przewracający się autobus, autobus dwupokładowy, badania symulacyjne, MSC.ADAMS

Andrzej MUSZYŃSKI[1]
Radosław NOWAK[2]
Jarosław SEŃKO[3]

SYMULACYJNE WYZNACZANIE OBCIĄŻEŃ DZIAŁAJĄCYCH NA PRZEWRACAJĄCY SIĘ AUTOBUS DWUPOKŁADOWY[4]

W pracy przedstawiono badania symulacyjne przewracania się autobusu dwupokładowego. Symulacyjny model pojazdu zbudowano wykorzystując metodę układów wieloczłonowych w programie MSC.ADAMS. W dalszej kolejności przeprowadzono badania symulacyjne przewrócenia autobusu, zgodne z Regulaminem 66 ECE, oraz badania przewrócenia autobusu poruszającego się po łuku drogi. Porównanie zastosowanych modeli oraz wyników wykonanych symulacji pozwoliło uwypuklić różnice trajektorii ruchu nadwozia autobusu opadającego zgodnie z testem homologacyjnym a trajektorią nadwozia pojazdu poruszającego się w warunkach rzeczywistych.

Badania wykonane zostały w kontekście dodatkowego zabezpieczenia pasażerów autobusu dwupokładowego przed skutkami przewrócenia się pojazdu. Podniesienie poziomu bezpieczeństwa możliwe jest w tym przypadku przez zmianę sztywności konstrukcji lub zmniejszenie przyspieszenia kątowego dla przewracającego się nadwozia.

SIMULATION INVESTIGATION OF DETERMINING FORCES ACTING ON DOUBLEDECKER COACH

The paper presents a simulation study of doubledecker coach overturning. Vehicle simulation model was constructed using the multibody system in MSC.ADAMS. Simulation of overturning a bus in accordance with ECE Regulation 66, and the study of overturning a bus traveling along a road curve are included. Comparison of the models used and the results of simulations allowed to highlight the differences in body motion trajectory of the bus falling under certification test and the trajectory of the vehicle moving in real conditions.

Tests were performed in the context of additional protection, for doubledecker coach, from the consequences of overturning the vehicle. Raising the level of security is possible in this case by changing the stiffness or reduction of the angular acceleration for overturning coach.

[1]Przemysłowy Instytut Motoryzacji, POLSKA; Warszawa 03-331; Jagiellońska 55. Telefon: E-mail: 22 811 14 21
[2] Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, POLSKA;
Warszawa 02-524; Narbutta 84. Telefon: E-mail: rnowak@simr.pw.edu.pl
[3] Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, POLSKA;
Warszawa 02-524; Narbutta 84. Telefon: 22 234 8478 E-mail: jsenko@simr.pw.edu.pl
[4] Praca wykonana w ramach grantu MNiSZW nr N N509 502438, „Analiza możliwości modyfikacji struktury nadwoziowej turystycznego autobusu piętrowego“.

1. WSTĘP

Obecnie projektowanie obiektów technicznych w szczególności pojazdów samochodowych odbywa się przy zastosowaniu technik komputerowych. Czynnikiem decydującym o zastosowaniu danej metody obliczeniowej jest etap realizacji przedsięwzięcia technicznego. W pierwszych stadiach kreowania obiektów, nowych pod względem funkcjonalności, najistotniejsze jest poprawne określenie obciążeń projektowanej struktury i oddziaływań wynikających z zastosowanych rozwiązań.

Prezentowane w pracy rozważania dotyczą wyznaczania obciążeń przenoszonych przez strukturę nośną autobusu piętrowego podczas przewracania się pojazdu. Podczas badań homologacyjnych ocena bezpieczeństwa autobusu polega na sprawdzeniu czy proponowana struktura zapewnia pasażerom dostatecznie dużą przestrzeń przeżycia wewnątrz nadwozia pojazdu. Badanie przeprowadzane wg regulaminu 66 ECE nie definiują rzeczywistego poziomu bezpieczeństwa lecz mają wyłącznie charakter porównawczy. Oczywistym jest, że nie wszystkie sytuacje występując w rzeczywistości są sprawdzane w badaniach homologacyjnych, tym samym pewne urządzenia projektowane jako nowe elementy bezpieczeństwa biernego nie zawsze mogą być należycie przetestowane w badaniach homologacyjnych.

