

OCENA TESTÓW DIAGNOSTYCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM MODELI DYNAMIKI I RUCHU POJAZDÓW

Zbigniew LOZIA

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
tel./fax 8490321, e-mail: lozia@it.pw.edu.pl

Streszczenie

Referat przedstawia przykład zastosowania modeli symulacyjnych dynamiki i ruchu pojazdów w pracach prowadzących do oceny i optymalizacji testów diagnostycznych.

Słowa kluczowe: diagnostyka, testy diagnostyczne, modelowanie, ruch i dynamika pojazdu

ASSESSMENT OF DIAGNOSTIC TESTS BASING ON VEHICLE DYNAMICS AND MOTION MODELS

Summary

The paper presents exemplary application of vehicle dynamics and motion models. The purpose of mentioned application is to assess and to optimize diagnostic tests of wheeled road vehicle.

Keywords: diagnostics, diagnostic tests, modelling, vehicle motion and dynamics

1. WPROWADZENIE

Celem prezentowanych prac jest wzbogacenie badań w Laboratorium Zakładu Eksploatacji i Utrzymania Pojazdów Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej o elementy wirtualne, wykorzystując dorobek Pracowni Badań Symulacyjnych Ruchu Samochodu WT PW. Opisany poniżej przykład dotyczy symulowanego ruchu opóźnionego samochodu, o własnościach określonych na stanowisku rolkowym do badań hamulców. Wzbogacenie prezentacji wyników symulacji o animację pozwala lepiej zrozumieć zachowanie się pojazdu w warunkach drogowych a więc bardziej racjonalnie określać wartości graniczne testu diagnostycznego.

2. OCENA ZACHOWANIA SIĘ BADANEGO POJAZDU W TRAKCIE HAMOWANIA W WARUNKACH DROGOWYCH

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów sił hamowania na stanowisku rolkowym dla hamulca roboczego, wykonywany jest test symulacyjny, opisujący hamowanie badanego samochodu w warunkach drogowych. W tym celu wykorzystywane są programy symulacyjne ruchu i dynamiki samochodu [2, 3, 4]. Przykładem jest program ZL_aut3d [2] wyposażony w oprawę graficzną umożliwiającą wizualizację otrzymanych wyników obliczeń, włącznie z animacją.

W omawianym teście założono, że kierowca wywiera jedynie siłę nacisku na pedał hamulca, nie

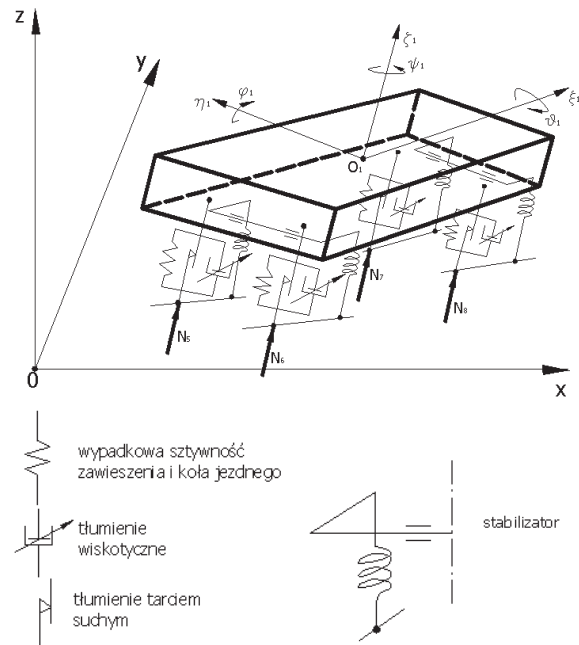
zmieniając kąta obrotu kierownicy. Jest to typowy test „otwarty” bez sprzężenia zwrotnego w układzie kierowca-pojazd-otoczenie.

