

Piotr FUNDOWICZ¹
Rafał PODSIADŁO²

ZŁOŻONA REKONSTRUKCJA WYPADKU Z UDZIAŁEM KILKU POJAZDÓW

W referacie przedstawiono rekonstrukcję wypadku drogowego, w którym brało udział kilka pojazdów. Zaprezentowano dwuetapową analizę zderzenia. W pierwszej na podstawie odkształceń pojazdów określono wzajemne ich położenie w fazie zderzenia. Następnie na podstawie śladów pozostawionych na miejscu zdarzenia oszacowano ich prędkości. W drugim etapie referatu zamieszczono informacje dotyczące przeprowadzonej symulacji zderzenia przy użyciu programu PC Crash. Przeprowadzona symulacja potwierdziła założenia ustalone w pierwszym etapie pracy.

AN INTRICATE RECONSTRUCTION OF ROAD ACCIDENT AT PARTICIPATION OF SEVERAL VEHICLES

This paper presents the reconstruction of road accident at participation of several vehicles. Two stage analyze of crash has been presented. The first stage defines mutual site of vehicle during collision based on vehicles deformations. Then, speed value was appraised based on trails left on place of event. The second stage presents information regarding to event simulation at use of PC CRASH program. Carried malingering confirmed assumptions settled in first stage of the paper.

1. WSTĘP

Analizując statystyki wypadków drogowych z roku 2009 i 2010 można zauważyć wyraźny spadek liczby wypadków. W zeszłym roku na polskich drogach doszło w sumie do 38 776 wypadków, dla porównania w roku poprzednim doszło do 44 196 wypadków, czyli mniej o 5420. 2010 rok to także spadek liczby osób, które wskutek zdarzeń na drogach poniosły śmierć. W minionym roku zginęło 3902 osób, a w 2009 roku 4572, czyli mniej o 670. Spadła także liczba rannych. W 2010 roku wyniosła ona 48 872, w 2009 roku 56 046 i jest to spadek o 7174. Jeszcze w 2001 roku na polskich drogach doszło do 53 799 wypadków - teraz ta liczba spadła o ponad 15 tys. Warto także zauważyć, że w 1989 roku w Polsce zostało zarejestrowanych ponad 8,5 mln samochodów. Wtedy też doszło do ponad 67 tys. wypadków. Na przestrzeni lat liczba aut poruszających się po Polsce zwiększyła się do ponad 21 milionów, przy czym liczba wypadków spadła do niecałych 39 tys. [3]

¹ Dr inż. Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa, tel: +48 22 234 8545, e-mail:pfundow@simr.pw.edu.pl

² Dr inż. Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki, 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. tel: + 48 48 361-77-51, e-mail: r.podsiadlo@pr.radom.pl

Największe zagrożenie na drogach stanowią nietrzeźwi kierujący pojazdami dwuśladowymi oraz jednośladowymi. Mimo apelów policji, mediów oraz odpowiedzialności karnej, wielu kierujących decyduje się na jazdę pod wpływem alkoholu.

