

## INFLUENCE OF CHOICE CONSTRUCTION AND EXPLOITATIONS PARAMETERS OF ANTITERRORISM VEHICLE OF STEERING AND STABILITY BORDER PARAMETERS

Przemysław Simiński, Maciej Zajac

Military Institute Armour and Automotiv Technology,  
Okuniewska Street 1, 05-070 Sulejowek, Poland  
tel.: +48 22 6811204, fax: +48 226811073  
e-mail: psiminski@tlen.pl

### Abstract

The article presents results of simulation study with use prepare simulation software multi body systems class. The applied model was previously successfully experimentally verified during ISO recommended manoeuvres double lane changing. Paper present influence choice construction and exploitations parameters of antiterrorism vehicle of steering and stability border parameters. Development of the vehicles of patrol intervention takes place dynamically - originates a number of new versions. Development of them links itself with the necessity of research on traffic movement safety, on which introduced changes can influence, in order to avoid this, the very expensive and dangerous for the people tests on the prototype vehicles are carried out. The performing of simulation research will permit on the larger effectiveness of leaded works through the working out catalogue of design and exploitation changes together with the result of their introduction, on drivability and the stability of the patrol intervention vehicle. Measurable effects they encompass: the significant increase of safety of vehicle and connected with this lowering of the risk of road accidents, the lowering of the appliqué construction costs of patrol- intervention vehicle, the lowering of the costs of the execution of possible changes in serial vehicles, achievement of optimum designs with regard to safety for the needs of Polish Armed Forces.

**Keywords:** simulation tests, multi body systems, steering, stability

## WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH I EKSPLOATACYJNYCH SAMOCHODU PATROLOWO INTERWENCYJNEGO NA WARTOŚCI PARAMETRÓW GRANICZNYCH KIEROWALNOŚCI I STATECZNOŚCI TEGO POJAZDU

### Streszczenie

W artykule zaprezentowano rezultaty badań z wykorzystaniem oprogramowania opracowanego w oparciu o program klasy multi body systems. Model też został poddany procesowi weryfikacji eksperymentalnej bazując na teście podwójnej zmiany pasa ruchu zalecanym przez unormowania ISO. W artykule zaprezentowano wyniki badań symulacyjnych wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych Samochodu Patrolowo-Interwencyjnego na wartości parametrów granicznych kierowalności i stateczności tego pojazdu. Rozwój samochodów patrolowo interwencyjnych odbywa się dynamicznie – powstaje szereg nowych wersji. Opracowywanie ich wiąże się z koniecznością badań nad bezpieczeństwem ruchu, na które mogą wpłynąć wprowadzone zmiany, aby tego uniknąć wykonuje się, często bardzo kosztowne i niebezpieczne dla ludzi, badania na pojazdach prototypowych. Prowadzenie badań symulacyjnych pozwoli na większą efektywność prowadzonych prac poprzez opracowanie katalogu zmian konstrukcyjnych i eksploatacyjnych wraz ze skutkiem ich przeprowadzenia, na kierowalność i stateczność samochodu patrolowo interwencyjnego. Efekty wymierne obejmują: znaczące zwiększenie bezpieczeństwa pojazdu i związane z tym obniżenie ryzyka wypadków drogowych, obniżenie kosztów budowy aplikacji samochodu patrolowo-interwencyjnego, obniżenie kosztów wykonywania ewentualnych zmian w pojazdach seryjnych, pozyskanie dla potrzeb Wojska Polskiego optymalnych konstrukcji pod względem bezpieczeństwa.

**Słowa kluczowe:** badania symulacyjne, multi body systems, kierowalność, stateczność

## 1. Wstęp

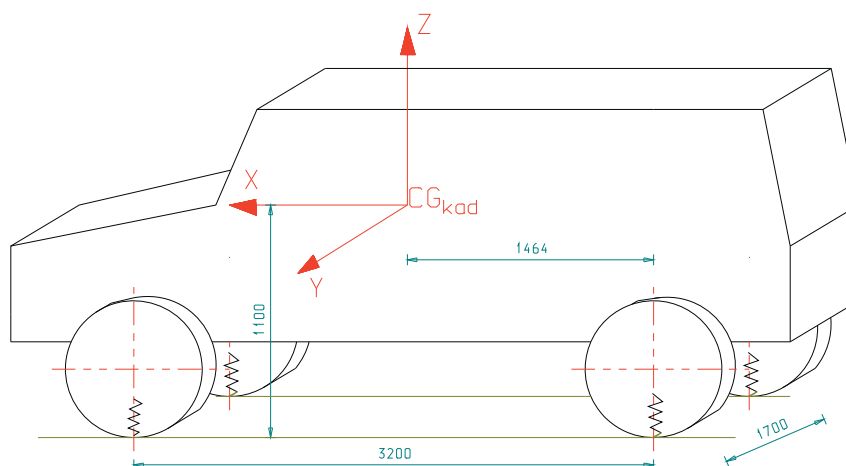
Samochody patrolowo-interwencyjne należą do kategorii pojazdów specjalnych o przeznaczeniu militarnym. Jedną z cech charakteryzujących ich konstrukcję jest wysoko położony środek masy, ponadto mnogość wersji i zastosowań np.: medyczna, logistyczna, rozpoznawcza itp. Szczególnie niebezpieczne dla nich jest wywrócenie na bok (ang. roll over). Na drodze badań symulacyjnych podjęto próbę określenia wpływu zmian konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na parametry stateczności i kierowności pojazdu. W tym celu zbudowano model symulacyjny w środowisku MBS, który poddano pozytywnej weryfikacji eksperymentalnej. Źródłem danych do modelu (zebranych na drodze wielu eksperymentów) stanowił prototyp samochodu patrolowo-interwencyjnego Dzik 2 w wersji medycznej. Dzik 2 (Rys. 1) został zbudowany z przeznaczeniem dla Oddziałów Specjalnych Żandarmerii Wojskowej. Jego zadaniem jest realizować funkcje konwojowania, patrolowania oraz interwencji zbrojnej.



Rys. 1. Widok pojazdu Dzik 2

## 2. Zakres badań symulacyjnych

Na etapie modelowania oraz badań symulacyjnych przyjęto układ współrzędnych związany ze środkiem ciężkości całego pojazdu, przedstawiony na Rys. 2.



