

# XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2024

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

### Metodyka opracowywania automatycznego systemu sterowania samochodem ciężarowym podczas nagłej zmiany pasa ruchu

Mirosław Gidlewski<sup>1,3</sup>, Jerzy Jackowski<sup>1</sup>, Leszek Jemioł<sup>2</sup>, Karol Zielonka<sup>3</sup>, Dariusz Żardecki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Pojazdów i Transportu, Wojskowa Akademia Techniczna

<sup>2</sup>Katedra Pojazdów Samochodowych, Uniwersytet Radomski

<sup>3</sup>Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Motoryzacji

**STRESZCZENIE:** W artykule przedstawiono metodykę zastosowaną przy opracowywaniu automatycznego systemu sterowania pojazdem podczas omijania nagle pojawiającej się przeszkody. Przy budowie systemu sterowania zastosowano badania symulacyjne. W badaniach modelowych wykorzystano, jako wirtualny obiekt sterowania autorski, przestrzenny (3D), dyskretny (MBS) model samochodu ciężarowego, wcześniej gruntownie zweryfikowany eksperymentalnie w badaniach stanowiskowych i drogowych. Przeprowadzono cykl badań modelowych polegających najpierw na badaniu własności jezdnych modelu pojazdu przy wykonywaniu wybranych manewrów jezdnych w różnych warunkach drogowych i eksploatacyjnych. Następnie wirtualny model pojazdu wyposażono osobno w automatyczny układ kierowniczy AFS oraz w układ stabilizacji toru jazdy ESP i sprawdzono jak wpływają zastosowane układy na własności jezdne modelu pojazdu. Na końcu zbudowano system integrujący działania opracowanych wcześniej układów AFS i ESP. Przeprowadzono gruntowne badania modelu pojazdu wyposażonego w zintegrowany system sterowania podczas wykonywania manewru nagłej zmiany pasa ruchu. Wyniki badań wykazały istotne zalety zintegrowanego systemu sterowania AFS+ESP w stosunku do układu AFS.

**SŁOWA KLUCZOWE:** systemy sterowania pojazdem, autonomia procesu zmiany pasa ruchu, symulacja

#### 1. Wprowadzenie

Kierowanie pojazdem drogowym stanowi złożony proces dynamiczny, w którym kierowca realizuje kolejne pojawiające się zadania. Zadania te wynikają z bieżących warunków jazdy oraz z sytuacji drogowej i charakteryzują się różnym stopniem trudności, a także różnymi sposobami realizacji. Do stosunkowo łatwych zaliczyć można stabilizację ustalonego ruchu pojazdu w obecności zakłóceń (nierówności drogi, podmuchy wiatru itd.), czy też nadążanie za zadaniem przez linie ograniczające jezdnię torem jazdy. Do trudniejszych i wymagających stosowania bardziej zaawansowanych algorytmów kierowania zaliczyć należy manewry (np. parkingowe). Najtrudniejszymi są nagle manewry wykonywane z dużymi prędkościami jazdy.

Jednym z najbardziej niebezpiecznych manewrów jezdnych, stosunkowo często występującym w praktyce, jest omijanie nagle pojawiającej się przeszkody na pasie ruchu pojazdu. W chwili gdy przeszkoda pojawia się w odległości mniejszej niż droga potrzebna do zatrzymania samochodu jedynym wyjściem jest zmiana pasa ruchu na wolny sąsiedni pas. Manewr ten jest trudny do wykonania szczególnie dla kierowcy z niewielkim doświadczeniem. Musi być bowiem wykonany w sposób nagły i wymaga szybkich obrotów kołem kierownicy raz w jedną, raz w drugą stronę. Kierowca w takiej sytuacji działa zwykle „na ślepo”, ale wg sprawdzonych i wyczonych wcześniej wzorców. Zbyt duże wartości kątów obrotu koła kierownicy, jak też zbyt długie czasy ich trwania prowadzą zwykle do utraty stateczności kierunkowej, a w przypadku samochodu ciężarowego również do wywrócenia na bok. Warto więc dążyć do automatyzacji manewru zmiany pasa ruchu, choć stwarza to poważne trudności. Wymaga bowiem sterowania obiektem o dynamice niestabilnej

i wrażliwej na zmiany parametrów, którego trajektoria ruchu podlega ostrym ograniczeniom.