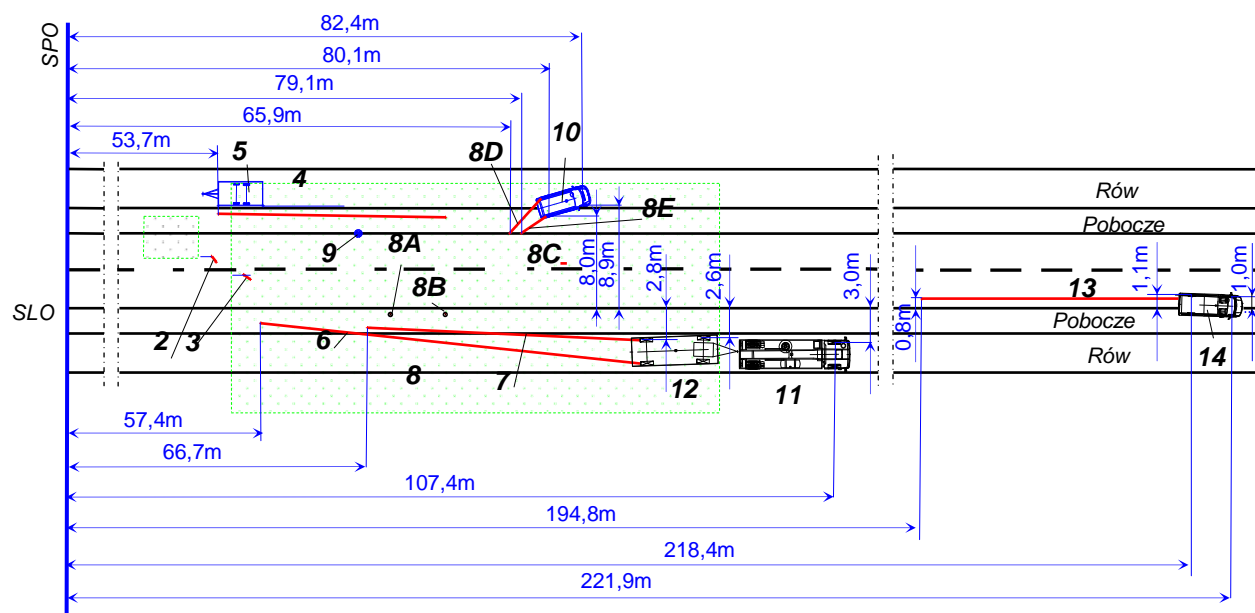
2. MIEJSCE I SPOSÓB POWSTANIA WYPADKU

W wypadku brały udział trzy pojazdy, dwa samochody dostawcze, z których jeden ciągnął przyczepkę dwuosiową, oraz samochodu ciężarowego z przyczepą. Do wypadku doszło na prostym odcinku drogi krajowej. Warunki drogowe podczas zdarzenia były złe, całkowite zachmurzenie, słabe opady deszczu oraz ograniczona widzialność. Jezdnia w miejscu zdarzenia była mokra, po lewej i prawej stronie jezdni znajdowały się pobocza o nawierzchni gruntowej utwardzonej, oraz rów melioracyjny. Jeden z samochodów dostawczych (zwany dalej: pojazd 1), który ciągnął przyczepkę dwuosiową, został uderzony w lewy bok przez jadący z naprzeciwka samochód dostawczy (zwany dalej: pojazd 2). W wyniku tego uderzenia kierujący pojazdem 1, stracił panowanie i wjechał na przeciwległy dla niego pas ruchu. Przyczepka dwuosiowa na skutek uderzenia odcepiła się i wjechała do rowu. Bezpośrednio za pojazdem 2, poruszał się samochód ciężarowy (zwany dalej: pojazd 3) który uderzył swoim przodem w przedni prawy bok pojazdu 1. Siła uderzenia była tak duża, że pojazd 1 obrócił się kilkakrotnie wokół swojej osi, a następnie wypadł poza jezdnię i zatrzymał się na skraju pobocza. W wyniku tego uderzenia na miejscu zginął kierowca i pasażer pojazdu 1.

Ustawienie powypadkowe pojazdów przedstawiono na rysunku 1.

Położenie powypadkowe pojazdu 1 zaznaczono na rysunku 1 jako 10. Na skutek uderzenia obu pojazdów, do którego doszło w pierwszej fazie wypadku (uderzenie narożnikowe), nastąpiło urwanie lewego tylnego koła pojazdu 1 oraz odkształcenie lewej części nadwozia. Ślady rycia oznaczone na rysunku 1 jako 2,3,8c,8d powstały poprzez kontakt części nadwozia pojazdu z nawierzchnią. Jak już wspomniano, kolizja pomiędzy pojazdami 1 i 2 polegała na uderzeniu lewym bokiem pojazdu 2 w prawy bok pojazdu 1. Najprawdopodobniej zmiana toru ruchu pojazdu 2 nastąpiła na skutek zaśnięcia kierującego tym pojazdem.

