

## SIMULATION MODEL FOR TESTING WHEELED ARMOUR FIGHTING VEHICLE

Przemysław Simiński, Maciej Zajac

Military Institute Armour and Automotiv Technology,  
Okuniewska Street 1, 05-070 Sulejowek, Poland  
tel.: +48 22 6811204, fax: +48 22 6811073  
e-mail: psiminski@tlen.pl

### Abstract

Experimental research studies of vehicles are of high cognitive importance. However, they are expensive, time-consuming and sometimes dangerous, especially when they refer to edge safety parameters of a vehicle motion. Their scope can be limited if researchers conducting the studies have at their disposal a mathematical model of the vehicle motion and dynamics and a simulation program allowing for carrying out research in „virtual space.” A start-up of the simulation process requires gathering a relevant and require amount of data. If the simulation research studies that have been conducted are used for experimental verification, it is essential to obtain them to carry out a „package” of a series of experiments and a detailed design documentation analysis. Such a proceeding has been conducted with reference to research and development project of Ministry of Science and Higher Education (MNiSzW) No. R0000502. As part of its implementation, a model has inter alia been constructed using a multi-body-system class of software. The model has also gone through its experimental verification process basing on a test of a double change of traffic lane recommended by ISO standards. Developed simulation model of vehicle became to a considerable degree parameterized, this means that it allows to change of the values of the defined parameter in the options „Parameters” - in the main model window. As a result of performed initial simulations computer basing on the above simplifying results assumptions, that model reflects real object in the certain range, however requires a further development looking for a fuller model verification in aspect of the particular values obtained in real measurements, that will be continued in the later stages of work. Additionally, for the purpose of the presentation of the work first stage results to „the media”, computer visualization of the vehicle movement was made in the form of \*.avi files.

**Keywords:** simulation tests, multi body systems, AFV

## MODEL SYMULACYJNY DO BADAŃ KOŁOWEGO WOZU BOJOWEGO

### Streszczenie

Badania eksperymentalne pojazdów mają bardzo duże znaczenie poznawcze. Są jednak drogie, czasochłonne i niekiedy niebezpieczne, szczególnie jeśli dotyczą granicznych parametrów bezpieczeństwa ruchu pojazdu. Ich zakres może być ograniczony, jeżeli prowadzący badania dysponuje modelem matematycznym ruchu i dynamiki pojazdu oraz programem symulacyjnym umożliwiającym prowadzenie badań w „przestrzeni wirtualnej”. Uruchomienie procesu symulacji wymaga zgromadzenia odpowiedniej, wymaganej ilości danych. Jeśli prowadzone badania symulacyjne będą wykorzystywane do weryfikacji eksperymentalnej, do ich pozyskania niezbędne jest przeprowadzenie „pakietu” szeregu eksperymentów oraz szczegółowej analizy dokumentacji konstrukcyjnej. Takie postępowanie zostało przeprowadzone w związku z projektem badawczo-rozwojowemu MNiSzW nr R0000502. W ramach jego realizacji zbudowano, między innymi, model z wykorzystaniem oprogramowania klasy multi body system. Model też został poddany procesowi weryfikacji eksperymentalnej bazując na teście podwójnej zmiany pasa ruchu zalecanym przez unormowania ISO. Opracowany model symulacyjny pojazdu został w znacznym stopniu sparametryzowany, to znaczy umożliwia zmianę wartości określonego parametru w opcjach „Parameters” - w oknie głównym modelu. W wyniku przeprowadzonych wstępnych symulacji komputerowych bazujących na ww. założeniach upraszczających wynika, iż model odzwierciedla w pewnym zakresie obiekt rzeczywisty, nie mniej jednak wymaga dalszego dopracowania pod kątem pełniejszej weryfikacji w aspekcie uzyskanych podczas pomiarów określonych wartości, co będzie kontynuowane w dalszych etapach pracy. Dodatkowo, w celu „medialnej” prezentacji wyników I etapu, dokonano komputerowej wizualizacji ruchu pojazdu w postaci plików \*.avi.

