BADANIA SYMULACYJNE PROCESU HAMOWANIA SAMOCHODU OSOBOWEGO W PROGRAMIE PC-CRASH

Dr inż. Artur JAWORSKI, Dr inż. Hubert KUSZEWSKI, Dr inż. Adam USTRZYCKI

W artykule przedstawiono wyniki analizy symulacyjnej procesu hamowania samochodów osobowych z systemem przeciwblokującym oraz bez układu ABS. Do badań symulacyjnych użyto programu PC-Crash. Analizowano wpływ wybranych parametrów konstrukcyjno eksploatacyjnych samochodów na długość drogi hamowania. Do parametrów tych należały: współczynnik przyczepności, rozkład sił hamowania, Wyniki symulacji porównano z wynikami badań drogowych w warunkach zimowych.

1. WPROWADZENIE

Badania symulacyjne obejmujące zachowanie pojazdu w różnych fazach ruchu są niezwykle istotne z punktu widzenia możliwości obniżenia kosztów badań, a także rekonstrukcji zdarzeń drogowych. Do analizy ruchu samochodów używane są aplikacje komputerowe, które różnią się dokładnością obliczeń i ich porównywalnością wyników z rzeczywistymi zmianami parametrów opisujących ruch pojazdu. Spośród wielu programów, do szczególnie korzystnych z punktu widzenia dokładności obliczeń i ich wiarygodności, należy program PC-Crash. O jego zaletach świadczy fakt powszechnego używania go przez biegłych z zakresu analizy i rekonstrukcji wypadków drogowych. Zamierzeniem Autorów było zweryfikowanie wyników obliczeń symulacyjnych z rzeczywistymi wynikami badań drogowych, celem określenia istotnych wielkości, które są przyjmowane do analiz symulacyjnych, mających wpływ na ich wynik.

2. OPIS BADAŃ

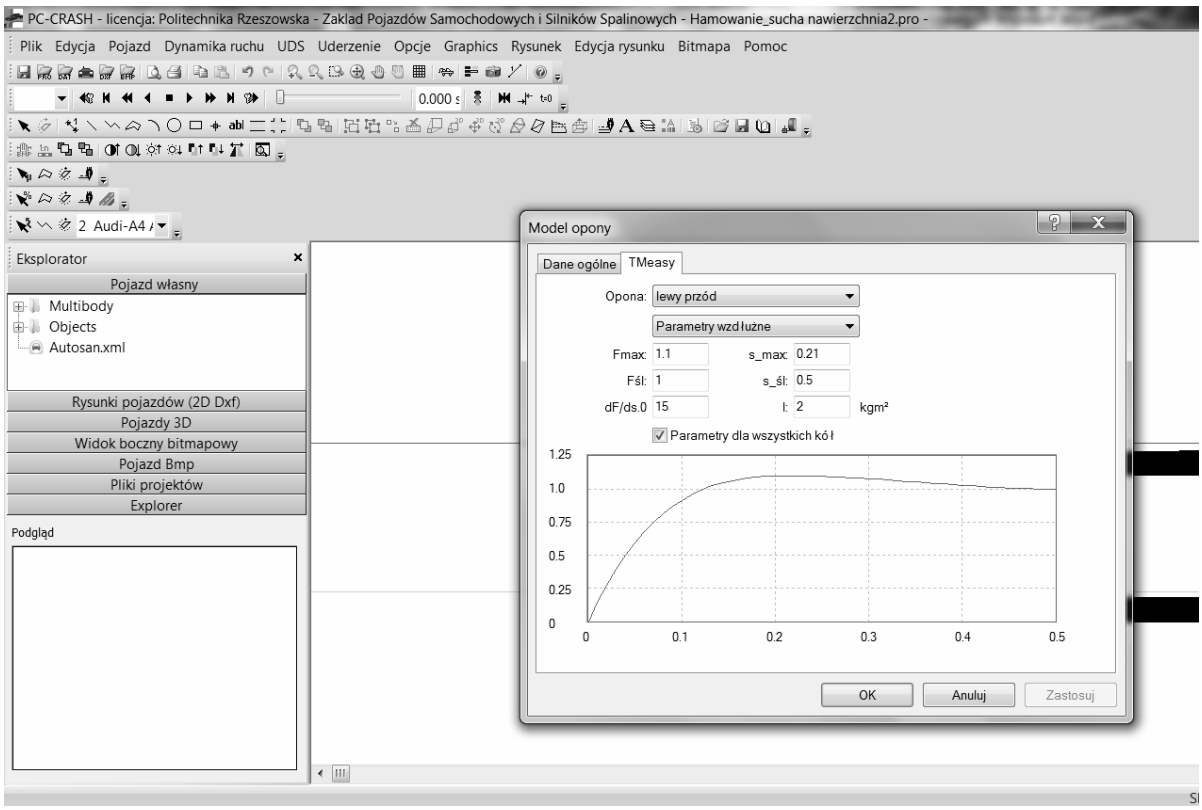
Badania realizowano w programie PC-Crash w wersji 9.0. Modelem samochodu, który został przyjęty do symulacji był Audi A4 Avant oraz Audi 80 B3. Symulacja obejmowała proces gwałtownego hamowania samochodu na prostym odcinku drogi od prędkości początkowej 50 km/h. W analizie założono prostoliniowy tor środka masy samochodów, który jednocześnie miał na celu uwzględnienie reakcji modelu kierowcy. Aby uzyskać pewność, że koła podczas hamowania ulegną zablokowaniu wprowadzono, zgodnie z zaleceniami przedstawionymi w pracy [2], wartości współczynnika sił wzdłużnych ζ_i równe 200%. Współczynnik ten opisuje równanie [2]:

$$\zeta_i = \tau_i \cdot 100\% \stackrel{\text{def}}{=} \frac{F_{xi}}{F_{z0i}} \tag{1}$$

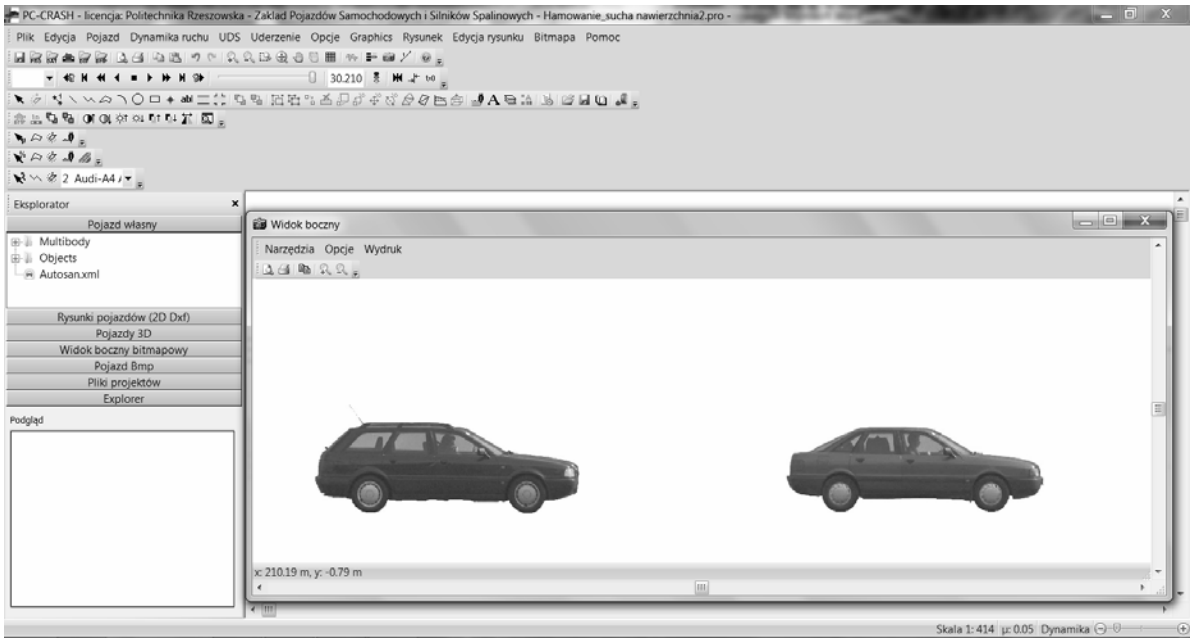
gdzie:
F_{xi} - siła wzdłużna i-tego koła,
F_{z0i} - statyczna reakcja pionowa jezdni na i-te koło.