2.1. Model symulacyjny ruchu samochodu

Rys. 1 przedstawia model fizyczny pojazdu. Założono, że jego ruch odbywa się na równej, płaskiej nawierzchni drogi. Bryła nadwozia oraz koła jezdne traktowane są jako ciała sztywne. Pominięto opis drgań mas nieresorowanych zawieszenia. Bryła nadwozia ma sześć stopni swobody, pozostałe cztery stopnie swobody dotyczą ruchu obrotowego kół jezdnych. Uwzględniono opis sił sprężystych, tarcia suchego i tłumienia wiskotycznego zawieszenia każdego koła oraz opis oddziaływania stabilizatorów przechyłu bocznego. Model sił kontaktowych i momentu stabilizującego opony uwzględnia wpływ prędkości i reakcji normalnej drogi. Stany nieustalone siły bocznej i momentu stabilizującego opisuje równanie różniczkowe I rzędu (tzw. model *IPG-Tire* [4]). Model układu hamulcowego umożliwił zadawanie zróżnicowanych, dla strony lewej i prawej, momentów hamowania. Możliwa jest także symulacja hamowania na nawierzchni typu „*μ-split*”.

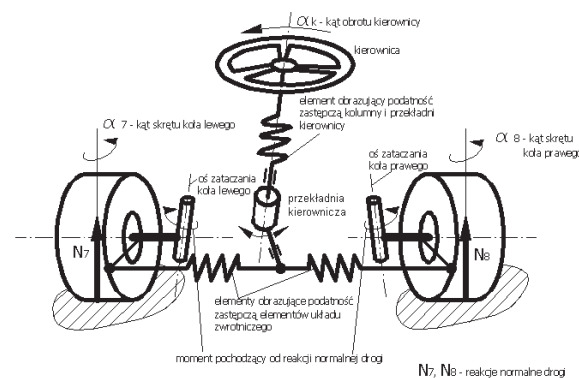
Model układu kierowniczego (rys. 2) uwzględnia opis stabilizacji kół kierowanych, własności geometrycznych układu zwrotniczego oraz podatność kolumny, przekładni i drążków kierowniczych. Możliwe jest modelowanie układu *4WS* (kierowane cztery koła jezdne) ze zmiennym,

zależnym od prędkości, przełożeniem między przednim i tylnym układem kierowniczym (zgodnie z zaleceniami firmy *Bosch* [1]). Pominięto luzy i tarcie suche w układzie kierowniczym oraz momenty giroskopowe towarzyszące skręcaniu obracających się kół kierowanych.



Rys. 1. Model fizyczny pojazdu (nie zaznaczono sił hamowania)

Do opisu ruchu modelu przyjęto dziesięć niezależnych współrzędnych uogólnionych: współrzędne x_{O1} , y_{O1} , z_{O1} punktu O_1 (środka masy pojazdu) w układzie inercjalnym $Oxyz$, kąt odchylenia bryły nadwozia (kąt kierunkowy) ψ_1 , kąt pochylenia wzdłużnego φ_1 i przechyłu bocznego ϑ_1 bryły nadwozia oraz kąty obrotu kół jezdnych φ_5 , φ_6 , φ_7 , φ_8 . Równania ruchu wyprowadzono wykorzystując zasadę kinetostatyki.



Rys. 2. Model układu kierowniczego pojazdu (nie zaznaczono sił hamowania)

Użytkownik zarządza programem symulacyjnym, wykorzystując nakładkę graficzną napisaną w języku C++.

2.2. Przygotowanie i wprowadzenie danych programu symulacyjnego

Dane programu symulacyjnego odpowiadają badanemu na stanowisku rolkowym pojazdowi. Zadaniem wykonujących test symulacyjny jest jedynie wyznaczenie tych parametrów, które opisują działanie układu hamulcowego oraz oddziaływanie kierowcy. Oto wykaz wielkości (ich oznaczeń i jednostek w jakich są zadawane) wykorzystywanych do obliczeń wartości wybranych parametrów badanego pojazdu:

- P_N - przyjęta wartość siły nacisku na pedał hamulca [N];
- P_{Nmax} - maksymalna wartość siły nacisku na pedał hamulca, [N];
- P_h - zmierzona na stanowisku rolkowym siła hamowania na kole jezdnym, [N]
- M_h - moment hamowania na kole jezdnym, [Nm];
- t_o - czas opóźnienia zadziałania hamulca, [s];
- t_n - czas narastania momentu hamowania hamulca, [s];
- r_d - promień dynamiczny koła jezdnego, [m];
- a_{sp} - obliczony, na podstawie pomiarów na stanowisku rolkowym, współczynnik asymetrii działania hamulców kół przednich, [-];
- a_{st} - obliczony, na podstawie pomiarów na stanowisku rolkowym, współczynnik asymetrii działania hamulców kół tylnych, [-];
- α_{mo} - obliczony, na podstawie pomiarów na stanowisku rolkowym, współczynnik rozdziału sił hamowania (momentów hamowania) na oś przednią i tylną, [-];
- i_h - obliczony, na podstawie pomiarów na stanowisku rolkowym, stosunek siły hamowania koła przedniego (o większej wartości z dwóch zmierzonych: dla koła lewego i prawego) do siły nacisku na pedał hamulca [-]; jest to wartość ujemna;

Indeksy: lp - koło lewe przednie,
 pp - koło prawe przednie,
 lt - koło lewe tylne,
 pt - koło prawe tylne.

Większość z tych wartości jest obliczana na podstawie zmierzonych na stanowisku rolkowym wartości sił hamowania: P_{hlp} , P_{hpp} , P_{hlt} , P_{hpt} odpowiadających sile nacisku na pedał hamulca P_{Nmax} mniejszej od siły $P_{Nblokowania}$, dla której dochodzi do blokowania co najmniej jednego koła jezdnego samochodu.

Pozostałe parametry odpowiadają wartościom charakteryzującym nagłe hamowanie samochodu osobowego klasy średniej z dużą intensywnością, na nawierzchni suchej, mokrej lub oblodzonej (rodzaj

nawierzchni, do wyboru osób wykonujących badania).

W programie symulacyjnym ZL_aut3d miarą oczekiwanej przez kierowcę intensywności hamowania jest wywierana przez niego siła nacisku na pedał hamulca P_N . Obliczenia symulacyjne wykonywane są dla jednej lub dwóch wartości tej siły:

$$P_N = P_{Nmax} \quad \text{lub} \quad P_N = 500 \text{ N}$$

dla zestawu danych otrzymanych na podstawie pomiarów na stanowisku rolkowym. W celu otrzymania wartości odniesienia, odpowiadających symetrycznie działającym hamulcom, zaleca się przeprowadzenie obliczeń dla tych samych sił P_N i współczynników $a_{sp} = 1$, $a_{st} = 1$.