**Słowa kluczowe:** badania symulacyjne, multi body systems, opancerzony wóz bojowy

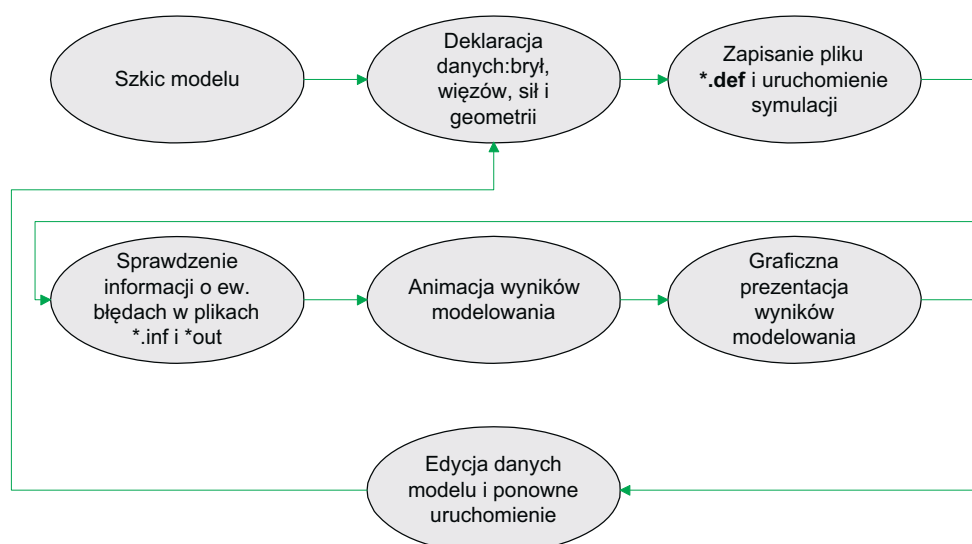
## 1. Wstęp

Opracowanie modelu komputerowego 8-kołowego pojazdu wojskowego, umożliwia symulację ruchu w różnych warunkach terenowych, jak również służy do oceny wybranych parametrów dynamicznych przy określonych wymuszeniach.

Z całego szeregu dostępnych obecnie profesjonalnych programów do analizy dynamicznej i kinematycznej układów wielomasowych takich jak np. DADS, ADAMS, SIMPACK, MEDYNA czy NEWEUL, do zamodelowania pojazdu kołowego użyto programu DADS.

W pierwszym etapie dane modelu (m.in. położenie głównego i lokalnych układów współrzędnych, wymiary geometryczne, parametry bezwładnościowe i masowe, a także charakterystyki tłumiące i sprężyste) są wprowadzane i przedstawiane w postaci grupy elementów za pomocą graficznego interfejsu DADSModel. W następnej kolejności generowany jest, przy wykorzystaniu równania Lagrange'a drugiego rodzaju, układ równań różniczkowych opisujących ruch modelu. Następnie wyznaczane są położenie, prędkość i przyspieszenia poszczególnych elementów układu, a także wzajemne ich oddziaływanie (siły, momenty).

Rezultaty modelowania mogą być przedstawiane w postaci przebiegów czasowych wybranych wielkości, bądź za pomocą animacji komputerowej przedstawiającej zachowanie się całego układu z dowolnego punktu widzenia.



Rys. 1 Etapy modelowania w programie DADS

Model utworzony w programie DADS jest zapisany w pliku \*.def, w którym przechowywane są cztery typy podstawowych informacji:

- elementy modelu DADS, takie jak układy współrzędnych, bryły, więzy, siły i ograniczenia,
- informacje o wyglądzie i otoczeniu - kolor otoczenia, punkt i kąt obserwacji modelu, itp.,
- informacje o hierarchii animacji - które elementy geometrii przypisane są do których brył,
- gabaryty figur geometrycznych.