W ramach projektu badawczego Nr N N509 568439, zostały wykonane rozległe prace analityczne, obliczeniowe i eksperymentalne skutkujące opracowaniem systemu asystenckiego zastępującego kierowcę w kierowaniu pojazdem w chwili, gdy na pasie ruchu samochodu pojawi się nagle przeszkoda w odległości zbyt małej do zatrzymania pojazdu, ale wystarczającej na ominięcie przeszkody na możliwie najkrótszej drodze. System jest cały czas modyfikowany i udoskonalany. W artykule przedstawiono metodykę zastosowaną przy opracowywaniu systemu sterowania pojazdem.

#### 2. Metodyka badań

Do budowy systemu sterowania zastosowano badania symulacyjne. W badaniach modelowych wykorzystano, jako wirtualny obiekt sterowania autorski, przestrzenny (3D), dyskretny (MBS) model samochodu ciężarowego (24 stopnie swobody), wcześniej gruntownie zweryfikowany eksperymentalnie w badaniach stanowiskowych i drogowych [1]. Opracowanie systemu sterowania zrealizowano w kilku etapach.

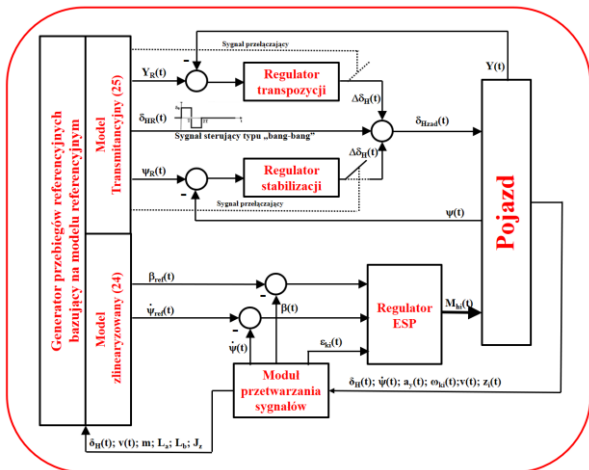
W pierwszym etapie przeprowadzono badania modelu wirtualnego samochodu w celu poznania jego własności jezdnych w różnych warunkach drogowych i eksploatacyjnych. Badania własności jezdnych wirtualnego modelu pojazdu przeprowadzono w układzie otwartym. W badaniach wykorzystano typowe (zalecane przez ISO) testy do badań kierowności i stateczności ruchu samochodu [2], ale odpowiednio zmodyfikowane, a przez to umożliwiające badanie własności jezdnych samochodu w warunkach granicznych oraz po utracie

stateczności przez pojazd. Celem badań było ustalenie scenariuszy utraty stateczności oraz wyznaczenie wartości granicznych parametrów ruchu, przy których występowała niestateczność ruchu wirtualnego pojazdu.

W drugim etapie opracowano model aktywnego układu kierowniczego AFS [3] oraz model układu stabilizacji toru jazdy ESP i wyposażono wirtualny pojazd kolejno w opracowane układy. Następnie sprawdzono jakość i skuteczność działania opracowanych układów pracujących osobno. Przeprowadzono szereg serii testów symulacyjnych, w których układy AFS lub ESP bazujące na tym samym prostym modelu referencyjnym samochodu, wspomagały manewr zmiany pasa ruchu przez wirtualny pojazd. W kolejnych testach zmieniano wartości parametrów (zarówno w modelu referencyjnym, jak i w modelu wirtualnego pojazdu) co umożliwiło sprawdzenie działania układów wspomagających kierowcę w trudnych i niebezpiecznych interakcjach samochód-droga, np. w warunkach zagrażających przekroczeniem przyczepności kół do nawierzchni jezdni lub wywróceniem się pojazdu (czyli w warunkach praktycznie niemożliwych do zrealizowania w czasie testów drogowych). W badaniach uwzględniono również występowanie zakłóceń i błędów sygnałów sygnałów pomiarowych (szumy, przesunięcia, opóźnienia) [3]. Analiza wyników przeprowadzonych badań dostarczyła istotnych informacji odnośnie możliwości opracowanych układów i pokazała też jakie parametry modeli należy wyznaczać bezpośrednio przed rozpoczęciem realizacji manewru oraz jaka powinna być dokładność mierzonych sygnałów.

Wyniki przeprowadzonych badań pokazały poprawne i skuteczne działanie opracowanych układów w większości rozważanych warunków drogowych i eksploatacyjnych. Jedynie w przypadku samochodu nieobciążonego podczas wymijania przeszkody na śliskich nawierzchniach układ AFS zawodził. Samochód nieobciążony tracił często stateczność kierunkową, gdy manewr omijania przeszkody przebiegał w warunkach zbytnio zbliżonych do warunków granicznych.

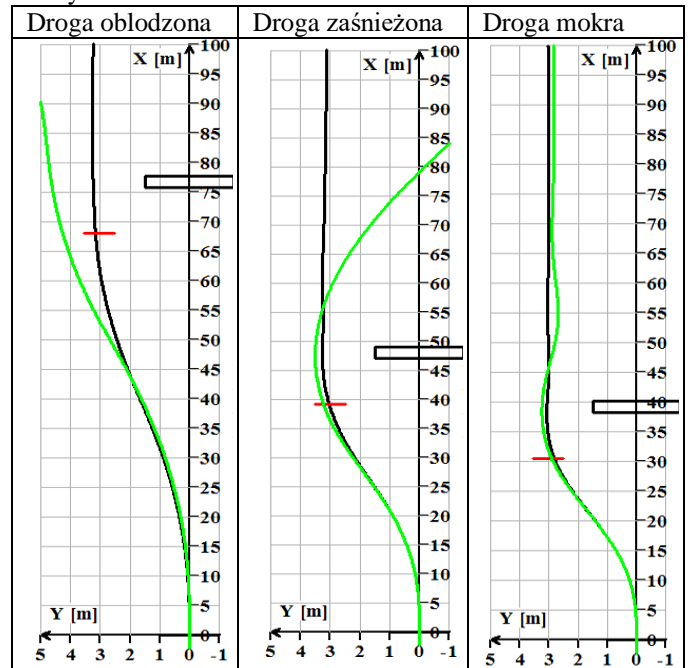
Dlatego też w trzecim etapie opracowano zintegrowany układ sterowania pojazdem w czasie omijania nagle pojawiającej się przeszkody uzupełniając układ AFS układem ESP i umożliwiając współdziałanie tych układów (rys. 1).



Rys. 1. Schemat blokowy zintegrowanego systemu sterowania pojazdem ASF+ESP podczas wykonywania manewru omijania nagle pojawiającej się przeszkody[4].

### 3. Wyniki badań modelowych

Przykładowe trajektorie ruchu nieobciążonego pojazdu ciężarowego sterowanego tylko przez system AFS lub przez zintegrowany system AFS+ESP i poruszającego się z prędkością 70 km/h po bardzo śliskiej lub śliskiej drodze i omijającego nagle pojawiającą się przeszkodę pokazano na rys. 2.



Rys. 2 Trajektorie ruchu samochodu nieobciążonego na śliskich nawierzchniach (AFS – linia zielona, AFS\_ESP – linia czarna)

### 4. Podsumowanie

W porównaniu z układem AFS, który zawodził w sytuacjach ekstremalnie trudnych, opracowany system AFS+ESP okazał się skuteczny. Zagwarantował bowiem utrzymanie stateczności kierunkowej przez pojazd nieobciążony, omijający przeszkodę na wszystkich rozważanych nawierzchniach drogowych. System AFS+ESP pozwolił nawet na nieznaczne skrócenie drogi potrzebnej do ominięcia przeszkody, przy jednoczesnym polepszeniu większości wskaźników służących do oceny dokładności odtwarzania przebiegów referencyjnych.

W przypadku samochodu w pełni obciążonego, uzupełnienie układu AFS układem ESP nie było już tak niezbędne. W porównaniu z działaniem samego układu AFS, zintegrowany system sterowania AFS+ESP powoduje nieznaczne wydłużenie drogi omijania przeszkody. Praca była wspomagana z Uczelnianego Grantu Badawczego UGB 709/202.

### Literatura

- [1] Gidlewski M., Jemioł L., Żardecki D.: *Simulation Investigation of the Dynamics of the Process of Sudden Obstacle Avoiding by a Motor Vehicle*. The Archives of Automotive Engineering. Vol. 73, No 3, 2016. W różnych warunkach
- [2] Zomotor A.: *Fahrwerktechnik: Fahrverhalten*. Vogel Buchverlag Würzburg 1991.
- [3] Gidlewski, M.; Jackowski, J.; Jemioł, L.; Żardecki, D., *Sensitivity of a vehicle lane change control system to disturbances and measurement signal errors – Modeling and numerical investigations*. Mechanical Systems and Signal Processing, 147, 2021.
- [4] Gidlewski M., Jemioł L., Żardecki D.: *Simulation tests of the integrated lane change control system* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1247/2022