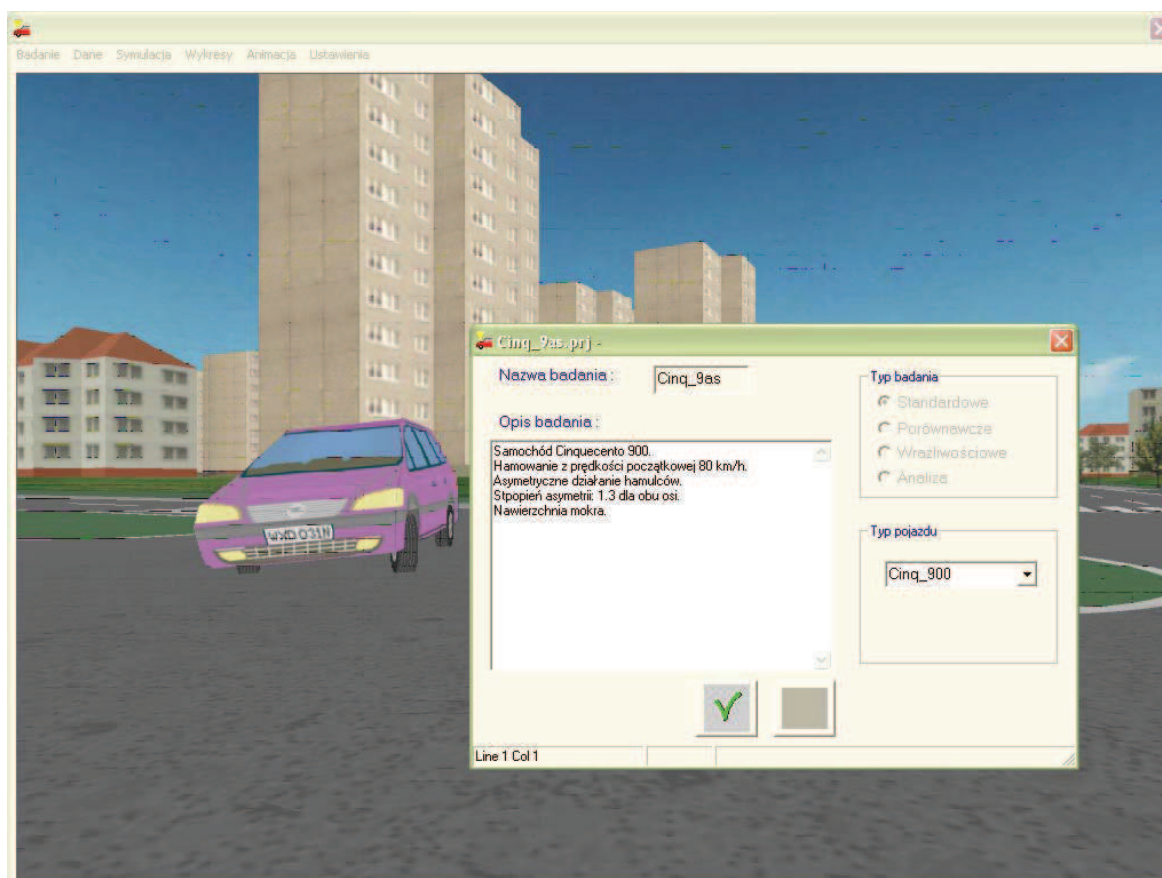
Wyniki obliczeń symulacyjnych są przedstawiane w postaci graficznej (przebiegi czasowe wybranych wielkości oraz trajektorie ruchu pojazdu) oraz w postaci animacji.