W obliczeniach dokonywano zmian następujących wielkości wejściowych:
- współczynnika przyczepności μ,
- hamowania z układem ABS oraz bez układu ABS,
- hamowania typu μ-split przy zróżnicowanych współczynnikach przyczepności dla kół z prawej i lewej strony,
- dwa modele opony: liniowy oraz TMeasy [2].

Na rys. 1 przedstawiono przykładowe okno programu z parametrami modelu opon dla modelu TMeasy. Rys. 2 ilustruje położenie pojazdów po zatrzymaniu.



Rys.1. Widok okna programu z ustawieniami modelu opony TMeasy



Rys. 2. Widok samochodów po zatrzymaniu

3. WYNIKI BADAŃ

W tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń długości drogi hamowania początkowej dla różnych współczynników przyczepności nawierzchni, stałych dla wszystkich kół samochodów oraz dla liniowego modelu opony, natomiast w tabeli 2 dla modelu opony TMeasy [2]. Widoczne jest, że dla modelu opony TMeasy różnice długości drogi hamowania, także w warunkach śliskiej nawierzchni, są dla samochodów z układem ABS oraz bez układu ABS takie same. Inaczej jest dla

modelu liniowego. Na rys. 3 przedstawiono porównanie długości drogi hamowania samochodu Audi A4 Avant z układem ABS dla różnych współczynników przyczepności oraz dla modeli opony liniowego i TMeasy.

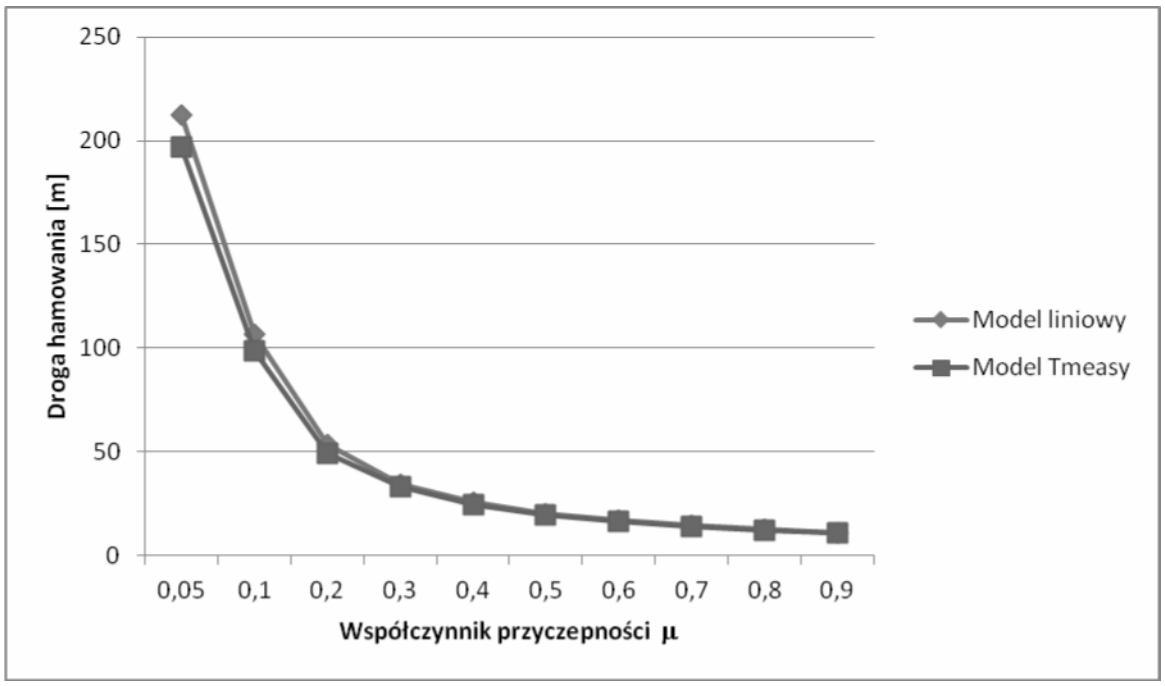
Tabela 1. Wyniki obliczeń dla liniowego modelu opony