Rys. 2. Przyjęty układ współrzędnych kadłuba oraz ważniejsze wartości liniowe pojazdu

W trakcie badań symulacyjnych przyjęto następujący zakres zmiany poszczególnych parametrów:

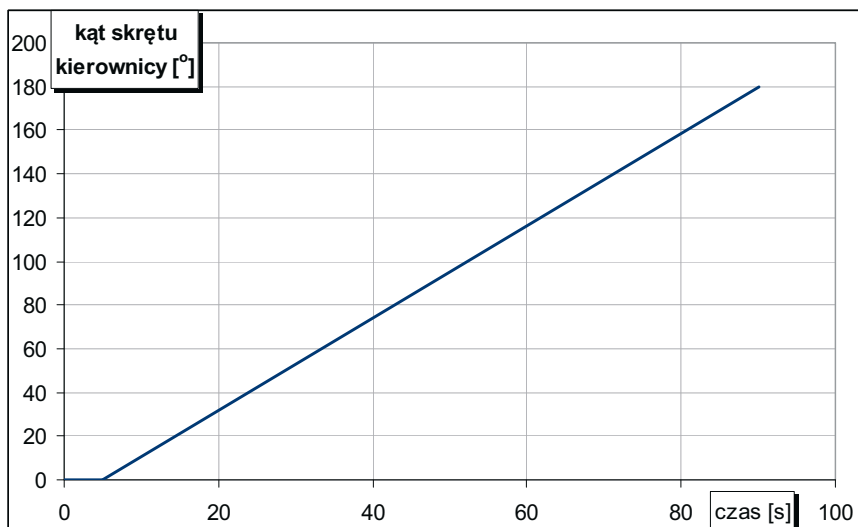
1. Zmiana położenia środka masy pojazdu:

- wzdłuż osi Z: 800 mm; 1100 mm; 1350 mm,
- wzdłuż osi Y: - 170 mm; 0 mm, +170 mm,
- wzdłuż osi X: - 460 mm; 0 mm, +460 mm,

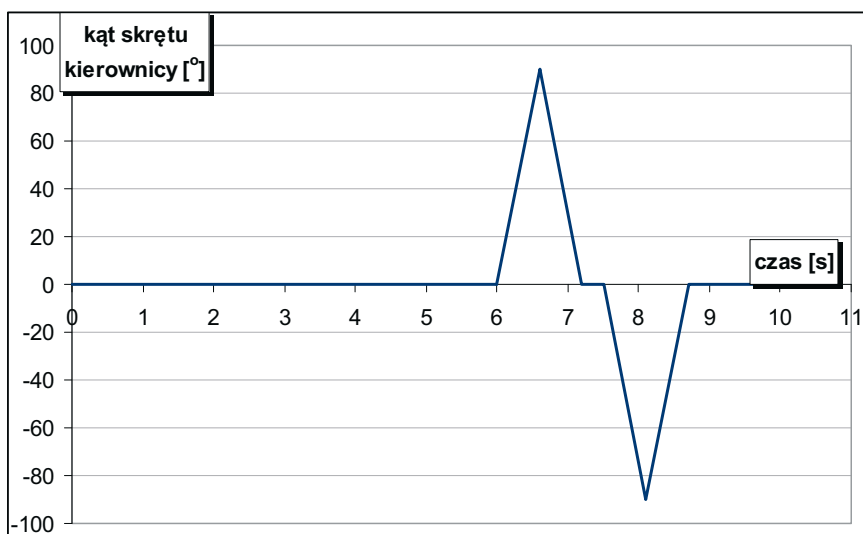
2. Zmiana masy pojazdu oraz wynikająca z tego zmiana wartości momentów bezwładności bryły kadłuba:
  - 5500 kg ( $I_{X\_kad} = 4357 [kg \cdot m^2]$ ,  $I_{Y\_kad} = 15903 [kg \cdot m^2]$ ,  $I_{Z\_kad} = 16500 [kg \cdot m^2]$ ),
  - 6800 kg ( $I_{X\_kad} = 5810 [kg \cdot m^2]$ ,  $I_{Y\_kad} = 21205 [kg \cdot m^2]$ ,  $I_{Z\_kad} = 22000 [kg \cdot m^2]$ ).
3. Zwiększenie współczynnika sztywności stabilizatorów przednich i tylnych o 20%.
4. Zwiększenie współczynnika sztywności resorów:
  - przednich o 33% (symulacja dołożenia czwartego pióra resoru),
  - tylnych o 25% (symulacja dołożenia piątego pióra resoru).
5. Zmiana sztywności promieniowej ogumienia:
  - zwiększenie o 25%,
  - zmniejszenie o 15%.

Dla każdego z powyższych przypadków starano się wykonać poniższe próby:

- A. Jazda ze stałą prędkością  $V = 80$  km/h z narastającym kątem skrętu kierownicy wg charakterystyki podanej na Rys. 3.
- B. Symulacja szarpnięcia kierownica wg charakterystyki podanej na Rys. 4.
- C. Symulacja manewru podwójnej zmiany pasa ruchu z prędkością  $V = 75$  km/h.



Rys. 3. Kąt skrętu kierownicy w funkcji czasu dla manewru łagodnego skręcania ze stałą prędkością



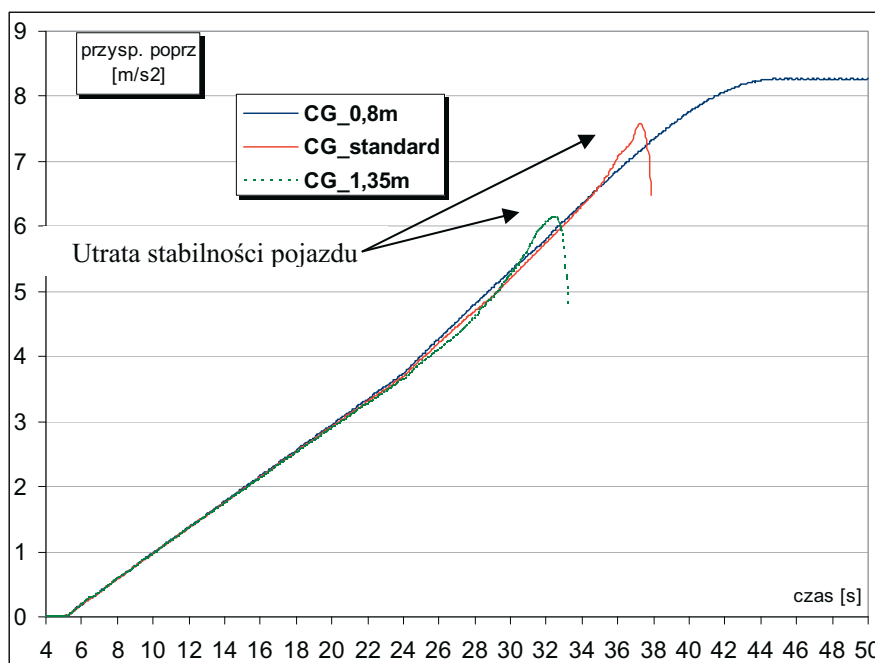
Rys. 4. Kąt skrętu kierownicy w funkcji czasu dla manewru szarpnięcia kierownica

