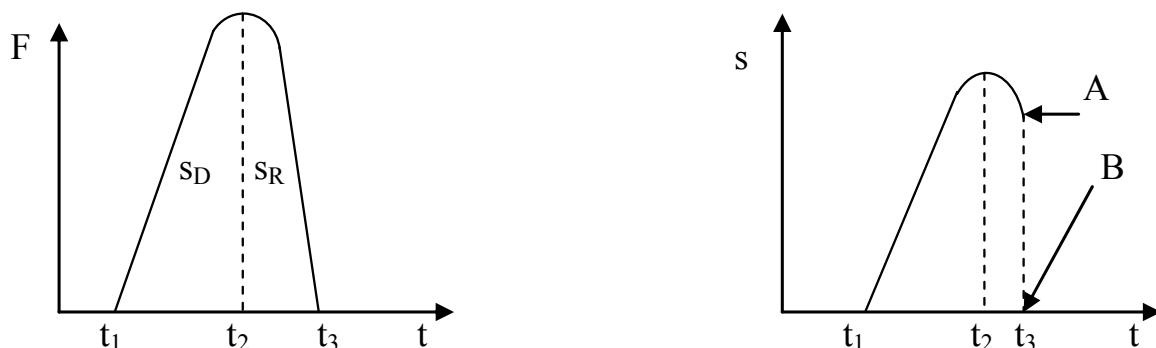
fali naprężeń, która rozprzestrzenia się w całej objętości tych ciał. Temu zjawisku współtowarzyszy dyssypacja (rozproszenia) energii, która zachodzi w każdym rzeczywistym procesie fizycznym i wynika z drugiej zasady termodynamiki.

Z analitycznego punktu widzenia zjawisko to można scharakteryzować przy pomocy nieliniowych równań różniczkowych, przez co rozwiązanie zadania staje się skomplikowane. W rozwiązaniu tego problemu pomocne może być przyjęcie założeń upraszczających. Jeśli odkształcenia lokalne są odkształceniami plastycznymi, to następstwem takiej koncepcji jest niemożność zastosowania do tego ciała, bez innych dodatkowych założeń, zasady zachowania energii mechanicznej. Dzieje się tak dlatego, że część energii ulega rozproszeniu. Natomiast można zastosować zależności, wynikające z drugiej zasady dynamiki Newtona. Jednak i tu pojawiają się pewne trudności, spowodowane skokowymi zmianami wartości sił w bardzo krótkim czasie. Nie można więc posługiwać się pojęciem siły o znanej wartości. Siły takie działają w przedziale czasu dążącym do zera, a ich wartość rośnie do nieskończoności. W związku z tym, w opisie jakichkolwiek zjawisk zderzenia się ciał, stosuje się pojęcie siły impulsowej lub impulsu siły. Impuls opisuje wzajemne oddziaływanie na siebie dwóch ciał, w wyniku którego powstają lokalne odkształcenia, spowodowane obciążeniem udarowym. Obciążenie to może być reprezentowane przez siłę chwilową $\vec{F}(t)$, będącą wypadkową wszystkich sił jednostkowych działających w obszarze odkształceń lokalnych.

Impuls \vec{S} jest określany, jako całka z przebiegu chwilowej siły $\vec{F}(t)$ w przedziale czasu $[t_1, t_2]$:

$$\vec{S} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t) dt$$

co odpowiada wielkości pola pod krzywą w przedziale $[t_1, t_2]$ na rys. 2a.



Rys. 2. Przebieg zmienności siły chwilowej (a) i lokalnego odkształcenia (b): t_1 - t_2 – faza deformacji, t_2 - t_3 – faza restytucji, F – siła chwilowa, S_D – impuls deformacji, S_R – impuls restytucji (odbicia), s – lokalne odkształcenie, A-B – odcinek obrazujący odkształcenie plastyczne

Źródło: [5].

2.2. Energia w układzie zderzających się ciał

Rozpatrując zderzenia ciał, niepoprawne jest stosowanie twierdzeń opartych na równoważności pracy i energii kinetycznej, gdyż wtedy dla ciał quasi-sztywnych nie można obliczyć pracy zużytej na lokalne ich odkształcenie [5]. Zasada zachowania energii nie może być stosowana, gdy zderzenia są niesprężyste. W wyniku zderzenia ciał plastycznych można obliczyć zmniejszenie energii kinetycznej, po wykorzystaniu masy zredukowanej ciał. Do wyznaczenia utraty energii kinetycznej w przypadku zderzenia ciał sprężysto-plastycznych stosuje się twierdzenie Kelvina (wykorzystujące zasadę pędu) i twierdzenie Carnota (wychodzące z utraconych wartości prędkości).

