

# Analiza porównawcza zmierzonych wartości opóźnienia hamowania samochodu osobowego ze sprawnym i uszkodzonym układem hamulcowym

*Marcin Witkiewicz, Mirosław Owczarz, Stanisław Taryma*

**Słowa kluczowe:** ABS, opóźnienie hamowania, uszkodzenie układu hamulcowego

### Streszczenie

Przeprowadzono szereg prób ekstremalnego hamowania samochodu osobowego ze sprawnym i uszkodzonym układem hamulcowym oraz z działającym i niedziałającym układem ABS. Próby przeprowadzono przy prostoliniowym torze jazdy na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze. W artykule przedstawiono wyniki osiągniętych wartości średniego, pełnego opóźnienia hamowania.

### Wstęp

Podstawowym układem w samochodzie osobowym odpowiedzialnym za bezpieczeństwo czynne jest układ hamulcowy. Współcześnie jego działanie wspomagane jest przez układ ABS. Stosowanie układu optymalno-poślizgowego zapobiegającego blokowaniu kół jest obecnie szeroko stosowane w samochodach wszystkich klas. System ten zapewnia poprawę czynnego bezpieczeństwa ruchu. Jego zadaniem jest modyfikacja procesu hamowania w celu uniknięcia blokowania kół, umożliwiającą kontrolę nad zachowaniem kierunku jazdy samochodu, zarówno na nawierzchni o dużym współczynniku przyczepności (jezdni asfaltowa sucha) jak i na nawierzchni o małym współczynniku przyczepności (jezdni oblodzona). Układ ABS pozwala na zachowanie kierowności pojazdu, również podczas hamowania awaryjnego, na nawierzchniach o małej przyczepności, dając możliwość zmiany kierunku jazdy pojazdu w celu ominięcia przeszkody. Nie byłoby to możliwe w przypadku zablokowania kół pojazdu. Trzeba jednocześnie pamiętać, że na uzyskane opóźnienia i długość drogi hamowania samochodu w istotny sposób wpływa stan mechanicznych i hydraulicznych elementów układu hamulcowego.

Dlatego przeprowadzono szereg prób ekstremalnego hamowania samochodu osobowego z działającym i niedziałającym układem ABS oraz ze sprawnym i uszkodzonym układem hamulcowym. Próby przeprowadzono przy prostoliniowym torze jazdy na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze. Niesprawność układu hamulcowego polegała na rozszczelnieniu jednego z obwodów układu tj. uszkodzeniu przewodu hamulcowego doprowadzającego płyn hamulcowy do elementów wykonawczych przedniego prawego koła. Podstawowym celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wystąpienia

tego uszkodzenia na rzeczywiste opóźnienia uzyskiwane przez pojazd na płycie poślizgowej o grubości warstwy wody około 2 mm. Badania wykonano z działającym układem ABS oraz po jego wyłączeniu. Poniżej przedstawione zostały wartości rzeczywistych opóźnień hamowania na podstawie, których obliczona została droga zatrzymania samochodu dla każdego z pomiarów.

### 1. Metodyka

W celu uzyskania jednolitych warunków drogowych, wszystkie pomiary opóźnień hamowania wykonano tego samego dnia, na tym samym odcinku pomiarowym płyty poślizgowej o grubości warstwy wody około 2 mm, przy temperaturze otoczenia na poziomie około 15°C. Samochód rozpędzany był do prędkości około 50 km/h (według wskazań prędkościomierza), następnie prędkość była stabilizowana, a po przejechaniu wyznaczonego punktu intensywnie hamowany. Wykonano próby dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego (w którym podczas hamowania następował wyciek płynu hamulcowego – imitacja pęknięcia przewodu hamulcowego podczas ekstremalnego hamowania) oraz dla działającego i niedziałającego układu ABS. Do pomiarów opóźnień hamowania samochodu użyto samorejestrującego urządzenia pomiarowego LWS-2/MC firmy TEST-PÓL wyprodukowanego przez Zakład Mechaniki Precyzyjnej. Przyrząd obliczał i podawał wartość średniego pełnego opóźnienia hamowania (MFDD).