2.3. Przykładowe dane wejściowe programu symulacyjnego

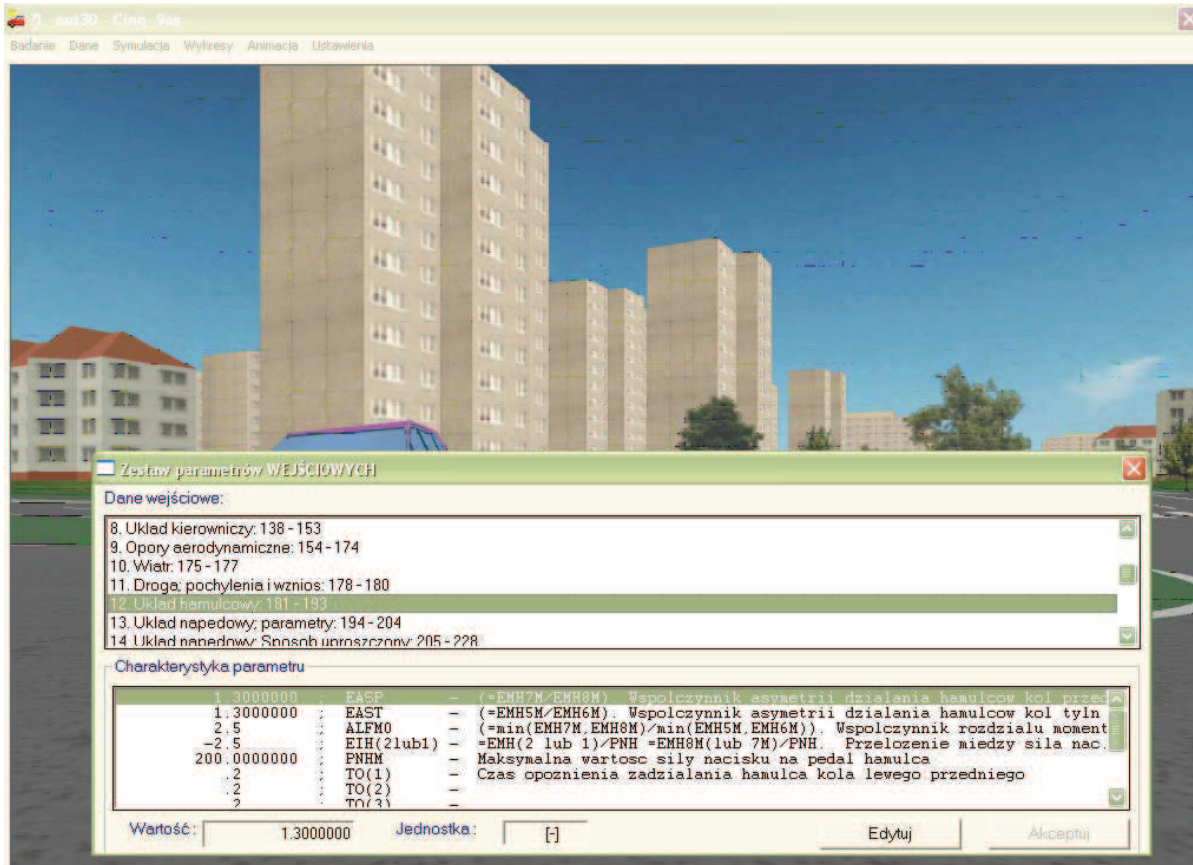
Dane określono dla dwóch przypadków: tzw. „pojazdu odniesienia” (dane nominalne) oraz dla pojazdu, którego układ hamulcowy był badany na stanowisku rolkowym. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono wartości parametrów programu symulacyjnego, zgodnie z zaleceniami z punktu 2.2. Wyniki obliczeń można przeglądać zarówno w trybie tekstowym (kolumny liczb ilustrujących wielkości opisujące ruch pojazdu), jak i graficznym (odpowiednie wykresy - patrz rys. 5) oraz w postaci animacji ruchu pojazdu lub pojazdów – patrz rysunki 6, 7, 8.