### 3. Wyniki badań symulacyjnych

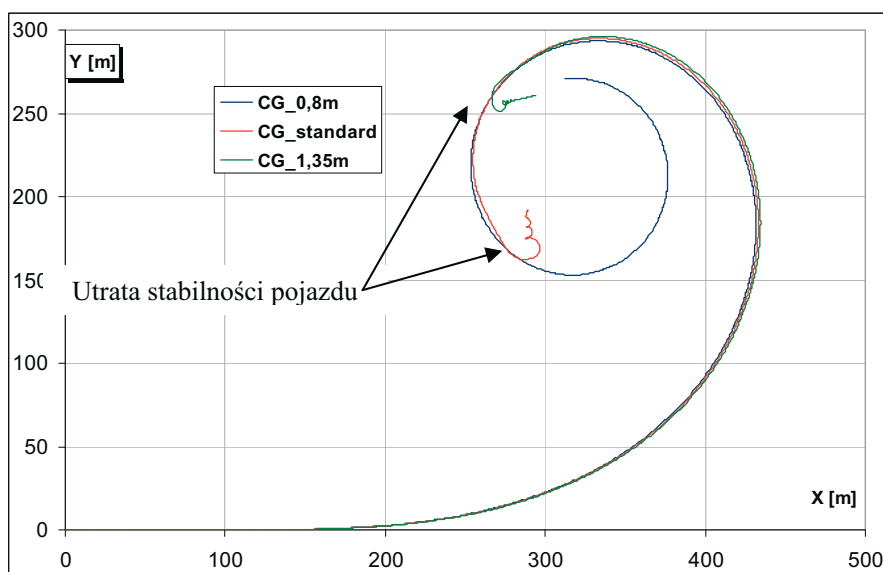
W wyniku przeprowadzonych badań symulacyjnych uzyskano cały szereg danych dotyczących dynamiki badanego pojazdu. Na wykresach zaprezentowanych w dalszej części artykułu skupiono się głównie na określeniu wpływu zmienianych parametrów na wartość przyspieszenia poprzecznego zdefiniowanego w środku masy pojazdu oraz na tor ruchu pojazdu na płaszczyźnie X-Y.

#### 3.1. Wpływ zmiany położenia środka masy pojazdu

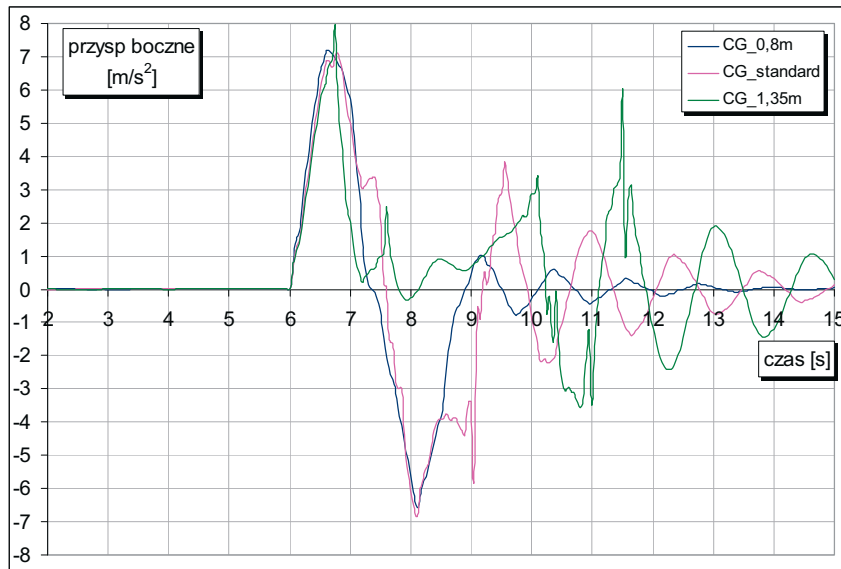
Na Rys. 5-12 przedstawiono wpływ położenia wysokości środka masy CG trakcie wykonywania manewrów: A, B, C.



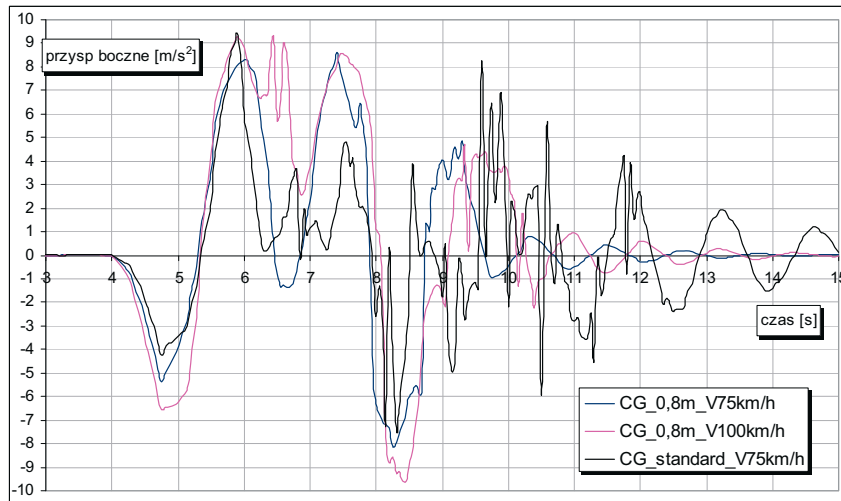
Rys. 5. Wpływ pionowej zmiany położenia środka masy pojazdu na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru łagodnego skręcania ze stałą prędkością



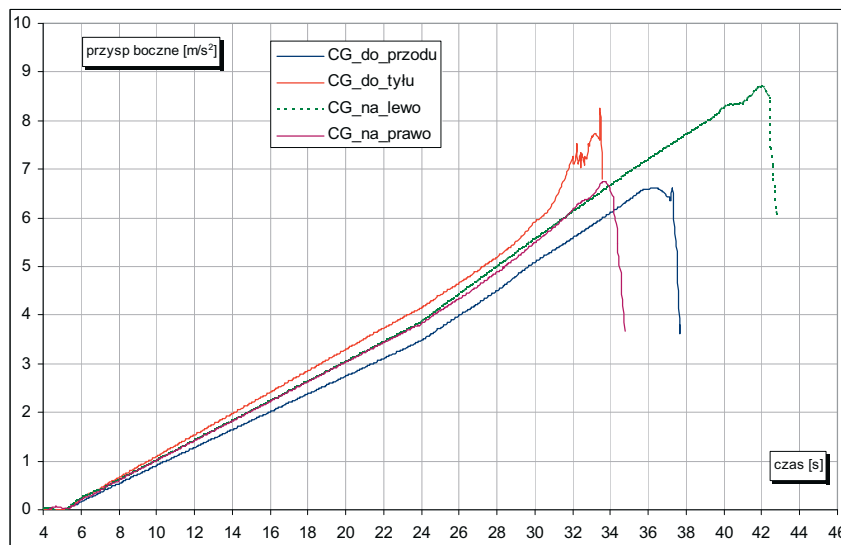
Rys. 6. Wpływ pionowej zmiany położenia CG na tor ruchu pojazdu podczas manewru łagodnego skręcania ze stałą prędkością



