

JAWORSKI Artur, KUSZEWSKI Hubert, LEJDA Kazimierz, USTRZYCKI Adam,
WOŚ Paweł

SYMULACJA RUCHU POJAZDU JAKO NARZĘDZIE WSPOMAGAJĄCE AUDYT BRD

Streszczenie

W artykule przedstawiono propozycję zastosowania narzędzia symulacyjnego ruchu pojazdu do wspomagania audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Szczególnie ważne są audyty realizowane na wczesnych etapach nowych projektów infrastruktury drogowej, z uwagi na względnie niskie koszty ewentualnych zalecanych zmian dotyczących poprawy bezpieczeństwa. Brak rzeczywistej drogi (a w związku z tym jej szczegółowego przebiegu) utrudnia przeprowadzenie tych etapów audytu, które związane są z analizą oddziaływania przebiegu drogi oraz obiektów infrastruktury drogowej na ruch pojazdów. Jako narzędzie symulacyjne do wspomagania audytu BRD w opracowaniu zastosowano program PC-Crash.

WSTĘP

Bezpieczeństwo na drogach jest kwestią priorytetową, co znalazło odzwierciedlenie w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/96/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej [1]. Zgodnie z wymienioną Dyrektywą nakazuje się przeprowadzanie audytów BRD i oceny wpływu na BRD dla nowo projektowanych dróg transeuropejskiej sieci TEN-T. Jako pierwsza, działania mające na celu uzyskanie zgodności z wymaganiami Dyrektywy podjęła Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Mianowicie, dokonała ona nowelizacji wewnętrznych przepisów zarządczych i wykonawczych poprzez [4]:

- wprowadzenie Zarządzenia nr 17 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 11.05.2009 r. w sprawie stadiów i składu dokumentacji projektowej dla dróg i mostów w fazie przygotowania zadań, uwzględniające przeprowadzanie Ocen BRD i Audytów BRD wraz z obszernym, szczegółowym załącznikiem – instrukcją;
- wprowadzenie Zarządzenie nr 42 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 03.09.2009 r. w sprawie oceny wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego oraz audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego projektów infrastruktury drogowej wraz z załącznikami, tj.:
- szczegółową instrukcją dla audytorów bezpieczeństwa ruchu drogowego - Załącznik 1 w trzech częściach: cz.1 – „Ocena wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego”, cz.2 – „Audyt bezpieczeństwa ruchu drogowego” oraz cz.3 – „Metoda oceny wpływu projektów infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu drogowego” – załącznik A;
- wzorem upoważnienia do wykonywania zadań audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego w Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad – Załącznik 2;
- wzorem pieczętki audytora bezpieczeństwa ruchu drogowego upoważnionego do wykonywania zadań audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego w strukturach GDDKiA.

Wytyczne dla przeprowadzenia audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego zawiera Ustawa z dnia 13 kwietnia 2012 r. o zmianie ustawy o drogach publicznych oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. z 2007 nr 19 poz. 115 z późn. zmianami), zgodnie z którą audyt bezpieczeństwa ruchu drogowego przeprowadza się w czterech zasadniczych przypadkach:

- w ramach opracowywania na potrzeby decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach karty informacyjnej przedsięwzięcia lub raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko, ich ewentualnego uzupełniania oraz, gdy w toku postępowania w sprawie wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach wyniknie potrzeba przedstawienia nowego wariantu drogi;
- przed wszczęciem postępowania w sprawie wydania decyzji o zezwoleniu na realizację inwestycji drogowej, decyzji o pozwoleniu na budowę albo przed zgłoszeniem wykonywania robót;
- przed wszczęciem postępowania w sprawie wydania decyzji o pozwoleniu na użytkowanie drogi lub zawiadomieniem o zakończeniu budowy lub przebudowy drogi;
- przed upływem 12 miesięcy od dnia oddania drogi do użytkowania.