Samochód	Współczynnik przyczepności μ	ABS	Droga hamowania
Audi A4 Avant	0,05	Tak	212,42
		Nie	196,72
Audi 80 B3		Tak	220.17
		Nie	196,72
Audi A4 Avant	0,1	Tak	106,89
		Nie	98,41
Audi 80 B3		Tak	107,66
		Nie	98,41
Audi A4 Avant	0,2	Tak	53,29
		Nie	49,25
Audi 80 B3		Tak	53,7
		Nie	49,25
Audi A4 Avant	0,3	Tak	34,27
		Nie	32,87
Audi 80 B3		Tak	34,36
		Nie	32,87
Audi A4 Avant	0,4	Tak	25,42
		Nie	24,68
Audi 80 B3		Tak	25,53
		Nie	24,68
Audi A4 Avant	0,5	Tak	20,14
		Nie	19,77
Audi 80 B3		Tak	20,18
		Nie	19,77
Audi A4 Avant	0,6	Tak	16,71
		Nie	16,49
Audi 80 B3		Tak	16,73
		Nie	16,49
Audi A4 Avant	0,7	Tak	14,3
		Nie	14,15
Audi 80 B3		Tak	14,31
		Nie	14,15
Audi A4 Avant	0,8	Tak	12,5
		Nie	12,39
Audi 80 B3		Tak	12,5
		Nie	12,39
Audi A4 Avant	0,9	Tak	11,01
		Nie	11,03
Audi 80 B3		Tak	11,11
		Nie	11,03

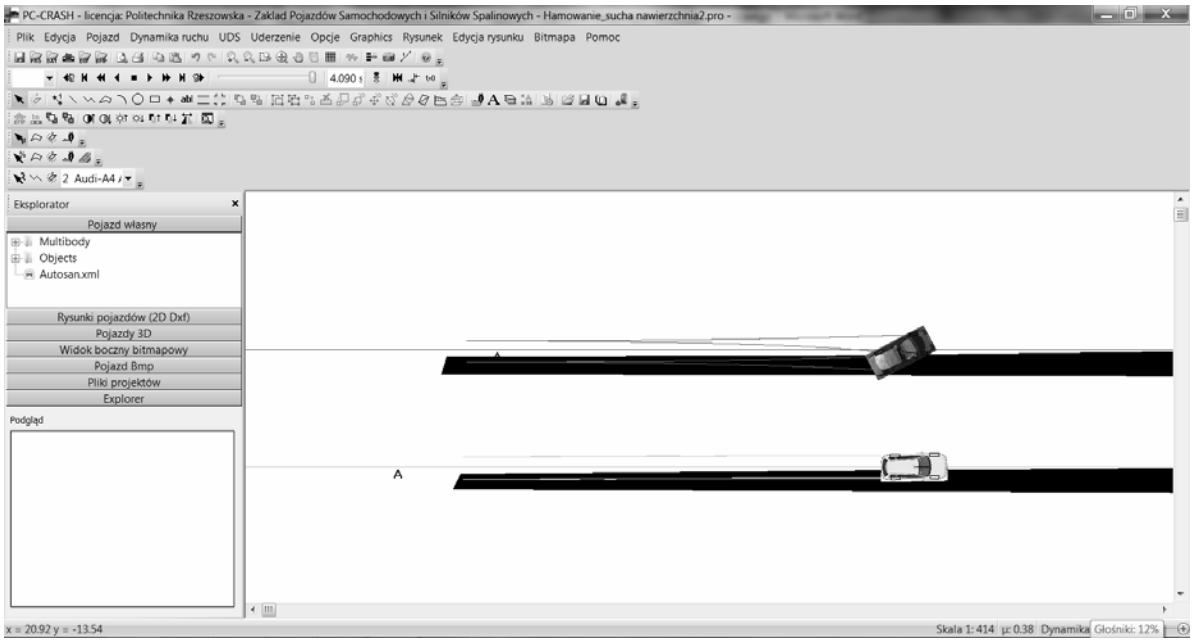
Tabela 2. Wyniki obliczeń dla modelu opony TMeasy

