

*bezpieczeństwo czynne, kierowność i stateczność ruchu, własności jezdne,
badania modelowe, krytyczne sytuacje drogowe, samochody ciężarowe,
elektryczne układy kierownicze*

Mirosław GIDLEWSKI¹

BADANIA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ELEKTRYCZNEGO UKŁADU KIEROWNICZEGO DO POPRAWY WŁASNOŚCI JEZDNYCH SAMOCHODU CIĘŻAROWEGO W KRYTYCZNYCH SYTUACJACH DROGOWYCH

Zastosowanie elektrycznego układu kierowniczego do sterowania samochodem ciężarowym daje nowe możliwości wpływania na pożądany i bezpieczny tor ruchu samochodu w chwili zaistnienia krytycznej sytuacji drogowej. Analiza możliwości wykorzystania elektrycznego układu kierowniczego do poprawy własności jezdnych samochodu ciężarowego zostanie przeprowadzona na podstawie wyników badań modelowych. W referacie opisano model samochodu wykorzystywany w badaniach symulacyjnych oraz przedstawiono metodykę i oczekiwane efekty badań. Planowane badania zostaną przeprowadzone w ramach realizacji projektu badawczego własnego nr N N509 568439, którego kierownikiem jest autor referatu.

INVESTIGATION OF THE OPPORTUNITY TO TAKE ADVANTAGE OF THE STEERING SYSTEM FOR IMPROVEMENT OF TRUCK DRIVING PROPERTIES UNDER CRITICAL ROAD CONDITIONS

Application of an electric steering system in a truck gives new opportunities to obtain desirable and safe motion course under critical road conditions. Analysis of the opportunity to take advantage of the steering system for improvement of truck driving properties will be carried out on the basis of the results of model tests. The paper describes model of the car applied in simulation tests and methodology as well as anticipated results. The scheduled tests will be carried out within the framework of an research project No. NN509 568439 headed by the author.

1. WSTĘP

Sterowanie współczesnym samochodem w normalnych warunkach ruchu nie sprawia praktycznie żadnych trudności, nawet kierowcy o przeciętnych umiejętnościach. W trakcie eksploatacji występują jednak krytyczne sytuacje drogowe, w których kierujący pojazdem zmuszony jest do wykonywania gwałtownych i często błędnych manewrów obronnych, prowadzących do utraty stateczności ruchu przez samochód, a w konsekwencji do kolizji lub wypadku drogowego. Aby zminimalizować liczbę takich przypadków, współczesny

¹ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, 26-600 Radom, ul. Chrobrego 45, e-mail: miroslaw.gidlewski@pr.radom.pl

samochód wyposażony jest w urządzenia ostrzegające kierowcę o możliwości zaistnienia krytycznej sytuacji jezdnej, a chwili gdy taka sytuacja zaistnieje wspomagające a nawet wyręczające go w wykonywaniu (a w przyszłości również w wyborze) skutecznych manewrów obronnych.

Samochody produkowane obecnie, w tym również samochody ciężarowe wyposażone są w układy śledzące możliwy tor ruchu pojazdu i ostrzegające kierowcę przed możliwością zjechania zadanego toru oraz układy monitorujące i regulujące odległość samochodu od innych uczestników ruchu drogowego i pojawiających się przeszkód na drodze. Powszechne zastosowanie znalazły również układy wspomagające kierowcę w sterowaniu samochodem takie, jak układ przeciwblokujący ABS, układ przeciwoślizgowy ASR, układ stabilizacji toru ruchu ESP czy asystent hamowania BAS. Działania te nieuchronnie prowadzą do zastąpienia kierującego samochodem automatycznym układem sterowania, czyli do wyeliminowania najbardziej zawodnego elementu układu Kierowca – Pojazd – Otoczenie. Niezbędnym krokiem umożliwiającym osiągnięcie tego celu jest zastosowanie w samochodach elektrycznego układu kierowniczego.