Uszkodzenie pojazdu 2 polegało na odkształceniu lewej przedniej części nadwozia oraz uszkodzeniu lewego przedniego koła (uszkodzenie opony). Ślad rycia oznaczony na rysunku 1 jako 13 powstał poprzez kontakt obręczy tego pojazdu z jezdnią. Odległość, w jakiej znalazł się ten ślad od miejsca wypadku, może świadczyć o tym, że kierujący pojazdem 2 nie zamierzał zatrzymać pojazdu bezpośrednio po uderzeniu, a najprawdopodobniej podjął próbę ucieczki z miejsca zdarzenia.



Rys. 1. Szkic miejsca zdarzenia. SPO – stała linia odniesienia, SLO – stała linia odniesienia, wzdłuż prawej krawędzi jezdni. 1-pole odłamków szkła, 2, 3, 4 – ślady rycia, 5 – przyczepka, 6 – ślad rycia koła prawego pojazdu 3, 7- ślad rycia koła lewego pojazdu 3, 8 – pole szkieleń i odłamków, 8A – tablica rejestracyjna pojazdu 3, 8B – fragment szyby pojazdu 1, 8C – ślad rycia, 8D – ślad rycia koła lewego pojazdu 1, 8E – ślad rycia koła prawego pojazdu 1, 9 – położenie powypadkowe koła pojazdu 1, 10 – położenie powypadkowe pojazdu 1, 11 – położenie powypadkowe pojazdu 3, 12 – położenie powypadkowe naczepy, 13 – ślad rycia koła lewego (przedniego) pojazdu 2, 14 – położenie powypadkowe pojazdu 2.

W drugiej fazie zdarzenia nastąpiło zderzenie się pojazdu 3 z pojazdem 1. Na podstawie charakteru odkształceń, jakich doznały oba pojazdy, można stwierdzić, że do uderzenia doszło przednią częścią pojazdu 3 w prawy narożnik pojazdu 1. W wyniku tego uderzenia pojazd ten doznał obrotu wokół własnej osi, a następnie został odrzucony na przeciwległe pobocze. Pozycje pojazdów, jakie mogły zajmować w czasie zdarzenia zostaną opisane szerzej w dalszej części referatu.

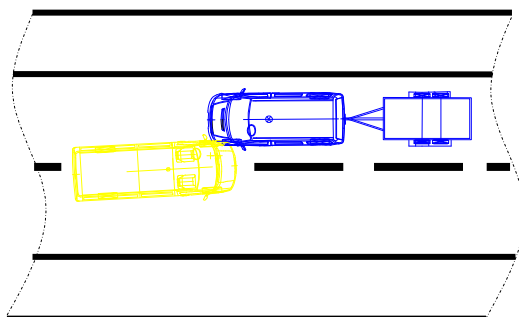
3. NAJBARDZIEJ PRAWDOPODOBNE POZYCJE POJAZDÓW

Najbardziej prawdopodobną pozycję usytuowania pojazdów podczas zderzenia można określić na podstawie charakteru uszkodzeń pojazdów oraz śladów udokumentowanych w miejscu zdarzenia.

W przypadku uderzenia pojazdów 1 i 2, uderzenie nastąpiło na pasie ruchu dla kierunku jazdy pojazdu 1. Pojazd 2 zjeżdżając na przeciwległy pas, uderzył przednim lewym narożnikiem pod niewielkim kątem w jadący z naprzeciwka pojazd 1. Podczas uderzenia