2. BADANIA SYMULACYJNE ZGODNE Z REGULAMINEM 66 ECE

W regulamin 66 zatwierdzonym przez Europejską Komisję Gospodarczą znajduje się opis prowadzenia badań homologacyjnych autobusów. Badania te mogą być prowadzone na cztery sposoby:

- przewrócenie kompletnego pojazdu, metoda opisana w załączniku 5 regulaminu,
- przewrócenie części nadwozia pojazdu, bądź elementu reprezentującego kompletny pojazd, najczęściej jest to fragment określony długością dwóch sąsiadujących ze sobą okien, metoda opisana w załączniku 6 regulaminu,
- quasi-statyczne badanie obciążeniowe segmentów nadwozia opisane w załączniku 7 regulaminu, jest to badanie, w którym obciążenie przykładane jest do dachu segmentu autobusu, segment ten winien być zamocowany sztywno do stanowiska badawczego,
- quasi-statyczne obliczenia oparte na testach komponentów, informacje o badaniu zawiera załącznik 8 regulaminu 66.

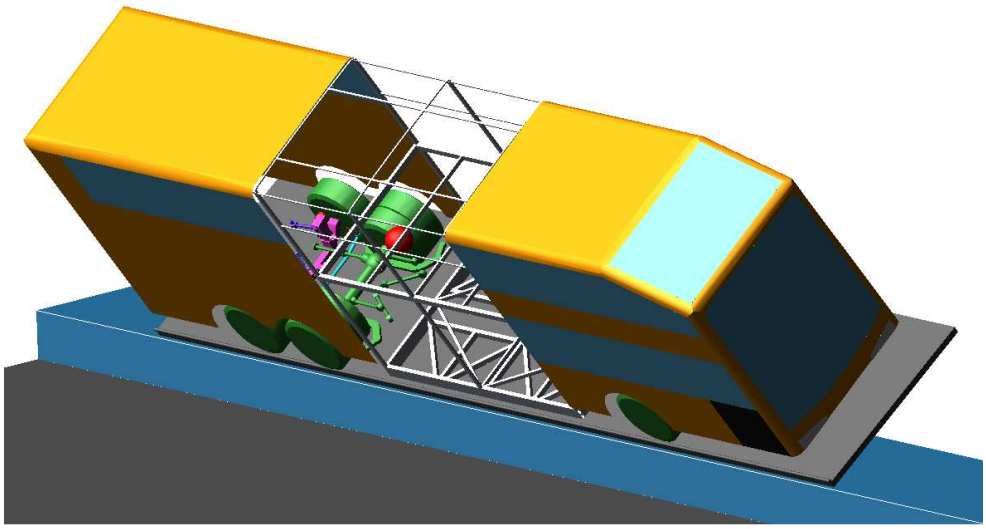
Dwie ostatnie metody są metodami równoważnymi, zgodnie z regulaminem muszą zapewnić reprezentatywność, czyli wierne oddanie warunków panujących podczas badania całego pojazdu, autobusu. Metoda podstawowa o której mowa w załączniku 5 jest metodą referencyjną dla metod równoważnych.

Zawarte w regulaminie wymagania sformułowane są dla konstrukcji nośnej autobusu w kontekście bezpieczeństwa biernego. Do badań masa autobusu określana jest zgodnie z punktem 5.3.1. Regulaminu 66 będzie łączną masą skuteczną pojazdu. Badanie przewrotki zaczyna się w punkcie równowagi niestatecznej, kiedy prędkość kątowa autobusu jest zerowa, a płaszczyzna przechodzi przez środek ciężkości oraz linię łączącą punkty styku kół z nawierzchnią. Energia w przypadku takiej przewrotki autobusu określana jest zgodnie ze znanymi zależnościami na energię potencjalną i kinetyczną ruchu obrotowego, które zapisane są szczegółowo w załączniku 7 Regulaminu 66 ECE.