Przy przeprowadzaniu audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego, w ramach opracowywania na potrzeby decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach karty informacyjnej przedsięwzięcia lub raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko, uwzględnia się w szczególności [6]:

- położenie geograficzne oraz warunki geograficzne, klimatyczne i meteorologiczne;
- lokalizację i rodzaj skrzyżowań;
- ograniczenia ruchu;
- funkcjonalność w ramach sieci drogowej;
- dopuszczalną oraz projektową prędkość pojazdu;
- przekrój poprzeczny, w tym liczbę i szerokość pasów ruchu;
- plan sytuacyjny i profil podłużny;
- ograniczenia widoczności;
- dostępność dla środków publicznego transportu zbiorowego;
- skrzyżowania z liniami kolejowymi;
- projektowane przejścia dla zwierząt i inne urządzenia ochrony środowiska.

Przeprowadzanie audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego, przed wszczęciem postępowania w sprawie wydania decyzji o zezwoleniu na realizację inwestycji drogowej, decyzji o pozwoleniu na budowę albo przed zgłoszeniem wykonywania robót, wymaga zwrócenia uwagi na [6]:

- oznakowanie pionowe i poziome drogi, na podstawie projektu organizacji ruchu;
- oświetlenie drogi i skrzyżowań;
- urządzenia i obiekty znajdujące się w pasie drogowym;
- sposób zagospodarowania terenów przyległych do pasa drogowego, w tym roślinności;
- uczestników ruchu drogowego oraz ich potrzeby w zakresie bezpiecznych stref parkingowych;
- sposób dostosowania urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego do potrzeb uczestników ruchu drogowego.

Podczas przeprowadzania audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego, przed wszczęciem postępowania w sprawie wydania decyzji o pozwoleniu na użytkowanie drogi lub zawiadomieniem o zakończeniu budowy lub przebudowy drogi, należy zwrócić szczególną uwagę na [6]:

- bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego i widoczność w różnych warunkach pogodowych oraz porach dnia;

- widoczność oznakowania pionowego i poziomego drogi na podstawie wizji lokalnej w terenie;
- stan nawierzchni drogi.

Podczas przeprowadzania audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego, w początkowej fazie użytkowania drogi, należy uwzględnić ocenę zachowań uczestników ruchu drogowego i wpływ tych zachowań na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Dokonując audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego, uwzględnia się także w razie potrzeby kryteria stosowane przy przeprowadzaniu audytu na etapach wcześniejszych.

Sposób realizacji procedury audytu bezpieczeństwa ruchu zależy od rodzaju projektu (budowa, przebudowa, rozbudowa drogi lub innego obiektu drogowego), jego lokalizacji (poza terenem zabudowy, na terenie zabudowy) oraz od stadium dokumentacji bądź stadium realizacji projektu (przygotowania do otwarcia obiektu, początkowa faza użytkowania drogi). Najwięcej usterek i istotnych błędów w zakresie rozwiązań geometrycznych należy zidentyfikować we wczesnych stadiach planowania i projektowania. Błędy i usterek wykryte w tych stadiach można usunąć stosunkowo niewielkim kosztem, a także bez nadmiernego wydłużania procesu projektowania. Wykorzystanie na wczesnym etapie audytu programu umożliwiającego symulację ruchu pojazdu, może dodatkowo zmniejszyć ryzyko związane z niedostatecznym uwzględnieniem oddziaływań geometrii drogi i jej stanu nawierzchni na zachowanie się pojazdu. Na tym etapie istotne jest np. określenie granicznej bezpiecznej prędkości jazdy, co jest możliwe do zweryfikowania jedynie przy użyciu programu symulacyjnego. Uwzględniając powyższe, zaproponowano użycie programu symulacyjnego PC-Crash do określenia dynamiki ruchu pojazdu na krytycznych odcinkach drogi. Dodatkowo przedstawiono możliwości programu w zakresie wizualizacji drogi i jej infrastruktury.

1. CHARAKTERYSTYKA PROGRAMU SYMULACYJNEGO

PC-Crash jest program służącym do symulacji wypadków drogowych [3,5]. Został opracowany przede wszystkim do wspomaganie obliczeń związanych z rekonstrukcją wypadków drogowych, jednakże wykorzystywany jest szeroko przez ośrodki naukowo-badawcze i przemysł samochodowy również do analizy dynamiki ruchu pojazdów. W szczególności umożliwia symulację ruchu i zderzeń pojazdów między sobą, z obiektami środowiska (np. drzewem, barierą drogową), obiektami biomechanicznymi (potrącenia pieszych) oraz zderzeń z pojazdami jednośladowymi.