Rys. 7. Wpływ pionowej zmiany położenia CG na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru szarpnięcia kierownicą



Rys. 8. Wpływ pionowej zmiany położenia CG na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru podwójnej zmiany pasa ruchu

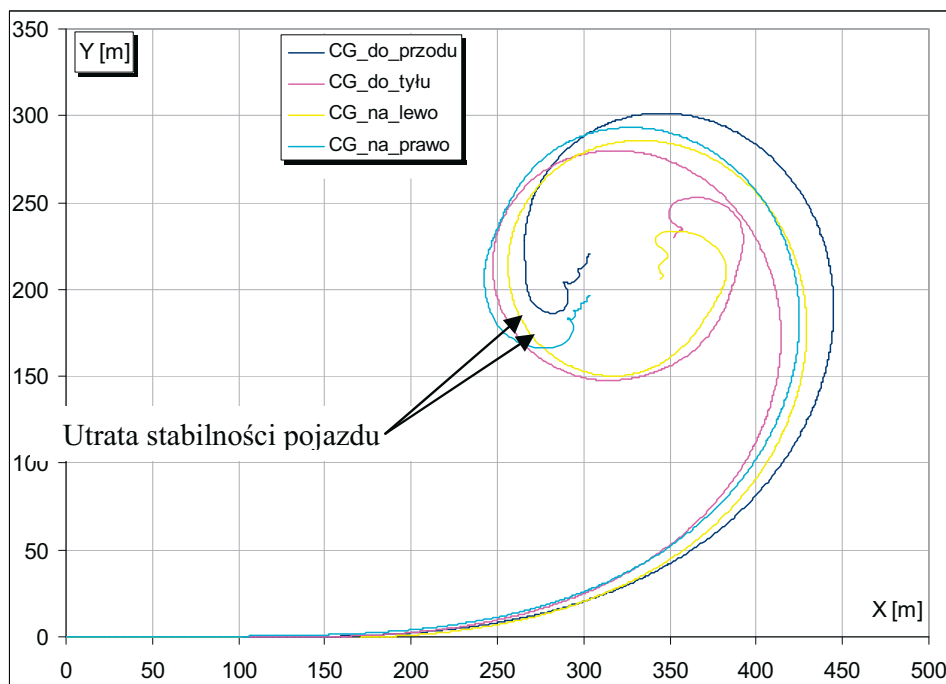


Rys. 9. Wpływ poziomej zmiany położenia CG na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru łagodnego skrętu ze stałą prędkością

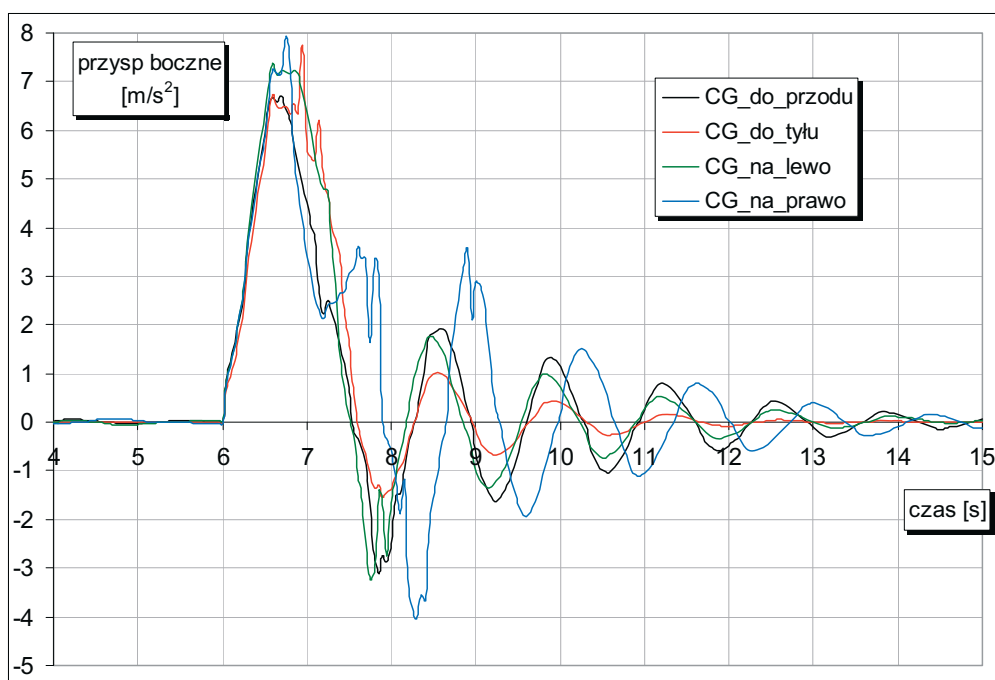
Podczas badań symulacyjnych, w których badano zachowanie się pojazdu podczas manewru podwójnej zmiany pasa ruchu, jako wymuszenie na kierownicy przyjmowano charakterystykę, którą uzyskano podczas badań eksperymentalnych przy jeździe z prędkością 75 km/h.

Przyjęcie takiej charakterystyki dla prędkości jazdy większej niż uzyskana podczas eksperymentu, może powodować pewne rozbieżności uzyskanych wyników - szczególnie w zakresie przyspieszeń poprzecznych.

Pojazd ze środkiem masy położonym na wysokości 1350 mm nie wykonał manewru podwójnej zmiany pasa ruchu przy prędkości 75 km/h - za bezpieczną prędkość uznano 45 km/h.