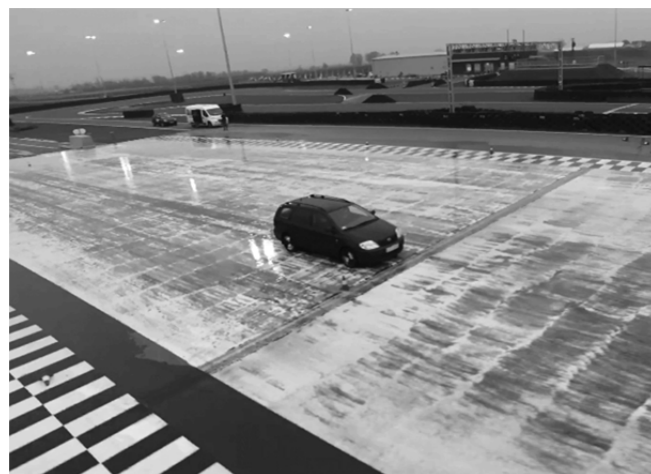
### 2. Obiekt badań

Do przeprowadzenia pomiarów został użyty samochód osobowy Toyota Corolla (fot. 1), o nadwoziu kombi, wyposażony w silnik benzynowy o pojemności 1329 cm<sup>3</sup>, rok produkcji 2004.

Do badań wykonano układ wywołujący awarię jednego z obwodów hamulcowych w trakcie procesu hamowania. Zadaniem dodatkowego układu (fot. 2) było wywołanie awaryjnego stanu układu hamulcowego polegającego na rozszczelnieniu jednego z obwodów.



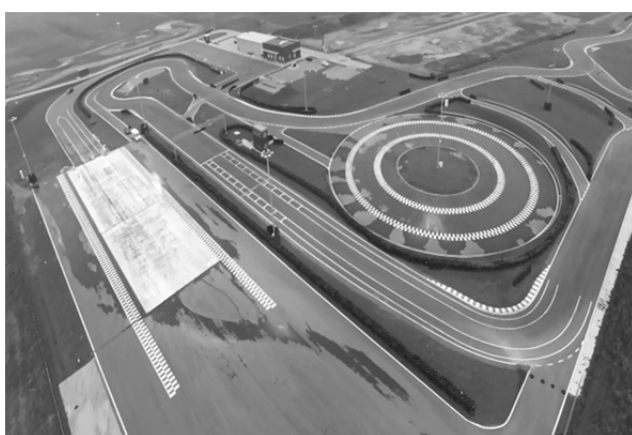
Fot. 1. Pojazd badawczy Toyota Corolla



Fot. 4. Autodrom Pomorze – płyta poślizgowa



Fot. 2. Dodatkowy układ został umieszczony w komorze silnika samochodu Toyota Corolla



Fot. 3. Autodrom Pomorze w Pszczółkach - widok z góry – zdjęcie zrobiono dronem podczas wykonywania badań

### 3. Wzory obliczeniowe

Długość drogi potrzebnej do zatrzymania pojazdu oblicza się według wzoru[1]:

$$S_z = S_R + S_H = V_o \cdot (t_r + \frac{t_n}{2}) + \frac{V_o^2}{2 \cdot a} \quad [m] \quad (1)$$

gdzie:

- $S_z$  [m] – długość drogi zatrzymania,
- $V_o$  [m/s] - prędkość początkowa pojazdu 13,9 m/s,
- $t_r$  [s] - czas reakcji kierowcy 0,5 s (gdyż wiedział o hamowaniu),
- $t_n$  [s] – czas narastania opóźnienia 0,2 s,
- $a$  [m/s<sup>2</sup>] – średnie pełne opóźnienie hamowania.

Wartość średniego w pełni rozwiniętego opóźnienia hamowania ( $a_H$ ), należy obliczyć jako opóźnienie średnie w odniesieniu do drogi w przedziale od  $V_b$  do  $V_c$  zgodnie z następującym wzorem:

$$a_H = \frac{V_b^2 - V_c^2}{25,92 (S_c - S_b)} \quad [m/s^2] \quad (2)$$

gdzie:

- $V_b$  [km/h] - prędkość pojazdu odpowiadająca 0,8  $V_o$ ,
- $V_c$  [km/h] - prędkość pojazdu odpowiadająca 0,1  $V_o$ ,
- $S_b$  [m] - droga przebyta między  $V_b$  i  $V_c$ ,
- $S_c$  [m] - droga przebyta między  $V_o$  i  $V_c$ .