Program posiada szereg modułów: obszerną bibliotekę pojazdów oraz obiektów infrastruktury drogowej, modele dynamiki pojazdów, modele zderzeń i układów wielobryłowych oraz procedury trójwymiarowej animacji.

Z punktu widzenia audytu BRD, cenną funkcjonalnością programu jest możliwość zamodelowania projektowanego odcinka drogi, skrzyżowania itp. oraz przeprowadzenie symulacji ruchu różnymi pojazdami (samochodem osobowym, ciężarowym, autobusem, zestawem pojazdów, pojazdem członowym itd.) po tym odcinku w różnych warunkach drogowych (przy różnych współczynnikach przyczepności), przy uwzględnieniu różnych miejsc obserwacji sytuacji na drodze (np. z zewnątrz, z miejsca kierowcy). Audytor może dzięki temu np. ocenić poprawność przyjętych parametrów projektowanej drogi: prędkości projektowych, geometrii drogi (krętości, niwelety), usytuowania zieleni, oznakowania poziomego i pionowego itp.

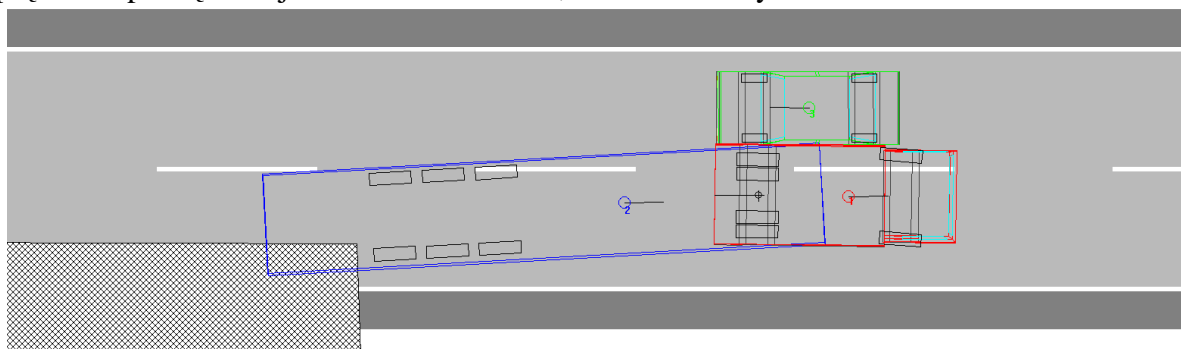
Przy przeprowadzaniu audytu na drodze istniejącej, na szczególną uwagę zasługuje możliwość oceny zachowania się pojazdów w różnych warunkach drogowych.

2. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA SYMULACJI RUCHU POJAZDÓW

Przedstawiony w przykładzie problem dotyczy symulacji ruchu samochodów na odcinku drogi, na którym występuje możliwość lokalnego ograniczenia przyczepności (np. w pobliżu zbiornika wodnego), przy jednoczesnym zagrożeniu koniecznością gwałtownego hamowania. W opisywanym przykładzie, dokonano oceny bezpiecznej prędkości jazdy w niekorzystnych warunkach, przy których mogłoby dojść do zarzucenia pojazdu członowego na drodze jednojezdniowej z dwoma pasami ruchu, co z kolei mogłoby skutkować wypadkiem. Symulacja pozwala ocenić zachowanie pojazdów podczas manewru hamowania w warunkach śliskiej jezdni w zależności od prędkości początkowej. W wyniku analizy symulacyjnej określono największą bezpieczną prędkość, z którą w tych warunkach mogłoby się poruszać pojazd członowy.

Stan nawierzchni przyjęto jako nierównomierny (współczynniki przyczepności pod kołami z prawej strony pojazdu członowego wynosiły 0,1, natomiast pod kołami z lewej strony 0,8. W efekcie pojazd hamował w sytuacji typu „ μ - split”, z aktywnym systemem przeciwblokującym ABS. Metodą kolejnych symulacji, które rozpoczęto od prędkości początkowych pojazdów wynoszących 90 km/h, przy której dochodziło do zderzenia samochodów, zmniejszano prędkość do wartości 50 km. Dopiero obniżenie prędkości do 50 km/h zapewniało bezkolizyjne wymijanie się pojazdów.