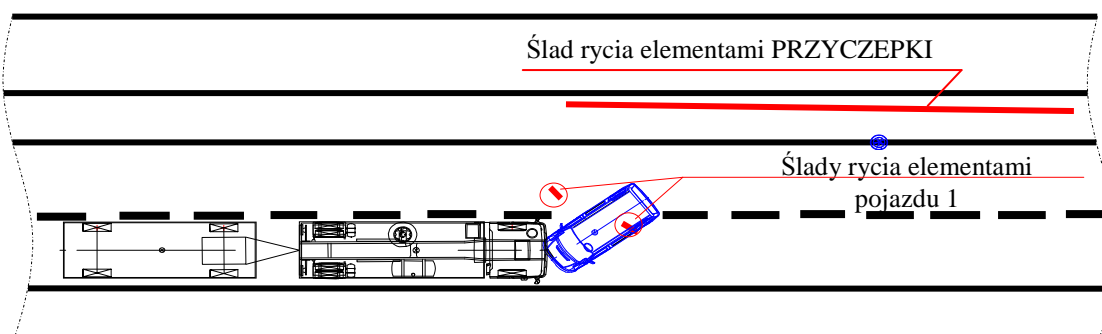
nastąpiło uszkodzenie lewego boku i urwanie koła tylnego lewego pojazdu 1. W pojeździe 2 na skutek uderzenia uległa rozerwaniu opona koła przedniego lewego. Pojazd 2 uderzył również w lewy błotnik i lewe koło przyczepki ciągniętej przez pojazd 1. Charakter i położenie śladów rycia, jakie udokumentowano w miejscu zdarzenia, wskazują na to, że powstały one na skutek tarcia wahacza koła tylnego lewego pojazdu 1 o nawierzchnię jezdni. W przypadku pojazdu 2, ślady rycia znajdują się w pobliżu jego położenia powypadkowego. Powstały one na skutek bezpośredniego kontaktu uszkodzonej obręczy koła z nawierzchnią.

Na rysunku 2 przedstawiono najbardziej prawdopodobną pozycję usytuowania pojazdów 1 i 2 w momencie ich zderzenia.



Rys.2. Najbardziej prawdopodobne usytuowanie pojazdów podczas zderzenia.

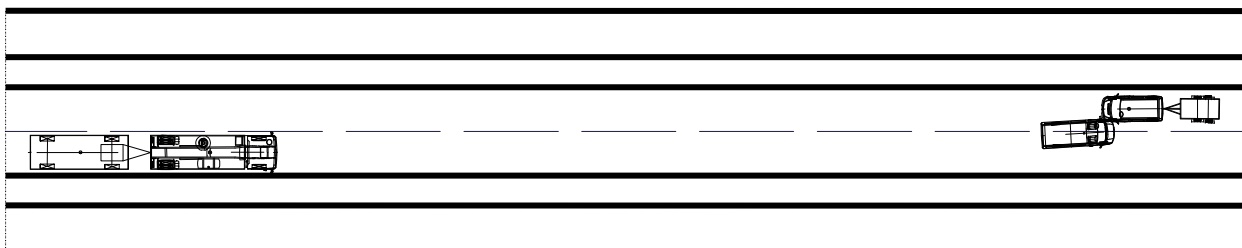
W wyniku zderzenia z pojazdem 2 nastąpił obrót pojazdu 1 w lewo i odczepienie od niego przyczepki. Przyczepka zjechała na prawe pobocze, gdzie wywróciła się na prawy bok. Pojazd 1 zjechał natomiast na lewy pas ruchu, przed nadjeżdżający pojazd 3. Na rysunku 3 przedstawiono najbardziej prawdopodobne usytuowanie pojazdów podczas ich zderzenia.



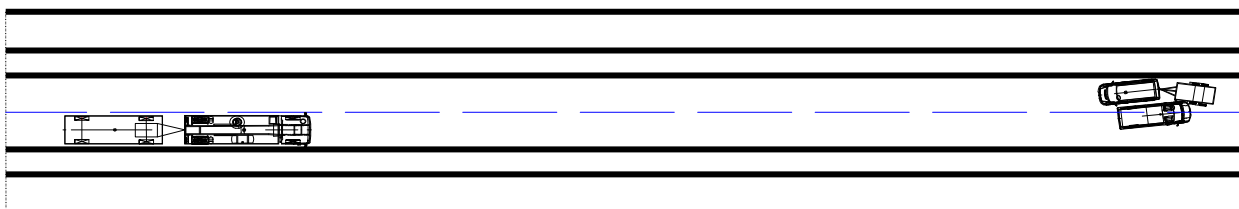
Rys.3. Najbardziej prawdopodobne usytuowanie pojazdów podczas zderzenia.