## 2. Dane do modelu

Model teoretyczny dowolnej struktury składa się z reguły z modelu nominalnego, fizycznego, matematycznego oraz symulacyjnego. Opis matematyczny w postaci równań różniczkowych dla każdej zmiennej stanu umożliwia jednocześnie bardzo łatwe przejście do modelu symulacyjnego. Model taki to współcześnie odpowiedni program komputerowy, pozwalający na numeryczne całkowanie równań różniczkowych modelu matematycznego z możliwością obserwacji i rejestrowania w funkcji czasu wartości poszczególnych zmiennych stanu i wielkości wyjściowych.

### 2.2.1. Model nominalny pojazdu

Podczas modelowania pojazdu typu kołowy transporter opancerzony posłużono się ogólnymi charakterystykami wyznaczonymi na pojeździe rzeczywistym, którym był wóz Ewakuacji Medycznej opracowany na podwoziu transportera opancerzonego będącego na wyposażeniu SZ RP.

Podstawowe elementy samochodu jako układu mechanicznego to: sztywny kadłub posadowiony na ramie, silnik z układem napędowym oraz układ jezdny w postaci 8 kół jezdnych z niezależnym zawieszeniem w postaci wahacza górnego i dolnego oraz amortyzatora gazowo-hydraulicznego.

Masa całego pojazdu wynosi 22000 kg.

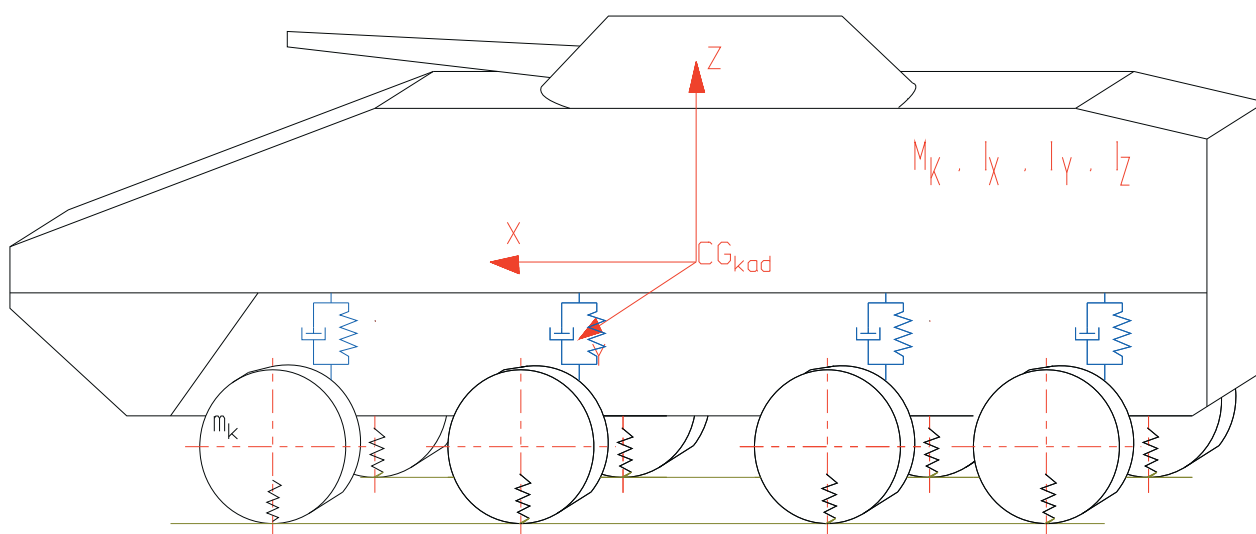
### 2.2.2. Model fizyczny samochodu

W procesie budowy modelu fizycznego uwzględniono te cechy pojazdu, które mają decydujący wpływ na przebieg procesów dynamicznych i przenoszenie obciążeń pomiędzy elementami pojazdu [2]. Na etapie tym pojazd zastąpiono równoważnym układem brył i punktów materialnych, uproszczono jego kształty, pominięto mało istotne oddziaływania, założono jednorodność materiału oraz pominięto odkształcalności (mas) elementów [1, 3].