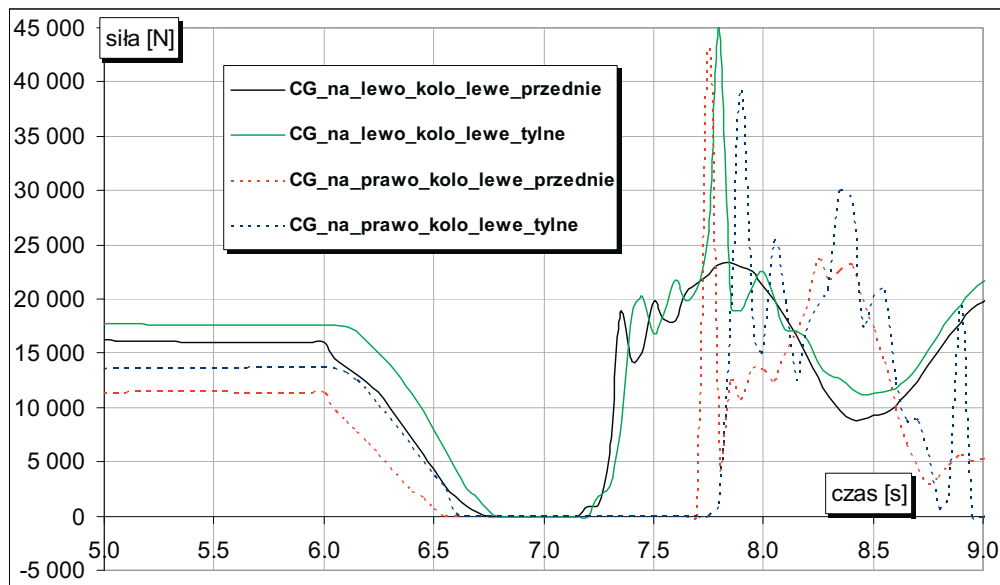


Rys. 10. Wpływ poziomej zmiany położenia CG na tor jazdy pojazdu podczas manewru łagodnego skrzytu ze stałą prędkością



Rys. 11. Wpływ poziomej zmiany położenia CG na wartość przyspieszenia poprzecznego pojazdu podczas manewru szarpnięcia kierownicą.

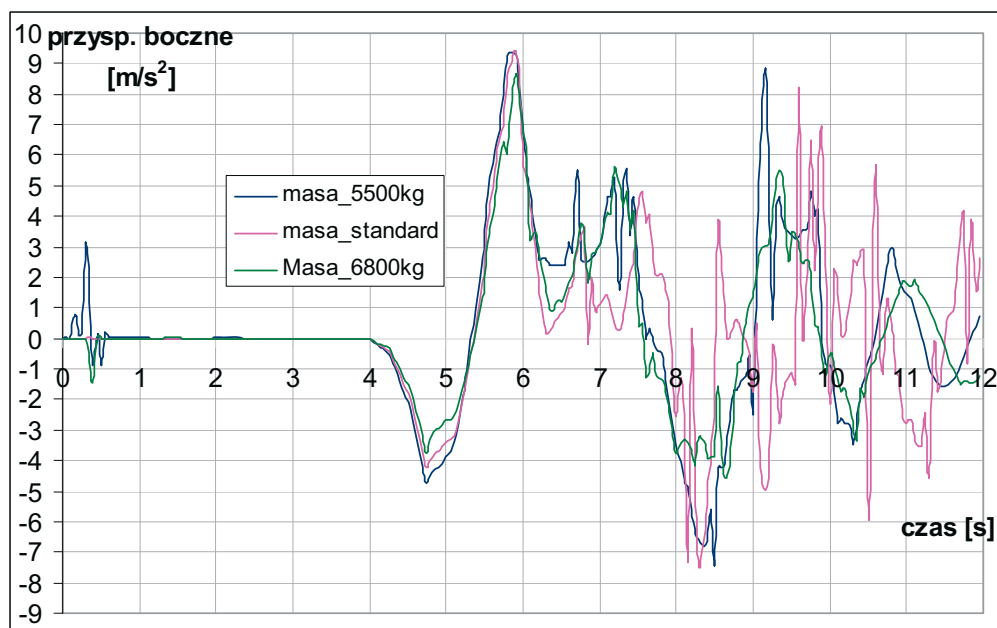
Na Rys. 12 przedstawiono wartości sił pionowych działających na poszczególne koła pojazdu w wariantach przesunięcia środka masy pojazdu na lewą i prawą stronę. Chwile czasowe, w których wartość siły maleje do zera oznacza brak kontaktu opony z podłożem - czyli „oderwanie się” koła od podłoża.



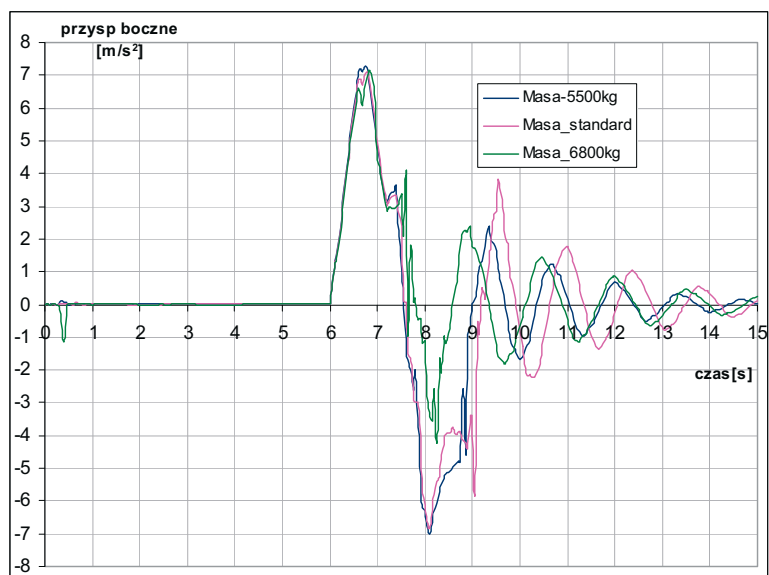
Rys. 12. Wartość obciążeń pionowych kół podczas manewru szarpnięcia kierownicą dla wariantu przesunięcia środka masy na lewą i prawą stronę

### 3.2. Wpływ zmiany masy pojazdu

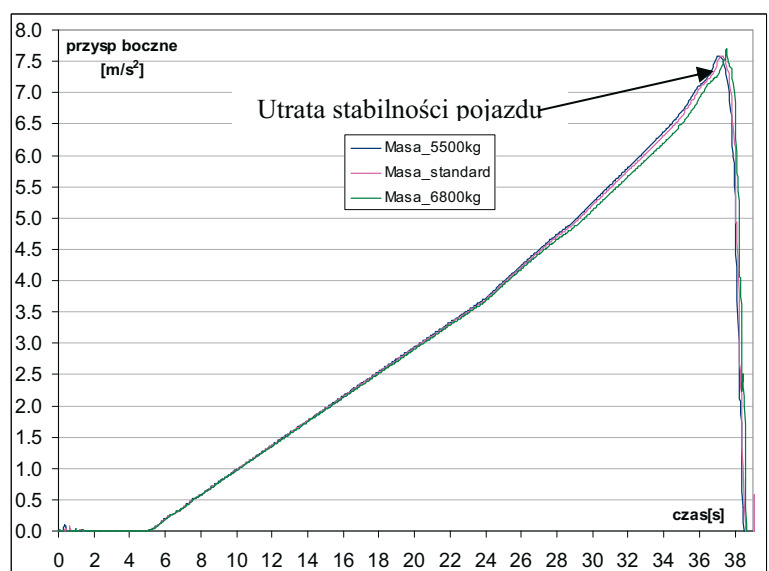
Pojazd z masą zwiększona do 6800 kg nie wykonał manewru podwójnej zmiany pasa ruchu przy prędkości 75 km/h - za bezpieczną prędkość uznano 65 km/h i taką prędkość brano do porównania w dalszym toku analizy. Charakterystyki opisujące przebiegi wartości dla poszczególnych manewrów przedstawiono na Rys. 13-16.