3. CHARAKTERYSTYKA WYPADKÓW DROGOWYCH

Wypadek drogowy jest pewnym cyklem, sekwencją, ściśle zależnych od siebie zdarzeń. Sytuacja ta istnieje w określonym przedziale czasu i na ograniczonym obszarze. Z mechanicznego punktu widzenia wypadek drogowy jest wynikiem skojarzenia pewnej liczby czynników i elementów, które zgodnie z prawami fizyki doprowadziłyby do stanu kolizyjnego, tzn. do sytuacji, w której dalszy ruch choćby jednego z uczestników tej kolizji nie mógł być kontynuowany według uprzednich zamierzeń [5].

W ujęciu prawnym wypadek drogowy jest zdarzeniem, w wyniku którego są ranni i zabici. W ujęciu wynikającym z kodeksu karnego rozdział: Przesłępstwa przeciwko bezpieczeństwu w komunikacji, wypadek drogowy jest zdarzeniem, mającym miejsce w ruchu lądowym, wynikającym z naruszenia obowiązujących zasad bezpieczeństwa, którego skutkiem jest nieumyślne spowodowanie obrażeń ciała, powodujące naruszenie czynności narządu ciała lub rozstrój zdrowia, trwające dłużej niż 7 dni albo śmierć człowieka lub ciężki uszczerbek na jego zdrowiu.

3.1. Etapy i fazy wypadku drogowego

W każdym wypadku samochodowym można wyróżnić podstawowe etapy jego przebiegu [5]:

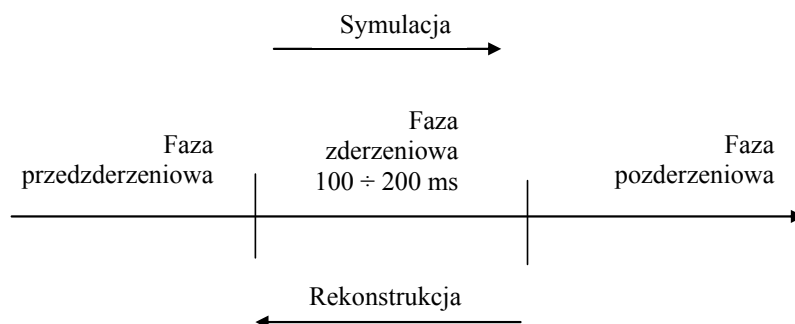
- okres stabilnej sytuacji drogowej – poprzedzający powstanie nadmiernego poziomu zagrożenia, w którym potencjalni uczestnicy wypadku wykonują określone działania niezależnie od siebie,
- początek wzrostu poziomu zagrożenia, w którym co najmniej jeden z uczestników wypadku znalazł się w takim miejscu lub sytuacji, że wykonując dalsze działania, spowodował narastanie poziomu zagrożenia,
- okres od chwili początku wzrostu poziomu zagrożenia do chwili zderzenia, w którym uczestnicy wypadku powinni wykonać odpowiednie manewry obronne, zmierzające do uniknięcia kolizji lub zmniejszenia jej skutków,
- chwila zderzenia, w której następuje bezpośrednie zetknięcie się uczestników wypadku,
- okres po zderzeniu, w którym następuje ustabilizowanie sytuacji drogowej.

4. ANALIZA PROCESU ZDERZENIA POJAZDÓW

Proces analizy przebiegu wypadku drogowego można podzielić na fazy:

- początkową – powstanie sytuacji drogowej, podczas której uczestnicy ruchu drogowego nie mają już możliwości zapobiegnięcia wypadkowi. Trwa od dziesiątych części do kilku sekund, a wydarzenia zachodzą na niewielkim odcinku drogi. We wczesnej fazie początkowej kierowca ma możliwość wykorzystania tych cech pojazdu, które umożliwiają zmniejszenie zagrożenia wypadkowego (wynika to z zastosowania rozwiązań z zakresu czynnego bezpieczeństwa samochodu),
- kulminacyjną – związana jest z działaniem urządzeń technicznych, których zadaniem jest zmniejszanie prawdopodobieństwa powstania poważnych obrażeń uczestników wypadku (urządzenia biernego bezpieczeństwa samochodu),
- końcową – możliwość szybkiej likwidacji następstw wypadku i zapobieganie powstaniu nowych sytuacji wypadkowych (bezpieczeństwo powypadkowe).