Opracowując model fizyczny pojazdu bojowego przyjęto następujące założenia:

- pojazd składa się z kadłuba, ośmiu kół jezdnych (z których każde ma możliwość wykonywania skrętów), wahaczy górnych i dolnych,
- zmiany masy poszczególnych brył, wynikających na przykład ze zużycia paliwa, są niewielkie, co pozwala przyjąć je jako stałe,
- nadwozie jest bryłą sztywną o znanej masie i masowych momentach bezwładności,
- elementy sprężyste oraz tłumiące są elementami bezmasowymi,
- pojazd wykonuje małe drgania wokół położenia równowagi statycznej,
- nałożone na układ więzy są holonomiczne, skleronomiczne i obustronne,
- prędkość przemieszczania pojazdu jest stała.

Podczas modelowania przyjęto układ współrzędny związany ze środkiem ciężkości całego pojazdu przedstawiony na Rys. 2.



Rys. 2. Przyjęty układ współrzędnych kadłuba oraz ważniejsze elementy modelu

### 2.2.3. Model symulacyjny samochodu

Do zamodelowania pojazdu przyjęto następujące założenia wstępne:

- masa kadłuba:	20161 kg,
- masa koła	233 kg,
- całkowita masa pojazdu	22025 kg,
- rozstaw kół	2444 mm,
- rozstaw osi 1_2	1402 mm,
- rozstaw osi 2_3	1701 mm,
- rozstaw osi 3_4	1451 mm,
- promień statyczny koła	650 mm,
- długość wahacza	500 mm,
- współczynnik sprężystości amortyzatora	957000 N/m,
- współczynnik oporu toczenia	0,015,
- współczynnik przyczepności	0,8,
- wysokość położenia środka masy nad powierzchnią jezdni	1238 mm,
- sztywność promieniowa ogumienia	887 000 N/m,
- poprzeczna odporność ogumienia na boczne znoszenia	430000 N/m.

Wszystkie ww. wielkości zostały w opracowanym modelu sparametryzowane.

Do modelowania przyjęto lokalne układy współrzędnych związane z bryłami i względem nich definiowane były odpowiednie momenty bezwładności, które np. dla kadłuba wynosiły:

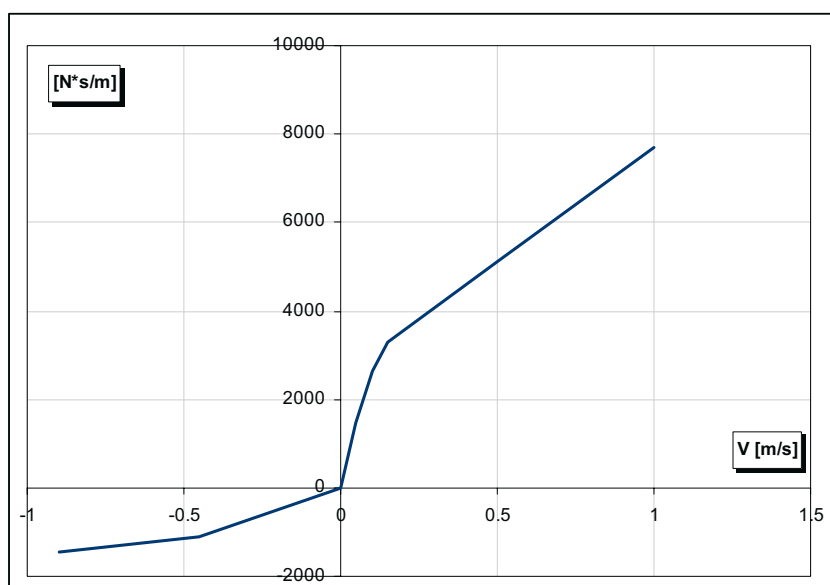
$$I_{X\_kadl} = 18748,37 [kg \cdot m^2],$$