Dodatkowo w załączniku nr 9 regulaminu znajdują się informacje o sposobie przeprowadzania badań symulacyjnych z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

W badaniach homologacyjnych całego autobusu, masa pojazdu jest łączną masą skuteczną [2], czyli masą własną autobusu gotowego do jazdy, oraz połową masy pasażerów. Pojazd poddawany badaniom homologacyjnym nie musi być całkowicie zmontowanym pojazdem, części i podzespoły pojazdu nie wpływające na bezpieczeństwo bierne mogą zostać usunięte. Ważnym jest, aby zmiany wprowadzane po badaniu, a przed produkcją seryjną nie ingerowały w konstrukcję struktury nośnej autobusu. Położenie środka masy nie może ulec zmianie w pojeździe badanym i produkowanym. Opony powinny być maksymalnie napompowane, a zawieszenie zablokowane, pojazd podczas przewracania nie może poruszać się z większą prędkością kątową niż 5 °/s.

Użycie programu MSC.ADAMS umożliwia wykonanie symulacji przewracania się autobusu rozpatrywanego zarówno jako bryła sztywna lub jako układ kinematyczny członów sztywnych tworzących autobus piętrowy wraz z elementami zawieszenia i układu napędowego. Modele tworzone przy zastosowaniu metody układów wieloczłonowych cechują się łatwością prowadzenia studiów parametrów konstrukcji. Możliwość zmiany parametrów konstrukcji bez ponoszenia dużych nakładów czasowych, sprawia że metoda ta jest atrakcyjna na każdym etapie projektowania i badań symulacyjnych pojazdów.



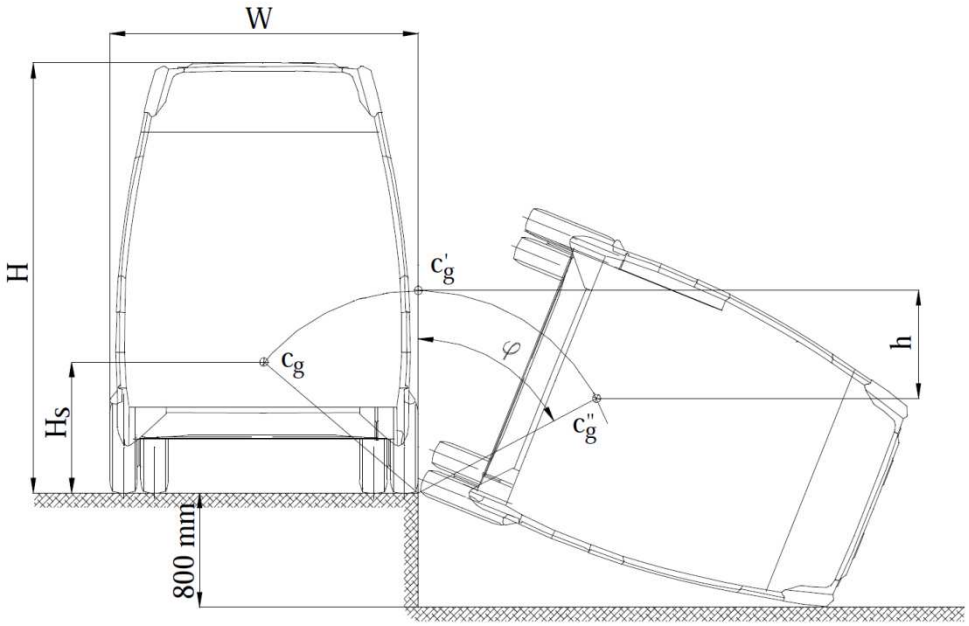
Rys. 1. Model autobusu poddany próbie opisanej Regulaminem 66 ECE

Badania symulacyjne wykonano dla autobusu dwupokładowego o wymiarach i konstrukcji zbliżonej do autobusu Skyliner L firmy Neoplan. Zestawienie podstawowych wymiarów oraz parametrów pojazdu całkowicie obciążonego zestawiono w tabeli 1.