Fazy procesu zderzenia (rys. 3) są rozwinięciem przebiegu fazy kulminacyjnej wypadku drogowego. Faza przedzderzeniowa trwa do chwili, w której następuje rozpoczęcie stykania się nadwozi zderzających się pojazdów. Kolejną fazą zderzenia jest ta, która ma swoje zakończenie w momencie, gdy przestaje działać praca odkształcenia nadwozia. Faza ta trwa od 100 do 200 ms. Po fazie zderzenia rozpoczyna się faza pozderzeniowa, w której pojazdy uzyskują swoje położenie spoczynkowe.



Rys. 3. Fazy podczas zderzenia pojazdów

Źródło: [5].

Wśród modeli opisujących zderzenie dwóch pojazdów wyszczególnia się [5]:

- matematyczny model zderzenia dwóch pojazdów,
- macierzowy model zderzenia dwóch pojazdów,
- metody energetyczne analizy zderzeń pojazdów, w których wykorzystywane są: charakterystyki sztywności nadwozia, metoda Campbella, siatki energetyczne, metoda McHenry’ego.

W matematycznym modelu zderzenia dwóch pojazdów [5] zderzenie pojazdów rozpatruje się najczęściej jako płaski ruch brył, który jest złożeniem ruchu postępowego środka masy i obrotu dookoła osi, przechodzącej przez środek masy, prostopadłej do poziomej płaszczyzny ruchu.

W macierzowym modelu matematycznym zderzenia dwóch pojazdów [5], równania pędu i krętu pozwalające obliczyć parametry ruchu pojazdu na końcu fazy zderzenia z innym pojazdem, mogą być przedstawione w postaci równań macierzowych. Taka forma jest bardzo wygodna w obliczeniach, wykonywanych za pomocą maszyn cyfrowych.

Metody energetyczne analizy zderzeń pojazdów [5], umożliwiają poszukiwanie relacji między prędkością pojazdu w chwili rozpoczęcia deformacji nadwozia (początek fazy zderzeniowej) a energią potrzebną do spowodowania tej deformacji. Nazwa „metody energetyczne” wynika stąd, że prędkości zderzających się pojazdów na początku fazy zderzenia wyznacza się na podstawie porównania ich energii kinetycznej z energią (pracą) deformacji (odkształcenia) nadwozia. W prowadzonych obliczeniach wykorzystuje się charakterystykę deformacji nadwozia, przedstawiającą przebieg sił w funkcji jej głębokości.

5. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROCESU REKONSTRUKCJI WYPADKÓW KOMUNIKACYJNYCH

Aktualnie w procesie rekonstrukcji wypadków komunikacyjnych wyróżnia się pięć kluczowych zagadnień, które można rozwiązać przy pomocy programów komputerowych:

- odtworzenie właściwego planu drogi i miejsca zdarzenia,
- symulacja zderzenia pojazdów,
- symulacja ruchu pojazdów,
- wypadek z udziałem pieszych,
- odtworzenie rzeczywistego kształtu śladów na podstawie transformacji fotografii [4].

5.1. Programy rysunkowe

Program Cyborg Idea PLAN

Program PLAN jest przeznaczony do sporządzania planów sytuacyjnych z miejsca wypadku. Program może służyć do gromadzenia informacji o miejscu zdarzenia celem udokumentowania tego zdarzenia, jak również do analizy i ilustrowania przeprowadzanej później rekonstrukcji przebiegu zdarzeń drogowych [7].

5.2. Programy fotogrametryczne

Program PC-Rect

Program PC-Rect (DSD Dr. Steffan Datentechnik, Austria) służy do płaskiej transformacji fotogrametrycznej zdjęć. Umożliwia on fotogrametryczne przekształcenie płaszczyzny odwzorowanej w rzucie środkowym na jej rzut prostokątny. Szczególnie stosuje się go do odtworzenia położenia śladów na podstawie zdjęć z miejsca wypadku. Możliwe jest wykorzystanie następujących metod transformacji: przekształcenia na podstawie odcinków referencyjnych, restytucji koła głębokości oraz procedury mieszanej.