2.4. Oprawa graficzna

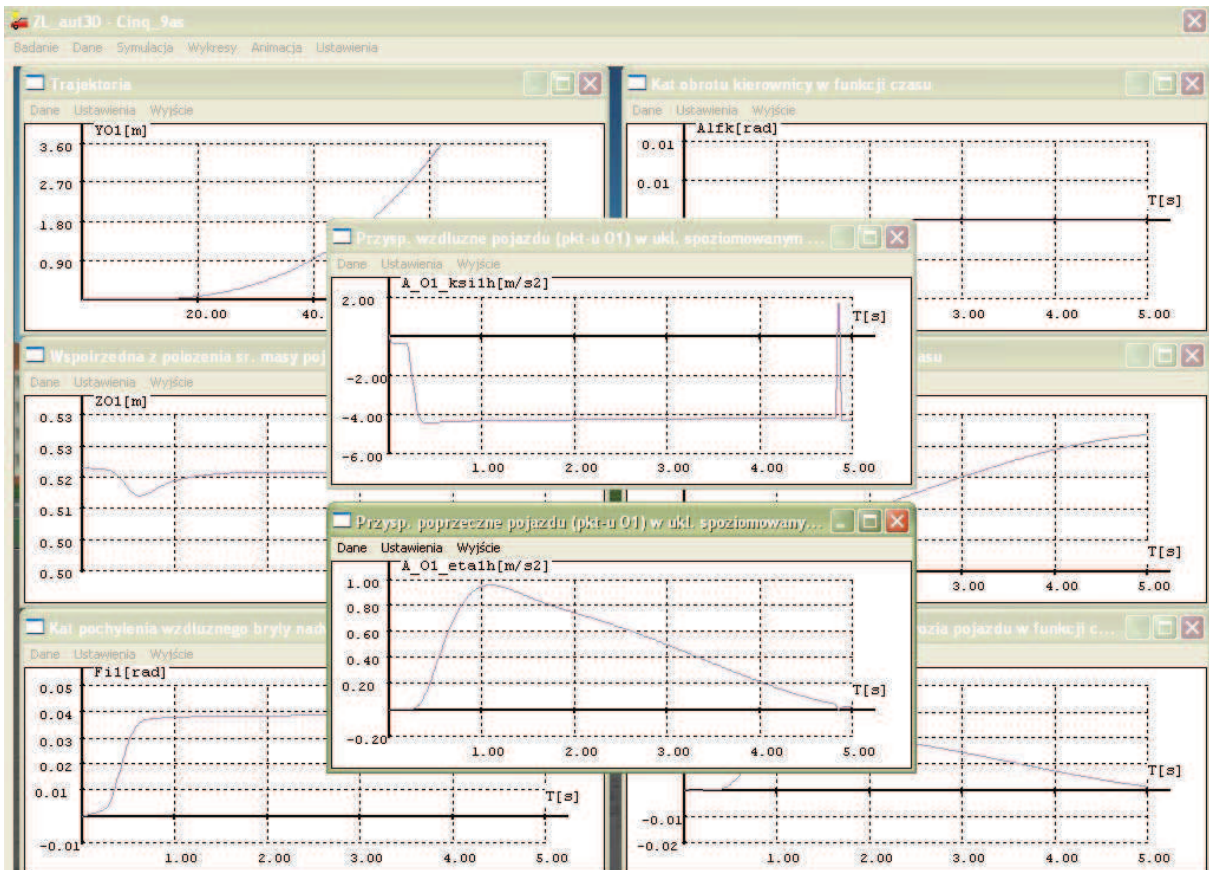
Rysunki 3÷8 ilustrują działanie oprawy graficznej programu symulacyjnego oraz programu animacyjnego. Wzbogacenie prezentacji wyników symulacji o animację pozwala lepiej zrozumieć zachowanie się pojazdu w warunkach drogowych a więc bardziej racjonalnie określać wartości graniczne testu diagnostycznego.



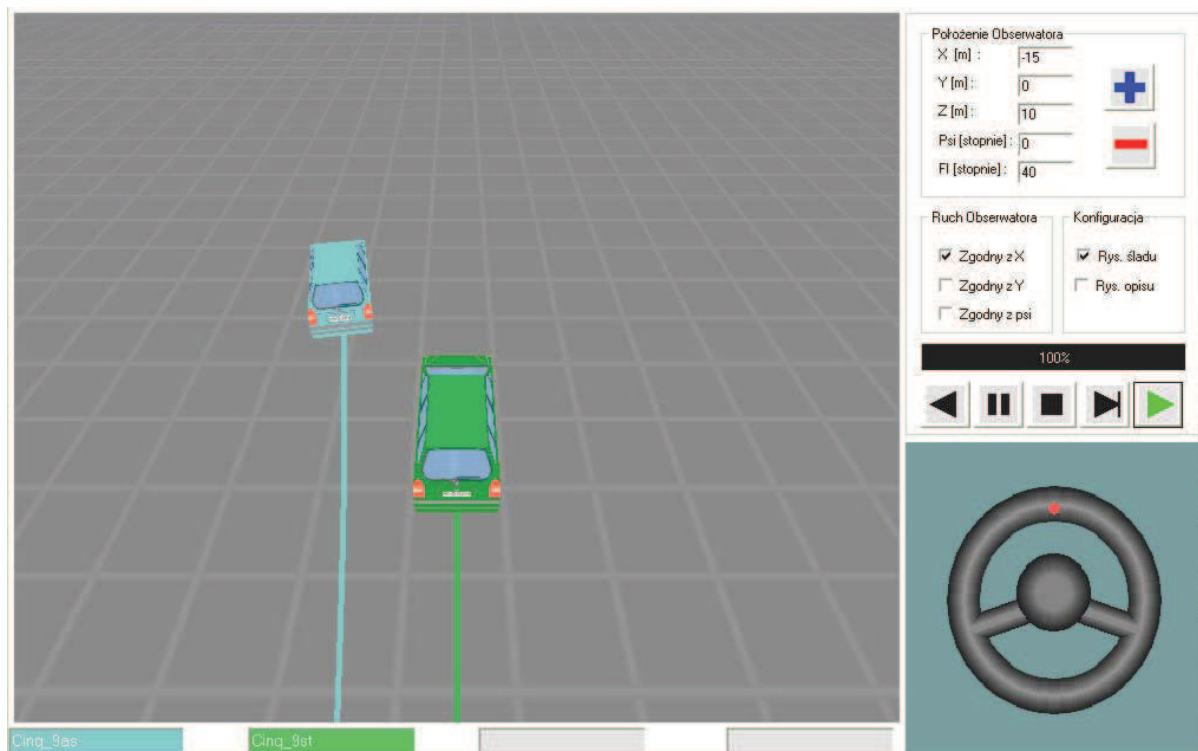
Rys. 3. Okno kreowania projektu badań w programie ZL_aut3d