Najbardziej prawdopodobny przebieg zdarzenia w poszczególnych fazach przedstawiono na rysunku 4.

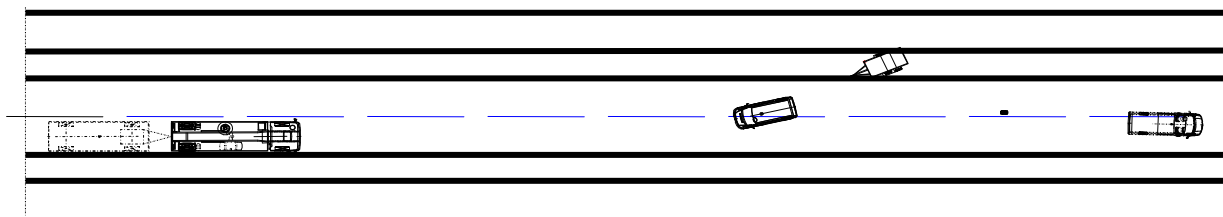
a)



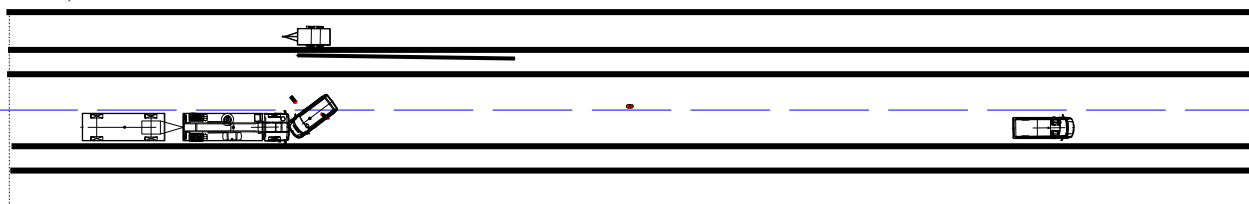
b)



c)



d)



Rys.4. Zdarzenia w poszczególnych fazach , a) zderzenie pojazdów 1 i 2, b) zderzenie pojazdu 2 z przyczepką pojazdu 1, c) Faza pomiędzy zderzeniem pojazdu 1 a pojazdu 3, d) zderzenie pojazdów 1 i 3.

4. PREDKOSCI POJAZDÓW PRZED ZDERZENIEM

Na podstawie śladów udokumentowanych w miejscu zdarzenia można w przybliżeniu określić miejsce zderzenia pojazdów 1 oraz 2. Miejsce to znajdowało się w odległości około 85m za SPO. Wskazują na to ślady rycia nawierzchni pozostawione najprawdopodobniej przez uszkodzony wahacz tylny lewy pojazdu 1.

W miejscu zdarzenia udokumentowano ślady rycia nawierzchni elementami pojazdu 2 rozpoczynające się w odległości 194,8m za SPO. Od tego miejsca pojazd 2 hamował. Zatem na długości

$$S_2 = 221,9\text{m} - 194,8\text{m} = 27,1\text{m}$$

nastąpiła utrata prędkości pojazdu przez tarcie opon o nawierzchnie jezdni. Stąd minimalna prędkość pojazdu na początku śladów hamowania:

$$V_2 = \sqrt{2g\mu S} = 17,1\text{m/s} = 62\text{km/h.}$$

Prędkość, z jaką poruszał się pojazd 3 przed zderzeniem, określono na podstawie analizy zapisu na tarczy tachografu i wynosiła ona $V_3 = 82,5\text{km/h}$.