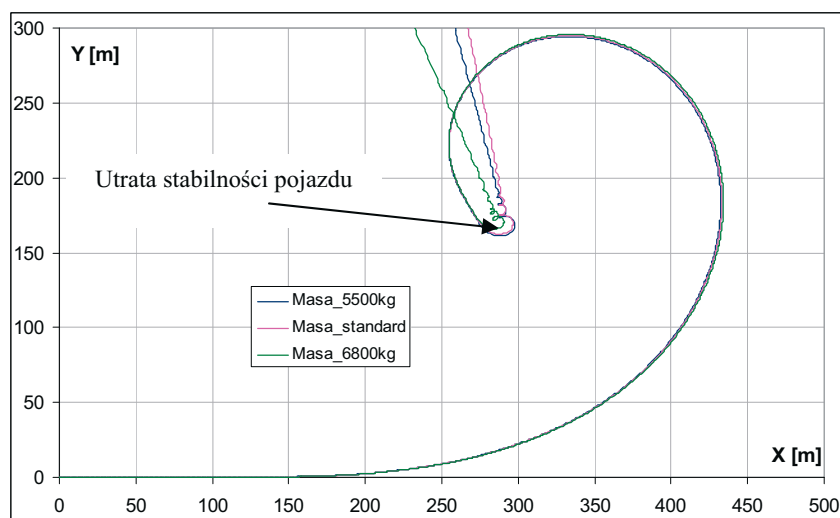
Rys. 13. Wpływ zmiany masy pojazdu na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru podwójnej zmiany pasa ruchu



Rys. 14. Wpływ zmiany masy pojazdu na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru szarpnięcia kierownicą



Rys. 15. Wpływ zmiany masy pojazdu na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru łagodnego skręcania ze stałą prędkością

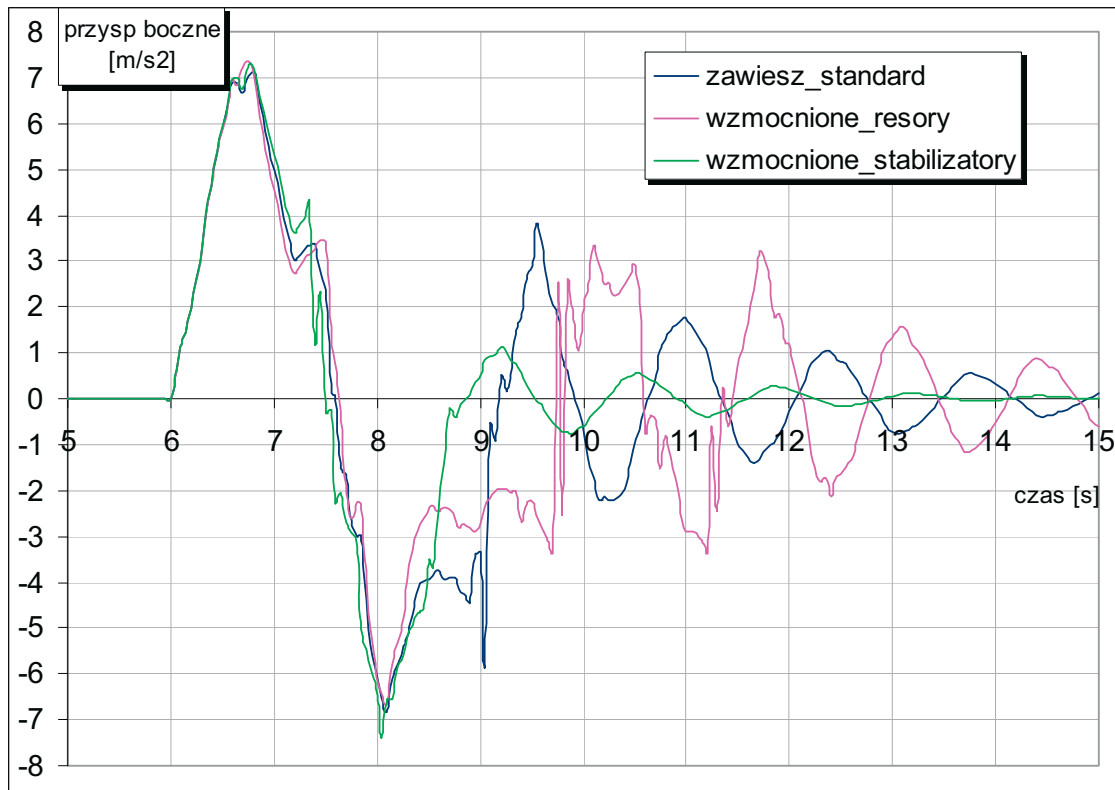


Rys. 16. Wpływ masy pojazdu na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru łagodnego skręcania ze stałą prędkością