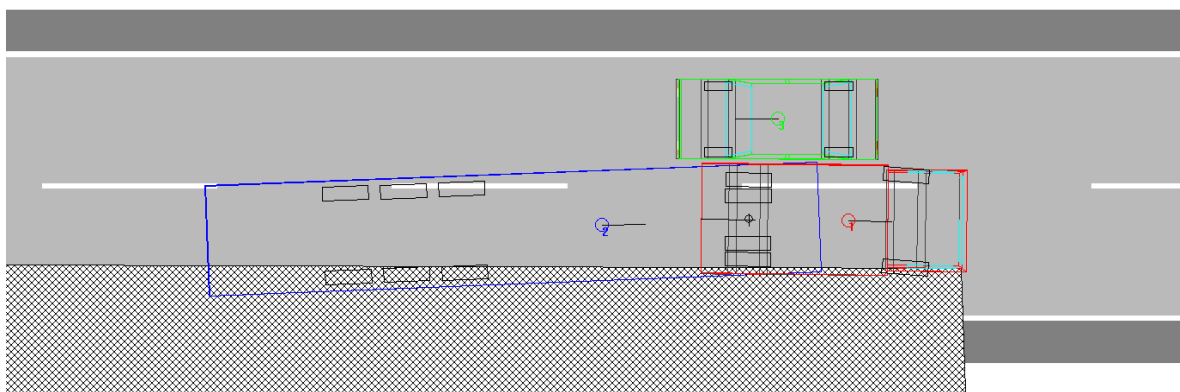
Na rys. 1-4 zobrazowano przykładowe widoki okien programu przedstawiające wzajemne usytuowanie wymijających się pojazdów. Na rys. 1 i 2 przedstawiono przypadek dla prędkości początkowej hamowania 90 km/h, natomiast na rys. 3 i 4 50 km/h.



Rys. 1. Manewr wymijania z hamowaniem pojazdu członowego, od prędkości początkowej 90 km/h



Rys. 2. Widok wirtualnej drogi w sytuacji wymijania z hamowaniem pojazdu członowego, od prędkości początkowej 90 km/h



Rys. 3. Manewr wymijania z hamowaniem pojazdu członowego, od prędkości początkowej 50 km/h



Rys. 4. Widok wirtualnej drogi w sytuacji wymijania z hamowaniem pojazdu członowego, od prędkości początkowej 50 km/h

Przedstawiony przykład lokalnego ograniczenia przyczepności pozwala na ustalenie bezpiecznej prędkości 50 km/h w warunkach miejscowego obniżenia przyczepności, w miejscu, w którym ze względu na uwarunkowania drogowe (możliwość wtargnięcia zwierząt, pieszych, wyjazd pojazdu z drogi gruntowej, posesji itp.) może być wymagane podjęcie manewru gwałtownego hamowania. Stałe ograniczenie prędkości do 50 km/h w takim przypadku nie ma uzasadnienia, ponieważ w warunkach dobrej przyczepności manewr nawet gwałtownego hamowania przy prędkości 90 km/h nie spowoduje zarzucenia pojazdu i jego zjazdu na przeciwległy pas ruchu. W takim przypadku uzasadnienie może mieć znak zmiennej treści, który byłby uaktywniany w określonych warunkach meteorologicznych.

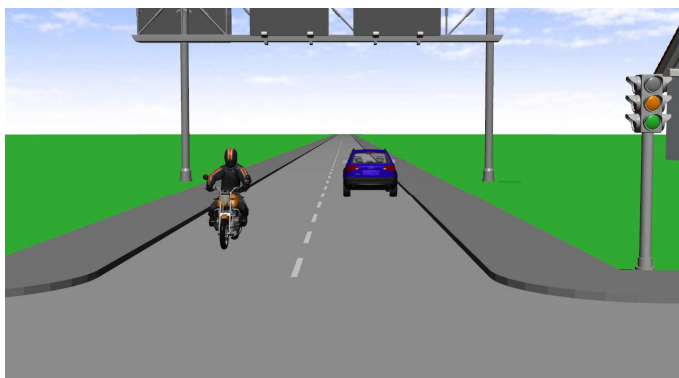
3. PRZYKŁAD WIZUALIZACJI OTOCZENIA DROGI

Podczas audytu BRD jednym z kluczowych zagadnień jest ocena oddziaływania obiektów infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Związane jest to m.in. z widocznością innych uczestników ruchu oraz znaków i sygnałów drogowych.