$$I_{Y\_kadl} = 87422,77 [kg \cdot m^2],$$

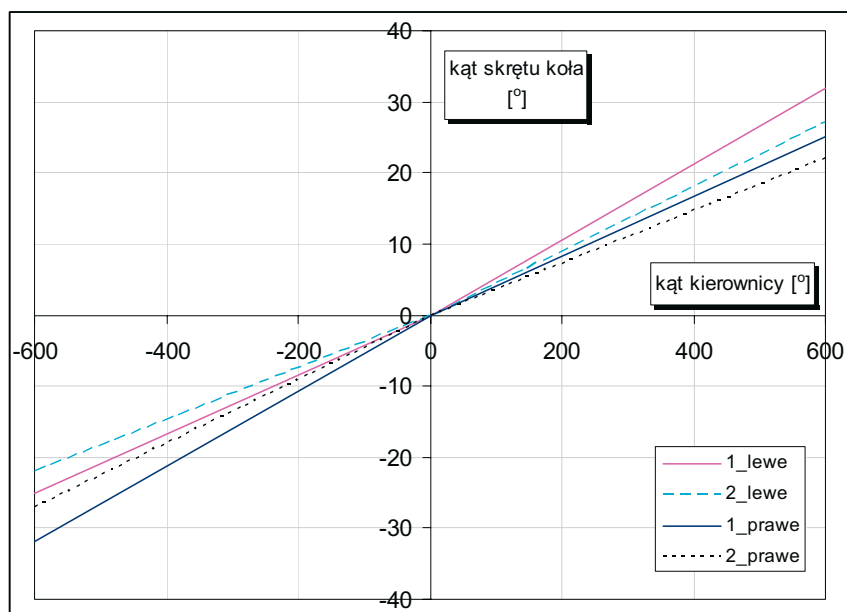
$$I_{Z\_kadl} = 89842,27 [kg \cdot m^2].$$

Elementami sprężysto-tłumiącymi uwzględnionymi w modelu pojazdu były amortyzatory gazowo-hydrauliczne o stałym współczynniku sprężystości oraz o charakterystyce tłumienia przedstawionej na Rys. 3.

W modelu uwzględniono przełożenie układu kierowniczego, bez uwzględniania luzów układu kierowniczego (Rys. 4).



Rys. 3. Charakterystyka tłumienia amortyzatora gazowo-hydraulicznego



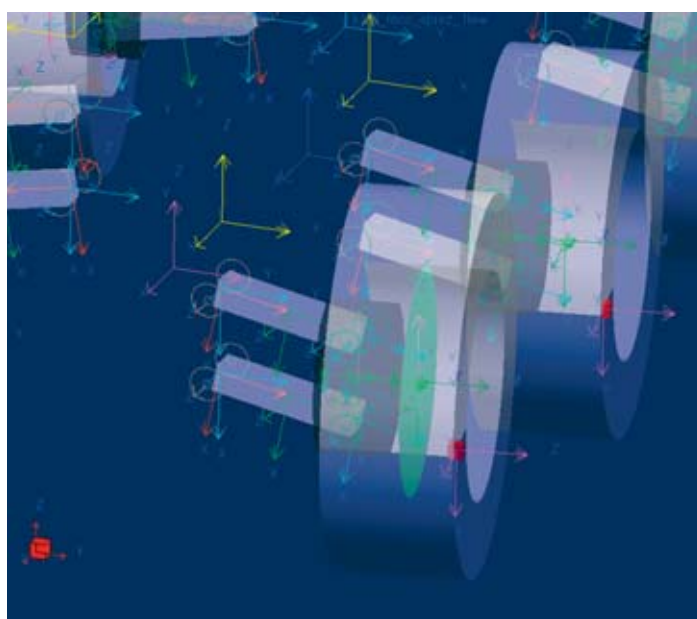
Rys. 4. Przyjęta charakterystyka układu kierowniczego