W chwili obecnej na świecie trwają intensywne prace nad zastosowaniem elektrycznego układu kierowniczego w pojazdach. Opracowano i opatentowano wiele różnych rozwiązań układów kierowniczych. Niektóre z tych rozwiązań znalazły nawet zastosowanie praktyczne w samochodach osobowych. Należy jednak stwierdzić, że tematy związane z wykorzystywaniem elektrycznego układu kierowniczego do doskonalenia metod sterowania samochodem są jeszcze cały czas na etapie rozpoznawania możliwości i to głównie w odniesieniu do sterowania samochodami osobowymi.

W Polsce temat wykorzystania elektrycznego układu kierowniczego do sterowania samochodem jest znacznie mniej rozpoznany. Uwaga ta dotyczy w szczególności samochodów ciężarowych. Samochody ciężarowe, w stosunku do samochodów osobowych posiadają specyficzne własności tzn.: duże zmiany w trakcie eksploatacji wartości mas resorowanych i ich momentów bezwładności, znacznie zmiany położenia środka masy w zależności od sposobu załadunku, duża skłonność do wywracania się, zmieniające się w szerokim zakresie wartości siły działające na elementy układu kierowniczego. Fakty te sprawiają, że temat podjęty w referacie jest aktualny i potrzebny.

2. METODYKA BADAŃ

Analiza możliwości wykorzystania elektrycznego układu kierowniczego do poprawy własności jezdnych samochodu ciężarowego zostanie przeprowadzona na podstawie wyników badań modelowych.

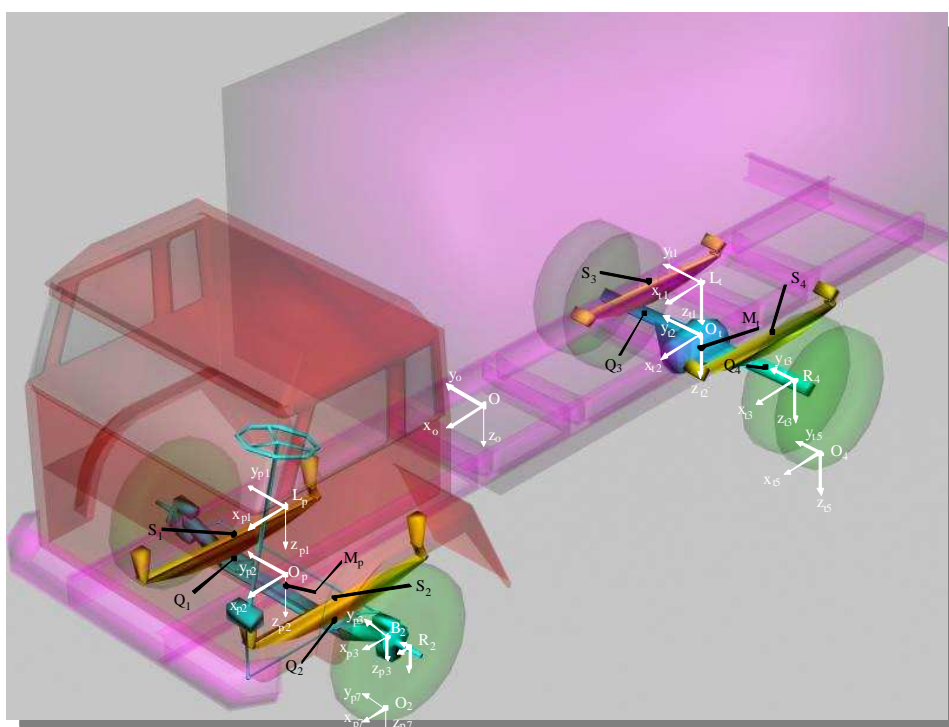
W badaniach symulacyjnych zostanie wykorzystany model samochodu ciężarowego, opracowany i zweryfikowany w trakcie wcześniejszych prac prowadzonych przez autora referatu.