Tab.1. Parametry modelu autobusu dwupokładowego

Parametry modelu autobusu dwupokładowego			
długość	14,00m	rozstaw osi 1-2	6,90 m
wysokość	4,20 m	rozstaw osi 2-3	1,30 m
szerokość	2,50 m	masa całkowita	25000 kg
Położenie środka masy		Masowe momenty bezwładności	
X_0	5,251 m	I_X	48 705 kg m^2
Y_o	0 m	I_Y	410 822 kg m^2
Z_o	1,725 m	I_Z	395 524 kg m^2

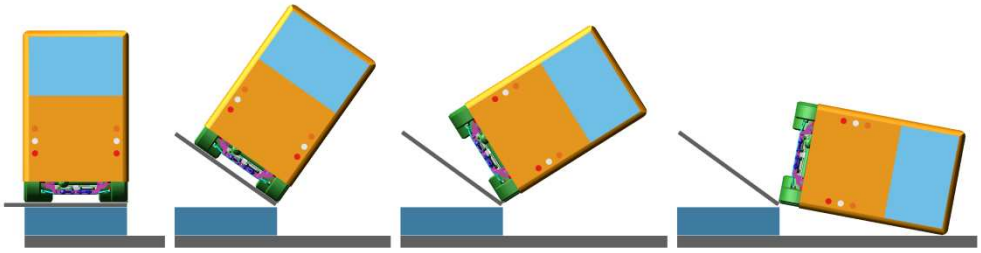
Przygotowany model autobusu znajduje się w stanie równowagi niestatecznej i przewraca się na podłoże przy wychyleniu przekraczającym 36°. Próba opisana w Regulaminie 66 ECE w załączniku 5 przedstawiana jest jako obrót autobusu pod działaniem grawitacji dookoła punktu styku krawędzi opon z nawierzchnią rys. 2.



Rys. 2. Schemat zmian położenia środka masy autobusu podczas przewracania [1]

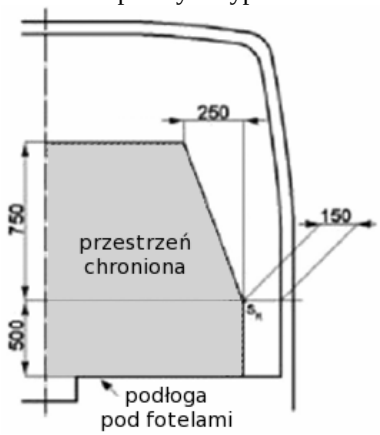
Schemat mechanizmu przewracania autobusu przedstawiony na rysunku 2 umożliwia określenie wartości energii kinetycznej bryły autobusu w ruchu obrotowym w zależności od różnicy wysokości h. Wykonanie obliczeń umożliwia obserwację zmian przyspieszenia działających na środek masy pojazdu. Wartość przyspieszenia środka masy autobusu

w chwili styku naroża dachu z ziemią decyduje o poziomie obciążeń przenoszonych przez konstrukcję nośną nadwozia pojazdu.