Charakterystyki ww. elementów zostały wyznaczone w sposób doświadczalny przez zespół badawczy WITPiS (charakterystyka układu kierowniczego, charakterystyka sztywności i tłumienia) w celu dokonania wstępnej weryfikacji.

#### 2.2.4. Więzy, ograniczenia i wymuszenia modelu

W modelu wyróżniono łącznie 9 brył, w tym;

- kadłub: posiadający możliwość przesunięć wzdłuż 3 osi oraz obrotów wokół nich,
- 4 koła skrętne (1 i 2 oś), posiadające możliwość przesunięć pionowych oraz przemieszczeń kątowych względem kadłuba,
- 4 koła trzeciej i czwartej osi posiadające możliwość przesunięć pionowych z jednoczesną możliwością wykonywania skrętów (podczas dalszej wstępnej weryfikacji ww. koła nie będą wykonywały przemieszczeń kątowych względem kadłuba).



Rys. 5. Widok zawieszenia koła AFV zamodelowanego w programie DADS

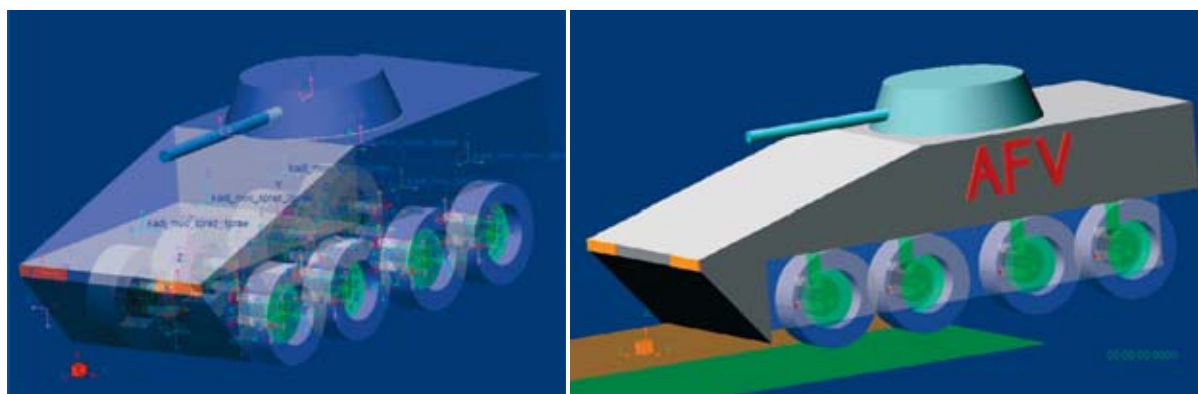
W modelu zostały uwzględnione wymuszenia:

- w postaci momentu obrotowego przykładanego do osi przedniej mającego na celu poruszanie się pojazdu z zadaną prędkością,
- w postaci przemieszczenia kąowego kół osi pierwszej i drugiej względem kadłuba mające na celu wywołanie manewru skrętu.

Na Rys. 5. przedstawiono w zbliżeniu widok modelu zawieszenia koła (wraz z widocznymi wahaczami górnym i dolnym) stworzonego w programie DADS wraz z zaznaczonymi charakterystycznymi układami współrzędnych. Na kolejnych rysunkach 6-7 przedstawiono, zamodelowany układ jezdy wraz z pomocniczymi układami współrzędnych oraz widok końcowy pojazdu AFV zamodelowanego w programie DADS.