Program PhotoModeler

Oprogramowanie PhotoModeler (Eos Systems, Kanada) służy do trójwymiarowego przekształcania fotogrametrycznego obrazu przestrzeni. Ma swoje zastosowanie w takich dziedzinach jak: architektura, archeologia, wzornictwo, kinematografia, a także w analizie wypadków drogowych. Szczególnie umożliwia transformację położenia śladów z rzutu środkowego na prostokątny, jak również budowanie trójwymiarowych modeli odkształconych pojazdów samochodowych. W tym drugim przypadku wymagane są przynajmniej trzy zdjęcia tego samego obiektu, sporządzone z różnych ujęć, które obejmują te same punkty odniesienia [8].

5.3. Programy kalkulacyjne

Program CRASH3

Oprogramowanie CRASH3 (Computer Reconstruction of Accident Speeds on the Highway, Calspan Corp., USA) umożliwia obliczanie za pomocą metody rekonstrukcyjnej prędkości pojazdów tuż przed zderzeniem. Program przyjmuje następujące założenia:

- ruch odbywa się na płaskiej, poziomej powierzchni o stałym współczynniku przyczepności,
- pomija się reakcje jezdni na koła w chwili zderzenia,
- pomija się poślizg pojazdów po sobie (tzn. tarcie w pełni rozwinięte) w czasie zderzenia, co oznacza, że uwzględniono tylko przypadek, gdy w pewnym momencie trwania fazy zderzenia prędkość obu pojazdów w punkcie przyłożenia siły uderzenia jest identyczna,
- w fazie ruchu pozderzeniowego koła pojazdów pozostają w kontakcie z jezdnią,
- opór kół w ruchu pozderzeniowym jest stały (jest on opisany za pomocą współczynnika oporu ruchu, który przyjmuje wartości od 0 – dla wszystkich kół toczących się swobodnie, do 1 – dla wszystkich kół zablokowanych),
- przednie koła nie są skręcane.

Prędkość liniowa i kątowna w momencie oddzielenia się od siebie pojazdów, czyli tuż po fazie zderzenia, są obliczane na podstawie odległości przebytej w ruchu pozderzeniowym oraz całkowitego kąta obrotu. Wykorzystuje się w tym celu zależności McHenry'ego. Prędkość tuż przed zderzeniem jest określana przy pomocy bilansu energii, w którym to energię deformacji oblicza się na podstawie pomierzonej głębokości odkształcenia pojazdu przy wykorzystaniu współczynników empirycznych A i B. Wartości tych współczynników są dobierane z bazy danych, w której zgromadzone zostały wyniki przeprowadzonych testów zderzeniowych pojazdów porównawczych.

Modelowanie, zastosowane w programie CRASH3, stanowi w mniejszej lub większej części podstawę kilku programów zbudowanych przez inne firmy, spośród których najbardziej znanymi są Rec-Tec, a także polski program RWD – Zderzenie pojazdów [5].

Program Rec-Tec

Program Rec-Tec (Reconstruction Technology, USA) umożliwia wykonanie obliczeń dotyczących takich zagadnień, jak:

- analiza czasowo-przestrzenna,
- mechanika zderzenia z wykorzystaniem zasady pędu,
- prędkość graniczna na łuku,

- prędkość na początku śladów znoszenia na podstawie ich krzywizny,
- zmiana pasa ruchu.

Wyniki obliczeń mogą być przedstawione w formie wykresów, tabel, rysunków oraz animacji płaskich.

Program RWD

W skład oprogramowania RWD (Rekonstrukcja Wypadków Drogowych) wchodzi dwa programy: RWD – Potrącenie pieszego oraz RWD – Zderzenie pojazdów, które powstały w Instytucie Ekspertyz Sądowych w Krakowie.

RWD – Potrącenie pieszego pomaga przeprowadzić analizę czasowo-przestrzenną w formie analitycznej i generuje propozycje różnych możliwości uniknięcia wypadku.

RWD – Zderzenie pojazdów przeprowadza użytkownika poprzez kolejne etapy rekonstrukcji zderzenia pojazdów. W początkowych krokach umożliwia oszacowanie prędkości po rozdzieleniu pojazdów na podstawie pozderzeniowych przemieszczeń i kątów obrotu pojazdów. Prędkość tuż przed zderzeniem może być obliczona przy użyciu zasady zachowania pędu lub bilansu energii z uwzględnieniem zasady zachowania pędu [5].