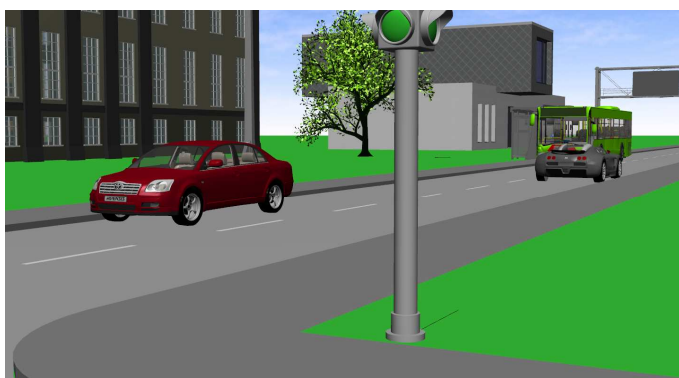
Implementacja drogi oraz obiektów infrastruktury drogowej, a także przykładowych uczestników ruchu do programu daje możliwość oceny widoczności wybranych elementów zarówno z pozycji kierowcy, jak i innych użytkowników drogi. Ma to szczególne znaczenie w przypadku audytu drogi na etapie jej projektu.



Rys. 5. Widok ogólny skrzyżowania wraz z otoczeniem drogi utworzony w programie PC-Crash



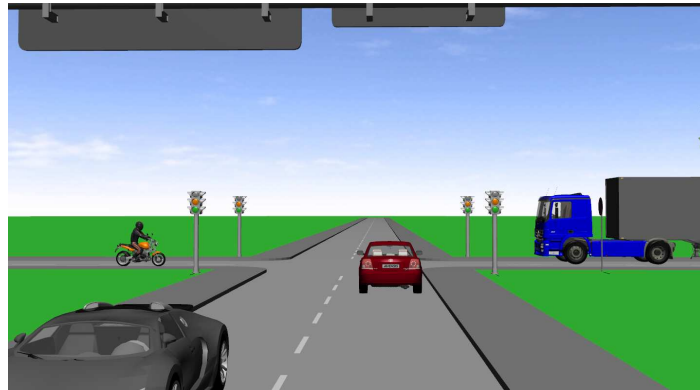
Rys. 6. Widok skrzyżowania wraz z otoczeniem drogi utworzony w programie PC-Crash, z pozycji kierowcy pojazdu członowego



Rys. 7. Widok skrzyżowania wraz z otoczeniem drogi utworzony w programie PC-Crash, z pozycji kierowcy motocykla



Rys. 8. Widok skrzyżowania wraz z otoczeniem drogi utworzony w programie PC-Crash, z pozycji kierowcy samochodu osobowego Toyota



Rys. 9. Widok skrzyżowania wraz z otoczeniem drogi utworzony w programie PC-Crash, z pozycji kierowcy autobusu miejskiego



Rys. 10. Widok skrzyżowania wraz z otoczeniem drogi utworzony w programie PC-Crash, z pozycji kierowcy samochodu sportowego



Rys. 11. Widok skrzyżowania wraz z otoczeniem drogi utworzony w programie PC-Crash, z pozycji pieszego

W środowisku programu PC-Crash, dzięki rozbudowanej bazie obiektów trójwymiarowych, możliwe jest przeprowadzenie wizualizacji 3D dowolnego rozmieszczenia elementów infrastruktury drogowej, które następnie mogą być oceniane w aspekcie BRD, z perspektywy kierowcy (audytora) poruszającego się wirtualnego pojazdu. Symulacja ruchu pojazdu w tak przygotowanej scenerii trójwymiarowej, odzwierciedlającej przebieg ocenianego odcinka drogi, umożliwi zwrócenie uwagi na te elementy infrastruktury drogowej, które mogą stwarzać np. potencjalne niebezpieczeństwo ograniczenia widoczności.