Rys. 1. Widok podwozia pojazdu wraz z układami pomocniczymi



Rys. 2. Widok całego pojazdu zamodelowanego w programie DADS

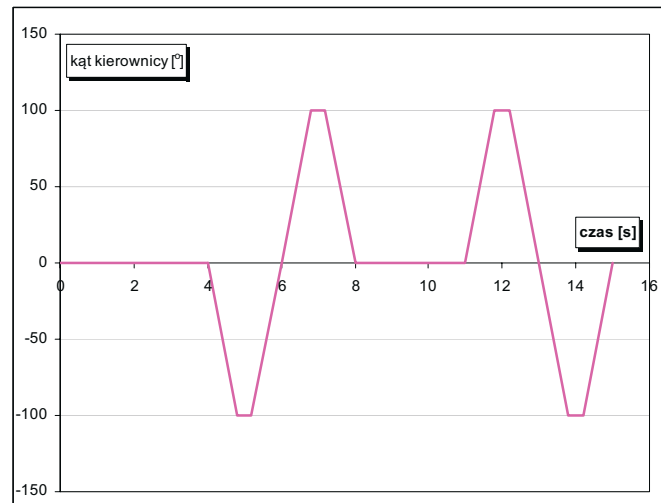
### 3. Wstępna weryfikacja modelu

Głównym zadaniem etapu pierwszego było opracowanie modelu komputerowego transportera kołowego, natomiast w trakcie etapu II zamierzano dokonać weryfikacji modelu z wynikami badań eksperymentalnych.

Nie mniej jednak, w trakcie opracowywania modelu koniecznym jest równoległe dokonywanie wstępnej weryfikacji na każdym etapie budowy modelu celem wyeliminowania kumulowania się ewentualnych błędów i braku możliwości ich przyszłej detekcji.

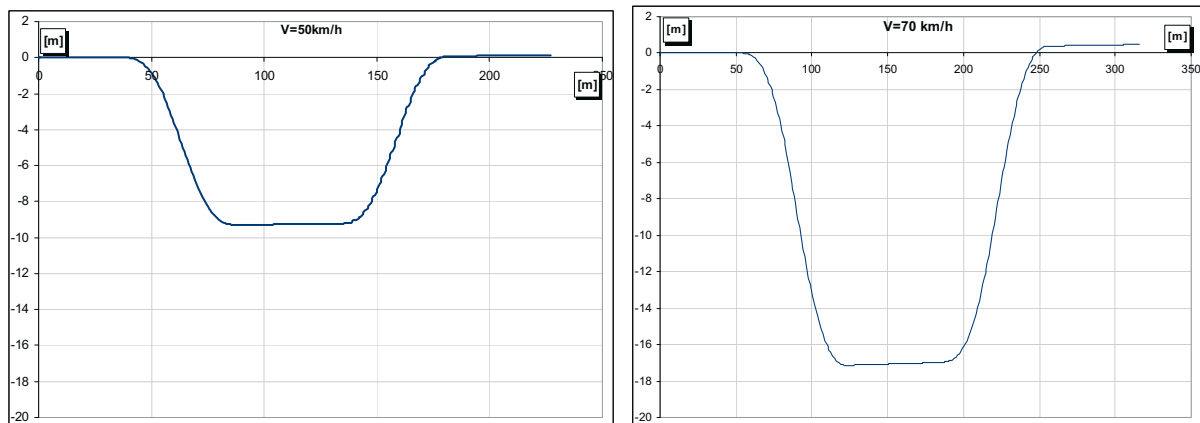
Na etapie wstępnej weryfikacji modelu, posiadając doświadczenie z wcześniejszej pracy z zakresu modelowania oraz procesu weryfikacji 4-kołowego pojazdu patrolowego, dokonywano symulacji manewru podwójnej zmiany pasa ruchu przy przyjętych wymuszeniach pochodzących od kierownicy pojazdu.