5.4. Program wspomagający analizę czasowo-przestrzenną TITAN

Najbardziej znanym w Polsce programem służącym do przeprowadzenia obliczeń czasowo-przestrzennych w formie graficznej jest TITAN (Cyborg Idea, Polska), który pozwala w wygodny sposób analizować zdarzenia o znacznym stopniu komplikacji [7]. Wyższość użycia tego programu nad innymi narzędziami analizy czasowo-przestrzennej jest szczególnie widoczna przy wykonywaniu analizy wielowariantowej. TITAN w natychmiastowy sposób pozwala odpowiedzieć na pytania typu: jak wyglądałby przebieg zdarzenia, gdyby pojazd zamiast 95 km/h poruszał się z prędkością 55 km/h? z jaką prędkością początkową musiałby poruszać się pojazd, aby uniknąć zderzenia?

5.5. Programy symulacyjne

Programy symulacyjne są przeznaczone do obliczeń parametrów ruchu pojazdów, pieszych oraz innych obiektów (m.in. toru, prędkości i sił) na podstawie równań ich dynamiki. Pozwalają one także na analizę zderzeń. Do tej grupy programów należą: SMAC, CARAT, V-SIM, PC-Crash.

Program SMAC

Algorytm zderzenia pozwala na wyznaczenie przebiegu czasowego siły uderzenia. Daje to znaczne korzyści w porównaniu z modelem opartym na zasadach pędu i krętu, gdzie obowiązuje uproszczenie, że siła uderzenia działa w czasie zdążającym do zera.

Program CARAT

Program CARAT (ComputerAidedReconstruction of Accidents in Traffic, IBBInformatik, Niemcy) służy do symulacji ruchu i zderzeń pojazdów. Model dynamiki pojazdu w programie CARAT-4 ma dziesięć stopni swobody, w tym sześć stopni swobody nadwozia i po jednym stopniu swobody dla każdego z kół (przemieszczenia pionowe, równoległe do kierunku osi pionowej nadwozia). Kinematyka zawieszek kół została zredukowana do przemieszczeń pionowych. Zastosowano nieliniowy model opony IPG-Tire. Możliwa jest równoczesna symulacja ruchu wielu pojazdów, w tym zespołów pojazdów. Uwzględniono konwencjonalny układ hamulcowy z korektorem sił hamowania, układ przeciwblokujący ABS, układ stabilizacji toru jazdy ESP, a ponadto model kierowcy, który generuje obrót kierownicy, wymagany, aby pojazd poruszał się po żądanej trajektorii ruchu. Zderzenia, występujące podczas ruchu pojazdu, takie jak obrót kierownicy, hamowanie lub przyspieszanie, zadawane są jako funkcje czasu. Na powierzchni, po której poruszają się pojazdy, można definiować obszary o lokalnie zadanej przyczepności oraz nachyleniu.

Program V-SIM

Program V-SIM (Cyborg Idea, Polska) pozwala symulować ruch i zderzenia dowolnej liczby pojazdów ze sobą oraz z elementami środowiska (drzewo, ściana, bariera itp.). Zastosowano model zderzenia Kudlicha-Slibara, którego podstawą są zasady pędu i krętu z uwzględnieniem tarcia pomiędzy pojazdami i hipotezy Newtona. Hipoteza ta wiąże impuls deformacji i impuls restytucji za pomocą współczynnika restytucji.