Zależność ta, wywodząca się bezpośrednio z regulaminu nr 13 Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ, jest powszechnie stosowana do obliczenia opóźnienia hamowania na potrzeby rekonstrukcji wypadków drogowych.

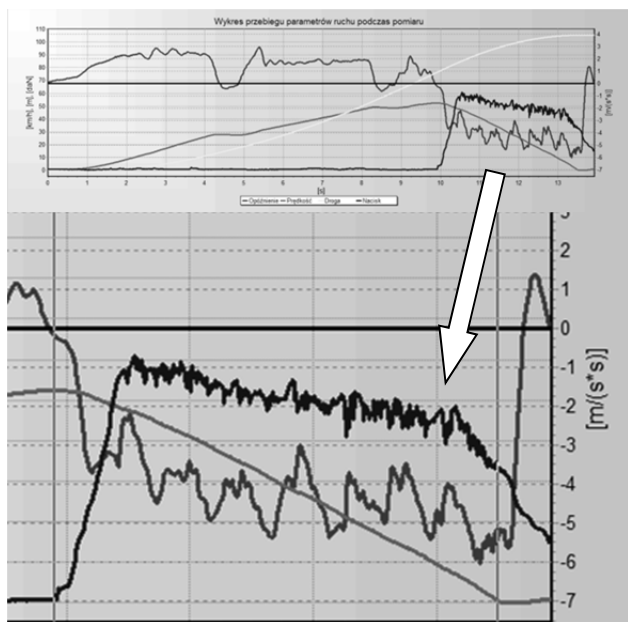
### 4. Wyniki badań

W czasie badań wykonano łącznie 20 prób hamowania w różnych konfiguracjach pomiarowych.

W tabeli 1 zestawiono uzyskane wyniki badań opóźnienia hamowania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym oraz z działającym poprawnie układem ABS, charakterystykę opóźnienia hamowania przedstawiono na rys. 1.

**Tabela 1.** Zestawienie wyników badań ze sprawnym układem hamulcowym i działającym układem ABS

Nr próby	ABS	$a_H$ [m/s <sup>2</sup> ]	$S_H$ [m]	$S_z$ [m]
1	Tak	3,99	24,2	32,6
2	Tak	4,05	23,8	32,2
3	Tak	3,95	24,5	32,8
4	Tak	3,87	25,0	33,3
5	Tak	4,03	24,0	32,3
średnia	Tak	4,00	24,3	32,6

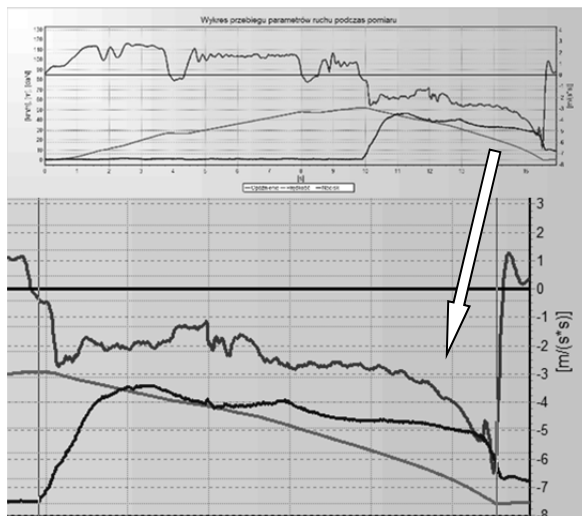


**Rys. 1.** Wykres parametrów ruchu podczas pomiaru. Sprawny układ hamulcowy oraz działający układ ABS.

W tabeli 2 zestawiono uzyskane wyniki badań opóźnienia hamowania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym z niedziałającym układem ABS, charakterystykę opóźnienia hamowania przedstawiono na rys. 2.