Zakres przyjętych zmian kątowych był czysto hipotetyczny, chociaż częściowo zbliżony do wartości uzyskanych z pomiarów na 4-kołowym pojeździe patrolowym. Charakterystykę wymuszenia przedstawiono na Rys. 8.

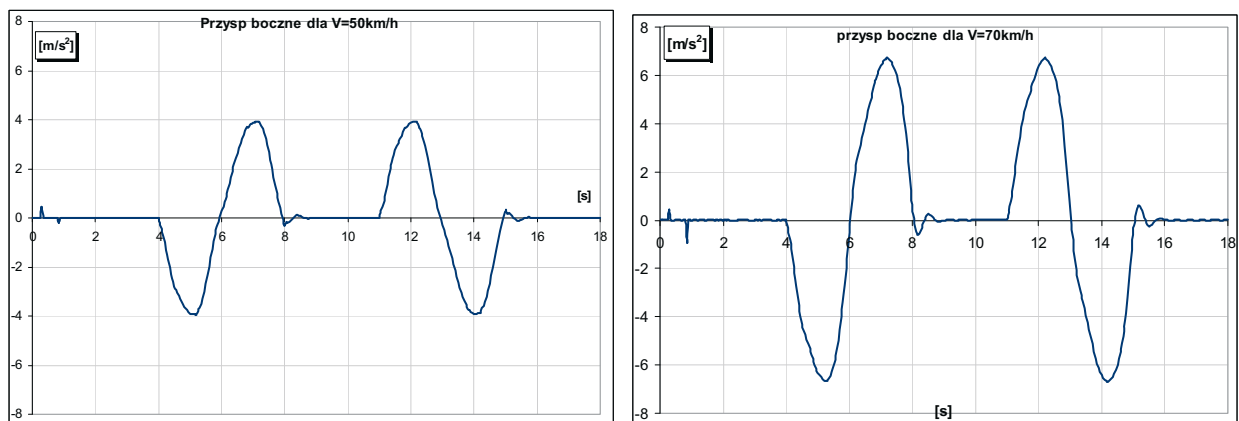


Rys. 8. Charakterystyka przyjętego wymuszenia od kierownicy

Podczas wstępnej weryfikacji dokonywano oceny położenia środka ciężkości pojazdu w płaszczyźnie X-Y oraz przyspieszeń poprzecznych środka ciężkości kadłuba.



Rys. 9. Położenie środka ciężkości pojazdu w płaszczyźnie X-Y dla symulacji przejazdu z prędkością  $V = 50 \text{ km/h}$  i  $V = 70 \text{ km/h}$



Rys. 10. Wartość przyspieszeń poprzecznych pojazdu dla symulacji przejazdu z prędkością  $V = 50 \text{ km/h}$  i  $V = 70 \text{ km/h}$

#### 4. Podsumowanie

Opracowany model symulacyjny pojazdu został w znacznym stopniu sparametryzowany, to znaczy umożliwia zmianę wartości określonego parametru w opcjach „Parameters” - w oknie głównym modelu.

W wyniku przeprowadzonych wstępnych symulacji komputerowych bazujących na ww. założeniach upraszczających wynika, iż model odzwierciedla w pewnym zakresie obiekt rzeczywisty, nie mniej jednak wymaga dalszego dopracowania pod kątem pełniejszej weryfikacji w aspekcie uzyskanych podczas pomiarów określonych wartości, co będzie kontynuowane w dalszych etapach pracy.

Dodatkowo, w celu „medialnej” prezentacji wyników I etapu, dokonano komputerowej wizualizacji ruchu pojazdu w postaci plików \*.avi.

#### Literatura

- [1] Borkowski, W., Konopka, S., Prochowski, L., Dynamika maszyn, WNT, Warszawa 1996.
- [2] Canzon, R. H., Dynamika układów fizycznych, WNT, Warszawa 1973.
- [3] Żółtowski, B., Badania dynamiki maszyn, Wyd. Markar-BZ, Bydgoszcz 2002.