Rys. 3. Wybrane kadry symulacji przewracania autobusu w programie MSC.ADAMS/View

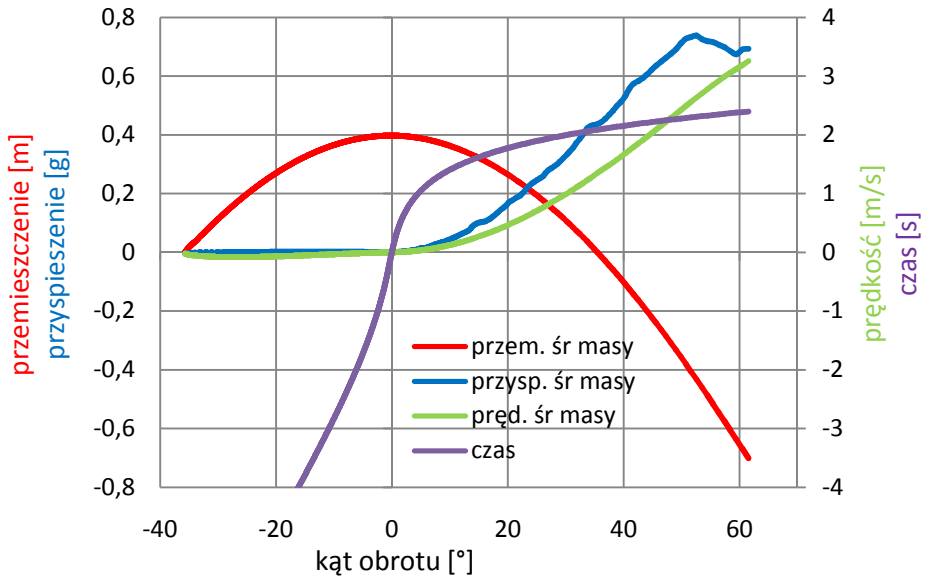
Istotą badania przewracania się autobusu jest sprawdzenie czy konstrukcja pojazdu umożliwiała pasażerom przeżycie, to znaczy czy została zachowana przestrzeń chronioną, określana zgodnie z Regulamin 66 ECE. Przestrzeń chroniona zacieniowana na rys. 4 szarym kolorem, definiuje trapezy do jakich maksymalnie może zdeformować się konstrukcja autobusu, aby pasażerowie przeżyli wypadek.



Rys. 4. Zarys przestrzeni chronionej autobusu zgodny z Regulaminem 66 ECE [2]

Symulacje komputerowe wykonane w programie MSC.ADAMS/View umożliwiły wykreślenie przebiegów przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń środka masy pojazdu w funkcji kąta obrotu nadwozia autobusu. Otrzymane w ten sposób informacje pozwalają na oszacowanie energii pojazdu w momencie uderzenia narożnikiem nadwozia o podłoże.

Wyniki symulacji zestawione na rys. 5, prezentują zmiany rozważanych wielkości oraz ich wpływ na pasażerów autobusu. Szczególnie istotny w kategoriach bezpieczeństwa pojazdu jest krzywa opisująca przyspieszenia środka masy. Poziom tej wielkości w chwili zetknięcia narożnika dachu autobusu z podłożem decyduje o wartości sił deformujących konstrukcję nośną autobusu. Na przebieg pionowego przyspieszenia środka masy można wpływać konstrukcyjnie np. poprzez obniżenie położenia początkowego środka masy lub zmianę szerokości pojazdu. Jednak realizacja takich zmian w typowej strukturze pojazdu jest niemożliwa z punktu widzenia przeznaczenia i sposobu eksploatacji.



Rys. 5. Wykres pionowych przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń środka masy autobusu przewracającego się z pochylonej rampy

