

Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Krzysztofa Weigel-Millereta

Wpływ regulacji sił napędowych na stabilność ruchu wąskich pojazdów czterokołowych

wykonanej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej

promotor prof. dr hab. inż. Witold Grzegożek

promotor pomocniczy dr inż. Robert Janczur

1 Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest praca wykonana przez mgr inż. Krzysztofa Weigel-Millereta dotycząca wpływu regulacji sił napędowych na stabilność ruchu wąskich pojazdów czterokołowych. W pracy omówiono problem wpływu wąskiego pojazdu przy jednoczesnym wysoko położonym środku masy (w stosunku do rozstawu kół), na stateczność boczną. W zakresie stateczności poprzecznej wąski pojazd czterokołowy jest podobny do pojazdu trójkołowego. Przedstawiono krawędzie wywrotu (utrata stateczności poprzecznej) dla pojazdu trójkołowego, przy przednim i tylnym ustawieniu pojedynczego koła oraz zachowanie się takiego pojazdu podczas rozpędzania i hamowania. Omówiono różne sposoby poprawy stateczności z wykorzystaniem układu hamulcowego lub rozdziałem momentu na koła napędowe pojazdu. Badany pojazd był napędzany silnikami elektrycznymi, co ułatwiało zastosowanie rozdziału momentu napędowego na koła. Przeprowadzono badania i symulacje ruchu pojazdu po okręgu oraz podczas zmiany pasa ruchu z przekazywaniem napędu na koło wewnętrzne, zewnętrzne i oba koła. Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano i wykonano sterownik pozwalający na aktywny rozdział momentu napędowego zapobiegający przewróceniu pojazdu. Sterownik wykorzystuje podczas wystąpienia zagrożenia wywrotem, ograniczenie przekazywania momentu na koło zewnętrzne, co skutkuje zmianą charakterystyki sterowności powodującą chwilowe powiększenie promienia skrętu.

Praca obejmuje 12 głównych rozdziałów o łącznej objętości 124 strony, 4 tabele i 99 rysunków oraz wykaz oznaczeń i załączniki. Wykaz literatury zawiera 81 prace w większości opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych.

2 Ocena merytoryczna

2.1 Ocena ogólna

Badania, które podjął doktorant mają zarówno walor poznawczy jak i walor praktyczny. Celem pracy było opracowanie aktywnego systemu zapobiegającego przewracaniu wąskiego pojazdu poprzez różnicowanie sił napędowych, poprawiającego bezpieczeństwo czynne i komfort jazdy. Różnicowanie sił napędowych działających na styku kół z nawierzchnią jezdni pozwoliło na zmianę charakterystyk sterowności w taki sposób by zwiększyć stabilność ruchu pojazdu oraz poprawić jego kierowalność. Celem użytkowym było wykonanie systemu sterowania rozdziałem sił napędowych na koła wąskiego pojazdu.

Postawiona teza pracy:

Poprzez zastosowanie specjalnie opracowanego algorytmu sterowania silnikami napędowymi można zmienić jego charakterystyki sterowności i kierowalności tak, aby zwiększyć stabilność ruchu i bezpieczeństwo czynne oraz poprawić jego manewrowość.

Postawiona teza została udowodniona poprzez utworzenie koncepcji sterowania wąskiego pojazdu, głównie pod kątem aktywnego systemu kontroli przechyłu bocznego. Efektem opracowanej koncepcji jest wyznaczenie zakresu bezpiecznych kątów skrętu dla różnych prędkości jazdy, wyznaczenie sygnałów sterujących rozdziałem sił napędowych oraz określenie sposobów sterowania. Obejmują one warianty sterowania: podczas jazdy na wprost, podczas jazdy po łuku drogi bez i z zagrożeniem wywrócenia pojazdu, po przekroczeniu maksymalnej wartości kąta przechyłu oraz podczas jazdy z prędkością maksymalną. Poszczególne sposoby sterowania zostały zamienione na algorytm określający napięcia zasilania silników pojazdu, wykorzystany w sterowniku.

Wybór sposobu sterowania siłami napędowymi poprzedzono analizą rozwiązań, z których wstępnie wytypowano dwie metody: wykorzystanie układu hamulcowego lub zmianę sił napędowych generowanych przez silniki elektryczne. W przypadku napędu przez silniki elektryczne umieszczone w kołach, sterowanie silnikami jest znacznie prostszą metodą i efektywniejszą energetycznie. Potwierdzono to prowadząc badania wstępne charakterystyk sterowności, podczas jazdy po okręgu z różnymi wariantami napędu: napędzane koło wewnętrzne, oba koła napędzane i napędzane koło zewnętrzne.

Badania poligonowe ze względu na ograniczenia wynikające z niebezpieczeństwa wywrotu, zostały uzupełnione przez badania symulacyjne. Wymagały one poznania szeregu parametrów badanego pojazdu, co wiązało się z budową specjalnych stanowisk i walidacji modelu symulacyjnego. Dopiero wykorzystując model symulacyjny można było przeprowadzić pełny zakres badań, bez obawy wywrócenia pojazdu.

System aktywnej kontroli przechyłu oparto na zmianie charakterystyki sterowności pojazdu. Realizowano to przez odpowiednie sterowanie wielkościami sił napędowych na kołach: wewnętrznym i zewnętrznym podczas manewru skrętu. W przypadku wystąpienia

granicznych wartości kątów przechyłu pojazdu była zmieniana charakterystyka na podsterowną, co pozwalało na zmianę trajektorii i zmniejszenie kąta przechyłu bocznego. Podczas jazdy na wprost i przy mniejszych kątach przechyłu, niepowodujących zagrożenia wywrotem, pojazd miał neutralną charakterystykę sterowności.

Podjęty przez doktoranta temat jest ważny ze względu na bezpieczeństwo i szybko zwiększającą się ilość tego typu pojazdów. Zastosowanie zaproponowanych rozwiązań pozwala na zwiększenie marginesu stateczności poprzecznej a tym samym zwiększenie bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Jest to szczególnie istotne podczas manewrów omijania przeszkód, czy innych uczestników ruchu.

Sterowanie rozdziałem sił napędowych na koła wykorzystywano w systemach stabilizacji toru jazdy. W przedstawionej pracy została ona wykorzystana do aktywnej kontroli przechyłu wąskiego pojazdu, co jest nowością. W dobie coraz szybciej rozwijających się miast, zwiększaniu ilości samochodów i ograniczeniach emisji CO₂, ilość pojazdów miejskich, w tym pojazdów wąskich o napędzie elektrycznym, będzie szybko wzrastać. Zaproponowane rozwiązania pozwalają na zwiększenie bezpieczeństwa w ruchu drogowym i mogą wpłynąć na zmniejszenie liczby wypadków polegających na przewróceniu pojazdu.

2.2 Ocena szczegółowa

Rozprawa ma układ pracy badawczej, obejmuje 14 podstawowych części: „Wykaz oznaczeń” (1), „Wstęp” (2), „Cel i zakres pracy” (3), „Teza pracy” (4), „Opis pojazdu” (5), „Pomiary parametrów geometrycznych i masowych pojazdu” (6), „Badania wstępne” (7), „Jednośladowy model jazdy” (8), „Model o trzech stopniach swobody” (9), „Koncepcja sterowania” (10), „Schemat budowy sterownika” (11), „Badania drogowe pojazdu z aktywnym systemem zmniejszania przechyłu poprzecznego” (12), „Wnioski” (13), „Wnioski dotyczące dalszych prac” (14) i załączniki 1 i 2. Ponadto praca zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim.

Wstęp (2)

We wstępie przedstawiono problem szybkiego przyrostu liczby samochodów w miastach, nienadążającej za tym wzrostem infrastruktury drogowej, przy jednoczesnym niskim wykorzystaniu pojazdów do transportu osób (zazwyczaj w pojeździe porusza się tylko jedna osoba), małą ilością miejsc parkingowych, zanieczyszczeniu środowiska i uciążliwościami z tym związanymi. Jako alternatywę została przedstawiona idea wąskiego pojazdu miejskiego wymagającego mniejszej ilości miejsca do jazdy i parkowania, zużywającego mniej energii. Przedstawiono również niedogodności i zagrożenia wynikające z wysoko położonego środka masy i niewielkiego rozstawu kół. W dalszej części przedstawiono rozwiązania samochodów miejskich jedno lub dwuosobowych a także pojazdów trójkołowych.

Pozostała część rozdziału stanowi omówienie stanu wiedzy związanej ze statecznością poprzeczną pojazdów, modeli symulacyjnych pojazdów i opon oraz zagadnień związanych z

oceną i poprawą stateczności poprzecznej pojazdu. W części prac porównywano zachowanie się pojazdu cztero- i trójkołowego.

W podrozdziale 2.2 przedstawiono modele matematyczne stosowane przy opisie stateczności pojazdów. Przedstawiono modele wielobryłowe: dwuśladowy, wielobryłowy i jednośladowy. W podrozdziale 2.3 przedstawiono modele matematyczne opon, definicje promieni statycznego i dynamicznego oraz poślizgu. Przedstawiono modele opon: bezpoślizgowy, liniowy, Dagoffa i Pacejki. W dalszej części rozdziału omawiana jest problematyka stabilności ruchu wąskich pojazdów miejskich. Przedstawiono problem zwiększenia stabilności przechyłowej stosując przechył nadwozia pojazdu. W podrozdziale 2.4 zamieszczono wybrane wskaźniki oceny stabilności wąskich pojazdów. Począwszy od najprostszego wskaźnika SSF dla pojazdów cztero- i trójkołowego, poprzez wskaźnik LTR (LLTR). Kolejny fragment rozdziału opisuje systemy ograniczające wywracanie pojazdu. W tej części rozdziału opisano systemy stabilizacji toru jazdy oparte o działanie układu hamulcowego i rozdział momentów napędowych na koła oraz ich stosowanie w pojazdach trójkołowych. Autor dochodzi do wniosku, że w pojazdach z napędem silnikiem spalinowym łatwiej jest zastosować układ stabilizacji toru jazdy wykorzystujący układ hamulcowy a w pojazdach napędzanych silnikami elektrycznymi montowanymi w kołach pojazdu łatwiej jest sterować momentami napędowymi kół. W tej części rozdziału przywołany jest wskaźnik RI (roll index) zależny od przechyłu, przyspieszenia poprzecznego i prędkości przechyłu bocznego. Na końcu rozdziału przedstawiono podsumowanie.

Wykorzystany w pracy wzór (22) na siłę boczną F_y w modelu toczenia bez poślizgu jest nieprawidłowy – brakuje siła zależy od iloczynu masy i przyspieszenia a nie tylko od przyspieszenia. Rys. 10 przedstawia tylko siłę wzdłużną działającą na koło pojazdu a w opisie przywołana jest siła wzdłużna i siła poprzeczna. Wzór (24) pominięto znak „-„ przed współczynnikiem k_y , który wskazuje na kierunek działania siły. Stwierdzenie, że różnice odporności na przewrócenie pojazdów trój- i czterokołowych są niezauważalne, bez określenia dla jakich pojazdów i w jakich warunkach, jest błędne (str. 29). W przedstawionym modelu (str. 37, rys. 22 i zależności poniżej) były analizowane tylko siły poprzeczne, co powinno być zaznaczone w opisie.

Cel i zakres pracy (3)

W trzeciej części autor zamieścił cel pracy, metodykę badań i opis prac badawczych. Cel pracy został określony prawidłowo. W tym rozdziale autor opisał kolejne kroki działania potrzebne do realizacji celu. Są to: ocena istotności wpływu rozdziału momentu napędowego na zachowanie się układu kierowca – pojazd, prezentacja metodyki i wykonanie badań stateczności i kierowalności, przedstawienie i wybór kryteriów oceny kierowalności i stateczności na podstawie badań drogowych i symulacyjnych, analiza działania algorytmu sterującego pracą silników i określenie sygnałów wejściowych, analiza zmian charakterystyk stateczności i kierowalności po zastosowaniu sterowania rozdziałem momentu napędowego i sformułowanie wniosków i sposobu postępowania przy doborze parametrów działania

sterownika. Ostatnia część rozdziału przedstawia zakres pracy. W tej części wymienione są działania realizowane w pracy: określenie parametrów masowych i geometrycznych badanego pojazdu, przeprowadzenie badań drogowych, przeprowadzenie badań wpływu rozdziału sił napędowych na tor ruchu pojazdu, analiza stateczności ruchu dla modelu „rowerowego” pojazdu, porównanie badań drogowych i symulacyjnych, weryfikacja doświadczalna modelu, zaprojektowanie układu sterującego silnikami napędowymi, i zrealizowanie układu wspomagania na pojeździe MIST, przeprowadzenie badań porównawczych oraz wnioski.

Teza pracy (4)

W części czwartej autor zamieścił tezę pracy. Teza pracy została określona w sposób jasny i klarowny.

Opis pojazdu (5)

W tej części pracy autor przedstawił obiekt badań, którym był pojazd MIST (miejski indywidualny środek transportu) opracowany w Zakładzie Budowy i Eksploatacji Pojazdów Samochodowych Instytutu Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Krakowskiej. W początkowej części rozdziału zostały przedstawione założenia określone przy budowie pojazdu oraz opisana budowa poszczególnych zespołów w tym ramy, zawieszni, układu kierowniczego, hamulcowego oraz napędowego. Szczegółowo opisano montaż silników elektrycznych BLDC w pojeździe.

Autor nie określił, jaki był jego udział w budowie pojazdu i wprowadzeniu zmian mocowania silników. Zestawione dane w tabeli 1 nie są zgodne z danymi zawartymi w tabeli 2 (rozstaw kół tylnych 820 czy 870mm).

Pomiary parametrów geometrycznych i masowych (6)

W szóstym rozdziale pracy autor przedstawił wykonane pomiary parametrów pojazdu niezbędne do utworzenia modelu symulacyjnego. Pierwsze pomiary (podrozdział 6.1) dotyczyły wymiarów i masy pojazdu oraz określenia położenia środka masy. Kolejny podrozdział zawiera opis wyznaczanie momentów bezwładności pojazdu metodą wahadła trójnitkowego i poziomego wahadła kątownego

We wzorze (56) w mianowniku znalazła się liczba 216 (masa całkowita pojazdu) a powinna być 268. Wyznaczając momenty bezwładności I_x dla pojazdu bez i z kierowcą, wykorzystywane jest twierdzenie Steinera, w którym odległości d są raz 1,2 m a następnie dla osi przechylania 0,7 i 0,85m – skąd takie wartości (wzory (78), (79) i (81) oraz (82)). Brak wyjaśnienia użycia tych wartości.

Badania wstępne (7)

W kolejnym rozdziale pracy autor przedstawia wykonane badania wstępne, przy czym w pierwszej części rozdziału jest opisany sposób pomiarów gradientu sterowności, który

przyjęto do oceny charakterystyki sterowności pojazdu. Zaproponowano przeprowadzenie dwóch prób jazdy po torze kołowym: pojazd poruszający się ze stałym kątem obrotu koła kierownicy i różnymi prędkościami oraz pojazd poruszający się po stałym promieniu z różnymi prędkościami. W podrozdziale 7.2 przedstawiono metodykę wyznaczania charakterystyki sterowności podczas próby jazdy po torze kołowym z ustalonym kątem obrotu koła kierownicy, podczas którego wyznaczano zmianę promienia toru jazdy i wynikający z promienia odpowiadający kąt skrętu koła kierownicy. W podrozdziale 7.3 przedstawiono metodykę wyznaczania charakterystyki sterowności podczas próby jazdy po torze kołowym o ustalonym promieniu z różnymi prędkościami. W podrozdziale 7.4 przedstawiono zakres badań, podczas których pojazd był napędzany kołem wewnętrznym, oboma kołami i kołem zewnętrznym. Przedstawiono również aparaturę pomiarową wykorzystywaną podczas testów. Poza opisanymi powyżej testami przeprowadzono próbę rozpędzania. Dalsza część rozdziału zawiera przedstawione w formie graficznej wyniki prób. Końcowa część rozdziału zawiera oszacowanie błędów pomiarów.

We opisie oceny sterowności pojazdu autor napisał, że analizuje przyrost kąta obrotu kierownicy w funkcji przyspieszenia bocznego, gdy z założenia dla próby jazdy po torze kołowym z ustalonym kątem obrotu kierownicy, kąt ten jest stały. Zmienia się trajektoria ruchu pojazdu (str. 65).

Jednośladowy model pojazdu (8)

W rozdziale ósmym autor przedstawił wykorzystywany podczas symulacji model jednośladowy. Wynika to z prostoty modelu pozwalającej na przeprowadzenie symulacji w czasie rzeczywistym przez komputery o małej mocy obliczeniowej. Potrzeba różnicowania momentu na koła napędowe wymagała wprowadzenia dodatkowego momentu zewnętrznego, którego znak zależał od tego, na które koło był podawany moment napędowy. Siły boczne działające na styku koła przedniego i tylnego z jezdnią wyznaczono wprowadzając współczynniki odporności na boczne znoszenie dla kół przedniej i tylnej osi. Zostały one wyznaczone na podstawie badań wstępnych. Przeprowadzono walidację modelu obliczeniowego porównując wyniki uzyskane z badań symulacyjnych z wynikami uzyskanymi z testów drogowych. Przeprowadzono badania dla próby pojedynczej zmiany pasa ruchu. Wyniki porównań zamieszczono w postaci wykresów. Uzyskana zbieżność i współczynnik korelacji Pearsona jest zadowalająca.

W rozdziale 2 model ten jest określany jako model rowerowy – nie zachowano stałego nazewnictwa.

Model o trzech stopniach swobody (9)

W rozdziale dziewiątym autor przedstawia model o trzech stopniach swobody pozwalający na wyznaczenie chwilowych wartości przyspieszenia bocznego, przy założeniu stałej wartości prędkości wzdłużnej. Model ten uwzględnia sztywność i tłumienie w

zawieszeniu, które wyznaczono na podstawie pomiarów. Model ten był walidowany przez wykonanie badań drogowych i symulacyjnych podczas testu zmiany pasa ruchu. Podobnie jak poprzednio testy zostały przeprowadzone przy przekazywaniu siły napędowej na koło wewnętrzne, oba koła i koło zewnętrzne. Podczas testów zmieniono tor pojedynczej zmiany pasa ruchu dostosowując go do wymiarów pojazdu i wyższych prędkości jazdy. Określono graniczny kąt przechyłu pojazdu, przy którym następuje utrata stateczności poprzecznej (oderwanie koła od jezdni). Porównanie badań drogowych i symulacyjnych pozwoliło na wyznaczenie współczynnika korelacji Pearsona, który zawierał się w granicach od 0,85 do 0,99 dla różnych prób. Na tej podstawie uznano, że model jest wystarczający do opisu zachowania się wąskiego pojazdu z systemem rozdziału sił napędowych a szczególnie do wyznaczania kąta przechyłu pojazdu i może być wykorzystany do sterowania rozdziałem sił napędowych.

We wzorach (100-107) nie zachowano jednoznaczności oznaczeń. Można przypuszczać, że M_ϕ to $M_{b\phi}$ a M_z to M_{bz} oraz I w równaniu (106) to I_z a I w równaniu (107) to I_ϕ .

Koncepcja sterowania (10)

W dziesiątym rozdziale autor przedstawił koncepcję sterowania wąskim pojazdem z założeniem zmniejszenia ryzyka wystąpienia utraty stateczności poprzecznej poprzez zmianę charakterystyki sterowności pojazdu. Jako wzorcowy manewr przyjęto pojedynczą zmianę pasa ruchu – manewr obronny przed uderzeniem w niespodziewaną przeszkodę. W takim przypadku zaproponowano utworzenie mapy stateczności (określenie sposobu sterowania siłą napędową w funkcji prędkości jazdy i kąta obrotu koła kierownicy). Określono obszar bezpieczny i obszar, w którym następuje utrata stateczności poprzecznej wąskiego pojazdu (funkcję limitu). Podczas jazdy po zakrętach sterownik spełnia funkcje elektronicznego mechanizmu różnicowego, natomiast po przekroczeniu funkcji limitu sterownik zmienia rozdział momentu napędowego na dobrany doświadczalnie na okres 1 s. W tym czasie pojazd zmienia charakterystykę sterowności na silnie podsterowną a w przypadku osiągnięcia granicznej wartości przechyłu odcina zasilanie silników napędowych – moment napędowy nie jest przekazywany na koła. Do budowy sterownika wykorzystano platformę Arduino. Sterownik wykorzystuje sygnały z czujnika położenia manetki „przyspieszenia”, czujnika kąta obrotu koła kierownicy, sześćoosiowy czujnik Motion Tracking (3 przyspieszenia i 3 prędkości katowe) oraz transoptor szczelinowy do pomiaru prędkości jazdy.

Schemat budowy sterownika (11)

W kolejnym rozdziale opisano wyróżnione stany działania systemu rozdziału sił napędowych na koła: jazda na wprost, jazda po torze krzywoliniowym bez zagrożenia przewróceniem, jazda po torze krzywoliniowym z zagrożeniem przewróceniem pojazdu, kąt przechyłu przekroczył wartość dopuszczalną i jazda z pełną prędkością. W pierwszym przypadku prędkość jazdy zależy od ustawienia manetki „przyspieszenia” a napięcia sterowania obu silników są równe. W drugim przypadku sterownik rozdziela moment

napędowy w taki sposób by zmniejszyć podsterowność pojazdu, pełni rolę elektronicznego mechanizmu różnicowego. W trzecim przypadku podczas jazdy po łuku drogi, gdy sterownik wykryje niebezpieczeństwo przekroczenia wartości funkcji limitu, sterownik powoduje, że moment napędowy przekazywany na koło wewnętrzne jest większy niż moment przekazywany na koło zewnętrzne. To powoduje zmianę charakterystyki sterowności na silnie podsterowną. W czwartym przypadku po przekroczeniu granicznej wartości kąta przechyłu następuje odcięcie zasilania silników elektrycznych w kołach przez okres 1 sekundy a tym samym powoduje zmniejszenie prędkości. W piątym przypadku, przy pełnym otwarciu elektronicznej przepustnicy, następuje równy rozdział momentów napędowych na koła przy ich maksymalnej wielkości.

Podpis pod rysunkiem 93 jest nieprawidłowy, powinno być „podczas jazdy z pełną prędkością” zamiast „przy jeździe po łuku po przekroczeniu maksymalnej wartości przechyłu poprzecznego”

Badania drogowe pojazdu z aktywnym systemem zmniejszania przechyłu poprzecznego (12)

W rozdziale dwunastym autor przedstawił wyniki pomiarów pozwalających na ocenę właściwości dynamicznych pojazdu. W tym celu przeprowadzono badania drogowe i symulacyjne polegające na: pojedynczym skręcie (przebieg skokowy) i zmianie pasa ruchu. W pojeździe zastosowano aktywny system kontroli przechyłu poprzecznego z elektronicznym mechanizmem różnicowym. Na wykresach przedstawiono porównanie pomiarów i symulacji. Z wykresów i podsumowania wynika, że aktywny system ograniczania przechyłu przypadku szybkich zmian kąta skrętu pozwala uniknąć przewrócenia pojazdu, jednak przy utrzymywanych dużych kątach skrętu powoduje wyraźne zwiększenie promienia toru pojazdu.

W rozdziale cel pracy zakładano opracowanie aktywnego systemu zapobiegającego przewracaniu wąskiego pojazdu, w koncepcji sterowania jest wyznaczony cel, jako opracowanie aktywnego systemu kontroli przechyłu poprzecznego a tytuł rozdziału mówi o aktywnym systemie zmniejszania przechyłu poprzecznego – nie jest to jednolite. Tabela 4 nie została omówiona w tekście.

Wnioski (13)

W rozdziale trzynastym stwierdzono osiągnięcie zamierzonego celu pracy. Przeprowadzone badania drogowe jak i symulacyjne potwierdzają poprawę stateczności poprzecznej pojazdu wyposażonego w aktywny system ograniczania przechyłu w stosunku do pojazdu bez takiego systemu. Można, zatem stwierdzić, że została udowodniona teza pracy. Cel użytkarny – opracowanie i wykonanie systemu sterowania rozdziałem sił napędowych na koła przeznaczonym do stosowania w wąskich pojazdach.

Wnioski dotyczące przyszłych prac (14)

W rozdziale czternastym przedstawiono zamierzenia autora dotyczące rozszerzenia badań o zagadnienia jazdy wąskim pojazdem na drogach o pochyleniach wzdłużnych i poprzecznych, z różnymi prędkościami oraz zbadanie wpływu zakłóceń wywołanych nierównościami jezdni. Rozważane jest również zbudowanie sterownika z układem aktywnymi, dynamicznie zmieniającymi się kryteriami sterowania.

3 Ocena końcowa

Stwierdzam, że założony cel pracy wykonanej przez mgr inż. Krzysztofa Weigel-Millereta dotyczącej wpływu regulacji sił napędowych na stabilność ruchu wąskich pojazdów czterokołowych, został osiągnięty.

Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowe Autora uznaję:

1. opracowanie aktywnego systemu zapobiegającego przewracaniu się wąskich pojazdów przez dynamiczne różnicowanie sił napędowych,
2. opracowanie sterownika do aktywnej zmiany charakterystyk sterowności poprzez zmianę wielkości momentów napędowych kół,
3. opracowanie kryteriów sterowania momentami napędowymi kół,
4. przeprowadzenie badań drogowych i symulacyjnych wąskiego pojazdu wyposażonego w sterownik
5. opracowanie modelu symulacyjnego pozwalającego na rozszerzenie zakresu badań o warunki skutkujące wywróceniem pojazdu.

Uwagi merytoryczne do poszczególnych rozdziałów pracy przedstawione w niniejszej opinii nie obniżają ogólnej wartości pracy, mają charakter porządkowy i dyskusyjny.

Doktorant wykazał się znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, opisał rozwiązania stosowane w celu poprawy stateczności poprzecznej, umiejętnościami prowadzenia badań i analizowania wyników, wykorzystania sygnałów pomiarowych do sterowania pojazdem i w końcu umiejętnością zbudowania sterownika. Uzyskał oryginalne wyniki oraz wykazał, że potrafi analizować i krytycznie oceniać uzyskane rezultaty badań i analiz oraz formułować poprawne wnioski poznawcze. Widzi również kierunki dalszych badań. Świadczy to o Jego odpowiednim przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych. Rozprawa jest napisana poprawnie z prawidłowym układem tekstu, na dobrym poziomie merytorycznym i edytorskim. Rozprawa jest opracowana na dobrym poziomie naukowym i redakcyjnym oraz wnosi w przedmiotowym zagadnieniu wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie „budowa i eksploatacja maszyn”, nowa dyscyplina „inżynieria mechaniczna”. Przedstawiona praca ma znaczenie praktyczne.

Praca spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określonym w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016 r. poz. 882 z późniejszymi zmianami).

Uwagi szczegółowe:

Uwagi merytoryczne i porządkowe do poszczególnych rozdziałów zostały zamieszczone przy omówieniu rozdziałów.

Ponadto do tekstu wnosi się następujące uwagi szczegółowe:

Str. 7 - brak określenia ilości osób przypadających na jeden samochód w Rumunii pomimo, że ten kraj jest przywołany.

Str. 23 – wzór (24) zazwyczaj ten wzór ma postać $F_y = -k_y \cdot a$,

Str. 41 – wątpliwość budzi określenie stabilność toru jazdy, powinno być zachowanie stabilności toru jazdy a właściwie stabilności poprzecznej pojazdu.

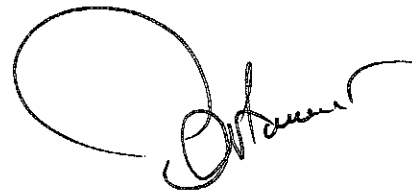
Str. 51 – określono $\tan \gamma \approx 0,13^\circ$, powinno być $\tan \gamma \approx 0,13$.

Str. 72 – podpis pod rys. 50 powinien być dla koła zewnętrznego.

Str. 109 – we wzorze (125) powinno być „R” a nie „r”.

Str. 113 – parametr wg słownika języka polskiego to niewiadoma łącząca funkcję ze zmiennymi. Pojazd może mieć właściwości lub charakterystykę.

Str. 114 – w tabeli 4 nie podano jednostek miar.





Akademia
Techniczno-Humanistyczna
w Bielsku-Białej

dr hab. inż. Krzysztof PARCZEWSKI prof. ATH

KATEDRA SILNIKÓW SPALINOWYCH I POJAZDÓW
43-309 Bielsko-Biała, ul. Willowa 2
tel. (33) 8279244; fax. (33) 8279351;
e-mail: kssip@ath.bielsko.pl
Regon: 072728961, NIP: 547-19-43-784

Szanowny Pan
prof. dr hab. inż. Jerzy Śladek
Dziekan Wydziału Mechanicznego
Politechniki Krakowskiej
Al. Jana Pawła II 37
31-864 Kraków

Wasze pismo z dnia:

Znak:

Nasz znak:
K15 / **113** / 2019

Data:
30.12.2019

Jako recenzent rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Weigel-Millereta składam wniosek o wyróżnienie tej pracy.

Praca jest na bardzo wysokim poziomie naukowym, ze względu na przeprowadzenie licznych badań doświadczalnych dotyczących pojazdów wąskich, dla których problem stateczności poprzecznej jest szczególnie istotny. Praca, wyróżnia się oryginalnością zastosowanych metod i narzędzi badawczych i posiada szczególne walory poznawcze i aplikacyjne. Gwałtowny wzrost ilości pojazdów wąskich o wysokim położonym środku masy powoduje, że poruszane w pracy zagadnienia stają się coraz istotniejsze.

Wyniki uzyskane w pracy zostały przedstawione na konferencji w 2018 roku i opublikowane.

Z poważaniem