2.1 Charakterystyka modelu samochodu

Model fizyczny pojazdu zbudowano na podstawie badań i obserwacji typowego, dwuosowego samochodu ciężarowego średniej ładowności. Rozważany pojazd, posiada stanowiące jedną całość z ramą nadwozie, do którego mocowane są belki osi przedniej

i tylnej. Każda z osi prowadzona jest przez dwa podłużne resory piórowe, które jednocześnie pełnią funkcję elementów sprężysto-tłumiących poszczególnych zawiesznień samochodu. Strukturę modelu fizycznego samochodu przedstawiono na rys. 1.

Model fizyczny pojazdu jest przestrzennym, dyskretnym układem dynamicznym, uwzględniający wszystkie najistotniejsze stopnie swobody rzeczywistego obiektu. Składa się z siedmiu brył sztywnych (nadwozie, oś przednia, oś tylna, cztery koła jezdne). Bryły te połączone są elementami podatnymi o nieliniowych charakterystykach sprężystości i tłumienia.



Rys. 1 Ogólny widok modelu samochodu ciężarowego; charakterystyczne punkty i układy współrzędnych

Model posiada dwadzieścia stopni swobody. Sześć stopni swobody ma nadwozie. Może wykonywać ruchy postępowe: wzdłużne, poprzeczne i pionowe oraz ruchy obrotowe względem trzech osi współrzędnych układu $O\ x_0\ y_0\ z_0$ (rys. 1), sztywno związanego z nadwoziem. Belka osi przedniej i belka osi tylnej mają po cztery stopnie swobody. Obydwie osie pojazdu mogą wykonywać ruchy postępowe i obrotowe w płaszczyznach: $O\ y_0\ z_0$ i $O\ x_0\ y_0$ (rys. 1). Koła przednie posiadają po dwa stopnie swobody. Każde z kół może obracać się wokół odpowiadającego mu sworznia zwrotnicy oraz względem własnej osi symetrii prostopadłej do płaszczyzny środkowej koła. Koła tylne („bliźniaki”) mają po

jednym stopniu swobody. Mogą obracać się względem własnych osi symetrii prostopadłych do płaszczyzn środkowych kół.

Model pojazdu wyposażony jest w klasyczny układ kierowniczy. Model układu kierowniczego uwzględnia jego geometrię, kinematykę oraz własności sprężyste i tłumiące. Koła posiadają konstrukcyjne kąty zbieżności i pochylenia. Sworznie zwrotnic posiadają konstrukcyjne kąty pochylenia i wyprzedzenia.

Model koła ogumionego opisuje współpracę z równą nawierzchnią drogi. Uwzględnia własności sprężysto-tłumiące koła w kierunku promieniowym i poprzecznym. Do opisu sił i momentów występujących w strefie kontaktu koła z jezdnią wykorzystano teorię Dugoffa, Fanchera, Segela uzupełnioną o wytyczne wynikające z prac prowadzonych w Brunszwiku pod kierunkiem prof. M. Mischke. Zastosowany model koła ogumionego umożliwia symulację ruchu samochodu w warunkach zmiennego poślizgu.

Wymuszenia działające na samochód to: siły i momenty aerodynamiczne oraz momenty hamujące i/lub napędowe działające na poszczególne koła.

Model matematyczny pojazdu zbudowano wykorzystując równania Boltzmanna-Hamela w quasi-współrzędnych. W rezultacie otrzymano dwadzieścia równań różniczkowych drugiego rzędu, które odpowiadają dwudziestu stopniom układu dynamicznego. Równania te uzupełniono ośmioma równaniami więzów kinematycznych i sześcioma równaniami więzów geometrycznych.

Model matematyczny pojazdu uwzględnia obecność układów: antyblokującego ABS, antypoślizgowego ASR oraz stabilizacji toru ruchu ESP.

Model samochodu przeszedł szeroką i gruntowną weryfikację eksperymentalną w trakcie realizacji projektu badawczego nr 8T07C 009 20 [1,2].