5. SYMULACJA RUCHU ZDERZENIA W PC-CRASH

Zastosowanie oprogramowania służącego do wspomaganie rekonstrukcji wypadków stało się możliwe dzięki rozwojowi komputerów PC. Pierwsze programy służące do rekonstrukcji wypadków drogowych powstały na przełomie lat 60. i 70. XX wieku. W latach 80. naszego wieku nastąpił dynamiczny rozwój oprogramowania przeznaczonego do rekonstrukcji wypadków drogowych.

Program PC-Crash, jak również szereg innych programów z jego rodziny takich jak V-SIM, V-CRASH, służy do symulacji ruchu i zderzeń dowolnej liczby pojazdów.

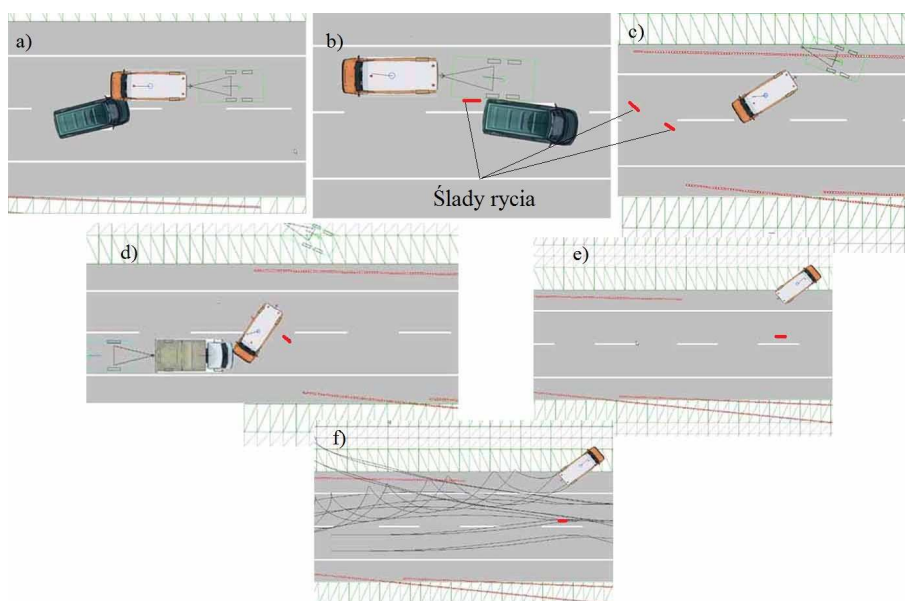
W programie PC-Crash nadwozie pojazdu potraktowane jest jako ciało sztywne o sześciu stopniach swobody, przy czym uwzględnione są niezależne ruchy zawieszenia każdego z kół (wzdłuż osi równoległych do osi pionowej nadwozia). Dodatkowe cztery stopnie swobody są związane z obrotem kół wokół ich osi [1].

Program PC-Crash dysponuje trzema modelami zderzenia. Model podstawowy bazuje na modelu Kudlicha–Silbara 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 umożliwia także wykorzystanie metody energetycznej wraz z parametrami EES [1].

Na podstawie danych dotyczących wypadku drogowego (szkic z miejsca wypadku, odkształcenia pojazdów), przeprowadzono symulacje zderzenia pojazdów. Z bazy danych pojazdów zostały wczytane trzy pojazdy o zbliżonych parametrach do pojazdów, które brały udział w zdarzeniu. Symulacja nie stanowi dokładnego odwzorowania przebiegu

zdarzenia, lecz ma na celu wskazanie możliwości jego przebiegu przy założonych (obliczonych) prędkościach, położeniach względem siebie pojazdów i sekwencjach ich manewrów. Należy pamiętać, że położenia i prędkości pojazdów ustalone przy użyciu programu symulacyjnego nie zawsze ściśle odpowiadają rzeczywistym, ale są najbardziej prawdopodobne, w kontekście zgromadzonego materiału dowodowego, użytego do rekonstrukcji wypadku.