Rys. 4. Okna wprowadzania danych do projektu badań w programie ZL_aut3d



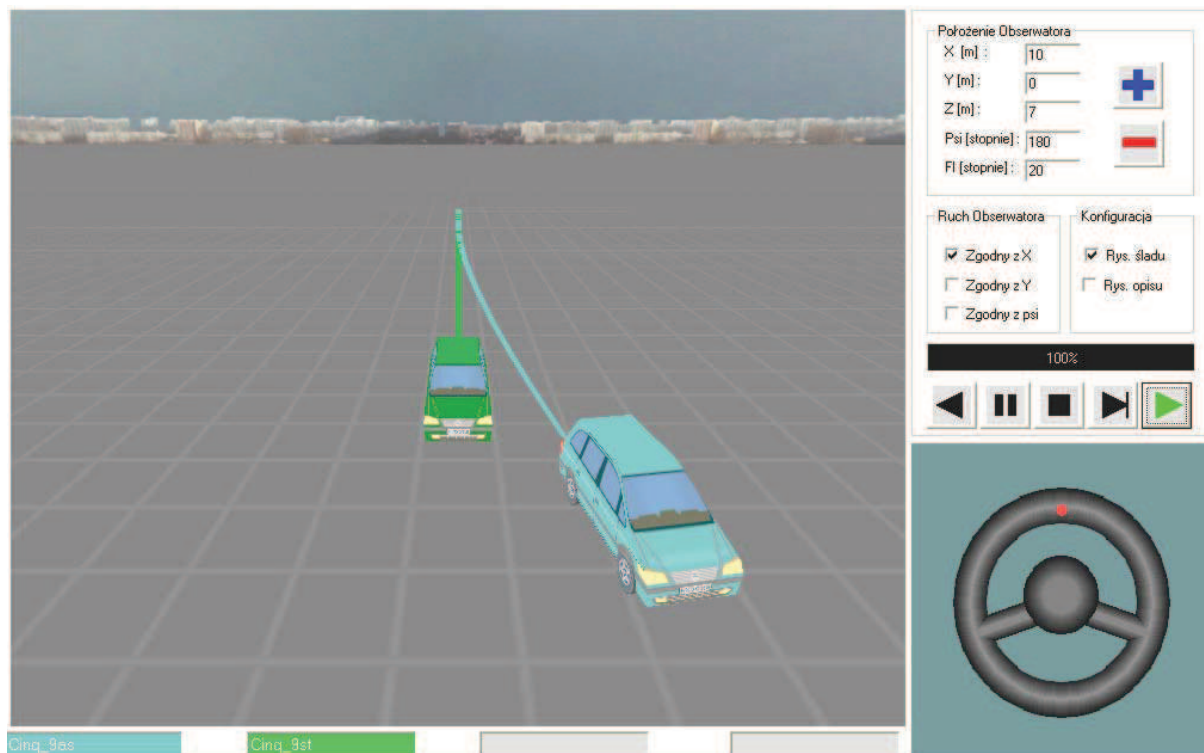
Rys. 5. Wyniki symulacji w formie wykresów