Istniejący model pojazdu zostanie w wyposażony w nowy model układu kierowniczego [3,4,5] i w nowe modele współpracy kół ogumionych z nawierzchnią drogi [7]. Budowa tych modeli będzie wspomagana badaniami eksperymentalnymi układu kierowniczego i kół ogumionych dużego rozmiaru w celu wyznaczenia wartości parametrów poszczególnych modeli.

Zostanie przedstawiona koncepcja elektrycznego układu kierowniczego polegająca na uzupełnieniu, przekładnią planetarną napędzaną przez silnik elektryczny, klasycznego układu kierowniczego stosowanego w samochodach ciężarowych. Model będzie umożliwiał, w uzasadnionych przypadkach, zmiany wartości przełożenia kinematycznego układu kierowniczego, w wyniku uruchomienia przekładni planetarnej przez silnik elektryczny. Pozwoli to, w krytycznych sytuacjach drogowych, na przyspieszenie bądź spowalnianie zmian wartości kątów skrętu kół kierowanych w stosunku do zmian wartości kąta obrotu koła kierownicy, a w ekstremalnych przypadkach nawet na całkowite uniezależnienie kątów skrętu kół kierowanych od kąta obrotu koła kierownicy realizowanego przez kierowcę. Priorytetem będzie stateczność ruchu samochodu, co oznacza, że elektryczny układ kierowniczy będzie układem podrzędnym w stosunku do układu stabilizacji toru jazdy ESP. Zakłada się również, że opracowywany program sterowania „elektryczną kierownicą” będzie skorelowany z układami śledzącymi parametry drogi i otoczenia.

2.2 Badania symulacyjne

Do prowadzenia badań modelowych zostanie wykorzystany pakiet programów obliczeniowych pozwalających na symulację ruchu samochodu w dowolnej sytuacji jezdnej lub na symulację typowych testów badawczych wykorzystywanych do badań kierowności stateczności ruchu samochodu.

Opracowane programy obliczeniowe wymagają wprowadzenia ponad 200 parametrów modelu pojazdu. Wartości tych parametrów wyznaczono korzystając z dokumentacji konstrukcyjnej samochodu STAR 1142 oraz na podstawie wyników badań eksperymentalnych tego samochodu i jego podzespołów.

Zostanie przeprowadzona symulacja i analiza ruchu modelu pojazdu w następujących testach badawczych:

- ustalona jazda po okręgu,
- szybki obrót kołem kierownicy w czasie jazdy na wprost,
- gwałtowne hamowanie w czasie jazdy po prostej i po łuku,
- pojedyncza i podwójna zmiana pasa ruchu.

Wyniki symulacji zostaną wykorzystane do wyznaczenia granicznych wartości parametrów ruchu samochodu ciężarowego dla różnych wariantów obciążenia skrzyni ładunkowej pojazdu i różnych wartości współczynników przyczepności opon do nawierzchni jezdni. Wartości te zostaną wykorzystane do prognozowania możliwości wystąpienia krytycznych sytuacji drogowych.

Model samochodu ciężarowego zostanie wykorzystany do przeprowadzenia szeregu symulacji manewru omijania nagle pojawiającej się przeszkody na torze ruchu samochodu. W pierwszym etapie badań model samochodu będzie wyposażony w model klasycznego układu kierowniczego. W kolejnych symulacjach zmieniane będą odległości pojawiania się przeszkody od poruszającego się samochodu dla zadanych prędkości jazdy samochodu oraz rodzaju i stanu nawierzchni drogi, po której porusza się pojazd. Wyznaczane będą przebiegi kąta obrotu koła kierownicy niezbędne do bezkolizyjnego ominięcia przeszkody. Wyznaczone zostaną również minimalne odległości pojawienia się przeszkody od samochodu, przy których ominięcie przeszkody nie będzie możliwe.