Program PC-Crash

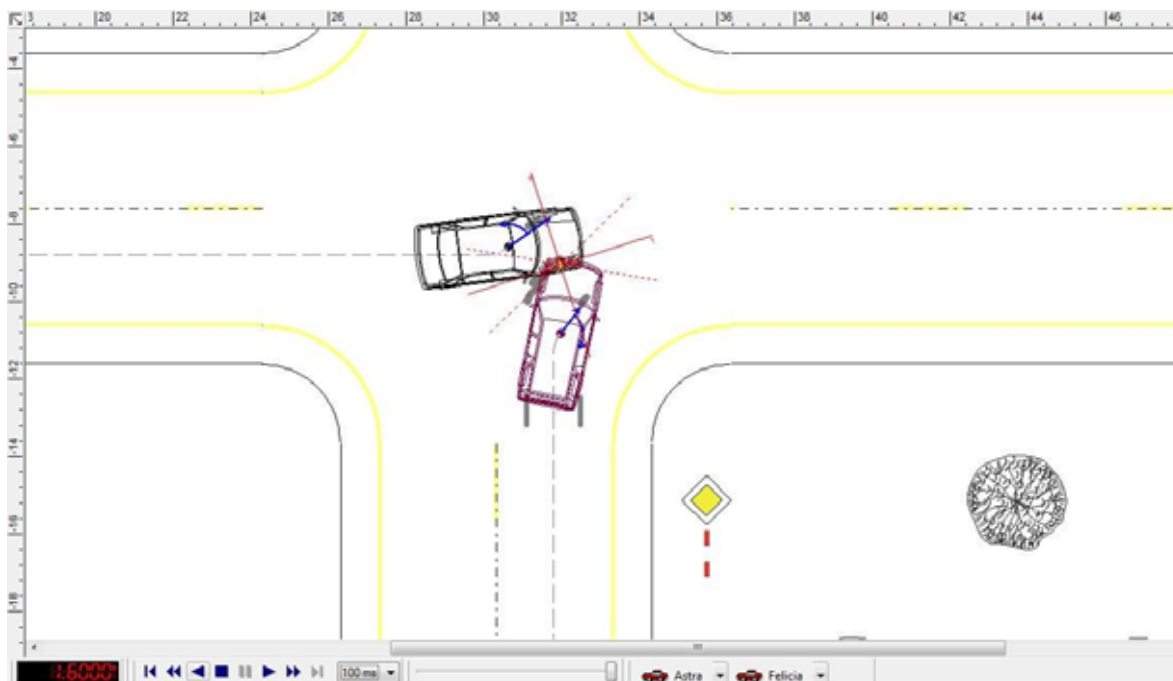
Program PC-Crash (DSD Dr. Steffan Datentechnik, Austria), podobnie jak CARAT i V-SIM służy do symulacji ruchu i zderzeń dowolnej liczby pojazdów. Nadwozie potraktowane jest jako ciało sztywne o sześciu stopniach swobody, przy czym uwzględnione są niezależne ruchy resorowania każdego z kół (wzdłuż osi równoległych do osi pionowej nadwozia). Dodatkowe cztery stopnie swobody są związane z obrotem własnym kół. Na przykładzie programu *PC-Crash* można zaprezentować ogólną postać różniczkowych równań ruchu nadwozia w typowym programie do symulacji wypadków samochodowych. Program PC-Crash dysponuje trzema modelami zderzenia. Model podstawowy bazuje na modelu Kudlicha-Slibara uogólnionym do trzech wymiarów, co oznacza, że impuls siły uderzenia może być zaczepiony na pewnej wysokości i dowolnie skierowany w przestrzeni. Pozwala to np. na symulację podbicia samochodu do góry wskutek uderzenia w betonową, nachyloną barierę. Podstawowy model zderzenia samochodu umożliwia także wykorzystanie metody energetycznej wraz z parametrami *EES*.

W tzw. siłowym modelu zderzenia (sztywnościowym) pojazd jest zamieniany na kilka hiperelipsoid o zróżnicowanych współczynnikach sztywności. Nazwa „model siłowy” pochodzi stąd, że podczas symulacji fazy deformacji pojazdu obliczany jest przebieg siły uderzenia w zależności od czasu. PC-Crash umożliwia także symulację ruchu i zdarzeń tzw. układów wielobryłowych (MBS – Multi-Body Systems). Są to przestrzenne układy mechaniczne o wielu stopniach swobody, zbudowane z pojedynczych brył sztywnych o kształcie hiperelipsoid, powiązanych ze sobą łańcuchy kinematyczne za pomocą przegubów kulistych. Każda hiperelipsoida scharakteryzowana jest za pomocą takich parametrów, jak: dane geometryczne, masa, tensor bezwładności, początkowe prędkości liniowe i kątowe, współczynnik sztywności, współczynniki tarcia o powierzchnię i o podłoże oraz współczynnik restytucji. Model człowieka zbudowany jest z dwudziestu takich elementów.

6. ANALIZA ZDERZENIA DWÓCH POJAZDÓW OSOBOWYCH

Zderzenie dwóch pojazdów osobowych zostało zamodelowane przy pomocy programu symulacyjnego V-SIM.

Dalsza analiza, jak i próba rekonstrukcji zaistniałego wypadku komunikacyjnego, dokonana została przy pomocy kolejnych dwóch programów komputerowych, a mianowicie PLAN 2.0 oraz TITAN, które wraz z V-SIM należą do grupy programów Cyborg Idea. Model rozpatrywanego zderzenia został przedstawiony na rys. 4.