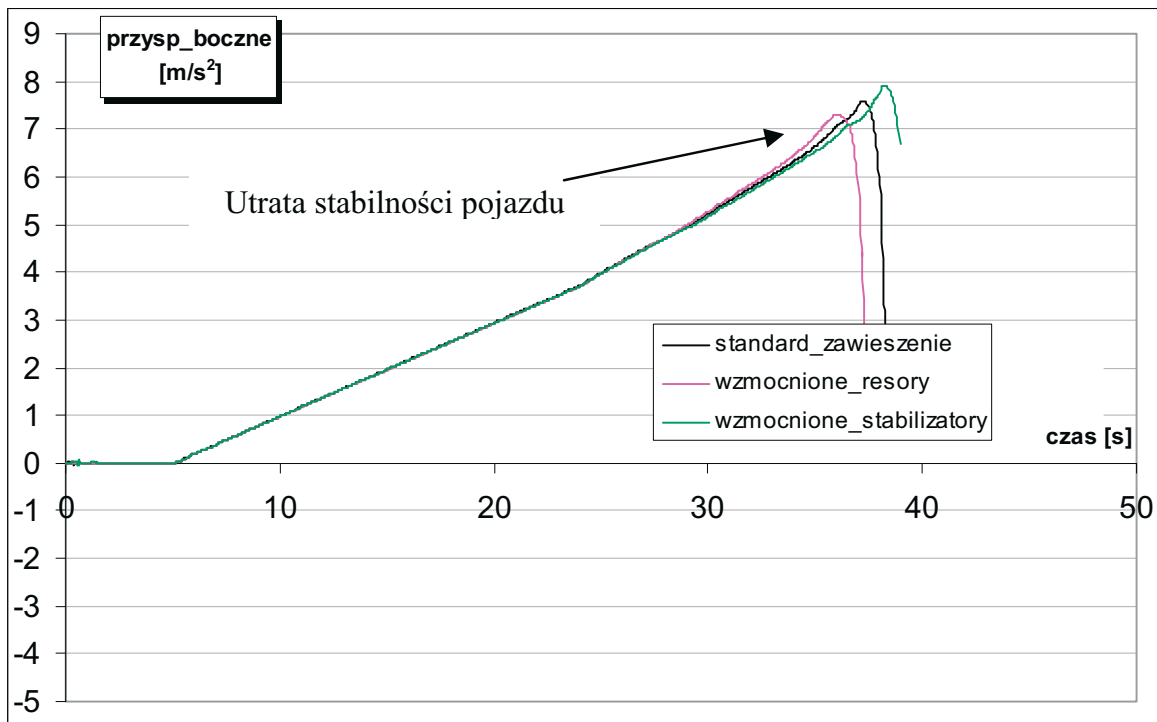


### 3.3. Wpływ zwiększenia współczynnika sztywności stabilizatorów przednich i tylnych oraz współczynnika sztywności resorów

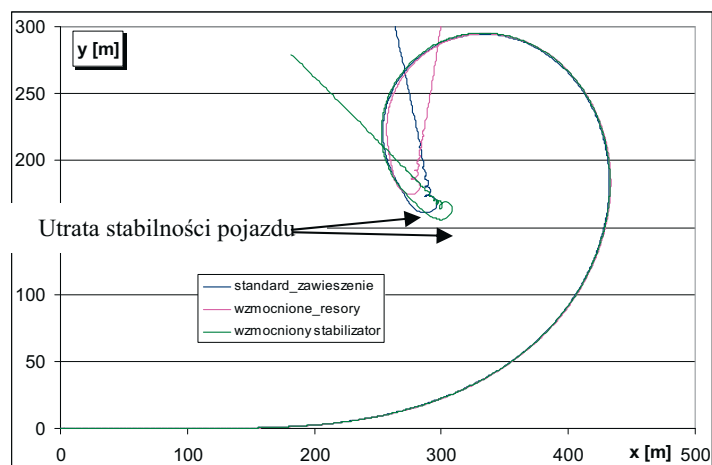
Na Rys. 17-20 przedstawiono wpływ zmiany współczynnika sztywności w zawieszeniu pojazdu.



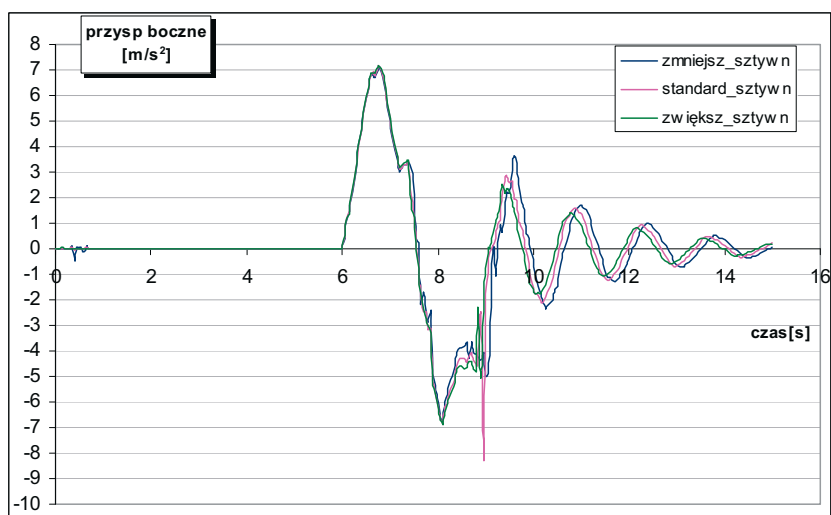
Rys. 17. Wpływ zmiany sztywności zawieszenia na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru szarpnięcia



Rys. 18. Wpływ zmiany sztywności zawieszenia na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru łagodnego skręcania ze stałą prędkością



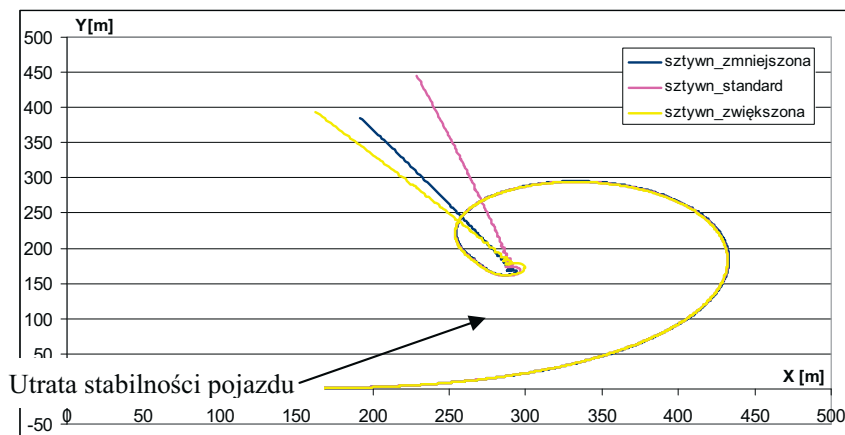
Rys. 19. Wpływ zmiany sztywności zawieszenia na tor ruchu pojazdu podczas manewru łagodnego skręcania ze stałą prędkością



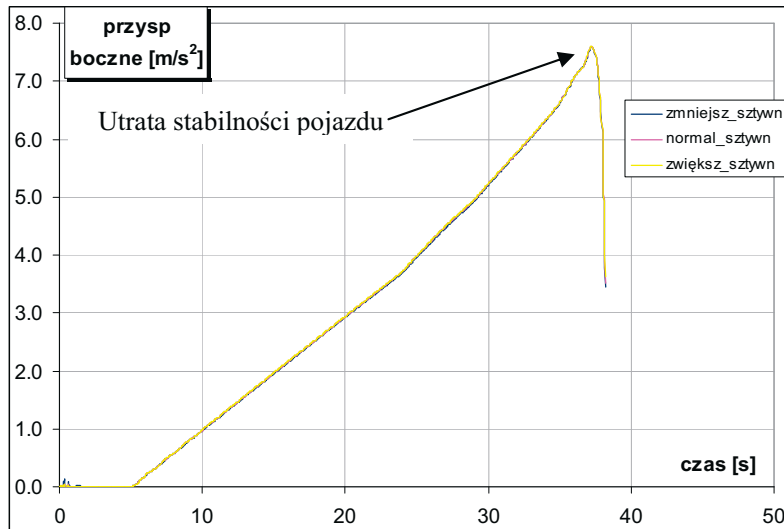
Rys. 20. Wpływ zmiany sztywności zawieszenia na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru szarpnięcia

### 3.4. Wpływ zmiany sztywności promieniowej ogumienia

Na Rys. 21-22 przedstawiono wpływ zmiany sztywności promieniowej ogumienia.