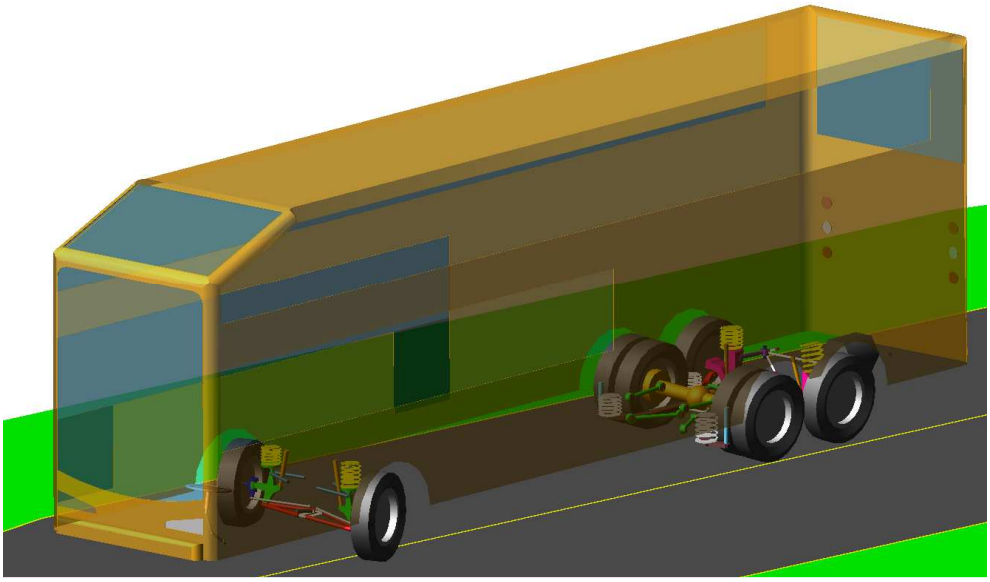
Wyniki symulacji poskazują, że czas potrzebny na obrót pojazdu od położenia równowagi niestatecznej do zetknięcia nadwozia autobusu z podłożem wynosi niespełna 2,4 s. Równocześnie prędkość pionowa środka masy narasta do 3,3 m/s a przyspieszenie przekracza 0,7g. Przemieszczenie środka masy autobusu od maksymalnego uniesienia do położenia w chwili zderzenia wynosi 1,1m. Zmiana pionowego położenia środka masy decyduje o wartości energii, którą rozprasza struktura nośna w teście opisanym w Regulaminie 66 ECE.

3. BADANIA PRZEWRACANIA AUTOBUSU NA ŁUKU DROGI

Wśród wypadków drogowych z udziałem autobusów liczną grupę stanowią zdarzenia związane z przewracaniem się tego typu pojazdu. Występowanie tego typu zdarzeń drogowych związane jest z dużym stosunkiem wysokości do szerokości pojazdów, a tym samym wysoko położonym środkiem masy. Położenie środka masy wysoko nad powierzchnią jezdni powoduje, że autobusy łatwiej tracą stateczność ruchu niż samochody osobowe.

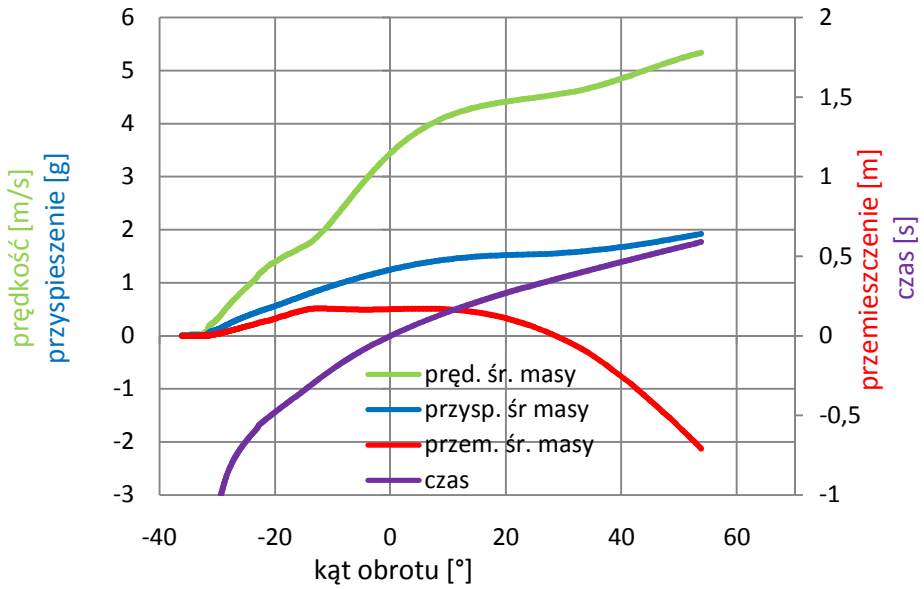
Zwiększenie bezpieczeństwa pasażerów podczas przewracania autobusu można uzyskać rozpraszając część jego energii kinetycznej pomiędzy punktami maksymalnego i minimalnego położenia środka masy rys. 2. Wymaga to modyfikacji struktury nośnej w sposób umożliwiający redukcję przyspieszenia środka masy pojazdu w kierunku pionowym. Rozważania nad techniczną możliwością realizacji takiego działania prowadzone są w ramach prac naukowych realizowanych w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie. Realizacja tak zdefiniowanego zadania wymaga szerszego spojrzenia na rozpatrywane zagadnienie. W tym celu przygotowano model symulacyjny