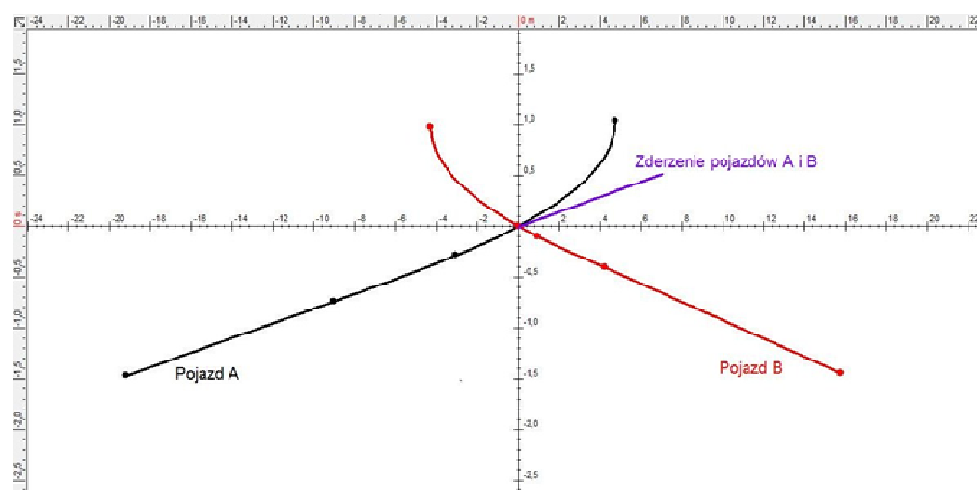


Rys. 4. Model zderzenia w programie V-SIM

Źródło: [3].

Analiza czasowo-przestrzenna modelu zderzenia za pomocą programu TITAN

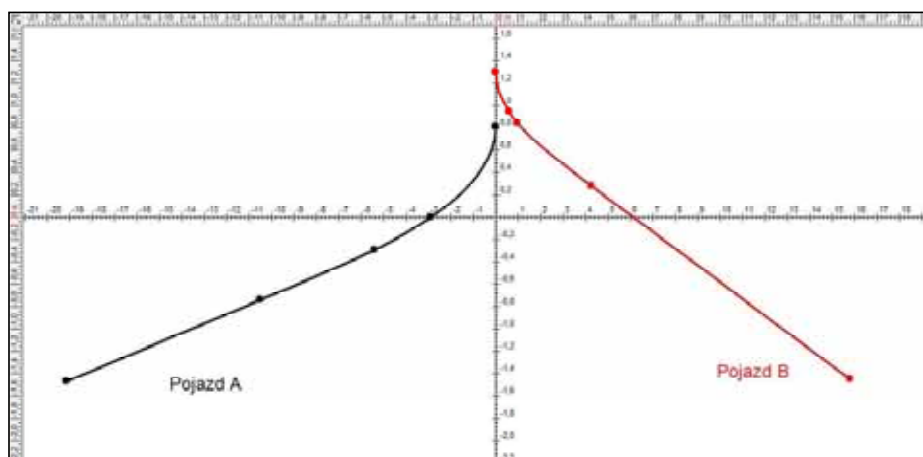
Rezultatem przeprowadzonej analizy czasowo-przestrzennej jest wykres odtwarzający kolejne położenia uczestników wypadku komunikacyjnego w układzie współrzędnych czas-droga. Początek tego układu współrzędnych ukazuje miejsce kolizji. Wykres dla ukazanego wcześniej przykładu zderzenia przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Wykres ukazujący ruch pojazdów A i B w programie TITAN

Źródło: [3].

Gdyby więc pojazd A zamiast z prędkością 50 km/h poruszał się z prędkością 42,9 km/h, a pojazd B zamiast 40 km/h poruszał się z prędkością 24 km/h, udało by się uniknąć zderzenia (pojazdy zdążyłyby wyhamować). Sytuację tę obrazuje wykres ukazany na rys. 6.



Rys. 6. Ruch pojazdów A i B w układzie droga-czas po modyfikacji

Źródło: [3].

6.1. Oszacowanie prędkości pojazdu przed zderzeniem

Z porównania ukazanego w tabeli 1 wynika, że prędkości oszacowane przy pomocy programu TITAN metodą pomiaru śladów hamowania, dało wyniki przybliżone z zadanymi w symulacji zderzenia.

Tab. 1. Porównanie otrzymanych prędkości pojazdów na początku fazy zderzenia analizowanego przykładu

	Prędkość pojazdu A na początku fazy zderzenia	Prędkość pojazdu B na początku fazy zderzenia
	km/h	
Prędkość zasymulowana programem V-SIM	30,2	28,8
Prędkość obliczona za pomocą programu TITAN	34,8	27,3

Źródło: [3].