Samochód	Współczynnik przyczepności μ	ABS	Droga hamowania
Audi A4 Avant	0,05	Tak	196,76
		Nie	196,72
Audi 80 B3		Tak	196,76
		Nie	196,72
Audi A4 Avant	0,1	Tak	98,45
		Nie	98,41
Audi 80 B3		Tak	98,45
		Nie	98,41
Audi A4 Avant	0,2	Tak	49,27
		Nie	49,25
Audi 80 B3		Tak	49,27
		Nie	49,25
Audi A4 Avant	0,3	Tak	32,89
		Nie	32,87
Audi 80 B3		Tak	32,89
		Nie	32,87
Audi A4 Avant	0,4	Tak	24,7
		Nie	24,68
Audi 80 B3		Tak	24,7
		Nie	24,68
Audi A4 Avant	0,5	Tak	19,72
		Nie	19,77
Audi 80 B3		Tak	19,72
		Nie	19,77
Audi A4 Avant	0,6	Tak	16,34
		Nie	16,15
Audi 80 B3		Tak	16,34
		Nie	16,15
Audi A4 Avant	0,7	Tak	13,86
		Nie	14,15
Audi 80 B3		Tak	13,8
		Nie	14,15
Audi A4 Avant	0,8	Tak	12,0
		Nie	12,39
Audi 80 B3		Tak	11,99
		Nie	12,39
Audi A4 Avant	0,9	Tak	10,66
		Nie	11,03
Audi 80 B3		Tak	10,63
		Nie	11,03

Ponieważ w rzeczywistych badaniach, w warunkach śliskiej nawierzchni, współczynniki przyczepności pod kołami z prawej i lewej strony nieco się różniły, co powodowało zarzucanie osi przedniej w samochodzie bez układu ABS, przeprowadzono następnie analizę symulacyjną przy takim doborze współczynników przyczepności dla kół z lewej i prawej strony, aby obliczona długość drogi hamowania była równa długości drogi hamowania uzyskanej w badaniach trakcyjnych. Dla liniowego modelu opony i współczynnika przyczepności kół z prawej strony wynoszącego $\mu_P = 0{,}34$ oraz współczynnika przyczepności kół z lewej strony wynoszącego $\mu_L = 0{,}38$, uzyskano obliczoną długość drogi hamowania samochodu Audi 80 B3 bez układu ABS, zgodną z długością drogi hamowania uzyskaną w badaniach drogowych. Położenie samochodów dla tych warunków przyczepności ilustruje rys. 4.



Rys. 3. Wpływ modelu opony na obliczone długości drogi hamowania samochodu Audi A4 Avant