**Tabela 2.** Zestawienie wyników badań ze sprawnym układem hamulcowym i niedziałającym układem ABS

Nr próby	ABS	$a_H$ [m/s <sup>2</sup> ]	$S_H$ [m]	$S_z$ [m]
6	Nie	2,32	41,6	50,0
7	Nie	2,29	42,2	50,5
8	Nie	2,35	41,1	49,5
9	Nie	2,25	42,9	51,3
10	Nie	2,43	40,0	48,1
średnia	Nie	2,33	41,6	49,9



**Rys. 2.** Wykres parametrów ruchu podczas pomiaru. Sprawny układ hamulcowy ale niedziałający układ ABS.

Na poniższych fotografiach widać zablokowane koła przedniej i tylnej osi podczas wykonywania ekstremalnego hamowania z niedziałającym układem ABS (fot. 5).

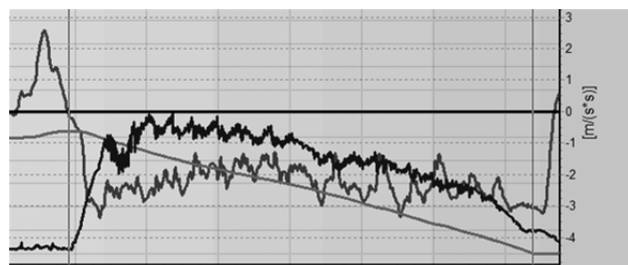


**Fot. 5.** Zablokowane koła samochodu – hamowanie bez ABS

W tabeli 3 zestawiono uzyskane wyniki badań opóźnienia hamowania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym ale z działającym układem ABS, charakterystykę opóźnienia hamowania przedstawiono na rys. 3.

**Tabela 3.** Zestawienie wyników badań z niesprawnym układem hamulcowym ale działającym układem ABS

Nr próby	ABS	$a_H$ [m/s <sup>2</sup> ]	$S_H$ [m]	$S_z$ [m]
11	Tak	2,08	46,4	54,8
12	Tak	2,01	48,1	56,4
13	Tak	2,13	45,3	53,7
14	Tak	2,05	47,1	55,5
15	Tak	2,15	44,9	53,5
<b>średnia</b>	<b>Tak</b>	<b>2,10</b>	<b>46,4</b>	<b>54,8</b>



**Rys. 3.** Wykres parametrów ruchu podczas pomiaru. Niesprawnny układ hamulcowy ale działający układ ABS.

W tabeli 4 zestawiono uzyskane wyniki badań opóźnienia hamowania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym oraz z niedziałającym układem ABS, charakterystykę opóźnienia hamowania przedstawiono na rys. 4.

**Tabela 4.** Zestawienie wyników badań z niesprawnym układem hamulcowym oraz z niedziałającym układem ABS

Nr próby	ABS	$a_H$ [m/s <sup>2</sup> ]	$S_H$ [m]	$S_z$ [m]
16	Nie	1,33	72,6	81,0
17	Nie	1,45	66,6	75,0
18	Nie	1,30	74,3	82,6
19	Nie	1,48	65,3	73,6
20	Nie	1,39	69,5	77,8
<b>średnia</b>	<b>Nie</b>	<b>1,39</b>	<b>69,5</b>	<b>77,9</b>



**Rys. 4.** Wykres parametrów ruchu podczas pomiaru. Niesprawnny układ hamulcowy oraz niedziałający układ ABS.

### Podsumowanie

Przyjęcie zaniżonej lub zawyżonej wartości opóźnienia hamowania samochodu może skutkować błędnym wyliczeniem jego prędkości początkowej oraz drogi zatrzymania.

### Bibliografia

1. Unarski J., Zębala J. Zbiór podstawowych wzorów i równań stosowanych w analizie wypadków drogowych Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2006.

### Autorzy:

Mgr inż. **Marcin Witkiewicz** – Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny

Mgr inż. **Mirosław Owczar** – Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny

Dr hab. inż. prof. nadzw. PG **Stanisław Taryma** – Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny

### Comparative analysis of the measured value of deceleration of a car with an efficient and damaged brake system

A number of attempts of extreme braking was performed using cars with an efficient and damaged brakes and with a functional and not functional ABS. Trials were carried out on the driving track at Autodrom Pomorze. The article shows the results of the achieved values of an average full deceleration.

**Key words:** ABS, deceleration, brake system damage.