Większą rozbieżność wyników daje się zauważyć w przypadku obliczenia prędkości pojazdu A, co może być spowodowane zostawieniem przez pojazd A w fazie po zderzeniu słabo widocznych śladów hamowania. Dlatego też prędkość pojazdu A na początku fazy zderzenia jest lekko wyższa niż w rzeczywistości. Natomiast pojazd B pozostawił bardzo widoczne ślady hamowania, co ułatwiło oszacowanie prędkości pojazdu na początku fazy zderzenia.

PODSUMOWANIE

Rekonstrukcja wypadku komunikacyjnego nie jest procesem prostym, lecz złożonym, w którym ma się do czynienia z zagadnieniami prawnymi i technicznymi. Jej najważniejszym zadaniem jest odtworzenie wypadku „od tyłu”, mając do dyspozycji dokładny opis miejsca wypadku, stanu pojazdu (lub pojazdów) po zderzeniu, charakterystykę terenu, na którym wydarzył się incydent oraz obrażeń osób uczestniczących w wypadku. Podejmując się trudu rekonstrukcji wypadku drogowego, należy szczegółowo przeanalizować przebieg zderzenia oraz odtworzenie ruchu pojazdów i zachowania się ludzi w momencie zagrożenia wypadkowego. Jednak jednym z najważniejszych celów procesu rekonstrukcji wypadku jest ustalenie prędkości pojazdu przed zderzeniem. W razie braku urządzeń (np. tachografu) pomocne mogą być ślady hamowania pozostawione przez pojazdy uczestniczące w zdarzeniu. Jednakże nie zawsze są one widoczne, zwłaszcza jeśli pojazd jest wyposażony w system ABS (w tym przypadku ślady są mało wyraźne i w dodatku przerywane), przez co ustalenie interesującej prędkości może być znacznie utrudnione. Istnieje natomiast zależność pomiędzy pracą od-

kształcenia nadwozia a objętością zgniecionej części nadwozia, dlatego też przy obliczaniu prędkości pojazdu w początkowej fazie zderzenia można wykorzystać zjawisko pochłaniania energii podczas odkształcenia nadwozia, a więc zastosować metody energetyczne.

Obecnie w procesie rekonstrukcji wypadku drogowego korzysta się z różnych programów komputerowych, które bardzo ułatwiają analizę konkretnych problemów. Wśród nich znajdują się programy symulacyjne, w tym m.in. Cyborg Idea V-SIM. Należy jednak mieć na uwadze, że wypadek nie przebiega w idealnym torze pomiarowym i z tego też powodu wiele danych obarczonych jest znaczną niepewnością pomiarową (choćby wymiary liniowe oraz kątowe, moment naciśnięcia na pedał hamulca, prędkość ruchu pieszego itd.). Dlatego do wyników obliczeń należy zawsze podchodzić z pewną rezerwą. Przeważnie jest to tylko wielkość oszacowana. O jakości rezultatów rekonstrukcji wypadku komunikacyjnego decyduje przede wszystkim jakość zebranych danych na miejscu zderzenia oraz wiedza i doświadczenie osoby analizującej zaistniałe zdarzenie.

BIBLIOGRAFIA

1. Arczyński R.: *Mechanika ruchu samochodu*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1994.
2. Awrejcewicz J.: *Mechanika*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
3. Łata A.: *Analiza rekonstrukcji wypadków komunikacyjnych według różnych metod i programów*, Praca dyplomowa magisterska (niepublikowana), Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2011.
4. Pawelec K. J.: *Rekonstrukcja wypadku i zderzenia drogowego*, Dom Wydawniczy ABC, Oddział Polskich Wydawnictw Profesjonalnych, Warszawa, 2006.
5. Prochowski L., Unarski J., Wach W., Wicher J.: *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2008.
6. Siłka W.: *Teoria ruchu samochodu*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2002.
7. www.cyborgidea.com.pl.
8. www.photomodeler.com.

THE CHOSEN ISSUES CONNECTED WITH THE RECONSTRUCTION OF TRAFFIC ACCIDENTS

Abstract

The theoretical issues connected with vehicles movement and mechanics of bodies collision were signaled in this article. The types and features of vehicle crashes were presented too. The analytical methods of traffic accidents reconstruction and operation of selected programs, that support of reconstruction process were discussed in this work.

Autorzy:

prof. nadzw. dr hab. inż. **Ryszard Lewkowicz** – Politechnika Koszalińska

mgr inż. **Anna Łata** – Politechnika Koszalińska

dr inż. **Ryszard Ściegienka** – Politechnika Koszalińska

dr inż. **Piotr Piątkowski** – Politechnika Koszalińska