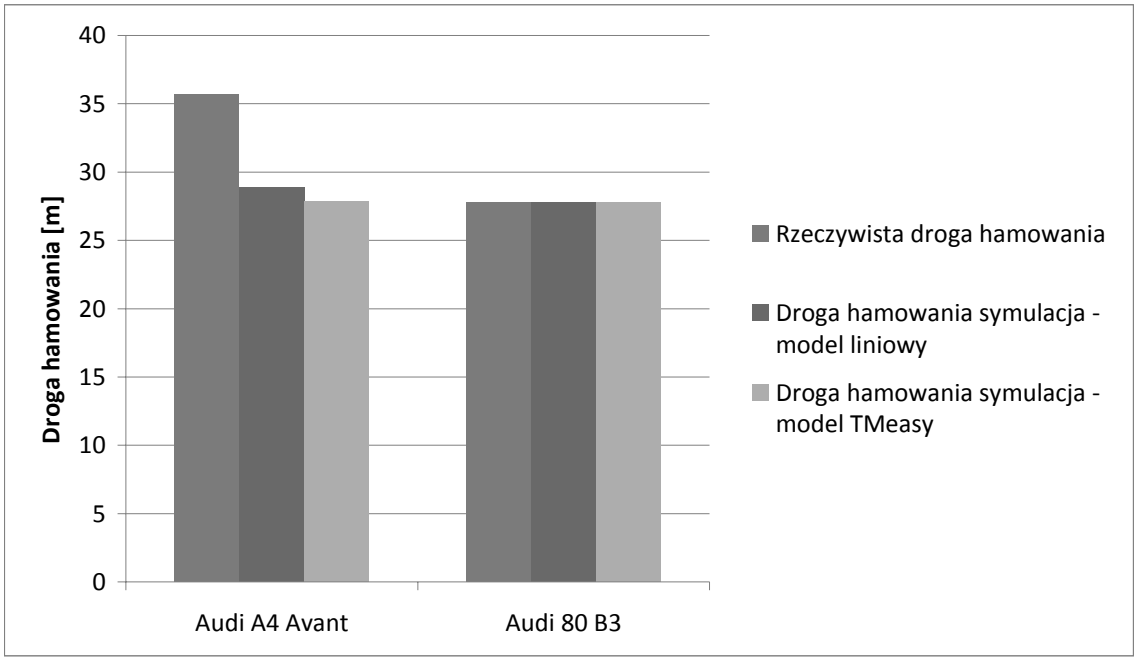


Rys. 4. Widok położenia samochodów oraz śladów hamowania podczas próby hamowania typu μ-split

4. WNIOSKI

Porównując długości drogi hamowania uzyskane w badaniach symulacyjnych z wynikami rzeczywistych prób na śliskiej nawierzchni w warunkach zimowych, dla hamowania typu μ-split i współczynników przyczepności $\mu_P = 0{,}38$ oraz $\mu_L = 0{,}34$ (rys. 5) można stwierdzić, że bardzo trudno jest określić rzeczywistą długość drogi hamowania na podstawie badań symulacyjnych. Jest to szczególnie istotne przy rekonstrukcji kolizji drogowych w warunkach zimowych, kiedy nie jest także możliwe, w odróżnieniu do warunków letnich, dokładne ustalenie śladów hamowania na drodze pokrytej zmrożonym śniegiem i lodem. Z rys. 5 wynika, że o ile obliczona droga hamowania samochodu Audi 80 B3 jest równa drodze uzyskanej w badaniach doświadczalnych, to w tych samych warunkach obliczona droga hamowania samochodu Audi A4 Avant z układem ABS zupełnie odbiega od drogi hamowania tego samochodu wyznaczonej w badaniach drogowych.

Wyniki obliczeń symulacyjnych zależą od wielu czynników, które można wprowadzać jako warunki początkowe, do których należą: współczynniki przyczepności nawierzchni pod poszczególnymi kołami, rozkład sił hamowania na poszczególnych kołach, rozkład nacisków na poszczególne koła, czasy narastania siły hamowania, czas reakcji kierowcy, model kierowcy, wielkość nacisku na pedał hamulca, model opony, algorytm działania układu ABS, zmiany intensywności hamowania itp., których nie można dokładnie odnieść do rzeczywistych warunków występujących podczas hamowania samochodu. Dlatego podczas hamowania na śliskiej nawierzchni różnice pomiędzy obliczonymi wielkościami a rzeczywistymi mogą się znacznie różnić.



Rys. 5. Porównanie długości drogi hamowania w warunkach zimowych uzyskanych w badaniach symulacyjnych oraz w badaniach drogowych

LITERATURA

[1] Jaworski A., Kuszewski H.: Badania procesu hamowania samochodów na śliskiej nawierzchni. MINISTERSTWO EDUKACJI NARODOWEJ UKRAINY, KIJÓW. VISNIK NACIONALNOGO TRANSPORTNOGO UNIVERISTETU TA TRANSPORTNOJ AKADEMII UKRAINI, t.20, 2010, (s. 75-80). Kijów 2010.

[2] Wach W.: Symulacja wypadków drogowych w programie PC-Crash. Instytut Ekspertyz Sądowych. Kraków 2009.

SIMULATION STUDY OF BRAKING CAR IN THE PC-CRASH

The paper presents the results of simulation analysis of braking process of cars with and without the ABS system. For simulation studies was used the PC-Crash program. The influence of selected construction parameters of vehicles and some exploitation parameters on baking distance have been represented. These parameters included the traction coefficient, braking force distribution and tire model. Simulation results were compared with the results of road tests in winter conditions.