Wykonanie symulacji opisanego przypadku jest złożone, ze względu na ilość obiektów (trzy pojazdy samochodowe i dwie przyczepy, z czego jedna to przyczepa samochodu ciężarowego, a druga – lekka przyczepka dwuosiowa). Dla ułatwienia przeprowadzenia symulacji wyznaczymy trajektorię ruchu pojazdu 2 po uderzeniu przez pojazd 1 i 3. Weźmiemy pod uwagę ślady rycia oznaczone jako 2,3 i 8c rys.1 pozostawione na miejscu wypadku.



Rys. 5. Poszczególne fazy wypadku wykonane w programie PC Crash, a) zderzenie pojazdów 1 i 2, b) ślad rycia, c) utrata stateczności ruchu pojazdu 1 wskutek dozanego uderzenia, d) zderzenie pojazdów 2 i 3, e) położenie powypadkowe pojazdu 1, f) tory ruchu poszczególnych pojazdów.

W referacie nie opisano szczegółowo sposobu przeprowadzenia symulacji (definicje, sekwencje ruchu). Wzięto natomiast pod uwagę prędkości oszacowane na podstawie śladów hamowania pojazdów oraz uszkodzenia kół pojazdów (tarcie suche elementów zawieszenia pojazdów o nawierzchnię). Przeprowadzona symulacja potwierdziła zgodność zajmowanych pozycji pojazdów podczas zderzenia, które zostały opisane w rozdziale 3. Na rysunku 5 przedstawiono kolejne pozycje pojazdów zajmowane podczas symulacji wykonywanej w programie PC-Crash.

Na rysunku 6 przedstawiono przebieg prędkości oraz czasu w zależności od przebytej drogi pojazdu 1. Analizując wykres, możemy zauważyć, że utrata stateczności ruchu pojazdu 1 nastąpiła przy prędkości 70 km/h. Moment zderzenia się pojazdów 1 i 2 oznaczono na wykresie jako „1”. Na skutek utraty stateczności i wykonywania manewru hamowania przez kierującego nastąpił spadek prędkości do około 35 km/h. Następnie pojazd 1 został uderzony przez pojazd 3, co spowodowało obrót pojazdu wokół własnej osi. Moment uderzenia pojazdu 1 przez pojazd 3 oznaczono na wykresie jako „2”. W miejscu tym możemy zauważyć gwałtowny wzrost prędkości pojazdu na skutek uderzenia.



Rys.6. Wykres prędkości i czasu w funkcji przebytej drogi pojazdu 1.

6. WNIOSKI

Większość programów do komputerowej symulacji zdarzenia drogowego działa według podobnej zasady jak program PC-Crash. Na podstawie początkowych parametrów ruchu pojazdu i ich położenia iteracyjnie oblicza się w kolejnych odcinkach czasowych przyspieszenie, a następnie prędkość i położenie obiektów symulacji (tj. pojazdów). Uwzględnia się przy tym sekwencję działań kierującego i działanie czynników zewnętrznych oraz wpływ ewentualnych niesprawności pojazdu. Osoba, która wykonuje rekonstrukcję z użyciem takiego oprogramowania, musi znaleźć takie ustawienie początkowe pojazdów, ich prędkości, sekwencję działań kierujących itp., aby położenie końcowe, bądź też i pośrednie położenia pojazdów, ewentualne ślady na nawierzchni, były zgodne z udokumentowanymi na miejscu zdarzenia. Ustalenie tych danych nie jest dowodem na to, że zdarzenie odbyło się tak, jak na to wskazuje symulacja, a jedynie na to, że zdarzenie o udokumentowanych skutkach mogło mieć miejsce.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Prochowski L, Unarski J, Wach W, Wicher J.: *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*, Warszawa, WKŁ 2008.
- [2] <http://radom.naszemiasto.pl/arttykul/742602,w-2010-roku-zmniejszyla-sie-liczba-ofiar-wypadkow-drogowych,id,t.html>