Rys. 21. Wpływ zmiany sztywności opon na tor ruchu pojazdu podczas manewru łagodnego skręcania ze stałą prędkością



Rys. 22. Wpływ sztywności opon na wartość przyspieszenia poprzecznego podczas manewru łagodnego skręcania ze stałą prędkością

#### 4. Analiza uzyskanych wyników

W wyniku przeprowadzonych badań symulacyjnych i zamieszczonych w rozdziale 3 wykresów można stwierdzić m.in.:

1. Zmiana sztywności promieniowej ogumienia pojazdu nie wpłynęła na dynamikę pojazdu podczas wykonywania poszczególnych manewrów (Rys. 21-22);
2. Zastosowanie stabilizatorów pojazdu ze zwiększonym o 20% współczynnikiem sztywności wpłynęło pozytywnie na zdolność wykonywania przez pojazd określonych manewrów. Na Rys. 20 - po zakończeniu manewru szarpnięcia kierownicą - można zaobserwować zdecydowany spadek wartości przyspieszeń poprzecznych przy zastosowaniu wzmocnionych stabilizatorów w stosunku do zawieszenia standardowego oraz ze wzmocnionymi resorami.
1. Zastosowanie wzmocnionych stabilizatorów podczas manewru łagodnego skrętu ze stałą prędkością, wykazało możliwość uzyskania większej wartości przyspieszenia poprzecznego (w stosunku do zawieszenia standardowego), w chwili utraty stabilności przez pojazd - Rys. 18. Przekłada się to również bezpośrednio na tor jazdy pojazdu - Rys. 19.
2. Wzrost sztywności resorów spowodował wcześniejszą utratę stabilności przez pojazd podczas manewru łagodnego skrętu (mniejsza wartość przyspieszenia poprzecznego - Rys. 18).
3. Wzrost masy pojazdu do 6800 kg spowodował, iż pojazd nie wykonał manewru podwójnej zmiany pasa ruchu przy prędkości 75 km/h i dla takiej masy za bezpieczną prędkość uznano 65 km/h. Należy podkreślić, iż przy zwiększonej masie całkowitej nie symulowano jednoczesnej zmiany charakterystyk zawieszenia.
4. W wyniku symulowania zmiany położenia środka masy w płaszczyźnie poziomej stwierdzono, iż podczas przesunięcia go wzdłuż osi Y do tyłu o 170 mm, uzyskuje się większe wartości przyspieszeń poprzecznych w chwili utraty stabilności przez pojazd (Rys. 9), co ma również odzwierciedlenie w torze ruchu pojazdu (Rys. 10). W trakcie manewru szarpnięcia kierownicą przesunięcie środka masy do tyłu spowodowało mniejsze amplitudy przyspieszenia poprzecznego po zakończeniu manewru kierownicą (Rys. 11).
5. Przemieszczenie środka masy na lewą stronę pojazdu zdecydowanie zwiększyło wartość przyspieszenia poprzecznego w chwili utraty stabilności ( $8,6 \text{ m/s}^2$  - Rys. 9) - jednakże wynika to z faktu, iż skręt pojazdu odbywał się w lewą stronę.
6. Największy wpływ na parametry ruchu pojazdu w warunkach prowadzonej symulacji miało przemieszczanie środka masy pojazdu w płaszczyźnie pionowej;

- obniżenie środka masy do wartości 800 mm, podczas wykonywania manewru podwójnej zmiany pasa ruchu, spowodowało wzrost prędkości przejazdu z 75 km/h do wartości 100 km/h,
- obniżenie środka masy do wartości 800 mm, wpłynęło na zmniejszenie wartości amplitud przyspieszeń poprzecznych po zakończeniu ww. manewru (Rys. 6),
- wzrost wartości pionowej położenia środka masy pojazdu spowodował spadek wartości prędkości wykonywania manewru podwójnej zmiany pasa ruchu do 45 km/h.

## 5. Podsumowanie

Rozwój samochodów patrolowo interwencyjnych odbywa się dynamicznie - powstaje szereg nowych wersji. Opracowywanie ich wiąże się z koniecznością badań nad bezpieczeństwem ruchu, na które mogą wpłynąć wprowadzone zmiany, aby tego uniknąć wykonuje się, często bardzo kosztowne i niebezpieczne dla ludzi, badania na pojazdach prototypowych. Prowadzenie badań symulacyjnych pozwoli na większą efektywność prowadzonych prac poprzez opracowanie katalogu zmian konstrukcyjnych i eksploatacyjnych wraz ze skutkiem ich przeprowadzenia, na kierowalność i stateczność samochodu patrolowo interwencyjnego.

Efekty wymierne obejmują:

- znaczące zwiększenie bezpieczeństwa pojazdu i związane z tym obniżenie ryzyka wypadków drogowych,
- obniżenie kosztów budowy aplikacji samochodu patrolowo-interwencyjnego,
- obniżenie kosztów wykonywania ewentualnych zmian w pojazdach seryjnych,
- pozyskanie dla potrzeb Wojska Polskiego optymalnych konstrukcji pod względem bezpieczeństwa.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy rozwojowy.

## Literatura

- [1] Orłowski, L., *Samochód patrolowo-interwencyjny DZIK*, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2006.
- [2] Jędrzejczak, A., *Modele współpracy opony z nawierzchnią*, Technika Motoryzacyjna 8/80.
- [3] Orzełowski, S., *Badania samochodów i ich zespołów*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej 1989.
- [4] Borkowski, W., Konopka, S., Prochowski, L., *Dynamika maszyn*, WNT, Warszawa 1996.
- [5] Canzon, R. H., *Dynamika układów fizycznych*, WNT, Warszawa 1973.
- [6] Żółtowski, B., *Badania dynamiki maszyn*, Wyd. Markar-BZ, Bydgoszcz 2002.