Rys. 6. Animacja ruchu pojazdów – trajektorie ruchu po zatrzymaniu pojazdów, widok „z lotu ptaka” (pojazd nominalny, pojazd z asymetrycznie działającymi hamulcami)



Rys. 7. Animacja ruchu pojazdów – trajektorie ruchu po zatrzymaniu pojazdów, widok „z tyłu” (pojazd nominalny, pojazd z asymetrycznie działającymi hamulcami)



Rys. 8. Animacja ruchu pojazdów – trajektorie ruchu po zatrzymaniu pojazdów, widok „z przodu” (pojazd nominalny, pojazd z asymetrycznie działającymi hamulcami)

3. MOŻLIWE ZASTOSOWANIA PREZENTOWANEGO NARZĘDZIA BADAŃ

Prezentowane oprogramowanie symulacyjne oraz oprawy graficzne i animacyjne wzbogacają narzędzia badań stosowane w budowie, ocenie i optymalizacji testów diagnostycznych. Ze względu na ograniczenie objętości publikacji nie jest możliwa prezentacja szczegółowych wyników. Osoby zainteresowane przedstawionym przykładem oceny wpływu asymetrii sił hamowania na zachowanie się pojazdu w ruchu prostoliniowym i krzywoliniowym, z udziałem (obrót kierownicą) i bez udziału kierowcy autor odsyła do swej wcześniejszej publikacji [3]. Należy zwrócić uwagę, że prezentowana oprawa graficzna i animacyjna obsługuje także inne programy symulacyjne autora, w także te prezentowane w pracach [2, 3, 4].

4. ZAKOŃCZENIE

W pracy [6] autor przedstawia inny przykład: zastosowanie przestrzennego modelu ZL3d_sym [4] oraz modelu „ćwiartki samochodu” do oceny wpływu parametrów zawieszenia na wyniki testu amortyzatorów zamontowanych w pojeździe metodą „zapadnia” (lub „zrzut z klina”) oraz metodą EUSAMA. Ocenie podlega głównie: wpływ stanu zawieszenia oraz wpływ amplitudy wymuszenia na wynik testu.

LITERATURA

- [1] Bosch. *Automotive handbook*. Robert Bosch GmbH. 3rd edition, 1993.
- [2] Lozia Z., *Symulacja testów otwartych układu kierowca-pojazd-otoczenie*, TeKa Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji, PAN Oddz. w Krakowie, Zeszyt 26÷27, str. 229÷234, Kraków 2003 r.
- [3] Lozia Z., Marcinkowski G., *Zagrożenie bezpieczeństwa ruchu samochodu wynikające z asymetrycznego rozdziału sił hamowania na koła strony prawej i lewej*. Materiały Konferencji Hamulcowej '91. Łódź. 3÷5 września 1991 r. Tom 2, str. 122÷132.
- [4] Lozia Z., *Analiza ruchu samochodu dwuosowego na tle modelowania jego dynamiki*. Monografia. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport. Zeszyt 41. Warszawa 1998 r.
- [5] Lozia Z., Stegienka I., Chodnicki P., *Program ZL_aut3D. Skrócona instrukcja użytkownika*. Warszawa 2002r. (niepublikowana).
- [6] Lozia Z., *Metody oceny stanu amortyzatorów zamontowanych w pojeździe*. XII Ogólnopolskie Sympozjum „Bezpieczeństwo w pojazdach samochodowych”. Instytut Pojazdów Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 25.11.2004 r. (w roku 2005 referat zostanie wydany w Zeszytach IP PW).



Zbigniew Lozia, prof. nzw. PW, dr hab. inż. Kierownik Zakładu Eksploatacji i Utrzymania Pojazdów. Politechnika Warszawska, Wydział Transportu. Członek IAVSD, SAE. Laureat SAE 2002 Arch T. Colwell Merit Award. Wykładowca i egzaminator w Centrum Szkolenia Stowarzyszenia Rzeczoznawców Techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego.