

Poznań 25.04.2022 r.

## **Abstract of doctoral dissertation**

Author: mgr inż. Artur Gołowicz

# **„Electric and hybrid vehicles braking energy management systems”**

Promotor:  
dr hab. inż. Andrzej Wojciechowski,  
prof. AGH

The paper deals with issues related to the development of modern electric and autonomous vehicles. A legal analysis of the type-approval provisions and the changes introduced to the UN Regulations in the field of new requirements was carried out. The amendment to Supplement 18 to the 11 series of amendments to UN Regulation No. 13 relating to vehicle braking was approved by WP.29 in September 2021. This amendment introduces the concept of the Brake performance Estimator, a function that would estimate the remaining deceleration achievable with friction brakes. The estimator algorithm would be used during endurance braking. Existing solutions used in electric vehicles and hybrid vehicles are not economical and significantly reduce the load capacity and economy of such transport. The paper presents an analysis of the solutions currently used in such vehicles. An analysis of the currently used solutions in the field of friction brakes used in vehicles was carried out, taking into account the latest composite solutions such as C / SiC and MMC. Based on the research carried out in the thesis on the influence of various input parameters on the braking performance parameters of friction brakes and literature information in this regard, it was possible to select factors that constitute the key parameters and significantly affect the value of the friction coefficient between the friction material and the friction brake component (brake disk or drum). The experiments carried out earlier have shown that parameters such as the temperature of brake friction elements significantly affect the change of the friction coefficient, leading with its significant increase to the phenomenon of fading, which occurs suddenly and due to the lack of significant symptoms,



it is difficult to predict by the driver. The study also demonstrated the need to register air humidity, which, according to the literature data, has a significant impact on the value of the friction coefficient between friction elements of brake.

The study takes into account manufacturers' trends used in automatic vehicles and the technology used in them. Attention was paid to the ease of measuring the temperature of brake actuators as well as the temperature and humidity of the air outside the vehicle. Such solutions are easy to implement, contributing to a more accurate assessment of the vehicle's braking capability. Taking into account the on-air data transfers used in automatic vehicles, the possibility to determine the position of the vehicle (via GPS) and its predicted route, it is possible to predict the weather conditions in which the vehicle will move. Additionally, air humidity measurement in combination with temperature measurement and meteorological data supplied to the vehicle allows to predict the occurrence of bad road conditions, i.e. wetness or icing of the road. Road conditions also have a major influence on the coefficient of friction between the tire and the road and contribute to decrease the vehicle's braking ability.

The use of appropriate maps and algorithms in conjunction with vehicle descent warning, estimation of the necessary battery SoC value for safe vehicle descent using friction brakes and an energy recovery system.

Based on data analysis of friction materials and applied issues in electric vehicles braking with energy regeneration, it has been noticed that in the case of using friction brakes, it is not possible to indirectly assess the braking capability of the vehicle by means of an analysis of the use of such brakes. Taking into account parameters such as the number of brakes, the time of using the brakes, it is not possible to determine the temperature of the friction elements, which significantly affects the value of the friction coefficient, and thus the possibility of effective braking. In order to meet this problem, an attempt was made to outline solutions that may contribute to the further development of related issues with vehicle braking and those that can be used by autonomous driving systems.

Gotowicz

Poznań 25.04.2022 r.

## Streszczenie rozprawy doktorskiej

Autor: mgr inż. Artur Gołowicz

# „Systemy zarządzania energią hamowania pojazdów elektrycznych i hybrydowych”

Promotor:

dr hab. inż. Andrzej Wojciechowski,  
prof. AGH

W pracy poruszono zagadnienia związane z rozwojem nowoczesnych pojazdów elektrycznych i autonomicznych. Przeprowadzono analizę prawną przepisów homologacyjnych oraz wprowadzonych zmian w Regulaminach ONZ zakresie nowych wymagań. Zmiana w postaci dodatku 18 do 11 serii poprawek do Regulaminu ONZ nr 13 odnoszącego się do hamowania pojazdów została zatwierdzona przez WP.29 we wrześniu 2021 r. Zmiana ta wprowadza pojęcie estymatora skuteczności hamowania, funkcji która miałaby oszacować pozostałe dostępne możliwe do osiągnięcia za pomocą hamulców ciernych opóźnienie pojazdu. Algorytm estymatora byłby wykorzystywany w trakcie hamowania długotrwałego. Dotychczasowe rozwiązania stosowane w pojazdach elektrycznych i hybrydowych są nie ekonomiczne i znacznie ograniczają ładowność oraz ekonomiczność takiego transportu. W pracy przeprowadzono analizę obecnie stosowanych rozwiązań w takich pojazdach. Przeprowadzono analizę obecnie stosowanych rozwiązań w zakresie hamulców ciernych stosowanych w pojazdach z uwzględnieniem najnowszych rozwiązań kompozytowych jak C/SiC oraz MMC. Na podstawie badań przeprowadzonych w pracy magisterskiej dotyczących wpływu różnych parametrów wejściowych na parametry skuteczności hamowania hamulców ciernych oraz dane literaturowe w tym zakresie możliwe było wybrać czynniki, które stanowią kluczowe parametry i istotnie wpływają na wartość współczynnika tarcia pomiędzy materiałem ciernym a elementem wykonawczym hamulca ciernego (tarczą lub bębniem hamulcowym). Doświadczenia przeprowadzone wcześniej

wykazały, że takie parametry jak temperatura elementów ciernych hamulców istotnie wpływa na zmianę współczynnika tarcia doprowadzając przy znacznym jej wzroście do zjawiska fadingu, które występuje nagle oraz ze względu na brak istotnych symptomów jest trudne do przewidzenia przez kierowcę. W pracy wykazano też potrzebę rejestracji wilgotności powietrza, która zgodnie z danymi literaturowymi ma istotny wpływ na wartość współczynnika tarcia materiału ciernego o element wykonawczy hamulca.

W opracowaniu uwzględniono trendy producentów wykorzystywane w pojazdach automatycznych oraz technologię w nich stosowaną. Zwrócono uwagę na łatwość pomiaru temperatury elementów wykonawczych hamulców oraz temperatury i wilgotności powietrza na zewnątrz pojazdu. Takie rozwiązania są łatwe do wdrożenia, przyczyniając się do dokładniejszej oceny możliwości hamowania pojazdu. Biorąc pod uwagę bezprzewodową transmisję danych stosowaną w pojazdach automatycznych, możliwość określenia położenia pojazdu (za pomocą GPS) i jego przewidywaną trasę, można przewidzieć warunki atmosferyczne w jakich będzie poruszał się pojazd. Dodatkowo pomiar wilgotności powietrza w połączeniu z pomiarem temperatury i danymi meteorologicznymi dostarczonymi do pojazdu pozwala przewidzieć występowanie złych warunków na drodze tj. wilgoci lub oblodzenia jezdni. Warunki drogowe również mają zasadniczy wpływ na współczynnik tarcia pomiędzy oponą a nawierzchnią i przyczyniają się do obniżenia możliwości hamowania pojazdu.

Zastosowanie odpowiednich map i algorytmów w połączeniu z ostrzeganiem pojazdu przed zjazdami, szacowania niezbędnej wartości SoC akumulatorów w celu bezpiecznego zjazdu pojazdu ze wzniesienia z wykorzystaniem hamowania hamulcami ciernymi i układem odzyskiwania energii.

Na podstawie analizy danych z badań materiałów ciernych i problematyki stosowanego w pojazdach elektrycznych hamowania z odzyskiem energii zauważono, że w przypadku użycia hamulców ciernych nie ma możliwości oceny w sposób pośredni za pomocą analizy użycia takich hamulców, możliwości hamowania pojazdu. Uwzględniając parametry takie jak ilość zahamowań, czas użycia hamulców nie jest możliwe określenie temperatury elementów ciernych, która w sposób znaczny wpływa na wartość współczynnika tarcia, a więc i możliwość skutecznego hamowania. Wychodząc naprzeciw tej problematyce spróbowano zarysować rozwiązania, które mogą przyczynić się do dalszego rozwoju zagadnień związanych z hamowaniem pojazdu oraz takich które mogą być wykorzystane poprzez systemy jazdy autonomicznej.

Gdaniwicz