Na rys. 5 przedstawiono trójwymiarową wizualizację przykładowego rozmieszczenia wybranych elementów infrastruktury drogowej w obrębie skrzyżowania. W wizualizacji uwzględniono różnych uczestników ruchu, a następnie wygenerowano widoki w wybranych

kierunkach, z ich perspektywy (rys. 6-11). Przykładowo na rys. 7 widać umieszczenie tablicy informacyjnej na konstrukcji wsporczej bramowej. Tablica umieszczona po lewej stronie, patrząc z perspektywy kierowcy samochodu sportowego (rys. 10), jest częściowo zasłonięta przez stojący na przystanku autobus. Należałoby zatem dokonać zmiany, polegającej na odsunięciu przystanku autobusowego od tablicy informacyjnej (np. przesunięciu konstrukcji wsporczej bramowej dalej od skrzyżowania).

PODSUMOWANIE

Przedstawiona w artykule propozycja użycia programu symulacyjnego PC-Crash do wspomagania audytu BRD jest korzystna, w szczególności w odniesieniu do problematycznych odcinków drogi ujawnionych podczas prowadzenia audytu. Program umożliwia, podobnie do symulatora jazdy, sporządzanie wizualizacji drogi wraz z elementami infrastruktury.

Audytor przeprowadzając ocenę, zwykle odnosi wyniki obserwacji do aktualnych warunków występujących podczas audytu. Szczególnie przydatne może być zatem przeprowadzenie symulacji ruchu pojazdów oraz niechronionych użytkowników drogi, z uwzględnieniem różnych warunków drogowych.

Podczas audytu utrudniona jest także możliwość przeprowadzania analiz dotyczących widoczności na drodze innych użytkowników przez kierowcę-audytora, który według zaleceń [2], powinien przeprowadzić audyt z pozycji kierowcy pojazdów różnych typów, a także pieszego. Bez użycia narzędzi symulacyjnych taka analiza nie jest możliwa na etapie projektu drogi i niezwykle kłopotliwa do przeprowadzenia na drodze istniejącej.

Dodatkową zaletą proponowanego oprogramowania jest możliwość analizy dynamiki ruchu pojazdów w aspekcie ich kolizyjności.

BIBLIOGRAFIA

1. *Dyrektywa 2008/96/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej*. Dziennik Urzędowy UE L 319/59 z dnia 29 listopada 2008 r.
2. *Instrukcja dla audytorów bezpieczeństwa ruchu drogowego część II*, Załącznik nr 1 do Zarządzenia nr 42 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 3/09/2009 roku w sprawie oceny wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego oraz audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego projektów infrastruktury drogowej. Warszawa 2009;
3. Prochowski L., Unarski J., Wach W., Wicher J., *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. WKiŁ, Warszawa 2008.
4. *Sprawozdanie z Zadania nr 1 projektu pn. „Innowacyjny zestaw metod i narzędzi do badania infrastruktury drogowej w aspekcie BRD”*. Projekt Nr PBS1/B6/9/2012 realizowany w latach 2012-2015 w ramach Programu Badań Stosowanych przez Instytut Transportu Samochodowego (lider projektu), firmę Neuro Device Group Sp. z o.o., Wojskowy Instytutem Medycyny Lotniczej, ODIUT Automex Sp. z o.o. oraz Politechnikę Rzeszowską. Warszawa 2013, (praca niepublikowana).
5. Wach W., *Symulacja wypadków drogowych w programie PC-Crash*. Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków 2009.
6. *Zarządzenia nr 42 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 3/09/2009 roku w sprawie oceny wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego oraz audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego projektów infrastruktury drogowej*. GDDKiA, Warszawa 2009.

SIMULATION OF VEHICLE MOTION AS A TOOL FOR ROAD SAFETY AUDIT

Abstract

The paper presents the proposition of usage a car motion simulation program to execute an audit of road safety. Especially, there are important audits which in the initial phases of the new road infrastructure project are realized. It is important due to reduce costs of potential changes which are recommended to improve of road safety. Lack of real road (and therefore it detailed course) makes difficult realization these phase of audit, which are related to the analysis of the impact of the road and road infrastructure to the vehicles movement. In this work as a simulation tool supporting the road safety audit PC-Crash software was used.

Powyższa praca została zrealizowana w ramach projektu EYEVID finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (umowa nr PBS1/B6/9/2012).

Autorzy:

dr inż. Artur Jaworski, dr inż. Hubert Kuszewski, prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda, dr inż. Adam Ustrzycki, dr inż. Paweł Woś – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Silników Spalinowych i Transportu.