autobusu w programie MSC.ADAMS/Car. Opracowany model autobusu składa się ze sztywnego nadwozia połączonego z kinematycznie odwzorowanymi układami zawieszeń, układem kierowniczym oraz układem przeniesienia napędu.



Rys. 6. Model autobusu poruszający się po łuku drogi

Przedstawiony na rys. 6 model autobusu wykorzystano do badań bezpieczeństwa ruchu na łuku drogi. Parametry masowe i bezwładnościowe modelu odpowiadają parametrom przedstawionym w tabeli 1. W tym przypadku wieloczłonowy model autobusu uwzględnia odkształcalność podatnych i kinematykę prowadzących elementów zawieszenia. Tak przygotowany modelu umożliwia symulacyjne badania pojazdu w wybranych sytuacjach drogowych. Korzystając z przygotowanego modelu wykonano badania symulacyjne przejazdu z różnymi prędkościami przez łuk o promieniu 100m. Przygotowany model symulacyjny do prędkości 20 m/s przejeżdżał przez łuk bezproblemowo, próba przejazdu z prędkością większą wynosząca 21m/s zakończyła się wywróceniem pojazdu. Na rys. 7 zestawiono wykresy przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia pionowego środka masy nadwozia w funkcji kąta obrotu nadwozia. Z wykreślonych przebiegów jednoznacznie wynika, że pionowe prędkości i przyspieszenia nadwozia są znacznie większe od wyznaczonych zgodnie z regulaminem 66 ECE. Zwiększenie prędkości i przyspieszenia w kierunku pionowym wynika z dużych sił bezwładności działających na kierunku prostopadłym do osi pojazdu. Dodatkowo czas opadania nadwozia od kąta 36° ustalonego pierwotnie jako położenie równowagi niestatecznej jest krótszy i wynosi 0,6s.



Rys. 7. Wykres przemieszczeń, prędkości oraz przyspieszeń dla środka masy autobusu piętrowego przewracającego się na łuku o promieniu 100m

5. WNIOSKI

W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych przewracania autobusu piętrowego modelowanego w pierwszym przypadku jako jedna bryła sztywna zaś w drugim jako model autobusu uwzględniający podatność zawieszenia. Zestawienie otrzymanych wyników wyraźnie ukazuje różnicę otrzymanych wartości wynikającą z metody realizacji badań. Odwzorowanie kinematyki zawieszenia w modelu symulacyjnym umożliwia wykonywanie symulacji komputerowych odpowiadających realnym sytuacjom drogowym. Wyniki obliczeń otrzymywane na podstawie symulacji jazdy modelu autobusu pozwalają na lepsze poznanie wpływu czynników zewnętrznych oddziaływujących na poruszający się pojazd oraz umożliwienie projektowania struktur poprawiających bezpieczeństwo bierne i czynne pasażerów w rozważanych zdarzeniach drogowych.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Barszcz. Z., Diupero. T.: Zachowanie się konstrukcji autobusów pod kątem wymagań zawartych w Regulaminie nr 66 EKG ONZ. Journal of KONES Powertrain and Transport (ISSN 1231-4005) 2006, Vol. 13, No 1, str. 47-56.
[2] Regulamin nr 66 EKG ONZ, Jednolite przepisy dotyczące homologacji dużych pojazdów do przewozu osób w zakresie wytrzymałości konstrukcji.
[3] Deshmukh. P. S.: Rollover and roof crush analysis of low-floor mass transit bus. M.S., Wichita State University, 2006, 137 pages; AAT 1443940