W drugim etapie badań model samochodu będzie wyposażony w elektryczny model układu kierowniczego. Zostanie przeprowadzona seria symulacji manewru omijania nagle pojawiającej się przeszkody, uwzględniająca wyniki uzyskane w pierwszym etapie badań. W symulacjach elektryczny układ kierowniczy zostanie wykorzystany do zwiększania prędkości obrotowej kątów skrętów kół kierowanych w stosunku do prędkości obrotu koła kierownicy. Zostaną ustalone sygnały i ich wartości graniczne, przekroczenie których będzie powodowało uruchomienie silnika elektrycznego napędzającego przekładnię planetarną układu kierowniczego. Zostanie opracowany program obliczeniowy wyznaczający pożądaną przebieg kąta obrotu wirnika silnika elektrycznego, ustalający ostateczne wartości kątów skrętu kół kierowanych samochodu, niezbędne do bezkolizyjnego ominięcia przeszkody. Program obliczeniowy będzie uwzględniał różne warianty obciążenia skrzyni ładunkowej samochodu oraz różne nawierzchnie drogi po której porusza się samochód. Planuje się, że początkowo jedną dominantą prognozy zadanego toru ruchu samochodu będzie bezkolizyjne ominięcie przeszkody. W kolejnych badaniach sterowanie elektrycznym układem kierowniczym będzie skorelowane z układami śledzenia parametrów drogi i otoczenia.

Zakłada się, że wyniki przeprowadzonych badań modelowych pozwolą na gruntowną analizę możliwości poprawy sterowania torem ruchu samochodu przy omijaniu nagle pojawiającej się przeszkody przez zastosowanie elektrycznego układu kierowniczego.

3. WNIOSKI

Przeprowadzenie szeregu symulacji ruchu samochodu ciężarowego w złożonych sytuacjach drogowych pozwoli na:

- wyznaczenie granicznych wartości parametrów ruchu typowego samochodu ciężarowego średniej ładowności w krytycznych sytuacjach drogowych,
- ustalenie sygnałów i wyznaczone ich wartości granicznych powodujących uruchomienie silnika elektrycznego napędzającego przekładnię planetarną układu kierowniczego,
- opracowanie programu obliczeniowego sterującego pracą silnika elektrycznego napędzającego przekładnię planetarną układu kierowniczego, umożliwiającą bezkolizyjne ominięcie nagle pojawiającej się przeszkody,
- przeprowadzenie analizy skuteczności wspomaganie kierowcy przez wykorzystanie założonego elektrycznego układu kierowniczego, w trakcie wykonywania manewru omijania nagle pojawiającej się przeszkody.

Dodatkowym wynikiem prowadzonych działań będzie opracowanie wygodnego i pomocnego narzędzia wspomagającego projektowanie układów bezpieczeństwa czynnego samochodu ciężarowego.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Gidlewski M.: *Model of a dual axis heavy truck for handling studies in complex road situations*, 11th European Automotive Congress Budapeszt 2007.
- [2] Gidlewski M., Luty W.: *Badanie ogumienia samochodu ciężarowego w warunkach dynamicznego hamowania podczas toczenia ze znoszeniem boczny.*, IV Konferencja Naukowo-Techniczna. Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych. Materiały konferencyjne. Kielce 2004.
- [3] Chabaan R. C., Wang L. Y.: *Vehicle electric power assist steering system and method using angle based torque estimation*, US Patent number: US 6,293,366, Date of Patent: Sep.25,2001.
- [4] Mc Cann R. A., Badawy A. A.: *Method and system for improving motor vehicle stability incorporating an electric power steering system*, US Patent number: US 6,499,559, B2, Date of Patent: Dec.31,2002.
- [5] Bedner E.J., Chen H.H.: *A Supervisory Control to Manage Brakes and Four-Wheel-Steer Systems*. SAE Technical Papers, Inc 2004.
- [6] Lee B., Khajepour A., Behdinan K.: *Vehicle Stability through Integrated Active Steering and Differential Braking*. SAE Technical Papers, Inc 2006.
- [7] Pacejka H.,B.: *Tire and Vehicle Dynamics*. SAE Edition. Society of Automotive Engineers, Inc 2006.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego własnego nr N N509 568439 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.